KOMDA 3
BMPTTSSI

PROCEEDING BOOK

The 4th Civil Engineering, Environmental, Disaster, and Risk Management Symposium (CEEDRiMS) 2023

Universitas Sebelas Maret, 27 Juni 2023

Pengembangan Material, Teknologi, dan Infrastruktur Berkelanjutan Dalam Upaya Mitigasi Bencana

UNS PRESS
publishing & printing

WIKA REKAYASA KONSTRUKSI

HK BHIRAWA
Build Better with InnovAction

PROCEEDING

Civil Engineering, Environment, Disaster, and Risk Management Symposium (CEEDRIMS)

Tema:

"Pengembangan Material, Teknologi, dan Infrastruktur Berkelanjutan dalam Upaya Mitigasi Bencana"

Surakarta, 27 Juni 2023

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014
Perubahan atas Undang-undang Nomor 7 Tahun 1987
Perubahan atas Undang-undang Nomor 6 Tahun 1982
Perubahan atas Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Hak Cipta

(1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
(2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
(3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
(4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

PROCEEDING
CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT, DISASTER, AND RISK MANAGEMENT SYMPOSIUM (CEEDRIMS)

Tema:
"Pengembangan Material, Teknologi, dan Infrastruktur Berkelanjutan dalam Upaya Mitigasi Bencana"

Surakarta, 27 Juni 2023

Penerbit dan Pencetakan UNS
(UNS PRESS)

PROCEEDING
CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT, DISASTER, AND RISK MANAGEMENT SYMPOSIUM (CEEDRIMS)
Tema: Pengembangan Material, Teknologi, dan Infrastruktur Berkelanjutan dalam Upaya Mitigasi Bencana
Hak Cipta @ **CEEDRIMS**. 2023

Dewan Pengarah
Ir. Muhammad Abduh, M.T., Ph.D.
Prof. Dr. Niken Silmi Surjandari, ST., MT.

Penanggung Jawab
Dr. Techn. Ir. Sholihin As'ad, MT

Ketua
Dr. Achmad Basuki, ST., MT.

Kesekretariatan:
Siti Nurlita Fitri, ST., MT.

Reviewer
Dr. Ir. Rr. Rintis Hadiani, MT (Universitas Sebelas Maret)
Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Hermawan, ST., MT (Universitas Katolik Soegijapranata)
Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Iskahar, ST., MT. (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Setya Winarno, ST., MT, Ph.D (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Florentina Pungky Pramesti, ST., MT (Universitas Sebelas Maret)
Budi Yulianto, ST., M.Sc., Ph.D (Universitas Sebelas Maret)
Dr. Bambang Setiawan, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Muhammad Yani Bhayusukma, ST., MT., Ph.D (Universitas Sebelas Maret)
Dr. Eng. Halwan Alfisa Saifullah, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Dr. Galuh Chrismaningwang, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Siti Nurlita Fitri, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Iva Septiariva, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Muji Rifai, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Rian Mantasa Salve, ST., MT. (Politeknik Pekerjaan Umum)
Hendramawat Safariski, ST., MT (Universitas Veteran Bangun Nusantara)
R. Harya Dananjaya, ST., M.Eng. (Universitas Sebelas Maret)
Setiono, ST., M.Sc. (Universitas Sebelas Maret)

Editor
Halwan Alfisa Saifullah
Galuh Chrismaningwang

Ilustrasi Sampul
UNS Press

Penerbit dan Percetakan
Penerbitan dan Pencetakan UNS (UNS Press)
Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57126
Telp. (0271) 646994 Psw. 341 Fax. 0271 7890628
Website : www.uns-press.online; https://ebookstore.uns.ac.id/
Email : unspress341@gmail.com

Cetakan 1, Edisi I, Oktober 2023
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
All Right Reserved

EISBN 978-602-397-901-1

SAMBUTAN KETUA PANITIA CEEDRiMS 4 (2023)

Assalamualaikum wr. wb.

Salam sejahtera bagi kita semua.

Puji syukur kita senantiasa panjatkan kehadirat Tuhan Yang Mahakuasa, sehingga kegiatan Civil Engineering, Environment, Disaster, and Risk Management Symposium (CEEDRiMS) 2023 dapat terselenggara di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta. Simposium ini merupakan kegiatan tahunan dari Komda 3 Jateng-DIY BMPTSSI, yang pada tahun ini mengambil tema "Pengembangan Material, Teknologi, dan Infrastruktur Berkelanjutan dalam Upaya Mitigasi Bencana".

Mitigasi bencana merupakan salah satu ikhtiar kita dalam upaya mengantisipasi, menghadapi, dan paska kemungkinan terjadi bencana seperti gempa, banjir, angin topan, dan badai. Upaya mitigasi bencana di Indonesia adalah suatu keniscayaan karena kondisi geografis dan iklimnya. Kesiapan mitigasi bencana tentunya akan meminimalkan terjadinya kerugian materiil, korban harta benda dan manusia.

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Ir. Jarot Widyoko, SP-1 (Dirjen PSDA Kementerian PUPR); Bapak Prof. Ir. T. Faisal Fathani, ST., MT., PhD., IPU., ASEAN Eng. (UGM); dan Bapak Ir. Arry Aryadi, MBA (PT. Bhirawa Steel) sebagai keynote speaker. Juga ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Muhammad Abduh, PhD. (Sekjen BMPTTSSI); Ibu Dr. Niken Silmi Surjandari (Koordinator Komda 3 BMPTTSSI Jateng-DIY); dan Bapak Dr. Techn. Ir. Shoihin As'ad (Dekan FT UNS) atas sambutannya, serta kepada bapak/ibu pemakalah/presenter dan peserta simposium.

Tak lupa kami juga mengucapkan terima kasih atas dukungannya kepada PT. Bhirawa Steel, PT. WIKA Rekayasa Konstruksi, Laboratorium Bahan FT UNS, Laboratorium Mekanika Tanah FT UNS, serta rekan-rekan panitia simposium yang telah bekerja keras sehingga kegiatan simposium ini berjalan dengan baik dan lancar. Semoga kegiatan simposium ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi dunia akademik dan upaya mitigasi bencana di Indonesia. Mohon maaf apabila masih terdapat kekurangan dalam penyelenggaraannya.

Wassalamualaikum wr. wb.

Ketua Panitia CEEDRiMS 2023

Dr. Ir. Achmad Basuki, ST., MT.

SAMBUTAN KOORDINATOR KOMDA 3 BMPTTSSI (Jateng-DIY)

Assalamu'alaikum Warahmatullahi wabarakatuh

Salam sejahtera untuk kita semua.

Shalom

Om swastyastu

Namo buddhaya

Salam kebajikan

Bapak, Ibu, dan seluruh peserta simposium yang saya hormati. Marilah kita panjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Limpahan RahmatNYA sehingga kita masih diberikan kesehatan.

Selamat datang kepada seluruh peserta CEEDRiMS 2023,

Saya dengan bangga menyambut Anda semua dalam rangkaian kegiatan CEEDRiMS 2023. Kami dengan senang hati menghadirkan CEEDRiMS tahun 2023 dengan tema yang menarik: "Pengembangan Material, Teknologi, dan Infrastruktur Berkelanjutan Dalam Upaya Mitigasi Bencana." Acara ini menjadi platform penting untuk mahasiswa S1 dan S2 tingkat akhir mempresentasikan hasil penelitian mereka secara komprehensif. Tidak hanya itu, kami juga memberikan peluang berharga bagi akademisi dan peneliti dari seluruh Indonesia untuk turut serta dalam simposium ini.

Keberhasilan CEEDRiMS 2023 adalah hasil kolaborasi erat antara berbagai perguruan tinggi di wilayah Komda 3 BMPTTSSI, yang mencakup DIY dan Jateng. Kami berharap bahwa acara ini bukan hanya akan memfasilitasi pertukaran pengetahuan, tetapi juga memperkuat jaringan antar perguruan tinggi.

Meskipun pandemi Covid-19 telah berakhir dan pembatasan fisik telah dicabut, kami tetap memprioritaskan kenyamanan dan keselamatan semua peserta. Oleh karena itu, kami menyelenggarakan simposium ini dengan format bauran, yaitu dengan kombinasi sesi daring dan luring, sehingga dapat mengakomodasi berbagai preferensi dan situasi saat ini.

Atas terselenggaranya acara simposium ini, kami mengucapkan terima kasih atas dukungan Bapak Ibu:

1. Rektor Universitas Sebelas Maret Surakarta Bapak Prof Jamal Wiwoho
2. Sekjen BMPTTSSI Bapak Ir Muhamad Abduh, MT, PhD
3. Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta Bapak DR Tech Ir Sholihin As'ad MT
4. Plt Kaprodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta sekaligus Ketua Panitia Simposium Bapak Dr Achmad Basuki
5. Pembicara Bapak Ir. Jarot Widyoko, SP-1 (Dirjen PSDA Kementerian PUPR); Bapak Prof. Ir. T. Faisal Fathani, ST., MT., PhD., IPU., ASEAN Eng. (UGM); dan Bapak Ir. Arry Aryadi, MBA (PT. Bhirawa Steel) sebagai keynote speaker.
6. Seluruh Panitia CEEDRiMS2023

7. Seluruh Perguruan Tinggi Partner di Wilayah Komda 3
8. Peserta simposium

Pada CEEDRiMS 2023 terkumpul 40 paper dari berbagai bidang keahlian Teknik Sipil yaitu sebagai berikut: struktur 6 paper; manajemen konstruksi = 10 paper; material = 3 paper; disaster-risk manajemen = 3 paper; geoteknik = 4 paper; keairan = 5 paper; dan transportasi = 9 paper.

Partisipasi penulis berasal dari berbagai institusi yaitu sebagai berikut: Universitas Muhammadiyah Surakarta; Universitas Semarang; Universitas Islam Indonesia; Universitas Veteran Bangun Nusantara; Universitas Muhammadiyah Purworejo; Universitas Hasanuddin; Universitas Negeri Gorontalo; Universitas Atma Jaya Yogyakarta; Universitas Udayana; PT Suropati Hidro Energi; Institut Teknologi Bandung; Institut Pertanian Bogor; Universitas Tunas Pembangunan Universitas Islam Sultan Agung Semarang; Badan Nasional Penanggulangan Bencana Jakarta; Badan Riset dan Inovasi Nasional Yogyakarta; Universitas Sebelas Maret; PT Tetrasa Geosinido; Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

Akhir kata, jika ada kekurangan dalam persiapan dan penyelenggaraan simposium ini, kami mohon maaf. Semoga kegiatan simposium ini bermanfaat untuk kita semua. Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Koordinator Komda 3 BMPTTSSI

Niken Silmi Surjandari

DAFTAR ISI

SAMBUTAN KETUA PANITIA CEEDRiMS 4 (2023) i

SAMBUTAN KOORDINATOR KOMDA 3 BMPTTSSI (Jateng-DIY) ii

DAFTAR ISI iv

TEMA A: KEBENCANAAN 1

IDENTIFIKASI KETERKAITAN SEBARAN KERUSAKAN BANGUNAN PEMUKIMAN TERHADAP KERENTANAN PERGERAKAN TANAH AKIBAT GEMPA BUMI CIANJUR 2022 2
Malik Mushtofa, Wisnu Erlangga

KAJIAN SEISMOLOGI DAN KERUSAKAN BANGUNAN GEMPA CIANJUR (21 NOVEMBER 2022) 16
Elvis Saputra

IDENTIFIKASI DAN PEMETAAN POTENSI BENCANA ALAM DI KELURAHAN LEKOBALO KOTA GORONTALO
Moh. Yusuf Tuloli

TEMA B: TRANSPORTASI 37

IDENTIFIKASI ALTERNATIF TRASE GUNA PENGANTISIPASIAN KERENTANAN JALAN PASCA-GEMPA CIANJUR MENGGUNAKAN *MULTI-CRITERIA ANALYSIS* 38
Muhamad Abdul Hadi, Miftahul Fauziah, Muhammad Kennyzyra Bintang

PENGEMBANGAN DATABASE NILAI TANAH, INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI DAN FASILITAS UMUM BERBASIS SPASIAL DI WILAYAH AGLOMERASI MAMMINASATA 47
M. Idris, Muhammad Isran Ramli, Rusdi Usman Latif, Sumarni Hamid Ali

PERBANDINGAN TEBAL PERKERASAN PADA BANDARA HALIM PERDANAKUSUMA BERDASARKAN METODE EMPIRIS DAN METODE MEKANISTIK 60
Alhilal Mohammad Farhan, Paryogo Afang Prayitno, Aisyah Nur Jannah

PROSPEK WISATAWAN DAN KETERSEDIAAN INFRASTRUKTUR AKOMODASI PADA KAWASAN WISATA SEMENANJUNG BIRA, KABUPATEN BULUKUM 75
Indriaty Wulansari, Sumarni Hamid Aly, Muhammad Isran Ramli, Muralia Hustim

FRAMEWORK SMART PARKING UNTUK OPTIMALISASI DAN AKUNTABILITAS RETRIBUSI PARKIR BADAN JALAN DI WILAYAH PERKOTAAN 83
F.X. Manggau, Sumarni Hamid Aly, Muhammad Isran Ramli, dan M. Niswar

PELUANG DAN TANTANGAN KEMITRAAN PEMERINTAH-SWASTA DALAM ADOPSI KENDARAAN LISTRIK DI IINDONESIA 94
Sakti Prajna Mahardhika, Okkie Putriani

ANALISIS PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR DENGAN METODE MANUAL DESAIN PERKERASAN BINA MARGA 2017 106
Yory Rezqy Akbar, Senja Rum Harnaeni

SISTEM TRANSPORTASI BERKELANJUTAN TERINTEGRASI DAN TANGGAP BENCANA PADA YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT (YIA) 116
Okti Setyaningsih, Jeane Lidya Hehamahwa, Ibnu Fauzi, Okkie Putriani

KONSEP PEMODELAN KERENTANAN JARINGAN JALAN AKIBAT DISRUPSI BENCANA ALAM 129
Berlian Kushari, Muhammad Isran Ramli, Bambang Bakri, Ardy Arsyad

TEMA C: SUMBER DAYA AIR 143

ANALISIS KEBUTUHAN DIMENSI GROUNDSILL JEMBATAN KEBON AGUNG II SUNGAI PROGO 144
Muhammad Raihan Wardhana, Dinia Anggraheni

STUDI KARAKTERISTIK GELOMBANG EKSTREM TAHUNAN DAN BULANAN DI PELABUHAN LAUT CAROCOK, SUMATRA BARAT 156
Alvin Yesaya, Bayu Wintoro

RISK AND RELIABILITY ANALYSIS OF WONOGIRI DAM *SPILLWAY* 170
Eka Oktariyanto Nugroho, David Mickaelson Samosir, Asep Yusuf, Giyanto, Adyastari Katresna Santika, Yadi Suryadi, Muhammad Farid, Arno Adi Kuntoro, Edi Riawan, Rani Gayatri, Kusumawardhani Pradoto

STUDI KERUSAKAN INFRASTRUKTUR SUMBER DAYA AIR AKIBAT GEMPA TEKTONIK CIANJUR 185
Shofwatul Fadilah, Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi

KAJIAN PERUBAHAN MORFOLOGI SUNGAI AMERORO AKIBAT ADANYA BENDUNGAN AMERORO, SULAWESI TENGGARA 199
Indradjati Rachmatullah, Dyah Widyaningrum, Widiawati Rustan, Dantje Kardana Natakusumah, Widyaningtyas, Eka Oktariyanto Nugroho

TEMA D: GEOTEKNIK..... 213

PERKUATAN PARAMETER KUAT GESER *TAILING* DENGAN METODE *SOYBEAN CRUDE UREASE CALCITE PRECIPITATION* (SCU-CP)..... 214
Ramadhita Adji Mubbarak, Herdiansyah Putra

EFFECT OF INSTALLATION OF EPS GEOFOAM AS BACKFILL RETAINING WALL ON SLOPE STABILITY ANALYSIS 225
Reki Arbianto, Yusep Muslih Purwana, Bambang Setiawan

ANALISIS PERKUATAN TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK ANTARA PENGGUNAAN GEOFOAM DAN GEOTEKSTIL DENGAN GEOSTUDIO. 235
Prasetyo Widhy Utomo, Bambang Setiawan, Niken Silmi Surjandari

ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN PEMANCANGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* TERHADAP WAKTU KONSOLIDASI. 246
M. Izzudin Anwarrizqika, Galuh Chrismaningwang, Pria Ardhana

TEMA E: MANAJEMEN KONSTRUKSI 257

ANALISIS FAKTOR PENYEBAB CONTRACT CHANGE ORDER (CCO) PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG IKM MEBEL KOTA SURAKARTA 258
Galang Rakasiwi, Budi Priyanto

IMPLEMENTASI KONSEP BIM PADA TAHAP PELAKSANAAN KONSTRUKSI DENGAN *COMMON DATA ENVIRONMENT* (CDE) 269
Fina Ramadhani, Vendie Abma

ANALISIS MANAJEMEN RISIKO PADA PROYEK JEMBATAN CALLENDER HAMILTON JURUG B SURAKARTA 281
Yanuar Ridlo Fathurrachman, Yenny Nurchasanah

ANALISIS *RESIDUAL VALUE VIBRATORY ROLLER* DENGAN *ALGORITMA MODIFIED DECISION TREE* MENGGUNAKAN *PENDEKATAN MACHINE LEARNING* 289
Andrew Mashandro Tanto Putra, Hermawan, Budi Hasiholan

MENYUSUN STANDAR KESELAMATAN PELEDAKAN (*BLASTING*) DI BENDUNGAN UTAMA 299
Wahyu Kuntoro, Fitri Nugraheni

ANALISIS RISIKO PADA PELAKSANAAN KONSTRUKSI DENGAN SISTEM KONTRAK *DESIGN AND BUILD* 307
Chairunnisa V Gobel, Sarwidi, Albani Musyafa

ANALISIS PERBANDINGAN TINGKAT KEPENTINGAN KRITERIA UNTUK PENENTUAN PRIORITAS PENANGANAN JARINGAN JALAN KABUPATEN 317
Fajar Juniza, Sarwidi, Albani Musyafa

STUDI *CRITICAL SUCCESS FACTORS* PROSES PENGADAAN PEMERINTAH PADA JASA KONSTRUKSI DI INDONESIA 329
Sofian, Herman Parung, Syarif Burhanuddin, Rosmariani Arifuddin

STUDI FAKTOR PENINGKATAN PERFORMA KONTRAKTOR DALAM PROSES TENDER: LITERATURE REVIEW 341
Memed Timang Palembangan, Rusdi Usman Latief, Rosmariani Arifuddin, Asad Abdurrahman, Rifan Fadlillah

ANALISIS ALUR PERSETUJUAN BANGUNAN GEDUNG (PBG) UNTUK SYARAT PEMBANGUNAN GEDUNG BARU 350
Dyah Ayu Septiana, Hendramawat Aski Safarizki, Iwan Ristanto

TEMA F: MATERIAL 359

PENGARUH ABU LIMBAH KARBIT SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR 360
Markun Setiawan, Hendramawat Aski Safarizki, Iwan Ristanto, Rida Handiana D

PENGARUH BAHAN TAMBAH ALAMI ABU BATU TERHADAP KUAT TEKAN BETON BERPORI 369
Eko Riyanto, Agung Setiawan, Eksi Widyananto, Pugar Slamet Sinergy

PENGARUH AIR LAUT SEBAGAI CAMPURAN MORTAR DAN RENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN LENTUR DINDING 383
Naufal Hafidh Tauhid, Sarwidi

TEMA G: STRUKTUR 397

ASESMEN DAN EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG EKSISTING TERHADAP BEBAN SEISMIK 398
Ahida N. Rizkana, Raditya Aryanata, Lisa Fitriyana, Oktaria Lestari, Antonius

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH PADA BETON DALAM UPAYA PEMANFAATAN LIMBAH BATU BARA..... 419
Aji Wahyu Bimantoro, Muhammad Afrizaldi, Anik Kustrini, Bambang Purnijanto

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH DAN SERAT KAWAT BENDRAT TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON MEMADAT SENDIRI 429
Irfana Nur Fasmaa'uun, Mochamad Solikin

PENGARUH ORIENTASI KOLOM TERHADAP KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL BANGUNAN 440
Syafira Nurulita, Widodo Pawirodikromo

ANALISIS KETAHANAN BETON DENGAN PEMAKAIAN FLY ASH LOLOS SARINGAN 400 TERHADAP PERENDAMAN ASAM SULFAT..... 454
Rasyid Priambodho, Mochamad Solikin

PENERAPAN SIKLUS ANALISIS DAN DESAIN BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA 2D DAN 3D METODE FEMA P-751 466
Raditya Firdaus, Widodo Pawirodikromo

SUSUNAN KEPANITIAAN

Komite Pengarah
Ir. Muhammad Abduh, MT., Ph.D
Prof. Dr. Niken Silmi Surjandari, ST., MT.

Penanggung Jawab
Dr. Techn. Ir. Sholihin As'ad, MT

Ketua
Dr. Achmad Basuki, ST., MT.

Kesekretariatan
Siti Nurlita Fitri, ST., MT.

Bendahara
Dr. Galuh Chrismaningwang, ST., MT.

Sie. Makalah
Dr. Eng. Halwan Alfisa Saifullah, ST., MT. Budi Yulianto, ST., M.Sc., Ph.D
R. Harya Dananjaya, ST., M.Eng.
Muji Rifai, ST., MT.

Sie. Acara
Erik Wahyu Pradana, ST.

Sie Kerjasama dan Soponsor
Edy Purwanto, ST., MT.

Sie Teknologi Informasi
Setiono, ST., M.Sc.

Sie Perlengkapan dan dokumentasi
Dr. Bambang Setiawan, ST., MT.
Muhammad Yani Bhayusukma, ST., MT., Ph.D

Reviewer
Dr. Ir. Rr. Rintis Hadiani, MT (Universitas Sebelas Maret)
Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Hermawan, ST., MT (Universitas Katolik Soegijapranata)
Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Iskahar, ST., MT. (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Setya Winarno, ST., MT, Ph.D (Universitas Islam Indonesia)
Dr. Florentina Pungky Pramesti, ST., MT (Universitas Sebelas Maret)
Budi Yulianto, ST., M.Sc., Ph.D (Universitas Sebelas Maret)
Dr. Bambang Setiawan, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Muhammad Yani Bhayusukma, ST., MT., Ph.D (Universitas Sebelas Maret)
Dr. Eng. Halwan Alfisa Saifullah, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Dr. Galuh Chrismaningwang, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Siti Nurlita Fitri, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Iva Septiariva, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Muji Rifai, ST., MT. (Universitas Sebelas Maret)
Rian Mantasa Salve, ST., MT. (Politeknik Pekerjaan Umum)
Hendramawat Safariski, ST., MT (Universitas Veteran Bangun Nusantara)
R. Harya Dananjaya, ST., M.Eng. (Universitas Sebelas Maret)
Setiono, ST., M.Sc. (Universitas Sebelas Maret)

TEMA A: KEBENCANAAN

IDENTIFIKASI KETERKAITAN SEBARAN KERUSAKAN BANGUNAN PEMUKIMAN TERHADAP KERENTANAN PERGERAKAN TANAH AKIBAT GEMPA BUMI CIANJUR 2022

Malik Mushthofa[1*] dan Wisnu Erlangga[2]
[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
Email: 185111302@uii.ac.id (corresponding author)
[2]Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta
Email: wisnuuangga@gmail.com

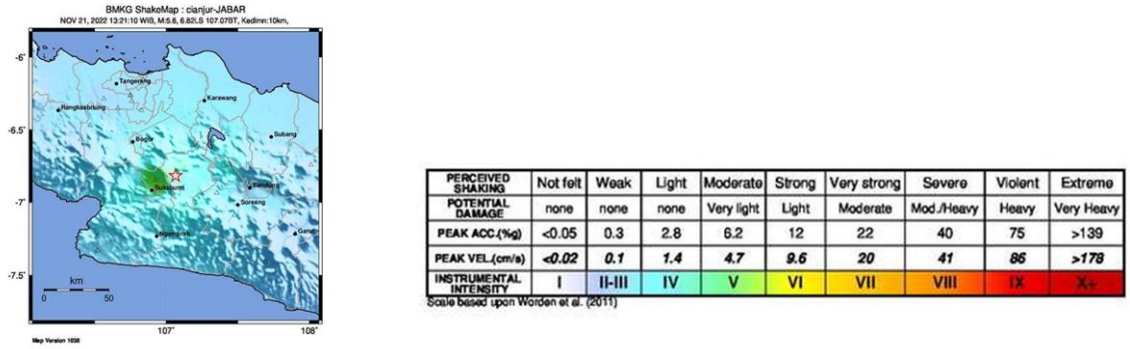
ABSTRAK

Akibat dari gempa bumi Cianjur 2022 tercatat diantaranya sebanyak 67.504 unit rumah tinggal, 701 fasilitas pendidikan, 18 unit kantor, 281 unit fasilitas ibadah, dan 18 unit fasilitas kesehatan terdampak kerusakan. Data sebaran kerusakan rumah tertuang dalam peta sebaran rumah terdampak kerusakan yang dirilis oleh Kementrian PUPR. Di sisi lain, Kementerian ESDM sudah pernah merilis peta kerentanan gerakan tanah di Kabupaten Cianjur. Selain itu, BMKG juga merilis peta bahaya gempa bumi Cianjur akibat sesar Cugenang setelah kejadian gempa bumi Cianjur 2022. Berdasarkan peta sebaran rumah terdampak kerusakan dapat terpetakan sebaran rumah dengan dampak kerusakan kategori rusak berat, rusak sedang dan rusak ringan. Berdasarkan peta bahaya gempa bumi Cianjur terpetakan zona terlarang, zona terbatas dan zona bersyarat. Berdasarkan peta zona kerentanan gerakan tanah terpetakan zona kerentanan gerakan tanah tinggi, menengah, rendah dan sangat rendah. Studi ini bertujuan mengidentifikasi keterkaitan antara sebaran rumah terdampak kerusakan dengan zonasi kerentanan gerakan tanah, dengan dibatasi area pengamatan pada zona terlarang dan zona terbatas. Metode yang digunakan adalah metode *overlay* peta sebaran rumah terdampak kerusakan, peta bahaya gempa Cianjur dan peta kerentanan gerakan tanah. Hasil dari *overlay* peta tersebut didapatkan bahwa persentase kerusakan rumah paling tinggi baik pada zona terlarang maupun pada zona terbatas terjadi pada zona kerentanan menengah, kemudian diikuti oleh zona kerentanan rendah dan kemudian zona kerentanan tinggi. Hal ini dikarenakan intensitas kepadatan rumah tiap luasan pada desa yang berpotongan dengan episentrum gempa cukup tinggi. Sedangkan kerusakan pada lokasi yang jauh dari episentrum dipicu oleh kualitas bangunan yang rendah.

Kata kunci: gempa bumi Cianjur, kerentanan gerakan tanah, rumah terdampak kerusakan.

A. PENDAHULUAN

Gempa Cianjur tercatat oleh (BMKG, 2022) terjadi pada tanggal 21 November 2022 pada pukul 13.21 WIB. Gempa bumi utama (*mainshock*) dengan Mw 5,6 kemudian tercatat sebanyak 140 gempa susulan (*aftershock*) sampai tanggal 22 November 2023 dengan kisaran Mw 1,2 s.d. Mw 4,2. Gelombang *mainshock* berdampak pada Cianjur dan sekitarnya diantaranya, Jakarta, Depok dan Tangerang Selatan dengan skala intensitas II-III MMI (*Modified Mercalli Insensity*), Lembang, Cimahi, Cikalong Wetan, Bandung Kota, Bogor dan Rangkas Bitung III MMI, Sukabumi dan Garut III-IV MMI, dan di Cianjur sendiri yang tertinggi yaitu V-VI MMI (Gambar 1).



Gambar 1. *Shakemap* gempa utama (*mainshock*) Mw 5,6 yang terjadi pada 21 November 2022

Wilayah Cianjur sendiri pada tahun 2009 pernah tercatat diguncang gempa Mw 7,3. Gempa tersebut berdampak pada Cianjur dengan skala intensitas VI MMI (Setiyono, et al., 2018). Menurut data dari BNPB (BNPB, 2023) dampak dari gempa tersebut antara lain 28 orang meninggal, 42 orang dinyatakan hilang, 21 orang mengalami luka-luka dan 10.047 orang harus mengungsi. Selain itu, bangunan rumah yang terdampak diantaranya 5.317 dalam kategori rusak berat dan 13.348 dalam kategori rusak ringan.

Kriteria kerusakan bangunan

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 16/PRT/M/2010 tentang Pedoman Teknis Pemeriksaan Berkala Bangunan Gedung, kerusakan bangunan secara umum dikelompokkan dalam tiga kategori yaitu kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat. Kerusakan ringan didefinisikan sebagai kerusakan yang hanya mencakup elemen non-struktural, seperti material penutup atap, *ceiling*, penutup lantai, dan material partisi atau pengisi dinding. Kerusakan sedang sedikit lebih parah daripada kerusakan ringan, kerusakan yang terjadi mencakup elemen non-struktural dan rusak ringan pada elemen struktural. Kerusakan berat merupakan kerusakan yang terjadi baik pada elemen struktural maupun non-struktural, tetapi apabila diperbaiki maka bangunan masih bisa berfungsi sebagaimana mestinya. Contoh kondisi kerusakan berat pada salah satu elemen bangunan sebagaimana dicontohkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh kerusakan dinding yang termasuk dalam kategori rusak berat (Rahmaddi, 2021)

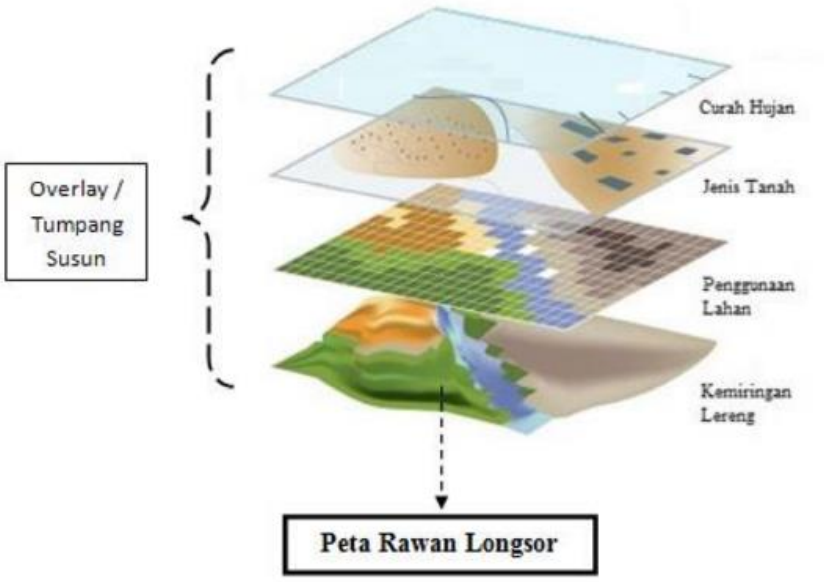
Pemeriksaan yang dilakukan meliputi pemeriksaan bidang arsitektural, struktural, dan bidang *mechanical electrical*. Masing-masing bidang tersebut mempunyai kriteria secara khusus yang secara lengkap tercantum pada lampiran Permen PU No. 16/PRT/M/20120. Asesmen kerusakan bangunan secara detail pada praktiknya dilakukan secara manual dengan cara pendataan dan pengisian kuesioner oleh tim teknis yang kemudian disetujui oleh pemilik bangunan dan pemeriksa bangunan.

Tujuan studi

Studi ini dilakukan untuk mengidentifikasi keterkaitan antara kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi Cianjur 2022 dengan kerentanan gerakan tanah yang ada di kawasan Cianjur. Manfaat dari studi ini adalah dapat diperoleh suatu pola gambaran keterkaitan antara gambaran kerentanan kejadian gerakan tanah dengan risiko kerusakan bangunan. Hal tersebut dapat menjadi masukan atau rekomendasi terhadap perencanaan wilayah perkotaan. Selain itu, hal tersebut juga dapat menjadi rekomendasi atau pertimbangan teknis terhadap risiko bencana saat permohonan IMB atau PBG suatu bangunan.

B. METODE

Studi ini akan mengidentifikasi keterkaitan kerusakan bangunan akibat gempa bumi Cianjur pada 21 November 2022 dengan tingkat potensi kerentanan gerakan tanah di Kabupaten Cianjur. Secara kualitatif, dapat ditinjau keterkaitan antara pola sebaran rumah terdampak kerusakan dan zonasi kerentanan gerakan tanah. Secara kuantitatif, dapat diukur persentase masing-masing tingkat kerusakan terhadap masing-masing zona kerentanan gerakan tanah.



Gambar 3. Ilustrasi *overlay* rawan longsor (Mala, Moniaga, & Karongkong, 2017)

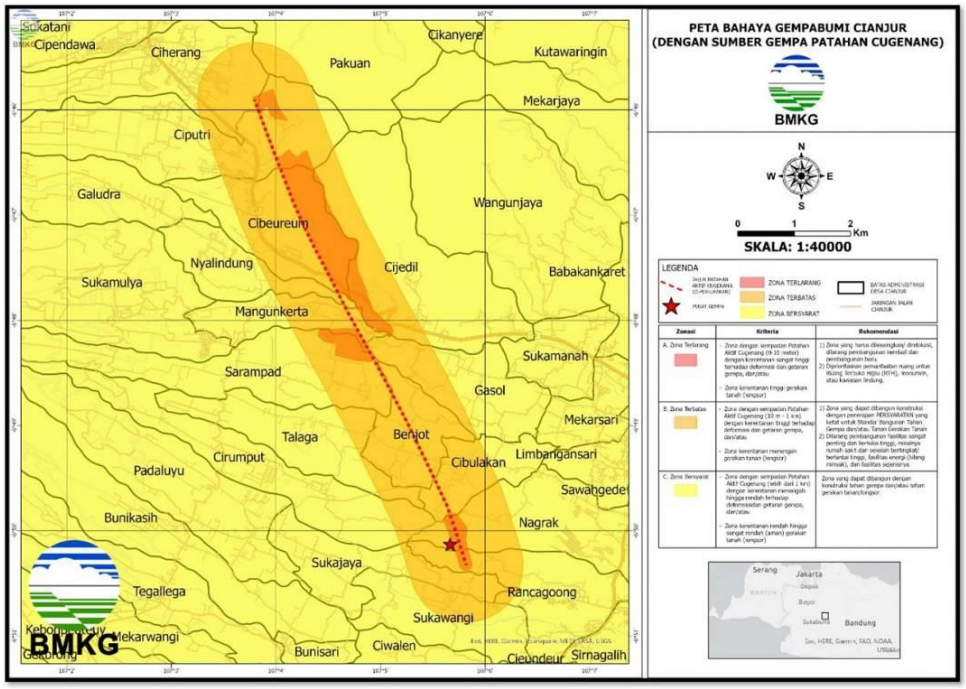
Secara umum, metode yang digunakan adalah *overlay* (Gambar 3) antara peta sebaran rumah terdampak kerusakan akibat gempa bumi Cianjur 21 November 2022, peta bahaya gempa bumi Cianjur (dengan sumber gempa patahan Cugenang) dengan peta zona kerentanan gerakan tanah Kabupaten Cianjur. Menurut (Komputer, 2015) *overlay* adalah suatu usaha untuk mensuperposisi-

kan suatu peta dengan peta yang lain sehingga didapatkan suatu peta baru yang merupakan kombinasi dari peta yang disuperposisikan. Dengan kata lain, *overlay* merupakan proses penyatuan data dari beberapa *layer* yang berbeda pada lokasi yang sama yang tertuang dalam peta.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta bahaya gempa bumi Cianjur

Gempa bumi Cianjur 2022 disebabkan oleh pergerakan aktif yang berasal dari sesar Cugenang. Sesar tersebut membentang sepanjang kurang lebih 9 km dan melintasi sedikitnya 9 desa (Putratama, 2022). Dari analisis dan verifikasi yang dilakukan oleh BMKG, dihasilkan 3 zona bahaya gempa bumi yakni Zona Terlarang (merah), Zona Terbatas (*orange*) dan Zona Bersyarat (kuning) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Zona Terlarang (merah) didefinisikan sebagai zona dalam jangkauan 0-10 meter sisi kiri dan kanan tegak lurus arah patahan aktif Cugenang. Rekomendasi yang diberikan oleh BMKG terhadap Zona Terlarang ini yaitu pada zona ini dilarang adanya bangunan, baik bangunan lama yang masih beroperasi maupun pembangunan baru, pemanfaatan yang direkomendasikan adalah sebagai ruang terbuka hijau atau kawasan lindung.

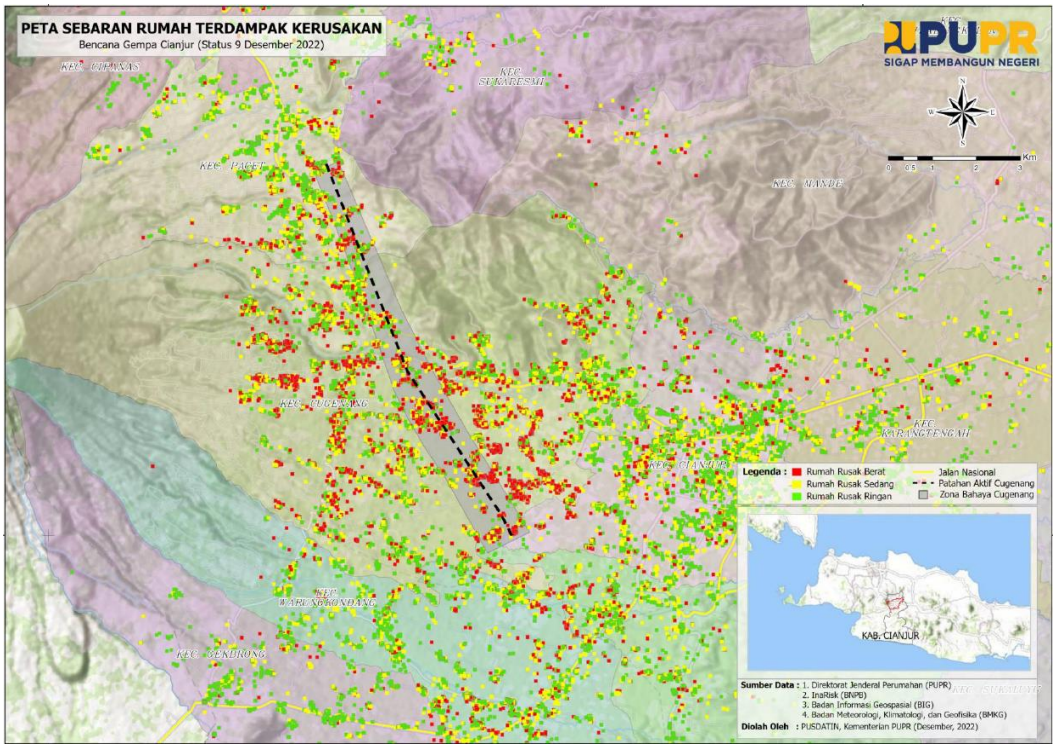


Gambar 4. Peta bahaya gempa bumi Cianjur (dengan sumber gempa patahan Cugenang) (Administrator, 2023)

Zona Terbatas (*orange*) didefinisikan sebagai zona dengan jangkauan 10 m s.d. 1 km pada sisi kanan dan kiri tegak lurus arah patahan aktif Cugenang. BMKG merekomendasikan pada zona terbatas (*orange*) diizinkan adanya bangunan tetapi harus direncanakan secara ketat terhadap gempa bumi dan gerakan tanah. Bangunan-bangunan yang bersifat penting, antara lain seperti rumah sakit, fasilitas energi, dsb. tidak diizinkan dibangun pada zona terbatas ini. Zona Bersyarat (kuning) didefinisikan sebagai zona dengan jangkauan lebih dari 1 km pada sisi kiri dan kanan tegak lurus arah patahan aktif Cugenang. Pada zona secara umum ini diizinkan untuk didirikan bangunan dengan memperhatikan prinsip bangunan tahan gempa dan gerakan tanah.

Rumah terdampak kerusakan

Gempa bumi Cianjur 2022 menurut BNPB (data per 2 Februari 2023) mengakibatkan beberapa jenis bangunan mengalami kerusakan. Tercatat diantaranya bangunan yang terdampak kerusakan adalah sebanyak 67.504 unit rumah tinggal, 701 fasilitas pendidikan, 18 unit kantor, 281 unit fasilitas ibadah, dan 18 unit fasilitas kesehatan. Jenis bangunan rumah tinggal secara kuantitatif adalah bangunan yang paling banyak berdiri diatas kawasan Kabupaten Cianjur, sehingga rumah tinggal merupakan bangunan yang paling banyak terdampak kerusakan. Data sebaran kerusakan rumah tinggal menurut data dari Kementrian PUPR (2022) secara lengkap disajikan pada Gambar 5.

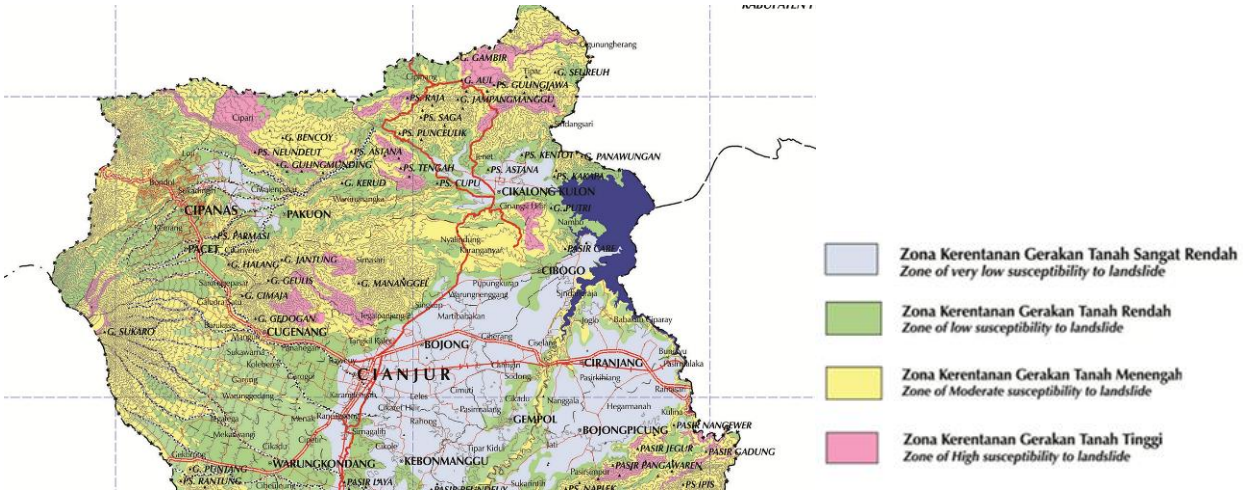


Gambar 5. Peta sebaran rumah terdampak kerusakan gempa bumi Cianjur

Pengkategorian tingkat kerusakan yang dialami oleh bangunan rumah tinggal meliputi rumah rusak berat, rumah rusak sedang dan rumah rusak ringan. Tampak pada Gambar 5. pola kerusakan bangunan rumah rusak berat tidak dominan terletak pada episentrum gempa bumi, dan juga tidak memiliki pola kerusakan yang semakin menurun pada titik-titik yang semakin menjauhi episentrum gempa bumi.

Kerentanan gerakan tanah

Kerentanan bangunan secara teknis umumnya terjadi disebabkan oleh penggunaan material dan konfigurasi struktur yang tidak sesuai kaidah keamanan bangunan; kualitas dan sistem struktur bangunan yang digunakan kurang memenuhi syarat; lokasi/topografi dengan kerentanan yang tinggi; dan desain struktur yang tidak sesuai dengan tingkat kerawanan daerah setempat terhadap gempa (Zulfiar, Tamin, Pribadi, & Imran, 2014). Topografi atau kondisi lokasi yang dimaksud diantaranya adalah potensi untuk mengalami gerakan tanah.



Gambar 6. Peta kerentanan gerakan tanah Kabupaten Cianjur

Menurut Kementerian ESDM (2019), zona kerentanan gerakan tanah adalah suatu zona yang mempunyai kesamaan kerentanan relatif (*relative susceptibility*) untuk terjadi gerakan tanah. Penentuan zona kerentanan gerakan tanah ini berdasarkan parameter, yaitu besarnya kemiringan lereng, jenis tanah dan batuan, curah hujan, jumlah dan luas gerakan tanah, tata guna lahan, kegempaan, nilai angka kestabilan lereng, dll. Klasifikasi zona kerentanan gerakan tanah terbagi menjadi empat, yaitu zona kerentanan gerakan tanah tinggi, menengah, rendah, dan sangat rendah. Peta Kerentanan Gerakan Tanah untuk Kabupaten Cianjur sendiri pernah dirilis oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Peta tersebut memetakan zona kerentanan gerakan tanah Kabupaten Cianjur dalam 4 (empat) kategori zona kerentanan, diantaranya kategori zona sangat rendah, rendah, menengah dan tinggi sebagaimana ditunjukkan Gambar 6.

Identifikasi keterkaitan rumah terdampak kerusakan terhadap zona kerentanan gerakan tanah

Struktur bangunan pada umumnya terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas dapat didefiniskan sebagai bagian struktur yang berada di atas permukaan tanah dan struktur bawah dapat didefinisikan sebagai bagian struktur yang terletak di bawah permukaan tanah. Manusia sebagai pengguna dari bangunan pada umumnya beraktifitas di dalam struktur atas bangunan, tidak terkecuali pada bangunan rumah tinggal. Dikarenakan struktur atas bangunan ini berada di atas permukaan tanah, maka pergerakan atau perilaku struktur atas bangunan ketika gempa bumi terjadi sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah di mana bangunan tersebut berdiri. SNI 1726 2019 sebagai standar perencanaan bangunan tahan gempa telah menetapkan secara mendasar bahwa pada kondisi *site*/tanah yang berbeda maka perilaku getaran gempa yang diterima oleh bangunan juga akan berbeda. Peta kerentanan pergerakan tanah kemudian di-*overlay* dengan peta sebaran rumah terdampak kerusakan pada zona terlarang dan zona terbatas sesar Cugenang secara lengkap berikutnya disajikan sebagaimana berikut.

Rumah terdampak kerusakan di zona terlarang

Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terlarang dengan kategori kerentanan gerakan tanah kategori tinggi meliputi Kelurahan Cijedil dan Cipendawa sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terlarang dengan kerentanan gerakan tanah tinggi

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Cugenang	Cijedil	29	11	9	Tinggi
Pacet	Cipendawa	0	0	3	Tinggi
	Jumlah	**29**	**11**	**12**	

Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terlarang dengan kategori kerentanan gerakan tanah kategori menengah meliputi Kelurahan Benjot, Cibeureum, Cirumput, Mangunkerta, Nyalindung, Sarampad, Talaga, Ciherang, dan Ciputri sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terlarang dengan kerentanan gerakan tanah menengah

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Cugenang	Benjot	6	0	0	Menengah
Cugenang	Cibeureum	0	1	0	Menengah
Cugenang	Cirumput	0	3	0	Menengah
Cugenang	Mangunkerta	21	5	6	Menengah
Cugenang	Nyalindung	0	0	1	Menengah
Cugenang	Sarampad	65	7	11	Menengah
Cugenang	Talaga	0	0	1	Menengah
Pacet	Ciherang	1	1	1	Menengah
Pacet	Ciputri	5	0	2	Menengah
	Jumlah	**98**	**17**	**22**	

Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terlarang dengan kategori kerentanan gerakan tanah kategori rendah meliputi Kelurahan Nagrak, Cibulakan, dan Gasol sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terlarang dengan kerentanan gerakan tanah rendah

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Cianjur	Nagrak	71	22	7	Rendah
Cugenang	Cibulakan	3	0	0	Rendah
Cugenang	Gasol	1	0	0	Rendah
	Jumlah	**75**	**22**	**7**	

Rumah terdampak kerusakan di zona terbatas

Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kategori kerentanan gerakan tanah kategori tinggi meliputi Kelurahan Cijedil, Sindangjaya, Wangunjaya, dan Cipendawa sebagaimana Tabel 4.

Tabel 4. Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kerentanan gerakan tanah tinggi

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Cugenang	Cijedil	167	68	100	Tinggi
Cugenang	Sindangjaya	1	0	0	Tinggi
Cugenang	Wangunjaya	3	0	0	Tinggi
Pacet	Cipendawa	1	4	3	Tinggi
	Jumlah	**172**	**72**	**103**	

Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kategori kerentanan gerakan tanah kategori menengah meliputi Kelurahan Benjot, Cibeureum, Cirumput, Galudra, Mangunkerta, Nyalindung, Padaluyu, Sarampad, Talaga, Bangbayang, Ciherang, Ciputri, Cibanteng, Bunikasih, Cisarandi, dan Mekarwangi sebagaimana Tabel 5.

Tabel 5. Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kerentanan gerakan tanah menengah

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Cugenang	Benjot	745	281	183	Menengah
Cugenang	Cibeureum	296	407	471	Menengah
Cugenang	Cirumput	30	18	32	Menengah
Cugenang	Galudra	0	1	1	Menengah
Cugenang	Mangunkerta	299	187	168	Menengah
Cugenang	Nyalindung	71	34	51	Menengah
Cugenang	Padaluyu	3	2	4	Menengah
Cugenang	Sarampad	476	207	110	Menengah
Cugenang	Talaga	40	74	90	Menengah
Gekbrong	Bangbayang	0	1	0	Menengah
Pacet	Ciherang	186	162	271	Menengah
Pacet	Ciputri	387	278	376	Menengah
Sukaresmi	Cibanteng	0	2	0	Menengah
Warungkondang	Bunikasih	0	1	0	Menengah
Warungkondang	Cisarandi	0	0	1	Menengah
Warungkondang	Mekarwangi	0	0	1	Menengah
	Jumlah	**2533**	**1655**	**1759**	

Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kategori kerentanan gerakan tanah kategori rendah meliputi Kelurahan Gasol, Ciherang, Ciputri, Limbangan Sari, Nagrak, Rancagoang, Sirnagalih, Cibulakan, Sukajaya, Sukamanah, Gadog, Bunisari, Ciwalen, Jambudipa, dan Sukawangi sebagaimana Tabel 6.

Tabel 6. Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kerentanan gerakan tanah rendah

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Bojongpicung	Gasol	0	2	1	Rendah
Pacet	Ciherang	1	0	0	Rendah
Pacet	Ciputri	1	0	0	Rendah
Cianjur	Limbangan Sari	2	1	0	Rendah
Cianjur	Nagrak	223	78	55	Rendah
Cilaku	Rancagoong	84	61	64	Rendah
Cilaku	Sirnagalih	0	0	1	Rendah
Cugenang	Cibulakan	616	209	117	Rendah
Cugenang	Gasol	279	230	200	Rendah
Cugenang	Sukajaya	151	84	59	Rendah
Cugenang	Sukamanah	0	0	1	Rendah
Pacet	Gadog	1	0	1	Rendah
Warungkondang	Bunisari	1	1	2	Rendah
Warungkondang	Ciwalen	0	1	0	Rendah

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Warungkondang	Jambudipa	0	1	0	Rendah
Warungkondang	Sukawangi	140	183	186	Rendah
	Jumlah	**1499**	**851**	**687**	

Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kategori kerentanan gerakan tanah kategori sangat rendah meliputi Kelurahan Muka, Sukamaju, dan Sukamulya sebagaimana Tabel 7.

Tabel 7. Sebaran rumah terdampak kerusakan di zona terbatas dengan kerentanan gerakan tanah sangat rendah

Kecamatan	Kelurahan	Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan	Kategori Kerentanan Gerakan Tanah
Cianjur	Muka	0	0	1	Sangat Rendah
Cianjur	Sukamaju	0	1	0	Sangat Rendah
Cugenang	Sukamulya	13	1	0	Sangat Rendah
Sukaluyu	Sukamulya	0	0	1	Sangat Rendah
	Jumlah	**13**	**2**	**2**	

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 jumlah kerusakan rumah tertinggi terjadi pada desa-desa yang dilalui oleh garis episentrum gempa Cianjur 2022. Sedangkan kerusakan rumah yang terjadi pada desa-desa yang tidak berpotongan dengan garis episentrum gempa Cianjur 2022 cenderung kecil.

Rekapitulasi sebaran rumah terdampak kerusakan terhadap zona kerentanan gerakan tanah

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka data sebaran rumah terdampak kerusakan akibat gempa bumi Cianjur 2022 dapat dilakukan rekapitulasi berdasarkan masing-masing kategori kerentanan gerakan tanah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Rekapitulasi persentase rumah terdampak kerusakan di zona terlarang

Kategori Kerentanan Gerakan Tanah	Rusak Berat		Rusak Sedang		Rusak Ringan		Jumlah
	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	
Tinggi	29	9,9%	11	3,8%	12	4,1%	17,7%
Menengah	98	33,4%	17	5,8%	22	7,5%	46,8%
Rendah	75	25,6%	22	7,5%	7	2,4%	35,5%
Sangat Rendah	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0,0%

Tabel 9. Rekapitulasi persentase rumah terdampak kerusakan di zona terbatas

Kategori Kerentanan Gerakan Tanah	Rusak Berat		Rusak Sedang		Rusak Ringan		Jumlah
	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	
Tinggi	172	1,8%	72	0,8%	103	1,1%	3,7%
Menengah	2533	27,1%	1655	17,7%	1759	18,8%	63,6%
Rendah	1499	16,0%	851	9,1%	687	7,3%	32,5%
Sangat Rendah	13	0,1%	2	0,0%	2	0,0%	0,2%

Hasil rekapitulasi rumah terdampak kerusakan baik pada zona terlarang dan zona terbatas menunjukkan jumlah pola yang sama yaitu kerusakan rumah terbanyak berada pada zona kerentanan gerakan tanah menengah. Kemudian setelah itu diikuti zona dengan kerentanan tanah rendah, kemudian zona dengan kerentanan gerakan tanah tinggi.

Tabel 10. Karakteristik zona kerentanan gerakan tanah menurut Kementerian ESDM (2019)

Kategori Kerentanan Gerakan Tanah	Karakteristik
Tinggi	Sering terjadi gerakan tanah (baik gerakan tanah baru maupun lama) akibat curah hujan tinggi dan erosi kuat. Kemiringan lereng curam (30-50%) hingga > 70%. Vegetasi penutup umumnya sangat kurang.
Menengah	Dapat terjadi gerakan tanah, terutama pada daerah yang dekat dengan lembah sungai, tebing jalan atau jika lereng mengalami gangguan. Gerakan tanah lama dapat aktif kembali akibat curah hujan tinggi dan erosi kuat. Kemiringan lereng mulai dari landai (5-15%) hingga curam > 70%. Kondisi vegetasi penutup umumnya sangat kurang sampai sangat jarang.
Rendah	Jarang terjadi gerakan tanah kecuali jika mengalami gangguan pada lereng; akibat gerakan tanah lama, lereng telah mantap kembali. Gerakan tanah skala kecil dapat terjadi, terutama pada tebing sungai. Kemiringan lereng mulai dari landai (5-15%) sampai sangat terjal (50-70%). Kondisi vegetasi penutup baik, umumnya berupa hutan atau perkebunan.
Sangat rendah	Hampir tidak pernah terjadi gerakan tanah, baik gerakan tanah lama maupun gerakan tanah baru, kecuali skala kecil pada tebing sungai. Datar sampai landai dengan kemiringan < 15% dan lereng tidak dibentuk oleh endapan gerakan tanah, bahan timbunan atau lempung yang bersifat plastis atau mengembang.

Klasifikasi zona kerentanan gerakan tanah sebagaimana Tabel 10 berdasarkan Kementerian ESDM (2019) menunjukkan bahwa dasar klasifikasi penyusunan zonasi kerentanan gerakan tanah mengacu pada beberapa parameter. Di antara beberapa parameter tersebut menunjukkan bahwa zona kerentanan tinggi merupakan zona yang jarang didirikan bangunan mengingat kondisi lokasi secara alamiah kurang mendukung untuk dibuat pemukiman yang padat. Sedangkan zona kerentanan gerakan tanah menengah, rendah dan sangat rendah cenderung memungkinkan untuk dibangun pemukiman padat mengingat pada zona menengah berada pada kondisi landai sampai curam.

Dilihat dari kuantitas pemukiman, zona kerentanan menengah sampai kerentanan sangat rendah memungkinkan untuk didirikan pemukiman padat, dibandingkan dengan kondisi pada zona kerentanan tinggi. Dengan kualitas bangunan yang sama, bangunan dapat didirikan pada zona kerentanan menengah sampai kerentanan sangat rendah, tetapi bangunan yang berada pada zona kerentanan menengah memiliki lebih besar potensi untuk mengalami kegagalan bangunan. Hipotesis ini sejalan dengan data sebaran rumah terdampak kerusakan yang terjadi di Kabupaten Cianjur akibat gempa Cianjur 2022.

Tabel 11. Data kepadatan rumah per desa di Jawa Barat (unit/Ha)

Kerentanan Gerakan Tanah	Prosentase rumah rusak terhadap zona gerakan tanah	Kepadatan rumah rerata (unit/Ha)
Tinggi	3,7 %	289,09
Menengah	63,6 %	562,95
Rendah	32,5 %	716,34
Sangat Rendah	0,2 %	162,74

Berdasarkan data yang dihimpun dari *data.jabarprov.go.id* (2023) pada desa-desa yang disebutkan sebelumnya, didapatkan data kepadatan rumah per luasan yang dinyatakan dalam unit/Ha

sebagaimana ditampilkan pada Tabel 11. berikut. Kepadatan rumah paling tinggi berada pada desa-desa yang berlokasi dalam zona kerentanan rendah, kemudian diikuti oleh desa-desa yang berlokasi dalam zona kerentanan menengah. Hal ini mendukung hipotesis bahwa kecenderungan penduduk membangun rumah memilih pada zona dengan kerentanan gerakan tanah rendah dan menengah. Terkait dengan data kerusakan yang ditunjukkan lebih tinggi pada desa yang berlokasi pada zona dengan kerentanan menengah akan lebih lanjut diidentifikasi berdasarkan klasifikasi rumah permanen, semipermanen dan non-permanen.

Tabel 12. Persentase klasifikasi type rumah berdasarkan zona kerentanan gerakan tanah

Kerentanan Gerakan Tanah	Kepadatan rumah rerata (unit/Ha)	Persentase jumlah Rumah permanen	Persentase jumlah Rumah semipermanen	Persentase jumlah Rumah non-permanen
Tinggi	289,09	97,7%	1,8%	0,5%
Menengah	562,95	73,8%	16,3%	9,9%
Rendah	716,34	77,2%	12,5%	10,3%
Sangat Rendah	162,74	74,4%	20,9%	4,7%

Mengutip data dari *data.jabarprov.go.id* (2023), rumah-rumah pada desa yang disebutkan mengalami kerusakan sebagaimana disebutkan sebelumnya memiliki persentase dominan berupa rumah permanen (Tabel 12). Persentase kerusakan yang tertinggi secara tidak langsung berhubungan dengan jumlah kepadatan rumah pada suatu area, tetapi hubungan terhadap klasifikasi kelas konstruksi rumah (permanen, semi permanen dan non permanen) tidak ditemukan korelasi yang menunjukkan keterkaitan. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12, kondisi rumah yang termasuk rumah permanen juga tidak serta merta menjadikan rumah tersebut dalam kategori rumah tahan gempa. Hal ini ditunjukkan pada korelasi data yang menunjukkan bahwa rumah yang terdapat pada area yang dibahas didominasi oleh rumah permanen, tetapi kerusakan yang terjadi pada zona kerentanan menengah dan rendah masih tinggi.

Klasifikasi rumah permanen s.d. non permanen pada data tersebut merupakan rangkuman dari pendataan yang dilakukan oleh Pemerintah Daerah di Provinsi Jawa Barat pada tahun 2020 s.d. 2021. Pengertian rumah permanen, merujuk pada penggunaan material dan bentuk konstruksinya. Menurut Sumarni (2018), jenis bangunan rumah ini dibedakan menjadi jenis bangunan rumah permanen, semi permanen, dan non permanen dengan kriteria rumah permanen memiliki atap berupa genteng, berdinding tembok dan berlantai semen atau keramik. Rumah semi permanen memiliki ciri dinding setengah tembok dan setengah bambu, beratap genteng, asbes atau seng. Sedangkan rumah non permanen bercirikan berdinding kayu atau bambu, berlantai tanah dan beratap seng atau asbes.

Beberapa rumah permanen, semi permanen dan non permanen menunjukkan kerusakan akibat gempa bumi Cianjur 2022. Bangunan permanen mengalami kerusakan mulai dari kerusakan pada atap (Gambar 7) kerusakan pada tembok (Gambar 8) dan kerusakan pada keseluruhan bangunan (Gambar 9). Sedangkan kerusakan pada bangunan semi permanen dan non permanen, pada umumnya disebabkan oleh kegagalan bangunan secara keseluruhan sebagaimana ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 7. Kerusakan atap pada rumah permanen



Gambar 8. Kerusakan tembok pada rumah permanen



Gambar 9. Kerusakan total pada rumah permanen





Gambar 10. Kerusakan pada bangunan semi permanen dan bangunan permanen

Meski begitu pola kerusakan yang terjadi dapat dikatakan sporadis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Contoh kejadian kerusakan pada rumah-rumah yang terletak di desa yang tidak berpotongan dengan episentrum gempa bumi ditunjukkan pada Gambar 11 (kondisi yang lain dapat terwaikili oleh foto tersebut), terlihat bahwa di sekitar rumah yang mengalami kegagalan total, masih berdiri utuh rumah-rumah di sekitarnya dengan kerusakan minor atau bahkan tanpa mengalami kerusakan. Rumah yang mengalami kegagalan tersebut tergolong rumah permanen. tetapi jika diperhatikan kegagalan yang dialami berupa kegagalan struktur. Sehingga dapat dikatakan bahwa kerusakan bangunan yang lokasinya berada jauh dari episentrum dipicu oleh kualitas bangunan yang rendah.



Gambar 11. Rumah-rumah masih utuh di sekitar rumah yang rusak total di Desa Talaga

Dalam peta kerentanan gerakan tanah Kementerian ESDM (2019) sudah diberikan rekomendasi di mana zona dengan kerentanan gerakan tanah tinggi sebaiknya dihindari sebagai lokasi pemukiman atau lokasi bangunan. Kemudian apabila akan didirikan bangunan pada lokasi dengan zona kerentanan menengah, direkomendasikan untuk melakukan penyelidikan kemantapan lereng atau perencanaan yang lebih mendalam dibandingkan dengan perencanaan untuk lokasi dengan kategori zona kerentanan rendah dan sangat rendah.

D. KESIMPULAN

Pola sebaran rumah terdampak kerusakan akibat gempa bumi Cianjur 2022 baik pada zona terlarang dan zona terbatas memiliki pola yang sama, yaitu persentase jumlah rumah terdampak kerusakan tertinggi berada pada zona dengan kerentanan gerakan tanah menengah. Hal ini dimungkinkan karena mutu bangunan (dari sisi material maupun desain) yang dibangun pada lokasi dengan zona kerentanan menengah, sama atau bahkan lebih rendah dari pada bangunan pemukiman yang dibangun pada zona dengan kerentanan gerakan tanah rendah dan sangat rendah. Studi ini diharapkan dapat menjadi masukan dan menjadi pembelajaran bersama bagi semua pihak untuk mitigasi kejadian serupa di waktu yang akan datang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami haturkan kepada Jurusan Teknik Sipil FTSP UII yang telah mendanai studi pasca gempabumi Cianjur 2022 yang telah dilaksanakan pada Feburari 2023.

DAFTAR PUSTAKA

Administrator, S. (2023, January 08). Peta Bahaya Gempabumi Cianjur (dengan Sumber Gempa Patahan Cugenang). Retrieved from BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA Web Site: https://www.bmkg.go.id

Anonim. (2019). Zona Kerentanan Gerakan Tanah. Retrieved from ESDM One Map: onemap.esdm.go.id

BMKG, B. M. (2022, November 21). Shakemap BMKG. Retrieved from Global Shakemap: http://shakemap.bmkg.go.id/2022/11/20221121132110/intensity.html

BNPB, B. N. (2023). Data Informasi Bencana Indonesia. Retrieved from Data Informasi Bencana Indonesia: https://dibi.bnpb.go.id/xdibi2/read2/7670

Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., . . . Sunarjito. (2017). PETA SUMBER DAN BAHAYA GEMPA INDONESIA TAHUN 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Jakarta.

Komputer, W. (2015). Pemodelan SIG untuk Mitigasi Bencana. Elex Media Komputindo, Jakarta.

Kusmajaya, S., & Wulandari, R. (2019). "Kajian Risiko Bencana Gempabumi di Kabupaten Cianjur". Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana, 10(1), 39-51.

Mala, B. K., Moniaga, I. L., & Karongkong, H. H. (2017). "Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Bahaya Longsor Dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis Di Kolonodale Kabupaten Morowali Utara". Spasial, 4(3), 155-166.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) No. 22/PRT/M/2007 Tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor. (2007). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Direktoral Jenderal Penataan Ruang.

Putratama, R. (2022, Desember 10). Gempa Cianjur Disebabkan Sesar Cugenang, BMKG Dorong Pemkab Cianjur Relokasi 9 Desa. Retrieved from BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA Web site: https://www.bmkg.go.id

Rahmaddi, P. N. (2021). Visualisasi Pedoman Pelaksanaan Survei Untuk Pemeliharaan & Perawatan Rusun Melalui Buku Pedoman Survei Di Lingkup BP2P Jawa I. Balai Pelaksana Penyediaan Perumahan Jawa I, Jakarta.

Setiyono, U., Gunawan, I., Priyobudi, Yatimantoro, Hidayanti, Anggraini, S., . . . Simangunsong, G. (2018). KATALOG GEMPA BUMI SIGNIFIKAN DAN MERUSAK 1821-2017. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Jakarta.

Sumarni, N. (2018). Kualitas Hidup Penduduk di Sekitar Permukiman Teratur Kecamatan Ngamprah Kabupaten Bandung. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

Supendi, P., Priyobudi, Jatnika, J., Sianipar, D., Ali, Y. H., Heryandoko, N., . . . Sudrajat, A. (2022). Analisis Gempabumi Cianjur (Jawa Barat) Mw 5.6 Tanggal 21 November 2022. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Kelompok Kerja Sesar Aktif dan Katalog Gempabumi. Jakarta: 2022. Retrieved from https://prosesweb.bmkg.go.id/wp-content/uploads/Analisis-gempabumi-Cianjur_Supendi-dkk.-2022_rev-1.pdf

Zulfiar, M. H., Tamin, R. Z., Pribadi, K. S., & Imran, I. (2014). "Identifikasi Faktor Dominan Penyebab Kerentanan Bangunan Di Daerah Rawan Gempa, Provinsi Sumatera Barat". Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 116-125.

KAJIAN SEISMOLOGI DAN KERUSAKAN BANGUNAN GEMPA CIANJUR (21 NOVEMBER 2022)

Elvis Saputra
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang,Km. 14 Sleman
Email: elvis.saputra@uii.ac.id (corresponding author)

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah yang dikelilingi oleh 3 lempang aktif dunia sehingga sangat rentan akan terjadinya gempa bumi. Belum lama ini, 21 November 2022 Kabupaten Cianjur dilanda gempa dengan magnitude 5,6 Mw pada kedalaman sekitar 10 km. Sumber gempa utama terjadi di sekitar Sesar Cimandiri dan menyebabkan Kerugian materil dan korban jiwa. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak bencana gempa bumi adalah mengkaji perilaku karakteristik gempa bumi dan jenis kerusakan bangunan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji karakteristik peristiwa gempa bumi Kabupaten Cianjur dan mengidentifikasi jenis-jenis kerusakan bangunan akibat guncangan gempa. Metode penelitian ini adalah dengan survei langsung di lapangan untuk mengidentifikasi kerusakan bangunan dan kajian seismologi ditentukan berdasarkan data penelitian terdahulu. Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa gempa yang terjadi di Cianjur tidak menyebabkan patahan yang menerus ke permukaan sehingga area patahan tidak terlihat dengan jelas, namun area patahan dapat didekati berdasarkan sebaran episenter gempa dan menunjukkan bahwa sebaran memanjang arah Barat Daya – Timur Laut dengan panjang kurang lebih 12 km dan lebar 8 km. Gempa dangkal yang terjadi di Cianjur menyebabkan dominasi kerusakan terjadi pada bangunan rumah tinggal. Sebagian besar faktor penyebab kerusakan bangunan yang terjadi di Cianjur adalah karena belum mengikuti prinsip-prinsip bangunan tahan gempa, seperti kualitas material yang kurang baik dan sistem struktur yang kurang menyatu.

Kata kunci: Cianjur, karakteristik gempa, kerusakan bangunan

A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik aktif, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Indo-Australia sehingga sangat rawan terhadap gempa. Zona subduksi jawa memiliki frekuensi gempa yang lebih rendah dibandingkan dengan subduksi sumatera. Hal tersebut dikarenakan sudut penunjaman subduksi di jawa relatif lebih besar sehingga lempeng Samudra yang menghujam tidak bersinggung kuat dengan lempeng benua di atasnya yaitu lempeng Eurasia (PuSGeN, 2017). Meskipun demikian, potensi terjadi kejadian gempa besar akan mungkin terjadi. Periode seismisitas dalam waktu yang panjang mengidentifikasikan adanya locked patches yang terisolasi dan pada akhirnya akan menghasilkan gempa dengan energi yang besar.

Sumber gempa aktif di jawa didominasi oleh sumber gempa patahan atau sesar. Beberapa sesar utama yang sudah lama diidentifikasi antara lain sesar Bribis-Cintaduy, Sesar Lembang, dan sesar Cimandiri. Belum lama ini, tepatnya pada 21 November 2022 Kabupaten Cianjur dilanda gempa dengan magnitude 5,6 Mw pada kedalaman sekitar 10 km. Sumber gempa utama terjadi pada daerah sekitar Sesar Cimandiri. Sesar Cimandiri memiliki panjang sekitar 100 km dari padalarang Pelabuhan Batu di Jawa Barat (PuSGeN, 2017). Berdasarkan history kejadian gempa, banyak gempa dengan kekuatan besar pernah terjadi pada zona ini sesar ini, sehingga perlu menjadi perhatian lebih lanjut.

Bencana gempa bumi merupakan salah satu bencana yang paling banyak menelan korban jiwa. Berdasarkan laporan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) per tanggal 29 November 2022, tercatat korban jiwa gempa Cianjur sebanyak 327 orang dan ribuan bangunan mengalami kerusakan berat hingga ringan. Gempa bumi yang terjadi di Cianjur dikategorikan sebagai gempa dangkal dengan karakteristik diawali dengan terjadi gempa utama kemudian diikuti oleh beberapa gempa susulan. Kedalaman sumber gempa yang dangkal menjadi salah satu pemicu penyebab kerusakan bangunan dan banyaknya korban jiwa yang berjatuhan.

Belajar dari beberapa kejadian gempa merusak yang terjadi di Indonesia, sudah seharusnya dapat menjadi pembelajaran dalam upaya mitigasi kedepan. Kurangnya pengetahuan tentang lokasi wilayah rawan gempa, membuat pendirian bangunan tidak dapat dikontrol. Selain dari itu, kurangnya pengetahuan tentang prinsip bangunan taha gempa menjadi faktor pemicu banyaknya bangunan yang mengalami rusak berat. Mengkaji perilaku karakteristik gempa bumi dan jenis kerusakan bangunan merupakan salah bentuk upaya mitigasi bencana, karena dapat memberikan informasi seputar kegempaan ke publik. Oleh karena itu, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengkaji karakteristik peristiwa gempa bumi Kabupaten Cianjur dan mengidentifikasi jenis-jenis kerusakan bangunan akibat guncangan gempa.

Sesar Cimandiri

Sebelah utara pulau jawa terdapat pertemuan antara lempeng tektonik Eurasia dan Indo-Australia sehingga menyebabkan munculnya beberapa sesar sebagai bentuk akomodasi stress oleh subduksi. Sesar-sesar utama yang telah teridentifikasi di Pulau Jawa yaitu di Provinsi Jawa Barat teridentifikasi Sesar Cimandiri, Sesar Bribis, dan Sesar Lembang. Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta teridentifikasi sesar Opak. Sesar Pati teridentifikasi di Jawa Tengah dan selanjutnya adalah sesar Kendeng yang memanjang dari Jawa Timur hingga Jawa Tengah (PuSGeN, 2017).

Sesar Cimandiri memanjang melewati beberapa wilayah pemukiman, yaitu Cianjur, Pelabuhan Ratu, Padalarangan, dan Sukabumi. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan oleh PUSGEN, Mekanisme Sesar Cimandiri ialah sesar geser mengiri dengan kecepatan 2 sampai 5 mm per tahun dan tercatat telah terjadi beberapa gempa besar dan merusak, yaitu tahun 1900 (gempa Pelabuhan Ratu), tahun 1910 (gempa Padalarang), tahun 1948 (gempa Congeang), dan beberapa gempa berikutnya.

Bangunan Tahan Gempa

Filosofi bangunan tahan gempa bukanlah bangunan yang sangat kuat dan tidak mengalami kerusakan sama sekali ketika terjadi gempa besar, tetapi bangunan yang tidak mengalami keruntuhan ketika terjadi gempa dan jika terjadi kerusakan masih dapat diperbaiki. Bangunan yang benar-benar sangat kuat dan tidak mengalami kerusakan ketika terjadi gempa akan membutuhkan biaya yang sangat mahal dan fakta di lapangan, konsep bangunan seperti itu sulit untuk direalisasi-kan dan secara umum tidak diinginkan karena besarnya biaya pembangunan. Sehingga filosofi bangunan tahan gempa yang memperhitungkan sisi ekonomis menurut (Pawirodikromo, 2012) sebagai berikut:

Struktur utama bangunan tidak boleh rusak dan dapat berfungsi dengan baik ketika dilanda oleh gempa dengan kekuatan yang relatif kecil. Kerusakan pada elemen non-struktural diizinkan, struktur utama bangunan boleh mengalami kerusakan ringan dan masih ekonomis untuk diperbaiki ketika dilanda oleh gempa dengan kekuatan sedang. Kerusakan elemen non-struktur yang rusak dapat diganti dengan yang baru

Struktur utama bangunan boleh mengalami kerusakan yang lebih tetapi bangunan tidak mengalami keruntuhan total ketika dilanda oleh gempa berkekuatan cukup besar.

Dari ketiga poin diatas dapat kita pahami bahwa filosofi bangunan tahan gempa ialah ketika gempa besar maka keruntuhan bangunanlah yang tidak diharapkan atau jangan sampai terjadi. Hal tersebut dikarenakan korban jiwa akibat gempa bumi kebanyakan disebabkan oleh tertimpa reruntuhan bangunan dan bukan karena gempa itu sendiri, sehingga sudah menjadi keharusan bahwa untuk mencegah jatuhnya korban jiwa maka bangunan-bangunanlah yang harus diperkuat terutama pada bangunan-bangunan penting seperti rumah sakit, sekolah, tempat-tempat publik lainnya.

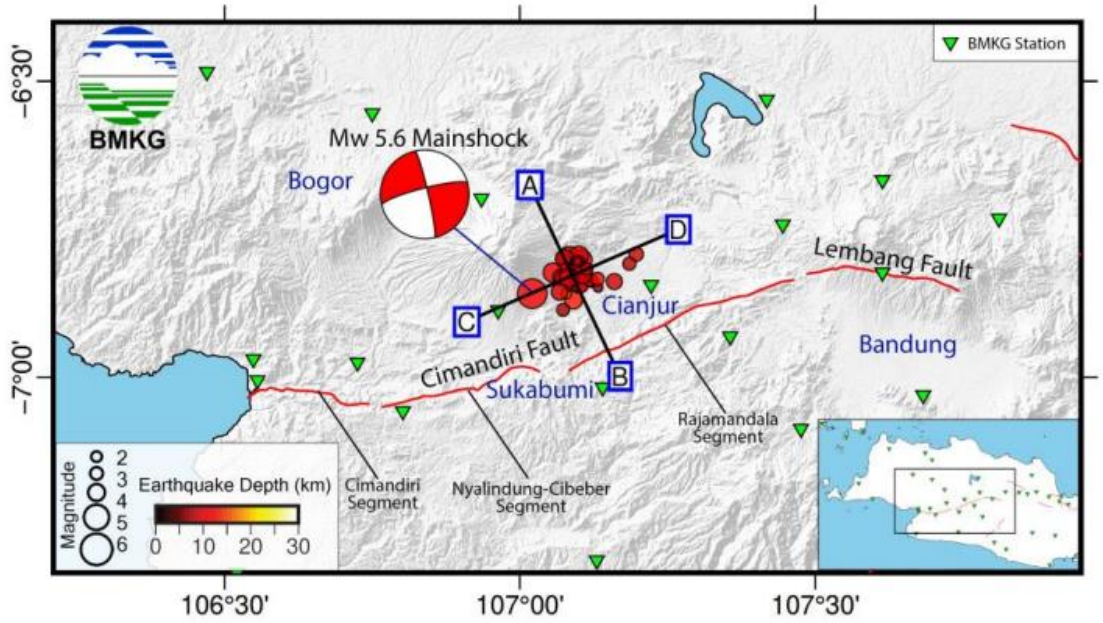
B. METODE

Metode yang dilakukan dalam proses pengambilan data kerusakan bangunan adalah dengan melakukan survei langsung ke lokasi kejadian di Cianjur untuk melihat berbagai kerusakan bangunan yang terjadi dan mendokumentasikannya. Data kerusakan bangunan yang diperoleh kemudian diklasifikasikan menurut tingkat kerusakan dan dianalisis untuk memprediksi penyebab kerusakan. Kajian seismologi gempa Cianjur dianalisis berdasarkan data penelitian terdahulu.

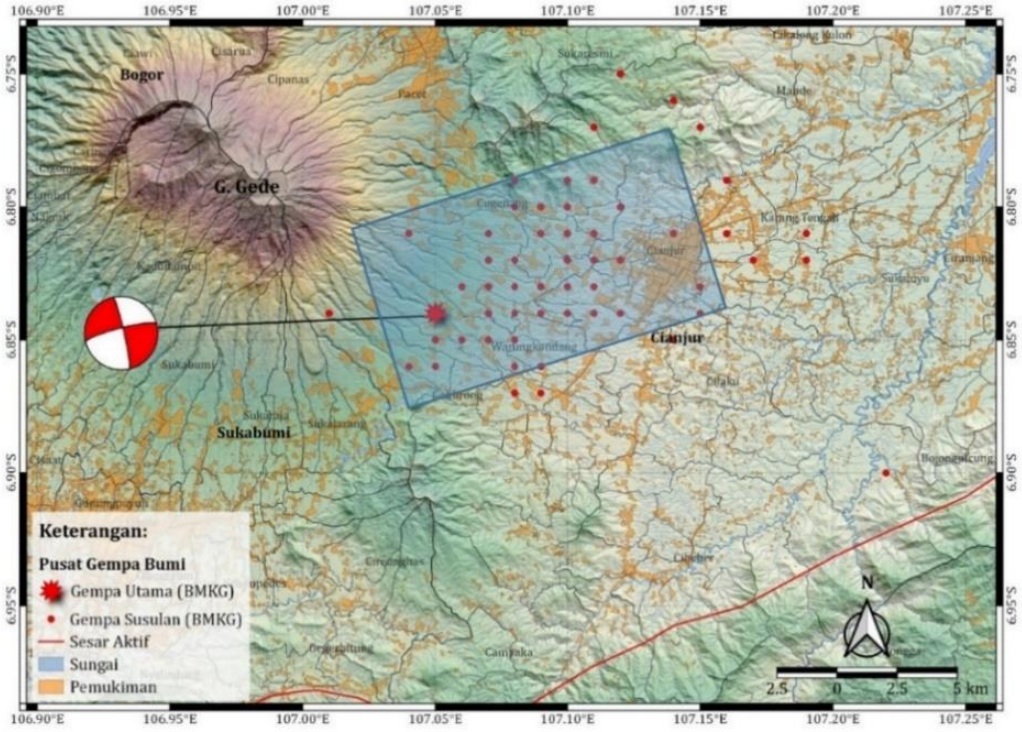
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian seismologi gempa cianjur

Kejadian gempa Cianjur terjadi pada tanggal 21 November 2022 dengan kekuatan gempa bumi 5,6 Mw pada kedalaman 10 km. kejadian gempa cianjur termasuk gempa dangkal yang diikuti dengan gempa utama dan gempa susulan. Gempa utama terjadi di sekitar utara sesar Cimandiri segmen Rajamandala dan gempa susulan terjadi di sebelah timur laut dari gempa utama (Supendi et al., 2022). Sebaran data gempa utama dan susulan dapat dilihat pada Gambar 1.

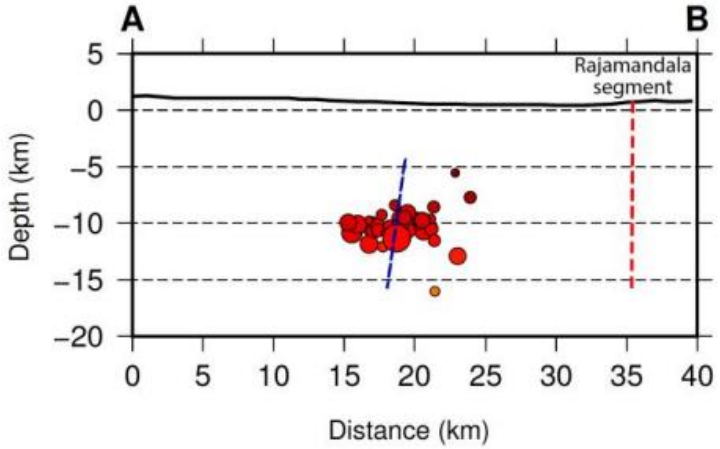


Gambar 1a. Sebaran gempa utama dan susulan gempa Cianjur (Supendi et al., 2022)



Gambar 1b. Sebaran gempa utama dan susulan gempa Cianjur (Badan Geologi, 2022)

Besaran energi gempa yang terjadi di Kabupaten Cianjur tidak menyebabkan terjadinya patahan yang menerus ke permukaan (*surface rupture*), sehingga bidang patahan tidak dapat dilihat secara langsung. Namun, pergerakan bidang patahan dapat diperkirakan dari data sebaran episenter gempa utama dan gempa susulan. Jika dilihat pada Gambar 1, area sebaran memanjang dengan arah Barat Daya – Timur Laut dengan lebar dan panjang berkisar 8 dan 12 km seperti yang dimuat dalam Gambar 2.

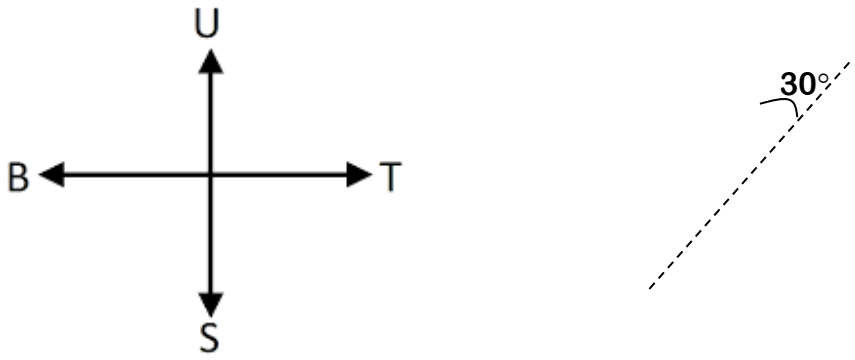


Gambar 2. Interpretasi sesar gempa Cianjur (Supendi et al., 2022)

Analisis lebih lanjut terhadap sumber gempa yang terjadi di Kabupaten Cianjur telah dilakukan oleh Badan Geologi. Hasil dari investigasi di lapangan ditemukan bahwa adanya retakan tanah dengan arah N 30° E dengan offset mengiri 1 – 3 cm seperti yang terlihat pada Gambar 3. Jika keterangan tersebut divisualisasikan maka akan terlihat seperti Gambar 4.

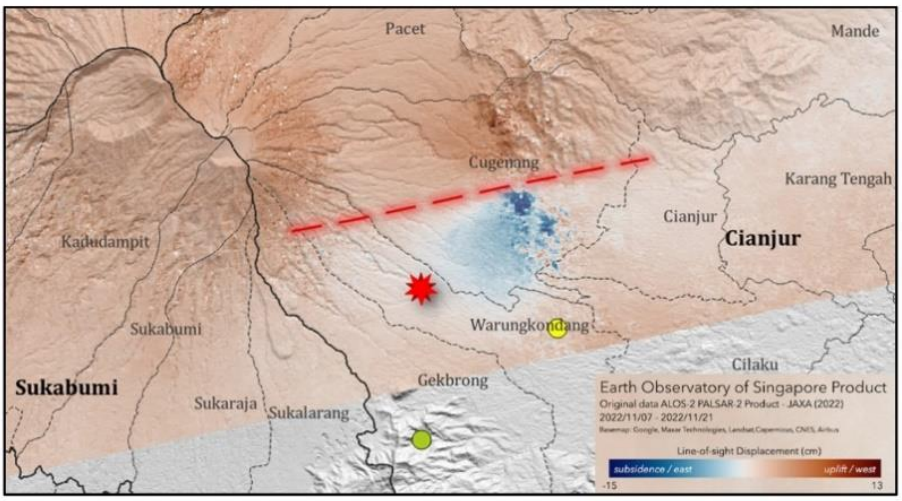


Gambar 3. Temuan retakan gempa 21 November 2022 di Desa Gasol, Kecamatan Cugenang (Badan Geologi, 2022)



Gambar 4. Sudut retakan tanah di Cugenang

Berdasarkan keterangan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 4, episentrum gempa berkekuatan 5,6 M_W tersebut mengindikasikan adanya sesar dengan mekanisme geser ke kiri yang berarah barat daya-timur laut (dip (kemiringan bidang sesar) ke arah barat laut) sejajar dengan sesar Cimandiri segmen Rajamandala. Hal tersebut dapat dilihat dari sebaran fokus gempa susulan dengan membetuk pola arah Barat Daya-Timur Laut dengan jarak berkisar 15 km dari sesar Cimandiri segmen Rajamandala. Interpretasi patahan yang terjadi pada Gempa Cianjur dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Interpretasi sesar gempa Cianjur (Badan Geologi, 2022)

Analisis kerusakan bangunan

Gempa bumi merupakan peristiwa dinamik yang menyebabkan terjadinya tanah bergetar sehingga menimbulkan guncangan pada bangunan yang ada di atasnya. Besar kecilnya tingkat kerusakan bangunan dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu frekuensi gempa, durasi gempa, dan percepatan tanah puncak (*Peak Ground Acceleration*, PGA). Dari beberapa parameter yang berpengaruh tersebut, frekuensi gempa dinilai menjadi yang paling berpengaruh (Widodo, 2001). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Faizah, 2017) tantang pengaruh frekuensi terhadap respon struktur bangunan, disimpulkan bahwa semakin rendah frekuensi gempa, maka semakin tinggi gaya geser dasar dan perpindahan yang terjadi pada struktur dan begitu sebaliknya pada bangunan relatif rendah simpangan yang terjadi relatif lebih kecil.

Besar kecilnya tingkat kerusakan bangunan dalam konsep getaran ialah bahwa suatu struktur akan mengalami rusak berat bila frekuensi getaran tanah mendekati frekuensi getaran bangunan atau yang disebut resonansi (Pawirodikromo, 2012). Frekuensi getaran dan daya guncang yang terjadi di permukaan tanah salah satunya dipengaruhi oleh jarak pusat gempa atau kedalam gempa. Gempa dangkal (0-70 km) umumnya cederung berpotensi lebih merusak hal tersebut dapat dilihat dari riawayat kerjadi gempa terdahulu. Sedangkan frekuensi getaran struktur bangunan dipengaruhi oleh kekakuan bangunan atau jika merujuk pada (Badan Standarisasi Nasional, 2019) pendekatan periode getar struktur dapat ditentukan dengan persamaan,

$$T_a = C_t h_n^x$$

Dimana:

hn adalah tinggi struktur (m), di dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien *Ct* dan *x* ditentukan dari Tabel 18 dalam SNI 1726-2019.

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa periode getar struktur dipengaruhi oleh tingkat/tinggi bangunan. Jika pembahasan diatas kita hubungkan dengan kejadian gempa Cianjur yang merupakan kategori gempa dangkal, maka akan berpotensi merusak karena jarak rambat gelombang getar yang relatif dekat sehingga pengurangan energi belum terlalu besar dan frekuensi yang terjadi diperkirakan sedang-tinggi dan artinya bangunan yang berisiko adalah bangunan-

bangunan rendah atau rumah tinggal. Berdasarkan laporan dari halaman resmi website BNPB data per tanggal 24 November 2022 sebanyak 56.311 rumah mengalami kerusakan yang terdiri dari 22.267 rusak berat, 11.836 rusak sedang, dan 22.208 rusak ringan. Selain dari faktor seismologi, besarnya tingkat kerusakan yang terjadi di Kabupaten Cianjur juga dipengaruhi oleh pendirian bangunan yang belum menerapkan prinsip bangunan tahan gempa. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan ditemukan beberapa jenis kerusakan yang terjadi berikut ini.

Kualitas campuran beton

Bahan penyusun campuran beton sangat penting diperiksa terlebih dahulu sebelum dilakukan pencampuran. Bahan penyusun yang tidak memenuhi syarat dan ketentuan campuran akan mempengaruhi mutu campuran tersebut nantinya. Seperti yang terlihat pada Gambar 6, kadar lumpur yang terkandung pada campuran beton dipenuhi oleh lumpur. Hal tersebut dapat dilihat dari warna yang kecokelatan dan juga mudah rapuh ketika dikikis atau ditekan. Seperti yang kita tahu bahwa dalam campuran beton berdasarkan SK SNI S–04–1989–F kadar lumpur agregat halus dibatasi kurang dari 5% sedangkan pada Gambar 6 terlihat kadar lumpur yang terkandung melebihi ketentuan maksimum. Lumpur yang tidak dapat menjadi satu dengan semen akan menghalangi penggabungan antara semen dan agregat (Purwanto & Priastiwi, 2017) sehingga kualitas campuran akan menjadi kurang baik dan mudah rapuh ketika menerima beban atau guncangan gempa.



Gambar 6. Campuran beton dipenuhi oleh kandungan lumpur

Pertemuan elemen balok dan kolom

Pada saat struktur beton bertulangan menahan beban maka akan timbul tegangan lekatan pada permukaan singgung antar tulangan dan beton. Dengan kondisi tertentu, berpotensi terjadi penggilinciran lokal apabila dibiarkan akan menyebabkan kondisi retak semakin parah. Panjang penyaluran memilki pengaruh terhadap kuat cabut, berdasarkan penelitian oleh (Ginting, 2019) bahwa kekuatan cabut berbanding lurus dengan panjang penyaluran. Penggilinciran tulangan juga dapat diatas dengan memberikan jangkaran pada ujung atau pertemuan balok dan kolom. Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa terjadi pelepasan antara balok dan kolom, hal tersebut terjadi karena tidak adnya penjangakaran tulangan balok ketika bertemu dengan kolom.



Gambar 7. Pertemuan tulangan balok dan kolom yang tidak terhubung dengan baik

Kait standar tulangan geser

Tulangan geser pada balok memiliki peranan penting dalam menahan gaya geser yang terjadi akibat beban luar bekerja. Dalam SNI (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dijelaskan bahwa pada area rawan gempa disarankan untuk menggunakan kait sengkang dengan sudut 135°. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa pemasangan kait tulangan geser belum sesuai dengan ketentuan pada SNI 2847-2019, sehingga ketika terjadi goncangan gempa tulangan tersebut lebih mudah untuk tersebut atau sengkangnya terbuka.



Gambar 8. Kait tulangan geser terlepas

Penerapan prinsip balok lebih kuat dari kolom

Salah satu kaidah penting dalam perencanaan bangunan adalah penerapan prinsip *strong column weak beam* (kolom lebih kuat dari balok). Prinsip ini mengskenariokan keruntuhan terjadi secara gradual mulai dari balok-pelat kemudian kolom. Penerapan prinsip ini diharapkan terhindar dari keruntuhan secara tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda sebelumnya. Gambar 9 merupakan contoh kegagalan struktur yang tidak memenuhi prinsip *strong column weak beam.* Terlihat kolom eksterior

pada bangunan 2 lantai tersebut mengalami keruntuhan sedangkan baloknya masih kokoh. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kolom yang didesain memiliki kekuatan yang lebih rendah dari balok. Kemungkinan faktor penyebab lainnya kegagalan struktur tersebut karena detail sambungan yang tidak kokoh. Dalam SNI 2847-2019 dijelaskan bahwa kekuatan kolom harus lebih besar 20% dari kekuatan balok *(∑Mn kolom > 1,2 ∑Mn balok*).



Gambar 9. Kegagalan kolom dan sambungan

Dinding

Pada saat kejadian gempa dinding akan menerima beban pada arah sejajar dan tegak lurus dinding. Dinding tidak memiliki kekuatan yang cukup kuat pada saat menerima beban pada arah tegak lurus dinding. (Saputra & Faizah, 2019). Oleh karena itu, diperlukan perkuatan seperti kolom dan balok sebagai pengikat dan ditambahkan angkur sebagai pengikat antara dinding dan kolom. Pada Gambar 10 terlihat bahwa pada sudut dinding tidak terdapat elemen kolom dan tulangan sehingga ketika terjadi guncangan dinding tersebut dapat terlepas dengan mudah dan berisiko jatuh dan menimpa penghuninya. Selain perkuatan kolom, pemasangan dinding juga harus memperhatikan luasan dinding yang terkekang. Dinding disarankan diberikan kolom praktis dan balok pengikat pada luasan > 9 m^2. Gambar 11 merupakan salah satu contoh kegagalan dinding karena area luasan yang terlalu besar sehingga dinding tersebut tidak kuat menahan gaya gempa yang bekerja arah tegak lurus dinding.



Gambar 10. Dinding tanpa perkuatan



Gambar 11. Dinding lepas dari ikatan balok-kolom



Gambar 12. Penampakan rumah pasca gempa Cianjur

Dari beberapa kasus yang dijelaskan diatas bahwa dapat pahami bahwa sebagian besar kerusakan bangunan yang terjadi adalah karena belum mengikuti prinsip-prinsip bangunan tahan gempa, seperti kualitas material yang kurang baik dan sistem struktur yang kurang menyatu. Hal tersebut dibuktikan dengan fakta dilapangan bahwa bangunan yang dibangun dengan sistem struktur yang baik kualitas material yang baik masih dapat kokoh berdiri pasca gempa Cianjur seperti yang terlihat pada Gambar 12. Pada Gambar tersebut dapat diamati bahwa terdapat perbedaan yang mencolok dimana rumah yang ada di depannya sudah hancur total sedangkan bangunan tersebut masih terlihat kokoh dan hanya mengalami kerusakan non-struktural.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dapat diambil kesimpulan bahwa gempa yang terjadi di Cianjur tidak menyebabkan patahan yang menerus ke permukaan sehingga area patahan tidak terlihat dengan jelas, namun area patahan dapat didekati berdasarkan sebaran episenter gempa dan menunjukkan bahwa sebaran memanjang arah Barat Daya – Timur Laut dengan panjang kurang lebih 12 km dan lebar 8 km. Gempa dangkal yang terjadi di Cianjur menyebabkan dominasi kerusakan terjadi pada bangunan rumah tinggal. Sebagian besar faktor penyebab kerusakan bangunan yang terjadi di Cianjur adalah karena belum mengikuti prinsip-prinsip bangunan tahan gempa, seperti kualitas material yang kurang baik dan sistem struktur yang kurang menyatu.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2019). persyaratan SNI 2847 : 2019 persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan sebagai revisi dari SNI 2847 : 2013 persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. *Badan Standardisasi Indonesia*, *8*.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung* (Issue 8). BSN.

Faizah, R. (2017). Pengaruh Frekuensi Gempa Terhadap Respons Bangunan Bertingkat. *Seminar Nasional Teknik Sipil V Tahun 2015 – UMS*, *May 2015*.

Ginting, A. (2019). Pengaruh Panjang Penyaluran Terhadap Kuat Cabut Tulangan Baja. *Jurnal Teknik Sipil*, *6*(1), 1–9. https://doi.org/10.28932/jts.v6i1.1323

Pawirodikromo, W. (2012). *Seismology Teknik & Rekayasa Kegempaan* (Cetakan Pe). Pustaka Pelajar.

Purwanto, & Priastiwi, Y. A. (2017). Pengaruh Kadar Lumpur Pada Agregat Halus Dalam Mutu Beton. *TEKNIK*, *33*, 46–52. P Purwanto, YA Priastiwi - Teknik, 2012 - ejournal.undip.ac.id

PuSGeN. (2017). *Peta Sumber Daya dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* (Cetakan Pe). Pustlitbang PUPR.

Saputra, E., & Faizah, R. (2019). Kajian Kerusakan Bangunan Sederhana Pasca Gempa Banjarnegara 18 April 2018. *Agregat*, *4*(1), 295–302. https://doi.org/10.30651/ag.v4i1.2816

Supendi, P., Priyobudi, Jatnika, J., Sianipar, D., Ali, Y. H., Heryandoko, N., Daryono, Adi, S. P., Karnawati, D., Anugerah, S. D., Fatchurochman, I., & Sudrajat, A. (2022). Analisis Gempabumi Cianjur (Jawa Barat) Mw 5.6 Tanggal 21 November 2022. *Badan Meterorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG)*, *November*, 1–4.

Widodo. (2001). *Respon Dinamik Struktur Elastik*. UII Press.

IDENTIFIKASI DAN PEMETAAN POTENSI BENCANA ALAM DI KELURAHAN LEKOBALO KOTA GORONTALO

Moh. Yusuf Tuloli
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Kabupaten Bone Bolango
Email: mohammad.tuloli@ung.ac.id

ABSTRAK

Bencana alam merupakan sebuah hal yang tidak diinginkan oleh semua umat manusia dan kehadirannya sering tidak terduga. Manusia hanya dapat memprediksi dan melakukan upaya mitigasi. Salah satu upaya mitigasi yang dapat dilakukan adalah dengan mengetahui potensi bencana alam yang dapat terjadi. Seperti di Kelurahan Lekobalo, terdapat daerah yang memiliki lereng sangat curam serta daerah yang sering tergenang, sehingga perlu dilakukan upaya mitigasi untuk memastikan potensi bencana dan titik lokasinya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memetakan potensi bencana alam di Kelurahan Lekobalo Kota Gorontalo. Pemetaan potensi bencana alam berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Seluruh data baik yang diperoleh langsung di lapangan maupun dari citra satelit diolah menggunakan Arc GIS dengan mengubah data DEM ke data slope dan diklasifikasi. Hasil penelitian berupa peta potensi bencana alam menunjukkan potensi tanah longsor terdapat di RW 1, RW 2, RW 3 dan RW 4 yang berada di RT 2, sedangkan potensi banjir terdapat di seluruh RW yang berada di sepanjang Sungai Tapodu. Peta yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan rujukan untuk mitigasi bencana alam di Kelurahan Lekobalo. Mitigasi yang dapat dilakukan adalah membuat perkuatan tebing di titik-titik rawan longsor serta pembangunan tanggul di sepanjang Sungai Tapodu untuk meminimalisir banjir.

Kata kunci: Identifikasi, Pemetaan, Potensi Bencana, Mitigasi.

A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang sering dilanda bencana. Kita sering mendengar kejadian-kejadian bencana yang terjadi di Indonesia termasuk di Gorontalo. Bencana itu sendiri adalah suatu rangkaian peristiwa alam maupun non-alam yang bersifat dapat merugikan manusia (BNPB, 2021). Bencana alam merupakan gejala yang dapat terjadi kapan dan dimana saja, menimpa siapa saja dan membawa resiko negatif atau kerugian bagi kehidupan manusia, Jody dkk (2022). Bencana alam terdiri dari banjir, abrasi dan tanah longsor. Bencana non-alam terdiri dari epidemi dan wabah penyakit (BNPB, 2021). Kelurahan Lekobalo yang merupakan salah satu kelurahan yang ada di Kota Gorontalo, terdapat dua bencana alam yang potensial terjadi yaitu longsor dan banjir/genangan.

Tanah longsor merupakan pergerakan tanah yang terjadi secara alami dan terkait dengan hal-hal yang bersifat non alami (Rahmad et al., 2018; Rossi et al., 2019). Menurut SNI 8291:2016, longsor adalah suatu gerakan dimana material pembentuk lereng bergerak keluar/menuruni lereng. Material ini berupa tanah, batuan, puing-puing atau material campuran. Longsor tersebut disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor pendorong dan faktor pemicu. Faktor pemicu adalah faktor yang dapat menyebabkan material bergerak sehingga mengakibatkan ketidakseimbangan komposisi lereng dan faktor pendorong adalah faktor yang mempengaruhi kondisi material itu sendiri (Faizana, 2015) dan dapat juga diakibatkan oleh ketidakstabilan lahan yang disebabkan oleh

manusia (Sawaki et al., 2020; Comert et al., 2019). Menurut Pánek et al., (2019), kejadian longsor karena adanya proses alami dalam perubahan struktur permukaan bumi dan adanya instabilitas pada tanah atau batuan penyusun lereng. Instabilan dari lereng dipengaruhi kondisi geomorfologi terutama faktor: a) kemiringan lereng, b) kondisi batuan/tanah penyusun lereng, c) kondisi hidrologi dari lereng (Li et al., 2019). Dalam penelitian ini lebih difokuskan pada faktor kemiringan lereng.

Longsor juga sering disebut sebagai gerakan massa yaitu perpindahan tanah, massa batuan serta regolit karena adanya gravitasi dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah (Tim Bejis Project, 2005). Daerah-daerah dengan lereng yang curam/terjal merupakan daerah yang sering terjadi bahaya longsor. Adanya perpindahan batuan, bahan rombakan, tanah yang merupakan material pembentuk lereng dan meluncur atau bergerak ke bagian bawah dari atas lereng mengakibatkan terjadinya tanah longsor. Prinsipnya tanah longsor (gerakan massa) akan terjadi bila gaya yang mendorong di lereng bagian atas lebih besar dari pada gaya yang menahan. Lereng yang terjal, adanya beban karena lapisan kedap air, intensitas curah hujan yang sangat tingi, berat jenis tanah serta ketebalan sollum tanah adalah beberapa faktor yang menjadi gaya pendorong.

Kawasan rawan longsor dibagi atas 3 (tiga) tipologi yaitu tipologi A, B, dan C. Ilustrasi tentang tipologi rawan longsor ditampilkan pada Gambar 1.

Tipologi A yang terdiri atas perbukitan dan lereng gunung, dengan ciri-ciri:

1. Kelerengan yang curam (lebih besar 20° atau lebih besar dari 40%),
2. intensitas curah hujan tahunan lebih besar dari 2500 mm,
3. adanya rembesan air/mata air yang mucul di lereng,
4. jenis longsor (a. jatuhan, b. luncuran, c. aliran),
5. memiliki gerakan cepat lebih dari 2 meter perhari sampai 25 meter permenit,
6. Potensi kerusakan sangat tinggi.

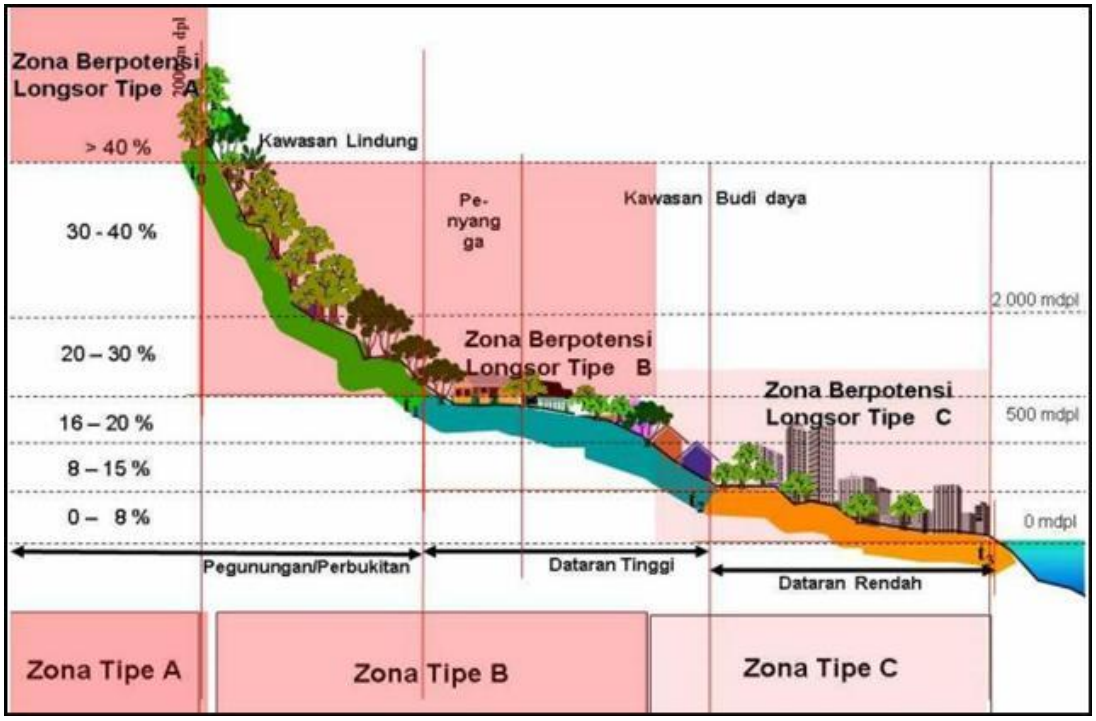
Tipologi B terdiri atas perbukitan serta daerah kaki gunung dengan ciri-ciri:

1. kelandaian lereng berkisar antara 10 sampai 20° atau 20 sampai 40%,
2. intensitas curah hujan tahunan lebih besar dari 2500 mm,
3. pada lereng sering muncul/terjadi rembesan air,
4. longsoran jenis rayapan,
5. gerakan tanahnya lambat sampai dengan sedang sekitar 2 meter perhari,
6. Potensi kerusakan sedang.

Tipologi C yaitu tebing dan lembah sungai dengan ciri-ciri:

1) kelerengan tebing lebih besar 10° atau lebih besar 20%,
2) intensitas curah hujan tahunan lebih besar 2500 mm,
3) pada lereng sering terlihat adanya rembesan air,

Potensi kerusakan rendah.



Gambar 1. Tipologi kawasan rawan longsor

Selain longsor, bencana yang sering terjadi di Kelurahan Lekobalo adalah banjir. Bencana banjir adalah merupakan akibat adanya luapan air di atas muka air yang normal, sehingga luapan ini melampaui batas palung sungai atau danau. Luapan ini mengakibatkan lahan yang lebih rendah dan berada di pinggiran sungai atau danau akan tergenang. Pada umumnya, genangan ataupun banjir akan terjadi jika kondisi dari curah hujan yang normal terlampaui menjadi sangat tinggi (BNPB, 2012)

Putuhu (2015) menyatakan banjir dapat diklasifikasikan berdasarkan:

1. Sumber air:
   a. Dari sungai, karena adanya luapan dari air sungai.
   b. Dari danau, karena jebolnya bendungan ataupun luapan air danau yang tinggi.
   c. Dari pasangnya air laut pasang.
2. Mekanisme ataupun proses kejadian:
   a. Banjir reguler (biasa), karena kapasitas dari drainase atau pembuangan air terlewati.
   b. Banjir *irregular* (tidak biasa), karena adanya gelombang pasang, tsunami maupun dam runtuh.
3. Posisi sumber banjir:
   a. Banjir lokal, karena hujan lokal.
   b. Banjir *flash flood (*bandang*,* karena daerah tangkapan mengalami propagasi limpasan.
4. Faktor penyebabnya:
   a. Hujan intensitas rendah namun terjadi selama beberapa hari.
   b. Lapisan salju yang mengalami kenaikan suhu dengan cepa.
   c. Hujan dengan curah hujan yang sangat tinggi.
   d. *Back water* yang disebabkan oleh pasang surut atau air balik.

Kedua bencana alam yang potensial terjadi di Kelurahan Lekobalo ini perlu disosialisasikan kepada masyarakat untuk meminimalisir dampak yang mungkin terjadi. Untuk kemudahan informasi, perlu dibuatkan peta potensi bencana supaya masyarakat mengetahui titik-titik lokasinya. Dalam pembuatan peta potensi bencana, digunakan Sistem Informasi Geografis atau SIG yaitu sistem informasi peta berbasis komputer yang dapat digunakan sebagai pengolah dan penginterpretasian peta ke dalam bentuk 3D. SIG memiliki 5 (lima) aplikasi dasar yakni ArcMap, Arc Catalog, Arc globe, Arc scene, dan Arc toolbox yang dapat membantu dalam melakukan digitasi maupun overlay (Khomariyah N., L., dkk., 2022). Dalam pembuatan peta, diperlukan data-data/informasi yang menjadi dasar dalam penyusunan peta tersebut. Untuk itu dilakukan penelitian dengan tujuan mengidentfikasi dan memetakan potensi bencana alam di Kelurahan Lekobalo Kota Gorontalo. Hasil dari pemetaan ini diharapkan dapat menjadi salah satu dari upaya mitigasi bencana yang dapat dilakukan di Kelurahan Lekobalo serta dapat dipergunakan untuk memberikan informasi kebencanaan sebagai data dasar dalam perencanaan dan pengembangan kawasan wilayah di Kelurahan Lekobalo.

B. METODE

Metode penelitian bersifat kualitatif dengan pendekatan SIG dan merupakan penelitian eksploratif serta evaluatif dimana penelitian ini bertujuan untuk menemukan sesuatu yang baru yang dapat dikelompokkan menjadi suatu gejala atau fakta dengan dua kegiatan utamanya yaitu pengukuran atau pengumpulan data dan membandingkan hasil pengukuran dengan standar yang digunakan. Tahapan kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi atas tahapan untuk mengkaji potensi bencana longsor serta tahapan untuk mengkaji potensi bencana banjir.

Tahapan kajian potensi bencana tanah longsor terdiri atas:

1. Identifikasi kejadian longsor
2. Survei dan pengukuran kelerengan
3. Studi literatur
4. Analisis hasil dan pemetaan
5. Perumusan kesimpulan

Tahapan kegiatan dalam kajian potensi banjir adalah sebagai berikut:

1. Survei dan identifikasi permasalahan banjir di lokasi penelitian.
2. Studi literatur.
3. Analisis dan pemetaan.
4. Perumusan kesimpulan.

Alat bantu yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat survei (*theodolite*) serta aplikasi Arc GIS. Data yang didapat dispasialkan menggunakan aplikasi Arc GIS untuk dibuatkan peta potensi bencana. Tampilan *Peta* disesuaikan dengan kebutuhan serta efisiensi fungsi dari input berbagai data lapangan sehingga peta digital nantinya dapat menunjukan kondisi lapangan Untuk dapat membuat peta, sediakan data DEM untuk mengubah ke data slope selanjutnya membuat *reclassify* data *slope* menjadi 5 kelas lereng setelah data diubah diekspor menjadi format shapefile. Dari peta yang dihasilkan, dirumuskan skenario mitigasi yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

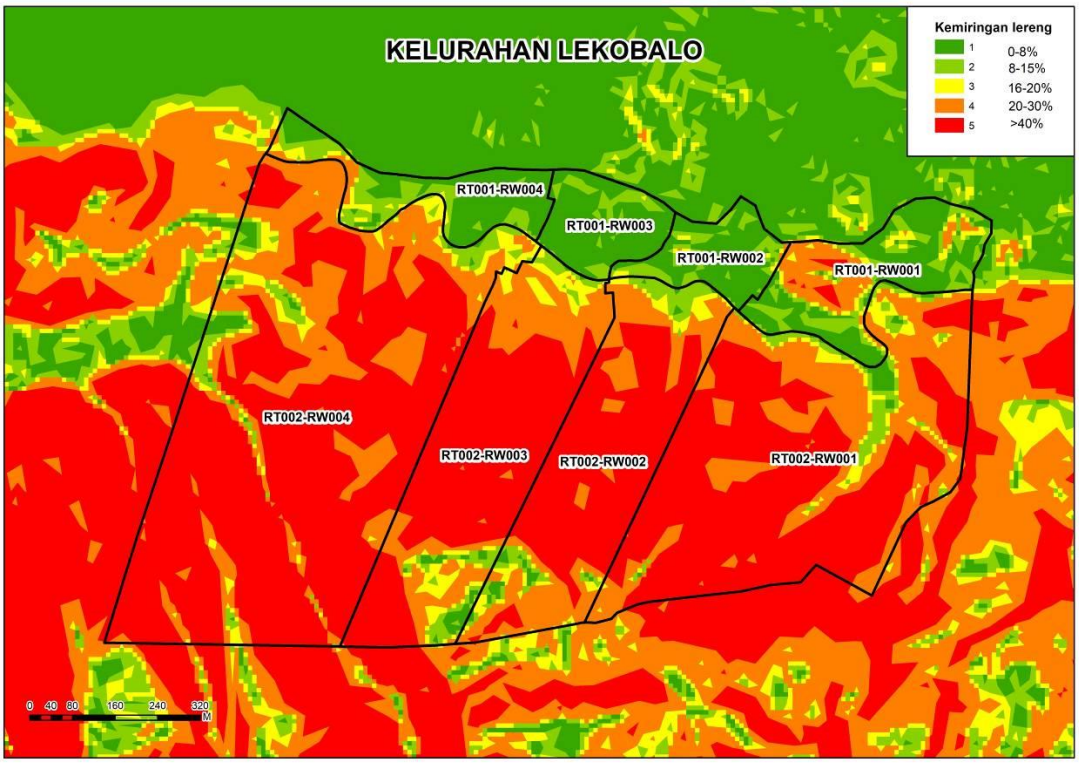
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data di lapangan diawali dengan survei pendahuluan berupa mencari informasi dasar yang diperoleh dari rekaman kejadian bencana, wawancara dengan masyarakat dan penelitian terdahulu yang pernah dilakukan di wilayah tersebut. Survei pendahuluan meliputi seluruh potensi bencana yang ada. Dari hasil wawancara dan peninjauan lapangan, hanya terdapat dua jenis bencana alam yang potensial terjadi. Setelah memperoleh gambaran awal tentang potensi bencana alam yang mungkin terjadi, dilanjutkan dengan identifikasi untuk lebih mendalami potensi bencana.

Pemetaan Potensi Longsor

Identifikasi potensi longsor di Kelurahan Lekobalo dilakukan dengan melakukan survei dan pendataan tingkat kelerengan di bagian perbukitan. Identifikasi ini dilakukan baik melalui pengukuran langsung di lapangan maupun melalui identifikasi di peta citra. Hasil identifikasi ini kemudian diolah dengan aplikasi Arc GIS sehingga menghasilkan peta kemiringan lereng yang menjadi rujukan dalam penentuan potensi longsor (Gambar 2). Kemiringan lereng dibagi ke dalam beberapa kelas kemiringan lereng untuk selanjutnya dinilai tingkat kerawanan longsornya berdasarkan tipologi rawan longsor yang ada.

Dari hasil penilaian berdasarkan tipologi kawasan rawan longsor, Kelurahan Lekobalo memiliki ketiga tipologi yang ada dimana pada wilayah ini terdapat dataran rendah, dataran tinggi dan perbukitan. Khusus perbukitan dengan kemiringan yang terjal (>40%) terdapat di RW 1, RW 2, RW 3 dan RW 4 di RT 2. Seluruh RW yang berada di RT 1 memiliki kemiringan lereng yang landai (0 – 20%) kecuali RW 1 yang terdapat bukit kecil dengan kemiringan lereng di atas 20%. Hal ini tentu saja berpotensi terjadinya longsor dan diperparah dengan jenis tanah aluvial yang memiliki karakteristik mudah lepas.

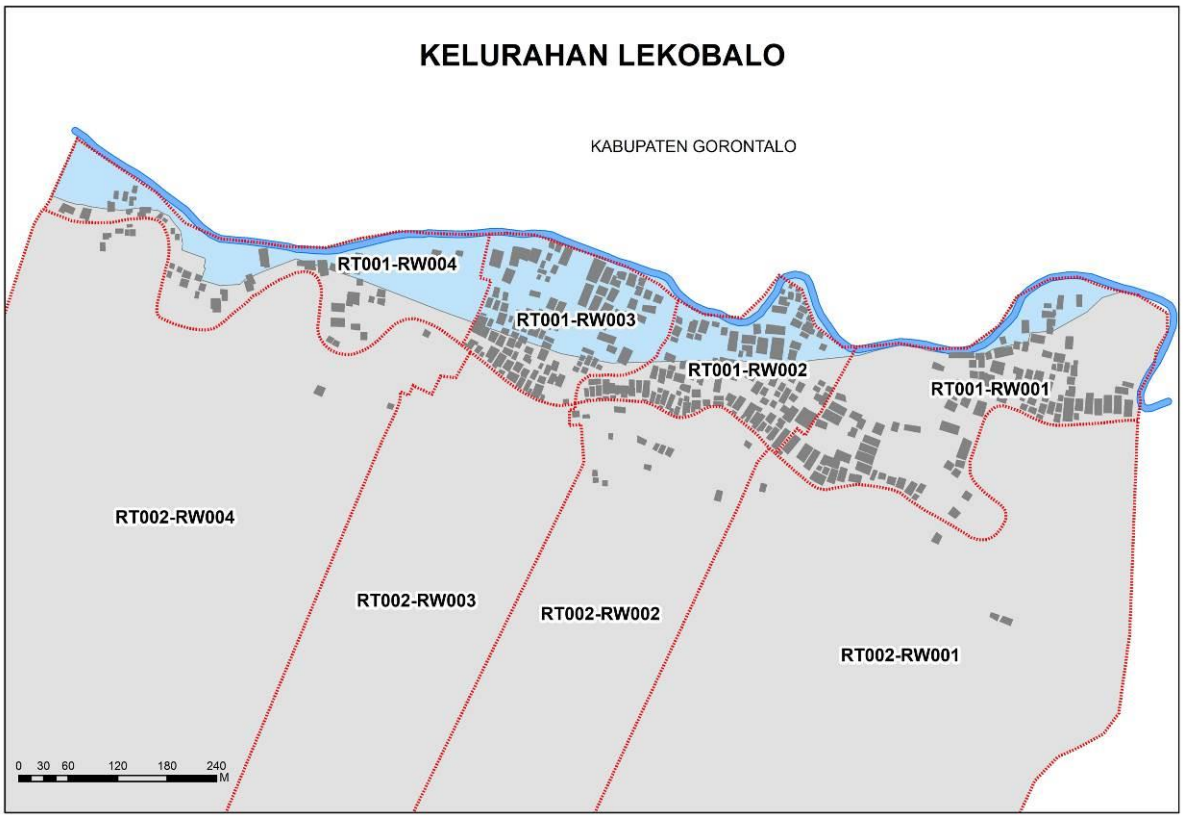


Gambar 2. Peta kemiringan lereng potensi longsor

Berdasarkan pemantauan di lapangan, dijumpai beberapa titik adanya longsor permukaan dimana terdapat partikel tanah yang lepas saat terjadinya hujan. Untuk mengantisipasi hal ini, perlu dilakukan mitigasi bencana yaitu melakukan sosialisasi peta potensi bencana longsor yang telah dibuat, memberikan pendidikan dan pelatihan mitigasi bencana longsor, memasang rambu evakuasi, membentuk kelompok siaga bencana serta membuat perkuatan tebing baik secara alami (dengan menanam vegetasi) maupun buatan (membuat dinding penahan tanah yang disesuaikan dengan kondisi lokasi).

Pemetaan Potensi Banjir

Banjir dan genangan di Kelurahan Lekobalo merupakan hal yang sangat sering terjadi. Berdasarkan hasil identifikasi di lapangan, diperoleh informasi banjir dan genangan yang terjadi di Kelurahan Lekobalo diakibatkan oleh beberapa hal yaitu adanya: 1) kenaikan muka air Danau Limboto sehingga air meluap ke permukiman, 2) terjadinya *back water* di Sungai Tapodu serta, 3) kenaikan muka air tanah akibat adanya air danau yang bergerak melalui bagian bawah permukaan tanah. Di lapangan dilakukan juga identifikasi terhadap wilayah-wilayah yang sering menjadi titik banjir/genangan. Hasil identifikasi lapangan di-*overlay* dengan peta kontur yang ada dan diolah dengan menggunakan aplikasi Arc GIS untuk dibuatkan peta kawasan potensi banjir. Hasilnya seperti terlihat dalam Gambar 3 dimana wilayah yang berpotensi banjir berada di dataran rendah dan tepat berada di sepanjang Sungai Tapodu yang berdekatan dengan Danau Limboto. Semua RW yang berada di RT 1 memiliki potensi untuk terjadi banjir maupun genangan.



Gambar 3. Peta kawasan potensi banjir

Solusi untuk mengurangi banjir adalah dengan pembuatan tanggul di sepanjang Sungai Tapodu sehingga luapan saat air Danau Limboto naik serta *back water* yang terjadi di Sungai Tapodu, tidak akan masuk ke permukiman warga. Khusus untuk faktor genangan yang ketiga seperti hasil identifikasi yaitu kenaikan air tanah mengakibatkan kawasan ini sering tergenang dalam jangka waktu yang lama dimana air tidak dapat meresap karena kondisinya sudah jenuh air. Kondisi tanah yang sudah jenuh air ini mengakibatkan pembuatan sumur resapan sudah tidak memungkinkan lagi. Satu-satunya jalan adalah dengan beradaptasi terhadap lingkungan dengan membuat rumah di atas air dan pembuatan jalan titian sehingga walaupun terjadi genangan yang cukup lama, masyarakat tetap dapat beraktivitas normal. Dari hasil pemetaan potensi banjir, dapat dilakukan mitigasi bencana berupa mensosialisasikan peta potensi bencana banjir disertai dengan pendidikan pelatihannya jika terjadi banjir, pembentukan kelompok siaga bencana serta memasang rambu jalur evakuasi.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis peta, diperoleh gambaran bahwa Kelurahan Lekobalo memiliki potensi bencana alam baik longsor maupun banjir/genangan. Potensi longsor karena sebagian besar kelurahan ini memiliki kelas kelerengan di atas 40% yaitu seluruh RW yang berada di RT2. Banjir dan genangan berpotensi terjadi di wilayah dataran rendah khususnya di wilayah yang berdekatan dengan Danau Limboto yaitu seluruh RW yang berada di RT1. Hasil pemetaan potensi bencana ini perlu disosialisasikan sebagai bentuk mitigasi bencana. Sosialisasi disertai dengan pemberian pendidikan dan pelatihan saat terjadinya bencana serta memasang rambu-rambu jalur evakuasi bencana. Tujuannya adalah masyarakat sudah memiliki pemahaman dan kesiapsiagaan saat terjadi bencana di wilayah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2016). Penyusunan dan Penentuan Zona Gerakan Tanah. SNI No. 8291:2016. Jakarta.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2021). Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana. Jakarta, Volume 12, No. 1

Comert, R., Avdan, U., Gorum, T., & Nefeslioglu, H.A. (2019). Mapping of shallow landslides with object based image analysis from unmanned aerial vehicle data. Engineering Geology, 260, 105264. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105264

Faizana, Fina. Nugraha, A.L., dan Yuwono, B.D. (2015). Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Semarang. Kota Semarang. Jurnal Geodesi UNDIP. 4(1):223-234.

Jody Yusuf Pradhita, Turniningtyas Ayu Rachmawati, Fadly Usman. (2022) Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor di Kecamatan Dawe, Kabupaten Kudus. Jurnal Planning for Urban Region and Environment Volume 11, Nomor 2, April 2022

Khomariyah, Nur Lailatul., dkk. (2022). Penggunaan SIG Untuk Pemetaan Mitigasi Bencana Banjir di Desa Sidorejo Kecamatan Rowokangkung Kabupaten Lumajang. Majalah Pembelajaran Geografi, Vol. 5 No. 1 Juni 2022, 26-32

Li, C., Fu, Z., Wang, Y., Tang, H., Yan, J., Gong, W., Yao, W., & Criss, R. E. (2019). Susceptibility of reservoir-induced landslides and strategies for increasing the slope stability in the Three Gorges Reservoir Area: Zigui Basin as an example. Engineering Geology, 261, 105279. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105279

Pánek, T., Břežný, M., Kapustová, V., Lenart, J., & Chalupa, V. (2019). Large landslides and deep-seated gravitational slope deformations in the Czech Flysch Carpathians: New LiDAR-based inventory. Geomorphology, 346. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106852

Putuhu Ferad. (2015). Mitigasi Bencana dan Penginderaan Jauh. Cetakan I. Graha Ilmu, Yogyakarta.

Tim Bejis Project. (2005) Identiikasi Potensi Longsor dan Upaya Mencegah Bahaya Longsor. Laporan Bejis Project Ausaid. Proyek Kerjasama Unibraw-Bappedal Prov.Jatim-Pemkab Malang-Australian Manage Contractor.

Rahmad, R., Suib, S., & Nurman, A. (2018). Aplikasi SIG untuk pemetaan tingkat ancaman longsor di Kecamatan Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Majalah Geografi Indonesia, 32 (1), 1-13. https://doi.org/10.22146/mgi.31882

Rossi, M., Guzzetti, F., Salvati, P., Donnini, M., Napolitano, E., & Bianchi, C. (2019). A predictive model of Seminar Nasional Geomatika 2020: Informasi Geospasial untuk Inovasi Percepatan Pembangunan Berkelanjutan 336 societal landslide risk in Italy. Earth-Science Reviews, 196, 102849. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.021

Sawaki, S.M.R., Peday, H.F.Z., & Manuhua, D. (2018). Pendugaan daerah rawan longsor berbasis sistem informasi geografis di Cagar Alam Pegunungan Arfak. Jurnal Kehutanan Papuasia, 4 (2), 128-141. https://doi.org/10.46703/jurnalpapuasia.vol4.iss2.102.

TEMA B: TRANSPORTASI

IDENTIFIKASI ALTERNATIF TRASE GUNA PENGANTISIPASIAN KERENTANAN JALAN PASCA-GEMPA CIANJUR MENGGUNAKAN *MULTI-CRITERIA ANALYSIS*

Muhamad Abdul Hadi[1*], Miftahul Fauziah[2], dan Muhammad Kennyzyra Bintang[3]

[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5, Yogyakarta
Email: muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id (Corresponding Author)
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5, Yogyakarta
Email: miftahul.fauziah@uii.ac.id
[3]Prodi Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5, Yogyakarta
Email: muhammad.kennyzyra@gmail.com

ABSTRAK

Gempa bumi adalah bencana alam yang sering terjadi di Indonesia dan seringkali meninggalkan kerusakan yang signifikan pada infrastruktur jalan. Salah satu contoh gempa bumi terbaru yang terjadi adalah gempa bumi Cianjur pada tahun 2021 yang menyebabkan kerusakan pada jalan raya yang menghubungkan beberapa daerah dalam kategori rentan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor kerentanan yang ada pada area jalan di daerah Sarampad, Kec. Cugenang yang terkena dampak gempa bumi Cianjur pada tahun 2021 dan menyajikan alternatif desain jalan guna mengurangi risiko pada kerentanan-kerentanan yang ada serta sebagai pertimbangan alternatif jalan di masa yang akan datang. Penelitian ini dilakukan melalui survei lapangan dan wawancara dengan ahli dan pejabat terkait, serta analisis data sekunder terkait kondisi jalan raya sebelum dan setelah gempa bumi terjadi, kemudian dilanjutkan dengan proses desain trase alternatif dan penganalisisan menggunakan *Multi-Criteria Analysis (MCA).* Hasil penelitian menyajikan 3 alternatif trase yang masing-masingnya memiliki beberapa pertimbangan. Berdasarkan analisis *Multi-Criteria Analysis (MCA).* yang terdiri dari kriteria panjang lintasan, jumlah tikungan, topografi, biaya ganti untung lahan/bangunan, sosial, dan kerawanan bencana, alternatif trase yang direkomendasikan adalah alternatif 1. Alternatif ini memiliki bobot 0,125% pada kriteria panjang jalan, 0,375% pada kriteria jumlah tikungan, 0,5% pada kriteria topografi, 0,1% pada kriteria ekonomi, 0,2% pada kriteria social dan 0,9% pada kriteria kerawanan bencana. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan rekomendasi untuk alternatif penambahan ruas jalan pasca-gempa di masa depan dan dapat dijadikan acuan untuk upaya-upaya pemulihan pasca-bencana di wilayah lain di Indonesia.

Kata kunci: Alternatif Trase, *Multi-Criteria Analysis* (*MCA*), Pasca-Gempa Cianjur

A. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat telah terjadi 26 kejadian gempa bumi merusak (destructive earthquake) di Indonesia sepanjang 2021. Jumlah gempa bumi merusak pada 2021 ini merupakan tertinggi dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Maksud dari gempa bumi merusak yaitu kejadian gempa bumi telah mengakibatkan terjadinya korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan kerusakan bangunan. Kerusakan bangunan yang sering terjadi pasca-gempa salah satunya adalah infrastruktur jalan. Infrastruktur jalan yang terdampak dapat berupa rusaknya struktur perkerasan jalan, bergesernya permukaan jalan, ataupun terputusnya badan jalan.

Pada gempa bumi Cianjur tahun 2021, terjadi beberapa kerusakan pada jalan raya yang menghubungkan antar daerah kategori rentan. Daerah kategori rentan itu sendiri merupakan daerah yang memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap bencana alam atau bahaya alam lainnya

sehingga diperlukan penanganan yang cepat dan tepat untuk memperbaiki kerusakan pada jalan raya pasca-gempa guna mengurangi risiko kecelakaan dan memulihkan aksesibilitas masyarakat untuk menuju wilayah tersebut. Pada studi kasus daerah Sarampad, Kec. Cugenang, ditemukan kondisi kerusakan berupa akses jalan yang terputus dan bergeser jauh akibat adanya pergerakan tanah dari titik sesar gempa. Secara geologi, sesar gempa diartikan sebagai patahan atau bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (displacement) satu blok terhadap blok batuan lainnya. Akses jalan tersebut merupakan jalur utama transportasi darat yang menghubungkan beberapa daerah yang terkena dampak gempa bumi, sehingga secara tidak langsung akan mempengaruhi mobilitas kendaraan yang mengangkut berbagai jenis bantuan untuk kebutuhan korban gempa yang terdampak.

Pasca-gempa terjadi, Pemerintah Kab. Cianjur mengambil keputusan cepat untuk segera melakukan perbaikan jalan agar mobilitas penyaluran bantuan pada pengungsi tidak terkendala dengan cara melakukan penimbunan tanah menggunakan material yang tersedia dilapangan. Saat ini, akses jalan tersebut telah dilakukan pengaspalan Kembali dan menjadi akses utama sebagai jalur penyaluran bantuan dan kebutuhan masyarakat terdampak. Secara tinjauan dan history, jalan tersebut tetap memiliki risiko pergeseran tanah kembali apabila terjadi gempa bumi serupa karena sifat tanah yang sudah tidak dalam kondisi stabil sehingga disarankan untuk memiliki opsi lain sebagai jalur akses transportasi agar tidak bergantung pada jalan tersebut. Mengenai kondisi yang ada, maka penelitian ini bertujuan untuk membantu mengidentifikasikan faktor-faktor kerentanan yang ada pada area jalan tersebut serta akan menyajikan alternatif desain jalan pada daerah Sarampad, Kec. Cugenang guna mengurangi risiko pada kerentanan-kerentanan yang ada dan sebagai pertimbangan alternatif jalan di masa yang akan datang.

Penelitian dilakukan melalui survei lapangan dengan cara turun langsung pada lokasi berdampak dan melalui rangkaian wawancara dengan narasumber para ahli dan pejabat terkait, serta data sekunder berdasarkan data pada kondisi jalan sebelum dan sesudah terjadinya gempa bumi. Setelah data-data tersebut terhimpunkan, selanjutnya dilakukan proses penganalisisan menggunakan analisis multikriteria (Multi-Criteria Analysis/MCA) dalam penentuan alternatif desain yang akan direncanakan.

Analisis multikriteria (Multi-Criteria Analysis/MCA) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mempertimbangkan beberapa kriteria atau faktor dalam membuat keputusan yang kompleks. Pada analisis multikriteria, setidaknya ada dua kriteria atau faktor yang berbeda yang digunakan untuk mengevaluasi pilihan atau alternatif yang mungkin digunakan dan diterapkan. Tujuan dari analisis multikriteria adalah untuk menemukan alternatif terbaik yang memenuhi sejumlah kriteria yang berbeda. Menurut Communities and Local Government (2009), analisis multikriteria adalah sebuah metode untuk mengevaluasi masalah-masalah yang rumit dengan cara memecah masalah tersebut menjadi komponen-komponen yang lebih kecil dan kemudian mengintegrasikannya kembali sehingga dapat memberikan gambaran yang lengkap kepada para pengambil keputusan. Dalam analisis multikriteria, setidaknya ada dua kriteria atau faktor yang berbeda yang digunakan untuk mengevaluasi pilihan atau alternatif yang mungkin digunakan dan diterapkan. Tujuan dari analisis multikriteria adalah untuk menemukan alternatif terbaik yang memenuhi sejumlah kriteria yang berbeda. Penggunaan MCA sebelumnya juga telah diterapkan oleh beberapa peneliti terdahulu (Talaksoru dan Wahyuni, 2022; Gelora dan Prastyanto, 2021; Putra, dkk, 2021; Rifai, dkk, 2021; Nurubiatmoko, dkk, 2020; Muttaqin, dkk, 2019; Kushari, 2016; Ibrahim dan Pangeran, 2013; Mahagana dan Buana, 2013; dan Prinanto dan Herijanto, 2012).

Parameter yang digunakan dalam analisis multikriteria pada penelitian ini adalah antara lain topografi, panjang lintasan trase dan jumlah tikungan yang direncanakan guna memperhitungkan tingkat keamanan dan efisiensi transportasi, kemudian aspek biaya ganti untung lahan/bangunan guna mempertimbangkan biaya atau pengeluaran dana dalam proses pengerjaan rencana trase, selanjutnya adalah aspek sosial guna mengetahui dampak dari rencana pembangunan (trase jalan baru) bagi masyarakat, seperti memperbaiki aksesibilitas, meningkatkan mobilitas, mengurangi biaya transportasi, dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi ataupun sebaliknya apakah rencana pembangunan jalan tersebut dapat memiliki dampak negatif pada masyarakat, seperti merusak lingkungan ataupun mengganggu kehidupan masyarakat, dan yang terakhir adalah aspek kerawanan bencana yang di mana aspek ini diperhitungkan sebagai bentuk pengantisipasian kerusakan jalan akibat bencana gempa yang serupa. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan rekomendasi untuk alternatif penambahan ruas jalan pasca-gempa di masa depan dan dapat dijadikan acuan untuk upaya-upaya pemulihan pasca-bencana di wilayah lain di Indonesia.

B. METODE

Metode penelitian yang dilakukan adalah pendesaian geometri jalan alternatif dengan menggunakan analisis multikriteria (*Multi-Criteria Analysis/MCA*) berdasarkan survei lapangan dan wawancara dengan ahli dan pejabat terkait, serta analisis data sekunder terkait kondisi jalan raya sebelum dan setelah gempa bumi terjadi.

Analisis multikriteria (*Multi-Criteria Analysis/MCA*) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mempertimbangkan beberapa kriteria atau faktor dalam membuat keputusan yang kompleks. Pada analisis multikriteria, setidaknya ada dua kriteria atau faktor yang berbeda yang digunakan untuk mengevaluasi pilihan atau alternatif yang mungkin digunakan dan diterapkan. Tujuan dari analisis multikriteria adalah untuk menemukan alternatif terbaik yang memenuhi sejumlah kriteria yang berbeda.

Metode analisis multikriteria terdiri atas beberapa tahapan, di antaranya:

1. Identifikasi kriteria: Identifikasi kriteria atau faktor yang digunakan untuk mengevaluasi alternatif yang mungkin.
2. Bobot kriteria: Penentuan bobot atau tingkat kepentingan dari setiap kriteria atau faktor yang diidentifikasi. Bobot ini bisa berupa persentase atau nilai yang relatif.
3. Penilaian alternatif: Penilaian atau evaluasi alternatif yang mungkin terhadap setiap kriteria atau faktor. Ini biasanya melibatkan pengumpulan data atau informasi tentang setiap alternatif dan mengevaluasi setiap alternatif terhadap setiap kriteria atau faktor.
4. Pemeringkatan alternatif: Penentuan urutan atau pemeringkatan dari alternatif yang paling sesuai dengan kriteria yang ditentukan.
5. Sensitivitas analisis: Analisis sensitivitas untuk menguji hasil pemeringkatan terhadap variasi bobot dan/atau nilai kriteria atau faktor yang digunakan.

Analisis multikriteria dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam perencanaan dan pengambilan keputusan di bidang bisnis, lingkungan, transportasi, kesehatan, dan lain-lain. Metode analisis multikriteria membantu pengambil keputusan untuk mempertimbangkan beberapa faktor yang penting secara simultan, sehingga dapat menghasilkan keputusan yang lebih efektif dan efisien. Pada penelitian ini, kriteria dan dan skor yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

Panjang lintasan

Panjang lintasan pada desain geometri jalan sangat penting dalam memastikan keamanan dan efisiensi transportasi. Panjang lintasan yang terlalu pendek dapat menghasilkan lintasan yang tidak nyaman atau bahkan berbahaya bagi pengguna jalan, terutama pada saat menghadapi tikungan atau perubahan elevasi yang tajam. Sebaliknya, panjang lintasan yang terlalu panjang bisa memakan waktu dan biaya yang lebih besar dalam pembangunan jalan. Kriteria dan skor pada panjang lintasan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kriteria dan skor pada panjang lintasan

Kriteria	Skor
Panjang 500 m - 1000 m	3
Panjang jalan 1000 - 1500 m	2
Panjang jalan > 1500 m	1

Jumlah tikungan

Jumlah tikungan pada desain geometri jalan harus dipertimbangkan secara hati-hati untuk memastikan bahwa jalan tersebut aman untuk kendaraan yang melintasinya. Jika terlalu banyak tikungan, maka kemungkinan kecelakaan meningkat karena kendaraan harus sering berbelok dan mengubah arah, yang dapat menyebabkan kehilangan kendali, terutama pada kecepatan tinggi. Namun, jika jumlah tikungan terlalu sedikit, maka jalan tersebut mungkin tidak efisien dalam memenuhi kebutuhan transportasi dan dapat memakan waktu dan biaya yang lebih besar dalam pembangunan. Kriteria dan skor pada jumlah tikungan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kriteria dan skor pada jumlah tikungan

Kriteria	Skor
Trase dengan 1 tikungan	3
Trase dengan 2 tikungan	2
Trase dengan lebih dari 2 tikungan	1

Topografi

Dalam desain geometri jalan, topografi dapat mempengaruhi berbagai aspek desain, seperti elevasi jalan, lebar jalan, radius tikungan, dan kecepatan maksimum yang diizinkan pada jalan tersebut. Topografi yang curam dan berbukit-bukit dapat membatasi opsi desain dan memerlukan konstruksi yang lebih mahal, sementara topografi yang datar dan landai dapat memungkinkan desain yang lebih fleksibel dan biaya konstruksi yang lebih rendah. Kriteria dan skor pada topografi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kriteria dan skor pada topografi

Kriteria	Skor
Memotong < 5 garis kontur	3
Memotong 5 garis kontur	2
Memotong > 5 garis kontur	1

Biaya ganti untung lahan/bangunan

Biaya ganti untung lahan/bangunan meliputi biaya untuk membeli tanah dan bangunan yang diperlukan untuk pembangunan jalan, serta biaya untuk memindahkan dan memperbaiki fasilitas atau infrastruktur yang terkena dampak. Biaya ini dapat mencakup biaya pengadaan lahan, biaya survei, biaya penilaian properti, biaya hukum, biaya administrasi, dan biaya pemindahan atau perbaikan fasilitas yang terdampak. Kriteria dan skor pada biaya ganti untung lahan/bangunan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kriteria dan skor pada biaya ganti untung lahan/bangunan

Kriteria	Skor
Area yang terdampak sedikit	3
Area yang terdampak menengah	2
Area yang terdampak banyak	1

Sosial

Aspek sosial pada desain geometri jalan mengacu pada dampak pembangunan jalan terhadap masyarakat sekitarnya. Pembangunan jalan dapat memberikan manfaat besar bagi masyarakat, seperti memperbaiki aksesibilitas, meningkatkan mobilitas, mengurangi biaya transportasi, dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Namun, pembangunan jalan juga dapat memiliki dampak negatif pada masyarakat, seperti merusak lingkungan, mengganggu kehidupan masyarakat, dan meningkatkan risiko kecelakaan. Kriteria dan skor pada sosial dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Kriteria dan skor pada sosial

Kriteria	Skor
Dampak sosial yang timbul akibat penggusuran rendah	3
Dampak sosial yang timbul akibat penggusuran sedang	2
Dampak sosial yang timbul akibat penggusuran tinggi	1

Kerawanan bencana

Dalam desain geometri jalan, perlu dilakukan analisis risiko bencana dan perencanaan mitigasi yang tepat untuk mengurangi kerawanan bencana dan memastikan jalan aman dan tahan terhadap berbagai bencana alam atau non-alam yang mungkin terjadi. Hal ini akan membantu menciptakan jalan yang aman dan nyaman bagi pengguna jalan serta berkontribusi pada pembangunan yang berkelanjutan. Kriteria dan skor pada kerawanan bencana dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Kriteria dan skor pada kerawanan bencana

Kriteria	Skor
Rencana trase jauh dengan area sesar	3
Rencana trase dekat dengan area sesar	2
Rencana trase melewati area sesar	1

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, disajikan alternatif trase sebanyak 3 desain dengan masing-masingnya memiliki panjang lintasan, jumlah tikungan, topografi, biaya ganti untung lahan/bangunan, sosial, dan tingkat kerawanan bencana yang saling berbeda antara satu dan lainnya. Secara lebih rinci, perbandingan terhadap beberapa parameter pada setiap alternatif trase dapat dilihat sebagai berikut:

Alternatif trase 1

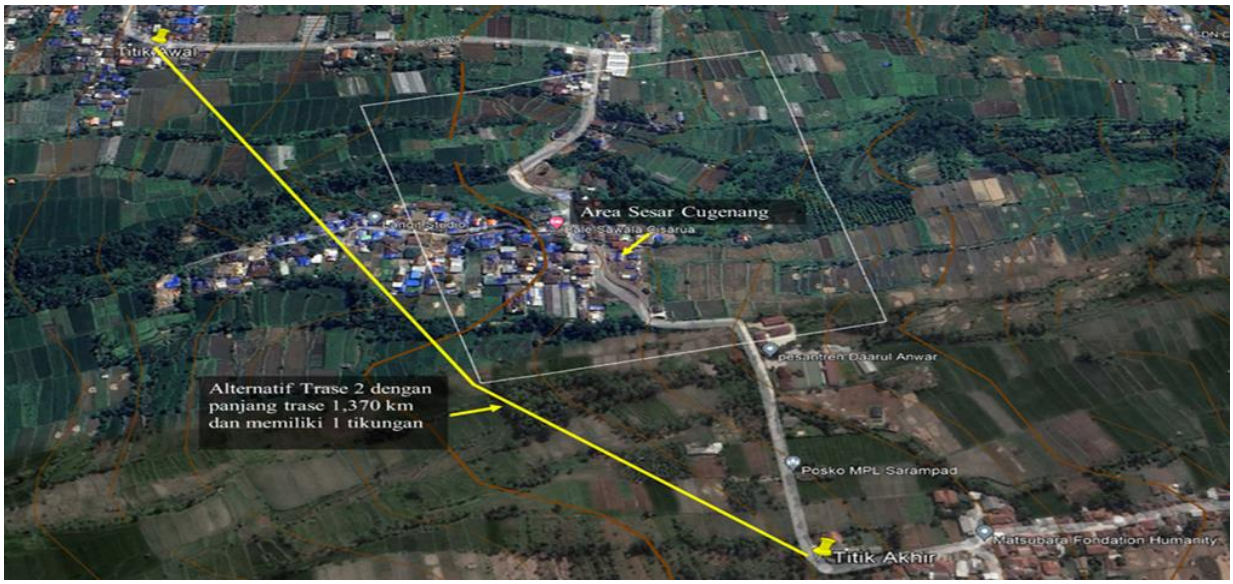
Alternatif trase 1 memiliki Panjang trase 1,829 km dan memiliki 1 tikungan, ilustrasi lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alternatif trase 1

Alternatif trase 2

Alternatif trase 2 memiliki panjang trase 1,370 km dan memiliki 1 tikungan, ilustrasi lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alternatif trase 2

Alternatif trase 3

Alternatif trase 3 memiliki panjang trase 1,599 km dan memiliki 2 tikungan, ilustrasi lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alternatif trase 3

Perbandingan antar alternatif berdasarkan kriteria yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 7 berikut :

Tabel 7. Perbandingan antar alternatif berdasarkan kriteria

Kriteria	**Kondisi**		
	Alternatif 1	**Alternatif 2**	**Alternatif 3**
Desain Trase	Trase yang didesain memiliki panjang trase sebesar 1,829 km dan memiliki 1 tikungan	Trase yang didesain memiliki panjang trase sebesar 1,370 km dan memiliki 1 tikungan	Trase yang didesain memiliki panjang trase sebesar 1,599 km dan memiliki 2 tikungan
Topografi	Trase yang didesain direncanakan melewati kontur yang tidak terlalu banyak (melewati 5 kontur berbeda) sehingga jalan akan lebih landai	Trase yang didesain direncanakan melewati kontur yang tidak terlalu banyak (melewati 5 kontur berbeda) sehingga jalan akan lebih landai	Trase yang didesain direncanakan melewati kontur yang banyak (melewati lebih dari 5 kontur berbeda) sehingga jalan akan lebih curam
Ekonomi	Area tempat tinggal masyarakat yang terdampak cukup banyak sehingga biaya ganti untung lahan/bangunan lebih tinggi dibandingkan alternatif 3	Area tempat tinggal masyarakat yang terdampak cukup banyak sehingga biaya ganti untung lahan/bangunan lebih tinggi dibandingkan alternatif 3	Area tempat tinggal masyarakat yang terdampak sedikit sehingga biaya ganti untung lahan/bangunan lebih rendah dibandingkan alternatif 1 dan alternatif 2
Sosial	Dikarenakan area yang terdampak cukup banyak, sehingga potensi dampak sosial yang terjadi lebih tinggi dibandingkan alternatif 3	Dikarenakan area yang terdampak cukup banyak, sehingga potensi dampak sosial yang terjadi lebih tinggi dibandingkan alternatif 3	Dikarenakan area yang terdampak sedikit, sehingga potensi dampak sosial yang terjadi lebih rendah dibandingkan alternatif 1 dan alternatif 2
Kerawanan Bencana	Trase yang didesain direncanakan jauh dari area sesar sehingga potensi kerawanan bencana yang terjadi lebih rendah dibandingkan alternatif 2	Trase yang didesain direncanakan cukup dekat dari area sesar sehingga potensi kerawanan bencana yang terjadi tinggi rendah dibandingkan alternatif 1 dan alternatif 3	Trase yang didesain direncanakan jauh dari area sesar sehingga potensi kerawanan bencana yang terjadi lebih rendah dibandingkan alternatif 2

Berdasarkan Tabel 7 di atas, dapat diketahui bahwa masing-masing alternatif trase memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan di setiap pemilihannya. Untuk mengidentifikasikan secara lebih tepat, maka proses analisis menggunakan metode *Multi-Criteria Analysis (MCA)* perlu dilakukan agar desain alternatif yang disajikan dapat menjadi solusi yang efektif dan tepat sasaran saat diterapkan.

Proses pengidentifikasian pada metode *Multi-Criteria Analysis (MCA)* berpedoman pada kriteria yang telah ditentukan dan skor penilaian yang telah ditetapkan pada metode analisis. Pengidentifikasian dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Pengidentifikasian pemilihan alternatif terbaik berdasarkan hasil analisis *Multi-Criteria Analysis (MCA)*

Kriteria	Sub Kriteria	Nilai			Bobot	Bobot (%)	Nilai x Bobot		
		Trase 1	Trase 2	Trase 3			Trase 1	Trase 2	Trase 3
Desain Trase	Panjang Lintasan	1	2	1	0,125	12,5	0,125	0,25	0,125
	Jumlah Tikungan	3	3	2	0,125	12,5	0,375	0,375	0,25
	Bobot Total Kriteria Desain Trase				0,25	25			
Topografi	Kondisi Kontur yang Dilewati	2	2	1	0,25	25	0,5	0,5	0,25
	Bobot Total Kriteria Topografi				0,25	25			
Ekonomi	Biaya ganti untung lahan/bangunan	2	2	3	0,05	5	0,1	0,1	0,15
	Bobot Total Kriteria Ekonomi				0,1	10			
Sosial	Konflik Sosial yang Timbul	2	2	3	0,1	10	0,2	0,2	0,3
	Bobot Total Kriteria Lingkungan				0,1	10			
Kerawanan Bencana	Lokasi dengan pusat sesar	3	2	3	0,3	30	0,9	0,6	0,9
	Bobot Total Kriteria Kawasan Bencana				0,3	30			
Nilai Total Analisis Multi Kriteria					1	100	2,200	2,025	1,975

Berdasarkan hasil nilai total analisis *Multi-Criteria Analysis (MCA),* maka dapat diketahui bahwa desain alternatif trase 1 merupakan alternatif yang terbaik dengan nilai total analisis multi kriteria sebesar 2,2 poin. Poin ini didasari oleh beberapa pertimbangan yang dianggap dapat menjadi alternatif terbaik walaupun masih terdapat beberapa kekurangan seperti pada parameter panjang lintasan, jumlah tikungan dan topografi. Pada ketiga parameter ini, trase 1 memiliki lintasan/jalan yang lebih panjang dibandingkan alternatif trase lainnya yaitu 1,829 km. Namun trase ini memiliki keunggulan yaitu pada desainnya hanya memiliki 1 tikungan dan tidak melewati kontur yang terlalu banyak (melewati 5 kontur berbeda) sehingga jalan yang didesain akan lebih landai dan tentunya akan menjadikan trase tersebut lebih aman untuk pengguna jalan.

Pada parameter kerawanan bencana, trase 1 memiliki tingkat kerawanan yang lebih rendah dibandingkan dengan alternatif trase lainnya, hal ini dikarenakan trase 1 memiliki panjang lintasan yang lebih panjang dan memungkinkan untuk lebih menjauhi titik sesar gempa. Sehingga

kedepannya, apabila alternatif desain ini digunakan kerentanan dapat diminimalisasi dan kesiapan terhadap bencana serupa dapat dimaksimalkan terutama sebagai jalur evakuasi masyarakat dan jalur pendistribusian kebutuhan pengungsi atau korban terdampak bencana.

D. KESIMPULAN

Pada penelitian dapat disimpulkan bahwa pemilihan alternatif desain trase 1 dapat digunakan dan diterapkan sebagai upaya pengantisipasian tingkat kerentanan jalan telah ada pada daerah Sarampad, Kec. Cugenang pasca-digempa Cianjur 2021. Trase 1 memiliki bobot 0,125% pada kriteria panjang jalan, 0,375% pada kriteria jumlah tikungan, 0,5% pada kriteria topografi, 0,1% pada kriteria ekonomi, 0,2% pada kriteria sosial dan 0,9% pada kriteria kerawanan bencana.

DAFTAR PUSTAKA

Departement for Communities and Local Government. (2009). *Multi Criteria Analysis: a Manual, Communities and Local Government Publication*, London.

Gelora, A. A. P., dan Prastyanto, C. A. (2021). Perancangan Geometri dan Perkerasan Kaku Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan Seksi 5. *Jurnal Teknik ITS*, *10*(2), E129-E134.

Ibrahim, F., dan Pangeran, M. H. (2013). Pendekatan *Analytic Network Process* dalam Pemilihan Trase Jalan (Studi Kasus Pengembangan Jaringan Jalan Kolektor Provinsi Gorontalo). *Kolokium Jalan dan Jembatan 2013*.

Kushari, B (2016). *Least-Cost Path Multi-Criteria Decision Analysis On Sumatera High-Grade Highway Route Plan: Case Study For Banda Aceh-Sigli. Proceedings of the 19th International Symposium of FSTPT Islamic University of Indonesia, 11-13 October 2016 Ch.2, pp. 10-22, ISBN: 979-95721-2-19.*

Mahagana, I. M. A. A., dan Buana, C. (2013). Studi Kelayakan Jalan Akses Jembatan Baru Ploso di Kabupaten Jombang–Jawa Timur. *Jurnal Teknik ITS*, *2*(2), E75-E77.

Muttaqin, M. Z., Herijanto, W., dan Rahardjo, B. (2019). Geometri Jalan Rel Kamal-Pelabuhan Tanjung Bulupandan di Madura. *Jurnal Transportasi: Sistem, Material, dan Infrastruktur*, *1*(2), 83-87.

Nurubiatmoko A.V., Rukmi, W.I., dan Sari, K.E. (2020). Pemilihan Objek Utama Citra Kawasan Cagar Budaya Jalan Rajawali Kota Surabaya. *Planning for Urban Region and Environment*, Vol. 9 (3), 2020.

Prinanto, N., dan Herijanto, W. (2012). Studi Alternatif Pemilihan Trase Transportasi Massal Surabaya Timur dengan Surabaya Barat. *Jurnal Teknik ITS*, *1*(1), E58-E62.

Putra, R. A. E., Rifai, D. F., dan Rahma, S. (2021). Analisis Multi Kriteria Dalam Pengembangan Jalan Lintas Barat Sumatera (Studi Kasus: Kecamatan Talang Padang, Provinsi Lampung). *Journal of Infrastructure Planning and Design*, *1*(1), 14-20.

Rifai, D.F., Ekaputra, R.A., dan Rahma, S. (2021). Analisis Multi Kriteria dalam Pengembangan Jalan Lintas Barat Sumatera (Studi Kasus: Kecamatan Talang Padang, Provinsi Lampung). *Journal of Infrastructure Planning and Design*, Vol. 1 (1), 2021.

Talaksoru, A. S., dan Wahyuni, A. (2022). Analisa Alternatif Trase dan lalu lintas Pembangunan Jembatan Teluk Sawaibu. *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, *10*(2), 129-136.

PENGEMBANGAN DATABASE NILAI TANAH, INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI DAN FASILITAS UMUM BERBASIS SPASIAL DI WILAYAH AGLOMERASI MAMMINASATA

M. Idris[1*], Muhammad Isran Ramli[2], Rusdi Usman Latif[3], dan Sumarni Hamid Ali[4]

[1*]Program Doktor Teknik Sipil,Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino Km.6, Gowa, email: idrism021d@student.unhas.ac.id (Corresponding Author)
[2]Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin,
Jalan Poros Malino Km.6, Gowa, email: isranramli@unhas.ac.id
[3]Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin,
Jalan Poros Malino Km.6, Gowa, email: rusdiusmanlatief@unhas.ac.id
[4]Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin,
Jalan Poros Malino Km.6, Gowa, email: marni_hamidaly@yahoo.com

ABSTRAK

Dewasa ini pembangunan infrastruktur transportasi dan fasilitas publik di wilayah perkotaan masih mengalami kendala terkait akuisisi lahan yang disebabkan oleh tingginya variasi nilai lahan yang akan digunakan. Untuk memudahkan menganalisis dan mengevaluasi variasi nilai lahan tersebut, diperlukan adanya *database* yang komprehensif dan terintegrasi yang berbasis spasial. Dalam konteks ini studi ini bertujuan untuk membangun suatu *database* nilai tanah berbasis spasial untuk wilayah perkotaan berbasis aglomerasi. Studi ini mengambil kasus wilayah aglomerasi Mamminasata di Provinsi Sulawesi Selatan dimana *database* menggunakan Aplikasi Quantum GIS (QGIS). Data nilai tanah pada *database* ini menggunakan data peta Zona Nilai Tanah (ZNT) Kementerian ATR/BPN. Data *shapefile* berupa batas wilayah administrasi, jaringan infrastruktur transportasi dan fasilitas publik diperoleh dari *website* nextgis. Pengembangan *database* nilai tanah pada QGIS dimulai dari proses digitalisasi Peta ZNT, kemudian pengaturan fungsi data spasial peta infrastruktur transportasi dan fasilitas publik, hingga pengaturan fitur analisis data spasial yang telah di digitalisasi dan diatur fungsinya, serta pengaktifan berbagai fitur *join attribute table*. Pengembangan *database* nilai tanah pada studi ini menghasilkan aplikasi QGIS nilai tanah yang dapat menginformasikan secara spasial terkait *layer* zona nilai tanah, jaringan infrastruktur transportasi dan fasilitas publik. lebih jauh, aplikasi *database* dapat menghasilkan informasi spasial hasil analisis interaksi antar *layer* atribut antara lain jarak zona nilai tanah dengan jaringan infrastruktur transportasi dan fasilitas publik. Aplikasi *database* ini bermanfaat bagi pemangku kebijakan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur yang mempertimbangkan nilai tanah. Studi lanjutan terkait model interaksi nilai tanah dengan jaringan infrastruktur transportasi dan fasilitas publik akan dikembangkan lebih lanjut berbasis aplikasi *database* ini.

Kata Kunci: Data Spasial, Mamminasata, Nilai Tanah, QGIS.

A. PENDAHULUAN

Menurut Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2011 yang memuat Rencana Pengembangan Wilayah di area Kota Takalar atau Mamminasata, Maros, Sungguminasa, dan Makassar, area Metropolitan Mamminasata merupakan KSN atau Kawasan Strategis Nasional dan PKN atau Pusat Kegiatan Nasional. Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2003, Wilayah Metropolitan Mamminasata terdiri dari Kota Makassar, Kabupaten Takalar, Kabupaten Maros dan Kabupaten Gowa. Yang dimaksud dengan wilayah metropolitan adalah kumpulan wilayah permukiman yang bersama-sama membentuk aktivitas perkotaan dan mayoritas kegiatannya bersumber di pusat kota, terlihat dari pergerakan aktivitas ekonomi serta tenaga kerja (Winarso, 2006).

Wilayah Aglomerasi Mamminasata merupakan salah satu kawasan aglomerasi terbesar di Indonesia Timur dengan jumlah berpenduduk pada tahun 2022 sebesar 2,92 juta jiwa serta memiliki area seluas 4.268 km^2. Berdasarkan data BPS Sulawesi Selatan laju pertumbuhan penduduk di kawasan Mamminasata rata-rata sebesar 1,38. Pertumbuhan penduduk yang sangat pesat serta tingginya tingkat kepadatan penduduk menjadi salah satu faktor pendorong pertumbuhan ekonomi. Selain itu, sebagai ibukota provinsi dan pintu gerbang Indonesia bagian timur juga menambah daya tarik bagi pendatang menjadikan kawasan ini semakin berkembang dengan pesat.

Terdapat beberapa aspek yang mempengaruhi harga lahan. Menurut Alterman (2012), fluktuasi harga tanah umumnya dikarenakan campur tangan masyarakat terhadap lahan, misalnya pengadaan prasarana fasilitas umum, terutama untuk prasarana transportasi. Sedangkan intervensi publik berupa peraturan yang mempengaruhi nilai tanah diantaranya aturan mengenai tata ruang, terutama aturan penggunaan lahan, pemanfaatan lahan yang tersedia untuk tujuan tertentu yang dapat mempengaruhi harga tanah (Evans, 2004).

Firman Ashari dan Ahmad (2021) menjelaskan bahwa terjadi perubahan penggunaan lahan di Kota Makassar pada tahun 2011 sampai dengan 2019, hasil penelitian menunjukkan bahwa luas lahan tempat tinggal mengalami kenaikan, sedangkan luas lahan yang digunakan untuk pertanian mengalami penurunan. Bertambahnya populasi masyarakat setiap tahunnya menyebabkan peningkatan terhadap permintaan lahan, khususnya untuk pembangunan area rumah tinggal, kantor, infrastruktur, jalanan serta fasilitas umum lain. Sedangkan jumlah lahan tidak dapat bertambah sehingga menyebabkan langkanya ketersediaan lahan. Kelangkaan ini pada akhirnya menyebabkan kenaikan harga lahan di kawasan metropolitan Mamminasata.

Yunus dalam Karina Mayasari, dkk, (2009) mendefinisikan harga tanah atau *land value* sebagai penentuan harga tanah sesuai dengan kapasitas tanah terhadap produktivitas dan strategi ekonomis. Terdapat empat hal utama yang mendasari pergeseran tata guna lahan, yaitu pemekaran wilayah kota, peremajaan area pusat kota, pengembangan infrastruktur khususnya sarana transportasi, dan bertambahnya atau menghilangnya suatu aktivitas (Bourne,1982). Sehingga dapat disimpulkan bahwa ada relasi antara perubahan penggunaan lahan dengan berkembangnya infrastruktur transportasi di wilayah tertentu. Utami, dkk (2022) menunjukkan bahwa variabel lokasi tanah yang terletak di perumahan, kedekatan prasarana transportasi, fasilitas umum menjadi faktor utama yang mempengaruhi harga tanah.

Kementerian ATR/BPN telah mengeluarkan Peta Zona Nilai Tanah (ZNT) yang dapat diakses dalam situs Kementerian ATR/BPN dengan alamat https://www.atrbpn.go.id/Peta-Bidang-Tanah. Zona Nilai Tanah (ZNT) sendiri merupakan poligon yang menggambarkan harga tanah untuk sekumpulan tanah di dalamnya yang memiliki kemiripan. Batas tanah tersebut bisa bersifat semu ataupun riil berdasarkan pemanfaatan tanah, dan mungkin dapat memiliki nilai yang berbeda berdasarkan penilaian petugas dengan membandingkan harga pasar (BPN RI, 2012). ZNT hanya menyajikan informasi harga tanah dan tidak termasuk bangunan di atasnya. Nilai-nilai lahan yang sama dan yang berdekatan menjadi satu zona. Merujuk pada hal tersebut Peta Zona Nilai Tanah pada kawasan Aglomerasi Mamminasata tertinggi berada pada Kota Makassar karena wilayah ini mempunyai jarak paling dekat dengan pusat perekonomian, apabila diamati secara langsung di wilayah Mamminasata pada lokasi pusat kota kabupaten juga memiliki nilai tanah yang tinggi diakibatkan oleh aksesibilitas yang tinggi dan pada jalan antar provinsi juga memiliki nilai tanah yang cukup tinggi karena terkait dengan fasilitas yang ada pada daerah tersebut. Sedangkan area yang jaraknya cukup jauh dari jaringan jalan dan fasilitas umum memiliki nilai tanah yang rendah.

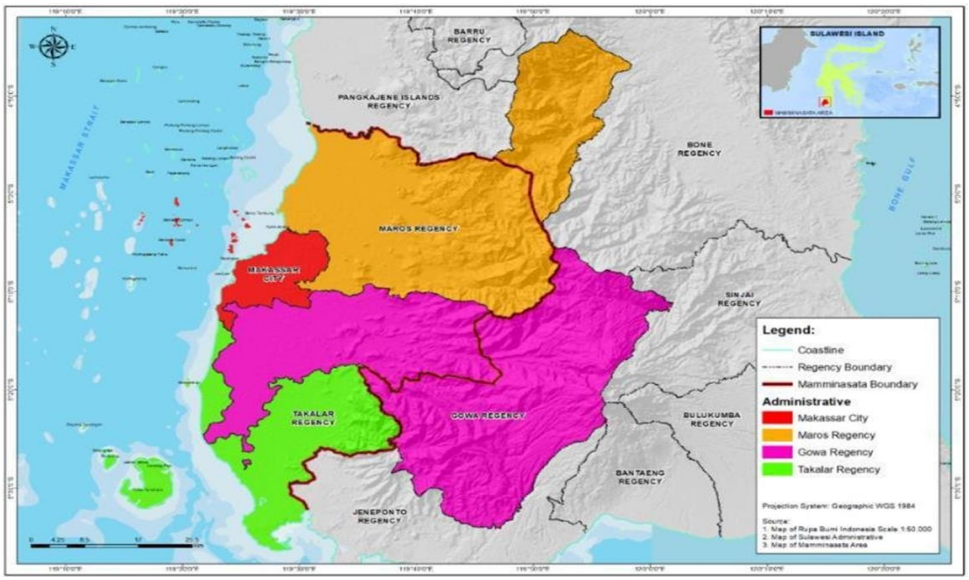
Tanah merupakan modal dasar pembangunan infrastruktur. Hampir semua kegiatan pembangunan (sektoral) memerlukan tanah, sebagaimana disampaikan dalam penelitian Paramadina Public Policy Institue (2012). *Database* nilai tanah suatu wilayah sangat dibutuhkan untuk kegiatan perencanaan pembangunan infrastruktur. *Database* nilai tanah memuat informasi krusial untuk mengambil keputusan, contohnya dalam merencanakan, melaksanakan pembangunan dana juga saat melakukan investasi. *Database* nilai tanah dapat digunakan sebagai bahan informasi atau gambaran rentang nilai tanah pada suatu wilayah. *Database* harga tanah spasial dapat memudahkan analisis estimasi harga tanah pada saat sebelum dan sesudah pembangunan infrastruktur. Salah satu Aplikasi *Geographical Information System* yang dapat digunakan untuk pengelolaan data spasial serta pengembangan aplikasi sistem informasi geografi yaitu *Quantum Geographic Information System* (QGIS). Sistem Informasi Geografis (SIG) saat ini sudah banyak digunakan dalam memudahkan pendataan suatu objek. Sistem Informasi Geografis tersebut memiliki kemampuan untuk mengolah data serta melakukan analisis spasial lebih lanjut, contohnya QGIS (Jumaeroh, 2019).

Permasalahan yang ada, data yang diperoleh dari situs Kementerian ATR/BPN hanya sebatas Informasi saja. Suatu pengolahan data berbasis spasial, oleh sebab itu penelitian terkait pengembangan *database* nilai tanah berbasis spasial di wilayah aglomerasi Mamminasata dianggap perlu untuk dilakukan. Tujuan dari penelitian adalah membangun *database* nilai tanah berbasis QGIS di wilayah aglomerasi Mamminasata dan menganalisis karateristik nilai tanah di wilayah aglomerasi Mamminasata.

B. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian adalah di Wilayah Aglomerasi Mamminasata, wilayah ini meliputi Kota Makassar, Kab. Maros, Kab. Gowa dan Kab. Takalar, peta wilayah penelitian sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian wilayah metropolitan Mamminasata

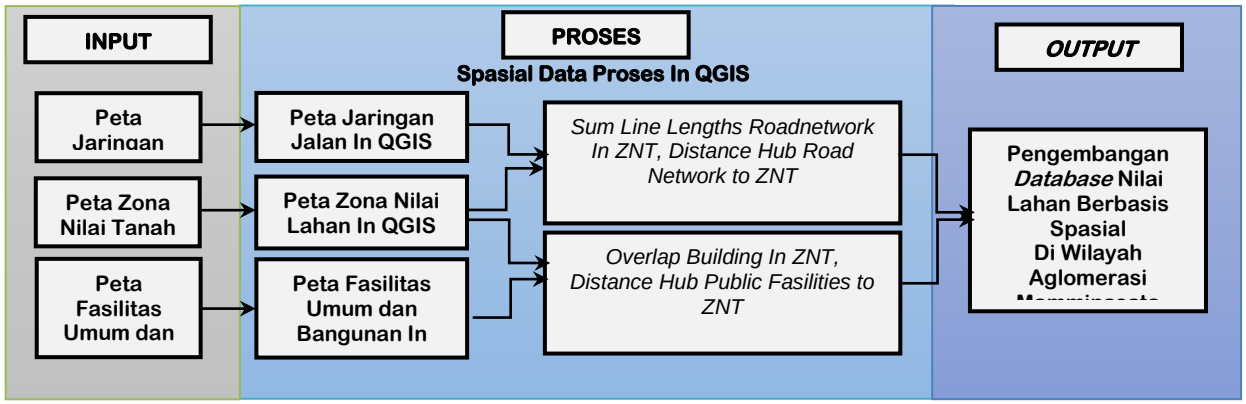
Tahapan penelitian

Terdapat beberapa tahap dalam penelitian ini:

1. Identifikasi serta perumusan masalah
2. Pengumpulan data
3. Pengolahan data
4. Analisis dan pembahasan

Kesimpulan.

Tahapan proses penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan proses

Pengumpulan data

Dalam yang digunakan dalam penelitian ini hanyalah data sekunder yang terdiri dari:

Data *shapefile* yaitu batas kecamatan atau kota, jaringan jalan, bangunan, fasilitas umum, dll diperoleh dari *website* https://data.nextgis.com/en/region/ID-SN/base.

Peta Zona Nilai Tanah dari *website* resmi Kementerian ATR/BPN yaitu: https://bhumi.atrbpn.go.id/.

Pembuatan peta menggunakan QGIS

Quantum GIS (QGIS) yang merupakan aplikasi Sistem Informasi Geografis (GIS/*Geographic Information System*) lintas *platform* dengan sumber terbuka. Aplikasi QGIS menyediakan fitur-fitur yang umum digunakan oleh *user* GIS. *User* dapat memanfaatkan fitur utama untuk melakukan visualisasi pemetaan yang dapat diubah serta dicetak menjadi satu peta menyeluruh. *User* QGIS dapat menyatukan semua data yang mereka miliki untuk kemudian dilakukan analisis dan pengubahan sesuai keperluan. Tipe dokumen dalam QGIS yaitu *Maps* dan *Attribute Table*. Masing-masing dokumen memiliki fungsi menu, *tool* serta tombol masing-masing. Pembuatan peta zona nilai tanah menggunakan QGIS meliputi lima tahap yaitu perekapan titik koordinat, pembuatan *shapefile* berdasarkan titik koordinat, penggabungan *shapefile* membentuk peta, digitalisasi peta dan *editing* data. Dalam Penelitian ini peta yang dibuat yaitu peta zona nilai tanah, peta jaringan jalan dan peta bangunan dan fasilitas umum.

Analisis data spasial QGIS

Analisa spasial *(Spatial Analysis*) adalah metode untuk mencari hubungan keterkaitan suatu objek dengan objek yang lain pada objek spasial. Dalam penelitian ini menggunakan analisis:

1. Analisis *Vektor Sum Line Length* digunakan untuk menghitung jumlah total panjang garis jalan untuk setiap poligon zona nilai tanah
2. *Overlap Analysis* digunakan untuk menghitung persentase atau luas tutupan layar poligon terhadap *layer* poligon lainnya, pada analisis ini dimana dilakukan perhitungan luas bangunan di setiap zona nilai tanah
3. *Distance to Nearest Hub* digunakan untuk membuat/menghitung jarak terdekat antara objek satu dan lainnya. Pada analisis ini dilakukan perhitungan jarak dari pusat zona nilai tanah ke jaringan jalan dan fasilitas umum.

Database nilai tanah Mamminasta

Setelah melakukan analisis *Vektor Sum Line Length, Overlap Analysis* dan *Distance to Nearest Hub* pada aplikasi QGIS, selanjutnya melakukan pembuatan *layer* baru yaitu *database* nilai tanah Mamminasata. *Layer* ini berasal dari peta nilai tanah kemudian ditambah dengan menambah *field atribut* dari hasil analisis data spasial. Tabel 1 menunjukkan uraian nama *field atribut* pada *database* nilai tanah.

Tabel 1. Nama *field atribut* pada *database* nilai tanah

No.	Nama Atribut	Deskripsi	Satuan Pengukuran
1	No. Zona	No zona nilai tanah	-
2	Kelas Tanah	Kelas nilai tanah	-
3	*Range* Nilai	*Range* nilai tanah	Rp
4	Luas	Luas zona nilai tanah	m^2
5	Kabupaten	Wilayah kabupaten zona nilai tanah	-
6	PJ. Art	Panjang jalan arteri yang berada dalam zona nilai tanah	km
7	PJ. Kolekt	Panjang jalan kolektor yang berada dalam zona nilai tanah	km
8	PJ. Lokal	Panjang jalan lokal yang berada dalam zona nilai tanah	km
9	PJ. Lingk	Panjang jalan lingkungan yang berada dalam zona nilai tanah	km
10	JKJ. Art	Jarak terdekat zona nilai tanah ke jalan arteri	km
11	JKJ. Kolekt	Jarak terdekat zona nilai tanah ke jalan kolektor	km
12	JKJ. Lokal	Jarak terdekat zona nilai tanah ke jalan lokal	km
13	JKJ. Lingk	Jarak terdekat zona nilai tanah ke jalan lingkungan	km
14	LB. Build	Luas bangunan yang berada dalam zona nilai tanah	m^2
15	Jk. I. Prov	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pusat kota provinsi	km
16	Jk. I. Kab	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pusat kota kabupaten	km
17	Jk. I. Ka	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pusat kota kecamatan	km
18	Jk. Polisi	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke kantor polisi	km
19	Jk. RS	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke rumah sakit / puskesmas	km
20	Jk. PT	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke perguruan tinggi	km
21	Jk. Skl	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke sekolah	km
22	Jk. Psr	Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pasar / mall	km

Analisis deskriptif

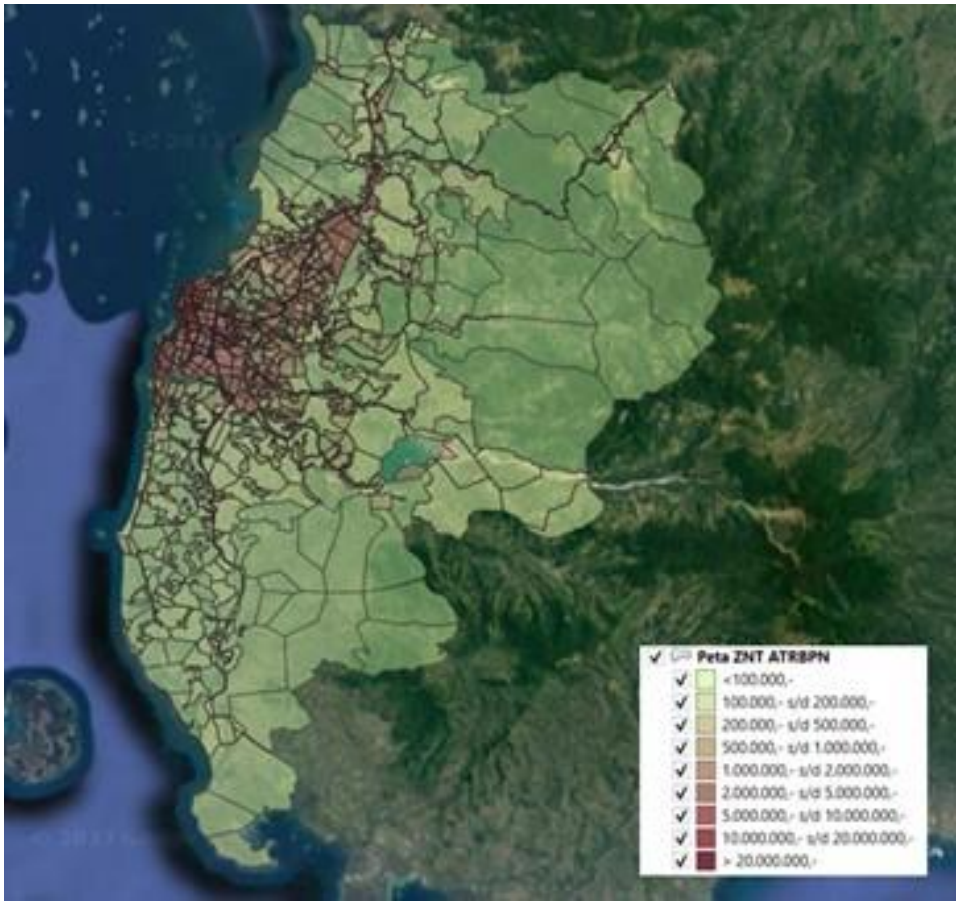
Analisis deskriptif pada penilitian ini bertujuan untuk menggambarkan karakteristik populasi tertentu secara sistematis. Analisis deskriptif yang digunakan pada penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan data secara general. Analisis deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik harga lahan di wilayah aglomerasi Mamminasata.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

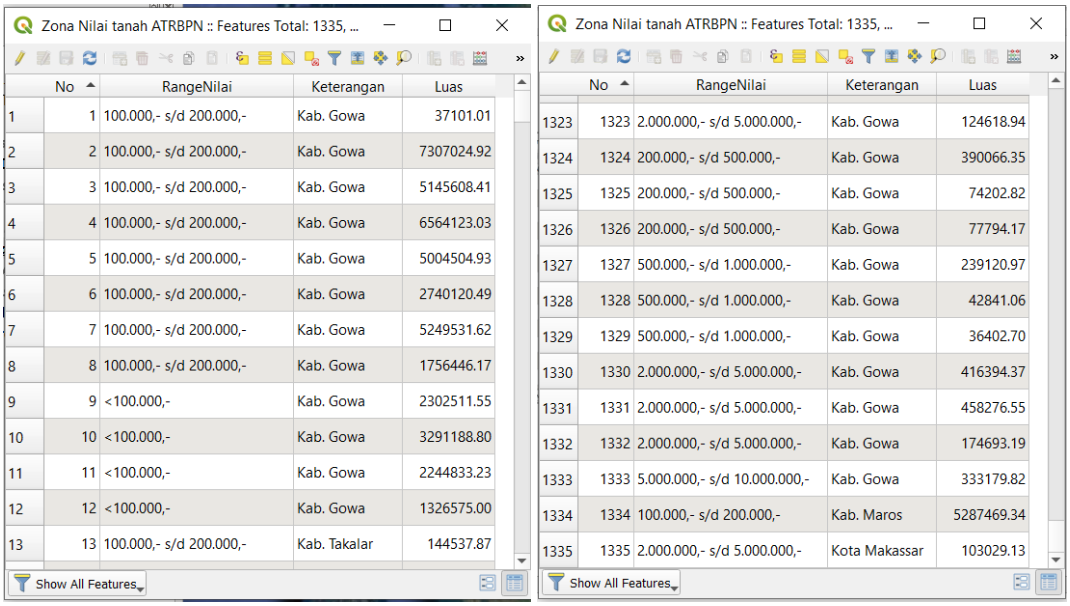
Peta nilai tanah QGIS

Berdasarkan data sekunder peta zona nilai tanah dari kementerian ATR BPN, klasifikasi nilai tanah menurut data sekunder tersebut dibedakan menjadi 9 kelas nilai tanah, pembagian kelas nilai tanah terdiri dari kelas 1 dengan harga < 100.000,-, kelas 2 dengan harga 100.000,- s/d 200.000,-, kelas 3 dengan harga 200.000,- s/d 500.000,-, kelas 4 dengan harga 500.000,- s/d 1.000.000,-, kelas 5 dengan harga 1.000.000,- s/d 2.000.000,-, kelas 6 dengan harga 2.000.000,- s/d 5.000.000,-, kelas 7 dengan harga 5.000.000,- s/d 10.000.000,-, kelas 8 dengan harga 10.000.000,- s/d 20.000.000,- dan kelas 9 dengan harga > 20.000.000,-

Dengan metode digitalisasi peta zona nilai tanah diprogram QGIS 3.10, diperoleh jumlah zona sebanyak 1335 data vektor poligon zona nilai tanah. Hasil digitalisasi peta zona nilai tanah pada Quantum GIS, seperti pada Gambar 3. Setiap poligon zona nilai tanah memiliki label luas seperti pada Gambar 4, *field atribut* zona nilai tanah QGIS.



Gambar 3. Peta zona nilai tanah QGIS di Wilayah Aglomerasi Mamminasata



	No	RangeNilai	Keterangan	Luas
1	1	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	37101.01
2	2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	7307024.92
3	3	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	5145608.41
4	4	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	6564123.03
5	5	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	5004504.93
6	6	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	2740120.49
7	7	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	5249531.62
8	8	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	1756446.17
9	9	<100.000,-	Kab. Gowa	2302511.55
10	10	<100.000,-	Kab. Gowa	3291188.80
11	11	<100.000,-	Kab. Gowa	2244833.23
12	12	<100.000,-	Kab. Gowa	1326575.00
13	13	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Takalar	144537.87

	No	RangeNilai	Keterangan	Luas
1323	1323	2.000.000,- s/d 5.000.000,-	Kab. Gowa	124618.94
1324	1324	200.000,- s/d 500.000,-	Kab. Gowa	390066.35
1325	1325	200.000,- s/d 500.000,-	Kab. Gowa	74202.82
1326	1326	200.000,- s/d 500.000,-	Kab. Gowa	77794.17
1327	1327	500.000,- s/d 1.000.000,-	Kab. Gowa	239120.97
1328	1328	500.000,- s/d 1.000.000,-	Kab. Gowa	42841.06
1329	1329	500.000,- s/d 1.000.000,-	Kab. Gowa	36402.70
1330	1330	2.000.000,- s/d 5.000.000,-	Kab. Gowa	416394.37
1331	1331	2.000.000,- s/d 5.000.000,-	Kab. Gowa	458276.55
1332	1332	2.000.000,- s/d 5.000.000,-	Kab. Gowa	174693.19
1333	1333	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kab. Gowa	333179.82
1334	1334	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Maros	5287469.34
1335	1335	2.000.000,- s/d 5.000.000,-	Kota Makassar	103029.13

Gambar 4. *Output* Tabel atribut zona nilai tanah QGIS di Wilayah Aglomerasi Mamminasata

Peta jaringan jalan dan fasilitas umum QGIS

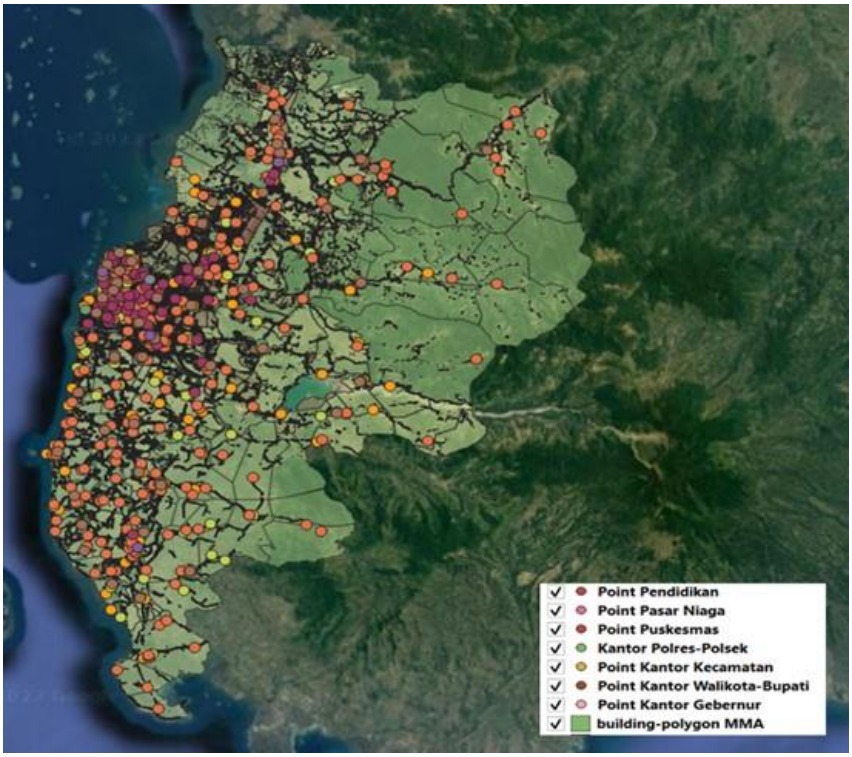
Berdasarkan Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 menurut fungsinya jalan diklasifikasikan ke dalam:

1. Jalan Kolektor
2. Jalan Arteri
3. Jalan Lingkungan
4. Jalan Lokal

Data SHP Vektor Garis Jaringan Jalan diperoleh dari *website* Netgis kemudian diolah menjadi *layer* SHP, yaitu Layer Jaringan Jalan Arteri, Layer Jaringan Jalan Kolektor, Layer Jaringan Jalan Lokal dan Layer Jaringan Jalan Lingkungan, Peta Jaringan Jalan sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Data SHP Vektor Poligon dan Point diperoleh dari *website* Netgis kemudian diolah menjadi beberapa *layer* vektor sesuai dengan jenisnya. Layer Point Kantor Gubernur menggambarkan area Pusat CBD Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan, Layer Point Kantor Walikota/Bupati menggambarkan area Pusat CBD Wilayah Kota/Kabupaten. Peta jaringan jalan dan peta fasilitas umum sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6.



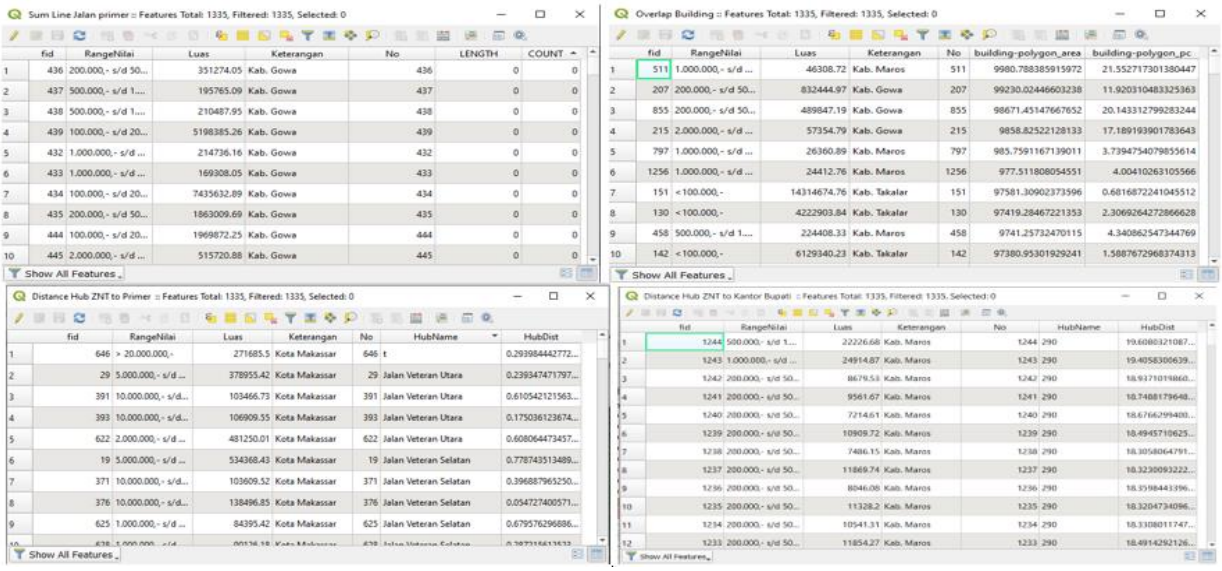
Gambar 5. Peta jaringan jalan QGIS di Wilayah Metropolitan Mamminasata



Gambar 6. Peta fasilitas umum QGIS di Wilayah Metropolitan Mamminasata

Analisis data spasial QGIS

Setelah pembuatan peta nilai tanah dan peta jaringan jalan serta fasilitas umum selanjutnya dilakukan analisis data spasial pada QGIS.

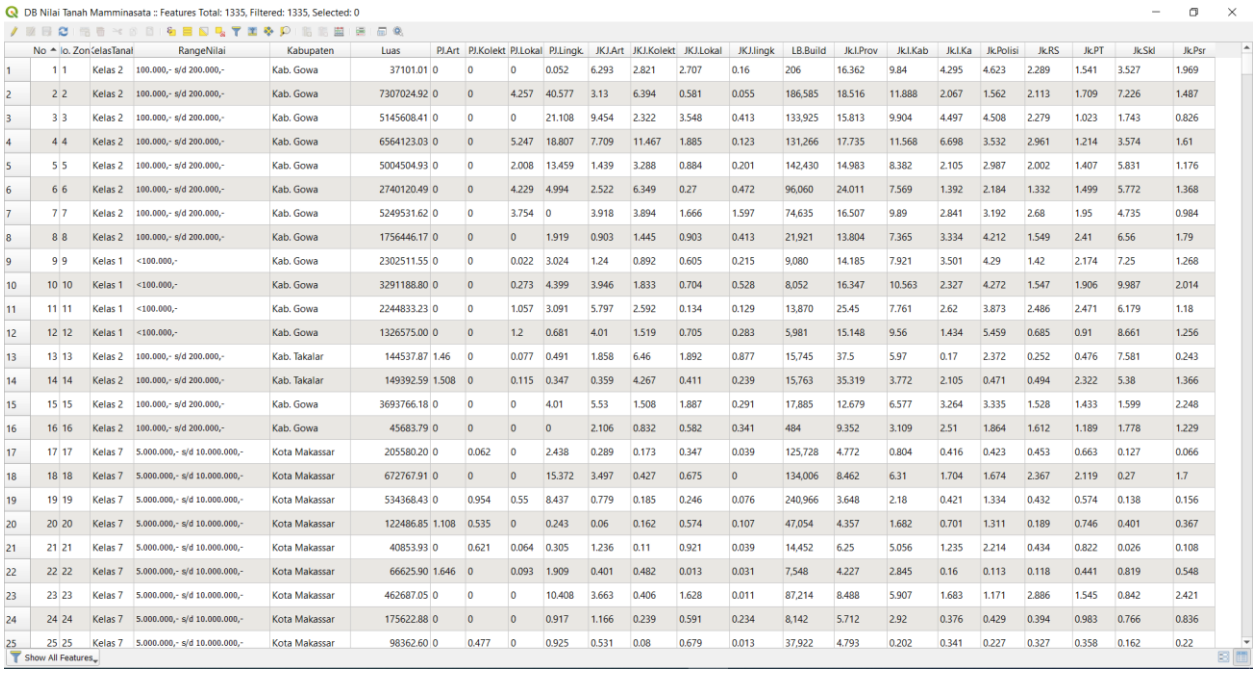


Gambar 7. Hasil analisis vektor QGIS

Pada Gambar 7, Hasil Analisis Vektor, diperoleh panjang jaringan jalan di setiap zona nilai tanah, luas bangunan di setiap zona nilai tanah dan jarak terdekat dari satu zona nilai tanah ke jaringan jalan serta fasilitas umum. *Output* berdasarkan penelitian tersebut akan menjadi bagian dari tabel *database*.

Tabel atribut *database* nilai tanah Mamminasta

Output tabel atribut layer *database* nilai tanah Mamminasata pada aplikasi QGIS sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8.

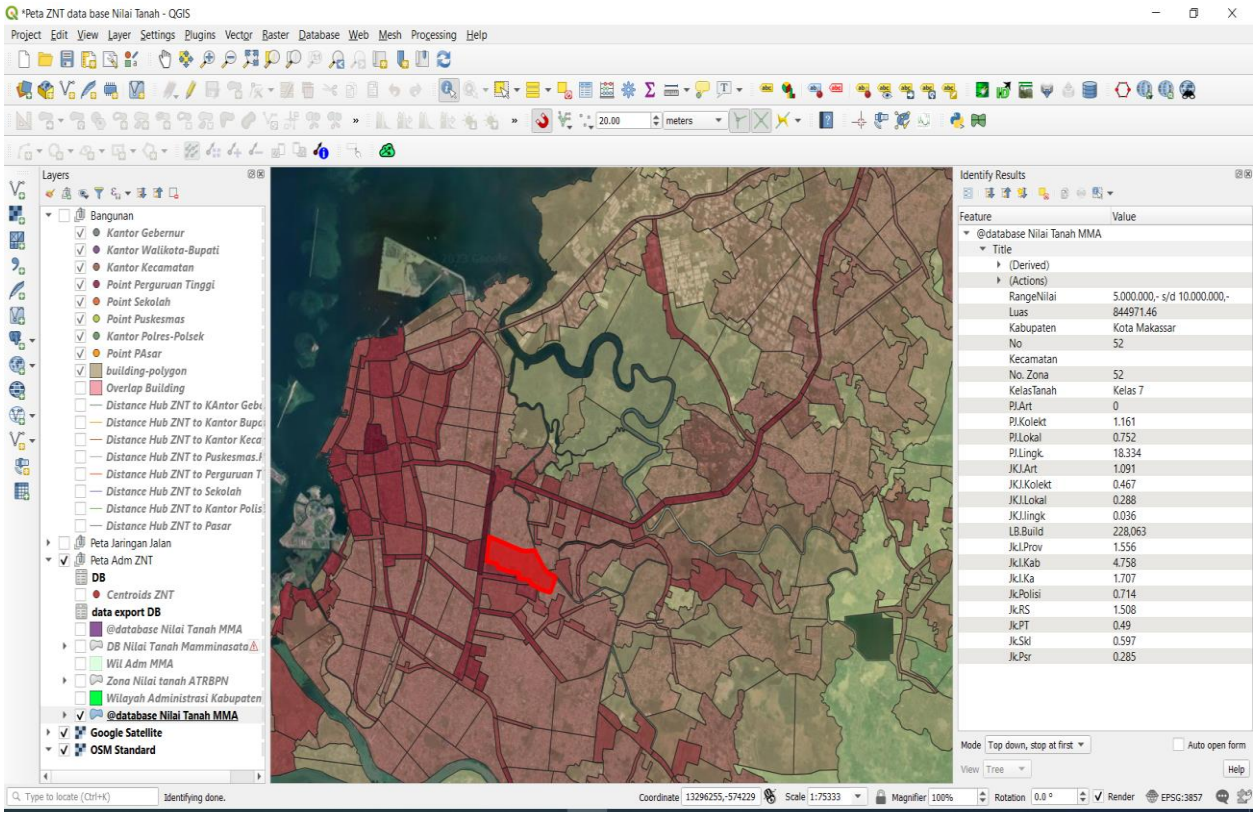


No	lo. Zon	elasTanal	RangeNilai	Kabupaten	Luas	Pl.Art	Pl.Kolekt	Pl.Lokal	Pl.Lingk.	JKJ.Art	JKJ.Kolekt	JKJ.Lokal	JKJ.lingk	LB.Build	Jk.I.Prov	Jk.I.Kab	Jk.I.Ka	Jk.Polisi	Jk.RS	Jk.PT	Jk.Skl	Jk.Psr
1	1	1	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	37101.01	0	0	0	0.052	6.293	2.821	2.707	0.16	206	16.362	9.84	4.295	4.623	2.289	1.541	3.527	1.969
2	2	2	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	7307024.92	0	0	4.257	40.577	3.13	6.394	0.581	0.055	186,585	18.516	11.888	2.067	1.562	2.113	1.709	7.226	1.487
3	3	3	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	5145608.41	0	0	0	21.108	9.454	2.322	3.548	0.413	133,925	15.813	9.904	4.497	4.508	2.279	1.023	1.743	0.826
4	4	4	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	6564123.03	0	0	5.247	18.807	7.709	11.467	1.885	0.123	131,266	17.735	11.568	6.698	3.532	2.961	1.214	3.574	1.61
5	5	5	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	5004504.93	0	0	2.008	13.459	1.439	3.288	0.884	0.201	142,430	14.983	8.382	2.105	2.987	2.002	1.407	5.831	1.176
6	6	6	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	2740120.49	0	0	4.229	4.994	2.522	6.349	0.27	0.472	96,060	24.011	7.569	1.392	2.184	1.332	1.499	5.772	1.368
7	7	7	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	5249531.62	0	0	3.754	0	3.918	3.894	1.666	1.597	74,635	16.507	9.89	2.841	3.192	2.68	1.95	4.735	0.984
8	8	8	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	1756446.17	0	0	0	1.919	0.903	1.445	0.903	0.413	21,921	13.804	7.365	3.334	4.212	1.549	2.41	6.56	1.79
9	9	9	Kelas 1	<100.000,-	Kab. Gowa	2302511.55	0	0	0.022	3.024	1.24	0.892	0.605	0.215	9,080	14.185	7.921	3.501	4.29	1.42	2.174	7.25	1.268
10	10	10	Kelas 1	<100.000,-	Kab. Gowa	3291188.80	0	0	0.273	4.399	3.946	1.833	0.704	0.528	8,052	16.347	10.563	2.327	4.272	1.547	1.906	9.987	2.014
11	11	11	Kelas 1	<100.000,-	Kab. Gowa	2244833.23	0	0	1.057	3.091	5.797	2.592	0.134	0.129	13,870	25.45	7.761	2.62	3.873	2.486	2.471	6.179	1.18
12	12	12	Kelas 1	<100.000,-	Kab. Gowa	1326575.00	0	0	1.2	0.681	4.01	1.519	0.705	0.283	5,981	15.148	9.56	1.434	5.459	0.685	0.91	8.661	1.256
13	13	13	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Takalar	144537.87	1.46	0	0.077	0.491	1.858	6.46	1.892	0.877	15,745	37.5	5.97	0.17	2.372	0.252	0.476	7.581	0.243
14	14	14	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Takalar	149392.59	1.508	0	0.115	0.347	0.359	4.267	0.411	0.239	15,763	35.319	3.772	2.105	0.471	0.494	2.322	5.38	1.366
15	15	15	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	3693766.18	0	0	0	4.01	5.53	1.508	1.887	0.291	17,885	12.679	6.577	3.264	3.335	1.528	1.433	1.599	2.248
16	16	16	Kelas 2	100.000,- s/d 200.000,-	Kab. Gowa	45683.79	0	0	0	0	2.106	0.832	0.582	0.341	484	9.352	3.109	2.51	1.864	1.612	1.189	1.778	1.229
17	17	17	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	205580.20	0	0.062	0	2.438	0.289	0.173	0.347	0.039	125,728	4.772	0.804	0.416	0.423	0.453	0.663	0.127	0.066
18	18	18	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	672767.91	0	0	0	15.372	3.497	0.427	0.675	0	134,006	8.462	6.31	1.704	1.674	2.367	2.119	0.27	1.7
19	19	19	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	534368.43	0	0.954	0.55	8.437	0.779	0.185	0.246	0.076	240,966	3.648	2.18	0.421	1.334	0.432	0.574	0.138	0.156
20	20	20	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	122486.85	1.108	0.535	0	0.243	0.06	0.162	0.574	0.107	47,054	4.357	1.682	0.701	1.311	0.189	0.746	0.401	0.367
21	21	21	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	40853.93	0	0.621	0.064	0.305	1.236	0.11	0.921	0.039	14,452	6.25	5.056	1.235	2.214	0.434	0.822	0.026	0.108
22	22	22	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	66625.90	1.646	0	0.093	1.909	0.401	0.482	0.013	0.031	7,548	4.227	2.845	0.16	0.113	0.118	0.441	0.819	0.548
23	23	23	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	462687.05	0	0	0	10.408	3.663	0.406	1.628	0.011	87,214	8.488	5.907	1.683	1.171	2.886	1.545	0.842	2.421
24	24	24	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	175622.88	0	0	0	0.917	1.166	0.239	0.591	0.234	8,142	5.712	2.92	0.376	0.429	0.394	0.983	0.766	0.836
25	25	25	Kelas 7	5.000.000,- s/d 10.000.000,-	Kota Makassar	98362.60	0	0.477	0	0.925	0.531	0.08	0.679	0.013	37,922	4.793	0.202	0.341	0.227	0.327	0.358	0.162	0.22

Gambar 8. *Output* tabel atribut *database* nilai tanah Mamminasta

Testing database nilai tanah

Tahap ini bertujuan untuk menguji *database* nilai tanah yang telah dibangun dan memastikan semua informasi dari tabel atribut telah terpenuhi. Aplikasi *database* QGIS sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. *Output database* nilai tanah Mamminasta pada aplikasi QGIS

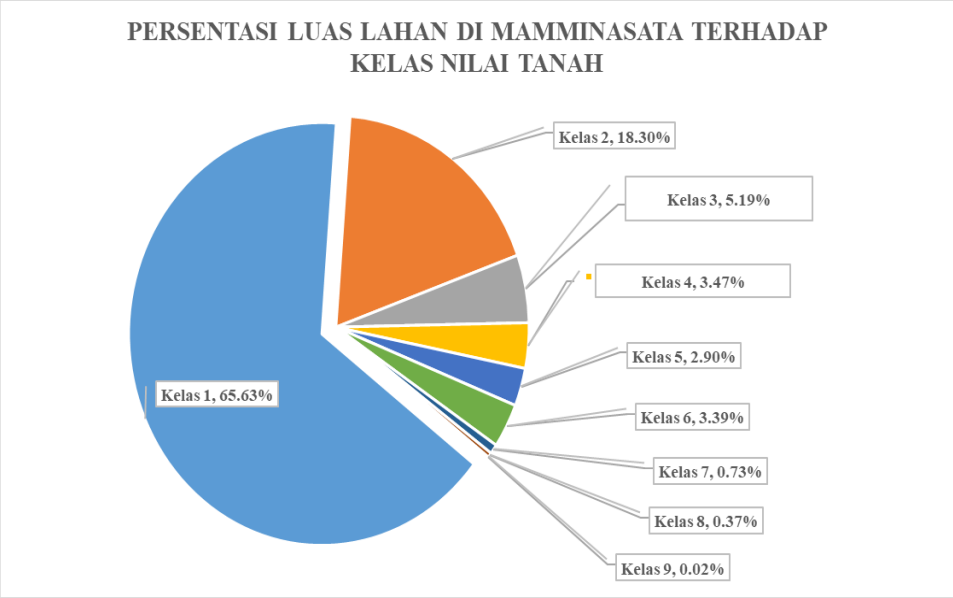
Output dari pengembangan *database* nilai tanah Mamminasta pada Aplikasi QGIS menampilkan poligon zona nilai sebanyak 1335 zona, setiap zona menampilkan 22 Tabel Informasi yaitu :

1. No zona nilai tanah
2. Kelas nilai tanah
3. *Range* nilai tanah satuan rupiah
4. Luas zona nilai tanah dalam satuan meter persegi
5. Wilayah kabupaten zona nilai tanah
6. Panjang jalan arteri yang berada dalam zona nilai lahan dalam satuan kilometer
7. Panjang jalan kolektor yang berada dalam zona nilai lahan satuan dalam satuan kilometer
8. Panjang jalan lokal yang berada dalam zona nilai lahan dalam satuan kilometer
9. Panjang jalan lingkungan yang berada dalam zona nilai lahan dalam satuan kilometer
10. Jarak terdekat zona nilai lahan ke jalan arteri dalam satuan kilometer
11. Jarak terdekat zona nilai tanah ke jalan kolektor dalam satuan kilometer
12. Jarak terdekat zona nilai tanah ke jalan lokal dalam satuan kilometer
13. Jarak terdekat zona nilai tanah ke jalan Lingkungan dalam satuan kilometer

14. Luas bangunan yang berada dalam zona nilai tanah dalam satuan meter persegi
15. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pusat kota provinsi dalam satuan kilometer
16. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pusat kota kabupaten dalam satuan kilometer
17. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pusat kota kecamatan dalam satuan kilometer
18. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke kantor polisi dalam satuan kilometer
19. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke rumah sakit / puskesmas dalam satuan kilometer
20. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke perguruan tinggi dalam satuan kilometer
21. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke sekolah dalam satuan kilometer
22. Jarak terdekat dari zona nilai tanah ke pasar/mall dalam satuan kilometre
23. Karakteristik nilai tanah berdasarkan pengembangan *database*

Karakteristik harga lahan permukiman di wilayah Mamminasata akan dijelaskan berdasarkan analisis deskriptif dengan penjabaran pada tabel atau grafik.

Analisis data tersebut menunjukkan bahwa 65.63% luas lahan di wilayah metropolitan Mamminasata berada pada kelas 1 atau memiliki nilai tanah < Rp.100.000/m^2. Sebagaimana terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Persentase luas lahan di Mamminasata terhadap kelas nilai tanah

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai tanah di wilayah Kota Makassar memiliki nilai terendah sebesar Rp.200.000,- dan nilai terbesar yaitu sebesar > Rp20.000.000. Analisis data tersebut menyimpulkan bahwa nilai rata-rata tanah di Kota Makassar sebesar Rp 3.000.000/m^2, nilai tanah di Kota Makassar sangat tinggi diakibatkan karena Kota Makassar merupakan Ibukota Provinsi Sulawesi Selatan. Untuk nilai tanah di Kabupaten Maros memiliki nilai tanah tertinggi yaitu Rp10.000.000 dan 82% lahan di Kabupaten Maros memiliki nilai tanah <Rp.100.000,-. Kabupaten Gowa merupakan daerah yang terdekat dengan Kota Makassar memiliki nilai tanah tertinggi sebesar Rp20.000.000, tetapi 80% dari luas wilayah Kabupaten Gowa memiliki harga <Rp.200.000. Sedangkan nilai tanah di Kabupaten Takalar memiliki nilai tanah tertinggi yaitu Rp5.000.000 dan 88% lahan di Kabupaten Takalar memiliki nilai tanah <Rp.100.000,-.

Tabel 2. Tabel luas lahan berdasarkan wilayah administrasi

Kelas Tanah	Range Harga	Luas Lahan (km^2)				
		Makassar	Maros	Gowa	Takalar	Total
Kelas 1	<100.000,-	-	883.9	331.6	375.0	1,590.5
Kelas 2	100.000,-s/d200.000,-	-	92.3	316.8	34.3	443.4
Kelas 3	200.000,-s/d500.000,-	21.8	41.1	49.6	13.4	125.8
Kelas 4	500.000,-s/d1.000.000,-	33.7	26.3	21.5	2.7	84.2
Kelas 5	1.000.000,-s/d2.000.000,-	46.3	9.6	14.3	0.2	70.3
Kelas 6	2.000.000,-s/d5.000.000,-	46.3	20.9	14.8	0.2	82.3
Kelas 7	5.000.000,-s/d10.000.000,-	15.0	1.1	1.5	-	17.6
Kelas 8	10.000.000,-s/d20.000.000,-	8.6	-	0.4	-	9.0
Kelas 9	>20.000.000,-	0.5	-	-	-	0.5
	JUMLAH	**172**	**1,075**	**750**	**426**	**2,424**

D. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan yang dapat memenuhi tujuan dari penelitian ini:

1. Data sekunder dari *website* resmi Kementerian ATR/BPN untuk selanjutnya dimasukkan ke aplikasi QGIS, dengan metode digitalisasi peta dengan pemasukan poligon zona nilai tanah.
2. Dengan melakukan analisis *vektor sum line length, overlap analysis* dan *distance to nearest hub* diperoleh tambahan data koefisien jaringan jalan, koefisien luas bangunan dan jarak zona nilai tanah ke jaringan jalan dan fasilitas umum di setiap zona nilai tanah.
3. Proses digitalisasi dan analisis vektor yang sudah selesai dilakukan *join attribute table* yang menghasilkan *database* nilai tanah di wilayah aglomerasi Mamminasata
4. 65.63% dari luas lahan di wilayah metropolitan Mamminasata memiliki nilai tanah <Rp.100.000/m^2. Nilai tanah tertinggi adalah nilai tanah Kota Makassar dikarenakan statusnya yang merupakan ibukota provinsi.
5. Aplikasi database ini bermanfaat bagi pemangku kebijakan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur yang mempertimbangkan nilai tanah.

Terdapat kekurangan serta perbaikan yang diperlukan untuk *database* nilai tanah pada Aplikasi QGIS ini, sehingga diperlukan beberapa saran yaitu:

1. *User* yang mahir dalam membuat peta menggunakan aplikasi QGIS dibutuhkan untuk memaksimalkan sistem ini.
2. Untuk memperoleh *database* yang baik harus mempunyai inputan data yang berkualitas serta analisis lebih mendalam. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya diperlukan pengembangan *database* nilai tanah di wilayah Mamminasata terkait harga lahan di wilayah Mamminasata berdasarkan hasil *survey* data primer.
3. Studi lanjutan terkait model interaksi nilai tanah dengan jaringan infrastruktur transportasi dan fasilitas publik akan dikembangkan lebih lanjut berbasis aplikasi database ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alterman, R., Land-use regulations and property values: the "windfall capture" idea revisited. Dalam: N. Brooks, K. Donaghy and G. Knaap eds., 2012. The Oxford handbook of urban economics and planning. Oxford: Oxford University Press, 2012.

Bourne, Larry S. Internal Structure of The City: Reading on Urban Form, Growth, and Policy. New York: Oxford University Press, 1982.

Elmanisa, A. M., Kartiva, A. A., Fernando, A., Arianto, R., Winarso, H., & Zulkaidi, D. (2016). Land Price Mapping of Jabodetabek, Indonesia. Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning, 4(1), 53. DOI: https://doi.org/10.14710/geoplanning.4.1.53-62

Evans, A. (2004). Economics, Real Estate and the Supply of Land. New Jersey: John Wiley & Sons.

Firman Ashari, A. (2022). Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Serta Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya (Studi Kasus Kota Makassar 2011-2019): Spatial Analysis of Land Use Changes and The Affecting Factors (Case Study of Makassar City 2011-2019). Jurnal Ecosolum, 10(2), 70-81. https://doi.org/10.20956/ecosolum.v10i2.18059

Jumaeroh. (2019). Sistem Informasi Berbasis WebGIS untuk Monitoring Data Perlengkapan Jalan di Kabupaten Sragen dengan Menggunakan PHP dan MySQL.

Mayasari, Karina., dkk. 2009. Faktor Yang Mempengaruhi Harga Lahan Di Kawasan Khusus Kota Baru Berbasis Industri Dan Pusat Kota Samarinda. Jurnal Tata Kota dan Daerah Volume I. Malang: Universitas Brawijaya

Prahasta,Eddy. 2005, Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis, Penerbit Informatika, Bandung.

Tsutsumi, M., & Seya, H. (2008). Measuring the impact of large-scale transportation projects on land price using spatial statistical models. Papers in Regional Science, 87(3), 385–401. https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2008.00192.x

Utami, Citra Fadhilah; Mizuno, Kosuke; Hasibuan, Hayati Sari; Soesilo, Tri Edhi Budhi. Modeling Land Value in Peripheral Metropolitan: An Empirical Study in Jakarta Metropolitan Area. ACE: architecture, city and environment, 2022, Vol. 16, Núm. 48.

Winarso, Haryo (ed), Metropolitan di Indonesia: Kenyataan dan Tantangan dalam Penataan Ruang, Direktorat Jenderal Penataan Ruang, Departemen Pekerjaan Umum (2006).

PERBANDINGAN TEBAL PERKERASAN PADA BANDARA HALIM PERDANAKUSUMA BERDASARKAN METODE EMPIRIS DAN METODE MEKANISTIK

Alhilal Mohammad Farhan[1*], Prayogo Afang Prayitno[2], dan Aisyah Nur Jannah[3]

[1*]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta
Email: 19511261@alumni.uii.ac.id (Corresponding Author)
[2]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta
Email: 205111303@uii.ac.id
[3]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta
Email: 205111301@uii.ac.id

ABSTRAK

Bandara Halim Perdanakusuma adalah bandara yang terletak di DKI Jakarta, bandara ini juga mempunyai fungsi sebagai pangkalan militer Tentara Republik Indonesia. Maka dari itu diperlukan perencanaan untuk aspek paling vital yaitu perkerasan pada *runway*, *taxiway* dan apron. Penelitian ini berfokus pada perencanaan desain tebal perkerasan apron, taxiway, dan runway dengan menggunakan dua metode yaitu metode empiris dan metode mekanistik berdasarkan Federal Aviation Administration (FAA). Metode empiris mendasarkan pada FAA Advisory Circular 150/5320-6D, sedangkan metode mekanistik mendasarkan pada Advisory Circular 150/5320-6G. Hasil tebal perkerasan dengan menggunakan metode empiris pada *runway* yaitu 102 mm pada lapisan permukaan, 360 mm pada lapisan fondasi atas, dan 269,8 mm pada lapisan fondasi bawah, total tebal keseluruhan adalah 732,1 mm. Pada *taxiway* adalah 102 mm pada lapisan permukaan, 355,6 mm pada lapisan fondasi atas, dan 410,5 mm pada lapisan fondasi bawah dengan total tebal keseluruhan adalah 867,7 mm. Pada apron adalah tebal lapisan beton adalah 555,89 mm dan tebal lapisan fondasi bawah 19 cm, total tebal perkerasan kaku pada apron adalah 745,89 mm. Hasil dari desain tebal perkerasan dengan menggunakan metode mekanistik pada *runway* yaitu, 102 mm untuk lapisan permukaan, 327 mm untuk lapisan fondasi atas, dan 216 mm untuk lapisan fondasi bawah, total tebal perkerasan pada *runway* yaitu 645 mm. Pada *taxiway* yaitu, 102 mm untuk lapisan permukaan, 327 mm untuk lapisan fondasi atas, dan 316 mm untuk lapisan fondasi bawah, total tebal perkerasan pada *taxiway* yaitu 745 mm. Pada apron yaitu, 537 mm untuk lapisan permukaan dan 152 mm untuk lapisan fondasi bawah, total tebal perkerasan pada apron yaitu 689 mm.

Kata kunci: Apron, FAA, *Runway*, *Taxiway*

A. PENDAHULUAN

Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta merupakan ibu kota Republik Indonesia, sekaligus sebagai pusat bisnis dan pusat pemerintahan dengan jumlah penduduk yang cukup padat. Penduduk Jakarta pada tahun 2020 mencapai 11.063.324 jiwa. sementara luas Jakarta menurut Keputusan Gubernur No. 171 Tahun 2007 seluas 662,3 km^2. dengan demikian kepadatan penduduk Jakarta tahun 2020 mencapai 16.704 jiwa/km^2 (Badan Pusat Statistik, 2020). Hal ini mengakibatkan masyarakat DKI Jakarta perlu akan adanya moda transportasi yang cepat dan efisien terlebih untuk perjalanan luar kota. Kebutuhan moda transportasi masyarakat DKI Jakarta dalam mobilitas salah satunya adalah moda transportasi udara. Moda transpotasi udara dapat dilayani oleh 2 bandar udara (bandara) besar disekitar Provinsi DKI Jakarta yakni Bandara Internasional Soekarno-Hatta yang berada di Kota Tangerang, Banten dan Bandara Halim Perdanakusuma yang terletak strategis di tengah Kota Jakarta.

Bandar Udara Internasional Halim Perdanakusuma adalah sebuah bandar udara yang terletak di Kecamatan Makasar. Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia. Bandar udara ini merupakan markas Komando Operasi Angkatan Udara I. Sejak tanggal 10 Januari 2014, bandar udara ini juga digunakan sebagai bandar udara komersial untuk wilayah Jabodetabek, awalnya untuk mengalihkan penerbangan dari Bandar Udara Internasional Soekarno–Hatta yang dinilai telah penuh sesak. Akan tetapi, Kementerian Perhubungan (Kemenhub) dan TNI AU pada 21 Januari 2022 menginformasikan bahwa Bandara Halim Perdanakusuma ditutup sementara mulai 26 Januari 2022. Bandara Halim ditutup sementara mengingat akan ada revitalisasi untuk memperbaiki fasilitas sisi darat maupun udara. Hal itu merupakan tindak lanjut dari rencana revitalisasi Bandara Halim Perdanakusuma, yang aturannya tertuang dalam Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 9 Tahun 2002.

Dengan adanya proyek revitalisasi Bandar Udara Halim Perdanakusuma, hal yang menjadi sorotan utama revitalisasi ini adalah *runway, taxiway* dan apron. Ketiga aspek tersebut merupakan bagian penting dari pembangunan bandara pada bagian *airside* yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan penumpang serta pesawat yang sedang beroperasi. Penelitian ini secara garis besar akan berfokus pada perencanaan lapis perkerasan baru pada *runway, taxiway* dan apron. Hasil yang ingin dicapai adalah mendapatkan hasil perencanaan tebal lapis perkerasan lentur pada *runway, taxiway,* dan perkerasan kaku pada apron yang optimal untuk dilewati oleh pesawat yang akan beroperasi pada Bandar Udara Halim Perdanakusuma. Hasil perencanaan tebal lapis itu didapat dari perhitungan dengan menggunakan metode empiris berdasarkan Federal Aviation Administration (FAA) *Advisory Circular* 150/5320-6D dan metode mekanistik berdasarkan Federal Aviation Administration (FAA) *Advisory Circular* 150/5320-6G. Penelitian ini juga menggunakan metode FAA untuk menganalisis desain tebal perkerasan bandar udara. FAA adalah organisasi yang mengatur penerbangan di wilayah Amerika Serikat, organisasi ini memiliki metode yang paling mutakhir dalam menganalisis desain tebal perkerasan yaitu dengan bantuan program FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*). Program FAARFIELD merupakan program komputer yang dikeluarkan oleh FAA berfungsi untuk merencanakan tebal perkerasan pada bandar udara. FAARFIELD menganalisis tebal perkerasan berdasarkan persamaan CDF (*Cumulative Damage Factor*).

B. STUDI LITERATUR

Anis (2016) dengan penelitian yang berjudul Analisis Perbandingan Metode Empiris dan Metode Mekanistik dalam Perancangan Landasan Bandar Udara Kertajati-Majalengka yang mempunyai tujuan mengetahui hasil perbandingan dalam perancangan landasan bandar udara menggunakan metode empiris dan mekanistik. Perhitungan metode empiris dilakukan berdasarkan metode FAA (*Federal Aviation Administration*) dengan dokumen 150/5320-6D. sedangkan metode mekanistik didasarkan pada dokumen 150.5320-6E yang dibantu dengan program komputer FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Layer Design*). Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan tebal masing-masing lapisan menggunakan metode empiris pada fondasi bawah sebesar 82,55 cm, fondasi atas sebesar 36,83 cm dan permukaan sebesar 15,24 cm, sedangkan menggunakan metode mekanistik didapatkan tebal masing-masing lapisan pada fondasi bawah sebesar 94,44 cm, fondasi atas sebesar 54,72 cm dan permukaan sebesar 12,7 cm.

Sari, dkk (2019) dengan penelitian berjudul Analisis Perkerasan Landas Pacu Bandar Udara Husein Sastranegara yang bertujuan mengetahui perbandingan tebal perkerasan dengan metode ACN/PCN ICAO (International Civil Aviation Organization) dan metode FAA dengan bantuan *software* FAARFIELD. Hasil dari penelitian ini didapatkan total tebal perkerasan dengan metode ACN/PCN ICAO (International Civil Aviation Organization) secara grafis adalah 1041,4 mm, sedangkan secara analitis setebal 940,6 mm. Untuk metode FAA dengan bantuan *software* FAARFIELD mempunyai total tebal perkerasan 840,8 mm.

C. METODE

Metode analisis data adalah cara untuk mempermudah proses pengelolaan data untuk memperoleh hasil yang dituju. Data yang didapatkan dari PT. Wijaya Karya (Persero) dan PT. Angkasa Pura 1I (Persero) kemudian dilakukan analisis perhitungan tebal lapisan perkerasan dengan beberapa metode. Adapun metode-metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Metode empiris berdasarkan FAA *Advisory Circular* 150/5320-6D dengan data yang digunakan adalah data CBR tanah dasar dan data pesawat kritis.

Metode mekanistik berdasarkan FAA *Advisory Circular* 150/5320-6G dengan data yang digunakan adalah data CBR tanah dasar dan data lalu lintas pesawat.

Adapun data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Wijaya Karya (Persero) dan PT. Angkasa Pura II (Persero). Data-data tersebut diperoleh dari hasil pekerjaan pada proyek revitalisasi Bandar Udara Halim Perdanakusuma. Berikut merupakan data-data yang digunakan dalam penelitian ini.

Data CBR tanah dasar pada proyek Revitalisasi Bandar Udara Halim Perdanakusuma berfungsi untuk mengetahui kekuatan tanah dasar proyek, sehingga dalam analisis dapat menjadi sebuah parameter *input design*. Data CBR tanah dasar (*subgrade*) yang digunakan pada penelitian ini didapat dari PT. Wijaya Karya (Persero) yang didasarkan oleh Rencana Kerja dan Syarat – syarat Pekerjaan Sisi Udara Revitalisasi Fasilitas Pangkalan Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara (TNI AU) Bandar Udara Halim Perdanakusuma dengan parameter CBR *Subgrade* 10% untuk *runway*, CBR *Subgrade* 8% untuk *taxiway,* dan CBR *Subgrade* 12% untuk apron, CBR Fondasi bawah 30% untuk *runway,* apron dan *taxiway,* data ini merujuk pada Rencana Kerja dan Syarat-syarat Pekerjaan Sisi Udara Revitalisasi Fasilitas Pangkalan Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara (TNI AU).

Data lalu lintas pesawat Bandar Udara Halim Perdanaksuma yang berfungsi untuk mengetahui beban pesawat-pesawat yang mendarat dan lepas landas serta menjadi sebuah data *input* untuk *software* FAARFIELD. Data lalu lintas tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data lalu lintas pesawat Bandar Udara Halim Perdanakusuma

Tipe Pesawat	*Gross Wt. (ton)*	*Annual Departures*
A319	64,4	11
A320-200	73,9	22841
A330-300	230,9	1
A340-300	275,9	1

Tipe Pesawat	*Gross Wt. (ton)*	*Annual Departures*
A400M	141,4	3
B737 BBJ	77,79	116
B737-300	63,503	457
B737-400	60,781	13
B737-500	68,266	20
B737-700	70,307	37
B737-800	79,242	3352
B737-900 ER	85,366	9
B747-400F	397,801	1
B757-200	116,1	1
B767-200 ER	179,623	2
B777-300 ER	352,441	14

Sumber : PT. Angkasa Pura II (2017)

Data *annual growth* pesawat Bandar Udara Halim Perdanakusuma yang berfungsi sebagai pertumbuhan pesawat sehingga didapat proyeksi keberangkatan tahunan.

Data konfigurasi roda pesawat Bandar Udara Halim Perdanakusuma berfungsi sebagai menghitung pembebanan yang dikonversi ke satuan roda.

Data nilai kuat beton proyek revitalisasi Bandar Udara Halim Perdanakusuma berfungsi sebagai salah satu faktor dalam perhitungan tebal perkerasan kaku.

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini dimulai dengan merumuskan masalah, mencari studi referensi, mengumpulkan data sekunder berupa data CBR tanah dasar dan data lalu lintas pesawat yang kemudian kedua data tersebut akan dihitung dengan 2 metode yaitu metode empiris berdasarkan FAA *Advisory Circular* 150/5320-6D dan menggunakan metode mekanistik berdasarkan FAA *Advisory Circular* 150/5320-6G. Pada perhitungan struktur ini dibagi menjadi dua macam yaitu perkerasan lentur untuk bagian *runway, taxiway,* dan perkerasan kaku untuk bagian apron. Menurut Tribowo (2015) pemilihan perkerasan lentur untuk bagian *runway* dan *taxiway* dikarenakan beban yang berada pada area tersebut cenderung beban dinamis, sedangkan pemilihan perkerasan kaku pada bagian apron dikarenakan beban yang berada pada area tersebut cenderung statis sehingga tidak efektif untuk perkerasan lentur yang memiliki sifat viskoelastisitas. Perhitungan tebal perkerasan digunakan dengan dua metode, sehingga dapat dibandingkan dan memproleh desain tebal yang maksimal. Hasil perhitungan tersebut akan diperoleh tebal tiap lapisan *runway, taxiway,* dan apron untuk dibandingkan dari kedua metode dan dapat disimpulkan hasilnya.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode empiris

Annual departures didapatkan dengan cara menghitung nilai R1 (*equivalent annual departure* pesawat rencana) yang terdiri dari nilai R2 (*annual departures* pesawat-pesawat campuran dinyatakan dalam roda pendaratan pesawat rencana), nilai W1 (beban roda pesawat rencana) dan nilai W2 (beban roda pesawat yang ditanyakan). Menghitung nilai R2 dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut.

$$R2 = annual\ departures \times faktor\ pengali \quad \ldots\ldots (1)$$

Pesawat A320-200 = 22.841 × 1
= 22.841

Pesawat A319 = R2 = 11 × 1
= 11

Langkah yang sama dapat dilakukan untuk menghitung nilai R2 pesawat lainnya. Selanjutnya adalah menghitung nilai W2 atau beban roda pesawat yang ditanyakan. Nilai W2 dapat dihitung menggunakan persamaan 2 berikut.

$$W2 = beban \times 0,95 \times satuan\ per\ roda \quad \ldots\ldots (2)$$

Pesawat A320-200 = $73,9 \times 0,95 \times 0,25$
= 17.5512 ton
= 17551.250 kg

Pesawat A319 = $64,4 \times 0,95 \times 0,25$
= 15.295 ton
= 15295 kg

Langkah yang sama dapat dilakukan untuk menghitung nilai W2 pesawat lainnya. Selanjutnya adalah menghitung nilai W1 atau beban roda pesawat rencana, nilai W1 dapat dihitung menggunakan persamaan 3 berikut.

$$W1 = beban \times 0,95 \times satuan\ per\ roda \quad \ldots\ldots (3)$$

Pesawat A320-200 = $73,9 \times 0,95 \times 0,25$
= 17.5512 ton
= 17551.250 kg

Selanjutnya adalah menghitung nilai R1 atau *equivalent annual departure* pesawat rencana, nilai R1 dapat dihitung menggunakan persamaan 4 berikut.

$$LogR1 = (LogR2)\left(\frac{W2}{W1}\right)^{0,5} \quad \ldots\ldots (4)$$

Pesawat A320-200 = $(LogR2)\left(\frac{W2}{W1}\right)^{0,5}$
R1 = $26,302$

Langkah selanjutnya adalah menghitung *annual departures* pesawat dengan melakukan proyeksi sesuai dengan umur rencana. Data lalu lintas pesawat yang diperoleh adalah data lalu lintas pada tahun 2017 dan penelitian ini dilakukan pada tahun 2023 sehingga perlu proyeksi umur rencana dari 2017 – 2043 atau sekitar 26 tahun dengan *annual growth* dengan Persamaan 5 dan Persamaan 6 berikut.

$$Annual\ growth = \frac{(\text{pergerakan pesawat sesudah} - \text{pergerakan pesawat sebelum})}{\text{pergerakan pesawat sebelum}} \times 100\% \quad \ldots\ldots (5)$$

$$Annual\ growth = \frac{(856886 - 821188)}{821188} \times 100\%$$
$$= 4,34\%$$

$Pn = Po(1+i)^n$ .... (6)

Pn - A319 = 11 (1 + 4,34)[26]

= 33,198

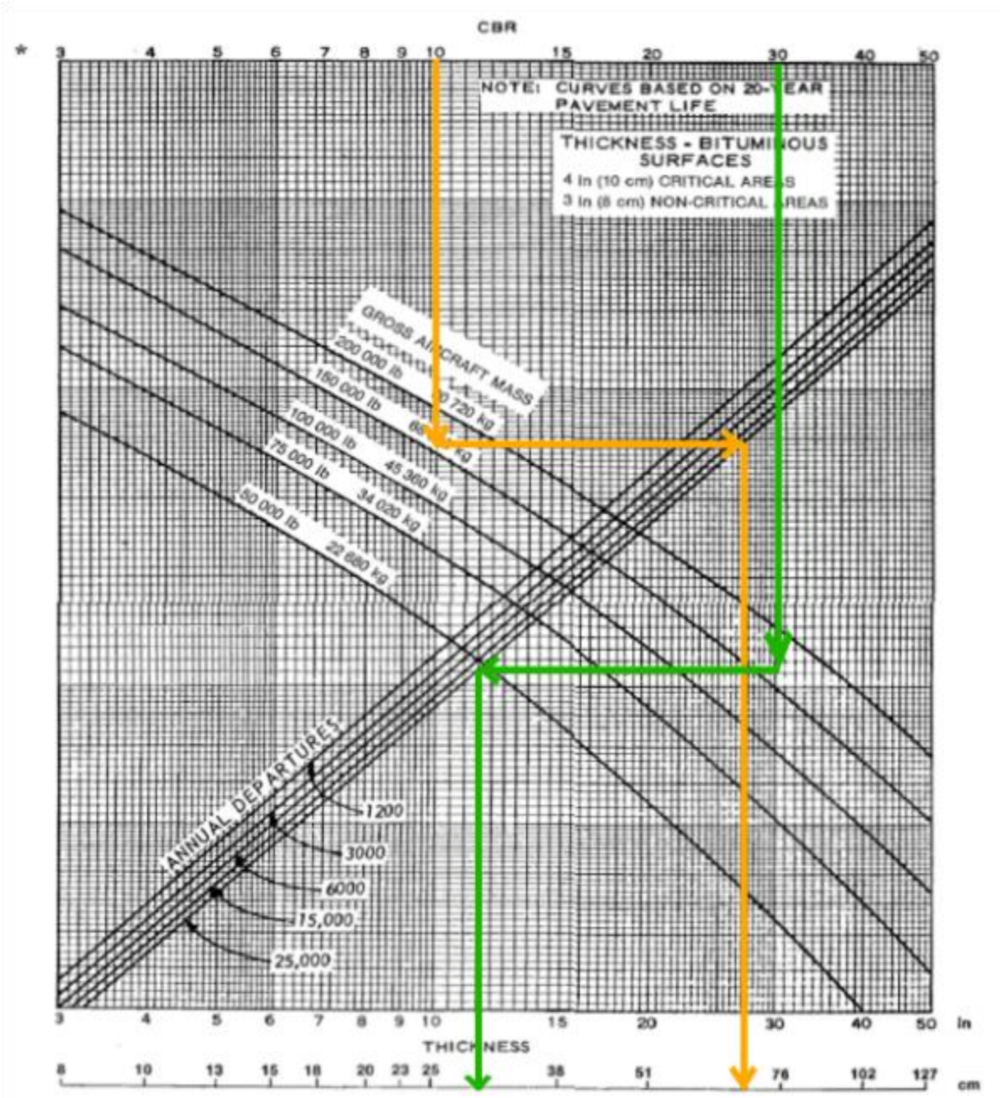
Berdasarkan perhitungan-perhitungan di atas maka didapatkan hasil rekapitulasi seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. *Annual departures* pesawat campuran

No.	Tipe Pesawat	*Annual Departures*	Beban Roda (W2)	Beban Pesawat Rencana (W1)	R2	R1
			Kg	Kg		
1	A319	33,198	15.295,000	17.551,250	33,198	26,302
2	A320-200	68.934.520	17.551,250	17.551,250	68.934,520	68.934,520
3	A330-300	3,018	16.161,875	17.551,250	5,131	4,803
4	A340-300	3,018	16.161,875	17.551,250	5,131	4,803
5	A400M	9,054	8.080,938	17.551,250	15,392	6,392
6	B737 BBJ	350,090	18.475,125	17.551,250	350,090	407,645
7	B737-300	1.379,234	15.081,963	17.551,250	1.379,234	813,602
8	B737-400	39,234	14.435,488	17.551,250	39,234	27,881
9	B737-500	60,360	16.213,175	17.551,250	60,360	51,467
10	B737-700	111,667	16.697,913	17.551,250	111,667	99,430
11	B737-800	10.116,392	18.819,975	17.551,250	10.116,392	14.036,394
12	B737-900 ER	27,162	20.274,425	17.551,250	27,162	34,769
13	B747-400F	3,018	16.161,875	17.551,250	5,131	4,803
14	B757-200	3,018	16.161,875	17.551,250	5,131	4,803
15	B767-200 ER	6,036	16.161,875	17.551,250	10,261	9,340
16	B777-300 ER	42,252	8.080,938	17.551,250	71,829	18,179
Total *Annual Departures* Campuran						84.485,131

Menghitung perkerasan lentur

Pada perhitungan perkerasan lentur dimasukkan nilai CBR subgrade pada runway sebesar 10% berdasarkan data CBR proyek Bandara Halim Perdanakusuma dan nilai CBR fondasi bawah pada runway sebesar 30 %. Setelah itu tarik garis lurus hingga menyentuh garis *annual departures* yaitu 25.000 dan *gross aircraft mass* yaitu 73.900 kg seperti pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Lapisan fondasi bawah *runway*

Berdasarkan grafik di atas maka didapatkan total tebal perkerasan lentur pada *runway* adalah 27 inch dan tebal lapisan dengan CBR fondasi bawah 30% didapat tebal 11,5 inch. *Annual departures* yang digunakan dalam grafik tersebut 25.000 maka dikonversi terlebih dahulu ke *annual departures* campuran yaitu 84.485,13 dengan perhitungan berdasarkan Tabel 2 di atas, konversi tebal untuk *annual departures* campuran yaitu 84.485,13 berada pada rentang 104 % - 108% sehingga perlu menghitung angka konversi tebalnya terlebih dahulu berdasarkan Persamaan 7 berikut.

$$\text{Konversi tebal} = y_1 + \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1}\right) \times (y_2 - y_1) \quad \text{......} \quad (7)$$

$$\text{Konversi tebal} = 104\% + \left(\frac{84.485.13 - 50.000}{100.000 - 50.000}\right) \times (108\% - 104\%)$$

$$= 1,067$$

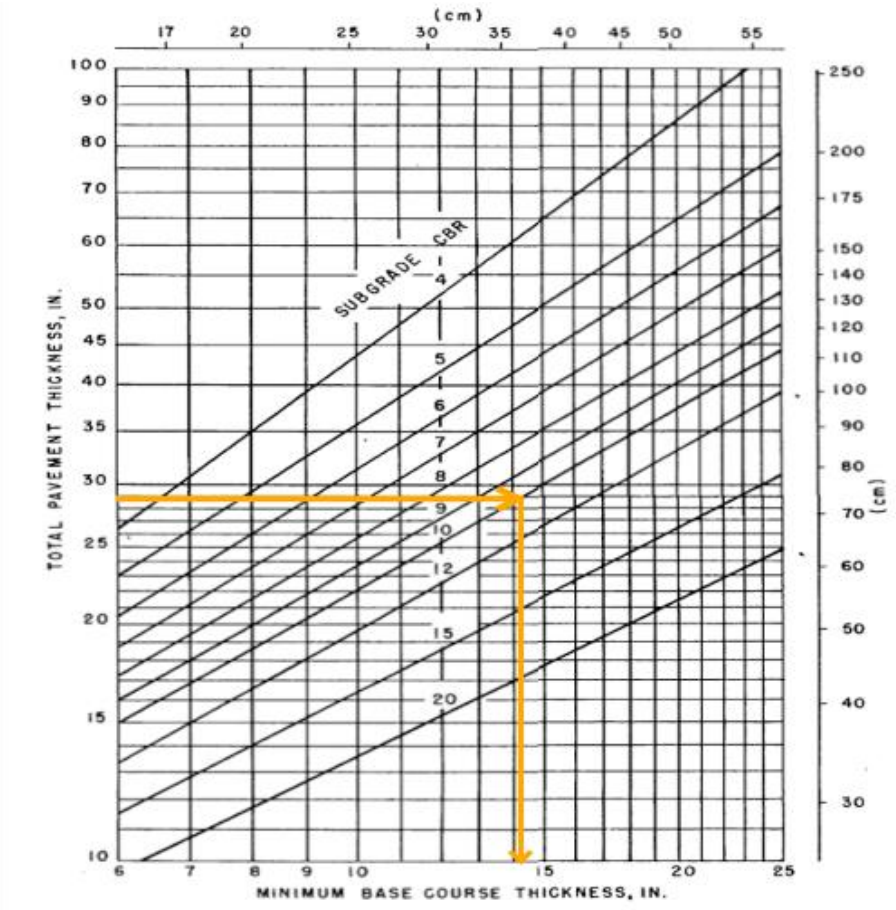
Selanjutnya menghitung tebal total dan tebal CBR 30% dengan perhitungan konversi tebal di atas.

$$\text{Konversi tebal total} = 27 \text{ inch} \times 1,067$$
$$= 28,824 \text{ inch}$$
$$\text{Konversi tebal CBR 30\%} = 11,5 \text{ inch} \times 1,067$$
$$= 12,277 \text{ inch}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka didapatkan total tebal perkerasan lentur pada *runway* adalah 28,824 inch atau 73,215 cm dan tebal lapisan dengan CBR fondasi bawah 30% didapat tebal 12,277 inch atau sama dengan 31,184 cm. sehingga dapat ditentukan tebal lapisan fondasi bawah dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Tebal fondasi bawah} = \text{tebal total} - \text{tebal CBR 30\%}$$
$$= 28,824 \text{ inch} - 12,277 \text{ inch}$$
$$= 16,547 \text{ inch} = 42,03 \text{ cm}$$

Tebal lapisan aspal berdasarkan grafik 4 inch atau 10,2 cm, untuk tebal minimum lapisan fondasi atas didapatkan dengan cara memasukkan nilai total tebal perkerasan dan menarik garis lurus ke garis *subgrade* CBR 10%. maka akan diketahui tebal minimum fondasi atas seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Lapisan fondasi atas *runway*

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui untuk *tebal* lapisan fondasi atas minimum pada *runway* adalah 14,2 inch atau sama dengan 36 cm. Untuk memperoleh tebal lapisan fondasi atas adalah dengan mengurangi tebal CBR 30% dengan tebal aspal minimum yaitu 4 inch. maka

didapatkan tebal lapisan fondasi atas adalah 8,277 inch. Namun. tebal minimum lapisan fondasi atas dari grafik di atas adalah 14,2 inch. maka kekurangan 5,922 inch yang dapat diambil dari tebal lapisan fondasi bawah. Sehingga hasil akhir dari tebal perkerasan lentur pada *runway* adalah 4 inch atau 10,2 cm pada lapisan permukaan, 14,2 inch atau 36 cm pada lapisan fondasi, dan 10,624 inch atau 26,987 cm pada lapisan fondasi bawah dengan total tebal keseluruhan adalah 28,824 inch atau 73,215 cm. Langkah-langkah di atas juga dapat dilakukan pada perhitungan tebal lapis perkerasan bagian *taxiway*.

Menghitung perkerasan kaku

Pada perhitungan perkerasan kaku dimasukkan nilai k untuk CBR *subgrade* pada apron sebesar 12%. maka perlu menghitung nilai k untuk CBR *subgrade* menggunakan Persamaan 8 dan Persamaan 9 berikut.

$$\text{k CBR } subgrade = \left(\frac{1500 \times CBR}{26}\right)^{0,7788} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

$$\text{k CBR } subgrade = \left(\frac{1500 \times 12}{26}\right)^{0,7788}$$

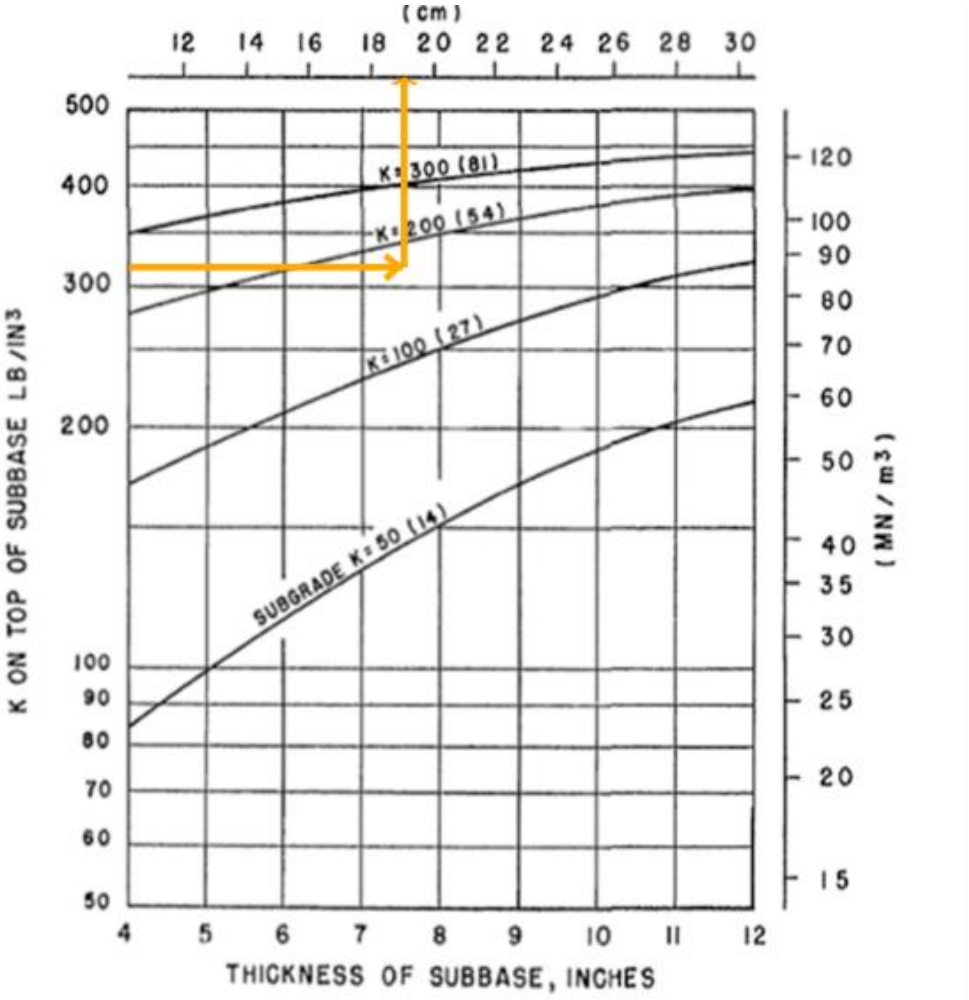
$$= 162,9390 \text{ pci} = 45,2993 \text{ MN/m}^3$$

$$E = 26 \times k^{1,284} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

$$E = 26 \times 162,9390^{1,284}$$

$$= 17.997,5516 \text{ psi} = 124,0888 \text{ MPa}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai k *subgrade* pada apron adalah 162,9390 pci atau 45,2993 MN/m^{3}dan nilai E sebesar 17.997,5516 psi atau 124,0888 MPa. Selanjutnya menentukan modulus pondasi bawah dengan stabilisasi disebabkan oleh beban dari pesawat dengan menarik garis dari sisi kiri. lalu masukkan nilai k untuk fondasi bawah CBR 30% yaitu 332,6161 pci atau 92,4713 MN/m^3 hingga bertemu garis lengkung bernilai k *subgrade* CBR 12% yaitu 162,9390 pci atau 45,2993MN/m^3 lalu tarik garis ke atas untuk mendapat tebal lapis perkerasan seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik perhitungan perkerasan kaku lapisan fondasi bawah pada apron

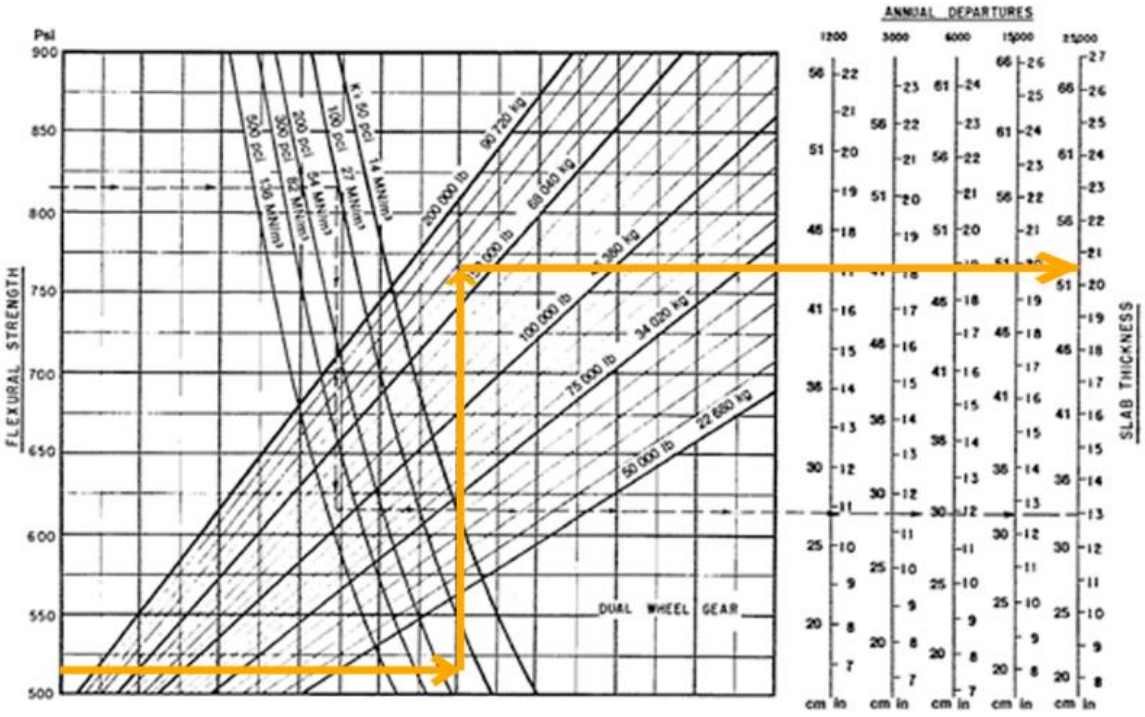
Berdasarkan grafik di atas maka didapatkan ketebalan fondasi bawah adalah 19 cm. Selanjutnya menghitung dengan flexural strength dengan diketahui nilai kuat tekan pada proyek ini adalah 3500 psi atau 24,13 MPa. Berikut merupakan perhitungan nilai kuat lentur beton menggunakan Persamaan 10.

$$Fs = 9 \times f'c^{0,5} \quad \text{.....(10)}$$

$$Fs = 9 \times 3500^{0,5}$$

$$= 532,4471 \text{ psi} = 3,671 \text{ MPa}$$

Selanjutnya menghitung nilai tebal lapis beton dengan menarik garis dari dari sisi kiri. lalu masukkan nilai *flexural strength* sebesar 532,4478 psi atau 3,67 MPa hingga bertemu garis lengkung nilai k untuk fondasi bawah CBR 30% yaitu 332,6161 pci atau 92,4713 MN/m^3 dan nilai menggunakan grafik perkerasan kaku untuk *dual wheel* dengan menarik garis *annual departures* campuran seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik perhitungan perkerasan kaku lapisan permukaan pada apron

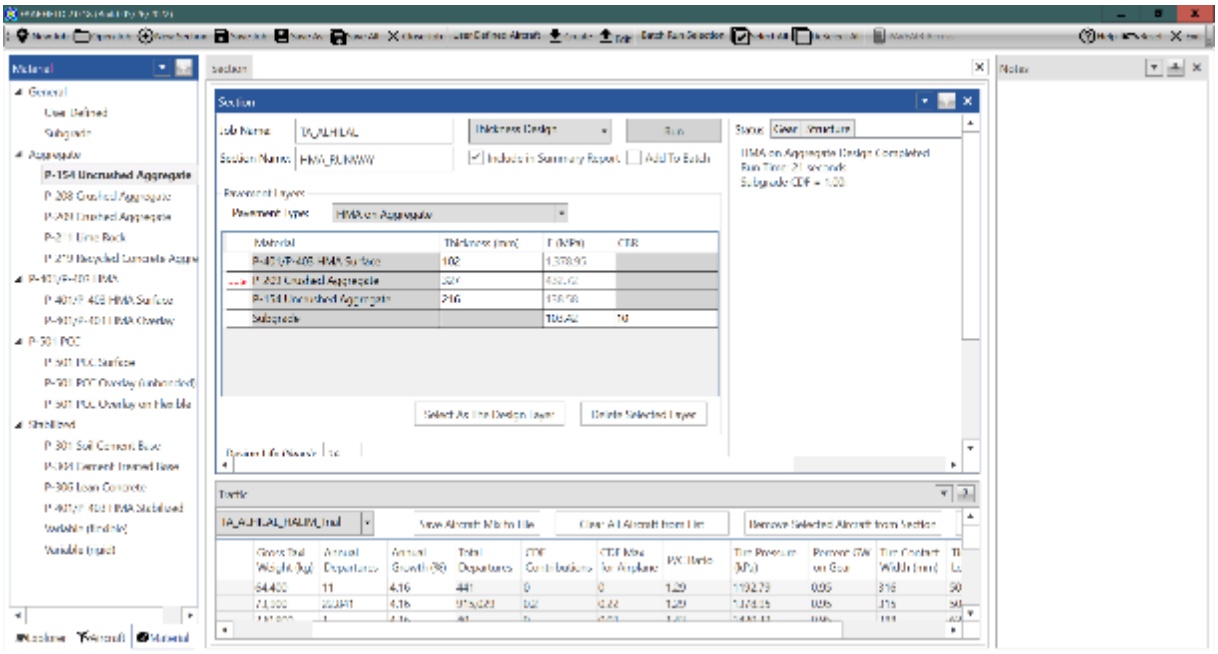
Berdasarkan grafik di atas didapatkan tebal lapisan beton adalah 20,5 inch atau 52 cm, akan tetapi hasil tersebut disebabkan oleh *annual departures* sebanyak 25000, sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu ke *annual departures* campuran yaitu 84.485,13. Berikut konversi tebal lapisan beton dengan konversi tebal *annual departures* campuran.

$$\text{Konversi tebal total} = 20{,}5 \text{ inch} \times 1{,}067$$
$$= 21{,}88 \text{ inch} = 55{,}589 \text{ cm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan tebal lapisan beton 21,88 inch atau 55,589 cm dan tebal lapisan fondasi bawah setebal 19 cm, sehingga total tebal perkerasan kaku pada *taxiway* adalah 74,589 cm.

Metode mekanistik

Program FAARFIELD didasarkan pada nilai *cumulative damage factor* (CDF). *Cumulative damage factor* (CDF) adalah jumlah distribusi kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh setiap pesawat pada lalu lintas campuran. Jika desain mendapatkan nilai CDF = 1, maka desain dianggap sudah memuaskan oleh FAARFIELD. Pada metode mekanistik, perhitungan tebal lapis perkerasan dihitung berdasarkan FAA AC 150/5320-6G, dengan memasukkan data ke dalam program FAARFIELD, diperoleh hasil perhitungan seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Hasil perhitungan menggunakan FAARFIELD

Berikut merupakan rekapitulasi tebal lapis perkerasan berdasarkan metode empiris dan metode mekanistik seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi tebal lapis perkerasan metode empiris

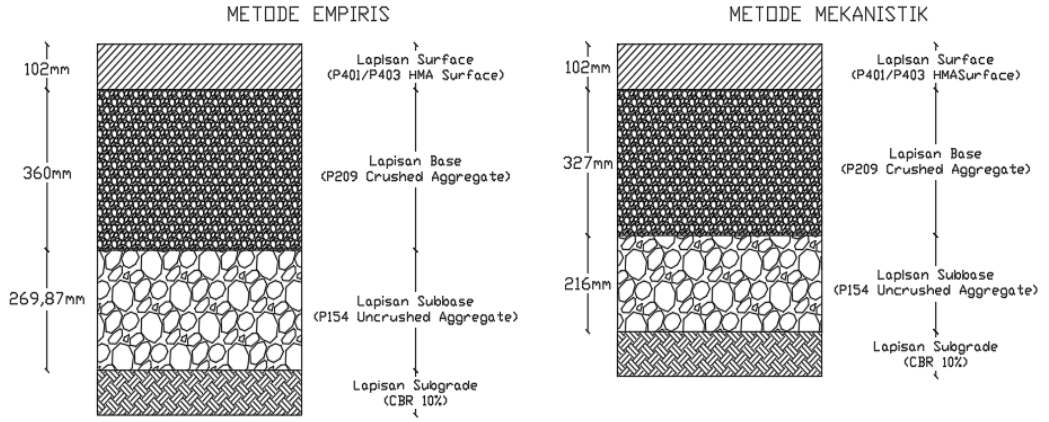
Lapisan	Tebal (mm)		
	Runway	*Taxiway*	Apron
Permukaan (*Surface*)	102	102	555,89
Fondasi atas (*Base*)	360	355,6	-
Fondasi bawah (*Subbase*)	269,87	410,53	190
Total	732,15	867,73	745,89

Tabel 4. Rekapitulasi tebal lapis perkerasan metode mekanistik berdasarkan FAA

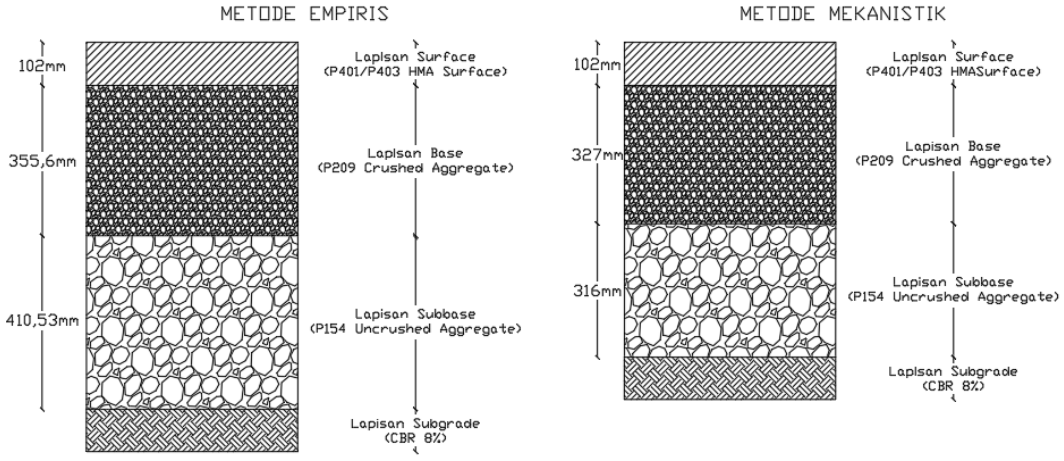
Lapisan	Tebal (mm)		
	Runway	*Taxiway*	Apron
Permukaan (*Surface*)	102	102	537
Fondasi atas (*Base*)	327	327	-
Fondasi bawah (*Subbase*)	216	316	152
Total	645	745	689

Berdasarkan tabel-tabel di atas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan hasil tebal masing-masing perkerasan pada kedua metode. Kedua metode tersebut didasarkan oleh nilai CBR 10 % pada *runway*. CBR 8 % pada *taxiway*. CBR 12% pada apron. dan data lalu lintas pesawat yang sama. Pada metode mekanistik memiliki *input design* berupa data nilai CBR data lalu lintas pesawat beserta *annual departures* dan spesifikasi material yang akan digunakan. sedangkan pada metode empiris perlu memiliki pesawat rencana, dimana pesawat rencana ini tidak selalu pesawat terberat yang akan digunakan pada perkerasan tersebut, melainkan pesawat yang memberi dampak ketebalan terbesar pada perkerasan. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu metode mekanistik berdasarkan FAA 150/5320-6G menghasilkan ketebalan yang lebih tipis dibanding metode empiris berdasarkan FAA 150/5320-6D. Beberapa hal yang mempengaruhi yaitu metode empiris

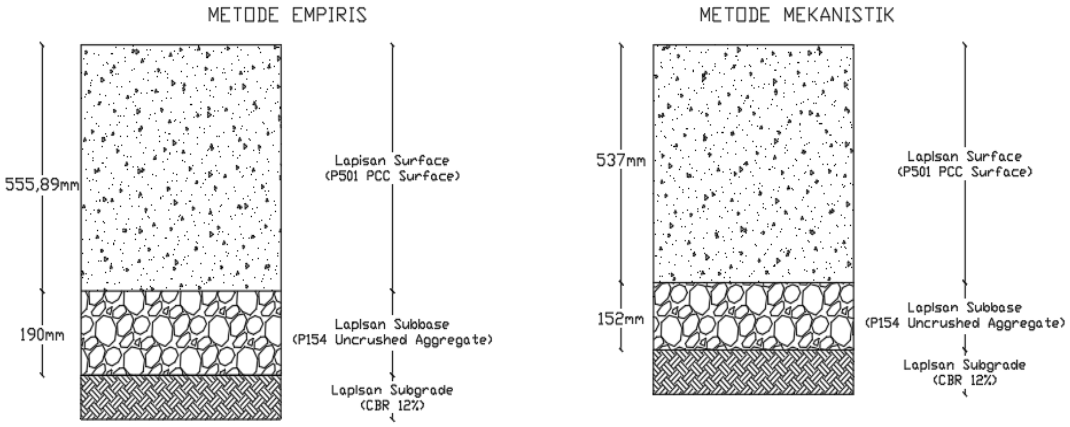
menggunakan grafik sehingga perlu adanya ketelitian guna memperkecil risiko kesalahan dalam pembacaan grafik, sedangkan metode mekanistik lebih spesifik dikarenakan dalam perhitungannya mempertimbangkan respon pembebanan seperti tegangan, regangan dan defleksi. Berikut merupakan desain tebal lapis perkerasan berdasarkan metode empiris dan metode mekanistik seperti pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



Gambar 6. Desain tebal perkerasan *runway*



Gambar 7. Desain tebal perkerasan *taxiway*



Gambar 8. Desain tebal perkerasan apron

E. KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu metode mekanistik berdasarkan FAA 150/5320-6G menghasilkan ketebalan yang lebih tipis dibanding metode empiris berdasarkan FAA 150/5320-6D. Beberapa hal yang mempengaruhi yaitu metode empiris menggunakan grafik sehingga perlu adanya ketelitian guna memperkecil risiko kesalahan dalam pembacaan grafik, sedangkan metode mekanistik lebih spesifik dikarenakan dalam perhitungannya mempertimbangkan respons pembebanan seperti tegangan, regangan dan defleksi. Selain itu. parameter *input* untuk metode mekanistik berupa data CBR *subgrade* dan data lalu lintas pesawat, sedangkan untuk metode empiris berdasarkan FAA 150/5320-6D berupa data CBR *Subgrade,* data CBR Fondasi bawah*,* data lalu lintas pesawat dan pemilihan pesawat rencana, faktor selanjutnya diakibatkan oleh perbedaan cara perhitungan yaitu dengan menggunakan program komputer FAARFIELD dan perhitungan manual dengan menggunakan grafik-grafik.

DAFTAR PUSTAKA

Anis, M. (2016). Analisis Perbandingan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Dalam Perancangan Landasan Bandar Udara: Studi Kasus Bandar Udara Kertajati–Majalengka. *Warta Penelitian Perhubungan*, *28*(6), 413–428.

Badan Pusat Statistik. (2020). *Berapa Kepadatan Penduduk Dki Jakarta Saat Ini?* Badan Pusat Statistik Jakarta. https://statistik.jakarta.go.id/berapa-kepadatan-penduduk-dki-jakarta-saat-ini/

Basuki, H. (1985). *Merancang dan Merencana Lapangan Terbang*. Penerbit Alumni.

Bimantoro, M. U. H. F. (2021). *Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Runway, Taxiway Dan Apron Pada Yogyakarta International Airport*. Universitas Islam Indonesia

Federal Adviation Administration. (2021). *Advisory Circular 150/5320-6G*.

Horonjeff, R. (2010). *Planning and Design of Airports, Fifth Edition*. http://books.google.com/-books?hl=en&lr=&id=-uhsAwAAQBAJ&pgis=1

International Civil Aviation Organization. (1983). *Idoc.Pub_Icao-Doc-9157-Part-3*.

Kurniawan, K. (2018). Studi Desain Perencanaan Perkerasan Sisi Udara Bandar Udara Tunggul Wulung Cilacap. *Prosiding Semnastek*, 1–10. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/-semnastek/article/view/3563

Mufidah, A. H. (2021). *Evaluasi Kinerja Landasan Pacu (Runway) Pada Bandar Udara Husein Sastranegara Dengan Perbandingan Metode Icao Dengan Metode Faa*. Universitas Siliwangi.

Paramahamsa, K. L. M., & Sari, A. N. (2022a). Studi Perencanaan Perkerasan Runway dan Taxiway dengan Metode Federal Aviation Administration. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, *2*(2), 67–74. https://doi.org/10.52989/jaet.v2i2.56

Paramahamsa, K. L. M., & Sari, A. N. (2022b). *View of Studi Perencanaan Perkerasan Runway dan Taxiway dengan Metode Federal Aviation Administration.pdf*.

PT Angkasa Pura II (Persero). (2017). *Operasional, Tinjauan Review, Operational Tata, Laporan Perusahaan, Kelola Report, Corporate Governance Jawab, Tanggung Perusahaan, Sosial Responsibility, Corporate Social*.

Purwanto, H., & Sunandar, A. (2019). Analisa Perencanaan Runway Taxiway Dan Apron Pada Bandara Sultan Mahmud Badaruddin Ii Palembang Menggunakan Metode Faa (Federal Aviation Administration). *Jurnal Deformasi*, *4*(1), 20. https://doi.org/10.31851/-deformasi.v4i1.2971

Putranto, L. (2011). Pengertian Bandar Udara. *2011*, 14–49.

Sari, C., Winfried, A., & Surachman, L. (2019). Analisis perkerasan landas pacu bandar udara Husein Sastranegara, Bandung. *Jurnal Infrastruktur*, *5*(1), 51–57.

Swantara, I. M. D. (2015). Metode Ilmiah. *Diktat Kuliah*, *2*(2), 1–35. https://simdos.unud.ac.id/-uploads/file_pendidikan_dir/959b1b3ab5867b15c36c2b061269bc5b.pdf

Umar, H. (2013). Metode penelitian untuk skripsi dan tesis. *Jakarta: Rajawali*, *42*.

Widiastuti, A. P. (2018). *Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris Dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi-Kanigoro- Planjan*.

PROSPEK WISATAWAN DAN KETERSEDIAAN INFRASTRUKTUR AKOMODASI PADA KAWASAN WISATA SEMENANJUNG BIRA, KABUPATEN BULUKUMBA

Indriaty Wulansari[1*], Sumarni Hamid Aly[2], Muhammad Isran Ramli[3] dan Muralia Hustim[4]

[1*]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya, Makassar
Email: wulansarii21d@student.unhas.ac.id (Corresponding Author)
[2]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar
Email: marni_hamidaly@yahoo.com
[3]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar
Email: isranramli@unhas.ac.id
[4] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar
Email: muraliahustim@yahoo.com

ABSTRAK

Pengembangan industri pariwisata mendatangkan pengaruh *multiplier* yang besar bagi perkembangan ekonomi seperti industri jasa transportasi, perdagangan dan industri lainnya. Sebagai bidang multidisiplin, penelitian ini penting dilakukan agar menjadi acuan pemerintah dan *stakeholder* untuk pemenuhan kebutuhan wisatawan pada infrastruktur akomodasi dan memberi gambaran tentang fenomena jumlah wisatawan agar basis pariwisata yang ada di kawasan Semenanjung Bira terus berlanjut. Tujuannya adalah mengidentifikasi prospek wisatawan serta ketersediaan infrastruktur akomodasi pada destinasi wisata di Semenanjung Bira untuk selanjutnya bisa dilakukan penelitian lanjut terkait hubungannya dengan aksesibilitas. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dari berbagai referensi yang disokong oleh analisa pada data yang bersifat kuantitatif guna mendapatkan penjelasan yang tepat terkait dengan tendensi para turis dalam berwisata. Adapun hasil dari penelitian ini adalah masih rendahnya persentase peningkatan total hunian kamar setiap tahunnya apabila dibandingkan dengan pertambahan jumlah pengunjung sehingga bisa mengakibatkan penurunan okupansi *rate*. Terdapat beberapa parameter yang bisa berpengaruh diantaranya karakter wisatawan, aksesibilitas, jumlah rombongan, Covid 19 dan parameter lain. Kebaruan dari penelitian ini adalah peningkatan jumlah wisatawan tidak secara simultan mempengaruhi peningkatan okupansi *rate*. Dengan hasil proyeksi di atas, maka diharapkan menjadi acuan bagi pemerintah dan *stakeholder* untuk pemenuhan kebutuhan infrastruktur akomodasi bagi wisatawan dan direkomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut terkait hubungan infrastruktur akomodasi dengan aksesibilitas sehingga wisatawan memiliki motivasi untuk kembali lagi berkunjung ke destinasi ini.

Kata kunci: Akomodasi, Infrastruktur, Okupansi, Semenanjung Bira, Wisatawan

A. PENDAHULUAN

Di beberapa negara, telah banyak dilakukan riset terkait pengembangan pariwisata. Pengembangan pariwisata telah menjadi *trend* topik yang banyak dibahas saat ini, baik dikalangan akademisi maupun praktisi (Yulianto dkk, 2021). Berdasarkan penelusuran artikel pada *website* www.sciencedirect.com menemukan sebanyak 95.145 artikel yang membahas tentang pengembangan pariwisata (data 09 April 2023). Pariwisata merupakan salah satu sumber pendapatan yang penting bagi suatu negara (Rusyidi, 2018). Banyaknya wisatawan yang berkunjung ke suatu daerah tujuan wisata tertentu menjadi salah satu bukti bahwa daerah tersebut mempunyai daya tarik wisata yang besar (Aceh, 2022). Faktor utama yang mempengaruhi wisatawan untuk melakukan perjalanan ke suatu tujuan wisata adalah daya tarik wisata dan tempat-tempat menarik di tempat tujuan (Hermawati et al, 2016).

Okupansi hotel adalah banyaknya kamar yang dihuni dibagi kamar yang tersedia dikalikan 100%. Tingkat okupansi menjadi salah satu unsur pengitung pendapatan hotel. Pengertian *rasio occupancy* merupakan tolak ukur keberhasilan hotel dalam menjual produk utamanya, salah satunya yaitu kamar (Pitana dkk, 2009). Saat hotel tersebut terasa nyaman untuk disinggahi, mereka akan semakin nyaman untuk tinggal lebih lama lagi (Rediteani dkk, 2018). Banyaknya wisatawan yang diikuti dengan lamanya waktu tinggal di suatu daerah tujuan wisata tertentunya memiliki dampak yang positif pada peningkatan hunian pada kamar hotel (Suastika dkk, 2017). Kamar hotel yang semakin banyak dijual bisa meningkatkan pendapat hotel tersebut (Pratami dkk, 2021).

Penerimaan sektor pariwisata berasal dari sektor perdagangan, makanan serta hotel (Bujung, 2019). Hunian hotel memiliki hubungan yang positif dengan pendapatan daerah hal ini karena meningkatnya jumlah wisatawan yang bisa meningkatkan pendapatan daerah dengan pajak yang diterima oleh hotel tersebut (Kementerian Pariwisata, 2016). Waktu yang dihabiskan oleh pengunjung dapat meningkatkan jumlah pendapatan, semakin lama pengunjung mendatangi lokasi tersebut semakin banyak uang yang mereka habiskan untuk makan, minum serta tempat menginap (Rasa dkk, 2018). Hal ini bisa dinyatakan bahwa penerimaan daerah pada sektor pariwisata semakin tinggi dengan banyaknya pengunjung yang datang (Salim, 2021).

Indonesia memiliki banyak provinsi yang menawarkan destinasi wisata baik wisata artifisial maupun wisata alam salah satu provinsi tersebut adalah Sulawesi Selatan. Hal ini dapat meningkatkan minat dari wisatawan baik wisatawan lokal maupun internasional. Potensi ini didasarkan pada apa yang dimiliki oleh daerah atau yang disebut sebagai "Butta Panrita Lopi" yang berarti kekayaan daerah yang cukup beragam. Kabupaten Bulukumba merupakan Kabupaten dengan posisi geografis yang memiliki pegunungan dan juga pesisir pantainya sehingga terdapat berbagai suku, budaya, maupun destinasi wisata sehingga bisa menarik para pengunjung baik secara nasional maupun internasional. Objek wisata yang bisa meningkatkan minat pengunjung antara lain Tanjung Bira yang terletak pada Kecamatan Bontobahari. Objek wisata ini merupakan objek wisata dengan pemandangan pesisir yang sangat indah. Pantai Tanjung Bira merupakan pantai yang terletak 45 km dari wilayah Bulukumba. Pada tahun 2022, terdapat 537.617 wisatawan domestik dan 744 wisatawan mancanegara (Dinas Pariwisata Kab Bulukumba, 2023). Peningkatan ini dipengaruhi oleh fasilitas yang memadai semisal hotel, *cafe*, ATM, penginapan, fasilitas ibadah, kesehatan serta wahana wisata semisal *snorkling, banana boat*, dan sebagainya termasuk juga perahu yang disewakan untuk menangkarkan penyu serta biota laut.

Bulukamba terdiri dari beberapa kecamatan, kelurahan, serta desa. Kabupaten Bulukumba memiliki empat dimensi posisi antara lain adanya laut lepas, pantai, dataran rendah serta adanya dataran tinggi pada kaki gunung Bawakaraeng-Lompobattang, dataran rendah pada kabupaten ini memiliki elevasi antara 0-25 m dpl yang terdapat pada beberapa kecamatan sebagaimana yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas wilayah serta panjang garis pantai tiap kecamatan di Kabupaten Bulukumba

No	Wilayah Kecamatan	Luas Wilayah (Km^2)	Panjang Garis Pantai (Km)
1	Gantarang	25.93	10.0
2	Bonto Bahari	91.60	48.2
3	Ujung Loe	53.37	11.5
4	Bonto Tiro	10.55	10.6
5	Herlang	25.21	16.0
6	Kajang	21.50	20.2
7	Ujung Bulu	9.71	11.5
Pesisir dan laut Kab Bulukumba		237.87	128.0

Sumber: RTRW Kab Bulukumba, 2010-2030

Tingginya minat pengunjung baik lokal maupun internasional ke Kabupaten Bulukumba memiliki dampak yang positif untuk peningkatan ekonomi yaitu pendapat yang semakin meningkat karena tingginya pembayaran tiket. Salah satu pendukung wisata pada Kabupaten Bulukamba adalah Tanjung Bira. Potensi wisata ini terdiri dari tiga hal yaitu baik wisata budaya, wisata buatan maupun wisata alam. Di dalam perjalananannya, fasilitas wisata telah berkembang pesat dengan adanya vila yang megah, hotel, resort dan fasilitas-fasilitas lainnya. Hal ini merupakan hal positif yang didukung oleh para *stakeholder* yang mengembangkan fasilitas ini. Fasilitas seperti penginapan maupun hotel terletak pada kecamatan Ujung Bulu serta Kecamatan Kecamatan Bontobahari (Bira).

Salah satu tantangan yang utama dalam studi dampak infrastruktur pariwisata adalah untuk mengidentifikasi kaitan antara infrastruktur pariwisata dalam hal ini ketersediaan hotel/penginapan dengan jumlah wisatawan (Utama dkk, 2017). Pengembangan wisata memerlukan kerja sama yang baik antara dinas pariwisata, masyarakat, maupun pemerintah desa (Muljadi, dkk 2019). Dinas pariwisata yang merupakan pihak utama dalam pembangunan harus mendorong kerja sama sehingga tercapai keadaan saling menguntungkan untuk pengembangan wisata (Hermawati, dkk 2017). Salah satu yang menjadi acuan bagi pemerintah dan *stakeholder* dalam mengembangkan pariwisata adalah melalui penelitian. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini akan menganalisis prospek wisatawan dan ketersediaan infrastruktur akomodasi pada kawasan wisata Semenanjung Bira sehingga dapat menjadi acuan bagi *stakeholder* dan pemerintah untuk pemenuhan kebutuhan infrastruktur akomodasi bagi wisatawan dan direkomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut terkait hubungan infrastruktur akomodasi dengan aksesibilitas sehingga wisatawan memiliki motivasi untuk kembali lagi berkunjung ke destinasi ini.

B. METODE

Lokasi kajian

Lokasi kajian adalah semenanjung Bira yang berada di Kecamatan Bontobahari, Kabupaten Bulukumba, Provinsi Sulawesi Selatan.

Metodologi penelusuran literatur

Penelusuran literatur ini bersifat deskriptif kuantitatif. Penelusuran literatur penelitian tentang pengembangan wisata dengan cara mengeksplorasi artikel yang relevan khususnya artikel 10 tahun terakhir. Adapun informasi rujukan diambil dari BPS Kabupaten Bulukumba, scholar.google.com, sciencedirect.com, *textbook* dan lainnya

Prosedur penelitian

Prosedur penelitian dimulai dengan melakukan studi pendahuluan berupa penelusuran literatur yang relevan dengan penelitian ini. Studi pendahuluan terkait gambaran umum wilayah, mengumpulkan data sekunder berupa jumlah wisatawan, jumlah hunian kamar, jumlah hotel/penginapan yang berada di Kabupaten Bulukumba dan terkhusus pada hotel/penginapan yang berada di Kecamatan Bontobahari. Setelah data sekunder didapatkan, maka selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui persentase okupansi sehingga kita dapat melihat peningkatan jumlah wisatawan dan jumlah hunian kamar terhadap okupansi *rate.*

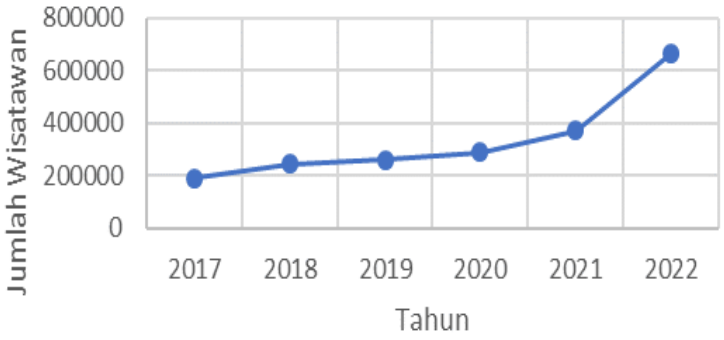
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi wisata di Kabupaten Bulukumba

Kabupaten Bulukumba adalah salah satu daerah tujuan wisata di Sulawesi Selatan setelah Kabupaten Tana Toraja. Potensi wisata tersebut merupakan obyek wisata unggulan di wilayah selatan Sulawesi Selatan, terdiri dari wisata alam, wisata buatan, wisata budaya. Wisata alam seperti pantai pasir putih Bira, pantai pasir putih Marumasa, pantai pasir putih Lemo-lemo, pantai pasir putih Mandala Ria, pantai pasir putih Samboang, pantai Panrang Luhu, pantai Kasuso, pantai Bara, pantai/tebing Appalarang, pulau Liukang Loe, pulau Kambing, gua Passohara, gua Passea, danau Kahayya, puncak Donggia dan tebing Birayya. Wisata buatan seperti permandian Hila-hila, permandian Limbua, perkebunan karet dan Cekkeng Nurseri. Wisata budaya seperti pembuatan perahu phinisi, pembuatan sarung tenun khas Kajang, pembuatan sarung tenun Gammara Bira, Makam H. Andi Sultan Daeng, Makam Dato Tiro, Makam Kr. Ambibia, Makam Kr. Sapo Batu, puncak Pua Janggo, Situs Kr. Puang, Masjid pertama Datu Tiro, Pesanggarahan dan kawasan adat Ammatoa Kajang. Dalam penelitian ini, hanya membahas destinasi wisata alam yang populer di Kecamatan Bontobahari yaitu di sepanjang Semenanjung Bira.

Jumlah wisatawan

Menurut Dinas Pariwisata Kabupaten Bulukumba (2023), jumlah wisatawan di kawasan destinasi wisata Semenanjung Bira menunjukkan angka yang semakin meningkat tiap tahunnya. Peningkatan yang paling signifikan terjadi pada tahun 2021 dan 2023, yaitu mencapai angka 44% dibanding tahun sebelumnya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1

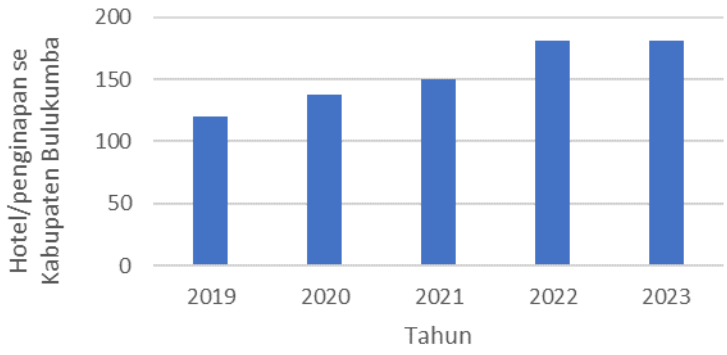


Gambar 1. Jumlah wisatawan Semenanjung Bira

Jumlah hotel/penginapan se Kabupaten Bulukumba dan di Kecamatan Bontobahari

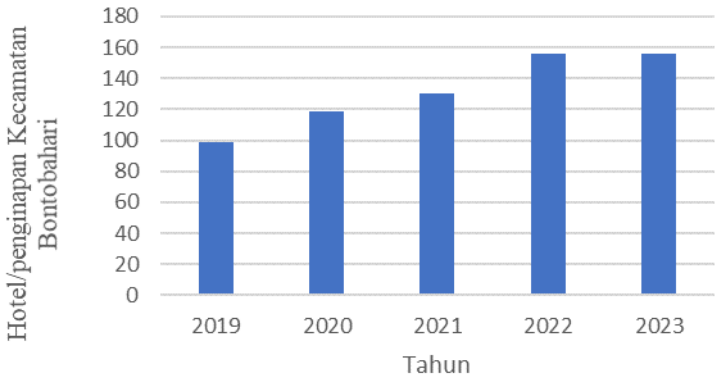
Jumlah wisatawan baik nusantara maupun mancanegara terlihat dengan peningkatan yang signifikan setiap tahunnya. Peningkatan ini seiring dengan banyaknya peningkatan baik dari sisi infrastruktur maupun struktur yang ada di kabupaten ini, khususnya di Kecamatan Bontabahari. Perkembangan wisata yang cepat dapat menarik perhatian pada mayoritas provinsi atau pun kabupaten di Indonesia dengan porsi yang lebih tinggi pada aktivitas ekonomi ini (Suwanto, 2020). Pembangunan dilakukan dengan pesat pada beberapa fasilitas seperti bandara, jalan raya, serta fasilitas penyokong lainnya dalam rangka meningkatkan kebutuhan ekonomi serta dalam rangka peningkatkan jumlah wisatawan. Dalam penelitian ini, infrastruktur yang dimaksud adalah hotel/penginapan (Rediteani, dkk 2018).

Penginapan maupun hotel terdapat pada 2 kecamatan yaitu Kecamatan Ujung Bulu serta Kecamatan Bontobahari. Kecamatan Ujung Bulu merupakan ibukota dari Kabupaten Bulukumba sedangkan Kecamatan Bontobahari adalah lokasi penelitian ini. Terdapat kenaikan jumlah hotel/penginapan yang cukup signifikan 5 tahun terakhir (2019 sampai tahun 2023) se-Kabupaten Bulukumba. Hal ini seperti yang tertera pada Gambar 2



Gambar 2. Jumlah hotel/penginapan se Kabupaten Bulukumba

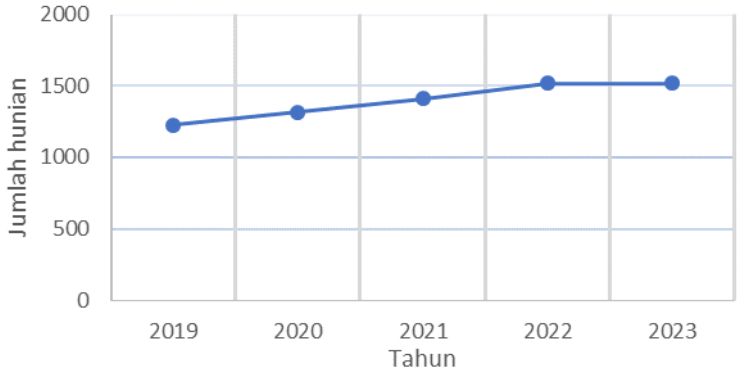
Berdasarkan data sekunder dari Dinas Pariwisata (2023), dinyatakan bahwa jumlah hotel/penginapan di kecamatan ini pun semakin menunjukkan angka yang meningkat, kenaikan tiap tahun cukup signifikan, mencapai 156 hotel/penginapan khusus di kecamatan ini. Peningkatan ini dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Jumlah hotel/penginapan Kecamatan Bontobahari

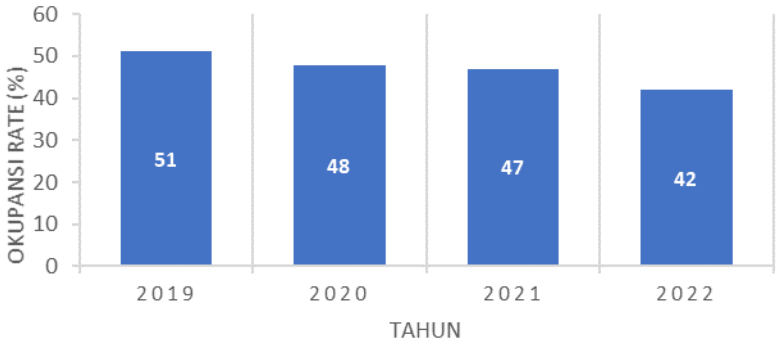
Persentase jumlah hunian kamar/penginapan

Merujuk pada data sekunder dari Dinas Pariwisata Kabupaten Bulukumba (2023), terlihat bahwa tingkat hunian semakin meningkat akibat semakin meningkatnya jumlah hotel/penginapan di Kabupaten Bulukumba dan jumlah tersebut dominasi pada hotel/penginapan yang berada di kawasan destinasi semenanjung Bira yang berada di Kecamatan Bontobahari. Berdasarkan data sekunder tingkat hunian seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Jumlah hunian 4 tahun terakhir

Peningkatan jumlah hunian kamar rata-rata 7% per tahun. Tingkat peningkatan ini masih lebih kecil dibandingkan pertumbuhan jumlah pengunjung yang berkisar 21% per tahun. Berdasarkan data sekunder tersebut di atas, maka selanjutnya akan dianalisis persentase okupansi *rate*. Keterbatasan dalam penelitian ini adalah belum didapatkan data kondisi eksisting untuk jumlah kamar tiap hotel/penginapan, sehingga menggunakan asumsi bahwa setiap penginapan memiliki jumlah kamar yang sama yaitu 20 kamar tiap penginapan. Okupansi *rate* didapat dari jumlah hunian kamar dibagi dengan jumlah kamar tersedia. Hal ini bisa terlihat pada Gambar 5



Gambar 5. Okupansi *rate*

Berdasarkan data yang ada, hal ini memperlihatkan bahwa persentase peningkatan jumlah hunian kamar per tahun masih kecil dibanding pertumbuhan jumlah wisatawan sehingga menyebabkan okupansi *rate* mengalami penurunan. Hal ini bisa saja disebabkan banyak indikator yang mempengaruhi misalkan Covid 19, karakteristik individu wisatawan berdasarkan jumlah rombongan. Tidak semua wisatawan menyewa kamar sesuai dengan jumlah rombongannya, contoh 1 rombongan terdiri dari 5 orang, hanya menyewa 1 kamar yang seharusnya menyewa 2 kamar. Hasil ini bisa saja berbeda jika diketahui data kondisi eksisting untuk jumlah kamar di setiap hotel/penginapan. Berbeda dengan hasil penelitian dari Irawan (2022) yang menyatakan bahwa terdapat kecenderungan relasi yang positif serta kuat antara jumlah wisatawan dengan jumlah okupansi kamar hotel/penginapan.

D. KESIMPULAN

Peningkatan jumlah pengunjung tidak secara langsung mempengaruhi okupansi *rate*, banyak indikator lain yang mempengaruhi diantaranya Covid-19, karakteristik individu wisatawan, karakteristik destinasi serta data eksisting. Dengan hasil proyeksi di atas, maka diharapkan bisa dijadikan acuan oleh pemerintah dan *stakeholder* setempat dalam hal pengembangan objek wisata yang terdapat pada Kabupaten Bulukumba, khususnya destinasi wisata yang populer di Semenanjung Bira, Kecamatan Bontobahari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan ucapan terimakasih pada penyelenggara Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) Kemendikbudristek yang telah memberikan dukungan berupa pendanaan penelitian selama menempuh kuliah program doktoral di Universitas Hasanuddin.

DAFTAR PUSTAKA

Aceh, A.P.S., Ramdhaniah, A.S., Sayuti, E.E.S. 2022. Pengaruh Jumlah Kunjungan Wisatawan dan Tingkat Hunian Hotel Terhadap Pendapatan Asli Daerah Dan PDRB Di Aceh. Sinomika Journal Volume 1 No.4. https://publish.ojs-indonesia.com/index.php/SINOMIKA

Bujung, F.E., Rotinsulu, D.C., Niode, A.O. 2019. Pengaruh Jumlah Kunjungan Wisatawan Dan Tingkat Hunian Hotel Terhadap Penerimaan Sektor Pariwisata Sulawesi Utara. Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi. Volume 19 No. 03

Dinas Pariwisata, Kabupaten Bulukumba. 2023. Jumlah Wisatawan (Domestik dan Mancanegara) ke Semenanjung Bira 5 Tahun Terakhir

Dinas Pariwisata, Kabupaten Bulukumba. 2023. Jumlah Okupansi Kamar Penginapan Se Kabupaten Bulukumba dan Di Kecamatan Bontabahari (5 Tahun terakhir)

Hermawati, P., Adisasmita, S.A., Ramli, M.I., And Aly, S.H. 2016, *A Study on The Characteristic of Tourist Trip Distribution in Bali, Indonesia*. International Seminar on Infrastructure Development 2016 (ISID) Makassar

Hermawati, P., Adisasmita, S.A., Ramli, M.I., and Aly, S.H. 2017. *The Travel Behaviors of Foreign Tourists in Bali-Indonesia. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol 11.*

Irawan, E. 2022. *Analysis of The Effect of Hotel Occupancy and Tourist Visits On Business Development In The Tourism Sector In West Nusa Tenggara Province 2012 – 2021. Peer Reviewed – International Journal. Vol-6, Issue-3, 2022 (Ijebar). E-Issn: 2614-1280 P-Issn 2622-4771 https://Jurnal.Stie-Aas.Ac.Id/Index.Php/Ijebar*

Kementerian Pariwisata. 2016. Modul Pengantar Kepariwisataan, Diklat Teknis Pariwisata Tingkat Dasar. Jakarta: Kementerian Pariwisata.

Muljadi, A.J., dan Warman, A. 2019. Kepariwisataan dan Perjalanan. ISBN 978-979-769-281-0. Edisi ke-6. PT Rajagrafindo Persada. Depok

Pitana, I.G., dan Diarta, I Ketut Surya. 2009. Pengantar Ilmu Pariwisata. Yogyakarta: Penerbit CV Andi Offset

Pratami, M., Gunari, B.F., Rilansari, V. 2021. Strategi Pengoptimalan Infrastruktur Pendukung Pariwisata Berkelanjutan. Jurnal Destinasi Pariwisata. Vol. 9 No 2, 2021. p-ISSN: 2338-8811, e-ISSN: 2548-8937

Rasa, I.W.A.P., Yasa, I.N.M. 2018. Pengaruh Jumlah Kunjungan Wisatawan Dan Tingkat Hunian Hotel Pad Dan Tingkat Pengangguran Di Provinsi Bali. E-Jurnal Ep Unud,11[03] : 931-958. Issn: 2303-0178

Rediteani, N.M., Setiawina, N.D. 2018. Pengaruh Jumlah Kunjungan Wisatawan, Lama Tinggal Dan Tingkat Hunian Hotel Terhadap Pajak Hotel Restoran Dan Pertumbuhan Ekonomi Di Kota Denpasar. E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana Vol. 7 No. 1

Rusyidi, B., Fedryansah. M. 2018. Pengembangan Pariwisata Berbasis Masyarakat. Jurnal sosial. ISSN 2620-3367. Vol 1 No 3.

Salim, H. A. 2021. *The Effect Of The Number Of Foreign Tourist Visits And The Number Of Hotel Occupations On Receipt Of The Tourism Industry Pdrb Sub Sector In Jember District 2005-2018. The 3th International Conference on Economics And Business*. Isbn. 978-623-96179-3-6. Pp. 178-184

Suastika, I.G.Y., Yasa, I.N.M. 2017. Pengaruh Jumlah Kunjungan Wisatawan, Lama Tinggal Wisatawan Dan Tingkat Hunian Hotel Terhadap Pendapatan Asli Daerah Dan Kesejahteraan Masyarakat Pada Kabupaten/Kota Di Provinsi Bali. E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana Vol.6, No.7: 1332-1363. Issn: 2303-0178

Suwanto. 2020. Hubungan Jumlah Kunjungan Wisatawan Mancanegara dengan Rata-Rata Tingkat Penghunian Kamar Hotel Provinsi DKI Jakarta Tahun 2012—2018. Jurnal Kepariwisataan Indonesia 14 (1). P-ISSN: 1907 – 9419. DOI: 10.47608/jki.v14i12020.9-20

Utama, R., Bagus, I.Gusti. (2017). Pemasaran Pariwisata. Yogyakarta : Penerbit CV. Andi Offset.

Yulianto, A., Mayasari, C.U. 2021. Hubungan Jumlah Objek Wisata, Hotel Dan Biro Perjalanan Dengan Jumlah Wisatawan Ke D.I.Y. Jurnal Pariwisata Lppm Universitas Binasarana Informatika. Vol 8 No 2

FRAMEWORK SMART PARKING UNTUK OPTIMALISASI DAN AKUNTABILITAS RETRIBUSI PARKIR BADAN JALAN DI WILAYAH PERKOTAAN

Fransiskus Xaverius Manggau[1*], Sumarni Hamid Aly[2], Muhammad Isran Ramli[3] dan Muhammad Niswar[4]

1*Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Malino No.8 F
Email: manggaufx21d@student.unhas.ac.id (Corresponding Author)
2Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Malino No.8 F
Email: marni_hamidaly@yahoo.com
3Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Malino No.8 F
Email: isranramli@unhas.ac.id
4Departemen Teknik Informatika, Universitas Hasanuddin, Jl. Malino No.8 F
Email: niswar@unhas.ac.id

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia dalam beberapa dekade terakhir meningkat pesat. Peningkatan yang signifikan ini menunjukkan bahwa transportasi dengan kendaraan pribadi masih menjadi pilihan utama bagi banyak orang di Indonesia, namun belum diimbangi dengan infrastruktur parkir yang memadai, terutama di wilayah perkotaan yang padat penduduk. Salah satu kota besar di Indonesia yakni, kota Makassar memiliki banyak fasilitas umum yang belum menyediakan sistem parkir yang memadai, oleh karena itu perusahaan daerah kota Makassar yang mengelola sektor parkir yaitu Perusahaan Daerah (PD) Parkir Makassar Raya perlu meningkatkan pengelolaan retribusi parkir yang mengarah ke optimalisasi dalam melakukan pemungutan retribusi parkir agar dapat digunakan untuk membangun infrastruktur parkir yang memadai sehingga dapat mengembangkan model *smart parking*. Adapun tujuan dari penelitian ini diantaranya yaitu untuk merancang *framework smart parking* untuk badan jalan di wilayah perkotaan Makassar. Metode penelitian diawali dengan mengidentifikasi permasalahan dari sektor parkir serta perancangan *framework smart parking* khususnya untuk parkir badan jalan. Perancangan *framework smart parking* terbagi atas beberapa teknologi yang digunakan, diantaranya menggunakan teknologi *Computer Vision* untuk meng-identifikasi jenis kendaraan pengguna parkir, *Optical Character Recognition* (OCR) untuk mengidentifikasi identitas kendaraan, *Quick Response Code* (QR Code) yang diberikan pada setiap kendaraan pengguna parkir yang telah teridentifikasi parkir untuk digunakan pada proses pembayaran parkir menggunakan *E-Wallet* ataupun bisa menggunakan *E-Money* dengan *Midtrans Payment Gateway*. *Framework smart parking* untuk badan jalan pada penelitian ini lebih efektif, efisien dan akuntabel dibandingkan dengan konsep *smart parking* berbasis sensor serta dapat mengatasi permasalahan-permasalahan yang ada pada parkir konvensional yang ada saat ini.

Kata kunci: *Computer Vision, Midtrans Payment Gateway, Optical Character Recognition, Smart Parking*

A. PENDAHULUAN

Smart City merupakan cara untuk menghubungkan infrastruktur fisik, infrastruktur sosial dan infrastruktur ekonomi dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi, yang dapat diintegrasikan semua elemen dalam aspek tersebut (Nurani Fitri Kireina, 2017). Adapun aspek yang lebih diperhatikan yaitu terkait dari aspek transportasi, yang di mana setiap kota yang menuju menjadi *Smart City* memerlukan prasarana dan sarana transportasi yang lebih informatif, lancar, dan

nyaman. Oleh karena keadaan itulah pengembangan terkait *Intelligent Transportation System* sangat dibutuhkan pada setiap daerah guna mengatasi permasalahan transportasi (Pamudi, 2018). Terkhusus terhadap salah satu masalah transportasi yang sering menyebabkan kemacetan sehingga mengganggu mobilitas dari daerah itu sendiri, seperti kurang mendukungnya sarana dan prasarana transportasi seperti penyediaan fasilitas parkir yang layak dan optimal. Selain itu, setiap kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas buang yang dapat menyebabkan pencemaran udara di sekitar daerah tersebut (Aly, 2017). Sehingga dibutuhkan sistem parkir yang baik atau sistem parkir yang cerdas (*smart parking*), dengan memanfaatkan teknologi yang berkembang untuk mengautomasikan pengelolaan parkir agar mempermudah bagi pengguna parkir dan pemilik lahan parkir itu sendiri.

Smart parking merupakan sebuah implementasi teknologi yang dapat menjadi jawaban atas permasalahan parkir yang ada di kota Makassar. Saat ini, masih belum ada standar sistem dalam kebanyakan tempat parkir yang dapat memeriksa ketersediaan ruang parkir. Sebaliknya, sistem tersebut sangat mengandalkan interaksi manusia dengan ruang fisik dan benda-benda di dalamnya. Akibatnya, sering terjadi pemborosan sumber daya manusia dan ruang parkir (Shaikh et al., 2016). Model *smart parking* ini akan melibatkan teknologi yang terintegrasi dan penggunaan sistem informasi yang tepat. Dalam pengembangan model *smart parking*, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan, antara lain infrastruktur parkir yang memadai, teknologi yang digunakan, keamanan, dan keterlibatan masyarakat.

Adapun beberapa penelitian yang membahas terkait *smart parking* telah dilakukan, dari berbagai macam tujuan dengan beberapa metode yang digunakan, yaitu membuat sistem *smart parking* berbasis *android* untuk meningkatkan efisiensi manajemen ruang parkir yang tersedia. Namun sistem ini belum bersifat otomasi dari sisi penggunaannya, karena sistem yang dirancang hanya berfokus untuk memanfaatkan ruang parkir seefisien mungkin berdasarkan *longitude* dan *latitude* ruang parkir yang disediakan (Ebin et al., 2018). Sachet et al, (2018) membuat *smart parking* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk melakukan reservasi parkir dengan memanfaatkan komponen arduino dan *infrared* sensor, namun penelitian ini hanya sebatas *prototype* (Rajbhandari et al., 2018) .Vaani Rajvanshi et al (2019) melakukan penelitian terkait *smart parking* dengan menggunakan sensor Ultrasonic, sensor *infrared* dan *Cloud Network* untuk aplikasi *Smart City*, namun sistem ini hanya sebatas gambaran arsitektur untuk pengembangan *smart parking* ke depannya dan tidak meninjau dari akurasi sistemnya (Rajvanshi et al., 2019). Athira et al (2019) melakukan perancangan *smart parking* dengan memanfaatkan teknologi *Computer Vision* dengan metode *Optical Character Recognition* untuk mendeteksi slot parkir yang tersedia pada lahan parkir yang disediakan, akan tetapi sistem ini hanya berfokus pada lahan parkir yang diberi nomor untuk setiap slot parkir yang ada, tidak berfokus pada mengidentifikasi kendaraan yang menempati slot parkir itu sendiri (Athira et al., 2019). Selanjutnya Madhur et al (2020) juga melakukan penelitian terkait perancangan sistem *smart parking* menggunakan teknologi *Computer Vision* dan *Internet of Things* (IoT), namun sistem ini hanya berbasis *prototype* untuk memadukan sistem *Computer Vision* dan IoT untuk memastikan apakah objek kendaraan berada pada slot parkir yang tersedia. Serta sistem yang diusulkan dianggap mengatasi permasalahan yang ada khususnya pada sektor parkir dari negara-negara berkembang serta menghemat waktu pengguna untuk mendapatkan tempat parkir (Dixit et al., 2020). Raj Patel et al (2020) melakukan penelitian dengan mendeteksi mobil berbasis algoritma *Computer Vision* untuk deteksi otomatis pada ruang parkir, sistem yang dirancang menggunakan dua pendekatan algoritma pendeteksi objek yang populer yaitu R-CNN dan Yolov4. Sehingga sistem yang dirancang mampu memperoleh tingkat akurasi sebesar 90%, namun sistem yang dibuat hanya sebatas untuk

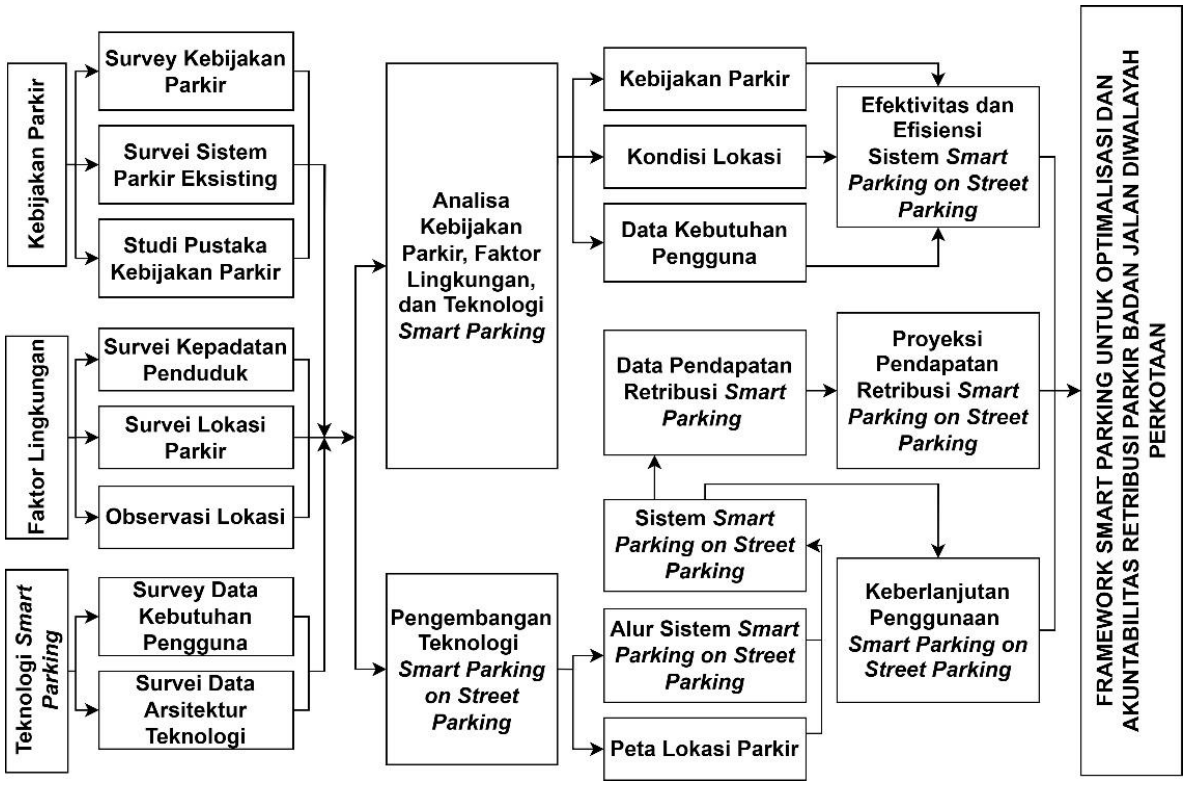
mendeteksi atau penandaan tempat parkir secara otomatis (Patel & Meduri, 2020). Lalu Fernie et al (2021) melakukan penelitian dengan menggunakan konsep Garasi Parkir Cerdas (*Smart Parking Garage*) untuk melakukan pengecekan lokasi parkir hingga reservasi parkir untuk meningkatkan efisiensi pencarian lokasi parkir pada garasi parkir 5 tingkat. Namun penelitian ini juga hanya memanfaatkan sensor dan *Digital Mobile Surveillance System* (DMSS) untuk pemantauan pada lokasi *Smart parking* yang dirancang menggunakan perangkat mobile (*handphone*) (Briones et al., 2021).

Beberapa penelitian terkait perancangan *smart parking* kebanyakan memanfaatkan sensor untuk mengetahui atau mendeteksi keberadaan kendaraan yang melakukan parkir, sedangkan hal itu tentunya membutuhkan biaya (*cost*) yang cukup besar dalam pembangunan infrastruktur *smart parking* yang dirancang. Oleh karena itu dengan memanfaatkan teknologi *Computer Vision* untuk merancang sistem *smart parking* untuk mengidentifikasi kendaraan bermotor dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas dari penerapan sektor parkir di Kota Makassar khususnya juga dari segi biaya pembangunan infrastrukturnya. Hal ini juga tentunya sebagai alat untuk meningkatkan pengelolaan parkir agar retribusi daerah khususnya pada sektor parkir bisa meningkatkan Pendapatan Anggaran Daerah (PAD).

B. METODE

Kerangka konseptual

Kerangka konseptual merupakan suatu gambaran mengenai konsep-konsep dan hubungan antara variabel dalam penelitian. Pada penelitian ini, kerangka konseptual dibangun berdasarkan pemahaman mengenai *smart parking* pada sistem perparkiran badan jalan. Gambar 1 menunjukkan gambaran kerangka konseptual penelitian.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

Kerangka konseptual yang telah dirancang menunjukkan bahwa ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap permodelan. Ketiga faktor tersebut meliputi:

Kebijakan parkir: Faktor ini mencakup kebijakan-kebijakan yang telah diambil dari survei pada lokasi parkir badan jalan di wilayah Perkotaan Makassar dan studi pustaka kebijakan parkir yang ada dalam peraturan daerah. Kebijakan parkir yang jelas dan terstruktur dapat membantu mengoptimalkan penggunaan ruang parkir dan meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir.

Teknologi *smart parking*: Model *smart parking* adalah konsep yang dirancang untuk mengatasi permasalahan parkir di wilayah perkotaan, melalui pemanfaatan teknologi seperti *geolocation* menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk melakukan analisis pada unit-unit geografis (Taridala et al., 2017), sistem informasi menggunakan *website*, aplikasi mobile menggunakan *Android*, dan identifikasi jenis kendaraan bermotor yang parkir untuk menentukan retribusi parkir menggunakan teknologi *Computer Vision* serta mengidentifikasi identitas (id) kendaraan berdasarkan plat kendaraan menggunakan metode *Optical Character Recognition* (OCR). Data ini diambil melalui survei dan observasi. Penggunaan teknologi dalam model *smart parking* dapat membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan parkir.

Faktor lingkungan perkotaan: Faktor ini mencakup kondisi lingkungan perkotaan yang berpengaruh terhadap pengelolaan parkir, seperti aksesibilitas ruang parkir, volume kendaraan, serta kepadatan penduduk. Data ini diambil melalui survei serta observasi. Lingkungan perkotaan yang kondusif akan membantu meningkatkan efektivitas pengelolaan parkir.

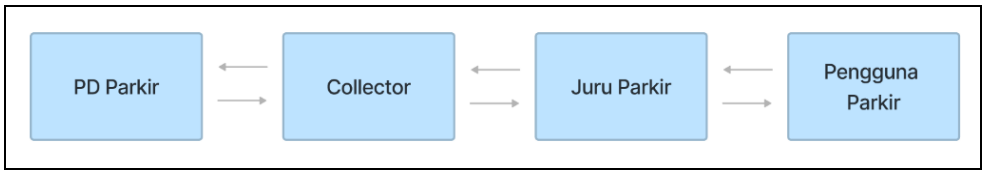
Ketiga faktor tersebut saling terkait dan mempengaruhi efisiensi dan efektivitas pengelolaan parkir di wilayah Perkotaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dan pengembangan untuk meningkatkan pengelolaan parkir di wilayah perkotaan secara keseluruhan.

Gambar 1 menunjukkan kerangka konseptual penelitian yang disajikan dalam bentuk blok diagram, terdapat beberapa variabel pendukung dalam hal menghasilkan model *smart parking* untuk Badan Jalan di wilayah perkotaan Makassar. Variabel tersebut didasari oleh permasalahan-permasalahan yang ada pada sektor parkir di wilayah perkotaan Makassar serta cara implementasi dari regulasi sektor parkir yang dijalankan oleh PD. Parkir Makassar Raya, oleh karena itu pemerintah harus mempunyai inisiatif mengatasi permasalahan tersebut dengan mengatur dan merancang model *smart parking* yang lebih baik, namun fakta lainnya juga terkait pengelolaan parkir yang ditemukan di wilayah perkotaan Makassar masih banyak juru parkir liar yang melakukan pemungutan tarif parkir tanpa mengacu pada standar yang dibuat oleh PD. Parkir Makassar Raya serta permasalahan karcis yang tidak terdistribusi dengan baik ke juru parkir, sehingga PD. Parkir Makassar Raya perlu meningkatkan pengelolaan retribusi parkir yang menuju ke arah optimalisasi dalam pemungutan retribusi parkir. Optimalisasi penerimaan retribusi parkir dapat meningkatkan dan merealisasikan target Pendapatan Anggaran Daerah (PAD).

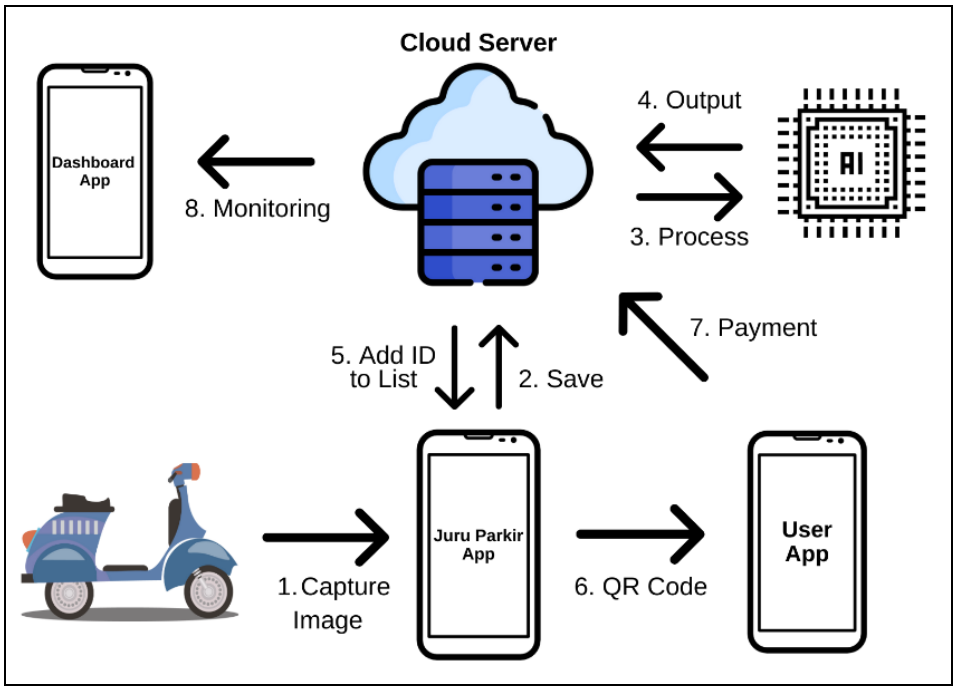
Permasalahan dari sektor parkir dapat dioptimalkan dengan membuat rancangan model *smart parking* untuk badan jalan di wilayah perkotaan Makassar dengan memperhatikan variabel faktor lingkungan, teknologi *smart parking*, dan berdasarkan aspek kebijakan parkir. Tentunya hal itu didukung dengan memanfaatkan teknologi *Computer Vision* dengan teknik *Image Processing* untuk mengidentifikasi jenis kendaraan bermotor pengguna parkir. Sehingga dapat dijadikan acuan untuk menentukan tarif retribusi parkir secara otomatis menggunakan perangkat mobile *android* yang digunakan oleh Juru parkir resmi dari PD. Parkir Makassar Raya dan pengguna area parkir itu sendiri.

Perancangan model

Pada bagian perancangan model ini dilakukan perbandingan antara model yang terjadi saat ini dan model yang diusulkan. Adapun alur model yang terjadi saat ini secara garis besar diilustrasikan dalam bentuk blok diagram seperti pada Gambar 2 dan untuk model *Smart Parking on Street* yang dirancang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 1. Blok diagram model parkir konvensional



Gambar 2. Model *smart parking* yang dirancang

Pada model saat ini, PD. Parkir Makassar Raya memberikan karcis parkir kepada kolektor dan kemudian kolektor yang akan mendistribusikan kepada juru parkir pada setiap lokasi. Juru parkir memberikan karcis kepada pengguna parkir dan pengguna parkir akan melakukan pembayaran kepada juru parkir. Hasil dari keseluruhan transaksi parkir dikembalikan kepada kolektor dan selanjutnya kolektor menyetor kepada PD. Parkir Makassar Raya.

Sedangkan pada model *Smart Parking on Street* yang diusulkan, PD. Parkir Makassar Raya tidak lagi menggunakan karcis, melainkan hanya memantau dari *Dashboard App* setiap transaksi yang dilakukan. Model yang diusulkan akan dimulai dengan menangkap gambar kendaraan dari depan menggunakan Juru Parkir *App* kemudian gambar tersebut disimpan ke dalam *Cloud Server. Server* sebagai salah satu komponen utama dalam jaringan komputer memainkan peran penting dalam menyediakan layanan kepada pengguna atau pelanggan. Server harus mampu memenuhi permintaan pengguna untuk mendukung kebutuhan kerja pengguna (Niswar et al., 2013).

Selanjutnya gambar kendaraan diproses menggunakan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) seperti *Vehicle Classification* dan *License Plate Recognition* (LPR). Proses tersebut berjalan secara otomatis untuk menentukan jenis kendaraan (Motor atau Mobil) dan mengekstrak plat nomor dari kendaraan. Informasi tersebut menjadi ID dari sebuah kendaraan dan masuk ke dalam list pada Juru Parkir *App*.

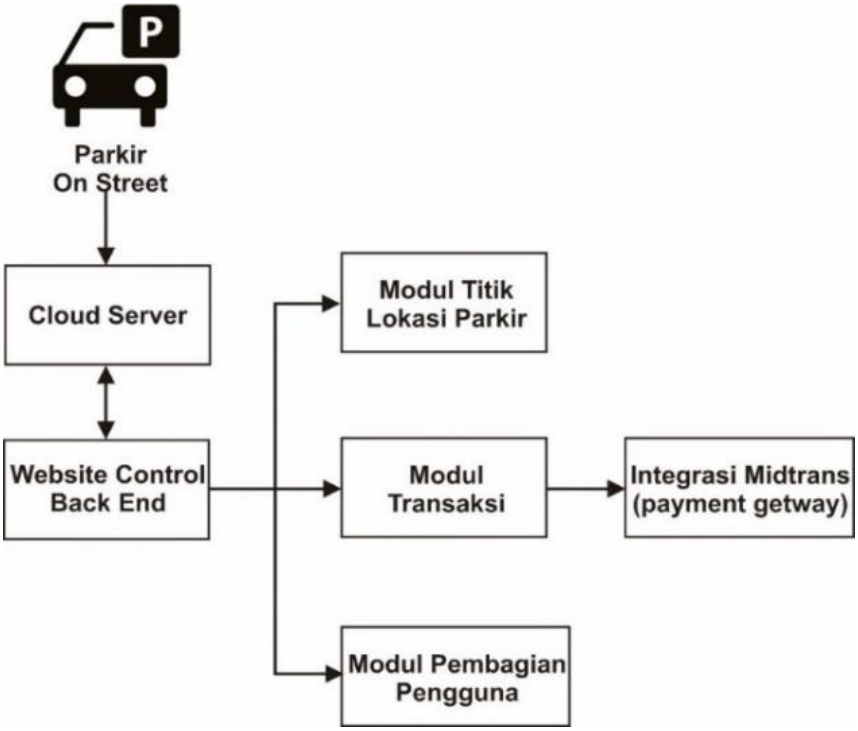
Ketika pengguna parkir hendak meninggalkan lokasi parkir, juru parkir hanya memilih ID kendaraan tersebut pada Juru Parkir *App* mengeluarkan *QR-Code* sehingga dapat di *scan* oleh pengguna parkir menggunakan *User App* agar dapat melakukan pembayaran menggunakan *QRis*. Selain itu, pengguna parkir juga dapat melakukan pembayaran menggunakan *E-Money* dengan menempelkan kartu tersebut ke *handphone* juru parkir. Setelah pembayaran telah berhasil, kemudian transaksi tersebut terekam pada *Cloud Server* sehingga pihak PD. Parkir dapat melakukan monitoring setiap transaksi yang terjadi pada setiap area lokasi parkir *on street*.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Arsitektur sistem

Arsitektur smart parking untuk badan jalan dibuat menggunakan diagram alir dengan 4 bagian yakni skema sistem secara keseluruhan, skema penggunaan sistem, alur sistem smart parking dan diagram aktivitas sistem. Berikut penjelasan masing-masing bagian:

1. Skema sistem keseluruhan
2. Berikut penjelasan dari Gambar 4:
3. Rangkaian utama yakni sistem parkir luar gedung atau badan jalan (tepi jalan).
4. Terintegrasi menggunakan API (application programmer interface) pada cloud server (database induk).
5. Terpusat pada website control backend.
6. Terdapat modul titik lokasi sebagai penentuan lokasi maps serta pengelolaan data parkir pada tempat tersebut seperti transaksi.
7. Terdapat modul transaksi yang diperoleh dari pembayaran secara online melalui aplikasi android dan terintegrasi dengan Midtrans (vendor third party payment gateway).
8. Terdapat modul pembagian pengguna seperti user, supper admin, petugas juru parkir.



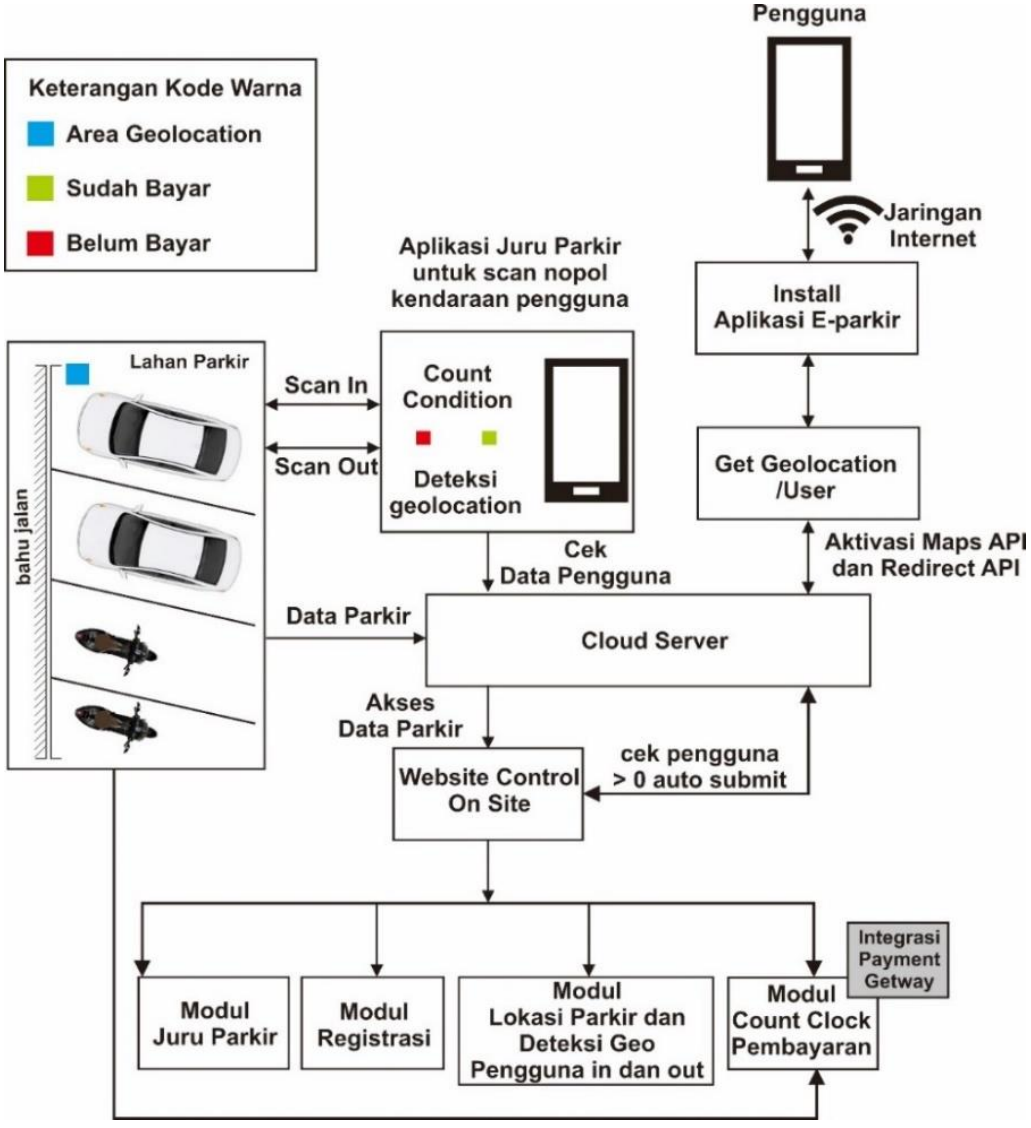
Gambar 4. Skema sistem keseluruhan

Skema penggunaan sistem

Berikut penjelasan dari Gambar 5:

1. Pengguna menginstal aplikasi parkir di perangkat *mobile android*.
2. Aplikasi parkir meminta izin untuk mendapatkan *geolocation* dari pengguna.
3. Data lokasi pengguna masuk ke *cloud* dengan aktivasi maps API dan redirect API yang terus menerus secara *realtime*.
4. *Website controller onsite* akan melakukan pengecekan terhadap data lokasi pengguna dan memberikan informasi mengenai lokasi parkir yang tersedia.
5. Pengguna akan menuju ke area parkir, lalu kendaraannya akan diidentifikasi menggunakan aplikasi *mobile android* yang telah disisipkan sistem *Computer Vision* untuk menentukan jenis kendaraan bermotor, yaitu motor atau mobil. Setelah itu kendaraan yang telah diidentifikasi juga akan dilakukan identifikasi plat (id) kendaraan menggunakan metode *Optical Character Recognition* (OCR) oleh juru parkir menggunakan aplikasi khusus juru parkir.
6. Data nomor kendaraan yang telah direkognisi atau dikenali akan diperiksa pada *cloud server* dan akan disimpan sebagai data pengguna parkir oleh *website controller onsite*.
7. Pada *website controller onsite* terdapat modul juru parkir yang bertugas untuk mengelola dan memantau aktivitas parkir di area tersebut.
8. Terdapat pula modul registrasi pelanggan yang digunakan untuk memantau aktivitas parkir pelanggan dan melakukan pengelolaan data pelanggan.
9. Modul lokasi parkir dan deteksi *geolocation* pengguna *in* atau *out* dari area parkir akan digunakan untuk mengetahui lama parkir dan biaya parkir.

10. Modul *count clock* pembayaran akan melakukan integrasi dengan *payment gateway* untuk memproses pembayaran parkir dan melakukan pengecekan nomor kendaraan yang telah direkognisi pada saat pembayaran.
11. Pengguna akan melakukan pembayaran dengan berbagai macam opsi pembayaran menggunakan aplikasi, yaitu *Cash*, *E-Wallet* dan *E-Money* dengan menggunakan kartu *Near-Field Communication* (NFC), selanjutnya sistem akan melakukan pengecekan terhadap nomor kendaraan yang telah direkognisi pada saat kendaraan telah parkir oleh juru parkir untuk melanjutkan proses pembayaran oleh pengguna parkir.
12. Setelah pembayaran selesai, pengguna akan dapat meninggalkan area parkir dan data akan disimpan pada *server cloud*.

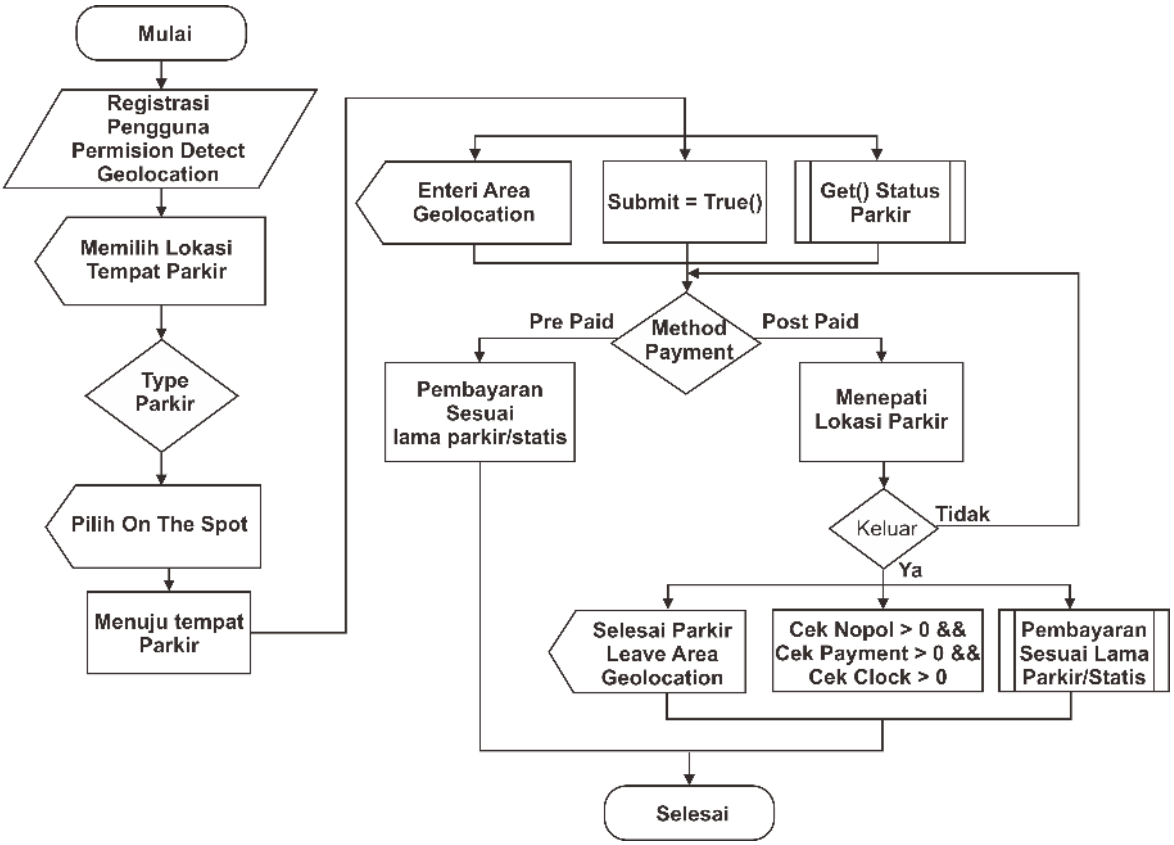


Gambar 5. Skema Penggunaan Sistem

1. Skema alur sistem *smart parking*

Alur sistem parkir pada Gambar 6 yakni setelah pengguna menginstal aplikasi dan memberikan *permission* untuk mendapatkan *geolocation*, pengguna akan langsung menuju lokasi parkir dan

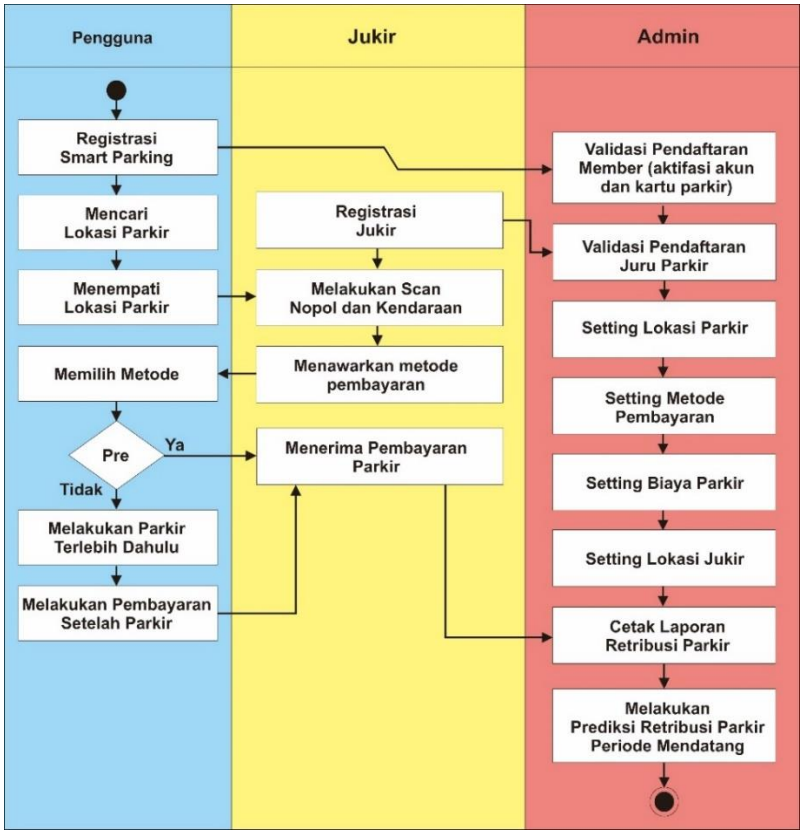
memasuki area *geolocation*. Pengguna akan mendapatkan konfirmasi parkir dan menekan tombol *submit* pada aplikasi. Sistem akan melakukan pengecekan status parkir apakah sudah terisi atau belum. Jika pengguna memilih opsi *prepaid*, maka pengguna akan langsung melakukan pembayaran. Namun jika pengguna memilih opsi *postpaid*, pengguna dapat menempati tempat parkir terlebih dahulu dan melakukan pembayaran saat akan meninggalkan area *geolocation*. Saat pengguna parkir akan keluar dari area *geolocation*, juru parkir akan melakukan pengecekan terhadap plat (id) kendaraan yang telah direkognisi pada saat awal kendaraan tersebut memasuki area *geolocation.* Selanjutnya pembayaran akan dilakukan dengan mengacu pada jenis kendaraan bermotor yang awalnya telah diidentifikasi untuk menentukan biaya parkir dengan mengacu pada waktu parkir kendaraan yang menempati lokasi parkir badan jalan.



Gambar 6 Skema alur sistem *smart parking*

2. Diagram aktivitas

Diagram aktivitas sistem pada Gambar 7 terdapat tiga aktor yakni pengguna, jukir dan *admin*, dimulai dari pengguna melakukan registrasi *smart parkin*g dan admin akan melakukan validasi pendaftaran member yang akan mengaktifasi akun dan registrasi kartu parkir milik pengguna, kemudian registrasi jukir yang divalidasi oleh admin. Pengguna setelah registrasi dapat mencari lokasi parkir, kemudian menempati lokasi parkir yang sudah dipilih kemudian jukir akan melakukan scan nopol dan kendaraan kemudian jukir akan menawarkan metode pembayaran, pengguna akan memilih metode pembayaran jika memili *pre paid* maka jukir akan menerima pembayaran parkir, jika pengguna tidak memilih *pre paid* maka melakukan parkir terlebih dahulu kemudian setelah selesai melakukan pembayaran dan jukir menerima pembayaran parkir. *Admin* melakukan pengaturan lokasi parkir, metode pembayaran, biaya parkir dan lokasi jukir, cetak laporan retribusi parkir, dan dapat melakukan prediksi retribusi parkir periode mendatang.



Gambar 7. Diagram aktivitas sistem

D. KESIMPULAN

Framework smart parking untuk badan jalan yang dirancang pada penelitian ini, pengguna parkir dapat mengetahui lokasi-lokasi parkir badan jalan agar terhindar dari juru parkir liar serta proses pembayaran parkir yang lebih memudahkan dengan menggunakan *E-Wallet* atau *E-Money*. Adapun tingkat keamanan yang dihasilkan oleh model yang dirancang relatif lebih tinggi, di mana setiap kendaraan diidentifikasi terlebih dahulu menggunakan teknologi *Computer Vision* dan *Optical Character Recognition* untuk mengenali identitas (id) kendaraan pengguna parkir yang akan disimpan ke dalam database sistem parkir. Selain itu model rancangan *smart parking* berbasis *Computer Vision* pada penelitian ini lebih mudah dalam penerapan serta pengembangan infrastrukturnya dan tentunya lebih hemat biaya (*cost*) dibandingkan *smart parking* yang berbasis sensor yang membutuhkan biaya yang cukup besar dalam penerapannya serta *maintenance* dari sensor yang digunakan. Sehingga rancangan *smart parking* pada penelitian ini lebih efektif dan efisien dalam penerapan *smart parking* untuk perparkiran badan jalan di wilayah perkotaan Makassar.

DAFTAR PUSTAKA

Aly, S. H. (2017). Analisis Kemampuan Ruang Terbuka Hijau (Rth) Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa Dalam Mereduksi Emisi Co 2 Kendaraan Bermotor. *Prosiding Simposium Forum Transportasi Antar Perguruan Tinggi Ke-20*.

Athira, A., Lekshmi, S., Vijayan, P., & Kurian, B. (2019). Smart parking system based on optical character recognition. *Proceedings of the International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2019*, *2019-April*(Icoei), 1184–1188. https://doi.org/10.1109/icoei.2019.8862517

Briones, F., Weidner, J., Cheu, R. L., & Gurbuz, O. (2021). Smart parking Garage: Concept of Operations and User Benefits. *2021 Smart City Symposium Prague, SCSP 2021*, 25–28. https://doi.org/10.1109/SCSP52043.2021.9447385

Dixit, M., Srimathi, C., Doss, R., Loke, S., & Saleemdurai, M. A. (2020). Smart parking with Computer Vision and IoT Technology. *2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2020*, 170–174. https://doi.org/10.1109/-TSP49548.2020.9163467

Ebin, P. M., Akhil Dev, P., Mishab, P., Sreejith, C., & Srudhil, U. K. (2018). An andriod application for smart parking with efficient space management. *2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research, ICETIETR 2018*, 1–5. https://doi.org/10.1109/ICETIETR.2018.8529084

Niswar, M., Warni, E., Sabri, A. A., & Musa, M. N. (2013). Memory Sharing Management on Virtual Private Server. *CORE*.

Nurani Fitri Kireina. (2017). Mesin parkir elektronik sebagai wujud dari smart city di kota bandung. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik*, *7*(2), 63–80.

Pamudi. (2018). Penerapan Sistem Dinamik dalam Sistem Transportasi Cerdas untuk Mengurangi Kemacetan, Polusi dan Meningkatkan Keselamatan Berlalu Lintas (Studi Kasus Dinas Perhubungan Kota Surabaya). *Thesis*, 17–18.

Patel, R., & Meduri, P. (2020). Car Detection Based Algorithm for Automatic Parking Space Detection. *Proceedings - 19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2020*, 1418–1423. https://doi.org/10.1109/ICMLA51294.2020.00220

Rajbhandari, S., Thareja, B., Deep, V., & Mehrotra, D. (2018). IoT based smart parking system. *2018 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies, 3ICT 2018*, 1–5. https://doi.org/10.1109/3ICT.2018.8855787

Rajvanshi, V., Chaturvedi, S., Yadav, D., & Sharma, L. (2019). Smart parking system using sensors and cloud based network for smart cities applications. *IET Conference Publications*, *2019*(CP758), 6–9. https://doi.org/10.1049/cp.2019.0202

Shaikh, F. I., Jadhav, P. N., Bandarkar, S. P., Kulkarni, O. P., & Shardoor, N. B. (2016). Smart parking System Based on Embedded System and Sensor Network. *International Journal of Computer Applications*, *140*(12), 975–8887.

Taridala, S., Yudono, ananto, Ramli, M. I., & Akil, A. (2017). Model Penilaian Risiko Kebakaran Perkotaan dengan Sistem Pakar berbasis Gis Grid-Based. *Majalah Geografi Indonesia*, *31*(2), 1. https://doi.org/10.22146/mgi.25493

PELUANG DAN TANTANGAN KEMITRAAN PEMERINTAH-SWASTA DALAM ADOPSI KENDARAAN LISTRIK DI IINDONESIA

Sakti Prajna Mahardhika[1*], Okkie Putriani[2]
[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari No.44
Email: saktimahardhika17@gmail.com (Corresponding Author)
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari No.44
Email: okkie.putriani@uajy.ac.id

ABSTRAK

Studi ini membahas peluang dan tantangan dalam memperkuat mobilitas perkotaan yang berkelanjutan, ketahanan bencana, dan mitigasi perubahan iklim melalui adopsi kendaraan listrik di Indonesia. Sektor transportasi di Indonesia merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar kedua setelah sektor energi, dan adopsi kendaraan listrik dianggap sebagai salah satu solusi untuk mengurangi emisi karbon di sektor transportasi dan meningkatkan ketahanan bencana di wilayah perkotaan. Namun, penerapan kendaraan listrik di Indonesia masih terbatas karena kendala teknologi, kurangnya infrastruktur pengisian daya, dan hambatan regulasi. Selain itu, harga kendaraan listrik di Indonesia masih relatif mahal dibandingkan dengan kendaraan konvensional, dan infrastruktur pengisian daya yang masih terbatas juga menjadi hambatan utama bagi pengguna kendaraan listrik di Indonesia. Studi ini juga membahas tentang salah satu upaya untuk mengatasi tantangan tersebut melalui pengembangan sistem transportasi yang berkelanjutan, termasuk kendaraan listrik dan sepeda motor listrik, dan program pelibatan masyarakat. Studi ini bertujuan untuk membahas peluang dan tantangan dalam memperkuat mobilitas perkotaan yang berkelanjutan, ketahanan bencana, dan mitigasi perubahan iklim melalui adopsi kendaraan listrik di Indonesia, serta dampak positif dari adopsi kendaraan listrik terhadap mitigasi perubahan iklim dan ketahanan bencana di wilayah perkotaan. Kemitraan pemerintah-swasta dapat memainkan peran penting dalam mendukung pengembangan sistem transportasi yang berkelanjutan dan adopsi kendaraan listrik di Indonesia.

Kata kunci: kendaraan listrik, ketahanan bencana, mitigasi perubahan iklim, kemitraan pemerintah-swasta, mobilitas perkotaan berkelanjutan.

A. PENDAHULUAN

Di Indonesia, sektor transportasi merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar kedua setelah sektor energi (Rosadi, 2021; Sekaryadi & Santosa, 2017; Yuliana, 2017). Kendaraan bermotor konvensional, terutama kendaraan pribadi, masih menjadi pilihan utama masyarakat Indonesia dalam memenuhi kebutuhan transportasi mereka. Adopsi kendaraan listrik saat ini dianggap sebagai salah satu solusi untuk mengurangi emisi karbon di sektor transportasi dan meningkatkan ketahanan bencana di wilayah perkotaan. Namun, tampaknya penerapan kendaraan listrik di Indonesia masih terbatas karena kendala teknologi, kurangnya infrastruktur pengisian daya, dan hambatan regulasi (Sidabutar, 2020). Meskipun beberapa produsen mobil telah memperkenalkan kendaraan listrik ke pasar Indonesia, penjualan kendaraan listrik masih terbatas. Selain itu, harga kendaraan listrik di Indonesia masih relatif mahal dibandingkan dengan kendaraan konvensional. Hal ini menjadi tantangan bagi masyarakat Indonesia untuk beralih ke kendaraan listrik sebagai alternatif transportasi yang ramah lingkungan. Selain itu, infrastruktur pengisian daya yang masih terbatas juga menjadi hambatan utama bagi pengguna kendaraan listrik di Indonesia.

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan beberapa peraturan dan kebijakan untuk mendukung pengembangan kendaraan listrik dan transportasi berkelanjutan guna mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs). Salah satu tujuan SDGs adalah mencapai kota yang berkelanjutan dengan transportasi yang ramah lingkungan dan efisien energi. Namun, adopsi kendaraan listrik di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan dan perlu kemitraan pemerintah-swasta yang kuat untuk mencapai tujuan tersebut. Oleh karena itu, dalam studi ini, akan dibahas peluang dan tantangan kemitraan pemerintah-swasta dalam mendukung adopsi kendaraan listrik di Indonesia untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Studi ini bertujuan untuk membahas peluang dan tantangan dalam memperkuat mobilitas perkotaan yang berkelanjutan, ketahanan bencana, dan mitigasi perubahan iklim melalui adopsi kendaraan listrik di Indonesia. Selain itu, studi ini juga akan membahas dampak positif dari adopsi kendaraan listrik terhadap mitigasi perubahan iklim dan ketahanan bencana di wilayah perkotaan. Kemitraan pemerintah-swasta dapat memainkan peran penting dalam mendukung pengembangan sistem transportasi yang berkelanjutan dan adopsi kendaraan listrik di Indonesia. Oleh karena itu, studi ini akan membahas peluang dan tantangan kemitraan pemerintah-swasta dalam memperkuat mobilitas perkotaan yang berkelanjutan, ketahanan bencana, dan mitigasi perubahan iklim melalui adopsi kendaraan listrik di Indonesia (Asia-Pacific Economic Cooperation, 2010).

B. METODE

Metode yang digunakan untuk *paper* ini adalah *literature review* dan survei. Data dan informasi diperoleh dari berbagai sumber seperti jurnal, artikel, dan buku terkait topik yang dibahas. Proses *literature review* dilakukan dengan cara mengumpulkan, mengevaluasi, dan mengintegrasikan hasil-hasil studi terkait topik yang relevan. Setelah itu, data dan informasi yang terkumpul dianalisis dan disusun menjadi paparan yang terstruktur dan logis. Dengan menggunakan metode ini, diharapkan dapat memberikan informasi yang mendalam dan terpercaya mengenai peluang dan tantangan kemitraan pemerintah-swasta dalam memperkuat mobilitas perkotaan yang berkelanjutan, ketahanan bencana, dan mitigasi perubahan iklim melalui adopsi kendaraan listrik di Indonesia.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tantangan adopsi kendaraan listrik untuk mobilitas berkelanjutan di Indonesia

Salah satu permasalahan penting dalam bidang transportasi berkelanjutan untuk mobilitas perkotaan di Indonesia adalah kurangnya adopsi kendaraan listrik (EV) dan moda transportasi berkelanjutan lainnya. Untuk menangani permasalahan ini, studi ini menggunakan metode literature review dari berbagai jurnal untuk membandingkan proyek *Sustainable Transport for Urban Mobility* (STRUM) di Indonesia dengan studi kasus di luar negeri. Studi ini berfokus pada tantangan dan peluang dalam mempromosikan mobilitas perkotaan yang berkelanjutan melalui penggunaan kendaraan listrik dan menilai kontribusinya terhadap upaya global dalam mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Berdasarkan data pada Tabel 1 terdapat penjualan mobil listrik dengan jenis *Battery Electric Vehicle* (BEV). Pada data penjualan menunjukkan tiga merk mobil listrik jenis BEV yang menempati posisi penjualan teratas yakni Hyundai dengan persentase 58%, Wuling 30%, dan Toyota 4% (Ahdiat, 2023). Sedangkan dari hasil penelitian preferensi masyarakat Indonesia terhadap pembelian mobil listrik (Permana dkk., 2023) menunjukkan hipotesis lebih kuat pada *ease of use* (kemudahan penggunaan) daripada *usefulness* (kegunaan).

Komponen kemudahan penggunaan mobil listrik meliputi perilaku pembeli (Syabanita Elida dkk., 2023), *price value* (Khazaei, 2019), faktor risiko (Capuder dkk., 2020), tantangan infrastruktur (Adhikari dkk., 2020), dan kebijakan insentif keuangan (Wang dkk., 2018).

Tabel 1. Data penjualan mobil listrik (BEV) pada kuartal pertama 2023

Merk dan Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Terjual	Merk dan Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Terjual
Hyundai Ioniq 5 Sig Ext	886	Mini Cooper SE Hatch	17
Wuling Air EV Long Range	537	Mercedes Benz EQS 450+	13
Hyundai Ioniq 5 Prime Ext	73	KIA EV6	12
Hyundai Ioniq Sig Reg	70	Hyundai Ioniq 5 Prime Reg	10
Toyota BZ4X EV	64	DFSK Gelora EC35	8
BMW iX xDrive40	29	Minicab Miev 4-Seater	5
Lexus UX 300e	27	Morris Garage ZS EV	2
Nissan Leaf	26	Wuling Air EV Std Range	2
DFSK Gelora EC36	18	Minicab Miev 2-Seater	1

Dari penjualan ini dapat memberikan gambaran awal bahwa terdapat dua tipe pembeli mobil listrik yakni mengutamakan efisiensi kendaraan listrik dengan referensi harga yang lebih murah dan yang memilih kecanggihan fitur teknologi mobil listrik dengan kecenderungan harga relatif mahal. Penjualan ini masih akan mengalami pergerakan kuartil berikutnya dan gambaran penjualan ini terbatas mendeskripsikan penjualan mobil listrik sedangkan di Indonesia telah hadir sepeda motor listrik dan bus listrik.



Gambar 1. Ekshibisi PEVS (PERIKLINDO *Electric Vehicle Show*) 17 – 21 Mei 2023

Terkait hal ini membutuhkan strategi dan kebijakan yang efektif dalam mendorong mobilitas perkotaan yang berkelanjutan di Indonesia (Moeldoko, 2022). Tantangan spesifik yang dihadapi Indonesia saat ini dalam mempromosikan kendaraan listrik untuk mobilitas perkotaan yang berkelanjutan adalah terbatasnya ketersediaan infrastruktur pengisian daya, mahalnya harga

kendaraan listrik, serta preferensi sosial dan budaya untuk kepemilikan mobil pribadi. Tantangan berikutnya adalah kontribusi dari inisiatif terhadap upaya global dalam mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Kemitraan pemerintah-swasta dalam adopsi kendaraan listrik untuk mobilitas berkelanjutan

Mobilitas perkotaan yang berkelanjutan dapat berjalan dengan sinergi bila adanya kolaborasi dari berbagai pihak. Komponen yang bekerja sama meliputi *Academic, Business, Community, Government*, dan *Media* disebut dengan *Penta Helix* (Effendi dkk., 2016). Kemitraan yang telah berlangsung saat ini di Indonesia salah satunya melalui Kerjasama Pemerintah dan Swasta dengan istilah *PPP (Public-Private Partnership)* atau dalam Bahasa Indonesia Kemitraan Pemerintah-Swasta (KPS). KPS dapat memainkan peran penting dalam mempromosikan mobilitas perkotaan yang berkelanjutan dan adopsi kendaraan listrik (EV) pada khususnya (Huang dkk., 2022). KPS dapat menyatukan keahlian, sumber daya, dan pendanaan dari sektor publik dan swasta untuk mengatasi tantangan dan peluang dalam mempromosikan mobilitas perkotaan yang berkelanjutan. Mobilitas perkotaan yang berkelanjutan dapat berjalan dengan sinergi bila adanya kolaborasi dari berbagai pihak. Komponen yang bekerja sama meliputi *Academic, Business, Community, Government*, dan *Media* disebut dengan *Penta Helix* (Effendi dkk., 2016). KPS dapat membantu mengatasi terbatasnya ketersediaan infrastruktur pengisian daya dengan memanfaatkan sumber daya dan keahlian dari sektor publik dan swasta sebagai contoh Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah (LKPP) dan KPS memiliki hubungan yang erat dalam konteks pengembangan kendaraan listrik (*electric vehicle*) di Indonesia. LKPP adalah lembaga pemerintah nonkementerian yang bertanggung jawab kepada Presiden Republik Indonesia dalam pengadaan barang dan jasa pemerintah. LKPP memiliki peran penting dalam pengadaan kendaraan listrik oleh instansi pemerintah. Melalui peraturan dan kebijakan yang ditetapkan, LKPP dapat mendorong penggunaan kendaraan listrik dalam lingkup pemerintah, seperti melalui pengadaan kendaraan listrik oleh lembaga-lembaga pemerintah dan perusahaan BUMN.



Gambar 2. Gelar wicara LKPP pada ekshibisi PEVS (PERIKLINDO *Electric Vehicle Show*) 17 – 21 Mei 2023

Demikian pula, KPS juga dapat digunakan untuk mengatasi mahalnya biaya kendaraan listrik dengan memanfaatkan sumber daya dan keahlian dari sektor publik dan swasta. Sektor swasta dapat menyediakan opsi pembiayaan dan penyewaan untuk membuat EV lebih terjangkau, sementara sektor publik dapat menyediakan insentif peraturan dan kebijakan untuk mempromosikan adopsi

EV. Secara keseluruhan, KPS dapat memainkan peran penting dalam mempromosikan mobilitas perkotaan yang berkelanjutan dan adopsi kendaraan listrik dengan memanfaatkan kekuatan dan sumber daya dari sektor publik dan swasta. Melalui kemitraan yang efektif, KPS dapat membantu mengatasi tantangan dan hambatan yang dihadapi oleh proyek STRUM di Indonesia dan berkontribusi pada upaya global untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Indonesia menghadapi beberapa tantangan dalam mempromosikan adopsi kendaraan listrik (EV) dan meningkatkan ketahanan bencana di daerah perkotaan. Kemitraan Publik-Swasta (KPS) dan kolaborasi dapat menawarkan beberapa peluang untuk mengatasi tantangan-tantangan ini dan mempromosikan adopsi kendaraan listrik sekaligus meningkatkan ketahanan bencana.

Bentuk nyata kerjasama pemerintah-swasta Indonesia dalam adopsi kendaraan listrik untuk mobilitas berkelanjutan: aksi dan kebijakan

Kerjasama antara pemerintah dan swasta memiliki peran penting dalam mendukung adopsi kendaraan listrik di Indonesia sebagai bagian dari upaya untuk mencapai mobilitas yang lebih berkelanjutan. Dengan didukung pemerintah tentang kerjasama antara pemerintah dan swasta dalam mendukung adopsi kendaraan listrik di Indonesia yang tertuang dalam:

1. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 118 Tahun 2018, PENYELENGGARAAN ANGKUTAN SEWA KHUSUS (Peraturan Menteri Perhubungan, 2018). Peraturan Menteri ini mengatur penyelenggaraan Angkutan Sewa Khusus (ASK) termasuk rental mobil dan taksi. Peraturan ini dapat memfasilitasi penggunaan kendaraan listrik dalam angkutan komersial. Dukungan pemerintah dan kerjasama dengan swasta dalam menciptakan aturan ini mendorong adopsi kendaraan listrik yang lebih luas dan mobilitas berkelanjutan di Indonesia.
2. Peraturan Menteri ESDM Nomor 9 Tahun 2018, PENCABUTAN PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL TERKAIT KEGIATAN DI BIDANG ENERGI BARU, TERBARUKAN, DAN KONSERVASI ENERGI (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018). Peraturan ini membatalkan peraturan sebelumnya terkait energi baru, terbarukan, dan konservasi energi. Peraturan baru ini memberikan dukungan lebih kuat bagi perkembangan energi baru dan terbarukan, termasuk adopsi kendaraan listrik. Kerjasama pemerintah dan swasta penting dalam menciptakan kondisi yang mendukung perkembangan energi baru dan terbarukan, termasuk kendaraan listrik. Peraturan Menteri ini mendukung kerjasama antara pemerintah dan swasta dalam mempromosikan dan mengembangkan kendaraan listrik di Indonesia.
3. Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019, PERCEPATAN PROGRAM KENDARAAN BERMOTOR LISTRIK BERBASIS BATERAI (*BATTERY ELECTRIC VEHICLE*) UNTUK TRANSPORTASI JALAN (Peraturan Presiden, 2019). Peraturan ini meningkatkan penggunaan kendaraan listrik dan mengatur standar teknisnya. Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 mendorong kerjasama pemerintah dan swasta untuk mempercepat program kendaraan listrik di Indonesia. Swasta menyediakan teknologi dan infrastruktur, sedangkan pemerintah memberikan insentif dan fasilitas untuk mendukung adopsi kendaraan listrik.
4. Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2020, PENYEDIAAN INFRASTRUKTUR PENGISIAN LISTRIK UNTUK KENDARAAN BERMOTOR LISTRIK BERBASIS BATERAI (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020). Peraturan ini mengatur tata cara pengisian listrik untuk kendaraan bermotor listrik. Kerjasama pemerintah dan swasta penting dalam mempercepat penyediaan infrastruktur pengisian listrik. Pemerintah memberikan kebijakan dan regulasi, sementara swasta menyediakan investasi dan teknologi.

5. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 45 Tahun 2020, KENDARAAN TERTENTU DENGAN MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR LISTRIK (Peraturan Menteri Perhubungan, 2020). Peraturan Menteri ini menetapkan persyaratan teknis dan prosedur administrasi untuk kendaraan listrik roda dua dan kendaraan listrik penyandang disabilitas. Pihak swasta bekerja sama dengan pemerintah dalam menentukan standar teknis agar kendaraan listrik memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

Dengan terbitnya berbagai Peraturan Pemerintah dalam usaha untuk mempercepat adopsi kendaraan listrik untuk mobilitas perkotaan berkelanjutan terbentuk Kerjasama yang telah dilakukan, baik dalam pengembangan teknologi kendaraan listrik maupun infrastruktur pengisian daya. Namun, masih diperlukan upaya yang lebih besar dan terintegrasi untuk meningkatkan adopsi kendaraan listrik di Indonesia. Oleh karena itu, penting untuk memperjelas bentuk nyata dari kerjasama pemerintah-swasta dalam hal adopsi kendaraan listrik untuk mencapai mobilitas yang lebih berkelanjutan di Indonesia.

Banyak perusahaan swasta di Indonesia telah menunjukkan minat mereka dalam mengembangkan kendaraan listrik dan infrastruktur pendukungnya, tetapi dukungan dari pemerintah sangat diperlukan untuk mempercepat adopsi kendaraan listrik. Beberapa bentuk nyata kerja sama antara pemerintah dan sektor swasta Indonesia dalam adopsi kendaraan listrik telah dilakukan, pemerintah dan swasta berkolaborasi dalam berbagai kegiatan seperti penyelenggaraan pameran kendaraan listrik yang diadakan oleh Perhimpunan Industri Pengepakan, Pengemasan dan Logistik Indonesia (Periklindo) yaitu Periklindo *Electric Vehicle Show* (PEVS). Pameran ini merupakan salah satu upaya dari pemerintah dan swasta untuk mempromosikan kendaraan listrik kepada masyarakat lebih luas lagi. Pameran ini juga bertujuan untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang keuntungan dan manfaat dari penggunaan kendaraan listrik dalam mendukung mobilitas yang berkelanjutan. Melalui pameran ini, masyarakat dapat melihat secara langsung kendaraan listrik yang tersedia di pasar dan mempelajari lebih lanjut tentang teknologi kendaraan listrik serta infrastruktur pengisian daya yang tersedia di Indonesia (Rivaldo, 2023). Tidak hanya pemerintah, multifinance juga ikut terlibat dalam mempromosikan kendaraan listrik. Strategi yang dilakukan oleh *multifinance* untuk menjual kendaraan listrik turut meningkatkan penjualan kendaraan listrik di Indonesia (Mediatama, 2023).

Namun, penerimaan terhadap kendaraan listrik menghadapi dua idealisme yang berbeda terkait pengurangan mobil pribadi dan emisi karbon masih dalam perdebatan. Pada satu sisi, ada pandangan yang mendukung pengurangan penggunaan kendaraan pribadi sebagai solusi untuk mengatasi masalah lalu lintas yang padat dan pencemaran udara. Pandangan ini mendorong kebijakan pengembangan transportasi berkelanjutan yang berfokus pada penggunaan kendaraan umum, sepeda, dan berjalan kaki. Konsep ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi dan mengurangi emisi karbon. Di sisi lain ada juga idealisme yang lebih berfokus pada pengurangan emisi karbon tanpa mengabaikan kendaraan pribadi. Dalam idealisme ini, penggunaan kendaraan bermotor masih diizinkan, tetapi perhatian diberikan pada penggunaan kendaraan dengan emisi rendah, seperti kendaraan listrik atau kendaraan dengan teknologi ramah lingkungan lainnya. Pendukung pandangan ini berpendapat bahwa kendaraan listrik dapat membantu mengurangi emisi karbon dan polusi udara, sambil tetap mempertahankan kenyamanan dan mobilitas individu (Moeldoko, 2022).

Penerimaan terhadap kendaraan listrik di Indonesia masih perlu diperkuat melalui kebijakan yang mendukung, seperti insentif fiskal, pengembangan infrastruktur pengisian ulang yang luas, dan kampanye kesadaran masyarakat tentang keunggulan kendaraan listrik. Saat ini, pemerintah Indonesia telah mengambil langkah-langkah untuk mendorong adopsi kendaraan listrik, seperti mengurangi pajak impor untuk kendaraan listrik, mendorong penggunaan kendaraan listrik oleh instansi pemerintah, dan membangun jaringan pengisian ulang yang lebih banyak. Tantangan-tantangan tersebut memerlukan kemampuan untuk beradaptasi, merespons dengan cepat, mengambil risiko yang diperlukan, dan responsif terhadap perkembangan teknologi. Pemerintah dan pemangku kepentingan terkait harus terus berdiskusi dan bekerja sama untuk mencapai kesepakatan yang menguntungkan bagi keberlanjutan transportasi di Indonesia, dengan mempertimbangkan kedua idealisme tersebut.

Dalam hal ini, kerja sama antara pemerintah dan swasta akan menjadi kunci untuk mencapai adopsi kendaraan listrik yang lebih cepat dan lebih luas di Indonesia. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah dan perusahaan swasta di Indonesia untuk bekerja sama dalam hal adopsi kendaraan listrik untuk mencapai mobilitas yang lebih berkelanjutan di Indonesia. Dalam kerja sama ini, peran pemerintah untuk menyediakan sementara perusahaan swasta dapat memberikan inovasi dan investasi yang dibutuhkan untuk mengembangkan teknologi kendaraan listrik dan infrastruktur pengisian daya yang lebih baik dan terjangkau (Kurniawan, 2022). Dengan kerja sama yang *solid* antara pemerintah dan swasta, diharapkan adopsi kendaraan listrik dapat semakin ditingkatkan dan menjadi salah satu solusi dalam mengurangi emisi karbon dan mencapai mobilitas yang lebih berkelanjutan di Indonesia.Dalam hal ini, kerja sama antara pemerintah dan swasta akan menjadi kunci untuk mencapai adopsi kendaraan listrik yang lebih cepat dan lebih luas di Indonesia (Nurhayati, 2022).

Keterkaitan adopsi kendaraan listrik untuk mobilitas berkelanjutan dengan *Sustainable Development Goals (SDG)*

Kerja sama Pemerintah-Swasta dalam adopsi kendaraan listrik di Indonesia juga terkait dengan pencapaian (Kementerian PPN/Bappenas, 2023; Toyota, 2020). Salah satunya adalah tujuan SDG 7 yang bertujuan untuk meningkatkan akses masyarakat terhadap energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern. Kerja sama Pemerintah-Swasta dalam adopsi kendaraan listrik di Indonesia juga terkait dengan pencapaian *Sustainable Development Goals (SDG)* (David, 2022). Salah satunya adalah tujuan SDG 7 yang bertujuan untuk meningkatkan akses masyarakat terhadap energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern. Adopsi kendaraan listrik dapat menjadi bagian dari solusi untuk mencapai target SDG 7 (Bappenas, 2022, hlm. 7), terutama dalam mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan. Selain itu, adopsi kendaraan listrik juga dapat berkontribusi terhadap pencapaian SDG 9 yang mengadvokasi pembangunan infrastruktur yang inklusif, tahan bencana, dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, pengembangan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik menjadi kunci untuk mendukung adopsi kendaraan listrik secara luas dan terintegrasi. Adopsi kendaraan listrik juga terkait dengan pencapaian SDG 11 yang bertujuan untuk membuat kota dan pemukiman menjadi inklusif, aman, tahan bencana, dan berkelanjutan. Kendaraan listrik yang ramah lingkungan dapat membantu mengurangi polusi udara yang merupakan masalah utama di kota-kota besar di Indonesia. Terakhir, adopsi kendaraan listrik juga menjadi bagian dari upaya untuk mencapai SDG 13 yang menekankan perlunya tindakan untuk melawan perubahan iklim. Kendaraan listrik yang beroperasi menggunakan sumber energi terbarukan dapat membantu mengurangi emisi karbon dan berkontribusi pada pengurangan dampak perubahan iklim.



Gambar 3. *Sustainable Development Goals (SDG)* nomor 7, 9, 11, dan 13

Keterkaitan antara KPS dengan mobilitas perkotaan, ketahanan bencana, dan mitigasi perubahan iklim

Salah satu peluangnya adalah sektor publik dan swasta dapat berkolaborasi dalam mengembangkan dan mengimplementasikan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik. Sektor swasta dapat membawa keahlian dan sumber dayanya untuk membangun dan mengoperasikan infrastruktur pengisian daya, sementara sektor publik dapat menyediakan kerangka kerja peraturan dan insentif untuk mempromosikan penggunaannya. Hal ini dapat dilakukan melalui berbagai model KPS, termasuk *build-operate-transfer* (BOT) dan *build-own-operate* (BOO), di mana sektor swasta berinvestasi dan mengoperasikan infrastruktur pengisian daya, sementara sektor pemerintah memberikan insentif untuk penggunaannya (Agus, 2018). Hal ini dapat dilakukan melalui berbagai model KPS, termasuk *build-operate-transfer* (BOT) dan *build-own-operate* (BOO), di mana sektor swasta berinvestasi dan mengoperasikan infrastruktur pengisian daya, sementara sektor pemerintah memberikan insentif untuk penggunaannya (Riyanto, 2018).

Peluang lainnya adalah berkolaborasi dalam studi dan pengembangan teknologi kendaraan listrik, seperti solusi penyimpanan dan pengisian daya baterai. Sektor publik dan swasta dapat bekerja sama untuk mengembangkan teknologi baru yang sesuai dengan kondisi lingkungan Indonesia yang unik dan daerah yang rawan bencana (Asia-Pacific Economic Cooperation, 2010). Hal ini dapat membantu mengatasi tantangan adopsi kendaraan listrik di daerah-daerah yang memiliki infrastruktur pengisian daya yang terbatas dan sering mengalami pemadaman listrik.

Selain itu, kemitraan dapat dibentuk untuk mempromosikan ketahanan terhadap bencana melalui adopsi kendaraan listrik. EV dapat berfungsi sebagai sumber daya cadangan selama bencana, menyediakan penyimpanan energi dan daya darurat untuk infrastruktur penting seperti rumah sakit dan pusat evakuasi (CHAdeMO EU, 2020). Selain itu, kemitraan dapat dibentuk untuk mempromosikan ketahanan terhadap bencana melalui adopsi kendaraan listrik. EV dapat berfungsi

sebagai sumber daya cadangan selama bencana, menyediakan penyimpanan energi dan daya darurat untuk infrastruktur penting seperti rumah sakit dan pusat evakuasi (Okuda, 2020). KPS dan kolaborasi dapat dibentuk untuk mengembangkan EV dengan fitur ketahanan bencana yang ditingkatkan seperti tahan air dan kemampuan *off-road*.

Terakhir, kemitraan dapat dibangun untuk mempromosikan penggunaan kendaraan listrik di transportasi umum, seperti bus dan taksi. Sektor swasta dapat menyediakan opsi pembiayaan dan penyewaan untuk membuat EV lebih terjangkau bagi penyedia transportasi umum, sementara sektor publik dapat memberikan insentif peraturan dan kebijakan untuk mendorong pengadopsiannya. Hal ini dapat membantu mengurangi emisi dan meningkatkan ketahanan bencana di sektor transportasi. Kemitraan dan kolaborasi antara pemerintah dan swasta menawarkan beberapa peluang untuk mendorong adopsi kendaraan listrik dan meningkatkan ketahanan bencana di Indonesia. Dengan memanfaatkan kekuatan dan sumber daya dari sektor publik dan swasta, kemitraan ini dapat membantu mengatasi tantangan dan hambatan serta berkontribusi pada upaya global untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Mobilitas Perkotaan Berkelanjutan, Ketahanan Bencana, dan Mitigasi Perubahan Iklim merupakan konsep yang saling berhubungan dan memiliki implikasi yang signifikan terhadap Kerjasama Pemerintah-Swasta (KPS) dalam pengembangan sistem transportasi di perkotaan.

Mobilitas perkotaan yang berkelanjutan bertujuan untuk mengurangi dampak negatif dari transportasi terhadap lingkungan, masyarakat dan ekonomi. Pengenalan moda transportasi rendah karbon seperti kendaraan listrik dapat memberikan manfaat besar dalam mengurangi perubahan iklim dan emisi karbon di daerah perkotaan. Kendaraan angkutan umum, khususnya, memainkan peran penting dalam mengurangi penggunaan kendaraan pribadi berbasis bahan bakar fosil yang berkontribusi pada polusi dan emisi karbon. Namun, implementasi yang berhasil dari kebijakan ini di Indonesia perlu mempertimbangkan beberapa faktor. Salah satu pertimbangan utama adalah kemampuan Indonesia dalam melaksanakan peralihan ke kendaraan listrik. Implementasi yang sukses membutuhkan upaya yang koordinatif dari pemerintah, produsen kendaraan, industri baterai, dan infrastruktur pengisian ulang. Indonesia perlu mengembangkan kebijakan yang mendukung penggunaan kendaraan listrik, seperti insentif fiskal, pembebasan pajak, dan subsidi untuk mengurangi hambatan harga. Selain itu, investasi dalam pengembangan infrastruktur pengisian ulang yang luas dan terjangkau juga menjadi faktor penting.

Jika Indonesia tidak mampu melaksanakan peralihan ini secara efektif, risiko peningkatan penggunaan kendaraan pribadi di jalan akan meningkat. Hal ini dapat mengakibatkan peningkatan volume lalu lintas, peningkatan kepadatan jalan (*V/C ratio*), kemacetan, dan tingkat polusi yang lebih tinggi. Pengukuran *V/C ratio* adalah ukuran yang mengindikasikan apakah kapasitas geometri fisik dan desain sinyal jalan memberikan kapasitas yang cukup untuk pergerakan kendaraan tertentu. Sementara itu, delay adalah ukuran kualitas layanan bagi pengguna jalan. Dalam konteks ini, perlu dilakukan analisis yang komprehensif untuk memahami dampak pengenalan kendaraan listrik terhadap pergerakan kendaraan dan polusi di daerah perkotaan. Analisis ini dapat melibatkan pemodelan lalu lintas untuk memperkirakan perubahan dalam *V/C ratio* dan waktu tunda sebagai dampak dari pengenalan kendaraan listrik dan peningkatan penggunaan kendaraan pribadi. Hasil analisis ini dapat menjadi landasan bagi pengambilan keputusan dan perencanaan yang lebih baik dalam mengatasi masalah lalu lintas dan polusi di Indonesia.

Penting untuk dicatat bahwa transisi ke kendaraan listrik bukanlah solusi tunggal untuk mengatasi masalah transportasi perkotaan. Pendekatan yang komprehensif juga harus mencakup peningkatan transportasi berkelanjutan lainnya seperti pengembangan transportasi umum yang efisien, promosi transportasi berbasis sepeda dan berjalan kaki, dan pengembangan penggunaan energi terbarukan dalam sektor transportasi. KPS juga dapat memberikan kesempatan untuk program pelibatan masyarakat, yang dapat membantu meningkatkan kesadaran dan penerimaan sistem transportasi berkelanjutan di kalangan masyarakat. Hal ini dapat berkontribusi pada ketahanan bencana dengan meningkatkan kesiapsiagaan dan respon masyarakat terhadap bencana. Mobilitas perkotaan yang berkelanjutan, ketahanan bencana, dan mitigasi perubahan iklim merupakan konsep yang saling berkaitan yang membutuhkan upaya terkoordinasi dan kemitraan antara sektor publik dan swasta.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kendaraan listrik (EV) merupakan topik yang mendapat perhatian global dan sangat penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi perubahan iklim. Namun, di Indonesia masih terdapat banyak tantangan dalam mempromosikan mobilitas perkotaan yang berkelanjutan melalui adopsi kendaraan listrik dan moda transportasi berkelanjutan lainnya, seperti terbatasnya ketersediaan infrastruktur pengisian daya dan preferensi budaya untuk kepemilikan mobil pribadi. Melalui perbandingan dengan studi kasus di luar negeri, dapat diketahui bahwa ada beberapa strategi dan kebijakan yang efektif dalam mendorong mobilitas perkotaan yang berkelanjutan, namun tantangan yang dihadapi di Indonesia harus dipertimbangkan dengan cermat dalam mengembangkan solusi yang tepat. Oleh karena itu, upaya kolaborasi antara pemerintah, swasta, dan masyarakat perlu ditingkatkan untuk memperkuat mobilitas perkotaan yang berkelanjutan dan meningkatkan adopsi kendaraan listrik di Indonesia, serta berkontribusi pada upaya global untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca, merangkum hasil studi yang telah dilakukan, dan menjawab tujuan studi. Studi lebih lanjut berfokus pada adopsi kendaraan listrik terhadap ketahanan bencana dan mitigasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

Adhikari, M., Ghimire, L. P., Kim, Y., Aryal, P., & Khadka, S. B. (2020). Identification and Analysis of Barriers against Electric Vehicle Use. *Sustainability*, *12*(12), Article 12. https://doi.org/10.3390/su12124850

Agus, R. (2018, Juni 29). *Bot Sebagai Strategi Pembiayaan Investor Swasta Dalam Proyek Pembangunan Pemerintah*. Business Law. https://business-law.binus.ac.id/2018/06/29/bot-sebagai-strategi-pembiayaan-investor-swasta-dalam-proyek-pembangunan-pemerintah/

Ahdiat, A. (2023). *Hyundai Ioniq, Mobil Listrik Terlaris di Indonesia Kuartal I 2023*. https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/04/18/hyundai-ioniq-mobil-listrik-terlaris-di-indonesia-kuartal-i-2023

Asia-Pacific Economic Cooperation. (2010). *Public-Private Partnerships, and Disaster Resilience*.

Bappenas. (2022). *SDG 7: Energi Bersih dan Terjangkau*. https://sdgs.bappenas.go.id/tujuan-7/

Capuder, T., Miloš Sprčić, D., Zoričić, D., & Pandžić, H. (2020). Review of challenges and assessment of electric vehicles integration policy goals: Integrated risk analysis approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *119*, 105894. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105894

CHAdeMO EU. (2020). *Emergency response concept EV powered by CHAdeMO's bi-directional (V2X) function | CHAdeMO*. https://www.chademo.com/emergency-response-v2x

David, L. (2022). *Strategi Indonesia dengan Korea Selatan dalam Mencapai Target SDGs ke-7 Tahun 2020–2021 (Studi Kasus Realisasi Ekosistem Mobil Listrik)* [Thesis]. https://repository.uksw.edu/-/handle/123456789/26832

Effendi, D., Syukri, F., Subiyanto, A. F., & Utdityasan, R. N. (2016). Smart city Nusantara development through the application of Penta Helix model (A practical study to develop smart city based on local wisdom). *2016 International Conference on ICT For Smart Society (ICISS)*, 80–85. https://doi.org/10.1109/ICTSS.2016.7792856

Huang, X., Lin, Y., Lim, M. K., Zhou, F., Ding, R., & Zhang, Z. (2022). Evolutionary dynamics of promoting electric vehicle-charging infrastructure based on public–private partnership cooperation. *Energy*, *239*, 122281.

Kementerian PPN/Bappenas. (2023). *Tujuan-7*. https://sdgs.bappenas.go.id/tujuan-7/

Khazaei, H. (2019). The Influence of Personal Innovativeness and Price Value on Intention to Use of Electric Vehicles in Malaysia. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, *8*(3), Article 3.

Kurniawan, H. (2022). *Cara Pemerintah dan Swasta Bangun Ekosistem Kendaraan Listrik di RI*. investor.id. https://investor.id/business/307651/cara-pemerintah-dan-swasta-bangun-ekosistem-kendaraan-listrik-di-ri

Mediatama, G. (2023, April 27). *Multifinance Catat Penjualan Kendaraan Listrik Naik di Kuartal I-2023*. kontan.co.id. https://keuangan.kontan.co.id/news/multifinance-catat-penjualan-kendaraan-listrik-naik-di-kuartal-i-2023

Moeldoko, M. (2022). The Innovation of Indonesia's Resource Empowerment Program to Accelerate the National Capacity in Facing Global Challenges. *JDM (Jurnal Dinamika Manajemen)*, *13*(2), Article 2. https://doi.org/10.15294/jdm.v13i2.38618

Nurhayati, F. (2022). *Pemerintah-Swasta Berkolaborasi Bangun Ekosistem Kendaraan Listrik—Katadata.co.id*. https://katadata.co.id/padjar/info/632c02b6a2873/pemerintah-swasta-berkolaborasi-bangun-ekosistem-kendaraan-listrik

Okuda, F. (2020). *Nissan RE-LEAF: Power when it's needed, where it's needed*. Global Nissan Newsroom. http://global.nissannews.com/en/releases/nissan-re-leaf-power-when-its-needed-where-its-needed

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. (2018). *Permen ESDM No. 9 Tahun 2018 tentang Pencabutan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Terkait Kegiatan Di Bidang Energi Baru, Terbarukan, Dan Konservasi Energ*. https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/-142560/permen-esdm-no-9-tahun-2018

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Permen ESDM No. 13 Tahun 2020 tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik Untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai*.https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/163121/permen-esdm-no-13-tahun-2020

Peraturan Menteri Perhubungan. (2018). *Permenhub No. 118 Tahun 2018 tentang Penyelenggaraan Angkutan Sewa Khusus*. https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/104386/permenhub-no-118-tahun-2018

Peraturan Menteri Perhubungan. (2020). *Permenhub No. 45 Tahun 2020 tentang Kendaraan Tertentu dengan Menggunakan Penggerak Motor Listrik*. https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/149469/permenhub-no-45-tahun-2020

Peraturan Presiden. (2019). *PERPRES No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) untuk Transportasi Jalan*. https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/116973/perpres-no-55-tahun-2019

Permana, R., Yuliati, E., & Wulandari, P. (2023). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumen Terhadap Purchase Intention Kendaraan Listrik di Indonesia. *INOBIS: Jurnal Inovasi Bisnis Dan Manajemen Indonesia*, *6*(2), Article 2. https://doi.org/10.31842/jurnalinobis.v6i2.270

Rivaldo, J. (2023). *Dorong Penggunaan Kendaraan Listrik di Indonesia, Periklindo Electric Vehicle Show 2023 Siap Digelar 17 hingga 21 Mei*. liputan6.com. https://www.liputan6.com/-otomotif/read/5255059/dorong-penggunaan-kendaraan-listrik-di-indonesia-periklindo-electric-vehicle-show-2023-siap-digelar-17-hingga-21-mei

Riyanto, A. (2018). *Bot Sebagai Strategi Pembiayaan Investor Swasta Dalam Proyek Pembangunan Pemerintah*. Business Law. https://business-law.binus.ac.id/2018/06/29/bot-sebagai-strategi-pembiayaan-investor-swasta-dalam-proyek-pembangunan-pemerintah/

Rosadi. (2021). *Sektor Transportasi dan Industri Sumbang Emisi Karbon Terbesar—Industri Katadata.co.id*. https://katadata.co.id/doddyrosadi/berita/6172d1ee2eb7a/sektor-transportasi-dan-industri-sumbang-emisi-karbon-terbesar

Sekaryadi, Y., & Santosa, W. (2017). *EMISI KENDARAAN PADA RUAS JALAN PROVINSI DI JAWA BARAT*. *3*(1).

Sidabutar, V. T. P. (2020). Kajian pengembangan kendaraan listrik di Indonesia: Prospek dan hambatannya. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, *15*(1), 21–38.

Syabanita Elida, S., Wahyuarini, T., & Sofiana, E. (2023). *Kebutuhan Konsumen Untuk Keunikan, Pengetahuan Lingkungan, Sikap, Minat Pembelian Mobil Listrik*. http://repository.-polnep.ac.id/xmlui/handle/123456789/2109

Toyota. (2020). *Feature-Contributing-To-The-Sdgs*. https://prd-aem-tusa.origin.cepo-proxy.tms.aws.-toyota.com/usa/environmentalsustainability/feature-contributing-to-the-sdgs.html

Wang, S., Wang, J., Li, J., Wang, J., & Liang, L. (2018). Policy implications for promoting the adoption of electric vehicles: Do consumer's knowledge, perceived risk and financial incentive policy matter? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *117*, 58–69. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.014

Yuliana, D. K. (2017). Tingkat emisi gas rumah kaca di kabupaten indramayu. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, *12*(2), 1–10.

ANALISIS PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR DENGAN METODE MANUAL DESAIN PERKERASAN BINA MARGA 2017

Yory Rezqy Akbar[1*], Senja Rum Harnaeni[2]

[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura,
Email: d100190226@student.ums.ac.id (Corresponding Author)

[2] Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura,
Email: srh289@ums.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri merupakan infrastruktur sisi darat yang berfungsi untuk mempermudah mobilisasi pengguna moda transportasi menuju terminal utama dan bangunan lainnya. Jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri menggunakan perkerasan lentur dengan panjang total 5,4 km dan tipe jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri adalah 2/2 UD dengan sistem 2 lajur - 2 arah terbagi oleh median di tengahnya. Terdapat 2 variasi lebar jalur jalan yaitu 12,5 meter dan 7 meter dengan masing-masing kemiringan tiap lajur berbeda yaitu 2% dan 2,5%. Perencanaan struktur perkerasan jalan yang tepat dapat mencegah kegagalan konstruksi baik bersifat struktural maupun non struktural. Salah satu indikator penting dalam perencanaan struktur perkerasan ialah perencanaan tebal perkerasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perencanaan tebal perkerasan lentur menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Bina Marga 2017 (Surat edaran no. 18/se/Db/2020). Metode penelitian ini dilakukan dengan studi lapangan terkait pengumpulan data primer tentang LHR (lalu lintas harian rata-rata), dan data sekunder berupa data CBR *(California Bearing Ratio)* menggunakan DCP *(Dynamic Cone Penetrometer) Test* dan data curah hujan. Pada proses analisis data diperoleh nilai LHR sebesar 9.388.648 CESA dengan tebal perkerasan lapisan AC-WC 4 cm, tebal lapisan AC-BC 6 cm, tebal AC-Base 8 cm, Sedangkan lapisan pondasi atas *(base aggregat A)* sebesar 20 cm.

Kata kunci: Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017, perkerasan lentur, tebal perkerasan

A. PENDAHULUAN

Pembangunan Bandara Internasional Dhoho Kediri terletak di Kabupaten Kediri Provinsi Jawa Timur. Bandara Internasional Dhoho Kediri ini dibangun di luas tanah sebesar 300 hektar. Pembangunan Bandara tidak terlepas dari akses jalan pada ruang lingkup Bandara. Jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri merupakan infrastruktur sisi darat yang berfungsi sebagai mobilisasi moda transportasi menuju terminal utama bandara serta bangunan lainnya. Jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri menggunakan perkerasan lentur dengan panjang total 5,4 km dan terdapat 2 variasi lebar jalur jalan yaitu 12,5 meter dan 7 meter dengan masing-masing kemiringan tiap lajur berbeda yaitu 2% dan 2,5%. Perkerasan jalan termasuk salah satu struktur utama dalam pembangunan. Infrastruktur jalan yang dibebani oleh lalu lintas yang tinggi dan sering menyebabkan penurunan kualitas jalan yang terlihat dari keadaan permukaan jalan yang rusak baik secara struktural maupun fungsional. Perencanaan struktur perkerasan jalan yang tepat dapat mencegah kegagalan konstruksi tersebut. Salah satu indikator penting dalam perencanaan struktur perkerasan ialah perencanaan tebal perkerasan. Dalam membangun infrastruktur di Indonesia,

Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga melakukan pembaharuan dan penyempurnaan dengan memodifikasi penyesuaian dari negara maju. Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis ingin membandingkan parameter apa saja yang mempengaruhi perencanaan tebal perkerasan menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Bina Marga 2017.

Perkerasan jalan

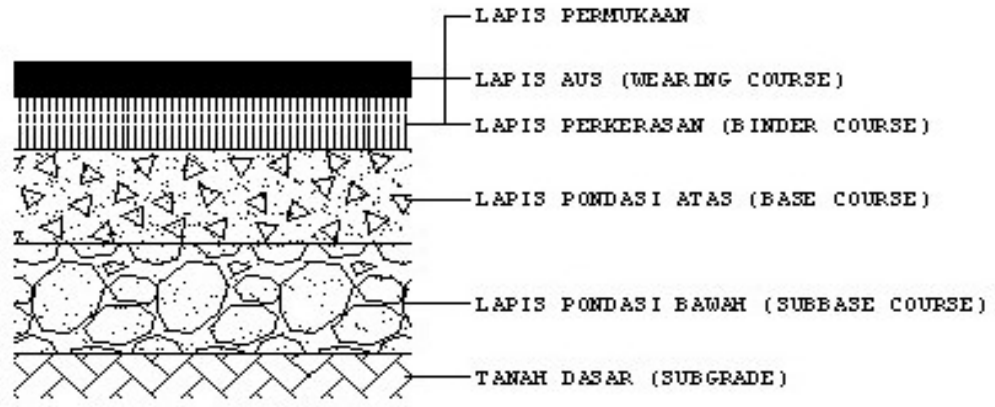
Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu perkerasan kaku, perkerasan lentur dan perkerasan komposit. Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai pengikat. Pelat beton menggunakan tulangan atau tanpa tulangan di atas dasar dengan atau tanpa lapisan dasar. Sebagian besar beban lalu lintas dipikul oleh pelat beton. Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan jalan mengangkut dan mendistribusikan beban lalu lintas di bawah tanah. Meskipun lapisan komposit terdiri dari kombinasi lapisan kaku dan lapisan fleksibel, pengaturannya dapat berupa lapisan fleksibel di atas lapisan kaku atau lapisan kaku di atas lapisan fleksibel. Perkerasan jalan memiliki peran penting dalam konstruksi jalan, dan diperlukan sistem manajemen jalan untuk mengevaluasi kondisi struktur jalan. Beberapa faktor, seperti lalu lintas, cuaca, desain perkerasan, pelaksanaan konstruksi, dan pemeliharaan, mempengaruhi kinerja permukaan jalan. Setiap lapisan perkerasan memiliki masa pakai yang telah direncanakan.

Parameter kunci dalam menentukan ketebalan setiap lapisan termasuk Daya Dukung Tanah (DDT), yang dapat ditentukan dengan melakukan pengujian kepadatan tanah dan memperoleh nilai CBR (California Bearing Ratio). Nilai CBR menggambarkan kekuatan relatif dibandingkan dengan nilai standar 100%. Kapasitas dukungan tanah yang rendah mengakibatkan diperlukannya perkerasan yang lebih tebal. Beban lalu lintas, yang diukur dengan lalu lintas harian rata-rata (LHR), merujuk pada jumlah rata-rata kendaraan, baik roda dua maupun roda empat atau lebih, yang melintasi suatu bagian jalan dalam periode 24 jam. Jenis kendaraan yang melintas memiliki beban gandar yang berbeda-beda.

Susunan perkerasan lentur

Perkerasan jalan adalah lapisan jalan antara *base course* dan roda kendaraan yang melayani sarana angkutan yang diperkirakan tidak akan mengalami kerusakan yang berarti selama masa pemeliharaan. Pada gambar 1 menampilkan potongan struktur perkerasan jalan secara umum yang terdiri dari beberapa susunan, antara lain:

1. Lapis permukaan *(Surface Course),* ialah lapisan perkerasan jalan yang teratas yang berperan sebagai penahan beban roda moda transportasi serta melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca alam. Lapisan ini dibagi menjadi 2 yaitu *binder course* dan *wearing course.*
2. Lapis pondasi atas *(Base Course),* ialah lapisan di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan yang berperan sebagai lapis peresapan dan menahan roda moda transportasi.
3. Lapis pondasi bawah *(Sub Base Course)* ialah lapisan yang letaknya di antara lapis pondasi atas dan tanah dasar yang berfungsi sebagai lapisan peresapan pertama.
4. Lapis tanah dasar *(Sub Grade),* sebagai lapisan tanah dengan tebal 50-100 cm yang di atasnya diletakkan lapisan dasar. Lapisan ini merupakan lapisan tanah asli, tanah galian atau tanah timbunan yang dipadatkan, dengan CBR minimal >6%. Kekuatan dan keawetan konstruksi permukaan jalan banyak bergantung pada sifat dan kapasitas beban tanah di bawahnya.



Gambar 1. Struktur perkerasan jalan

Metode desain perkerasan lentur dengan lapisan aspal

Secara keseluruhan, prosedur yang digunakan dalam penelitian ini untuk merancang perkerasan lentur dengan lapisan aspal melibatkan analisis karakteristik mekanik material dan analisis struktural secara mekanistik. Menurut Haikal (2021), metode ini menggabungkan *input* berupa beban roda, struktur perkerasan, dan sifat mekanik material dengan *output* berupa respons perkerasan terhadap beban roda, seperti tegangan, regangan, atau lendutan. Keunggulan utama metode desain mekanistik adalah kemampuannya untuk menganalisis dengan cepat dan rasional pengaruh perubahan *input* desain, seperti perubahan material dan beban lalu lintas. Beberapa keuntungan metode ini dibandingkan dengan metode empiris murni antara lain adalah:

1. Berfungsi sebagai metode untuk evaluasi perubahan dan variasi beban kendaraan terhadap kinerja perkerasan secara analitis.
2. Efiseinsi perkerasan dengan material baru dapat dievaluasi berdasarkan sifat-sifat mekanik bahan tersebut.
3. Berfungsi untuk menganalisis pengaruh perubahan sifat material yang diakibatkan oleh iklim dan lingkungan terhadap kinerja perkerasan.
4. Mengevaluasi respons perkerasan terkait dengan mode kerusakan perkerasan secara spesifik, seperti deformasi permanen dan retak lelah.

B. METODE

Lokasi penelitian ini yaitu pada proyek jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri terletak di Grogol Wetan, Kec. Grogol, Kab. Kediri, Jawa Timur. Dalam merencanakan tebal perkerasan jalan ini menggunakan data primer berupa data LHR (lintas harian rata-rata) dan data sekunder berupa data CBR Test *(California Bearing Ratio)* dan DCP Test *(Dynamic Cone Penetrometer).*

Data primer dan data sekunder

Berdasarkan hasil pengamatan dilakukan perhitungan jumlah kendaraan yang melintas di sepanjang jalan kolektor lingkungan Bandara Internasional Dhoho Kediri sejauh 2,5 km pada STA 0+000 s/d 2+500. Pada tabel 1 menjelaskan jenis dan jumlah kendaraan yang digunakan untuk menentukan kelas jalan.

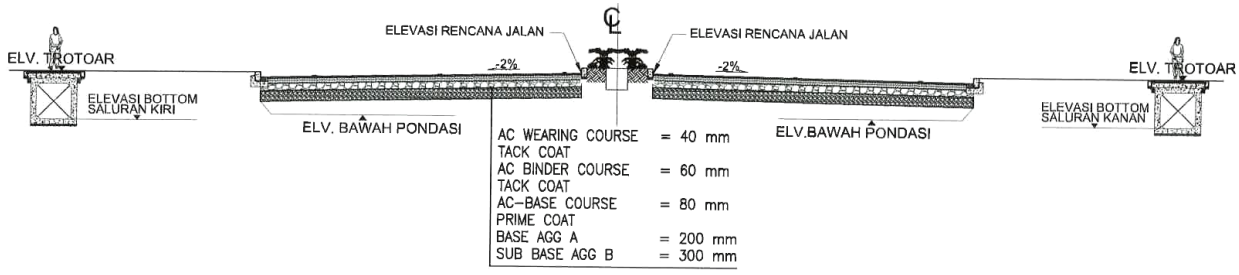
Tabel 1. Data lalu lintas harian rata-rata (LHR)

Golongan	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan
Gol. 1	Sepeda motor, kendaraan roda tiga	5233
Gol. 2	Mobil	1952
Gol. 3	Minibus	395
Gol. 4	Truk kecil, mobil hantaran atau pick-up box.	845
Gol. 5a	Bus kecil	50
Gol. 5b	Bus besar	42
Gol. 6a	Truk ringan dua sumbu	39
Gol. 6b	Truk sedang dua sumbu	168
Gol. 7A1	Truk tiga sumbu - ringan	155
Gol. 7A2	Truk tiga sumbu - sedang	9
Gol. 7B1	Truk dua sumbu	5
Gol. 7B2	Truk trailer penarik dua sumbu	4
Gol. 7C1	Truk empat sumbu - trailer	1
Gol. 7C2A	Truk lima sumbu- trailer	1
Gol. 7C2B	Truk lima sumbu- trailer	1
Gol. 7C3	Truk enam sumbu- trailer	1

Sedangkan untuk data sekunder dilakukan analisis kepadatan tanah di lokasi penelitian dengan DCP *(Dynamix Cone Penetrometer)* Test menggunakan metode zig-zag dengan setiap titik pengujian diberi jarak 50 meter dengan total pengujian sepanjang 2,5 km. Nilai CBR minimal yang disyaratkan untuk tanah dasar ialah > 6%.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri berpedoman pada Rencana Kerja dan Syarat-Syarat (RKS) Proyek Pembangunan Bandara Internasional Dhoho Kediri tentang persyaratan geometri jalan dan perencanaan teknis jalan. Potongan melintang jalan dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Potongan melintang jalan

Dapat diketahui melalui gambar di atas tipe jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri ialah 2/2 UD dengan sistem 2 lajur – 2 arah yang terbagi oleh median jalan di bagian tengahnya. Terdapat 2 variasi kemiringan tiap lajur berbeda yaitu 2% dan 2,5%.

Umur rencana

Dalam menentukan umur rencana pada sistem perkerasan lentur ini menggunakan material perkerasan lapisan beraspal dan lapisan berbutir, sehingga perencanaan umur ditetapkan yaitu 20 tahun. Kriteria perkerasan lentur pada jalan askes Bandara Internasional Dhoho Kediri yaitu berupa lapisan aspal dan lapisan berbutir, sehingga umur rancana yang dipakai ialah 20 tahun sesuai dengan pedoman Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Bina Marga 2017.

California Bearing Ratio (CBR) Desain

Dalam menentukan nilai CBR rencana dipengaruhi oleh faktor penyesuaian modulus lapisan dasar menurut musim. Menurut Pradani (2016) dalam jurnalnya yang berjudul Analisis Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Pd T-01-2002-B, Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Dan Metode Nottingham Pada Ruas Jalan I Gusti Ngurah Rai Palu, faktor penyesuaian minimum nilai CBR didasarkan pada pengujian DCP Test *(Dynamic Cone Penetrometer)* yang tiap musimnya memiliki nilai berbeda. Pada musim hujan dan tanah jenuh faktor penyesuaian minimum nilai CBR bernilai sebesar 0,90. Pada masa transisi faktor penyesuaian minimum nilai CBR bernilai sebesar 0,80 sedangkan pada musim kemarau bernilai 0,70. Pengerjaan proyek jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri dilaksanakan pada bulan September 2020 di mana musim yang terjadi yaitu masa peralihan (hujan ke kemarau) sehingga faktor penyesuaian minimum nilai CBR menurut pengujian DCP test sebesar 0,8. Perhitungan CBR desain dan CBR segmen disajikan pada tabel 4 yang diperoleh menggunakan rumus :

$$\text{Nilai CBR desain} = (\text{CBR hasil pengujian DCP}) \times \text{faktor penyesuaian} \quad \ldots\ldots (1)$$

$$\text{CBR segmen} = \text{rata-rata nilai CBR seluruh STA} \quad \ldots\ldots (2)$$

Tabel 2. Nilai CBR lapangan hasil pengujian DCP Test

No.	STA	Nilai CBR	Faktor Musim Transisi	CBR_{segmen}	CBR_{desain}	Keseragaman FK (%)
			n= 0,80			
1	00+000	18,44	14,75	10,36	6,00	44,22%
2	00+050	9,16	7,33	10,36	6,00	44,22%
3	00+100	28,45	22,76	10,36	6,00	44,22%
4	00+150	21,81	17,45	10,36	6,00	44,22%
5	00+200	20,25	16,20	10,36	6,00	44,22%
6	00+250	19,13	15,30	10,36	6,00	44,22%
7	00+300	17,41	13,93	10,36	6,00	44,22%
8	00+350	9,63	7,70	10,36	6,00	44,22%
9	00+400	9,69	7,75	10,36	6,00	44,22%
10	00+450	11,47	9,17	10,36	6,00	44,22%
11	00+500	10,19	8,15	10,36	6,00	44,22%
12	00+550	18,06	14,45	10,36	6,00	44,22%
13	00+600	13,09	10,47	10,36	6,00	44,22%
14	00+650	10,19	8,15	10,36	6,00	44,22%
15	00+700	19,91	15,93	10,36	6,00	44,22%
16	00+750	32,00	25,60	10,36	6,00	44,22%
17	00+800	15,40	12,32	10,36	6,00	44,22%

No.	STA	Nilai CBR	Faktor Musim Transisi	CBR_{segmen}	CBR_{desain}	Keseragaman FK (%)
18	00+850	10,19	8,15	10,36	6,00	44,22%
19	00+900	6,47	5,18	10,36	6,00	44,22%
20	00+950	8,31	6,65	10,36	6,00	44,22%
21	01+000	9,65	7,72	10,36	6,00	44,22%
22	01+050	9,65	7,72	10,36	6,00	44,22%
23	01+100	9,65	7,72	10,36	6,00	44,22%
24	01+150	9,65	7,72	10,36	6,00	44,22%
25	01+200	18,06	14,45	10,36	6,00	44,22%
26	01+250	15,20	12,16	10,36	6,00	44,22%
27	01+300	9,65	7,72	10,36	6,00	44,22%
28	01+350	7,28	5,83	10,36	6,00	44,22%
29	01+400	16,51	13,21	10,36	6,00	44,22%
30	01+450	10,79	8,64	10,36	6,00	44,22%
31	01+500	14,07	11,25	10,36	6,00	44,22%
32	01+550	19,91	15,93	10,36	6,00	44,22%
33	01+600	12,23	9,78	10,36	6,00	44,22%
34	01+650	10,79	8,64	10,36	6,00	44,22%
35	01+700	21,20	16,96	10,36	6,00	44,22%
36	01+750	7,60	6,08	10,36	6,00	44,22%
37	01+800	18,06	14,45	10,36	6,00	44,22%
38	01+850	9,16	7,33	10,36	6,00	44,22%
39	01+900	10,60	8,48	10,36	6,00	44,22%
40	01+950	7,60	6,08	10,36	6,00	44,22%
41	02+000	8,47	6,77	10,36	6,00	44,22%
42	02+050	13,86	11,09	10,36	6,00	44,22%
43	02+100	12,23	9,78	10,36	6,00	44,22%
44	02+150	14,50	11,60	10,36	6,00	44,22%
45	02+200	10,79	8,64	10,36	6,00	44,22%
46	02+250	6,99	5,59	10,36	6,00	44,22%
47	02+300	7,66	6,13	10,36	6,00	44,22%
48	02+350	10,19	8,15	10,36	6,00	44,22%
49	02+400	10,43	8,34	10,36	6,00	44,22%
50	02+450	6,02	4,82	10,36	6,00	44,22%
51	02+500	3,09	2,47	10,36	6,00	44,22%

Dari perhitungan nilai CBR lapangan hasil pengujian DCP Test pada Tabel 2 maka dapat diperoleh rekap hasil analisis CBR desain yang disajikan dalam Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Rekap hasil analisis CBR Desain

STA Awal	STA Akhir	CBR_{segmen}	CBR_{desain}	FK (%)
0+000	2+500	10,36	6,00	44,22%

Perkiraan kumulatif beban lalu lintas (ESA)

Berdasarkan Pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan oleh Bina Marga (2017), ketebalan perencanaan perkerasan jalan ditentukan melalui perhitungan Nilai Ekuivalen Sumbu Standar (ESA) pangkat 4 dan Nilai Ekuivalen Sumbu Standar (ESA) pangkat 5. Nilai-nilai tersebut bergantung pada jenis kerusakan dan metode konstruksi yang digunakan dalam proses perancangan. ESA pangkat 4 digunakan untuk desain investasi tipis seperti Burtu atau Burda, perkerasan granular tanpa penutup, dan desain ketebalan penutup atas berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur. Sementara itu, ESA pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur yang mempertimbangkan faktor kelelahan aspal beton melalui pendekatan mekanistik empiris, termasuk desain ketebalan penutup atas berdasarkan grafik lengkung lendutan untuk kriteria retak lelah. Perhitungan melibatkan Nilai Ekuivalen Sumbu Standar Kumulatif (CESA4) dan Nilai Ekuivalen Sumbu Standar Kumulatif (CESA5). disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 4. *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA4)

Jenis Kendaraan	LHR	LHR	LHR	VDF4 faktual	VDF4 normal	ESA4	ESA4
	2022	2024	2025			(24 -24)	(25 -43)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Golongan 5b	42	45	48	1,2	1,2	20051	258592
Golongan 6a	39	42	45	0,5	0,5	7758	100051
Golongan 6b	168	180	193	3,8	1,2	253981	1034369
Golongan 7A1	155	166	178	10,5	2,8	647484	2226766
Golongan 7A2	9	10	10	18,8	5,4	67314	249357
Golongan 7B1	5	5	6	29,4	8,4	58482	215493
Golongan 7B2	4	4	5	18	7,6	28644	155976
Golongan 7C1	1	1	1	15,8	8,5	6286	43612
Golongan 7C2A	1	1	1	24,5	6,2	9747	31811
Golongan 7C2B	1	1	1	30,9	1,7	12293	8722
Golongan 7C3	1	1	1	35,4	7,3	14084	37455
					Jumlah ESA	1126125	4362204
					CESA4	**5,49E+06**	

Tabel 5. *Cumulative Equivalent Standard Axles* (CESA5)

Jenis Kendaraan	LHR	LHR	LHR	VDF4 faktual	VDF4 normal	ESA4	ESA4
	2022	2024	2025			(24 -24)	(25 -43)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Golongan 5b	42	45	48	1,3	1,3	21722	280142
Golongan 6a	39	42	45	0,4	0,4	6206	80040
Golongan 6b	168	180	193	5,9	1,2	394339	1034369
Golongan 7A1	155	166	178	16,8	3,2	1035974	2544876
Golongan 7A2	9	10	10	37,8	7,1	135345	327858
Golongan 7B1	5	5	6	52,6	10,3	104632	264236
Golongan 7B2	4	4	5	26,5	9,1	42171	186761
Golongan 7C1	1	1	1	25	11,4	9946	58491
Golongan 7C2A	1	1	1	50,1	7,8	19932	40020
Golongan 7C2B	1	1	1	76,9	1,7	30594	8722
Golongan 7C3	1	1	1	70,3	9,3	27968	47716
					Jumlah ESA	1828829	4873232
					CESA5	**6,70E+06**	

Tipe perkerasan, struktur fondasi perkerasan, dan struktur perkerasan

Dari perecanaan umur perkerasan 20 tahun dan hasil perhitungan nilai CBR desain 6% diperoleh besar nilai *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA4) dan *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA5) yaitu sebesar

Nilai CESA4 = 5488329 juta ESA

Nilai CESA5 = 6702061 juta ESA

Menurut Firdaus (2020), dalam pemilihan jenis struktur perkerasan selain dipengaruhi oleh nilai perhitungan *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA4) juga harus mempertimbangkan penyedia jasa atau kontraktor pelaksana di lapangan. Pada Tabel 6 menjelaskan pemilihan struktur perkerasan jalan.

Tabel 6. Pemilihan jenis perkerasan

Struktur Perkerasan	Desain Bagan	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 - 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30 - 200
Perkerasan kaku, lalu lintas berat (CBR ≥ 2,5%)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku, lalu lintas rendah (daerah desa dan kota)	4A	-	1,2	-	-	-
AC-WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LFA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Catatan (jenis penyedia jasa/kontraktor)

1. Dengan kontraktor kecil sampai medium.
2. Dengan kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai.
3. Membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus-kontraktor spesialis Burtu/Burda.

Menurut nilai perhitungan *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA4) sebesar 5488329 juta ESA dan *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA5) sebesar 6702061 juta ESA maka termasuk kategori CESA (>4-10 juta). Pada kategori tersebut kontraktor pelaksana yaitu PT. WIKA Gedung termasuk dalam kategori kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai, sehingga dari Tabel 6 di atas dipilih tipe perkerasan yaitu AC tebal ≥100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA5).

Tabel 7. Desain perkerasan lentur

	Struktur Perkerasan								
	FFF 1	FFF 2	FFF 3	FFF 4	FFF 5	FFF 6	FFF 7	FFF 8	FFF 9
Kumulatif beban cumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^5 ESA^5)	< 2-4	> 2-4	> 4-7	> 7-10	>10-20	> 20-30	> 30-50	> 50-100	> 100-200
Ketebalan Lapis Perkerasan (mm)									
Lapis AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Lapis AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Lapis AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
Lapis LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300

Dari pemilihan jenis struktur perkerasan yaitu AC tebal P 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA5) maka dalam penentuan tabel perkerasan pada tabel di atas maka dipilih struktur perkerasan FFF3 karena nilai *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA5) terletak antara >4-7 juta sehingga tebal lapis perkerasan didapat seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Desain perkerasan lentur

Desain Perkerasan	**Tebal (cm)**
Lapis AC WC	4
Lapis AC BC	6
Lapis AC Base	8
Lapis LPA Kelas A	30

D. KESIMPULAN

Berlandaskan hasil penelitian dengan Metode Manual Desain Perkerasan 2017 yang dilakukan pada jalan akses Bandara Internasional Dhoho Kediri pada STA 0+000 s/d 2+500, dapat diambil kesimpulan yaitu nilai CBR desain tanah dasar 6,00%, nilai total *Cumulative Equivalent Standard Axles (*CESA5) = 6702061 juta ESA. Dari hasil desain perencanaan tebal perkerasan lentur didapatkan tebal lapis AC-WC *(Asphalt Concrete-Wearing Course)* sebesar 4 cm, tebal lapis AC-BC *(Asphalt Concrete-Bearing Course)* sebesar 6 cm, tebal AC *(Asphalt Concrete)* pondasi sebesar 8 cm dan tebal pondasi agregat kelas A (CBR >90%) yaitu 30 cm. Dari hasil analisis pembahasan di atas, tebal perkerasan lapis base agregat Kelas A relative lebih besar dibandingkan tebal perkerasan lapis pondasi agregat kelas A yang ada di gambar rencana yaitu sebesar 20 cm. Hal ini menunjukkan faktor keamanan yang lebih baik pada jenis lapis pondasi ini. Selain itu pada hasil analisis perhitungan menggunakan metode Bina Marga tidak menggunakan lapis *subbase* sedangkan pada gambar rencana menggunakan lapis subbase agregat kelas B dengan tebal 30 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada mentor dan seluruh staff pegawai PT WIKA Gedung yang telah membimbing saya selama penelitian di proyek Bandara Internasional Dhoho Kediri. Terima kasih juga saya sampaikan kepada keluarga dan rekan-rekan magang, karena tanpa bantuan dan dukungan rekan-rekan saya tidak akan bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jendaral Bina Marga, (2017). Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017. Jakarta: Kementrian Pekerja Umum dan perumahan Rakyat.

Haikal, M. F., dkk. (2021). "Studi Perencanaan Tebal Perkerasan Letur Dengan Metode Bina Marga MDPJ 2017(Pada Proyek Ruas Jalan Balige Bu Pass)". Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan 2021

Maryam. (2020). "Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga (Studi Kasus: Jalan Luar Lingkar Timur Surabaya)". Jurnal Teknologi & Manajemen Volume 1 Nomor 2 Tahun 2020, 125-134.

Pradani, Novita, dkk. (2016). "Analisis Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Pd T-01-2002-B, Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Dan Metode Nottingham Pada Ruas Jalan I Gusti Ngurah Rai Palu". Jurnal Fropil Vol 4 No 2 Juli-Des 2016.

Wahyu Nahrul Firdaus[1], H. H. (2020). Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Pt T-01-2002-B Dan Mdp 2017 Pada Peningkatan Jalan

SISTEM TRANSPORTASI BERKELANJUTAN TERINTEGRASI DAN TANGGAP BENCANA PADA YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT (YIA)

Okti Setyaningsih[1*], Jeane Lidya Hehamahwa[1], Ibnu Fauzi[2] dan Okkie Putriani[1]

[*1]Departemen Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No.44, Janti, Caturtunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman
Email: 225119324@students.uajy.ac.id (Corresponding Author)
[2]Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jalan Grafika 02, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281
Email: ibnu.fauzi@brin.go.id

ABSTRAK

Peningkatan pengguna yang signifikan sebesar 105% dari tahun 2021 ke tahun 2022 di Bandara Yogyakarta International Airport (YIA) merupakan indikasi dari tingginya mobilitas penumpang. YIA adalah bandara berskala internasional yang terletak di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Integrasi sistem kendaraan yang optimal sangat penting dalam mendukung perpindahan penumpangan. Bandara YIA termasuk dalam Proyek Strategis Nasional yang menjadi alasan pemilihan lokasi penelitian. Penumpang dapat memilih beberapa moda untuk melakukan perjalanan menuju dan keluar bandara YIA yaitu Bus dan Kereta Api Bandara. Selain itu juga terdapat moda transportasi lain seperti *SatelQU*, Grab, Okejek, Gojek untuk melayani perpindahan penumpang keluar dari bandara YIA. Pada operasionalnya, moda transportasi diharapkan telah menerapkan prinsip mitigasi bencana untuk memberikan jaminan keamanan bagi pengguna apabila terjadi bencana. Keamanan penggunaan moda menjadi indikasi sistem transportasi yang optimal sebagai langkah perwujudan *smart city* di Indonesia. Melalui jurnal ini, peneliti akan melakukan asesmen kepada bangunan Yogyakarta International Airport dan moda transportasi pendukung mengenai penerapan sistem mitigasi bencana. Metode penelitian yang digunakan adalah *literature review* dengan data primer berasal dari observasi Yogyakarta International Airport dan data sekunder berasal dari penelitian dan peraturan terkait dengan mitigasi bencana. Identifikasi moda transportasi akan turut dibahas pada penelitian ini serta deskripsi kondisi eksistingnya. Penelitian ini diharapkan menjadi rujukan bagi pemerintah daerah dalam meningkatkan sistem penanggulangan bencana.

Kata kunci: bandara, berkelanjutan, integrasi, multimoda

A. PENDAHULUAN

Yogyakarta International Airport (YIA) adalah bandara berskala internasional yang terletak di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), Indonesia. YIA mulai aktif beroperasi sejak 29 Maret 2020, bandara ini didesain dengan kapasitas sampai dengan 20 juta penumpang pertahun atau 11 kali lipat dari Bandara Adisutjipto Yogyakarta. YIA memiliki *runway* sepanjang 3.250 meter dengan lebar 45 meter serta lebar bahu 15 meter di kedua sisi (PT Angkasa Pura I, 2020). Pertumbuhan *traffic* penumpang terjadi sebesar 81,93% pada Januari - Maret 2022 (PT Angkasa Pura I, 2022a). YIA termasuk dalam Proyek Strategis Nasional (PSN) dan dibangun guna meningkatkan konektivitas serta perekonomian di wilayah DIY (Badan Nasional Penggulangan Bencana, 2019). YIA merupakan objek vital nasional yang diatur dalam Keputusan Presiden No. 63 Tahun 2004 Tentang Pengamanan Obyek Vital Nasional yang berperan penting dalam menunjang ekonomi, politik, sosial, budaya, serta pertahanan dan keamanan (Keputusan Presiden Republik Indonesia, 2004). Objek Vital Nasional yang selanjutnya disebut Obvitnas adalah

kawasan/lokasi, bangunan/instalasi dan/atau usaha yang menyangkut hajat hidup orang banyak, kepentingan negara dan/atau sumber pendapatan negara yang bersifat strategis (Kepolisian Negara Republik Indonesia, 2019).

Dalam pengoperasian YIA terjadi peningkatan jumlah penumpang domestik sebesar 105% dari tahun 2021 ke tahun 2022, hal ini merupakan indikasi dari tingginya aktivitas bandara sebagai titik simpul transit. Ketidakpastian lingkungan setelah terjadi bencana dengan skala besar perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kehandalan suatu sistem transportasi (Gao & Cao, 2020). Penelitian sistem transportasi berkelanjutan terintegrasi dan tanggap bencana pada YIA berfokus membahas identifikasi angkutan multimoda di YIA dan keterpaduan transportasi berkelanjutan di YIA yang tanggap bencana dengan mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan No. KM 49 tahun 2005 tentang Sistem Transportasi Nasional (Sistranas) dan *Grand* Desain Mitigasi Bencana Kawasan Strategis Bandara Pasca Pembangunan YIA dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana 2020-2024, Peraturan Kepala Badan Penanggulangan Bencana Nomor 4 Tahun 2008 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi *stakeholder* terkait dalam pengembangan sistem transportasi berkelanjutan terintegrasi serta tanggap bencana (Badan Nasional Penggulangan Bencana, 2019)dan dapat mendukung tujuan *Sustainable Development Goals* 2030 yaitu tujuan ke-7 Energi Bersih dan Terjangkau, tujuan ke-11 Kota dan Komunitas Berkelanjutan, dan tujuan ke-13 Penanganan Perubahan Iklim. Sistem transportasi berkelanjutan berdampak pada lingkungan, masyarakat, dan ekonomi pada suatu negara (Babaei dkk., 2023).

Angkutan multimoda merupakan angkutan yang paling sedikit menggunakan dua moda angkutan berbeda untuk sampai ke tempat tujuan (Buchari, 2015; Dianne Putri Arianes & Fitri Suryani, 2018; Wibowo & Chairuddin, 2017). Melalui sistem antarmoda para penumpang dapat berpindah dengan mudah dari satu moda ke moda lain untuk mencapai tempat tujuan dengan lebih efisien dalam segi waktu perjalanan, meningkatkan kenyamanan pengguna, dan lebih terjangkau dari segi biaya pembayaran (Institute for Transportation & Development Policy, 2020). Kualitas layanan dan kemudahan akses pada peralihan moda transportasi berpengaruh terhadap pemilihan pengguna untuk angkutan lanjutan. Pemilihan moda transportasi tidak sepenuhnya bergantung pada biaya, tetapi ada faktor lain yaitu kenyamanan, waktu perjalanan (*waiting time*), dan kemudahan akses (Akustia, 2016). Penyelenggaraan transportasi antarmoda mendukung pelayanan penumpang yang berkesinambungan, memiliki satu pola pelayanan prima, tingkat pelayanan yang baik, dan *single seamless services* (Dwitasari, 2014). Transportasi multimoda mengacu pada proses transportasi yang diselesaikan oleh dua atau lebih moda transportasi yang menghubungkan dan lintas pengiriman. Sejalan dengan itu, jaringan yang terbentuk dari interkoneksi dua atau lebih moda transportasi adalah jaringan transportasi multimoda (Guo, Du, dkk., 2021). Transportasi multimoda mengacu pada proses transportasi yang diselesaikan oleh dua atau lebih moda transportasi hubungan timbal balik dan transfer. Dengan keunggulan biaya rendah, efisiensi tinggi, proses sederhana, dan aksesibilitas yang kuat, itu telah dikembangkan dengan penuh semangat di banyak negara di seluruh dunia dan telah memainkan peran penting dalam transportasi dalam beberapa tahun terakhir (Guo, Xu, dkk., 2021). Maka diperlukan sistem antarmoda yang baik, terintegrasi, dan berkelanjutan dalam menunjang kebutuhan masyarakat serta menjaga lingkungan. Transportasi antarmoda berkelanjutan mendukung rencana pengembangan kota cerdas (*smart city*) dimana salah satu aspeknya yaitu *smart mobility* yang ramah lingkungan (*sustainable*), mengurangi kemacetan, memiliki kemampuan mencapai sudut perkotaan yang padat penduduk bahkan area sub-*urban*, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut dan terhubung dengan moda transportasi lain (Atmawidjaja,

2015).. Dengan dukungan teknologi informasi yang baik serta standarisasi angkutan multimoda akan memfasilitasi tugas pemantauan dan manajemen yang cukup besar dan berkontribusi pada peningkatan layanan. Hal tersebut juga berdampak positif pada keselamatan, dengan meningkatkan kontrol fasilitas transportasi, dan ekologi, dengan mengurangi emisi dengan pilihan moda dan logistik yang lebih efisien (Zaiat dkk., 2014)

Sistem transportasi dalam skala nasional diatur oleh Menteri Perhubungan dalam KM No. 49 Tahun 2005 tentang Sistem Transportasi Nasional (Sistranas). Sistranas adalah tatanan transportasi terorganisasi yang terdiri atas transportasi jalan, transportasi kereta api, transportasi sungai dan danau, transportasi penyeberangan, transportasi laut, transportasi udara, serta transportasi pipa yang masing-masing dilengkapi dengan sarana dan prasarana (Keputusan Menteri Perhubungan No. 49, 2005).

Penelitian serupa terkait dengan jaringan transportasi multimoda juga dilakukan di area Tokyo, Jepang dengan tujuan untuk melakukan visualisasi data terkait sumber daya manusia dan sumber daya pada transportasi multimoda yang meliputi kereta api, bus, dan jalur pejalan kaki (Bramson dkk., 2020). Terdapat dua metode yang digunakan yaitu algoritma simpleks jaringan yang umumnya digunakan dalam penelitian jaringan transporatasi dengan asumsi bahwa orang-orang akan memilih lokasi pekerjaan yang paling dekat rumah mereka agar mengefisiensi waktu perjalanan. Metode kedua adalah perjalanan yang dihasilkan secara stokastik dengan melakukan penentuan titik asal-tujuan (*Origin-Destination*) melalui simulasi jaringan berdasarkan hasil survei lapangan. *Output* penelitian adalah penjelasan dan pemetaan sistem tranportasi multimoda pada area Tokyo, Jepang. Penelitian serupa terkait Transportasi multimoda yang terintegrasi di India menyatakan bahwa dengan meningkatnya jumlah kendaraan pribadi selanjutnya menyebabkan penurunan lalu lintas dan kondisi lingkungan. Keterkaitan berbagai moda angkutan umum dan berbagai moda lainnya kini menjadi isu penting dari sudut pandang pengguna dan peluang dari sudut pandang perencana, untuk kelancaran perjalanan di berbagai moda dan keberlanjutan jaringan angkutan umum secara keseluruhan di kota (Tejas Rawal, V. Devadas, 2014).

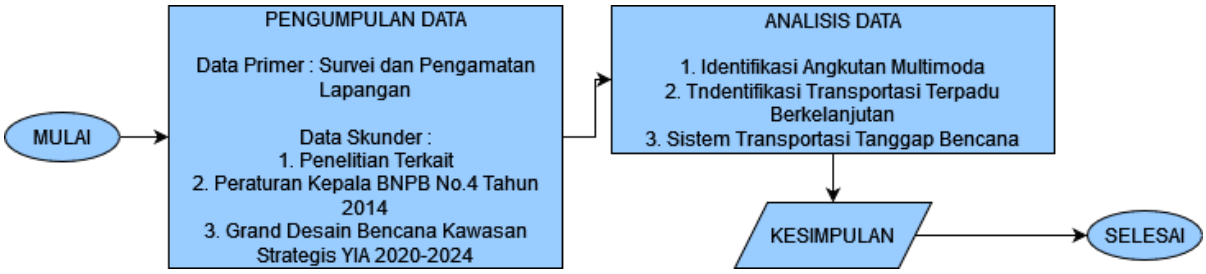
Perencanaan tata ruang kawasan bandara menggunakan konsep *Aerotropolis* (Badan Nasional Penggulangan Bencana, 2019). Transformasi bandara menjadi kota bandara mendapat perhatian pada ruang-ekonomi, logistik, dan infrastruktur transportasi disimpul sub-regional dari metropolitan polisentris, wilayah dengan klaster industri, bisnis, dan perdagangan terkait penerbangan. Kota bandara yang merupakan *Aerotropolis*, dianggap sebagai bagian dari wilayah metropolitan yang lebih besar (Banai, 2017). Bandara Internasional Yogyakarta (YIA) adalah bandara dengan konsep *aerotropolis* yang terinspirasi oleh fakta bahwa bandara telah berevolusi menjadi motor bisnis dan pembangunan perkotaan (Rusdiyanto, 2023). *Aerotropolis* adalah multi-tujuan pengembangan di mana bandara berfungsi sebagai titik fokus dan dikelilingi oleh kawasan bisnis multi-tujuan dan sistem transportasi (Syaifuddin dkk., 2021).

Perlindungan YIA sebagai Objek Vital Nasional perlu mengedepankan pendekatan pengurangan risiko bencana. Wilayah yang rawan bencana memerlukan mitigasi untuk mencegah atau mengurangi dampak negatif yang mungkin terjadi. YIA, sebagai lokasi di zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, memiliki risiko bencana termasuk tsunami. Hal tersebut mengartikan bahwa perlu adanya tindakan pencegahan untuk mengurangi dampak negatif yang berpotensi terjadi. (Fauzi dkk., 2019). Transportasi yang tanggap mampu bereaksi segera terhadap segala kemungkinan hambatan yang terjadi dan handal untuk evakuasi yang aman, tepat waktu, meskipun kemacetan meningkat (Morshed dkk., 2021).

Berdasarkan uraian di atas, maka diperlukan penelitian terkait angkutan multimoda yang berkelanjutan dan tanggap bencana di YIA. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi angkutan multimoda di YIA, mengidentifikasi tata letak lokasi angkutan multimoda dan trayek, identifikasi keterpaduan transportasi terpadu serta berkelanjutan, dan mengetahui sistem dan kondisi eksisting transportasi tanggap bencana.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di kawasan YIA. Metodologi penelitian yang digunakan yaitu kualitatif. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan studi literatur. Pengumpulan data primer dengan observasi langsung pada lokasi penelitian yang dilaksanakan pada Minggu, 16 April 2023. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Analisis data yang dilakukan berupa pertama, analisis angkutan multimoda yang ada di YIA (kereta api bandara, *taxi online*, bus DAMRI, *SatelQu* sebagai peralihan moda dari transportasi udara (pesawat). Kedua, penggambaran tata letak lokasi angkutan multimoda. Ketiga, analisis keterpaduan antar moda transportasi berkelanjutan (*sustainable*), dan Keempat, analisis kondisi eksisting transportasi dalam hal tanggap bencana. Interpretasi hasil dan rekomendasi dilakukan guna mengevaluasi dan mengoptimalkan sistem transportasi berkelanjutan terintegrasi dan tanggap bencana pada YIA.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan pembangunan objek vital nasional diperlukan pendekatan pengurangan risiko terhadap bencana serta pendekatan mitigasi untuk mengurangi kerugian akibat bencana yang berpotensi terjadi pada area YIA. Buku *Grand* Desain Mitigasi Bencana Kawasan Strategis Bandara yang disusun BNPB sebagai instrumen bagi pemerintah maupun lembaga dan *stakeholders* terkait untuk mengupayakan pengurangan risiko bencana pada kawasan YIA. Pengelolaan risiko bencana kawasan pesisir serta bencana *hidrometeorologi* perlu mendapatkan perhatian khusus untuk meminimalisir dampak terhadap operasional dan kelangsungan hidup masyarakat di kawasan YIA.

Identifikasi angkutan multimoda di YIA

Identifikasi angkutan multimoda di YIA mengacu pada komponen konsep angkutan umum multimoda transportasi udara dan darat yang disesuaikan dengan kondisi serta diberikan uraian terhadap kondisi lapangan yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kondisi angkutan multimoda di YIA

No	Kriteria	Kondisi Lapangan	Uraian
1	Moda Penghubung (*Connecting Modes*)	  **Gambar 1.1.** Angkutan Damri   **Gambar 1.2.** KA Bandara YIA Express, Angkutan *SatelQu* sumber: dokumentasi penulis; (SatelQu, 2023)	YIA menyediakan moda transportasi yang bervariasi diantaranya KA YIA, KA YIA *Xpress*, Bus DAMRI, *taxi online*, dan *SatelQu*.
2	Moda Utama *(Main Modes)*	 **Gambar 2.** Pesawat di YIA sumber: (PT Angkasa Pura I, 2022c)	Moda utama di YIA adalah pesawat terbang domestik dan internasional.
3	Jaringan Multimoda *(Multimodal Network)*	   **Gambar 3.1.** Jalur KA Bandara YIA, Jalur DAMRI, dan Jalur *SatelQu* sumber: dokumentasi penulis; (PIP Dinas Pariwisata Yogyakarta, 2020); (SatelQu, 2023)	Rute perjalanan KA Bandara yakni YIA-Wates-Yogyakarta (stasiun Tugu Yogyakarta) pulang pergi, sehingga penggunanya harus melanjutkan perjalanan ke tempat tujuan menggunakan jenis transportasi lain yang tersedia di stasiun pemberhentian.
4	Fasilitas Peralihan Moda *(Transfer Point)*	   **Gambar 4.** Fasilitas Peralihan Moda sumber: dokumentasi penulis	Pada lantai dasar bandara tepatnya pintu kedatangan terdapat *pick up point* moda transportasi seperti bus DAMRI, *taxi online* (Gojek, Grab, Okejek). Pada lantai 2 terdapat fasilitas peralihan moda yaitu stasiun kereta api dan area parkir.

No	Kriteria	Kondisi Lapangan	Uraian
5	Fasilitas Peralihan Antarmoda dengan Jaringan Berbeda *(Intermodal Transfer Point)*	  **Gambar 5.1.** Fasilitas Mobil *Buggy* dan Fasilitas *Escalator* sumber*:* (Angkasa Pura Airports, 2020); (Nursalikah, 2021)	Pada saat survei terdapat *buggy car* yang dapat ditemukan di area gedung penghubung. Selain itu tersedia empat *escalator* dan empat *lift* untuk memudahkan pengalihan penumpang.
6	Peraturan	 **Gambar 6.** Area Parkir Lantai 1 sumber: dokumentasi penulis	Area Parkir Roda 2 berada di Lantai 1 dengan kapasitas 4.000 kendaraan, roda 4 berada di Lantai 2 dan Lantai 3 dengan kapasitas 585 kendaraan di Lantai 2 dan 645 kendaraan di Lantai 3, dan roda 6 atau lebih berada di Lantai 1 dengan kapasitas 62 kendaraan (PT Angkasa Pura I, 2019).
7	Fasilitas Informasi Transportasi	 **Gambar 7.** Fasilitas Papan Informasi sumber: dokumentasi penulis	Fasilitas papan informasi yang bertujuan untuk memudahkan pengguna mengetahui arah lokasi yang dituju dan sudah diterjemahkan dengan berbagai bahasa.

Sumber: Menuju *dashboard* transportasi multimoda yang terintegrasi (Chairi dkk., 2017)

Lokasi transit point dan trayek

Lokasi transit point angkutan multimoda YIA. Angkutan multimoda di YIA adalah KA YIA Xpress, KA YIA, DAMRI, serta taksi online seperti grab, okejek, dan gojek seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Aksesibilitas angkutan multimoda YIA (sumber: Modifikasi (Google Earth, 2023))



Gambar 3. Trayek angkutan multimoda YIA (sumber: Modifikasi (Google Earth, 2023))

Identifikasi transportasi terpadu berkelanjutan

Transportasi berkelanjutan yang terintegrasi merupakan konsep yang memperhatikan aksesibilitas atau kemudahan, keterhubungan, mampu mengantisipasi dan mengurangi risiko pada saat kondisi tidak terduga seperti bencana alam, memperhatikan aspek lingkungan dengan mengurangi emisi, dan minimalisir sumber energi yang dapat mencemari lingkungan. Pengoptimalan transportasi berkelanjutan perlu dilakukan sebagai upaya peningkatan kualitas transportasi di YIA yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi eksisting transportasi multimoda YIA dan pengoptimalan transportasi terpadu berkelanjutan

No.	Kriteria	Kondisi Eksisting	Pengoptimalan
1.	**Jaringan prasarana**		
	KA YIA KA YIA *xpress*	K3 (kelas ekonomi), kapasitas 240 tempat duduk K1 (Kelas eksekutif), kapasitas 146 tempat duduk	Penambahan armada diperlukan guna melayani penumpang, pada waktu penumpang pesawat yang sampai di YIA meningkat, penumpang sering kehabisan tiket.
	Bus DAMRI	Kapasitas 28 kursi penumpang	
	DAMRI *travel*	Berupa *minibus* dengan 10 kursi penumpang.	
		Berupa *minibus de*ngan 8 atau 10 kursi penumpang	Perlu moda penghubung ke angkutan lanjutan, karena saat ini masih ditempuh dengan berjalan kaki dan angkutan *buggy car* masih diprioritaskan untuk kalangan tertentu.
	SatelQu	Keterpaduan antarmoda di bandara	
2.	**Jaringan pelayanan**		
	KA YIA dan KA YIA *xpress*	Dalam sehari KA YIA melayani 30x perjalanan dan KA YIA Express melayani 12x perjalanan. KA YIA dan KA YIA *xpress* tidak mengalami kemacetan karena berbasis jalan rel tetapi KA YIA *xpress* lebih cepat 5 menit.	Perlu penambahan rute, frekuensi, dan armada pada saat terjadi peningkatan penumpang atau destinasi wisata yang dapat menjadi mitra.
	Angkutan DAMRI	Dalam sehari terdapat 8 bus. Tergantung dari kondisi jalan dan tujuan penumpang.	
	SatelQu	Tergantung dari jumlah penumpang, kondisi jalan dan tujuan.	
3.	**Layanan**		KA Bandara tidak melayani bagi penumpang dengan kedatangan pesawat setelah pukul 22.30 WIB. Perlu penambahan frekuensi layanan *single ticketing*.
	KA YIA & KA YIA *Express*	Maksimal 15 menit sebelum keberangkatan sudah menunggu di *peron*. Pemesanan tiket melalui loket yang tersedia di stasiun atau *online booking* melalui KAI Bandara	
	Bus DAMRI	Keberangkatan bus menunggu penumpang mengisi kursi 6-10 orang. Proses pemesanan Bus DAMRI secara *online* dapat melalui aplikasi DAMRI *Apps* dan situs resmi DAMRI di www.tiket.DAMRI.co.id atau calon penumpang dapat membeli tiket secara *offline* di loket resmi DAMRI.	Angkutan Bus seperti DAMRI dan SatelQu kurang cocok bagi penumpang yang melakukan perjalanan jauh dan membawa barang banyak, & kemauan penumpang untuk perjalan jauh dengan waktu tunggu yang lama/menunggu kapasitas terpenuhi.
	SatelQu	Keberangkatan bus dari bandara menyesuaikan dengan jadwal kedatangan pesawat. Bus berangkat 30 menit setelah *langing* di bandara. Pemesanan tiket *SatelQu* secara offline jika di bandara ke *counter* area kedatangan atau ke armada *SatelQu* di area parkir. Pemesanan tiket secara *online* melalui situs www.satelqu.com.	Diperlukan *stand*/spanduk resmi dari Bus DAMRI agar penumpang yang ingin menaiki bus bisa menuju *stand* tersebut.
	Operasional		
	KA YIA & KA YIA *Express*	Operasional untuk KA YIA pukul 04.30 WIB - 22.30 WIB dan Bus pukul 05.00 WIB -19.00	Perbedaan harga antara KA regular dan *xpress* karena

No.	Kriteria	Kondisi Eksisting	Pengoptimalan
		WIB. Penumpang kereta api dapat melakukan pemesanan tiket melalui aplikasi KAI Bandara. Tarif KA YIA Rp.20.000/perjalanan. KA YIA *Xpress* Rp. 50.000/perjalanan.	pengguna KA YIA *xpress* dapat memilih tempat duduk dan waktu tempuh yang awalnya 40 menit menjadi 35 menit. Tarif Bus DAMRI empat kali dari harga KA Bandara (Rp. 75.000-Rp. 80.000) dalam sekali perjalanan. Tarif SatelQu (Rp. 50.000-Rp. 70.000)/perjalanan.
	Bus DAMRI	Pemesanan harus reservasi terlebih dahulu pada narahubung bus. Tarif Bus DAMRI empat kali dari harga KA Bandara (Rp. 75.000-Rp. 80.000) dalam sekali perjalanan	
	SatelQu	Tarif *SatelQu* antara Rp. 50.000-Rp.70.000 tergantung rute perjalanan.	
4.	**Lingkungan**		
	Bahan bakar	Penggunaan solar beremisi gas karbon mencemari udara.	Menggunakan bahan bakar ramah lingkungan atau beralih menggunakan energi listrik.
	Penggunaan tiket	Menggunakan tiket dalam bentuk kertas dan *e-ticket* untuk KA Bandara dan *Paperless*, langsung masuk ke bus DAMRI dan *SatelQu*	Pembelian tiket di loket stasiun masih menggunakan kertas sedangkan pembelian menggunakan aplikasi dan menggunakan *e-ticket* yang dikirimkan ke *email* penumpang.
	Pengelolaan energi	Belum ada	Menanam lebih banyak pohon dan menggunakan energi surya untuk pengelolaan energi ramah lingkungan.
5.	**Mitigasi Bencana**	Himbauan berupa pesan singkat dari BMKG atau dari *stakeholder* terkait. Dipasang *sticker* t*sunami muster point* dan jalur evakuasi. Instruksi lisan penyelamatan diri dan arahan untuk pecahkan kaca. Pada saat di dalam bus, bisa keluar menyelamatkan diri dan mencari tempat yang lebih aman.	Perlu dibuat pedoman mitigasi bencana/buku saku (gempa bumi, tsunami, banjir, dll.) yang berisi penjelasan risiko bencana pada masing-masing moda transportasi (kereta api, bus, *taxi online*) bagi penumpang yang beralih moda transportasi. Pedoman dapat berisi letak titik evakuasi (titik kumpul), jalur evakuasi, *contact person* yang dapat dihubungi pada saat darurat, dan alat perlindungan diri (misal: pelampung*, life jacket*, pelampung karet, dll.) yang bisa digunakan untuk pertolongan pada saat terjadi bencana.
		Terdapat bunyi sirine diikuti instruksi/pengumuman agar segera melakukan evakuasi menuju ke titik evakuasi melalui jalur yang telah disediakan. Tidak diperbolehkan menggunakan *lift* dan *escalator*.	
		Melakukan pertolongan pertama pada korban, meminta bantuan orang pada tim *rescue*).	

Sumber: Modifikasi kriteria integrasi transportasi yang berkelanjutan yang mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan No. KM 49 tahun 2005 tentang Sistem Transportasi Nasional (Sistranas) (Keputusan Menteri Perhubungan No. 49, 2005).

Sistem dan kondisi eksisting transportasi tanggap bencana

Bangunan YIA telah dirancang tanggap bencana seperti gempa bumi akibat pertemuan lempeng Australia dan Asia, banjir, tsunami, abu vulkanik, dan likuifaksi. Mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami dengan proyeksi ketinggian maksimum 12,8 MSL (*Mean Sea Level*) akan membutuhkan waktu 35 menit untuk sampai ke Gedung Terminal. Mitigasi bencana likufaksi di YIA yaitu dilakukan pemadatan tanah sisi menggunakan metode *Dynamic Compaction* (DC) serta perkuatan dengan metode *Rapid Impluse Compaction* (RIC). Mitigasi bencana banjir terdapat saluran yang berfungsi untuk penampung air dengan kapasitas 180.000 kubik. Mitigasi terhadap bencana abu vulkanik berupa penggunaan struktur atap rangka baja yang dapat menahan abu vulkanik setebal 5 cm (PT Angkasa Pura I, 2022b).

Risiko kerusakan pada fasilitas bandara terbagi menjadi sisi udara dan sisi darat. Sisi udara berupa tumpukan puing-puing akibat tsunami, retak akibat gempa bumi, erosi akibat tsunami dan gelombang laut, kerusakan fasilitas penunjang bandara, *oil/avtur leaking* atau tempat penyimpanan avtur. Risiko pada sisi darat yaitu kerusakan fasilitas bencana akibat gempa dan tsunami, kerusakan kendaraan pada area parkir, dan kebakaran mesin pesawat yang terbawa ke terminal penumpang. Apabila terjadi bencana, maka masyarakat dan pengunjung dapat melakukan evakuasi kurang dari 25 menit ke evakuasi sementara (terminal pada ketinggian relatif aman) untuk mengantisipasi terjadi tsunami. Bandara Tangguh bencana dilakukan sebagai upaya pencegahan dari manajemen penganggulangan bencana pada pra bencana, saat terjadi bencana, dan pasca bencana. Upaya dalam memodifikasi risiko bencana dilakukan dengan pencegahan bencana, mitigasi, kesiapsiagaan, dan pengalihan risiko (*risk transfer*). Upaya tanggap darurat bencana diprioritaskan pada penyelamatan nyawa, stabilisasi kejadian bencana, dan penyelamatan aset. Pemulihan dampak bencana mencakup rehabilitasi pelayanan publik dan rekonstruksi sarana serta prasarana YIA (Badan Nasional Penggulangan Bencana, 2019).



Gambar 4. Kondisi eksisting tanggap bencana YIA pada terminal keberangkatan domestik dan internasional (Lantai 3) dan area taman *outdoor* (Lantai 1)



Gambar 5. Peta mitigasi YIA

D. KESIMPULAN

Saat ini sistem multimoda di YIA telah berjalan dengan moda penghubung meliputi kereta api, Bus DAMRI, Bus *SatelQu*, dan *taxi online*. Bangunan YIA dirancang untuk tanggap bencana seperti gempa bumi, tsunami, abu vulkanik, dan likuifaksi. Mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami dengan proyeksi ketinggian maksimum 12,8 MSL (*Mean Sea Level*) akan membutuhkan waktu 35 menit untuk sampai ke Gedung Terminal. Mitigasi bencana likufaksi di YIA yaitu dilakukan pemadatan tanah sisi menggunakan metode *Dynamic Compaction* (DC) serta perkuatan dengan metode *Rapid Impluse Compaction* (RIC). Mitigasi bencana banjir terdapat saluran yang berfungsi untuk penampung air dengan kapasitas 180.000 kubik. Mitigasi terhadap bencana abu vulkanik berupa penggunaan struktur atap rangka baja yang dapat menahan abu vulkanik setebal 5 cm.

DAFTAR PUSTAKA

Akustia, W. (2016). "Evaluasi Keterpaduan Antarmoda Transportasi Di Kota Gorontalo Evaluation of Intermodal Transport Integration in Gorontalo." *Jurnal Penelitian Transportasi Multimoda*, 1–10.

Angkasa Pura Airports. (2020). *Layanan Buggy Car Gratis di YIA*.

Atmawidjaja, E. S. (2015). "Kajian Pengembangan Smart City Di Indonesia." *PUPR*, 70.

Babaei, A. dkk. (2023). Sustainable transportation planning with traffic congestion and uncertain conditions. *Expert Systems with Applications*, *227*(January), 119792. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119792

Badan Nasional Penggulangan Bencana. (2019). *Grand Desain Mitigasi Bencana Kawasan Strategis Bandara Pasca Pembangunan Yogyakarta International Airport*. https://perpustakaan.bnpb.go.id/bulian/index.php?p=show_detail&id=1854

Banai, R. (2017). "The aerotropolis: Urban sustainability perspectives from the regional city." *Journal of Transport and Land Use*, *10*(1), 357–373. https://doi.org/10.5198/jtlu.2016.889

Bramson, A. dkk. (2020). "Social and economic flows across multimodal transportation networks in the Greater Tokyo Area." *Applied Network Science*, *5*(1). https://doi.org/10.1007/s41109-019-0244-y

Buchari, E. (2015). Pengembangan Angkutan Umum Rural Melalui Konsep Angkutan Umum Multimoda. *The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung*, *28*.

Chairi, M. dkk. (2017). Perencanaan Integrasi Layanan Operasional Antar Moda Railbus dan Angkutan Umum di Kota Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, *13*(1), 1. https://doi.org/10.25077/jrs.13.1.1-12.2017

Dianne Putri Arianes, & Fitri Suryani. (2018). Sistem Transportasi Logistik Kawasan Industri Di Jabodetabek. *IKRAITH-TEKNOLOGI*, *2*(1).

Dwitasari, R. (2014). *"Penentuan Kriteria Keterpaduan Transportasi Antarmoda di Bandar Udara."* 1–12.

Fauzi, Y. dkk. (2019). "Penggunaan Foto Udara Format Kecil Untuk Identifikasi Kerentanan Lingkungan Terhadap Bencana Tsunami Di Yogyakarta International Airport (YIA)." *Geomatika*, *25*(2), 63. https://doi.org/10.24895/jig.2019.25-2.970

Gao, X., & Cao, C. (2020). Multi-commodity rebalancing and transportation planning considering traffic congestion and uncertainties in disaster response. *Computers and Industrial Engineering*, *149*, 106782. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106782

Google Earth. (2023). *Yogyakarta International Airport*. https://earth.google.com/web/@-7.89804079,110.05957498,12.71447911a,302.22555844d,35y,0h,0t,0r

Guo, J., Du, Q., dkk. (2021). A method to improve the resilience of multimodal transport network: Location selection strategy of emergency rescue facilities. *Computers and Industrial Engineering*, *161*(January), 107678. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107678

Guo, J., Xu, J., dkk. (2021). Research on risk propagation method of multimodal transport network under uncertainty. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *563*, 125494. https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125494

Institute for Transportation & Development Policy. (2020). *Pedoman Integerasi Antarmoda*.

Kepolisian Negara Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Kepala Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2017 tentang Pemberian Bantuan Pengamanan pada Objek Vital Nasional dan Objek Tertentu*.

Keputusan Menteri Perhubungan No. 49. (2005). *KM 49 Tahun 2005 tentang Sistem Transportasi Nasional (SISTRANAS)*. http://jdih.dephub.go.id/produk_hukum/view/UzAwdUlEUTVJRlJCU0ZWT0lESXdNRFU9

Keputusan Presiden Republik Indonesia. (2004). *Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2004 tentang Pengamanan Obyek Vital Nasional*.

Morshed, S. A. dkk. (2021). 8R Resilience Model: A stakeholder-centered approach of disaster resilience for transportation infrastructure and network. *Transportation Engineering*, *4*, 100058. https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100058

Nursalikah, A. (2021). *Pemerintah Tetapkan Hari Libur Nasional 2022 16 Hari*. https://sindikasi.-republika.co.id/berita/qzvz4b366/pemerintah-tetapkan-hari-libur-nasional-2022-16-hari

PIP Dinas Pariwisata Yogyakarta. (2020, Maret 30). *Pilihan Moda Transportasi Dari dan Menuju Yogyakarta Internasional Airport (YIA)*.

PT Angkasa Pura I. (2019). *Parkir Bandara*. https://yogyakarta-airport.co.id/id/parkir-bandara/index

PT Angkasa Pura I. (2020). *Bandara Internasional Yogyakarta Akan Beroperasi Penuh Pada 29 Maret 2020*.

PT Angkasa Pura I. (2022a). *Bandara Internasional Yogyakarta Catat Pertumbuhan Trafik Hingga 81 Persen*.

PT Angkasa Pura I. (2022b). *Dibangun Dengan Mitigasi Bencana Yang Lengkap, YIA Ssiap Menjadi Area Evakuasi*.

PT Angkasa Pura I. (2022c). *Tumbuh 71 Persen, Bandara Internasional Yogyakarta Layani 29 Juta Penumpang Pada Semester I Tahun 2022*.

Rusdiyanto, E. (2023). *Sustainable Settlement Area : Threats of Environmental Change Due to Yogyakarta International Airport*.

SatelQu. (2023). *Layanan SatelQu Trans*. https://www.satelqu.com/

Syaifuddin, M. dkk. (2021). Development of Aerotropolis in Kulon Progo with Green Infrastructure Concept. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *837*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/837/1/012014

Tejas Rawal, V. Devadas, N. K. (2014). *"Integrated Multi-Modal Transportation In India."* 373.

Wibowo, W., & Chairuddin, I. (2017). Sistem Angkutan Multimoda Dalam Mendukung Efisiensi Biaya Logistik Di Indonesia. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, *4*(1), 25. https://doi.org/10.54324/j.mtl.v4i1.48

Zaiat, A. dkk. (2014). "Towards an integrated multimodal transportation dashboard." *2014 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2014*, 145–150. https://doi.org/10.1109/ITSC.2014.6957681

KONSEP PEMODELAN KERENTANAN JARINGAN JALAN AKIBAT DISRUPSI BENCANA ALAM

Berlian Kushari[1*], Muhammad Isran Ramli[2], Bambang Bakri[3], dan Ardy Arsyad[4]

[1]Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,*
Jl. Poros Malino KM 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan 92171
Email: berlian.kushari@gmail.com (Corresponding Author)
[2]Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,
Jl. Poros Malino KM 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan 92171
Email: isranramli@unhas.ac.id
[3]Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,
Jl. Poros Malino KM 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan 92171
Email: bambangbakri@unhas.ac.id
[4]Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,
Jl. Poros Malino KM 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan 92171
Email: ardyarsyad@unhas.ac.id

ABSTRAK

Sebagai bagian dari jaringan transportasi, jaringan jalan direncanakan berdasarkan kebutuhan untuk menghubungkan antarkawasan perkotaan dan pusat-pusat kegiatan (jaringan primer) maupun untuk melayani perjalanan angkutan darat pada kawasan urban (jaringan sekunder). Dalam menjalankan fungsinya sebagai prasarana dasar, jaringan jalan dapat memiliki risiko kerentanan terhadap berbagai bentuk disrupsi, salah satunya disrupsi akibat terjadinya bencana alam, seperti banjir, tanah longsor, gempa bumi, dan sebagainya. Kerentanan jaringan dapat dipahami sebagai tingkat kerawanan (*susceptibility*) jaringan tersebut terhadap suatu insiden yang dapat menyebabkan terjadinya reduksi signifikan atas kinerjanya. Makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi peluang pengembangan atas konsep, penerapan, dan pemanfaatan hasil-hasil penilaian kerentanan jaringan jalan, khususnya untuk memitigasi dampak bencana alam. Metode yang digunakan adalah analisis bibliografis terhadap sampel penelitian terdahulu yang membahas tentang penilaian kerentanan jaringan jalan. Pembahasan mencakup definisi dan pendekatan analisis kerentanan, teknik representasi jaringan, indikator-indikator kerentanan jaringan, dan beberapa perkembangan teknik penilaian kerentanan. Dengan memanfaatkan teori grafik (*graph theory*), jaringan jalan dapat dimodelkan sebagai suatu grafik yang secara topologis tersusun atas serangkaian titik simpul (*nodes*) dan tautan (*links*). Jaringan jalan pada kondisi normal dan kondisi terdisrupsi akibat bencana dapat dimodelkan dan dibandingkan kinerjanya. Kemudian, indikator-indikator kinerja titik dan tautan, seperti *degree of centrality*, *betweenness centrality, edge load centrality, edge, closeness centrality* dan lain-lain, dapat digunakan untuk mengidentifikasi komponen-komponen yang kritis dalam jaringan tersebut, sesuai dengan konteks dan tujuan analisis. Analisis dapat dilakukan dengan pendekatan topologis, inventaris, kemampuan layanan jaringan, maupun aksesibilitas jaringan.

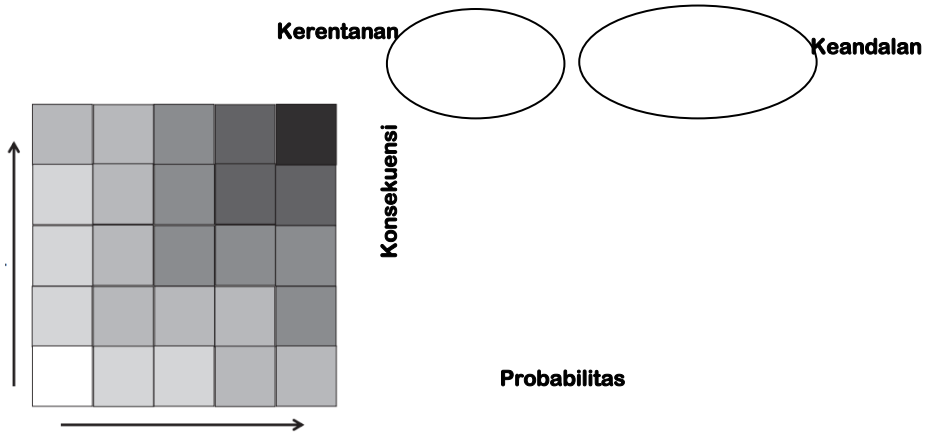
Kata kunci: bencana alam, jaringan jalan, penilaian kerentanan, teori grafis

A. PENDAHULUAN

Jaringan jalan merupakan infrastruktur transportasi darat yang sangat vital bagi pembangunan ekonomi dan sosial masyarakat. Bahkan tidak hanya pada masa aktivitas normal sehari-hari, peranan jaringan jalan juga sangat esensial di dalam upaya-upaya penanganan bencana alam, baik pada masa evakuasi, rekonstruksi, maupun dalam menunjang upaya pemulihan berbagai infra-struktur dasar lainnya. Secara tradisional, kebutuhan pengembangan jaringan jalan, baik jaringan primer maupun sekunder, direncakan berdasarkan pada analisis kebutuhan perjalanan pada suatu kawasan yang ditinjau, proyeksi distribusi perjalanan dari berbagai lokasi asal ke tujuan, serta estimasi pertumbuhan kebutuhan perjalanan tersebut untuk suatu rentang waktu tertentu di masa mendatang.

Penilaian terhadap tingkat keandalan (*reliability*) maupun kerentanan (*vulnerability*) jaringan jalan yang telah terbangun sebagai bagian dari perencanaan jaringan transportasi dapat dikatakan merupakan fokus penelitian yang relatif baru. Peristiwa gempa Kobe di Jepang pada tahun 1995 dan situasi kerusakan pasca kejadiannya mulai memicu kesadaran akan pentingnya analisis keandalan jaringan transportasi, termasuk jaringan jalan, untuk mempertahankan konektivitas jaringan pada berbagai tingkat probabilitas kejadian disrupsi, khususnya akibat bencana. Bell dan Iida (1997) serta Iida (1999), misalnya, termasuk peneliti yang mengawali pengembangan prosedur analisis untuk melakukan penilaian keandalan jaringan transportasi, termasuk jaringan jalan. Dalam perkembang-annya, selain keandalan konektivitas, analisis keandalan jaringan juga mencakup keandalan kapasitas (misalnya: Yang dkk, 2000) dan keandalan waktu tempuh perjalanan (misalnya: Bates dkk, 2001).

Fokus penelitian terhadap kerentanan jaringan transportasi muncul kemudian setelah kajian aspek keandalan, yaitu sekitar dua dasawarsa yang lalu. Konsep kerentanan tidak sama dengan keandalan, meski keduanya berhubungan dan saling melengkapi. Ilustrasi tentang kedua konsep ini pada suatu matriks risiko disajikan pada Gambar 1. Matriks tersebut memetakan insiden-insiden disrupsi yang terjadi berdasarkan dimensi probabilitas kejadiannya dan konsekuensinya apabila terjadi. Kajian tentang keandalan jaringan pada umumnya meninjau wilayah risiko disrupsi yang memiliki probabilitas kejadian cukup tinggi dan konsekuensi yang cukup besar terhadap kinerja jaringan. Sementara itu, kajian kerentanan jaringan melengkapinya dengan meninjau wilayah risiko disrupsi yang meskipun probabilitas kejadiannya kecil, namun konsekuensinya bagi kinerja jaringan cukup besar (Taylor, 2017). Dengan demikian, konsep analisis kerentanan lebih menekankan pada identifikasi terhadap kelemahan-kelemahan suatu jaringan dan dampak yang ditimbulkannya apabila komponen-komponen yang dianggap kritis pada jaringan tersebut mengalami kegagalan (*failure*).



Gambar 1. Konsep matriks risiko (Taylor, 2017)

Pada jaringan jalan yang cakupan geografisnya luas namun memiliki kerapatan yang lebih jarang, seperti jaringan jalan antar kota (jaringan primer), isu kerentanan boleh jadi lebih kritis untuk dikaji dibandingkan dengan isu keandalan (D'Este & Taylor, 2001). Salah satu contoh kasus yang terekam media secara luas adalah peristiwa runtuhnya Jembatan Kali Comal, Kabupaten Pemalang, Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2014 silam akibat gerusan banjir. Kasus ini menjadi perhatian nasional karena terjadi menjelang arus mudik hingga masa arus balik hari raya Idul Fitri. Dari sisi tinjauan keandalan konektivitas jaringan, amblasnya jembatan tersebut tidak menurunkan

nilai keandalan konektivitas karena jaringan jalan primer secara umum masih terhubung melalui jalur-jalur alternatif lainnya. Namun demikian, dari kacamata tinjauan kerentanan, Jembatan Kali Comal dapat didentifikasi sebagai salah satu komponen infrastruktur kritis, yang meski probabilitas-nya tidak besar, namun kegagalan fungsinya (*failure*) menimbulkan dampak yang signifikan terhadap kinerja jaringan jalan lintas dan penghubung lintas di Jawa Tengah dan sekitarnya. Dari berbagai sumber berita yang terbit waktu itu tercatat bahwa amblasnya Jembatan Kali Comal tahun 2014 mengakibatkan lumpuhnya Jalur Pantura Jawa, khususnya yang melalui Kabupaten Pemalang dan sekitarnya. Dampaknya, ruas-ruas jalan kabupaten dan provinsi yang digunakan sebagai jalan alternatif bagi kendaraan berat mengalami kerusakan struktural karena digunakan melebihi kapasitas kekuatannya. Kerusakan suku cadang armada angkut yang terpaksa melalui ruas-ruas jalan tersebut juga mengakibatkan naiknya ongkos angkutan barang. Cakupan dampak tersebut meluas hingga meningkatkan kepadatan lalu lintas pada Jalur Lintas Tengah, Penghubung Lintas, dan Lintas Selatan Pulau Jawa dari Kabupaten Semarang, Ungaran, Daerah Istimewa Yogyakarta, hingga Provinsi Jawa Barat. Bahkan kelancaran arus penumpang pada Bandara Ahmad Yani, Semarang, turut terganggu akibat peristiwa tersebut.

Kasus-kasus disrupsi terhadap jaringan transportasi, khususnya jaringan jalan, akibat bencana alam seperti banjir, tanah longsor, dan gempa bumi, sejatinya telah banyak terjadi di Indonesia. Potensi insiden disrupsi dapat meningkat seiring banyaknya lokasi yang teridentifikasi sebagai daerah rawan bencana. Di sisi lain, analisis terhadap kerentanan jaringan jalan untuk memper-kirakan dampak dan konsekuensi akibat disrupsi bencana belum banyak dilakukan. Termotivasi oleh hal tersebut, makalah ini mengetengahkan kajian bibliografi yang bertujuan untuk mengidentifikasi peluang pengembangan konsep, penerapan, dan pemanfaatan hasil-hasil penilaian kerentanan jaringan jalan, khususnya akibat disrupsi yang berbentuk bencana alam, seperti banjir, dan tanah longsor. Untuk mencapai tujuan tersebut, dikaji sejumlah penelitian terdahulu yang membahas tentang penilaian kerentanan jaringan jalan. Pembahasan mencakup definisi dan tipe-tipe analisis kerentanan, teknik representasi jaringan, indikator-indikator kerentanan, dan beberapa perkembangan teknik analisis kerentanan. Pada akhir pembahasan, ditawarkan sebuah konsep pemodelan kerentanan jaringan jalan akibat disrupsi bencana alam, yang mengandung unsur-unsur kebaruan serta potensinya untuk diaplikasikan pada penilaian kerentanan jaringan jalan di Indonesia.

B. KAJIAN PUSTAKA

Definisi kerentanan jaringan jalan

Berdica (2002) memberikan sebuah pengertian bagi kerentanan jaringan transportasi, yakni "tingkat kerawanan (*susceptibility*) jaringan tersebut terhadap suatu insiden yang dapat menyebabkan terjadinya reduksi signifikan atas kinerjanya". "Kinerja" itu sendiri dihubungkan dengan topologi titik simpul (*node*) dan tautan (*link*) pada suatu jaringan, yaitu "kemungkinan menggunakan tautan (jalur/rute) pada jaringan jalan tersebut selama periode waktu tertentu". Insiden, dalam definisi Berdica, merupakan penyebab disrupsi yang sifatnya jangka pendek, yaitu pada kisaran jam, hari, atau minggu. Disrupsi ini dapat berasal dari 4 (empat) ranah sebagai berikut: pengoperasian, kapa-sitas sistem, dan kongesti; sistem manajemen dan pemeliharaan prasarana; perubahan demografis, pembangunan wilayah, dan ekonomi; serta aspek lingkungan dan iklim, termasuk bencana.

Pengertian lain, yang lebih sesuai untuk kasus-kasus disrupsi jangka panjang (skala waktu minggu, bulan, tahun), diberikan oleh D'Este & Taylor (2003). Jaringan transportasi direpresentasikan dalam bentuk titik-titik simpul (*nodes*) dan tautan-tautan (*links*). Menurut mereka, suatu titik simpul dalam suatu jaringan disebut rentan jika hilangnya atau terdegradasinya sebagian kecil tautan pada jaringan menyebabkan berkurangnya aksesibilitas titik simpul tersebut secara signifikan. Sementara itu, suatu tautan disebut kritis bilamana hilangnya atau terdegradasinya tautan tersebut menyebabkan berkurangnya aksesibilitas jaringan menuju titik-titik tertentu.

Selain dari pengertian di atas, terdapat beberapa variasi pengertian tentang kerentanan infrastruktur dan jaringan transportasi, bergantung pada konteks studi serta bidang analisisnya. Zhang & Levinson (2008), misalnya, membedakan antara "kerapuhan" jaringan (*network fragility*) dengan kerentanan jaringan (*network vulnerability*). Menurut mereka, jaringan disebut rapuh jika tidak mampu berkinerja secara baik bilamana sedikit saja di antara tautan-tautannya tidak berfungsi. Sedangkan jaringan disebut rentan jika fungsionalitasnya menurun dengan cepat manakala tautan-tautan terpentingnya tidak berfungsi. Gori dkk (2020) mengemukakan gagasan tentang kerentanan demografis dan sosial (*social and demographic vulnerability*) akibat disrupsi transportasi, yang didasarkan pada fungsi produksi dan distribusi demografi yang tidak merata.

Tujuan dan pendekatan analisis kerentanan

Analisis kerentanan secara umum bertujuan untuk menyediakan alat bantu bagi perencana dan pengelola jaringan jalan untuk memeriksa potensi kelemahan-kelemahan yang terdapat pada jaringan jalan mereka, sehingga hasilnya dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk merancang perencanaan dan strategi penanganan yang terbaik. Fokus analisis sudah barang tentu tidak tertuju kepada kejadian insiden itu sendiri, namun lebih kepada konsekuensi yang timbul akibat terjadinya insiden tersebut. Terkait dengan hal ini, Husdal (2005) memberikan 3 (tiga) pendekatan analisis kerentanan jaringan jalan, yaitu: analisis kerentanan terkait struktur (berkenaan dengan aspek konstruksi, geometrik, dan karakteristik desain jalan), analisis kerentanan terkait alam (berkaitan dengan karakteristik dan risiko-risiko bentang alam yang dilalui oleh jaringan jalan), serta analisis kerentanan terkait lalulintas (berkenaan dengan karakteristik dan kondisi lalu lintas serta variasinya pada berbagai situasi.

Mengaitkan antara analisis kerentanan jaringan dengan perencanaan transportasi yang pada hakikatnya bertujuan untuk memfasilitasi perjalanan sebagai kebutuhan turunan (*derived demand*), Taylor (2017) mendeskripsikan 4 (empat) kelompok pendekatan yang berkembang di dalam analisis kerentanan jaringan. Keempat pendekatan tersebut meliputi: pendekatan berbasis inventarisasi elemen-elemen jaringan, pendekatan berbasis topologi jaringan, pendekatan berbasis kemampuan layanan jaringan, dan pendekatan berbasis aksesibilitas jaringan. Uraian berikut menyajikan pengertian singkat tentang pendekatan-pendekatan tersebut dan beberapa penelitian yang menggunakannya.

(1) Analisis kerentanan berbasis penilaian risiko terhadap inventaris jaringan (*inventory-based risk assessment*)

Analisis kerentanan jaringan dengan pendekatan penilaian risiko *inventory* mengkaji kondisi operasional berbagai elemen jaringan, seperti komponen-komponen fisik (perkerasan, jembatan, terowongan, *culvert*, fitur-fitur utama segmen jalan, dan sebagainya) serta sistem pengoperasiannya, serta dampak yang ditimbulkan oleh faktor-faktor internal maupun eksternal

terhadap kemampuan komponen jaringan tersebut untuk tetap berfungsi. Penelitian yang menggunakan pendekatan ini contohnya FHWA (2012), Pokharel & Ieda (2016), Scott & Dunn (2015), Kermanshah & Derrible (2016), Lu dkk (2021).

(2) Metode analisis kerentanan berbasis topologi (*topologically-based methods*)

Analisis kerentanan topologis meninjau struktur dan interkoneksi di dalam suatu jaringan untuk mencari dan mengidentifikasi lokasi titik-titik simpul (*nodes*) ataupun jalur-jalur (*links*) pada jaringan yang jika mengalami kegagalan akan menyebabkan dampak yang paling luas atau paling serius terhadap jaringan tersebut. Pendekatan ini digunakan, misalnya oleh Mattsson & Jenelius (2015), Kermanshah & Derrible (2016), dan Abdulla, B., & Birgisson, B. (2022).

(3) Metode analisis kerentanan berbasis kemampuan layanan (*serviceability-based methods*)

Analisis kerentanan dari sisi kemampuan layanan lebih berfokus pada fitur-fitur tertentu dari suatu jaringan jalan, seperti misalnya kapasitas simpul ataupun jalur, panjang jalur, karakteristik waktu perjalanan, yang dikombinasikan dengan struktur topologi jaringan untuk menjelaskan dampak-dampak kegagalan terhadap operasi lalu lintas dan permintaan perjalanan (*travel demand*). Banyak contoh penelitian yang menggunakan pendekatan ini. Di antaranya, Nagae dkk (2012), Bil dkk (2015), Prasoon, dkk. (2018), Rupi dkk (2015), de Oliviera dkk (2016), Connors & Watling (2015), Balijepalli & Oppong (2014), Jenelius & Mattsson (2012), Tu dkk (2012), Taylor & Philp (2015), El-Rashidy & Grant-Muller (2014), Dehghani, dkk (2014), dan Calvert & Snelder (2015).

(4) Metode analisis kerentanan berbasis aksesibilitas (*accessibility-based methods*)

Analisis kerentanan berbasis aksesibilitas melihat kepada permintaan perjalanan dalam konteks yang luas, yang menitikberatkan kepada kemampuan populasi pada suatu wilayah untuk terus melakukan aktivitas ekonomi maupun sosial pada saat jaringan transportasi jalan menderita degradasi. Penelitian yang menggunakan pendekatan ini misalnya, Gori dkk (2020), Chen dkk. (2015), Bil dkk (2015), Cantillo dkk (2018), dan Lu dkk (2021).

Infrastruktur kritis

Elemen-elemen dari suatu jaringan memiliki tingkat kepentingan yang berbeda-beda ditinjau dari analisis kerentanan. Sebagian elemen, jika mengalami kegagalan, akan memberikan dampak negatif yang jauh lebih besar dibandingkan sebagian elemen lainnya. Elemen ini disebut sebagai infrakstruktur kritis (Murray & Grubesic, 2007). Analisis kerentanan mencakup pula metode untuk melakukan identifikasi lokasi-lokasi infrastruktur kritis pada suatu jaringan dan penilaian terhadap dampak kegagalan fungsi atau terdegradasinya infrasktruktur kritis tersebut.

Teknik representasi jaringan

Teori grafik (*graph theory*) merupakan cabang dari ilmu matematika diskrit yang telah banyak digunakan untuk pemodelan stuktur jaringan. Penggunaannya pada berbagai bidang telah mencakup bidang teknologi, bidang sosial, informasi, biologi, dan sebagainya (lihat misalnya Newman, 2010). Teori ini menyediakaan alat analisis yang komprehensif untuk menganalisis sistem yang kompleks dan memahami hubungan struktural di antara berbagai komponen di dalamnya. Representasi jaringan transportasi jalan dengan memanfaatkan teori grafik mendefinisikan jaringan sebagai suatu grafik *G*, yang diformulasikan sebagai:

$$G = (N, A) \quad (1)$$

dengan *N*: sekelompok titik simpul dan *A*: sekelompok tautan pada jaringan.

Secara umum, jaringan transportasi merupakan jaringan yang bersifat planar, yang diberi arah dan nilai. Arah dapat merepresentasikan pengaturan arah arus lalu lintas. Tiap tautan dapat diberikan nilai impedansi yang berbeda-beda, yang menggambarkan perbedaan panjang, waktu tempuh perjalanan, ataupun biaya perjalanan, dan lain sebagainya. Arus lalu-lintas dapat terjadi di antara sepasang titik simpul tertentu. Keempat pendekatan analisis kerentanan sebagaimana didiskusikan di atas (*inventory*, topologi, kapasitas, aksesibilitas) dapat dilakukan pada representasi jaringan sebagai siatu grafik *G*. Perbedaannya ditentukan oleh kebutuhan data dan dukungan sumber daya komputasi yang diperlukan.

Bergantung pada tujuan analisis dan pendekatan yang digunakan dalam studi, terdapat berbagai cara untuk merepresentasikan jaringan menjadi suatu grafik. Sebagai contoh, Abdulla, B., & Birgisson, B. (2021) dalam studinya terhadap jaringan jalan kota Houston merepresentasikan simpang-simpang sebagai titik-titik simpul dan ruas-ruas jalan sebagai tautan-tautan pada jaringan jalan. Jung & Lee (2020) memilih pendekatan lain, yaitu berbasis *grid,* untuk menganalisis jaringan jalan kota Seoul. Ukuran sebuah *pixel* pada *grid* mereka adalah 1 x 1 km. Setiap *pixel* dipandang sebagai titik simpul jaringan. Koneksi antar simpul melalui *links* didefinisikan mengikuti agregasi peta jaringan jalan pada skala unit *pixel* tersebut. Jenelius & Mattsson (2012) juga menggunakan analisis berbasis *grid* untuk menghemat sumber daya komputasi.

Indikator-indikator kerentanan

Teori grafik menyediakan serangkaian instrumen ukur untuk menggambarkan berbagai karakteristik jaringan melalui topologi elemen titik-titik simpul dan tautan-tautannya (lihat Tabel 1 dan Tabel 2). Dengan menerapkan alat ukur ini, pentingnya peran tiap-tiap titik simpul maupun tautan dalam suatu jaringan dapat dianalisis. Dengan demikian dapat diidentifikasi simpul atau tautan-tautan yang relatif bernilai paling penting, tergantung pada konteks spesifik dan tujuan analisis.

Indeks pengukuran yang akan digunakan pada suatu analisis bergantung pada tujuan spesifik dari analisis tersebut serta karakteristik jaringannya. Dalam beberapa kasus, beberapa indeks perlu digunakan secara kombinasi untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap tentang kepentingan suatu tautan atau simpul dalam jaringan.

Tabel 1. Indeks-indeks indikator simpul pada jaringan (sumber Newman, 2010)

Ukuran/Indeks	Keterangan
Derajat Sentralitas (*Degree of Centrality*)	Jumlah jalur yang terhubung dengan titik simpul tersebut. Derajat sentralitas mengukur pentingnya sebuah simpul berdasarkan jumlah jalur yang dimilikinya. Simpul dengan sentralitas derajat tinggi dapat dianggap lebih penting karena memiliki banyak koneksi ke simpul lain.
Betweenness Centrality	Mengukur pentingnya sebuah simpul berdasarkan seberapa sering simpul tersebut muncul di jalur terpendek antara pasangan simpul lainnya dalam jaringan. Simpul dengan *betweenness centrality* yang tinggi bertindak sebagai jembatan antara berbagai bagian jaringan dan sering dianggap penting untuk keseluruhan konektivitas jaringan
Eigenvector Centrality	Sentralitas vektor eigen mengukur pentingnya sebuah simpul berdasarkan pentingnya simpul yang berdekatan dengannya. Sebuah simpul dianggap lebih penting jika terhubung dengan simpul lain yang juga penting. Sentralitas vektor eigen dapat mengidentifikasi simpul yang memiliki koneksi tidak langsung terhadap simpul penting lainnya.

Tabel 2. Indeks-indeks indikator tautan (*edges* atau *links*) pada jaringan (sumber Newman, 2010)

Ukuran/Indeks	Keterangan
Edge betweenness centrality	Indeks ini mengukur jumlah tautan terpendek yang melewati sisi tertentu. Tautan dengan *betweennes centrality* yang tinggi lebih penting untuk konektivitas jaringan secara keseluruhan, karena tautan berfungsi sebagai "jembatan" kunci antara berbagai bagian jaringan.
Edge load centrality	*Edge load centrality* mengukur jumlah arus lalu lintas yang melewati *edge* tertentu. Tautan dengan sentralitas beban tinggi lebih penting dalam hal arus lalu lintas dan kemacetan secara keseluruhan.
Edge closeness centrality	Indeks ini mengukur pentingnya tautan tertentu untuk efisiensi jaringan secara keseluruhan, berdasarkan jarak antara simpul yang terhubung. Tautan dengan sentralitas kedekatan yang lebih tinggi lebih penting untuk efisiensi jaringan secara keseluruhan
Edge weight	Indeks ini mengukur biaya atau kapasitas yang terkait dengan tautan tertentu, seperti panjang ruas jalan. Tautan dengan bobot yang lebih tinggi dapat menjadi lebih penting dalam hal kinerja dan kapasitas jaringan secara keseluruhan
Edge capacity	Indeks ini mengukur aliran maksimum yang dapat melewati tautan tertentu. Jalur dengan kapasitas lebih tinggi lebih penting untuk kapasitas dan keandalan jaringan secara keseluruhan

Selain beberapa ukuran pada Tabel 1 dan 2, peneliti terdahulu juga telah mengembangkan dan menerapkan beberapa ukuran lain dalam studinya. Misalnya, Scott & Dunn (2015), misalnya, mengusulkan suatu sistem *rating* bagi tingkat kerentanan untuk setiap ruas. Mattsson & Jelenius (2015) mengusulkan konsep perhitungan efisiensi global dan efisiensi lokal. Dehghani dkk (2014) mengusulkan perubahan nilai jumlah kilometer perjalanan (*vehicle-kilometer traveled, VKT*) sebagai indikator sederhana bagi kerentanan jaringan jalan. Rupi dkk (2015) menyarankan untuk menghitung *Link Importance Index* (LI) guna mengidentifikasi ruas-ruas kritis. Sedangkan Balijepalli & Oppong (2014) menyarankan sebuah konsep dan penerapan *Network Vulnerability Index* (NVI).

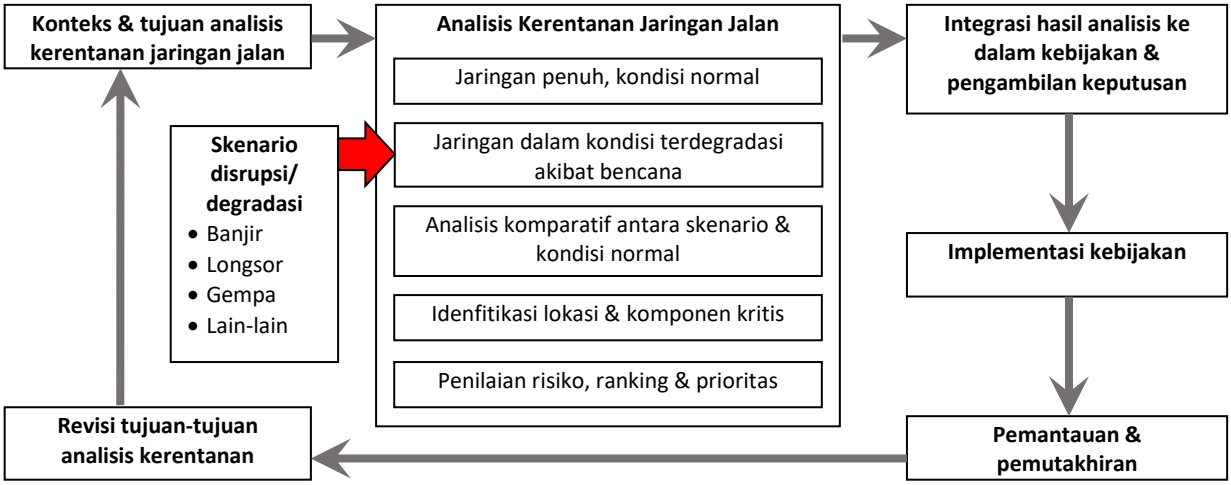
Perkembangan teknik analisis kerentanan jaringan

Beberapa teknik dasar untuk menganalisis kerentanan jaringan sebelum dikenal seperti sekarang telah mulai dikembangkan dalam bidang riset operasional (*operation research*). Hal ini, misalnya, terdokumentasikan dalam penelitian Wollmer (1964), Ratliff dkk (1975), dan Ball dkk (1989). Saat ini, beberapa algoritma baru yang lebih efisien untuk diterapkan pada jaringan berskala besar dan dinamis mulai dikembangkan (lihat misalnya Furno dkk, 2021). Penggunaan *Graph Neural Network* (GNN) juga mulai dieksplorasi untuk melakukan analisis kerentanan berbasis *machine learning* (misalnya Fan dkk, 2019).

C. KONSEP MODEL ANALISIS KERENTANAN JARINGAN JALAN

Berdasarkan kajian terhadap aspek-aspek tinjauan pustaka di atas, dapat disusun suatu kerangka acuan untuk mengimplementasikan analisis kerentanan jaringan jalan akibat bencana alam. *Platform* Sistem Informasi Geografis (GIS), misalnya, dapat digunakan untuk menyatukan berbagai basis data tematik yang memiliki referensi geospasial yang sama. Teknologi GIS saat ini telah memungkinan dilakukannya berbagai analisis spasial yang dapat diintegrasikan ke perangkat-perangkat lunak pemodelan kebutuhan perjalanan, pemodelan risiko dan dampak lingkungan, dan berbagai aplikasi eksternal lainnya.

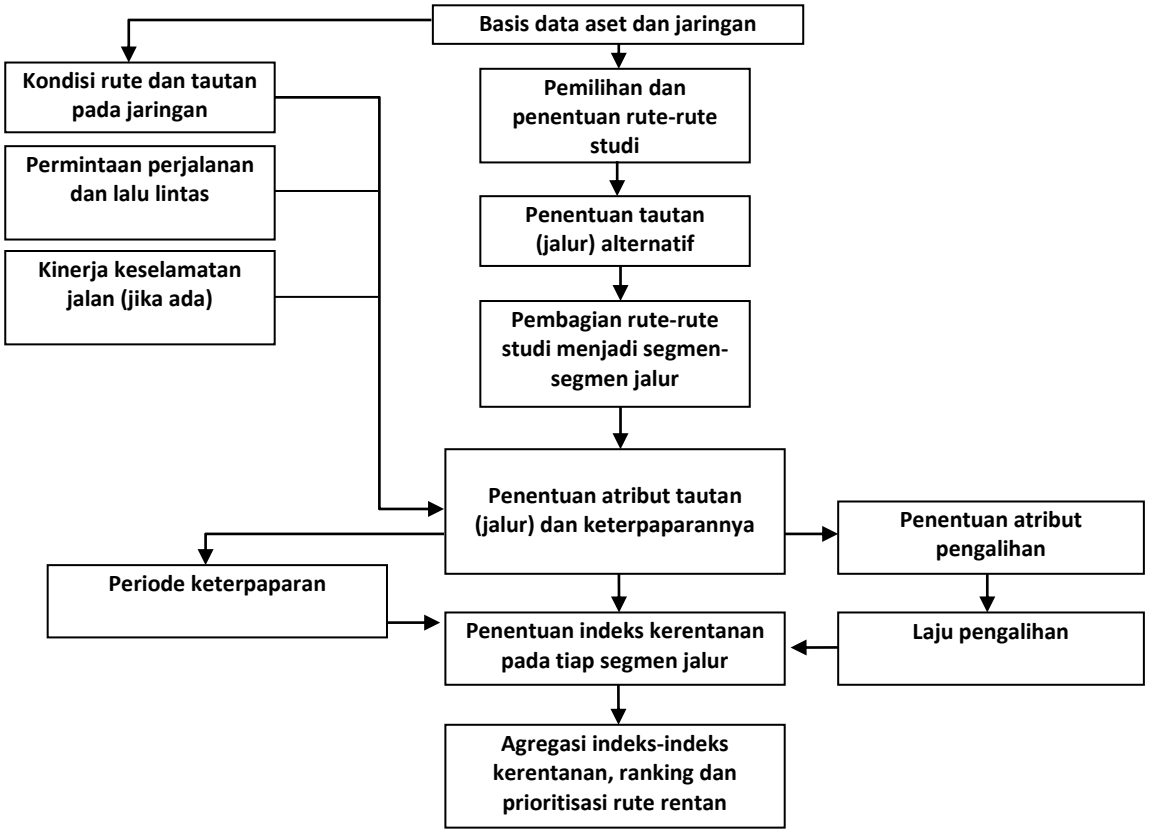
Secara umum, setiap analisis kerentanan jaringan jalan perlu didahului dengan penentuan konteks dan tujuan yang spesifik. Selanjutnya, untuk mengetahui dampak akibat bencana, maka analisis terhadap jaringan penuh pada kondisi normal perlu dilakukan terlebih dahulu. Analisis kerentanan terhadap bencana alam dilakukan dengan mengembangkan skenario-skenario yang relevan. Analisis identifikasi lokasi dan elemen infrasruktur kritis kemudian dilakukan, dilanjukan dengan penilaian terhadap risiko, analisis perankingan dan prioritas. Setelah analisis kerentanan dilakukan, hasil-hasilnya perlu diintegrasikan ke dalam formulasi pengambilan kebijakan. Setelah itu, penerapan kebijakan tersebut perlu dikawal dengan proses pemantauan dan pemutakhiran, serta pembaruan tujuan dan pembaruan analisis (Gambar 2).



Gambar 2. Konsep umum analisis kerentanan jaringan akibat bencana alam

Analisis penilaian risiko berbasis *inventory*

Pada analisis kerentanan yang menggunakan pendekatan berbasis *inventory*, langkah-langkah analisis kerentanan yang lebih terperinci diberikan pada Gambar 3. Analisis didasarkan pada sekelompok data yang terkait dengan topografi, lingkungan fisik sesuai konfigurasi jaringan, aset, beban lalulintas, serta kondisi pengoperasian jaringan. Skenario jaringan terdegradasi akibat bencana dikembangkan untuk mempelajari pengaruh disrupsi bencana terhadap jaringan. Penilaian dampak bencana dilakukan untuk mengidentifikasi komponen jaringan yang berisiko. Indeks-indeks ukuran kerentanan yang dianggap relevan kemudian dihitung berdasarkan asumsi perubahan perilaku perjalanan di akibat serangkaian skenario yang ditinjau. Indeks-indeks ini kemudian digunakan untuk menentukan lokasi komponen jaringan yang kritis, yang dapat diberi ranking dan prioritas penanganan. Hasilnya kemudian diserahkan kepada proses pengambilan keputusan untuk ditentukan penanganannya.



Gambar 3. Konsep analisis kerentanan jaringan berbasis penilaian inventaris

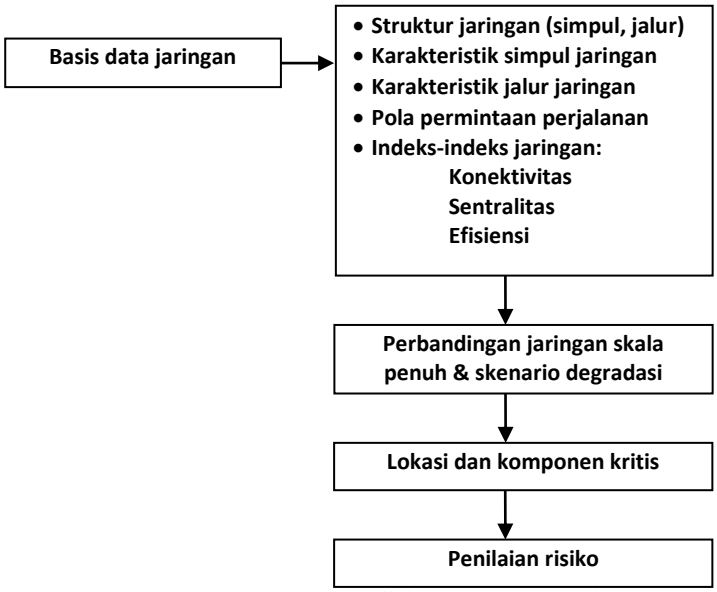
Analisis kerentanan berbasis topologi

Pada analisis kerentanan berbasis topologi, data minimum yang diperlukan untuk melakukan analisis topologi adalah struktur dan karakteristik dasar simpul-simpul dan jalur-jalur yang ada. Kebutuhan data ini lebih kecil dibandingkan dengan pendekatan-pendekatan lainnya. Pengetahuan tambahan tentang simpul-simpul asal-tujuan dapat memperkaya analisis, meski tidak sangat esensial. Langkah-langkah analisis kerentanan yang lebih terperinci diberikan pada Gambar 4. Analisis dilakukan untuk menghitung indeks-indeks jaringan, seperti *betwenness centrality*, baik untuk simpul maupun tautan, dan indeks efisiensi lokal dan global. Indeks-indeks ini dihitung untuk jaringan pada skala penuh dan pada kondisi terdegradasi sesuai skenario yang digunakan. Hasilnya digunakan untuk mengidentifikasi lokasi dan komponen kritis jaringan.

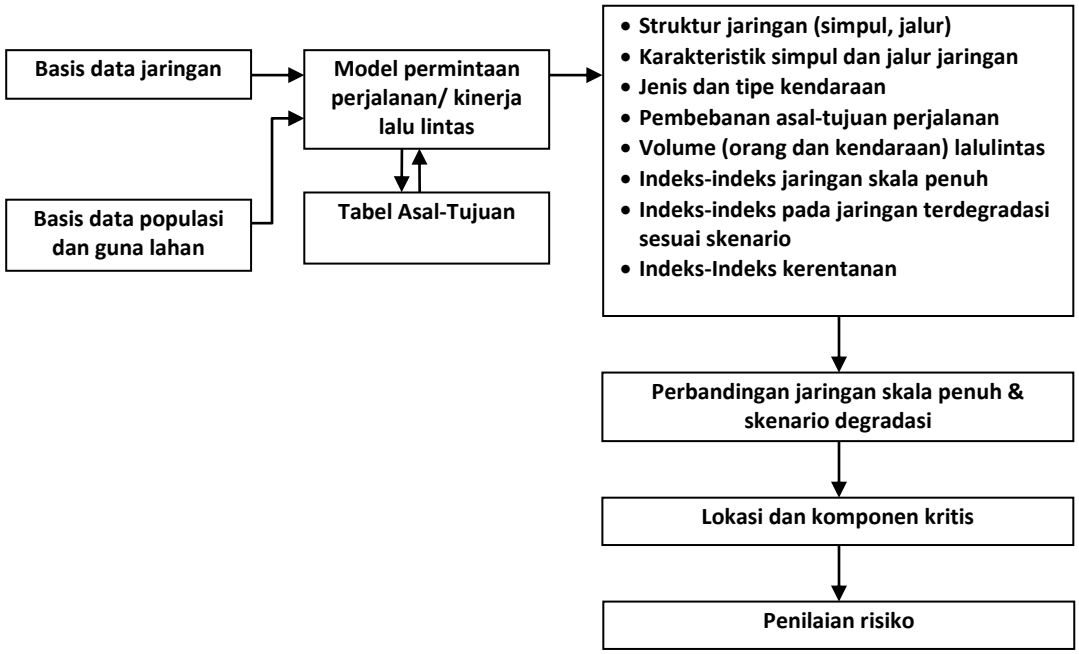
Analisis kerentanan berbasis kemampuan layanan

Analisis kerentanan berbasis kemampuan layanan memerlukan data jaringan yang lebih detail dalam format yang biasa digunakan untuk pemodelan permintaan perjalanan (*travel demand*) dan pemodelan lalulintas dan kinerja sistem (Gambar 5), di samping data topologi jaringan sebagaimana diperlukan pada analisis kerentanan berbasis topologi. Penambahan data atribut dilakukan pada simpul dan tautan untuk seluruh jaringan, meliputi data tipe jalan dan geometrinya, jumlah lajur, tipe kendaraan dan karakteristiknya, serta informasi permintaan (alur asal-tujuan, beban lalulintas), waktu tempuh, dan biaya perjalanan. Dalam proses analisis, model permintaan perjalanan ataupun

model kinerja sistem lalu lintas diaplikasikan pada model jaringan skala penuh dan pada model terdegradasi berdasarkan skenario yang dikembangkan. Luarannya kemudian diperbandingkan untuk menghitung indeks-indeks kerentanan jaringan. Berdasarkan nilai indeks-indeks tersebut, identifikasi lokasi dan komponen kritis dilakukan.



Gambar 4. Konsep analisis kerentanan jaringan berbasis topologi

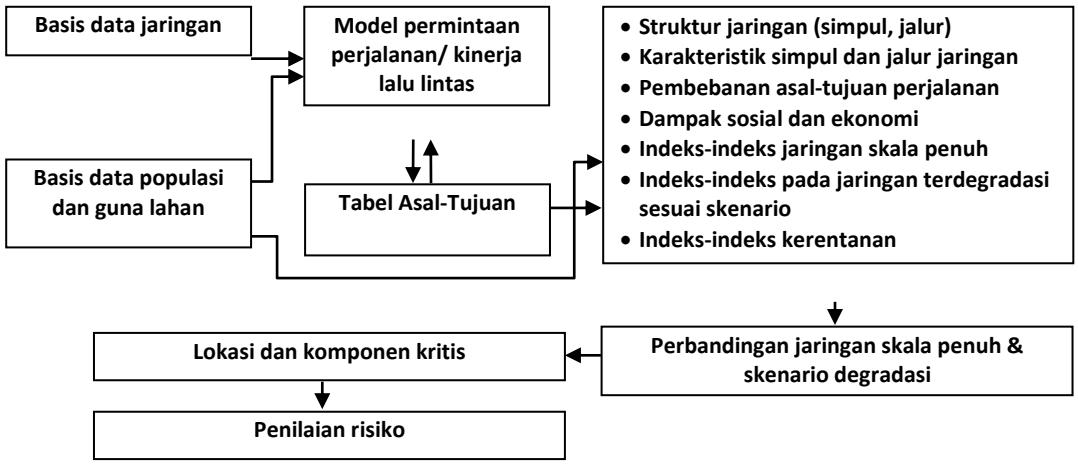


Gambar 5. Kerangka acuan analisis kerentanan jaringan berbasis kemampuan layanan

Analisis kerentanan berbasis aksesibilitas

Analisis kerentanan berbasis aksesibilitas (Gambar 6) secara umum memerlukan data yang sama dengan analisis berbasis kemampuan layanan. Namun dalam analisis ini, basis data populasi dan tata guna lahan berperan lebih dominan karena digunakan untuk menghitung indeks-indeks

aksesibilitas. Model permintaan perjalanan tidak perlu dihubungkan secara langsung kepada proses penilaian aksesibilitas. Luaran dari model tersebut, khususnya tabel asal-tujuan, waktu tempuh perjalanan, dan biaya perjalanan pada skenario-skenario terpilih, akan lebih dibutuhkan. Indeks-indeks kerentanan dapat dihitung dari perubahan atas nilai indeks aksesibilitas yang dihitung pada kondisi berbagai skenario degradasi. Tipe indeks aksesibilitas yang akan digunakan dipilih berdasarkan pertimbangan lokasi studi, misal jaringan primer atau sekunder.



Gambar 6. Kerangka acuan analisis kerentanan jaringan berbasis aksesibilitas

D. KESIMPULAN

Makalah ini telah mengetengahkan analisis bibliografi terhadap beberapa penelitian yang berkaitan dengan analisis kerentanan jaringan jalan. Berdasarkan analisis tersebut, diturunkan sebuah konsep kerangka acuan untuk memodelkan analisis terhadap kerentanan jaringan jalan, khususnya akibat disrupsi bencana alam. Pengembangan dan implementasi konsep tersebut lebih jauh diharapkan dapat menjadi sarana untuk membantu para perencana dan pengelola jaringan jalan dalam mengembangkan jaringan jalan, khususnya untuk memitigasi dampak bencana.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulla, B., & Birgisson, B. (2021). "Characterization of Vulnerability of Road Networks to Random and Nonrandom Disruptions Using Network Percolation Approach". *J. Comput. Civ. Eng.*, 2021, 35(1): 04020054. American Society of Civil Engineer (ASCE)

Balijepalli, C., & Oppong, O. (2014). "Measuring vulnerability of road network considering the extent of serviceability of critical road links in urban areas". *Journal of Transport Geography*, 39, 145-155.

Ball, M. O., Golden, B. L., & Vohra, R. V. (1989). "Finding the most vital arcs in a network". *Operations Research Letters*, 8(2), 73–76.

Bates, J., Polak, J., Jones, P. M., & Cook, A. (2001). "The Valuation of Reliability for Personal Travel". *Transportation Research E: Logistics and Transportation Review*, 37(2-3), 191-229.

Bell, M. G. H., & Iida, Y. (1997). "Transportation network analysis". Chichester: John Wiley and Sons

Berdica, K. (2002). "An introduction to road vulnerability: What has been done, is done and should be done". *Transport Policy*, 9(2), 117-127.

Bil, M., Vodak, R., Kubecek, J., Bilova, M., & Sedonik, J. (2015). "Evaluating road network damage caused by natural disasters in the Czech Republic between 1997 and 2010". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 90-103.

Calvert, S. C., & Snelder, M. (2015). "A methodology for road traffic resilience analysis and review of related concepts". Proceedings 6th International Symposium on Transport Network Reliability, Nara, Japan, August 1-2, Kyoto University.

Cantillo, V., Macea, L. F., Jaller, M. (2018). "Assessing Vulnerability of Transportation Networks for Disaster Response Operations". *Network Spatial Economy* https://doi.org/10.1007/s11067-017-9382-x.

Chen, X.-Z., Lu, Q.-C., Peng, Z.-R., & Ash, J. E.. (2015). "Analysis of transportation network vulnerability under flooding disasters". *Transportation Research Record*, 2532, 37-44.

Connors, R. D., and Watling, D. P. (2015). "Assessing the demand vulnerability of equilibrium traffic networks via network aggregation". *Networks and Spatial Economics*, 15(2), 367-395.

D'Este, G. M., & Taylor, M. A. P. (2001). "Modelling network vulnerability at the level of the national strategic transport network". *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 4(2), 1-14.

D'Este, G. M., & Taylor, M. A. P. (2003). Network vulnerability: An approach to reliability analysis at the level of national strategic transport networks. Dalam M. G. H. Bell, & Y. Iida (Eds.), "The network reliability of transport (23-44). Oxford: Elsevier.

de Oliveira, E. L., Da Silva Portugal, L., & Porto, W., Jr. (2016). "Indicators of reliability and vulnerability: Similarities and differences in ranking links of a complex road system". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 195-208.

Dehghani, M., Flintsch, G., & McNeil, S. (2014). "Impact of road conditions and disruption uncertainties on network vulnerability". *Journal of Infrastructure Systems*, 20(3).

El-Rashidy, R. A., & Grant-Muller, S. M. (2014). "An assessment method for highway network vulnerability". *Journal of Transport Geography*, 34, 34-43.

Fan, C., Zeng. L., Ding, Y., Chen, M., Sun, Y., & Liu, Z.. (2019), "Learning to Identify High Betwenness Centrality Nodes from Strach: A Novel Graph Neural Network Approach". Proceedings of Conference on Information and Knowledge Management (CIKM) 2019, November 3 – 7, 2019, Beijing, China, Association of Computing Machinery

FHWA. (2012). "The Federal Highway Administration's Climate Change and Extreme Weather Vulnerability Assessment Framework". Washington DC:: Federal Highway Administration. Diambil dari http://www.fhwa.dot.gov/environment/climate_change/adaptation/

Furno, A., Faouzi, N-EE., Sharma, R., & Zimeo, E. (2021). "Graph-based ahead monitoring of vulnerabilities in large dynamic transportation networks". *PLoS ONE* 16(3). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248764

Gori, A., Gidaris, I., Elliot, J.R., Padgett, J., Loughran, K., Bedient, P., Panakkal, P., Juan, A., (2020). "Accessibility and Recovery Assessment of Houston's Roadway Network due to Fluvial Flooding during Hurricane Harvey". *ASCE Natural Hazards Rev*. 21 (2), 1-19.

Husdal, J. (2005). The vulnerability of road networks in a cost-benefit perspective. "Transportation from the Customer's Perspective: Providing a Safe, Secure, and Integrated System". Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C..

Iida, Y. (1999). "Basic concepts and future directions of road network reliability analysis". *Journal of Advanced Transportation*, 33(2), 125-134.

Jenelius, E., & Mattsson, L.-G. (2012). "Road network vulnerability analysis of area-covering disruptions: A grid-based approach with case study". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(5), 746-760

Jung, S., & Lee, S. (2020). "Grid-based Traffic Vulnerability Analysis by Using Betweenness Centrality". *Journal of the Korean Physical Society*, 77 (7), October 2020, pp. 538-544.

Kermanshah, A., & Derrible, S. (2016). "A geographical and multi-criteria vulnerability assessment of transportation networks against extreme earthquakes". *Reliability Engineering and System Safety*, 153, 39– 49.

Lu, Q. C., Xu, P., & Zhang, J. (2021). "Infrastrucure-based Transportation Network Vulnerability Modeling and Analysis". *Physica A* 584 (2021) 126350. https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126350

Mattsson, L.-G., & Jenelius, E. (2015). "Vulnerability and resilience of transport systems – a discussion of recent research". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 16-34.

Murray, A. T., & Grubesic, H. (Eds.). (2007). "Critical infrastructure: Reliability and vulnerability". New York: Springer

Nagae, T., Fujihara, T., & Asakura, Y. (2012). "Anti-seismic reinforcement strategy for an urban road network". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(5), 813-827.

Newman, M. E. J., (2010). "Networks: An Introduction". Oxford University Press. New York.

Pokharel, R., & Ieda, H. (2016). "Reliability and vulnerability of road network: An accessibility and network closure vulnerability approach". *Asian Transport Studies*, 4(1), 37-56.

Prasoon, S., Shankar, V., Sinha, P., Vijhani, A., & Pahuja, N., (2018). "Vulnerability Assessment of urban road network from urban flood", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.03.017

Ratliff, H. D., Sicilia, T. G., Lubore, S. H. (1975) "Finding the *n* Most Vital Links in Flow Networks". *Management Science* 21(5):531-539.

Rupi, F., Bernardi, S., Rossi, G., & Danesi, A. (2015). "The evaluation of road network vulnerability in mountainous areas: A case study". *Networks and Spatial Economics*, 15(2), 397-411.

Scott, V., & Dunn, R. (2015). "A prototype method to rate the link vulnerability of strategic rural roads". *Road and Transport Researc*h, 24(2), 3-12.

Taylor, M. (2017). "Vulnerability Analysis for Transportation Networks". Elsevier. Amsterdam.

Taylor, M. A. P., & Philp, M. L. (2015). "Investigating the impact of maintenance regimes on the design life of road pavements in a changing climate and the implications for transport policy". *Transport Policy*, 41, 117-135.

Tu, Y., Yang, C., Chen, A., & Chen, X. (2012). A framework of transportation network vulnerability analysis for different administrative prospects. In W. H. K. Lam, H. K. Lo, & S.C. Wong (Eds.), Proceedings 5th International Symposium on Transport Network Reliability, Hong Kong, December 18-19 (pp. 27-49).

Wollmer, R. (1964). "Removing Arcs from a Network". *Operations Research* 12(6):934-940.

Yang, H., Lo, H. K., & Tang, W. H. (2000). Travel Time versus Capacity Reliability of a road network. dalam M. G. H. Bell, & C. Cassir (Eds.), "Reliability of transport networks" (119-138). Baldock: Research Studies Press.

Zhang, L. & Levinson, D. (2008). "Investing for reliability and security in transportation networks" *Transportation Reseach Record: Journal of the Transportation Research Board* No. 2041, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.

TEMA C: SUMBER DAYA AIR

ANALISIS KEBUTUHAN DIMENSI GROUNDSILL JEMBATAN KEBON AGUNG II SUNGAI PROGO

Muhammad Raihan Wardhana[1*] dan Dinia Anggraheni[2]

[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang No.Km. 14,5 Daerah Istimewa Yogyakarta
Email: 18511111@alumni.uii.ac.id (Corresponding author)

[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang No.Km. 14,5 Daerah Istimewa Yogyakarta
Email: 165110105@uii.ac.id

ABSTRAK

Salah satu infrastruktur yang berada di Sungai Progo adalah Jembatan Kebon Agung II. Beberapa masalah yang sering ditemui pada jembatan melintang sungai adalah kegagalan struktur bawah jembatan. Faktor kegagalan struktur bawah jembatan adalah penurunan atau degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar pondasi dan pilar. Oleh karena itu, diperlukan bangunan pengaman yaitu *groundsill* sebagai usaha untuk mencegah dan mengurangi kerugian dari fenomena yang membahayakan infrastruktur di sungai. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis debit rencana, dimensi *groundsill*, dan stabilitas *groundsill* terhadap bahaya geser, guling, dan rembesan (piping). Analisis debit rencana 100 tahun dilakukan dengan menggunakan metode Nakayasu dan SCS. Untuk analisis dimensi *groundsill* dan stabilitas menggunakan pedoman Pd-T-12-2004-A dan KP-06. Kemudian dilakukan analisis profil muka air dan kecepatan aliran menggunakan program HEC-RAS. Hasil perhitungan debit rencana 100 tahun Nakayasu adalah 1685,73 m^3 /s. *Groundsill* didesain dengan debit desain 1739,68 m^3 /s; lebar pelimpah 78 m; lebar mercu 2 m; tinggi bendung utama 3 m; kemiringan hulu 0,4; kemiringan hilir 0,4; tebal kolam olak 1,65 m; panjang kolam olak 33,76 m; tinggi sub bendung 1,5 m; dan kedalaman pondasi 2,8 m. *Groundsill* aman terhadap bahaya geser SF 2,13 > 1,2; guling 2,05 > 1,2; dan rembesan CL 9,38 > 2,5. Desain *groundsill* aman terhadap banjir dengan jarak antara muka air banjir dan jagaan setinggi 1,16 m. Setelah ada *groundsill* terjadi kenaikan muka air sebesar 2,43 % dan penurunan kecepatan aliran sebesar 27,83 % di bagian hulu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain *groundsill* aman terhadap bahaya geser, guling, rembesan, dan banjir.

Kata kunci: degradasi dasar sungai, gerusan lokal, *groundsill*, jembatan

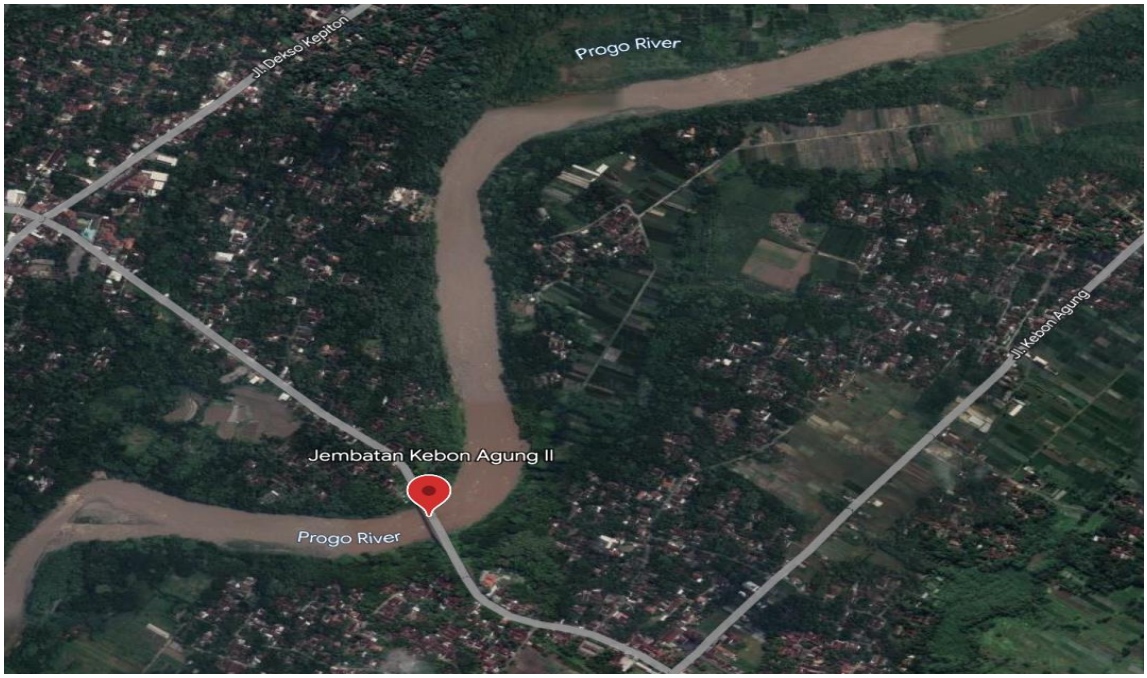
A. PENDAHULUAN

Sungai Progo adalah sungai yang melintasi wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai ini memiliki luas DAS ± 2.421 km^2 dan panjang sungai ± 138 km (BBWS SO, 2010). Sepanjang aliran sungai terdapat konstruksi bangunan yang berada di badan sungai yaitu bendungan, bendung, embung, dan jembatan. Bangunan tersebut memiliki kegunaan masing-masing dalam menunjang aktivitas dan kebutuhan hidup manusia. Salah satu bangunan yang konstruksinya berada di sepanjang aliran Sungai Progo adalah Jembatan Kebon Agung II.

Beberapa masalah yang sering ditemui pada jembatan melintang sungai adalah kegagalan struktur bawah jembatan berupa pondasi, pilar, atau pangkal/*abutmen* dalam menopang jembatan (Istiarto, 2011). Salah satu sumber ancaman terhadap keamanan struktur bawah jembatan adalah dinamika sungai, khususnya dinamika dasar sungai di sekitar pondasi dan pilar jembatan (Istiarto, 2011). Faktor utama kegagalan struktur bawah jembatan adalah penurunan atau degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar pondasi dan pilar (Istiarto, 2011). Ancaman terhadap keamanan struktur bawah jembatan akan bertambah jika terjadi banjir, khususnya banjir besar dapat memperbesar degradasi sungai dan gerusan lokal. Melihat pentingnya jembatan sebagai sarana

penghubung antar wilayah dan sebagai bentuk pencegahan agar tidak terulang kembali peristiwa runtuhnya jembatan, diperlukan suatu penanganan berupa bangunan pengendali dasar sungai yaitu *groundsill* sebagai usaha untuk mencegah dan mengurangi kerugian yang diakibatkan degradasi sungai dan gerusan yang membahayakan infrastruktur di sepanjang sungai.

Jembatan Kebon Agung II terletak di Jalan Raya Banjarjarum, Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo. Jembatan ini memiliki bentang sepanjang 224 m. Sebanyak 4 pilar digunakan untuk menopang jembatan dan beban yang melintasinya. Terdapat 2 pilar yang letaknya berada di badan sungai. Jembatan ini belum memiliki bangunan pengendali dasar sungai di hilirnya. Beberapa jembatan telah dilengkapi dengan bangunan pelindung, seperti Jembatan Kebon Agung, Jembatan Bantar dan Jembatan Srandakan. Gambar 1 berikut adalah ilustrasi peta lokasi penelitian.



Gambar 1. Ilustrasi Peta Lokasi Penelitian

B. METODE

Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif deskriptif. Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer yang diperoleh langsung dari sumber yang diteliti, dan data sekunder yang didapat dari sumber lain yang berkaitan dengan penelitian.

Data Penelitian

Data yang akan digunakan pada penelitian diambil dengan menggunakan beberapa metode pengumpulan data sebagai berikut.

1. Data Hujan

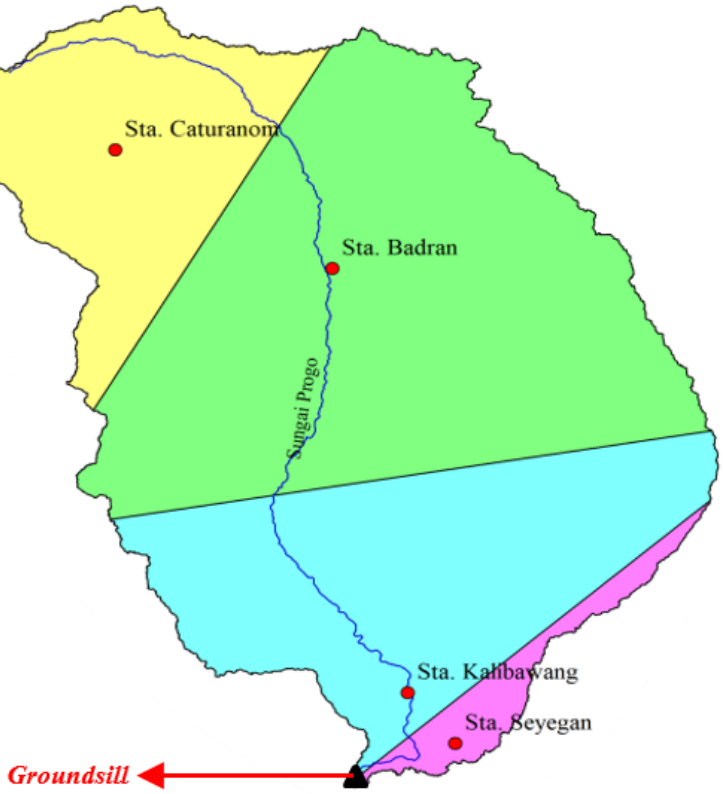
   Data hujan yang digunakan berupa data hujan harian yang dicatat oleh stasiun hujan yang berada di dekat lokasi penelitian. Data tersebut diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (BBWS SO). Stasiun hujan yang digunakan yaitu Stasiun Caturanom, Stasiun Badran, Stasiun Kalibawang, dan Stasiun Seyegan dengan panjang data 15 tahun (2004 - 2018).

2. Data *Digital Elevation Model* (DEM)

   Data DEM merupakan data satelit yang digunakan untuk berbagai jenis pekerjaan pemetaan. Data ini berbentuk file shp dan didapatkan dari website www.usgs.gov.

3. Daerah Aliran Sungai (DAS)

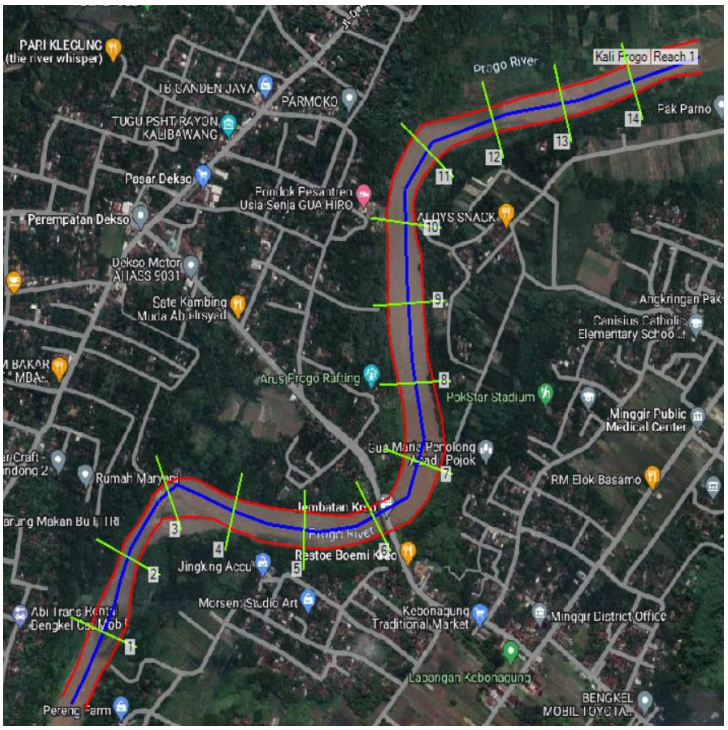
   Daerah Aliran Sungai yang ditinjau adalah DAS Progo dari hulu sampai hilir Jembatan Kebon Agung II. Data ini diperoleh dengan cara mengolah data DEM dan koordinat dari lokasi penelitian dan stasiun hujan menggunakan Software Global Mapper. Gambar 2 berikut adalah DAS Progo yang ditinjau dan Poligon Thiessen.



Gambar 2. DAS Progo dan Poligon Thiessen Tinjauan

4. *Cross Section* Sungai

   Data *cross section* sungai diperlukan untuk analisis profil muka air dan kecepatan aliran. Sungai yang ditinjau adalah bagian hulu dan hilir Jembatan Kebon Agung II. Jumlah *cross section* adalah 14 dengan jarak antar cross 200 m. Gambar 3 berikut adalah *cross section* sungai yang ditinjau.



Gambar 3. Cross Section Sungai Tinjauan

5. Lebar Sungai

   Lebar Sungai Progo di lokasi penelitian diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan. Dari hasil pengukuran didapatkan lebar sungai 82 m.

Metode Analisis

Tahap-tahap untuk analisis data dijabarkan sebagai berikut.

1. Analisis Hidrologi

   Tahapan dalam analisis hidrologi yaitu analisis hujan kawasan dengan metode Poligon Thiessen, lalu analisis frekuensi dan probabilitas untuk menghitung hujan kala ulang, kemudian uji kecocokan data dengan metode Chi-Kuadrat, dan analisis distribusi hujan jam-jaman dengan metode Manonobe.

2. Analisis Debit Rencana

   Debit rencana dihitung pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun menggunakan dua metode yaitu, metode HSS Nakayasu dan HSS SCS. Dari hasil kedua metode tersebut diambil nilai yang terbesar sebagai debit banjir rencana.

3. Analisis Dimensi *Groundsill*

   Analisis dimensi *groundsill* menggunakan pedoman perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai (Pd T-12-2004-A). Debit yang digunakan untuk analisis dimensi adalah debit kala ulang 100 tahun. Analisis yang dilakukan adalah menentukan dimensi peluap, debit desain, lebar mercu, tinggi bending utama, kemiringan hulu dan hilir bendung, panjang kolam olak, tebal kolam olak, tinggi sub bendung, dan kedalaman pondasi.

4. Analisis Stabilitias *Groundsill*

   Analisis gaya yang bekerja pada *groundsill* berpedoman pada Pd T-12- 2004- A dan KP-06. Gaya yang bekerja pada *groundsill* yaitu berat bangunan *groundsill* sendiri, tekanan air vertikal, dan tekanan air horizontal. Stabilitas *groundsill* ditinjau terhadap bahaya geser, guling, dan rembesan.

5. Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran

   Analisis profil muka air dan kecepatan aliran dilakukan dengan program HEC-RAS. Dilakukan analisis profil muka air dan kecepatan aliran menggunakan debit desain pada kondisi sebelum ada *groundsill* dan setelah ada *groundsill*.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Debit Rencana

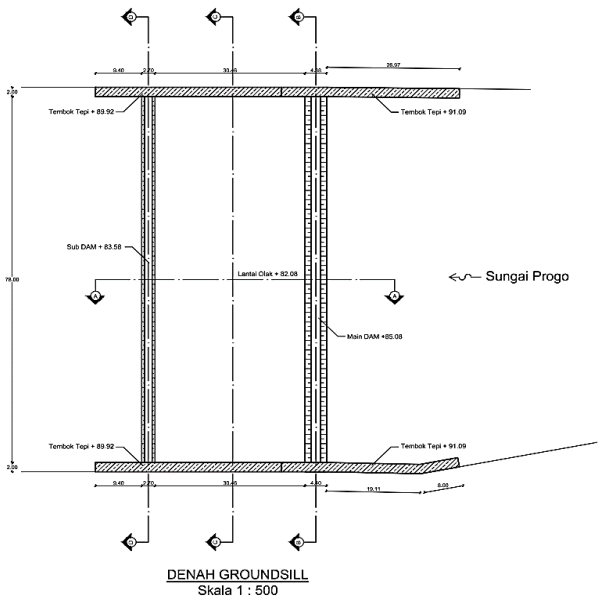
Dalam perhitungan debit rencana diperlukan parameter DAS yaitu luas DAS, panjang sungai utama, dan durasi hujan. Di lokasi penelitian didapatkan luas DAS seluas 1858,042 km^2, sungai utama sepanjang 87,16 km, dan durasi hujan selama 7 jam. Tabel 1 berikut adalah hasil analisis debit kala ulang Nakayasu dan SCS.

Tabel 1. Hasil Analisis Debit Kala Ulang

Kala Ulang (Tahun)	2	5	10	25	50	100
Nakayasu (m^3/s)	928,69	1184,89	1327,09	1486,41	1589,09	1685,73
SCS (m^3/s)	606,40	773,36	866,03	969,86	1036,78	1099,76

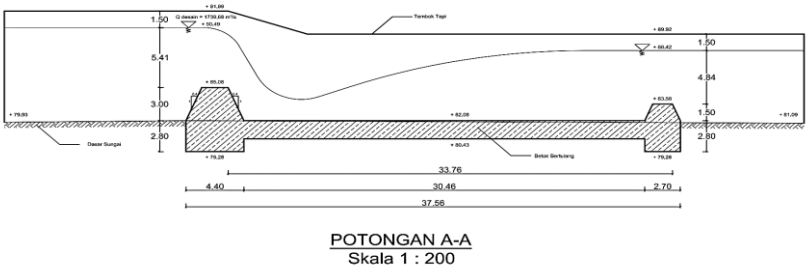
Hasil Analisis Dimensi *Groundsill*

Dari hasil analisis perhitungan dimensi didapatkan debit desain (Qd) = 1739,68 m^3/s; dimensi lebar atas pelimpah (B_1) = 78 m; lebar dasar pelimpah (B_2) = 78 m; lebar mercu peluap (b) = 2 m; tinggi bending utama (H) = 3 m; kemiringan hilir bendung (n) = 0,4; kemiringan hulu bendung = 0,4; tebal lantai kolam olak (t) = 1,65 m; panjang lantai kolam olak (L) = 33,76 m; tinggi sub bendung (d) = 1,5 m; dan kedalaman pondasi (h_p) = 2,8 m. Gambar 1 berikut adalah gambar denah *groundsill*.



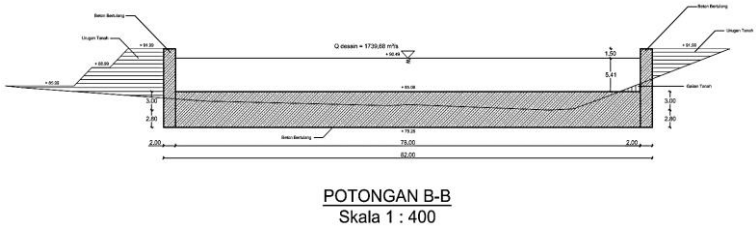
Gambar 1. Denah *Groundsill*

Gambar 2 berikut adalah gambar potongan memanjang *groundsill*.

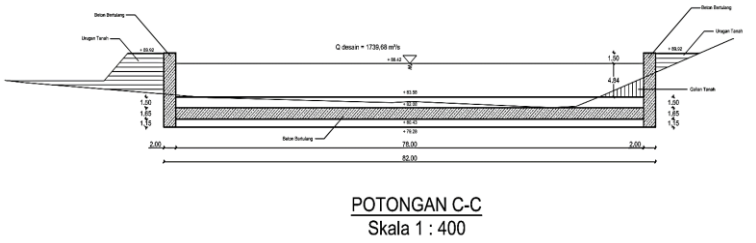


Gambar 2. Potongan A-A

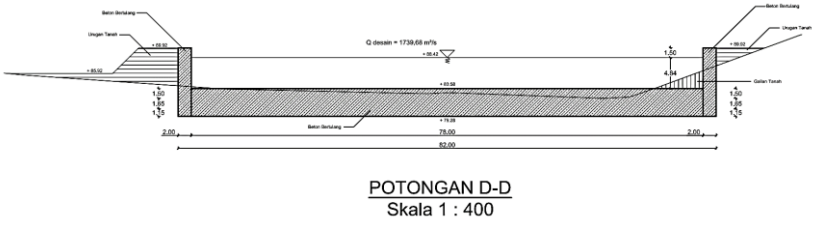
Gambar 3 sampai 5 berikut adalah gambar potongan melintang *groundsill*.



Gambar 3. Potongan B-B



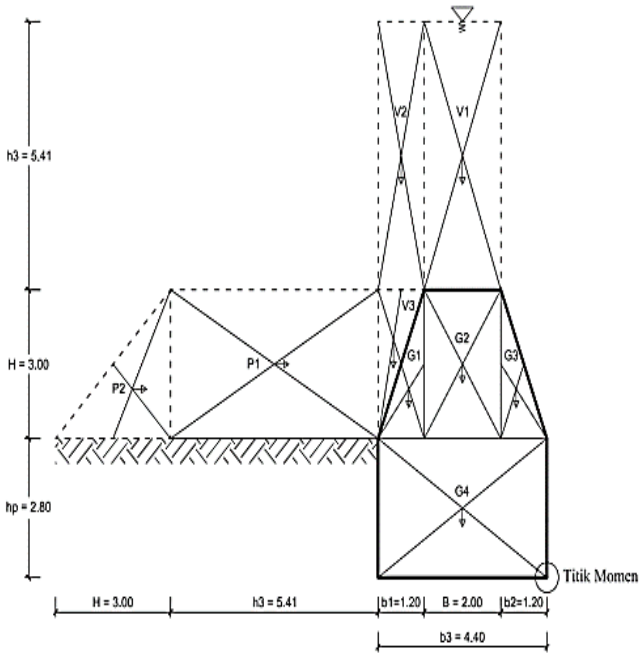
Gambar 4. Potongan C-C



Gambar 5. Potongan D-D

Hasil Analisis Stabilitas *Groundsill*

Dilakukan penggambaran gaya-gaya yang bekerja pada *groundsill*. Gambar 6 berikut adalah penggambaran gaya-gaya yang bekerja pada *groundsill*.



Gambar 6. Gaya Bekerja Pada *Groundsill*

Kemudian dilakukan perhitungan panjang lengan, nilai gaya, dan nilai momen penahan dan pengguling. Momen penahan adalah momen yang menahan *groundsill* agar tidak terjadi guling, sedangkan momen pengguling adalah momen yang menyebabkan terjadinya guling pada *groundsill*. Tabel 2 berikut adalah hasil perhitungan gaya, panjang lengan, dan momen penahan pada *groundsill*.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Momen Penahan

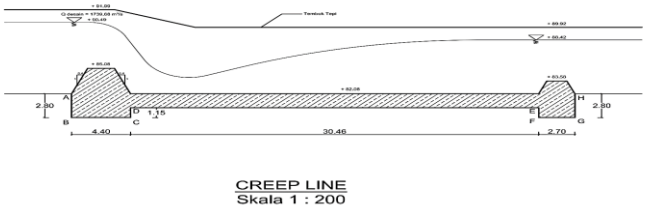
Notasi	Panjang Lengan (m)	Nilai Gaya (t)	Nilai Momen (tm)
G1	3,6	4,32	15,55
G2	2,2	14,4	31,68
G3	0,8	4,32	3,46
G4	2,2	29,57	65,05
V1	2,2	10,83	23,82
V2	3,8	6,5	24,68
V3	4	3,6	14,40
Total		73,53	178,64

Tabel 3 berikut adalah hasil perhitungan gaya, panjang lengan, dan momen pengguling pada *groundsill*.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Momen Pengguling

Notasi	Panjang Lengan (m)	Nilai Gaya (t)	Nilai Momen (tm)
P1	4,3	6,5	69,83
P2	3,8	4,5	17,1
Total		20,74	86,93

Gambar 7 berikut adalah panjang *creep line* dibagian groundsill yang tertimbun tanah untuk perhitungan stabilitas rembesan.



Gambar 7. *Creep Line Groundsill*

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan stabilitas geser, guling, dan rembesan. Berdasarkan Pd-T-12-2004-A faktor keamanan geser dan guling diambil 1,2 karena tinggi bendung kurang dari 5 m. Koefisien geser diambil 0,6 dan angka minimum rembesan diambil 2,5 karena lapisan tanah di sekitar lokasi berupa kerikil. Berikut adalah hasil perhitungan stabilitas *groundsill*.

1. Stabilitas Terhadap Geser

Dengan koefisien geser senilai 0,6 dan nilai faktor keamanan geser senilai 1,2 dilakukan perhitungan stabilitas terhadap geser sebagai berikut (Pd T-12-2004-A).

$$SF_{geser} = \frac{0{,}6.\ 73{,}53}{20{,}74} = 2{,}13 > 1{,}2$$

2. Stabilitas Terhadap Guling

Dengan nilai faktor keamanan guling senilai 1,2 dilakukan perhitungan stabilitas terhadap guling sebagai berikut (Pd T-12-2004-A).

$$SF_{guling} = \frac{178{,}64}{86{,}93} = 2{,}05 > 1{,}2$$

3. Stabilitas Terhadap Rembesan

Dari hasil perhitungan didapatkan panjang vertikal 7,9 dan horizontal 12,52. Dengan perbedaan ketinggian air di hulu dan hilir senilai 2,08 m dan angka minimum rembesan senilai 2,5 dilakukan perhitungan stabilitas terhadap rembesan sebagai berikut (KP-06).

$$CL = \frac{7{,}9 + 12{,}52}{2{,}08} = 9{,}83 > 2{,}5$$

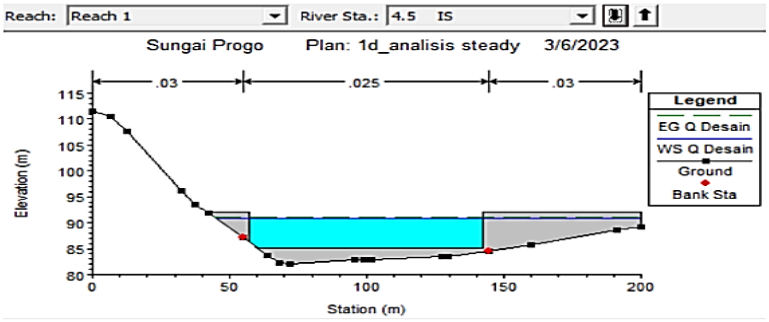
Hasil Analisis Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran

Dilakukan analisis aliran *steady flow* dengan menggunakan debit desain pada kondisi sebelum ada *groundsill* dan setelah ada *groundsill*. *Groundsill* diletakkan di hilir jembatan yaitu pada *cross-section* 4.5. Terdapat perubahan elevasi muka air (Elv) dan kecepatan aliran (Vel) setelah ada *groundsill* di hulu pada cross section 5, 6, 7, 8, dan 9. Tabel 5 berikut adalah perubahan profil muka air dan kecepatan aliran.

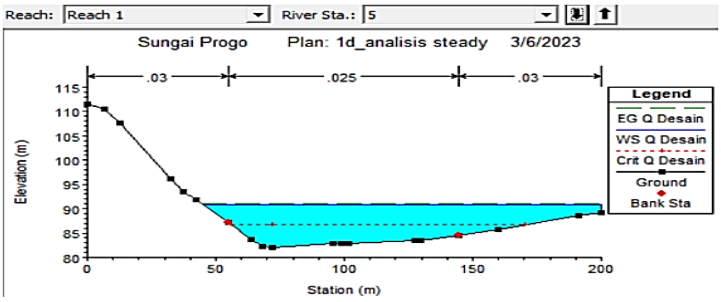
Tabel 5. Perubahan Profil Muka Air dan Kecepatan Aliran

Cross	Tanpa Groundsill		Ada Groundsill	
	Elv (m)	Vel (m/s)	Elv (m)	Vel (m/s)
9	89,12	1,61	91,08	1,29
8	89,04	2	91,05	1,5
7	88,64	2,45	90,97	1,76
6	88,67	2,96	90,88	2,15
5	88,32	3,56	90,83	2,18

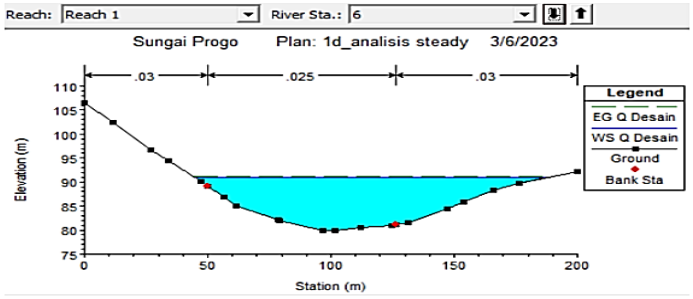
Gambar 8 sampai 13 berikut adalah kondisi *cross section* dan profil muka airnya setelah adanya *groundsill.*



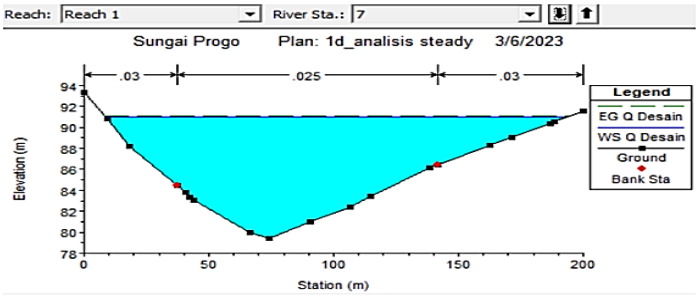
Gambar 8. *Cross-Section* 4.5



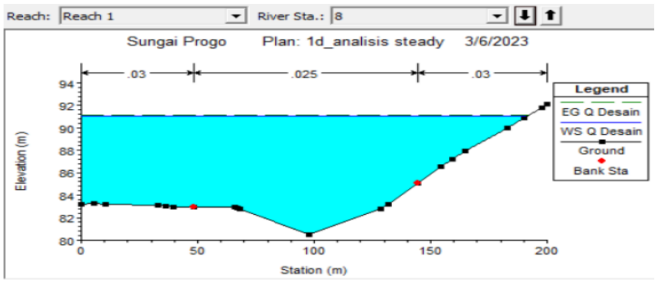
Gambar 9. *Cross-Section* 5



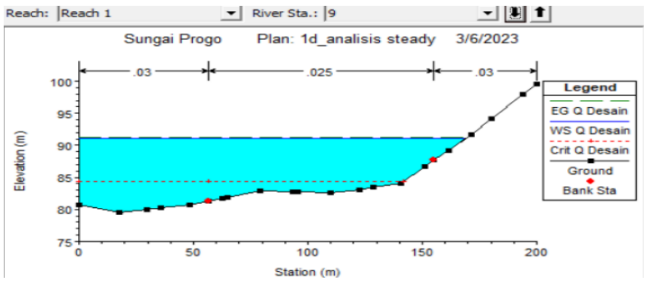
Gambar 10. *Cross-Section* 6



Gambar 11. Cross-Section 7



Gambar 12. *Cross-Section* 8



Gambar 13. *Cross-Section* 9

Pembahasan

Debit banjir rencana yang dipilih adalah debit banjir metode Nakayasu karena memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan metode SCS. Sebelumnya hasil perhitungan debit rencana metode Nakayasu kala ulang 100 tahun adalah 3590,502 m^3/s. Angka tersebut dinilai terlalu besar karena menurut Istiarto (2011) dalam artikelnya menyatakan bahwa bangunan *groundsill* di Sungai Progo yang letaknya dihilir Jembatan Kebon Agung II yaitu *Groundsill* Kebon Agung dan *Groundsill* Srandakan didesain dengan debit rencana 50 tahun sebesar 1800 m^3/s dan 2680 m^3/s. Besarnya debit rencana dengan metode HSS sangat dipengaruhi oleh karakteristik DAS. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi debit rencana dengan dengan faktor koefisien pengaliran.

Dari hasil perhitungan didapatkan angka keamanan geser sebesar 2,13; angka keamanan guling sebesar 2,05; dan angka rembesan sebesar 9,38. *Groundsill* yang didesain aman terhadap bahaya geser dan guling karena hasil perhitungan angka keamanan lebih besar dari faktor keamanan (safety factor) yang telah ditetapkan di Pd-T-12-2004-A yaitu 1,2. *Groundsill* juga aman terhadap bahaya

rembesan karena hasil perhitungan nilai angka rembesan lebih besar dari harga minimum angka rembesan yang ditetapkan di KP-06 yaitu 2,5.

Berdasarkan hasil analisis profil muka air pada Gambar 8, desain penampang *groundsill* hasil perhitungan lebih tinggi daripada profil muka air pada HEC-RAS dengan jarak antara muka air dan tinggi jagaan setinggi 1,16 m sehingga *groundsill* aman terhadap banjir. Kemudian berdasarkan Tabel 6, terdapat kenaikan muka air dengan selisih rata-rata sebesar 2,16 m dan persentase rata-rata sebesar 2,43 % serta penurunan kecepatan dengan selisih rata-rata rata sebesar 0,74 m/s dan persentase rata-rata 27,83 % setelah ada *groundsill*. Hal tersebut terjadi karena di ujung saluran terdapat bendung sehingga terjadi kenaikan profil muka air dan penurunan kecepatan aliran.

D. KESIMPULAN

Dimensi *groundsill* di hilir Jembatan Kebon Agung II direncanakan menggunakan debit banjir rencana Nakayasu kala ulang 100 tahun. Dimensi bangunan yang didesain antara lain, debit desain 1739,68 m^3 /s, lebar pelimpah 78 m; lebar mercu pelimpah 2 m; tinggi main dam 3 m; kemiringan hilir 0,4; kemiringan hulu 0,4; tebal kolam olak 1,65 m; panjang kolam olak 33,76 m; tinggi sub dam 1,5 m; dan kedalaman pondasi 2,8 m. Bangunan *groundsill* yang telah didesain aman terhadap bahaya geser dengan SF 2,13 > 1,2; bahaya guling dengan SF 2,05 > 1,2; dan rembesan (piping) dengan CL 9,83 > 2,5. Penampang *groundsill* yang didesain aman terhadap banjir dengan jarak antara muka air banjir dan jagaan setinggi 1,16 m. Setelah ada *groundsill* terdapat kenaikan muka air sebesar 2,43 % dan penurunan kecepatan aliran sebesar 27,83 %.

DAFTAR PUSTAKA

Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak. 2010. Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Progo Opak Serang. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum

Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah. 2004. Perencanaan Teknis Bendung Pengendali Dasar Sungai. Pd T-12-2004-A. Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah.

Direktorat Jendral Sumber Daya Air, 2013. Standar Perencanaan Irigasi. KP-06. Kementrian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.

Gustoro, D. 2018. Analisis Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman Di Daerah Aliran Sungai Progo. Naskah Publikasi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Istiarto, 2011. Jembatan Kebon Agung, Sleman, Yogyakarta. https://istiarto.staff.ugm.-ac.id/index.php/2011/05/jembatan-kebonagung-sleman-yogyakarta/.

Istiarto, 2011. Jembatan Srandakan, Kulon Progo, Yogyakarta. https://istiarto.staff.ugm.ac.id/-index.php/2011/05/jembatan-srandakan-kulonprogo-yogyakarta/.

Istiarto, 2011. Problematika Jembatan Sungai. https://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.php/2011/-05/jembatan-srandakankulonprogo-yogyakarta/.

Jarwoto dan Hakim, E.A. 2021. Analisa Desain Bangunan Pengendali Sedimen Jembatan Plapar, Slahung, Ponorogo. Seminar Keinsinyuran 2021. Malang.

Maulana, N.K. 2020. Dimensi *Groundsill* Pada Hilir Jembatan Tinjomoyo Semarang. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Nugraha, A.S. 2019. Analisis Debit Banjir Rencana Bendung Kamijoro Dengan Metode Nakayasu. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Rahardian, H. 2017. Perencanaan *Groundsill* Di Sungai Galeh Kabupaten Temanggung. Tugas Akhir. Universitas Semarang. Semarang.

Sugito. 2015. Perencanaan Check DAM Way Rarem Di Kabupaten Lampung Utara. Jurnal Teknik Sipil UBL. Vol.6 No.2:795-817. Lampung.

Suripin. 2004. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Andi Offset. Yogyakarta.

Sumarno, W. 2016. Evaluasi Bangunan Pengendali Sedimen Pada Sungai Ciliung Dengan Dua Alternatif Debit Banjir. Jurnal Media Teknologi. Vol.03 No.1:1- 12. Ciamis.

Triatmodjo, B. 1993. Hidraulika II. Cetakan Keduabelas. Beta Offset. Yogyakarta.

Triatmodjo, B. 2008. Hidrologi Terapan. Cetakan Keenam. Beta Offset. Yogyakarta.

STUDI KARAKTERISTIK GELOMBANG EKSTREM TAHUNAN DAN BULANAN DI PELABUHAN LAUT CAROCOK, SUMATRA BARAT

Alvin Yesaya[1*] dan Bayu Wintoro[2]

[1]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran,Bali

[1*]Email: alvinyesaya@unud.ac.id (Corresponding author)

[2]PT Suropati Hidro Energi , Bandung, Jawa Barat

Email: bayu.wintoro@gmail.com

ABSTRAK

Karakteristik gelombang merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan untuk mengembangkan pelabuhan. Penelitian ini berfokus melakukan studi karakteristik gelombang untuk mendesain pengembangan Pelabuhan Carocok Painan, Sumatera Barat. Perhitungan tinggi dan periode (Hs,Ts) gelombang rencana secara optimum diperlukan untuk mendapatkan perencanaan yang sesuai dengan kondisi lapangan. Terbatasnya data rekaman gelombang di lapangan membuat sulit dalam menentukan gelombang rencana. Salah satu metode umum adalah melakukan *hindcasting* gelombang dengan mengonversi data angin dan *fetch* sesuai dengan perhitungan di *Shore Protection Manual,*1984. Metode penelitian ini mengkombinasikan data primer (batimetri) dan sekunder (angin) untuk *hindcasting* yang kemudian dilakukan metode statistik Log-Pearson tipe III dalam analisis harga ekstrem. Setelahnya dilakukan analisis transformasi gelombang dengan bantuan model numerik untuk mendapatkan nilai gelombang ekstrem di area dermaga. Tinggi dan periode gelombang rencana dianalisis setiap tahun maupun bulanan dalam jangka waktu 10 tahun untuk mendapatkan hasil yang optimum. Pentingnya tinjauan bulanan agar mendapatkan hasil yang sesuai kondisi real mengikuti pergerakan musim yang memengaruhi kondisi kecepatan dan arah angin. Hasil menunjukkan bahwa Hs pada bulan April pada titik tinjauan lebih besar 160% dibandingkan Hs tahunan untuk periode ulang 50 dan 100 tahunan. Adanya perbedaan besar dan arah dominan pada setiap bulannya menunjukkan bahwa Pelabuhan Carocok Painan mengalami gelombang lebih dari 1-meter pada bulan Maret, April, dan Desember. Hasil penelitian ini dapat menjadi metode untuk mendapatkan nilai gelombang ekstrim yang cukup riil sehingga pihak Pelabuhan dapat membuat kebijakan mitigasi pada bulan-bulan tersebut.

Kata kunci:*, Analisis Gelombang Ekstrem, Hindcasting Gelombang Model Numerik Gelombang, Pengembangan Pelabuhan*

ABSTRACT

Wave characteristic is one of the important factors to be considered to develop the port This study focus on wave characteristics study for Carocok Painan Port development, West Sumatra. The optimum calculation of wave height and period significant (Hs,Ts) is necessary to get the most appropriate condition in the field. However, the limitation of wave recorder data creates difficulty to determine the design wave. One common method is to conduct wave hindcasting which converts wind data and fetches followed on the Shore Protection Manual 1984 calculation. This study combines the primary data (bathymetry) and secondary data (wind) to do hindcasting. After that, the extreme wave is determined by using statistical method Log-Pearson type III. Further, the numerical model is utilized to do wave-transformed analysis. The design wave height and period are analysed every year and monthly within the 10 years of data of hindcasting calculation. Analysing wave height and period monthly for 10 years is important to get the real condition following the seasonal effect of wind speed and direction. The results showed that the Hs in April at the review point was 160% greater than the annual Hs for the 50 and 100 year return periods. The large difference and dominant direction each month shows that Carocok Painan Harbor experienced waves of more than 1-meter only in March, April and December. The results of this study can obtain extreme wave values that are closer to the real condition so that the Port can create mitigation policies in those months

Keyword: *Port Development, Wave Hindcasting, Extreme Wave Analysis, Wave Numerical Model*

A. PENDAHULUAN

Tinggi dan arah gelombang laut merupakan salah satu faktor terpenting dalam menentukan tinggi *freeboard* dan tata letak lokasi dermaga. Studi analisis gelombang harus dilakukan secara ilmiah. Setiap daerah memiliki karakteristik gelombang yang berbeda-beda tergantung oleh letak geografis sehingga mempengaruhi perbedaan karakteristik angin maupun profil kedalaman laut. Studi karakteristik gelombang harus dilakukan dalam setiap perencanaan pelabuhan, baik pada pelabuhan besar maupun kecil. Contohnya adalah studi karakteristik pelabuhan Patimban di Jawa Barat, (Cezalipi, 2017), kolam Pelabuhan TNI Angkatan Laut Pondokdayung di Tanjung Priok Jakarta (Ristiyanto, 2015 & Suwardi, 2022), Pelabuhan ikan Tanjung Laut, Kalimantan Timur (Purwono, 2020). Selain untuk perencanaan fasilitas Pelabuhan, prediksi tinggi gelombang juga diperlukan dalam pembuatan pengaman pantai seperti *breakwater* yang berfungsi untuk melindungi fasilitas pelabuhan seperti desain *breakwater* di Pelabuhan Ikan Tanjung Tiram (Amri, 2021), *breakwater* di Teluk Sumbreng, Kabupaten Trenggalek (Karima, 2017).

Pada penelitian ini, studi kasus dalam menentukan karakteristik gelombang ekstrem yaitu untuk kebutuhan pengembangan pelabuhan Carocok Painan. Hierarki pelabuhan ini berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan tentang Rencana Induk Pelabuhan Nasional (RIPN) Nomor KP 432 Tahun 2017, adalah Pelabuhan Pengumpul yang terletak di Kenagarian Painan dan Salido di Kecamatan IV Jurai Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera barat. Studi karakteristik gelombang di pelabuhan ini bertujuan untuk melakukan pengembangan pelabuhan laut, yaitu menambah fasilitas pelabuhan seperti dermaga dan fasilitas *hinterland* untuk meningkatkan peran angkutan laut sehingga meningkatkan pergerakan komoditas dan ekonomi di wilayah tersebut.

Pengumpulan data gelombang merupakan faktor terpenting dalam menentukan arah dan tinggi gelombang rencana untuk periode ulang tertentu. Menentukan gelombang rencana dibutuhkan data gelombang jam-jaman dengan lama minimal 10 tahun (Purwono, 2020). Perekaman data gelombang yang dilakukan dengan rentang waktu panjang sangat sulit serta memakan biaya yang cukup besar. Keterbatasan data gelombang di Indonesia menyebabkan sulitnya melakukan identifikasi gelombang dalam melakukan perencanaan pelabuhan. Padahal, karakteristik gelombang seperti tinggi dan periode sangat menentukan desain pelabuhan seperti tata letak dermaga, *input* gaya pada dermaga *deck on pile*, maupun penentuan kebutuhan diperlukannya bangunan penahan gelombang (*breakwater*) untuk melindungi kapal yang berlabuh. Salah satu metode yang banyak dipakai dalam melakukan perencanaan gelombang adalah melakukan *hindcasting* gelombang yang seperti yang tertera di *Shore Protection Manual,*1984.

Metode umum yang digunakan dalam melakukan *hindcasting* gelombang adalah mengambil data gelombang tertinggi tahunan hasil *hindcasting* selama 10 tahun. Gelombang ekstrem rencana kemudian dihitung setelah mendapatkan tinggi dan periode gelombang maksimum setiap tahunnya yang didapatkan dari *hindcasting* gelombang. Berdasarkan standar perencanaan dermaga (Triatmodjo, 2010 & OCDI, 2009) periode ulang gelombang yang biasa digunakan yaitu periode ulang 50 tahunan untuk operasional dan 100 tahunan untuk kondisi ekstrem Akan tetapi metode ini kurang relevan karena terkadang ada waktu singkat gelombang tinggi terjadi dengan cepat akibat adanya badai lokal meskipun pada bulan tersebut angin rata-rata yang terjadi tidak terlalu besar. Hal ini membuat gelombang desain menjadi tidak representative dibandingkan dengan kondisi riil di lapangan.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan cukup berbeda dibandingkan dengan metode yang umumnya dilakukan dalam perencanaan pelabuhan, yaitu mengkaji setiap gelombang ekstrem dari setiap sisi 8 arah mata angin dengan mencari tinggi gelombang ekstrem bulanan selama 10 tahun. Analisis bulanan dalam 10 tahun dapat dianggap representatif untuk mengamati kondisi perubahan cuaca dan angin La Nina dan El Nino. Indonesia memiliki angin muson timur yang berhembus pada bulan April hingga Oktober sedangkan angin muson barat pada bulan Oktober hingga April. Hal ini menyebabkan properti gelombang seperti tinggi dan periode gelombang akan berbeda-beda pada musim tertentu sehingga ada kemungkinan analisis gelombang ekstrem tahunan dapat dianggap kurang representatif. Dengan melakukan analisis gelombang ekstrim bulanan, Besar tinggi gelombang setiap bulannya dapat dianalisis sehingga bermanfaat dalam operasional pelabuhan. Studi ini juga memperhitungkan perubahan gelombang akibat *shoaling,* refraksi, dan difraksi yang dibantu dengan menggunakan model numerik. Pentingnya melakukan analisis transformasi gelombang agar gelombang yang dikaji pada wilayah tersebut lebih representative setelah gelombang tersebut pecah atau mengalami perubahan arah akibat perebedaan kontur.

Keterbatasan data menyebabkan batasan penelitian ini tidak dapat dilakukan verifikasi langsung pada hasil nilai gelombang ekstrem yang dianalisis. Kurangnya perekaman data gelombang di wilayah studi menjadi faktor pembatas pada penlitian kali ini. Akan tetapi metode yang digunakan pada studi ini dalam melakukan perhitungan *hindcasting* yang saintifik dan ilmiah yang sudah divalidasi oleh lembaga riset di dunia sehingga analisis gelombang esktem pada studi ini dapat digunakan dalam pengembangan Pelabuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil perhitungan gelombang yang optimal sehingga *owner* pelabuhan dapat menentukan tinggi gelombang dalam melakukan Perencanaan pengembangan pelabuhan di Pelabuhan Carocok, Sumatera Barat. Hasil Analisis ini juga dapat digunakan dalam melakukan studi mitigasi oleh pihak *owner* karena luaran pada penelitian ini didapatkannya tinggi gelombang ekstrem yang terjadi setiap bulannya sehingga *owner* dapat melakukan mitigasi pada bulan-bulan tertentu yang musim gelombang yang terjadi cukup tinggi.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan kajian perhitungan gelombang yang didapatkan dari data primer maupun sekunder. Data primer yaitu data yang dikumpulkan di lapangan seperti peta batimetri dan data sekunder yang digunakan yaitu data angin yang didapatkan dari stasiun pengamatan terdekat Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika dari lokasi studi tinjauan.

Hindcasting Gelombang Laut

Gelombang yang terjadi di pinggir pantai umumnya memiliki rentang periode 1-9 detik. Berdasarkan klasifikasi gelombang berdasarkan frekuensinya dalam buku Teknik Pantai *Triatmodjo*, 1999, rentang periode ini termasuk gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin/ *wind-wave driven*. *Hindcasting* gelombang merupakan metode untuk memprediksi tinggi gelombang laut dari perhitungan data angin jam-jaman dengan besarnya nilai *fetch* atau luas area pembangkitan gelombang. Data angin kemudian dikoreksi terlebih dahulu yaitu koreksi elevasi, koreksi stabilitas, koreksi tempat, dan koreksi gesek. Titik *fetch* dibuat di laut dalam sehingga area pembangkitan gelombang belum terkena dampak dari refraksi dan *shoaling* di laut dangkal. Hal ini karena perhitungan prediksi *hindcasting* tidak memperhitungkan faktor transformasi gelombang. Area *fetch* dihitung dengan persamaan (1) berikut berdasarkan *Shore Protection Manual* (SPM)*, Department of The Army, Coastal Engineering Research Center,* 1984:

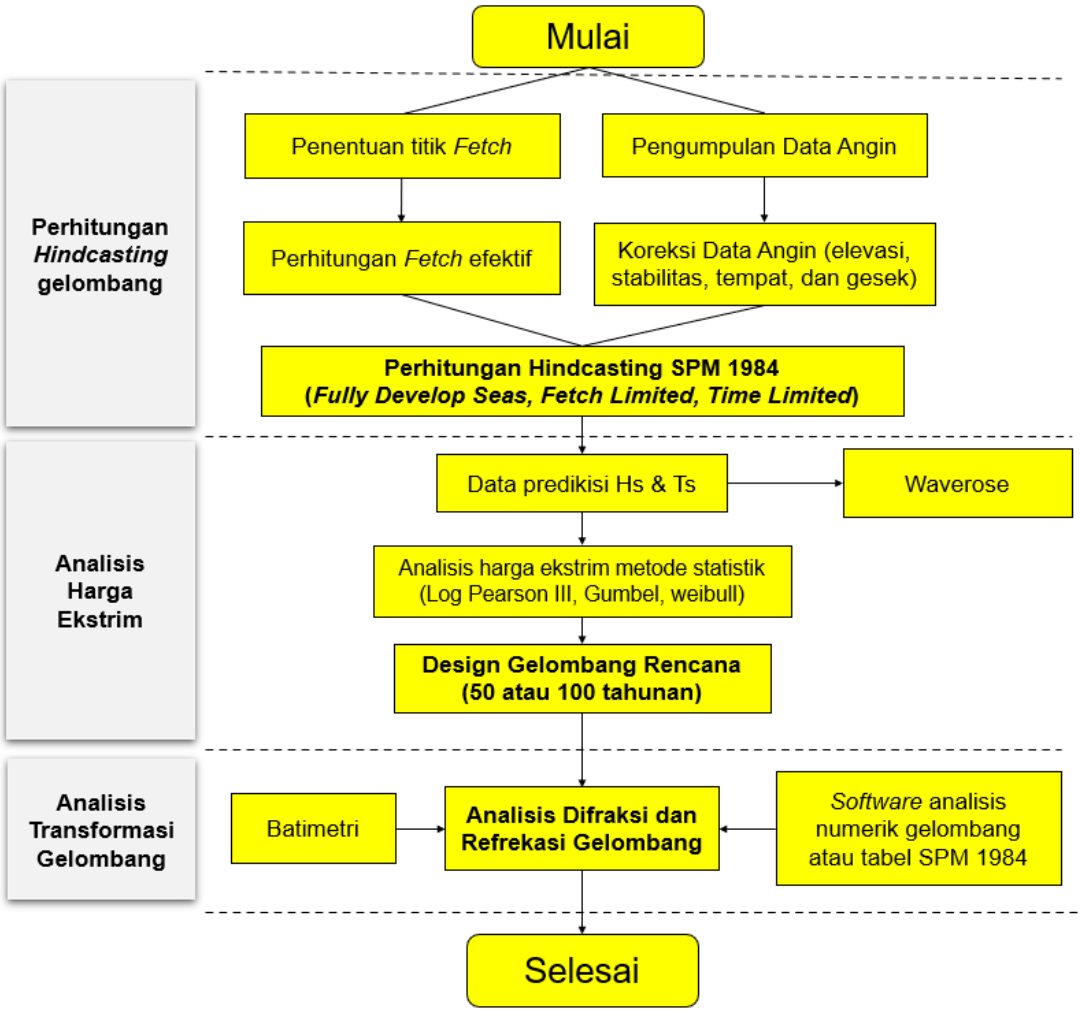
$$F_{eff} = \frac{\sum F_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Dengan deskripsi:

F_{eff} = Panjang garis *fetch* efektif dari arah tertentu

α_i = Besar sudut per garis *fetch* sesuai dengan arah tertentu

Gambar 1 menunjukkan diagram alir perhitungan *hindcasting* gelombang laut. Peramalan gelombang dibagi menjadi tiga bagian, yaitu perhitungan *hindcasting* gelombang, analisis harga ekstrem, dan analisis transformasi gelombang. Perhitungan *hindcasting* gelombang meliputi pengumpulan data angin dan penentuan titik *fetch* yang nantinya untuk dilakukan perhitungan berdasarkan SPM 1984 dengan membagi ketiga kondisi yaitu saat *fully developed seas, fetch limited, time limited* (CERC, 1984).



Gambar 1. Diagram alir (*workflow*) analisis gelombang dengan cara *Hindcasting* sesuai acuan *Shore Protection Manual* 1984 (CERC, 1984)

Untuk perhitungan *fully developed seas* pada persamaan (2) adalah berikut

$$\frac{gH_{m0}}{{U_a}^2} = 0{,}2433\ ;\ \frac{gT_p}{U_a} = 8{,}132\ ;\ \frac{gt}{U_a} = 71500 \quad \text{.....} \quad (2)$$

saat *fetch limited* dan *time limited* persamaan empirisnya pada persamaan (3) adalah sebagai berikut

$$\frac{gH_{m0}}{{U_a}^2} = 0{,}016\left(\frac{gF}{{U_a}^2}\right)^{\frac{1}{2}}\ ;\ \frac{gT_p}{U_a} = 8{,}132\ ;\ \frac{gt_d}{U_a} = 68{,}8\left(\frac{gF}{{U_a}^2}\right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{.....} \quad (3)$$

dengan g = gravitasi; U_a= kecepatan angin setelah koreksi (m/s) ; H_{m0} = Gelombang berbasiskan spektrum ; T_p = Periode Maksimum Spektrum ; F = Besar nilai *fetch* efektif dalam satu arah tertentu (m). Kemudian dari hasil yang didapatkan, maka dengan persamaan (Goda, 2000) $H_{m0} \approx H_s$ dan $T_s = 0.95\ T_p$ kemudian dapat dicari nilai gelombang dan periode signifikan. Dari perhitungan kemudian didapatkan nilai Hs dan Ts kemudian dilakukan analisis harga ekstrem dengan metode statistik untuk mendapatkan desain gelombang rencana dengan periode ulang tertentu. Setelah itu dilakukan analisis difraksi dan refraksi gelombang menggunakan model numerik untuk mendapatkan tinggi gelombang di daerah pantai.

Gelombang Ekstrem Rencana

Metode statistik merupakan metode umum untuk mencari analisis harga ekstrem yang biasa digunakan dalam menentukan curah hujan. Metode ini juga dapat digunakan dalam konteks mencari tinggi gelombang ekstrem gelombang laut (Putri et al, 2017). Beberapa metode metode statistik dapat digunakan dalam melakukan analisis gelombang ekstrem seperti distribusi normal, Gumbel, dan Log Pearson III (Binilang, 2014). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan dalam melakukan analisis frekuensi yaitu menggunakan Log-Pearson tipe III. Metode ini dipilih karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Millington et al (2011) menunjukkan Log-Pearson tipe III memberikan hasil yang cukup akurat dibandingkan dengan Gumbel atau distribusi normal. Rumus tinggi gelombang rencana untuk Log-Pearson III adalah sebagai berikut:

$$Log(H_{st}) = \overline{Log\ (H)} + KS_{dev} \quad \text{.....} \quad (4)$$

Dengan :

H_{st} = Tinggi gelombang rencana dengan periode ulang tertentu

$\overline{Log\ (H)}$ = Tinggi gelombang signifikan rata-rata logaritmik

S_{dev} = Simpangan baku data gelombang

K = Faktor frekuensi tergantung metode yang digunakan (tersedia pada table distribusi *log pearson*)

Model Numeris Transformasi Gelombang

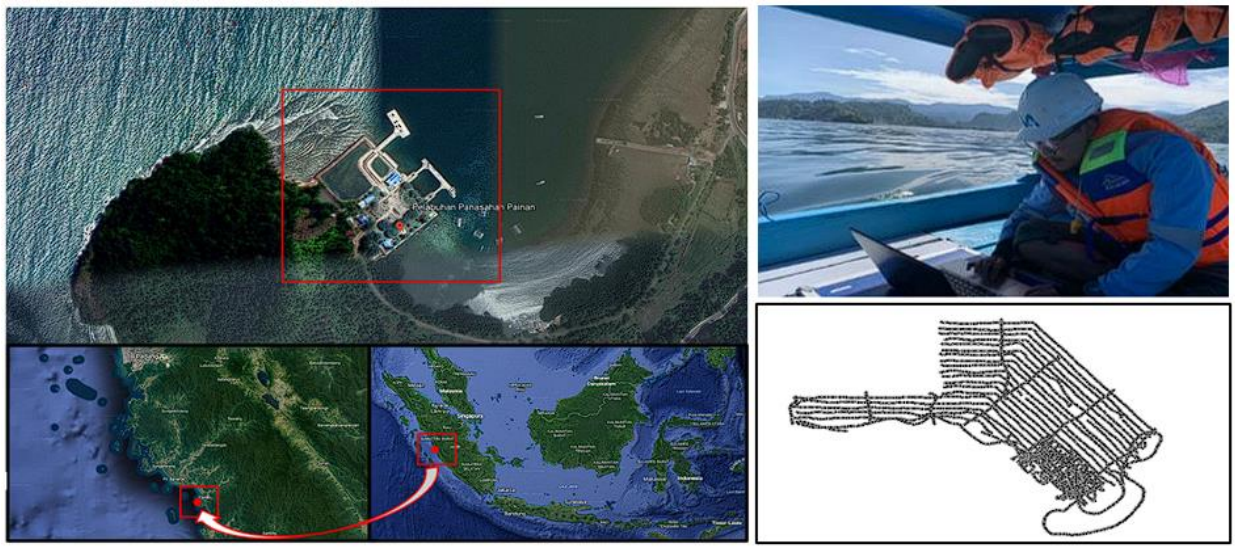
Saat gelombang menjalar dari laut dalam ke laut dangkal, Gelombang laut saat merambat mengalami perubahan ketinggian, periode, dan panjang gelombang diakibatkan adanya perubahan kontur kedalaman. Fenomena yang umum terjadi adalah *shoaling,* refraksi, dan difraksi. Dalam penelitian ini akan digunakan perangkat lunak *Mike21* dalam melakukan transformasi gelombang di area pelabuhan. Mike 21 adalah aplikasi untuk memodelkan gelombang secara numerik yang banyak dipakai di area sungai, pantai, maupun laut lepas (Cezalipi, 2017). *Spectral Wave* (SW) merupakan salah satu modul *Mike 21* yang berfungsi dalam mencari tinggi gelombang setelah transformasi seperti *shoaling,* refraksi, maupun difraksi (DHI, 2013). Perangkat lunak

ini menggunakan persamaan umum gelombang linear yaitu persamaan dispersi dengan σ = frekuensi gelombang, g = gravitasi, k= bilangan gelombang, dan d = kedalaman gelombang.

$$\sigma = gk \tanh kd \quad \text{.....} \quad (5)$$

Selain itu setiap refraksi, difraksi, dan *shoaling* juga diperhitungkan dengan menggunakan prinsip numeris energi gelombang. Dikarenakan kompleksnya perhitungan, maka *software* ini mampu membantu perhitungan secara numerik.

Lokasi Penelitian dan Pengumpulan Data



Gambar 2. Lokasi penelitian Pelabuhan Carocok Painan, Sumatera Barat (kiri) dari *google earth* dan pengambilan data batimetri di area Pelabuhan

Seperti yang sudah dijelaskan pada bagian latar belakang, penelitian ini mengambil studi kasus di Pelabuhan Carocok Painan, Sumatera Barat seperti yang terlihat pada Gambar 2 yang diambil dari *google earth*. Terlihat bahwa Pelabuhan terletak di area tanjung dengan arah dermaga membentuk 90° terhadap laut lepas

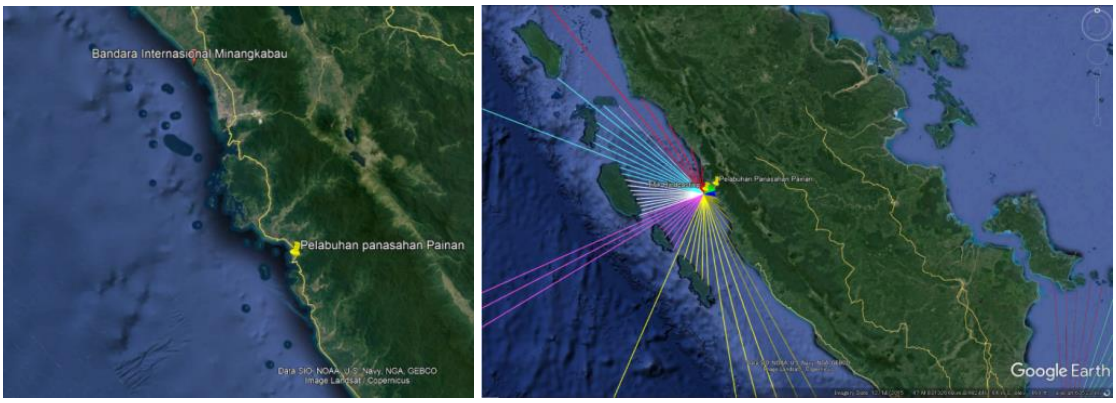
Pengukuran batimetri dilakukan di lapangan dengan luasan seperti yang terlihat pada Gambar 2 (kanan). Batimetri cukup detail diambil di area dekat Pelabuhan, sedangkan untuk di area luar jarak yang dibuat cukup renggang. Batimetri di area lepas pantai sudah cukup dalam dengan kedalaman sekitar 18 meter. Pengukuran batimetri secara detail diperlukan untuk membuat *mesh* dalam perhitungan numerik.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fetch Gelombang dan Perhitungan Hindcasting

Data angin jam-jaman diperlukan dalam melakukan hindcasting gelombang. Akan tetapi untuk mendapatkan data angin yang berada di lokasi pengamatan sangatlah sulit karena keterbatasan data. Oleh karena itu, data angin diambil dari stasiun pengamatan angin terdekat. Stasiun angin terdekat dengan lokasi pelabuhan adalah stasiun pengamatan angin di Minangkabau International Airport (sumber: http://aviation.bmkg.go.id/web/station.php?c=ID&pn=1). Data diekstrak selama 10

tahun. Gambar 3 di sebelah kiri menunjukkan lokasi stasiun pengamatan data angin yang terletak pada Gambar 3 sebelah kanan menunjukkan besar fetch gelombang yang terbentuk di lokasi pengamatan Pelabuhan Carocok dari 8 penjuru mata angin.



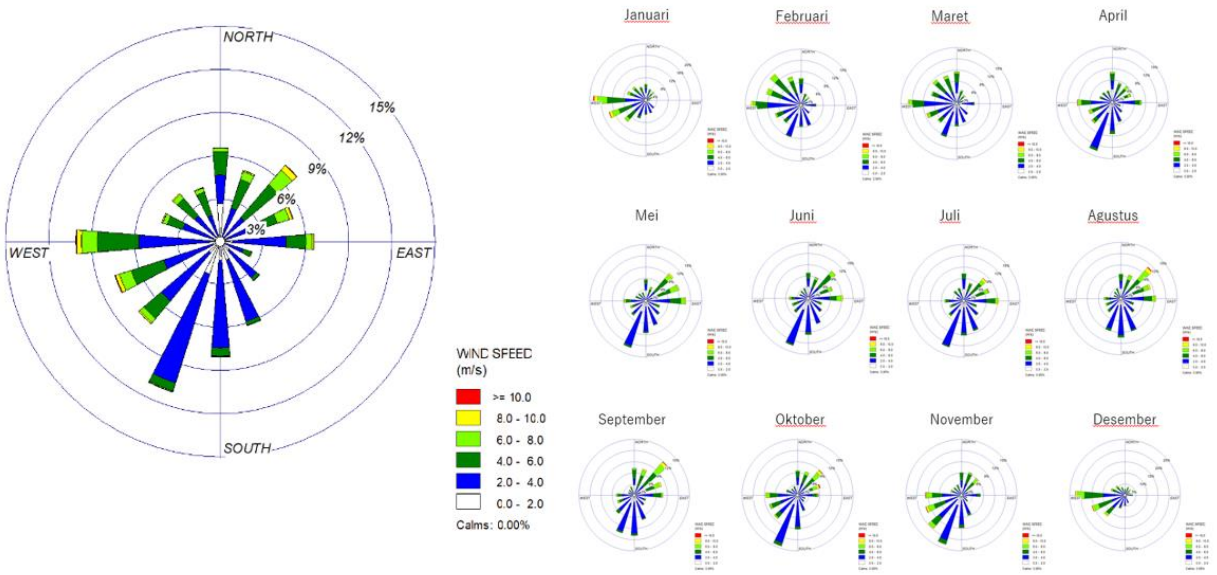
Gambar 3. Stasiun Pengamatan Angin yang terletak di Bandara Internasional Minangkabau (kiri) dan *Fetch hindcasting* Pelabuhan Carocok, Sumatera Barat dari 8 penjuru mata angin

Rekapan perhitungan *fetch* efektif berdasarkan persamaan (2) ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil perhitungan, besar area *fetch* terbesar terjadi dari arah Selatan sebesar 528 km, Barat Daya sebesar 323 km, dan Barat Laut sebesar 303 km. Hal ini karena letak titik *fetch* di area selatan dan barat daya langsung menghadap ke laut lepas

Tabel 1. Rekapitulasi area *fetch* untuk delapan mata angin

Arah *Fetch* Efektif	**Besar *Fetch* (m)**	**Arah *Fetch* Efektif**	**Besar *Fetch* (m)**
N (Utara)	120.204	S (Selatan)	528.433
NE (Timur Laut)	19.283	SW (Barat Daya)	323.031
E (Timur)	20.922	W (Barat)	133.325
Arah *Fetch* Efektif	**Besar *Fetch* (m)**	**Arah *Fetch* Efektif**	**Besar *Fetch* (m)**
SE (Tenggara)	211.154	NW (Barat Laut)	303.888

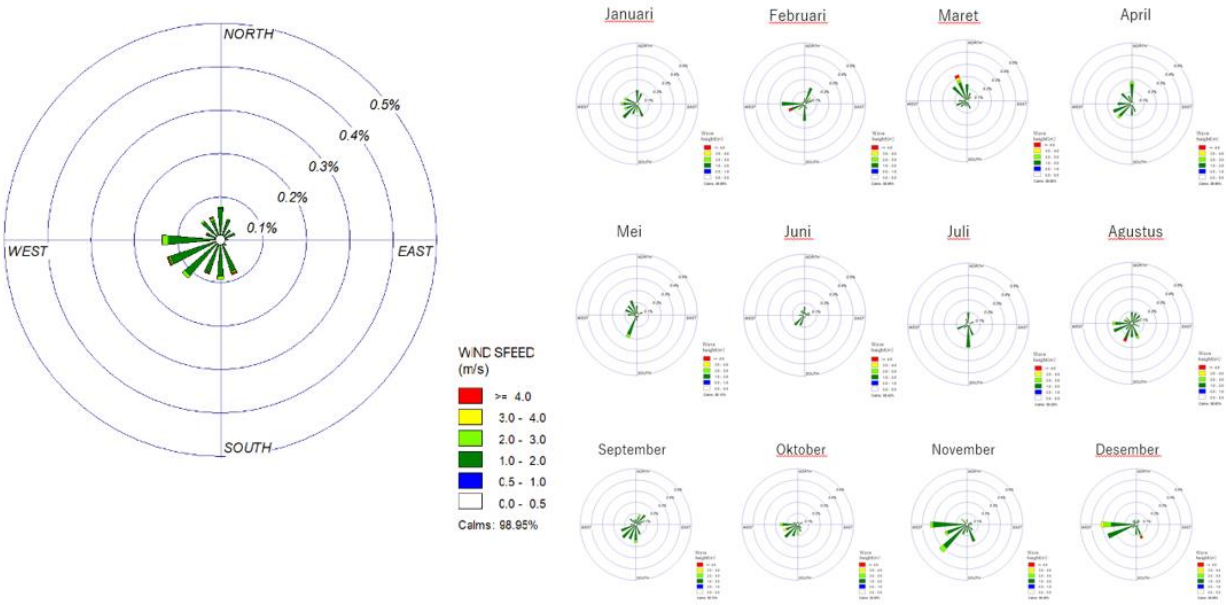
Gambar 4 merupakan mawar angin (*windrose*) dengan data selama 10 tahun (kiri) dan juga mawar angin setiap bulannya (kanan) yang diambil dari stasiun pengamatan angin. Mawar angin selama 10 tahun menunjukkan bahwa angin cukup dominan berasal dari arah barat dengan besar kecepatan angin 6-8 m/s dan barat daya dengan kecepatan angin 2-4 m/s. Untuk setiap bulannya, angin dominan dari arah barat dan barat laut terjadi pada bulan November- April sedangkan untuk Mei-Desember dominan terjadi dari arah Barat Daya. Bulan Januari-Maret umumnya terjadi dari arah Barat dan Barat Laut.



Gambar 4. Mawar angin tahunan (kiri) dan bulanan data 10 tahun (kanan)

Setelah dilakukan perhitungan *hindcasting* gelombang, didapatkan tinggi gelombang hasil *hindcasting* pada jaman-jaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 yaitu mawar gelombang (*waverose*) dengan data selama 10 tahun (kiri) dan juga mawar gelombang setiap bulannya (kanan). Untuk arah mawar angin dan mawar gelombang tidak berbeda karena perhitungan yang didapatkan merupakan hasil gelombang karena gesekan angin sehingga memiliki arah dominan datang gelombang yang sama di barat dengan tinggi gelombang sekitar 2 m dan barat daya dengan tinggi 1-2 meter. Akan tetapi untuk di area timur, timur laut, dan utara, gelombang yang terjadi hanya sedikit karena *fetch* yang terbentuk sangat kecil dan terhalang oleh daratan. Terlihat pada *waverose* setiap bulannya terjadi dominan hanya di bulan November- April. Hal ini karena angin yg dominan berasal dari timur laut tidak memiliki *fetch*.

Tabel 2 merupakan rekapan tinggi gelombang maksimum setiap tahun dari perhitungan *hindcasting* dari tahun 2012-2021. Didapatkan tinggi gelombang terjadi maksimum pda tahun 2014 dengan besar 4,98 m dan periode 10,38 s. Tabel 3 menunjukkan rekapan Hs 50 dan 100 tahunan *hindcasting* setiap bulan. Terlihat tinggi gelombang tertinggi berada di bulan Desember 4,47 m dan Ts 9,81 s dari arah barat.



Gambar 5. Mawar gelombang hasil *hindcasting* tahunan (kiri) dan bulanan untuk data 10 tahun(kanan)

Tabel 2. Tinggi dan periode gelombang signifikan (hs) tahunan data 10 tahun *hindcasting*

Tahun	Hs (m)	Ts (s)	Tahun	Hs (m)	Ts (s)
2012	1,76	5,97	2017	2,15	7,72
2013	3,92	8,79	2018	1,12	5,00
2014	4,98	10,38	2019	1,25	5,33
2015	2,32	5,97	2020	1,25	5,49
2016	4,11	8,37	2021	1,59	6,20

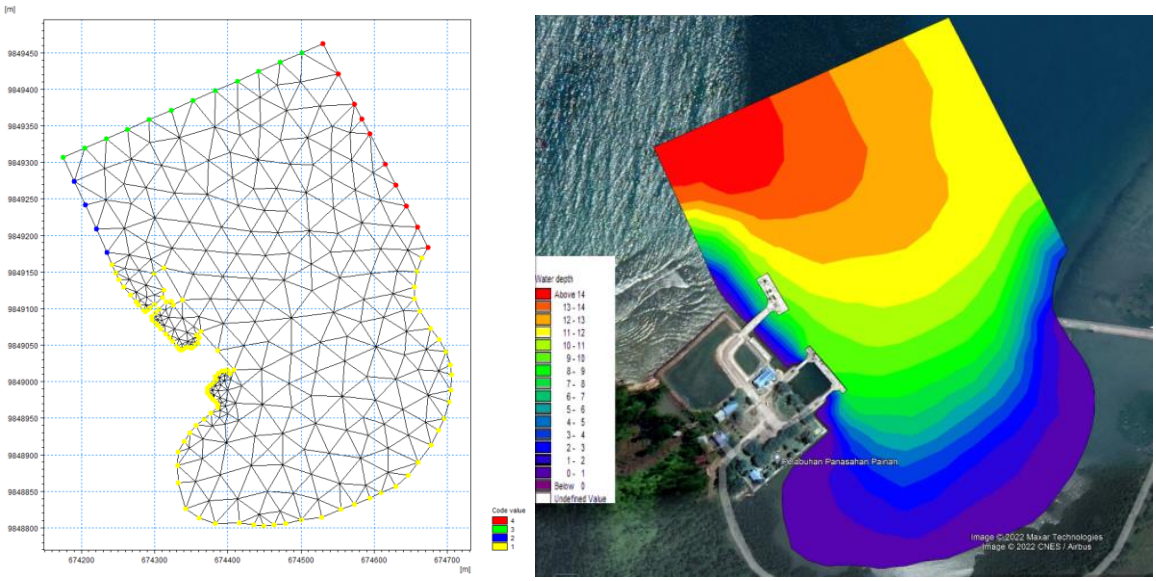
Tabel 3. Tinggi dan periode gelombang signifikan (hs) tertinggi bulanan data 10 tahun hindcasting

Analisis Gelombang ekstrem hasil *Hindcasting* data 10 tahun setiap bulan												
Periode Ulang	**Januari (W)**		**Februari (W)**		**Maret (NW)**		**April (N)**		**Mei (SW)**		**Juni (SW)**	
	Hs (m)	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**
50	3,05	8,07	3,24	8,07	3,41	8,63	2,77	7,83	3,16	7,97	3,64	8,74
100	3,14	8,17	3,45	8,17	3,72	8,92	2,83	7,90	3,34	8,26	3,93	8,89
	Juli (S)		**Agustus (SW)**		**September (SW)**		**Oktober (SW)**		**November (SW)**		**Desember (W)**	
Periode Ulang	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Hs (m)**	**Ts (s)**
50	3,12	8,03	3,36	7,90	2,95	7,94	3,37	8,33	3,44	8,67	4,23	9,40
100	3,28	8,18	3,42	7,96	3,05	8,07	3,67	8,48	3,56	8,81	4,47	9,81

Hasil Pemodelan Numerik Gelombang

Setelah didapatkan Gelombang ekstrem dengan periode ulang 50 dan 100 tahunan seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3, maka kemudian hasil gelombang ini dijadikan sebagai *input* dalam melakukan pemodelan numerik di dalam *boundary condition (BC)* / kondisi batas yang telah dibuat sesuai dengan *mesh.* Gambar 6 (kiri) menunjukkan titik BC yang terletak di utara, timur, dan barat. Sedangkan untuk area dermaga dan arah selatan berbatasan langsung dengan daratan sehingga dianggap gelombang tidak dapat melewati wilayah tersebut. Gambar 6 (kanan) menunjukkan *mesh*

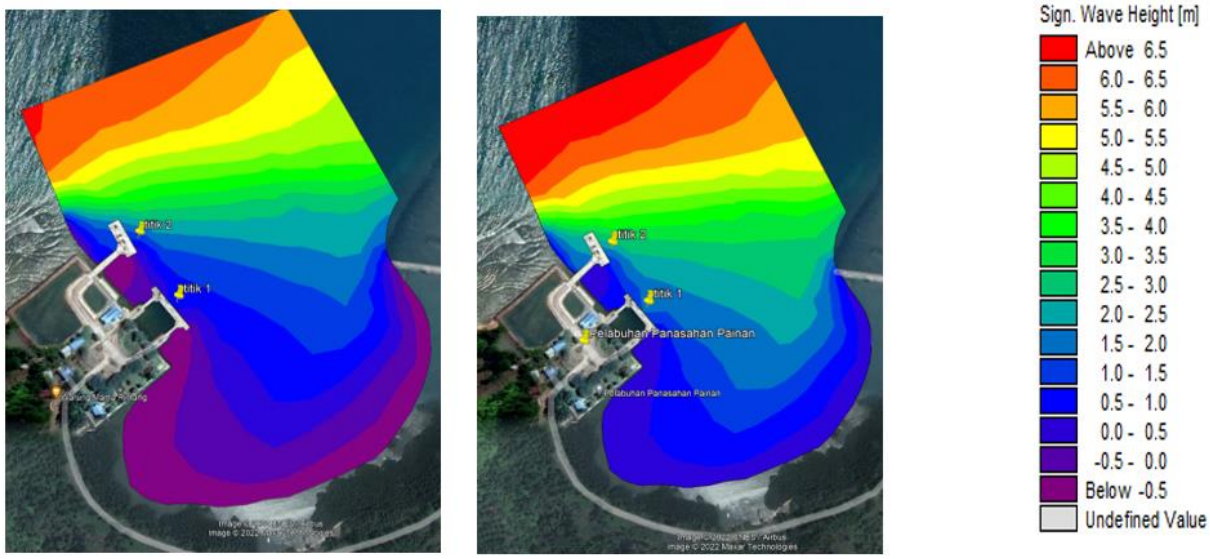
bathimetri kedalaman area pemodelan yang diekstrak dari data ukur lapangan. Terlihat di area dermaga yang menjorok ke lepas pantai memiliki kedalaman sekitar 10-12 meter sedangkan untuk dermaga dekat pantai hanya sekitar 8-9 meter.



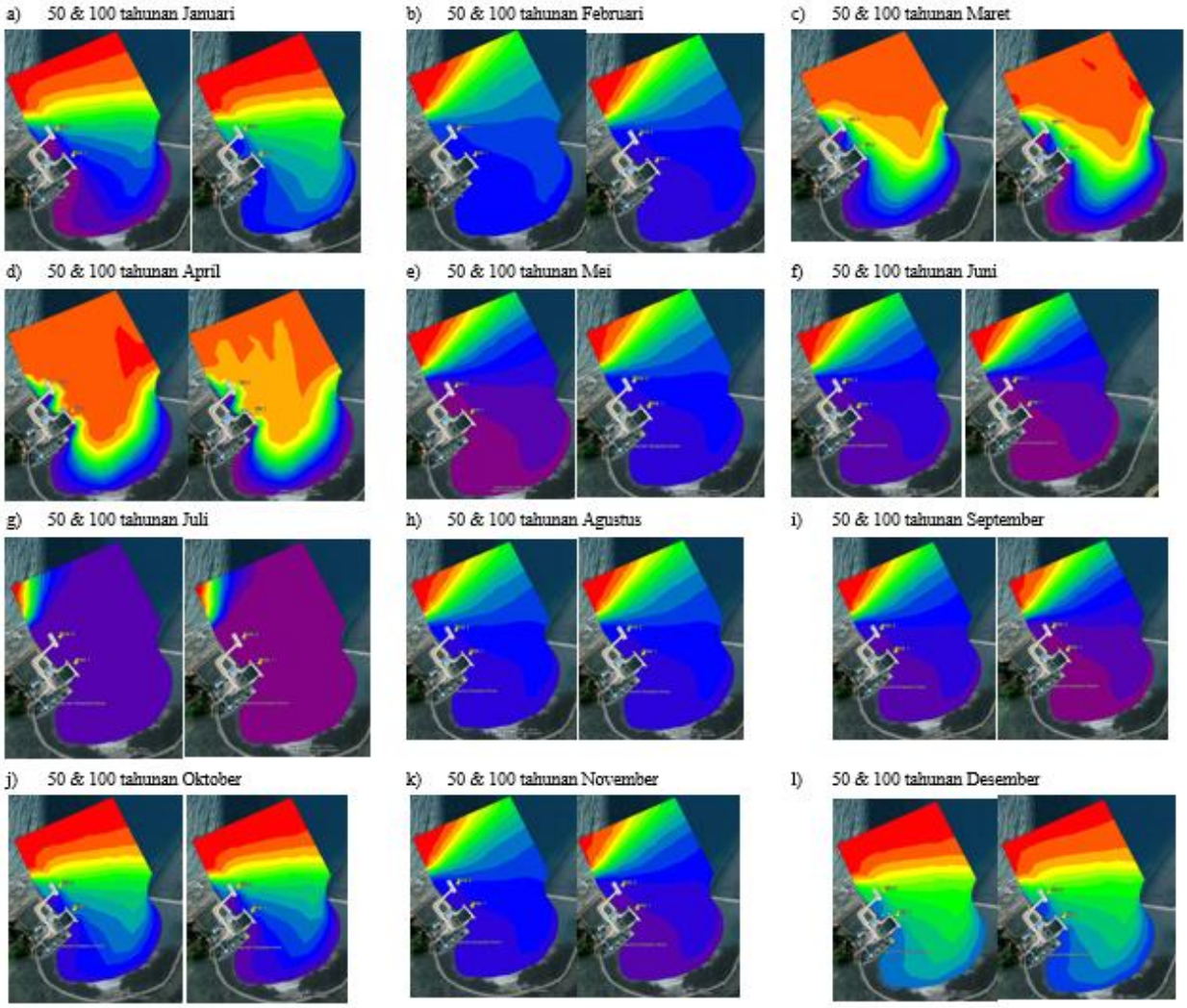
Gambar 6. *Mesh* dan Batimetri pemodelan numerik transformasi gelombang Pelabuhan Carocok

Gambar 7 menunjukkan hasil pemodelan numerik transformasi gelombang dengan *input* data gelombang ekstrem tahunan untuk periode ulang 50 dan 100 tahunan sedangkan Gambar 8 menunjukkan hasil pemodelan numerik dengan *input* data gelombang ekstrem bulan Januari-Desember. Titik tinjauan diambil menjadi 2 titik, yaitu titik 2 di dermaga yang dermaga yang menjorok ke lepas pantai dan titik 1 di dermaga yang dekat kepantai. Terlihat adanya variasi warna di dalam kolam dermaga yang mengindikasikan adanya transformasi gelombang akibat perbedaan kontur kedalaman. Arah gelombang dalam pemodelan juga berpengaruh tergantung pada bulan saat maksimum. Untuk tahunan gelombang dianggap dominan berasal dari arah barat.

a) 50 tahunan b) 100 tahunan



Gambar 7. Hasil transformasi gelombang model numerik 50 tahunan dan 100 tahunan



Gambar 8. Hasil transformasi gelombang model numerik 50 tahunan dan 100 tahunan setiap bulan

Tabel 4 menunjukkan rekapan hasil tinggi dan periode gelombang ekstrem hasil transformasi gelombang di titik tinjuan yaitu Titik 1 dan Titik 2 pada simulasi model gelombang ekstrem tahunan periode ulang 50 dan 100 tahunan. Hs di dermaga 1 umumnya lebih kecil daripada dermaga 2 karena kedalaman kolam lebih dangkal. Untuk perhitungan yang menggunakan tahunan, Hs di dermaga 2 mencapai 2-meter sedangkan untuk dermaga 1 dibawah 2 meter.

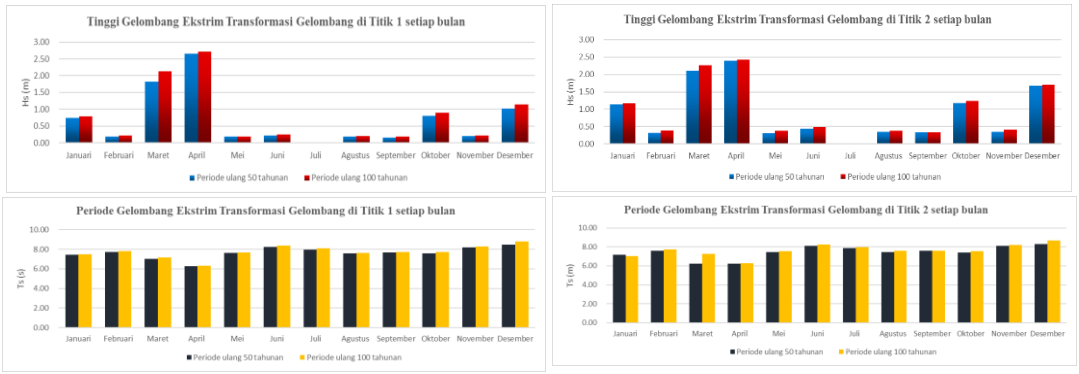
Tabel 4. Tinggi dan periode gelombang ekstrem 50 dan 100 tahunan di Titik 1 dan Titik 2 dari data 10 tahunan

Titik 1			Titik 2		
Periode Ulang	**Hs (m)**	**Ts (s)**	**Tahun**	**Hs (m)**	**Ts (s)**
50	1,60	10,05	50	2,33	9,79
100	1,71	10,47	100	2,61	10,35

Gambar 9 menunjukkan grafik tinggi dan periode gelombang signifikan (Hs dan Ts) dalam setiap bulan di titik 1 dan titik 2. Dari grafik terlihat bahwa pada bulan April tinggi gelombang terbesar terjadi pada bulan April dengan besar tinggi gelombang 50 tahunan dan 100 tahunan di titik 1 sebesar 2,66 m dan 2,72 m dengan periode 6,25 s dan 6,3 s sedangkan di titik 2 sebesar 2,32 m dan 2,42 m dengan periode 6,21 s dan 6,27 s. Secara umum nilai Hs mencapai lebih dari 1 m di bulan

Maret, April, dan Desember dengan titik 2 lebih besar dibandingkan titik 1 kecuali pada bulan April. Besar periode gelombang relatif sama di setiap bulan dengan rentang 6-8 s dengan periode terkecil pada bulan April. ini menunjukkan bahwa gelombang besar terjadi di bulan April dengan periode yang paling pendek sehingga mengakibatkan panjang gelombang lebih pendek dibandingkan pada bulan lainnya.

Perbandingan antara analisis harga ekstrem Hs bulanan dan tahunan menunjukkan terjadi perbedaan dengan besar nilai Hs ekstrem pada bulan April di titik 1 lebih besar 160%. Sedangkan untuk titik tinjauan 2, nilai gelombang signifikan hamper sebanding dengan nilai Hs untuk 100 tahunan di bulan April lebih kecil 8%. Sedangkan untuk bulan Juli, gelombang yang terjadi sangatlah kecil mendekati nilai nol karena arah gelombang dominan terjadi dari arah Selatan. Arah dominan gelombang pada setiap bulan akan mempengaruhi besar gelombang di titik tinjauan mengingat adanya hasil dari transformasi gelombang akibat refraksi gelombang.



Gambar 9. Tinggi dan Periode Gelombang ekstrem 50 dan 100 tahunan di Titik 1 dan Titik 2 untuk setiap bulan

Rekomendasi Desain Pelabuhan

Hasil Analisis diatas menunjukkan bahwa adanya perbedaan nilai gelombang ekstrem bila ditinjau bulanan dan tahunan. Perbedaan nilai Hs tertinggi bila ditinjau bulanan terjadi perbedaan cukup signifikan pada titik tinjauan 1. Dengan menggunakan metode analisis ekstrem bulanan, tinggi gelombang ekstrem setiap bulannya dapat teridentifikasi. Misalnya, gelombang ekstrem pada Pelabuhan dengan lebih dari satu (1) meter terjadi di bulan Maret, April, dan Desember. Dari hasil studi ini, pihak perencana dapat melakukan desain dengan menggunakan hasil yang maksimum bulanan pada bulan April dengan besar Hs 50 tahunan di titik 1 & 2 sebesar 2,66 m dan 2,32 m. Apabila dianggap tinggi gelombang desain terlalu *overestimate* karena 9 bulan lainnya gelombang yang terjadi cukup kecil, maka dapat diambil nilai Hs kedua tertinggi yang terjadi pada bulan maret dengan besar Hs 50 tahunan di titik 1&2 dengan besar 1,8m dan 2,1 m. Akan tetapi pihak *owner* harus siap apabila terjadi gelombang ekstrem yang lebih tinggi di bulan April sehingga diperlukan upaya mitigasi untuk mengurangi kerusakan. Hal ini tidak dianjurkan dalam melakukan kriteria desain dermaga agar tidak memerlukan perbaikan apabila terjadi gelombang besar pada bulan April.Selain itu, analisis ini juga memperlihatkan perlunya persiapan pada bulan Maret, April, dan Desember untuk menghadapi ancaman gelombang tinggi sehingga aktivitas di pelabuhan dapat dikurangi pada bulan tersebut.

D. KESIMPULAN

Hasil Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan untuk perhitungan gelombang ekstrem antara metode dengan mengambil data gelombang tertinggi setiap tahun dan perhitungan gelombang tertinggi setiap bulan selama 10 tahun. Terjadi perbedaan perhitungan terutama di bulan april dimana ketinggian gelombang ekstrem lebih tinggi di titik tinjauan dibandingan dengan tinggi gelombang tahunan. Metode ini dapat digunakan dalam perencanaan pelabuhan agar mendapatkan variasi nilai Hs tertinggi dalam setiap bulannya. Variasi gelombang ekstrem yang dihasilkan dapat membuat perencanaan lebih optimum dan lebih nyata sesuai dengan musim yang terjadi setiap bulannya. Minimum banyaknya data untuk analisis ini adalah 10 tahun agar mendapatkan fase La Nina dan El Nino yang mempengaruhi kecepatan angin sehingga analisis ekstrem mendekati kondisi nyata. Metode ini akan lebih baik apabila ada perekaman data gelombang maksimum bulanan yang terjadi di wilayah tinjuan untuk validasi model numerik transformasi gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, et al. (2021). "Analisa Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang (Breakwater) Pada Pelabuhan Ikan Tanjung Tiram". *Buletin Utama Teknik Vol. 16, No. 3*

Binilang, I. A. (2014). "Analisis Karakteristik Gelombang Di Pantai Kecamatan Belang Kabupaten Minahasa Tenggara". *TEKNO SIPIL* Vol 12 No.60

CERC. (1984). *Shore Protection Manual. Vol. I, CERC Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers*, Washington.

Cezalipi, J., Prasetyawan, I. B., & Marwoto, J. (2017). "Kajian Karakterisitik Gelombang Laut Akibat Pengaruh Rencana Pembangunan Pelabuhan Patimban, Subang". *Journal of Oceanography*, 6(3), 475 – 484.

DHI. 2013. *MIKE 21 Spectral Wave Module Scientific Documentation*

Goda, Yoshimi. 2000. Random Seas and Design of Maritime Structures. *World Scientific Book.*

Karima, Dzakia Amalia dan Bambang Sarwono. (2017). "Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang di Teluk Sumbreng, Kabupaten Trenggalek". *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), D284-D289

Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KP 432 Tahun 2017 Tentang Rencana Induk Pelabuhan Nasional

Millington, Nick; Das, Samiran; and Simonovic, Slobodan P.(2011). "The Comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River Watershed under Global Climate Models" . *Water Resources Research Report. 40.*

Overseas Coastal Area Development Institute (OCDI) of Japan. (2009). *Technical Standards And Commentaries For Port And Harbour Facilities In Japan*. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) port and research institute

Purwono, Novi Andhi Setyo. (2020). "Analisa Kejadian Gelombang Dengan Metode Empirik Dan Model Matematik Di Kawasan Perairan Pelabuhan Tanjung Laut". *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering* Vol 3, No 1

Putri, Dio Mega dan A. Perwira Mulia Tarigan. (2017). Analisis Statistik Gelombang Yang Dibangkitkan Oleh Angin Untuk Pelabuhan Belawan. Repositori Institusi Universitas Sumatera Utara.

Ristiyanto, A., Murtadlo, A., Salamun, S., & Budieny, H. (2015). "Perencanaan Kolam Pelabuhan Pondok Dayung Fasharkan Tanjung Priok Jakarta Utara". *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 41-56

Suwardi, B. S., Pandoe, W. W., Adrianto, D., & Widodo, K. S. (2022). "Analisa Gelombang pada Dermaga Kolam Pelabuhan Pondokdayung di Tanjungpriok Jakarta". *Jurnal Chart Datum*, 1(2), 93–106.

Triatmodjo, Bambang. (1999). *Teknik Pantai (Edisi Kedua)*, Beta Offset, Yogyakarta.

Triatmodjo, Bambang, (2010). *Pelabuhan*, Beta Offset, Yogyakarta.

RISK AND RELIABILITY ANALYSIS OF WONOGIRI DAM *SPILLWAY*

Eka Oktariyanto Nugroho[1*], David Mickaelson Samosir[2,3], Asep Yusuf [4], Giyanto[4], Adyastari Katresna Santika[4], Yadi Suryadi[1], Muhammad Farid[1], Arno Adi Kuntoro[1], Edi Riawan[5], and Rani Gayatri Kusumawardhani Pradoto[6]

[1*]Water Resources Engineering Research Group, Civil Engineering Study Program, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bandung Institute of Technology (ITB)
Email: nugrohoeka@itb.ac.id (Corresponding author), yadisuryadi1991@gmail.com, m.farid@itb.ac.id, arnoak@itb.ac.id
[2]Study Program of Water Resources Engineering and Management, Bandung Institute of Technology (ITB), Labtek 1B, Let. Jen. Purn. Dr. (HC). Mashudi st. No.1, West Java
[3]Badan Pengusahaan Batam (BP Batam), Ibnu Sutowo st. No. 1 Batam
Email: mickaelsondavid@gmail.com
[4]Magister Study Program of Water Resources Management, Civil Engineering Study Program, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bandung Institute of Technology (ITB)
Email: asep.yusufst@gmail.com, gie.dpu@gmail.com, akatresnas@gmail.com
[5]Atmospheric Science Research Group, Faculty of Earth Science and Technology, Bandung Institute of Technology (ITB)
Email: ediriawan@itb.ac.id
[6]Management and Construction Engineering Research Group, Civil Engineering Study Program, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bandung Institute of Technology (ITB)
Email: ranipradoto@itb.ac.id

ABSTRACT

Wonogiri Dam is a multifunction dam as a flood controller, irrigation, Hydro Electric Power Plant (PLTA), and tourist destination. The dam is located in the south of Wonogiri Regency of Central Java Province. The Wonogiri Dam was built in 1976 and began operations in 1982. As time goes by, the upstream land cover has changed which caused an increase in the coefficient value (c). This value impacting of inflow discharge entering the Wonogiri Dam, while the existing spillway capacity was designed based on the capacity initial design. Spillway capacity reliability analysis is needed to determine the level of reliability and risk of failure by the quantitative and semi-quantitative methods. The quantitative method is analyzed by Safety Factor (level-1) and First-Order Second Moment (level-2), whether as semi-quantitative is analyzed by multiplying the three main parameters of likelihood, Exposure and Consequence. The result shows that the risk based on the 2011 land cover for several return period is lower than based on the RTRW. The semi-quantitative method of two land cover conditions for the return period of 2 to 1000 shows Very Low Level and Moderate Levels for PMF discharge. Based on its analysis, the spillway capacity is still reliable and capable of flowing return period discharge from Q2 to Q1000.

Keywords: failure risk, first order second moment, reliability, safety factor, spillway, Wonogiri dam.

A. INTRODUCTION

The geographical location of the Wonogiri dam is at 7°50'- 8°S and 110°50'-110°58'E and is included in the administrative area of Wuryorejo village, Wonogiri Regency, Bengawan Solo River Region. The Wonogiri Dam is a rock-fill type dam with a soil core which is a multifunctional dam including flood control, irrigation water supply, hydroelectric power generation, and tourist attractions. The Wonogiri Dam was built in 1976 and began operating in 1982 (Ariansyah, Sobriyah, & Wahyudi, 2013). The operation of the Wonogiri Multipurpose Dam refers to the Decree of the Minister of Public Works No. 229/KPTS/1986 concerning Guidelines for Exploitation and Maintenance of the Wonogiri Multipurpose Dam which was later revised by the Bengawan Solo River Basin Development Master Project in July 1994 with CWL at +135.30 m (Haryanto, Jayadi, & Istiarto, 2022). There have been several changes in land use in the upstream area of the Bengawan Solo River (Adidarma, 2010). Those conditions potentially increase the discharge into the Wonogiri Dam. In the recent years, many researchers have been doing the risk analysis for the spillway (Akbari, G., 2013, Maghrebi, M., ghezelsofloo, A., & alimirzaei, H. 2018, Pambudi et. al 2023, Renaningsih, Saraswati. 2018).

All themes of the research above are on the analysis of the effect of water flow characteristic after or before the spillway or dam failure. The spesific analysis on the water flowing in the spillway itself not yet been discused in the assesment of risk based on the spillway capacity. This paper aims to analyze the risk of the spillway capacity in the Wonogiri Dam due to the changes of discharge caused by changes in land cover. This study also use the quantitative and semi-quantitative methods to be more realistic due to the probability of occurences.

B. METHODOLOGY

The design flood discharges are calculated from the surface runoff. Surface runoff is obtained from hydrological analysis results. The design rainfall is calculated by the regional rain height in the catchment area. Regional rain is then subjected to frequency and double mass curve analysis (Fauziyah, Sobriyah, & Susilowati, 2013).

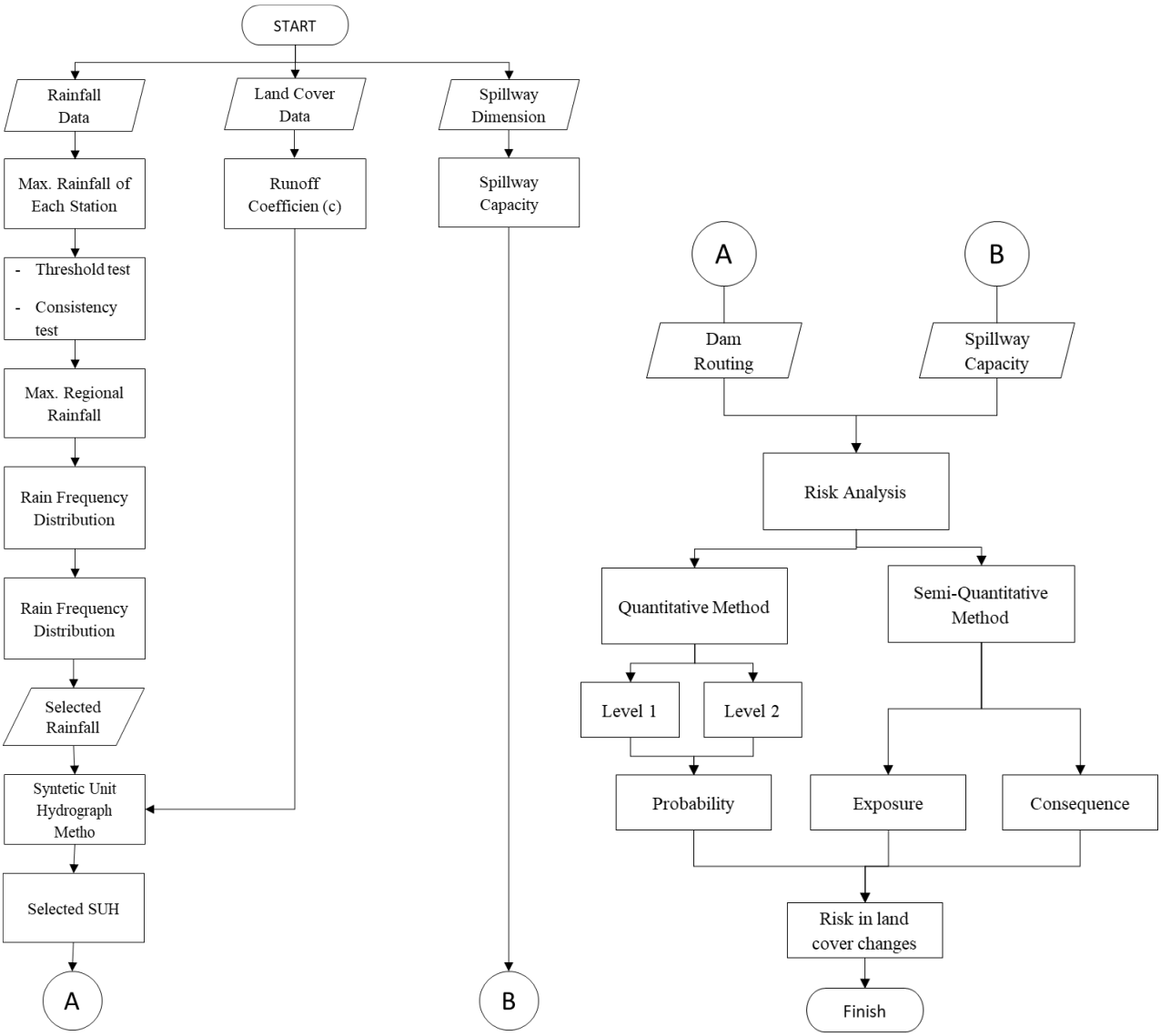


Figure 1. Research flowchart

This method uses a comparison of the cumulative annual rainfall in the study area with the annual cumulative rainfall of the corresponding station. The data suitability test is in the form of a straight line and if there is a deviation, the deviating data is validated for the amount of deviation that occurs. The threshold method is needed to find out the maximum and minimum values of the existing data to be said to be feasible or not feasible (Harto, Analisis Hidrologi, 1993). The distribution methods used in this study include Normal, Log Normal, Gumbel, Pearson type III, and Log Pearson type III. The outputs of distribution methods were tested using the Chi-Square and Smirnov Kolmogorov methods. Effective rainfall is obtained by analyzing the distribution of hourly rainfall for each return period. Calculation of flood discharge is carried out using a Synthetic Unit Hydrograph (Damayanti, Limantara, & Haribowo, 2022). A hydrograph is a graph that describes the relationship between flow elements (height and discharge) to time (Harto, Teori, Masalah, Penyelesaian, 2000). The amount of discharge that occurs from regional rainfall is calculated using the Snyder, SCS, Nakayasu, Gama-I, ITB-1, and ITB-2 Synthetic Unit Hydrographs.

Quantitative risk analysis

Reliability is the performance opportunity of a component according to the desired function without failure under certain conditions for a certain period (Yang, 2007). The quantitative methods were found in several researchers (Sowinski (2005), Silva et. al (2008), Altarejos-García et. al (2012), Escuder-Bueno et. al (2012, 2013), Foulhy and Rios Bayona (2014), Amosri et. al (2015), Ferdiansyah et. al (2022). The reliability calculation is carried out on the spillway structure (resistance) in carrying out the maximum flood discharge with a certain return period. Runoff discharge in this study is defined as a load. Runoff discharge over the spillway is calculated using the formula in equation 1 (The Bureau of Reclamation of United States Department of the Interior, 1977).

$$Q = C.L.H^{3/2} \quad \text{.....} \quad (1)$$

where Q = Discharge (m^3/det), C = spillway coefficient , L = spillway width (m), and H = water height above spillway (m).

Safety factor (level 1) and First-Order Second Moment (level 2)

Safety factor (SF) or known as risk analysis level-1 is the ratio of the average resistance (R) and average load (L) parameters which are known as nominal resistance (*Rn*) or nominal load (*Ln*).

$$\frac{Rn}{Ln} \geq SF \quad \text{.....} \quad (2)$$

$Rn = R + \sigma_R \Phi{-}1(\alpha R)$, with αR=5% - 10%

$Ln = L + \sigma_L \Phi{-}1(1- \alpha L)$, and αL=25% - 50%

With: σ_R= standard deviation of resistance, σ_L= standard deviation of load,

The concept of First-Order Second Moment or known as risk analysis level-2 is to make load and resistance as well as the parameters that produce load and resistance, in the form of normal distribution or distribution forecast. If the distribution can be estimated by or transformed into a normal frequency function, the failure probability of the structure can also be determined from the normal distribution.

$$P\gamma = \phi\left(\frac{R-L}{\sqrt{\sigma_R{}^2 + \sigma_L{}^2}}\right) = \phi\left(\frac{R-L}{\sqrt{\left(R\Omega_R{}^2 + R\Omega_L{}^2\right)}}\right) \quad \text{.....} \quad (3)$$

Where R and L mean the value of resistances and loads; and σ is the standard deviation; Ω is the coefficient of difference; and $\phi\,(x)$ shows the cumulative standard of the normal distribution evaluated by x.

Semi-quantitative risk analysis

Risk assessment is an assessment by comparing the level or risk criteria that have been set. Risk assessment can be carried out in three ways: qualitative, quantitative and semi-quantitative. Risk assessment using a semi-quantitative method is calculated using three main parameters (equation 4), namely probability, exposure, and consequence, where the multiplication of these three parameters shows the magnitude of the risk value (Fine, 1971). Risk assessment is carried out using a semi-quantitative method calculated by declaring each parameter into a certain value. These values are defined according to certain criteria and levels presented in Tables 1 to 4.

Table 1. Criteria of probability

Rate	*Score*	*Description*
Very high	5	The failure rate is 81% - 100%
High	4	The failure rate is 61% - 80%
Medium	3	The failure rate is 41% - 60%
Low	2	The failure rate is 21% - 40%
Very low	1	The failure rate is 0% - 20%

Table 2. Criteria of exposure

Rate	*Score*	*Description*
Very Long	5	The duration of the peak flood is 6.1 - 8 hours
Long	4	The duration of the peak flood is 4.51 - 6 hours
Medium	3	The duration of the peak flood is 3.1 – 4.5 hours
Short	2	The duration of the peak flood is 1.51 – 3.1 hours
Very short	1	The duration of the peak flood is 0 – 1.50 hours

Table 3. Criteria of consequences

Rate	*Score*	*Consequences*	
		Water Level	*Damage*
Very high	5	Exceeding the maximum allowable height above the spillway (>8 m)	Fatal damage to the body of the weir
High	4	The water level is 6.1 – 8 m above the spillway	Severe damage requiring lots of repairs
Medium	3	The water level is 4.1 – 6 m above the spillway	Severe damage requiring moderate repairs
Low	2	The water level is 2.1 – 4 m above the spillway	Minor damage
Very low	1	The water level is 0 – 2 m above the spillway	Undamaged

Table 4. Level of risk

Rate	*Score*
Extreme/catastrophic	75
High	64 - 74
Medium	27 - 63
Low	8 - 26
Very low	0 - 7

The risk calculation in equation 4 is often used for situations where work is to be done without proper safety precautions. Usually such work is done without any mathematical measurement of hazards. Using the equation (4), the risk is actually calculated and thus, more meaningfully quàntified. The quantification is achieved by considering the potentíal consequences of an accident, the exposure factor and the probability factor. The equation is:

$$R = C \times E \times P \quad \text{.....} \quad (4)$$

Where: R represents the risk score

C represents the consequences

E represents the exposure factor

P represents the probability factor

C. RESULT AND DISCUSSION

Hydrology analysis

Based on topographical data, the catchment area of the Wonogiri dam is 1294.9 km^2 as shown in Figure 2. The rain data used in the hydrological analysis were obtained from seven rain stations. The rain stations include Parangjoho, Jatisrono, Giriwoyo, Songputri, Baturetno, Nawangan Reservoir, and Pracimantoro. The length of rainfall data at each rain station is for 21 years starting from 1996 to 2016. The influence of data for each station is calculated using the Thiessen polygon method which is then converted to regional rainfall. Regional rainfall obtained is used as input data to obtain rainfall distribution using the Normal, Log Normal, Gumbel, Pearson type-III, and Pearson Log type-III distributions as written in the Table 5. The results of the design rainfall calculation for each method are depicted in Figure 3. The selection of the regional rainfall distribution method results was carried out by a suitability test using the criterion of distribution parameters method in Table 6 which Gumbel Type I is then selected.

Determination of the Probable Maximum Precipitation (PMP) value was obtained using the Hersfield method. The result of a PMP height is 520.83 mm and lying in the interval of PMP isohyet map issued by the Balai Dam in 2016. Pambudi et. al 2023 also has similar result on the PMP value with 580 mm. Figure 3 shows the isohyet of Balai Dam 2016 and the location of Wonogiri dam watershed. The PMP calculation results using the Hersfield method have a value in the range of 400-600 mm by PMP isohyet belonging to the Dam Office.

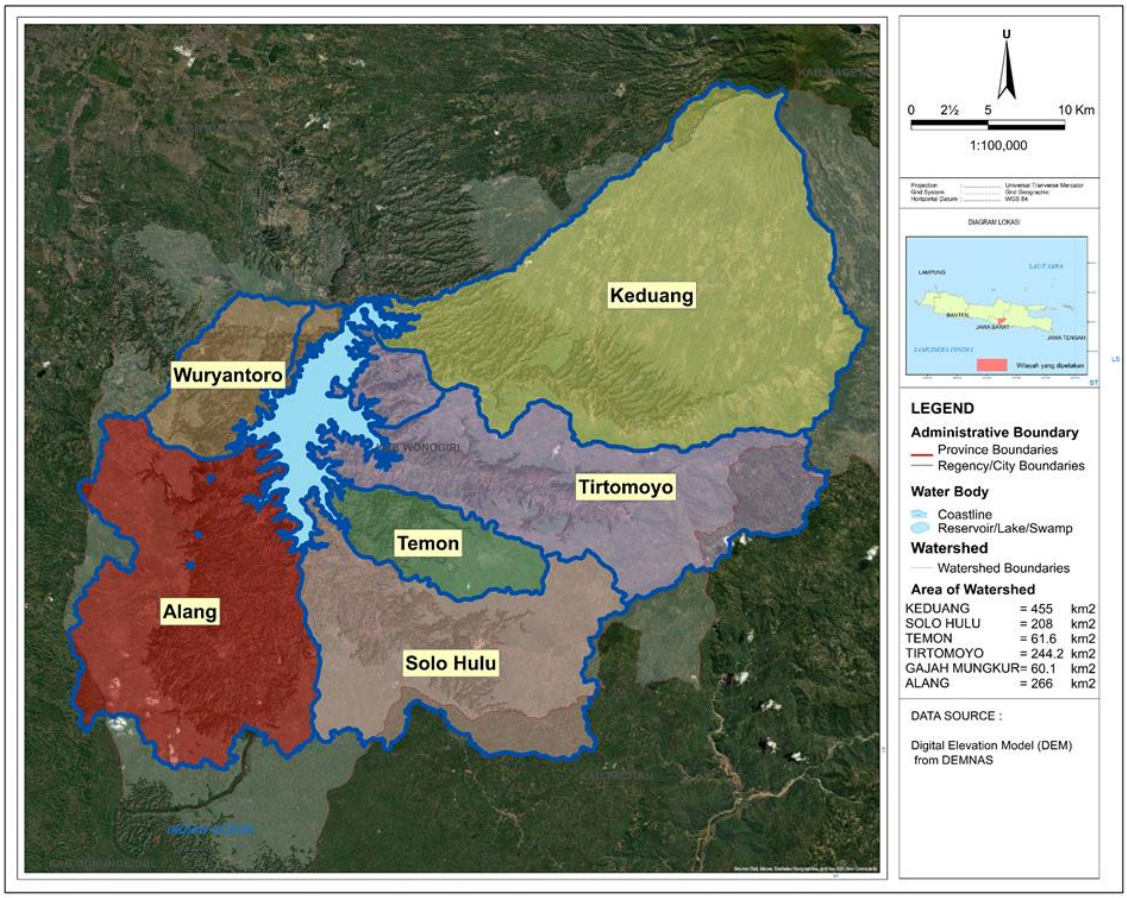


Figure 2. Wonogiri dam location, watershed and its characteristic

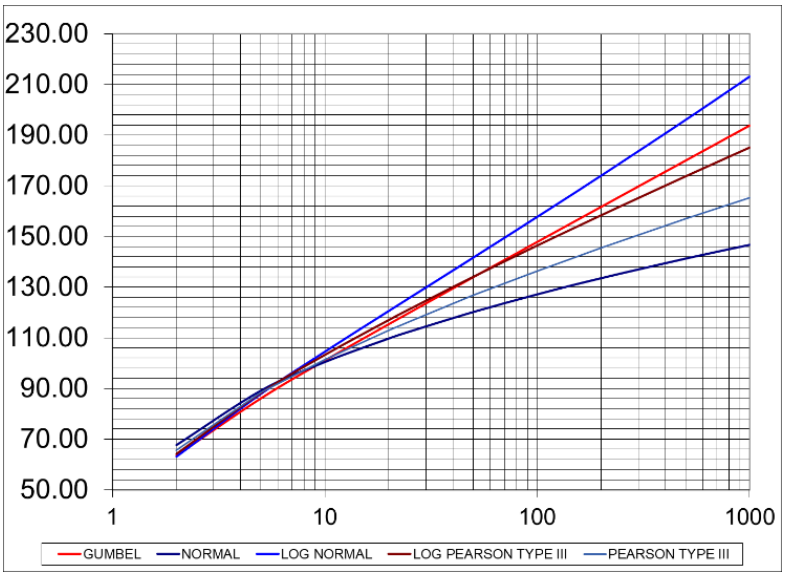


Figure 3. The designed rainfall graph uses several distribution methods

Table 5. Frequency analysis for several return period and methods

NO	Tr	GUMBEL	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON TYPE III	LOG PEARSON TYPE III
1	2	63.50	67.70	63.06	65.60	64.12
2	5	86.08	89.20	87.85	88.33	88.19
3	10	101.03	100.45	104.50	101.48	103.24
4	20	115.37	109.74	120.59	113.01	117.05
5	25	119.92	112.44	125.73	116.49	121.31
6	50	133.93	120.19	141.68	126.75	134.13
7	100	147.84	127.15	157.75	136.37	146.47
8	200	161.70	133.52	174.04	145.49	158.44
9	500	179.99	141.25	196.06	156.98	173.84
10	1000	193.81	146.66	213.14	165.32	185.22

Table 6. The selection of the regional rainfall distribution method using the criterion of distribution parameters

No.	Distribution Type	Requirement		Resukt	Note
1	Normal	CS = 0		0.50	Not Satisfy
		Ck = 3		-0.06	Not Satisfy
2	Log Normal	$C_s = 3C_v$	1.132	0.498	Not Satisfy
		Cv = 0.6	0.600	0.38	Not Satisfy
3	Gumbel	Cs ≤	1.14	0.50	Satisfy
		Ck ≤	5.4	-0.06	Satisfy
4	Person III	Cs ≠ 0	0.50	0.50	Satisfy
		Cv = 0.3	0.3	0.38	Not Satisfy
5	Log Person III	Cs < 0	-0.255	-0.255	Satisfy
		Cv = 0.3	0.3	0.38	Not Satisfy

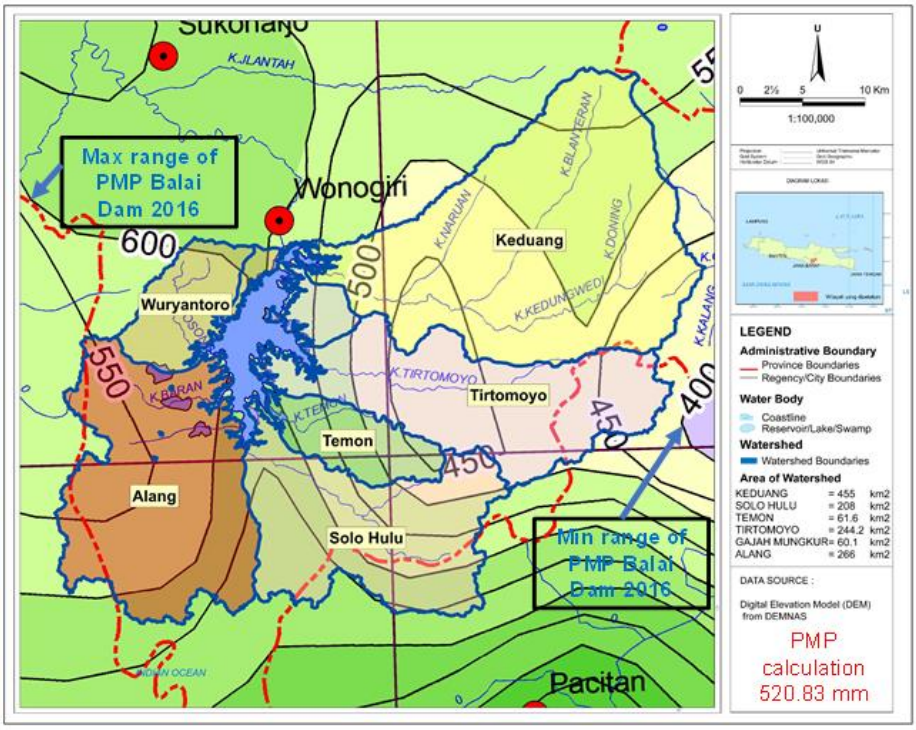


Figure 3. The designed rainfall graph uses several distribution methods

Land cover analysis

Land cover analysis was carried out to determine the value of the runoff coefficient (C) where this coefficient is used as one of the inputs in calculating hourly rainfall distribution. The land cover analyzed corresponds to 2011 data (Table 5) and spatial planning (RTRW) for the Wonogiri district until 2031 (Table 6). Based on the analysis results, the runoff coefficient (c) for land cover in 2011 and 2031 is 0.23 and 0.31. Changes in the value of the runoff coefficient in the next few years are caused by changes in the cover of paddy fields and plantations in residential areas by 20%. Calculation of the composite runoff coefficient values for 2011 and 2031.

Table 7. Run-off coefficient values for land cover in 2011

Land Cover	*Area* (km^2)	*c*
Dryland farming mixed shrub	1,051.90	0.25
Secondary dryland forest	41.64	0.05
Rice field	27.83	0.15
Dryland farming	96.68	0.25
Industrial Plantation	66.41	0.05
Settlement	28.06	0.6
Waterbody	39.45	0.01
Total	**1,351.96**	**0.23**

Table 8. Run-off coefficient values for land cover in 2031

Land Cover	*Area* (km^2)	*c*
Dryland farming mixed shrub	800	0.25
Secondary dryland forest	45.67	0.05
Rice field	22.31	0.15
Dryland farming	50.68	0.25

Land Cover	*Area* (km^2)	*c*
Industrial Plantation	76.41	0.05
Settlement	317.45	0.6
Waterbody	39.45	0.01
Total	**1,351.96**	**0.31**

Design flood hydrograph analysis

The design flood hydrograph analysis in this study is designed for return periods of 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, and PMF. Based on several synthetic unit hydrograph (SUH) methods, the Snyder method is used in this study because it has the highest discharge value which can represent the greatest extreme event. The flood discharge hydrograph graphs of the design results from the Snyder method are presented in Figure 4 and Figure 5.

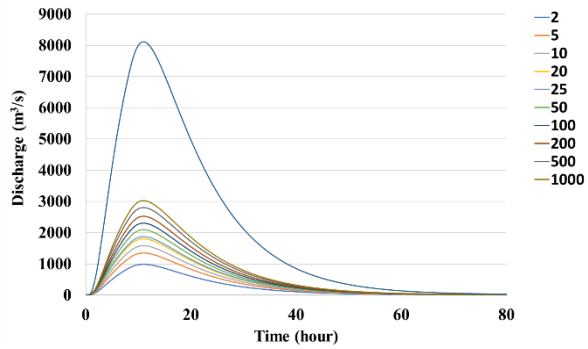


Figure 4. Graph of flood discharge for various return periods of the SUH Snyder with land cover conditions in 2011

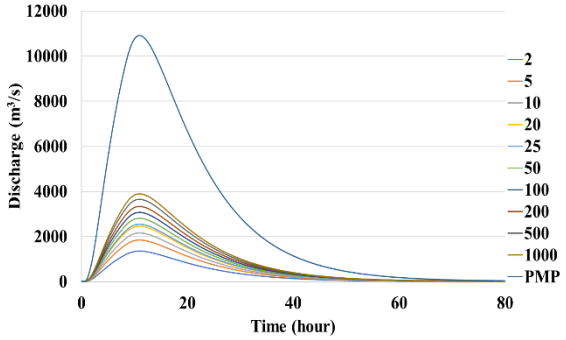


Figure 5. Graph of flood discharge for various return periods of the SUH Snyder with land cover conditions in 2031

Reservoir routing

Reservoir routing is intended to obtain outflow discharge values that flow through the spillway. The input data in the reservoir routing process is the flood discharge hydrograph from the Snyder method for various return periods. The following presents a reservoir routing chart with a flood plan in Figures 6 and 7.

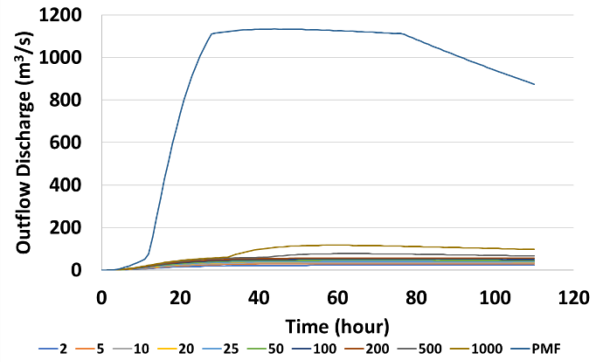


Figure 6. Graph of spillway outflow for various return periods with land cover conditions in 2011

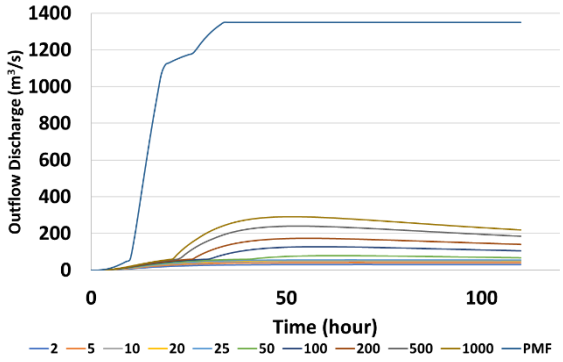


Figure 7. Graph of spillway outflow for various return periods with land cover conditions in 2031

Risk analysis using quantitative method

The reliability analysis is done by looking at the resistance's ability to accept a load. The load parameter in this study is the magnitude of the planned flood discharge for various return periods of the reservoir routing results. The resistance parameter is the spillway capacity which is calculated by equation (1). The detailed calculation of the spillway resistance of the Wonogiri dam is described in Table 9.

Table 9. Calculation of spillway resistance

Parameter	*Design*	*Bottom*	*Top*	*Mean*	Ω_R^2
L (meter)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00
C	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00
H (meter)	8.00	0.00	8.00	5.33	0.13
Q_{annual}	1357.65	0.00	1357.65	905.10	0.13
Avg. Q_{annual}	905.10	Ω_Q=0.35	Standv. annual	320.00	

The calculation of the safety factor (SF) in Table 10 shows that the flood discharge with a return period of two years (Q2) to a flood discharge with a return period of 1000 years (Q1000) for land cover in 2011 with a runoff coefficient value (c) of 0.23 has a safety factor value of above one (SF > 1). Reliability and risk at discharge have a value of 99% with a failure risk level below 1%. However, a different thing happened to the PMF flood discharge where the SF value was below one (SF < 1) with a reliability of 34.3% and a risk of failure of 65.70%. This indicates that the spillway capacity is still capable of carrying the number of outflow discharges that occur during the Q1000 flood discharge conditions. The calculation of the safety factor (SF) in Table 11 shows that the flood discharge with a return period of two years (Q2) to a flood discharge with a return period of 500 years (Q500) for land cover according to the RTRW until 2031 with a runoff coefficient (c) value of 0.31 has a safety value. The factor is above one (SF > 1). Reliability and risk at discharge have a value of 97% with a risk of failure below 2.5%. However, different things occur in the Q1000 and PMF flood discharges where the SF value is below one (SF < 1). This indicates that the spillway capacity is still capable of carrying several outflow discharges that occur in conditions up to the Q500 flood discharge.

Table 10. Calculation of safety factor and risk of failure for year 2011 with the value of c = 0.23

Return Period	*Load*			*Resistance*			*SF*	*Py*	*Risk*
	Average Load	*Load Nominal (Ln)*	*Ω*	*Average Resistance*	*Resistance Nominal (Rn)*	*Ω*			
2	22.19	27.49	0.35				13.78	99.71%	0.29%
5	29.90	37.03	0.35				10.23	99.69%	0.31%
10	35.00	43.35	0.35				8.74	99.67%	0.33%
20	39.90	49.41	0.35				7.66	99.65%	0.35%
25	41.46	51.34	0.35				7.38	99.65%	0.35%
50	46.24	57.26	0.35	905.1	378.74	0.35	6.61	99.63%	0.37%
100	51.00	63.15	0.35				6.00	99.61%	0.39%
200	55.73	69.01	0.35				5.49	99.60%	0.40%
500	77.20	97.21	0.38				3.90	99.50%	0.50%
1000	116.67	151.51	0.44				2.50	99.25%	0.75%
PMF	1133.45	1447.52	0.41				0.26	34.30%	65.70%

Table 11. Calculation of safety factor and risk of failure for year 2031 with the value of c = 0.31

Return Period	*Load*			*Resistance*			*SF*	*Py*	*Risk*
	Average Load	*Load Nominal (Ln)*	*Ω*	*Average Resistance*	*Resistance Nominal (Rn)*	*Ω*			
2	30.02	37.18	905.1				10.19	99.69%	0.31%
5	41.10	50.89	0.35				7.44	99.65%	0.35%
10	48.03	59.47	0.35				6.37	99.63%	0.37%
20	54.38	67.34	0.35				5.62	99.60%	0.40%
25	56.35	69.77	0.35				5.43	99.59%	0.41%
50	79.52	100.40	0.39	905.1	378.74	0.35	3.77	99.49%	0.51%
100	126.89	165.46	0.45				2.29	99.17%	0.83%
200	172.66	227.23	0.47				1.67	98.68%	1.32%
500	238.61	315.22	0.48				1.20	97.52%	2.48%
1000	289.65	382.64	0.48				0.99	96.13%	3.87%
PMF	1350.02	1690.01	0.37				0.22	22.81%	77.19%

Graphs of the relationship between the safety factor and the level of risk of failure on the spillway are presented in Figure 8 and Figure 9. As the return period increases, the safety factor value decreases as well as the risk of failure increases. The graph of the relationship between the flood load Q1000 and the resistance in Figure 10 shows the flood load Q1000 discharge which is still able to withstand properly seen from the position of the combined graph which is on the right axis. This is different from the QPMF flood load in Figure 11 where the load position exceeds the resistance position, and the combined graph is on the left axis line which indicates a high level of risk. The graph of the relationship between the Q1000 flood load and the resistance in Figure 12 shows the Q1000 flood load which is still able to withstand well, even though there is a risk of failure of 3.87% seen from the position of the combined graph which is not completely on the right axis. This is different from the QPMF flood load in Figure 13 where the load position exceeds the resistance position, and the combined graph is on the left axis line which indicates a high level of risk.

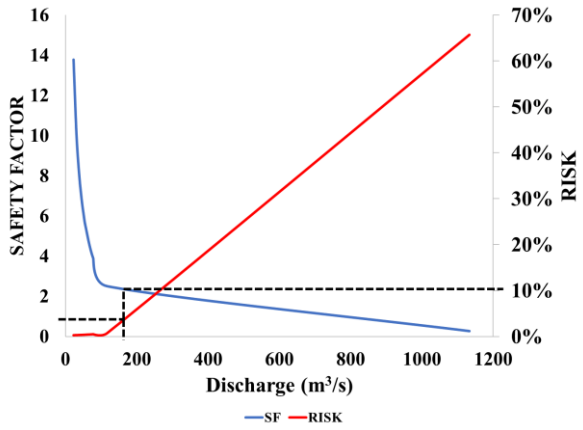


Figure 8. The graph of the relationship between safety factor and risk level according to a land cover condition in 2011 (c = 0.23)

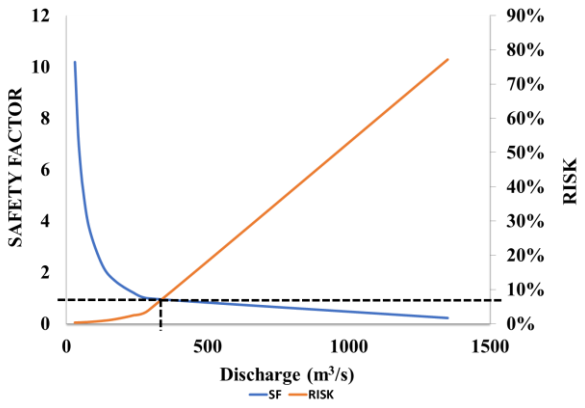


Figure 9. The graph of the relationship between safety factor and risk level according to a land cover condition in 2031 (c = 0.31)

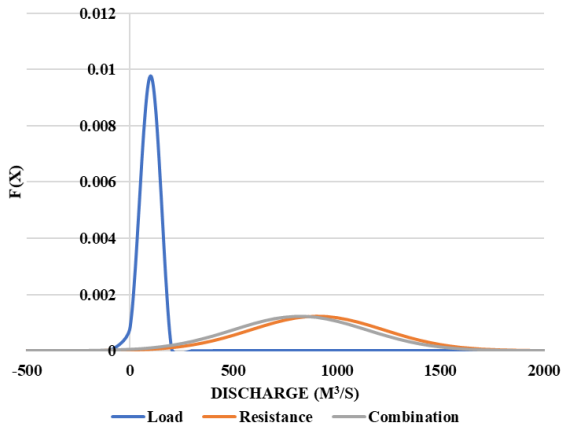


Figure 10. Graph of the relationship between load, resistance and a combination of both to the Q1000 flood discharge for the land cover condition in 2011 (c = 0.23)

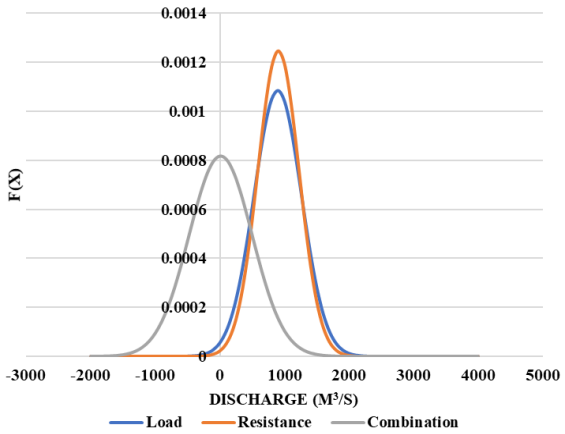


Figure 11. Graph of the relationship between load, resistance and a combination of both to the QPMP flood discharge for the land cover condition in 2011 (c = 0.23)

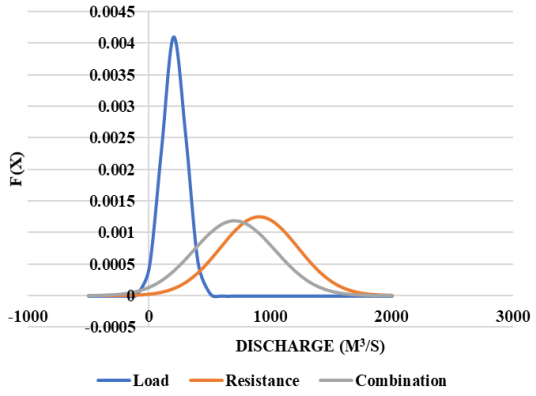


Figure 12. Graph of the relationship between load, resistance and a combination of both to the Q1000 flood discharge for the land cover condition in 2031 (c = 0.31)

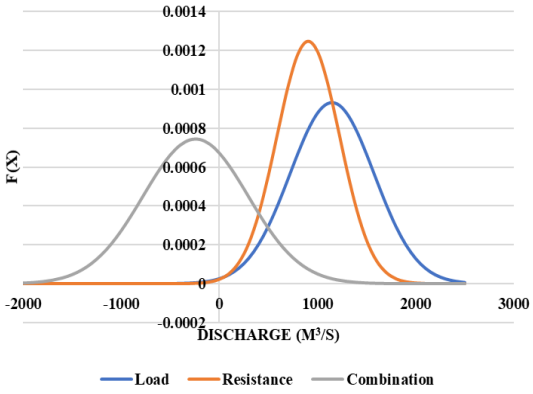


Figure 13. Graph of the relationship between load, resistance and a combination of both to the QPMP flood discharge for the land cover condition in 2031 (c = 0.31)

Risk analysis using semi-quantitative method

The parameters used consist of probability, exposure, and consequence parameters. Multiplying these three parameters will get a value or score that shows the level of risk that occurs. The semi-quantitative risk calculation results are presented in Tables 12 and 13.

Table 12. Spillway failure risk assessment uses semi-quantitative methods for 2011 land cover

Return Period	*Probability*	*Exposure*	*Consequence*			*Level of Risk*	
			Water Level	*Failure*	*Mean*	*Score*	*Description*
2	1	2	1	1	1	2	Very low
5	1	2	1	1	1	2	Very low
10	1	2	1	1	1	2	Very low
20	1	2	1	1	1	2	Very low
25	1	2	1	1	1	2	Very low

Return Period	*Probability*	*Exposure*	*Consequence*			*Level of Risk*	
			Water Level	*Failure*	*Mean*	*Score*	*Description*
50	1	2	1	1	1	2	Very low
100	1	2	1	1	1	2	Very low
200	1	2	1	1	1	2	Very low
500	1	2	1	1	1	2	Very low
1000	1	2	1	1	1	2	Very low
PMF	4	2	4	4	4	32	Medium

Table 13. Spillway failure risk assessment uses quantitative methods for 2031 land cover

Return Period	*Probability*	*Exposure*	*Consequence*			*Level of Risk*	
			Water Level	*Failure*	*Mean*	*Score*	*Description*
2	1	2	1	1	1	2	Very low
5	1	2	1	1	1	2	Very low
10	1	2	1	1	1	2	Very low
20	1	2	1	1	1	2	Very low
25	1	2	1	1	1	2	Very low
50	1	2	1	1	1	2	Very low
100	1	2	1	1	1	2	Very low
200	1	2	2	2	2	4	Very low
500	1	2	2	2	2	4	Very low
1000	1	2	2	2	2	4	Very low
PMF	4	2	4	4	4	32	Medium

D. CONCLUSION

Changes in land cover conditions in 2011 and RTRW until 2031 did not have a major effect on changes in the value of the runoff coefficient (c). however, it can be seen that differences in land cover directly provide different levels of risk. Calculation of the risk and reliability of the spillway using the quantitative method results that the spillway is still able to work well (SF> 1) up to a flood discharge of Q1000 with land cover conditions in 2011. Based on the RTRW until 2031 it was found that several green areas had changed into residential areas which increased the value linear flow with an increase in discharge in 2031. This condition resulted in the spillway only being able to work properly until the Q500 flood discharge event. The results of the risk analysis using the semi-quantitative method provide the same risk values for land cover conditions in 2011 with the RTRW until 2031. The risk that occurs is at a very low level for floods up to Q1000 and is at a moderate level for QPMF floods.

REFERENCES

Adidarma, W.K. (2010). "Perubahan Banjir Sungai Bengawan Solo Akibat Perubahan Tata Guna Lahan dan Perubahan Iklim serta Teknik untuk Menekan Peningkatan banjir". *Jurnal Teknik Hidraulik*, 1(2), 167-180. doi: https://doi.org/10.32679/jth.v1i2.238

Akbari, G. (2013). "Dam Instability Risk Analysis of Damaged Spillway". *Eng. J.*, vol. 17, no. 4, pp. 1-8, doi: https://doi.org/10.4186/ej.2013.17.4.1

Altarejos-García, L., Escuder-Bueno, I., Serrano-Lombillo, A., & de Membrillera-Ortuño, M. (2012). "Methodology for Estimating the Probability of Failure by Sliding in Concrete Gravity Dams in the Context of Risk Analysis" *Structural Safety* 36-37, 1-13

Amsori, P. S., Riandini, F., & Kuntoro, A. A. (2015). "Kajian Risiko Overtopping pada Revetment Akibat Run-up Gelombang Laut: Studi Kasus Pantai Tembok, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali". *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 1(1).

Ariansyah, G.B., Sobriyah, & Wahyudi, A.H. (2013). "Analisis Tinggi Muka Air Waduk Wonogiri Berdasarkan Data Hujan Jam-Jaman". *Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 446-453, doi:https://doi.org/10.20961/mateksi.v1i4.37499

Damayanti, A. C., Limantara, L. M., & Haribowo, R. (2022). "Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS Nakayasu, HSS ITB-1, HSS Limantara pada DAS Manikin di Kabupaten Kupang". *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 300-313, DOI: https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.02.25

Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodríguez, J. T., Zechner, S., Jöbstl, C., Perales-Momparler, S., and Petaccia, G. (2012) "A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2843–2863, https://doi.org/10.5194/nhess-12-2843-2012

Escuder-Bueno , I., Altarejos-García, L., & Serrano-Lombillo, A. (2013). *Quantitative risk analysis for dams – a case study in Sweden. Sweden: Elforsk rapport 13:07.* https://energiforsk.se/en/programmes/dam-safety/reports/dam-safety-quantitative-risk-analysis-for-dams-2013-07/

Fauziyah, S., Sobriyah, & Susilowati. (2013). "Analisis Karakteristik dan Intensitas Hujan Kota Surakarta". *Matriks Teknik Sipil*, 82-89, DOI: https://doi.org/10.20961/mateksi.v1i2.37551

Ferdiansyah, A., Nugroho, E. O., & Soeharno, A. W. H. (2022). Kajian Risiko Banjir Pada Saluran Drainase Jalan Ir. H. Juanda Bandung. Bulletin of Civil Engineering, 2(2). https://doi.org/10.18196/bce.v2i2.15514

Fine, W. T. (1971). "Mathematical Evaluation for Controlling Hazards". *Journal of Safety Research*, 3(4), 157-16.

Fouhy, David, and Bayona Francisco Ríos. *Reliability-Based Analysis of Concrete Dams*. Thesis, KTH, Jord- och bergmekanik, 2014. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-176867.

Brotowiryatmo, S.H. (1993). *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Brotowiryatmo, S.H. (2000). Teori, Masalah, Penyelesaian. Nafiri Offset, Yogyakarta.

Haryanto, Y. A., Jayadi, R., & Istiarto. (2022). 'Pengembangan Model Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Serbaguna Wonogiri Paska Pembangunan Closure Dike". Jurnal Teknik Sumber Daya Air, 2(1), 1-12. doi:https://doi.org/10.56860/jtsda.v2i1.25

Maghrebi, M., ghezelsofloo, A., & alimirzaei, H. (2018). "Risk Assessment for Spillway Overflow Structure Components (Case Study: Chandir Dam)". Journal of Water and Sustainable Development, 4(2), 41-48. doi: 10.22067/jwsd.v4i2.59241

Pambudi, H. G., Marsudi S., Fidari J. F. (2023). " Wonogiri Dam break Analysis Study with the HEC-RAS and INASAFE Programs". *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air (Jtresda)*, 3(2), 294-306.

Renaningsih, Saraswati. (2018) "Integrated Simulation of Spillway and Diversion Structure in Flood Risk Assessment of Upper Solo River". Journal of the Civil Engineering Forum, vol. 4, no. 2, pp. 117-128, doi:10.22146/jcef.34166.

Sandi, C. Nugroho, E.O. and Cahyono, M. (2022). "Dambreak Risk Analysis of Jenelata Dam and its Mitigation Plan". *Bulletin of Civil Engineering*, 2(2). https://doi.org/10.18196/bce.v2i2.15533

Silva, F., Lambe, T.W., & Marr, W.A. (2008). "Probability and Risk of Slope Failure". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134, 1691-1699.

Sowinski, M. (2005). "The Influence of Piers on the Risk of Flooding Upstream from a Bridge". *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 52(4),287-301.

The Bureau of Reclamation of United States Department of the Interior. (1977). Design of Small Dams. Washington: A Water Resources Technical Publication.

Yang, G. (2007). Life Cycle Reliability Engineering. John Wiley & Sons, Canada.

STUDI KERUSAKAN INFRASTRUKTUR SUMBER DAYA AIR AKIBAT GEMPA TEKTONIK CIANJUR

Shofwatul Fadilah[1*] dan Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi[2]

[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km. 14,5, Yogyakarta
Email: 215111308@uii.ac.id (Corresponding author)
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km. 14,5, Yogyakarta
Email: wulan.pratiwi@uii.ac.id

ABSTRAK

Gempa bumi Cianjur yang terjadi pada tanggal 21 November 2022 merupakan jenis gempa bumi tektonik kerak dangkal dan memiliki kekuatan 5,6 skala richter. Akibatnya, terjadi banyak korban jiwa dan kerusakan infrastruktur seperti kerusakan infrastruktur Sumber Daya Air (SDA). Penelitian ini dilakukan untuk untuk mengidentifikasi jenis dan tingkat kerusakan pada infrastruktur SDA akibat gempa tektonik Cianjur 2022 dan untuk mengetahui penyebab kerusakannya. Studi ini dilakukan di kawasan terdampak gempa bumi Cianjur dengan metode penelitian kualitatif deskriptif. Data dikumpulkan melalui survei lapangan dan wawancara dengan *stakeholder* terkait. Data-data teknis terkait diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Sumber Daya Air (SDA) Kabupaten Cianjur. Hasil studi menunjukkan bahwa gempa bumi Cianjur menyebabkan kerusakan infrastruktur SDA baik bangunan utama irigasi, bangunan sungai dan saluran irigasi di beberapa lokasi terdampak gempa. Kerusakan infrastruktur irigasi berbeda-beda di tiap lokasi, diantaranya, kerusakan pada bendung, tertutupnya saluran irigasi oleh material longsoran, dan kerusakan *linning* pasangan saluran. Kerusakan infrastruktur sungai berbeda-beda di setiap titik lokasinya, diantaranya kerusakan dinding penahan tanah (DPT), kerusakan tanggul sungai, dan tertimbunnya alur sungai oleh tanah longsoran. Oleh karena itu, kategori kerusakannya juga bermacam-macam di setiap tempatnya, mulai dari kategori rusak ringan yang memerlukan pemeliharaan preventif, rusak sedang yang memerlukan pemeliharaan korektif (perbaikan), sampai rusak berat yang memerlukan pemeliharaan rehabilitatif. kerusakan infrastruktur SDA diduga disebabkan beberapa hal seperti usia bangunan dan keberadaan bangunan disesar gempa.

Kata kunci: gempa, infrastruktur, irigasi, SDA, sungai

A. PENDAHULUAN

Gempa bumi dapat dijabarkan sebagai goncangan tanah yang diakibatkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba di kerak bumi dengan energi yang berasal dari berbagai macam sumber seperti letusan gunung merapi, pergeseran lapisan kulit bumi, ledakan yang dibuat oleh manusia, maupun runtuhnya rongga bawah tanah tambang atau karst (Elnashai dan Sarno, 2008). Pada tanggal 21 November 2022 telah terjadi gempa bumi tektonik di Indonesia, tepatnya di Cianjur, Jawa Barat. Indonesia menjadi salah satu negara yang sering mengalami gempa bumi tektonik. Tercatat dari tahun 2009-2019, wilayah Indonesia memiliki rata-rata gempa tektonik sebanyak 6.512 kejadian pertahunnya, 543 kejadian per bulannya dan 18 kejadian gempa per harinya (Sabtaji, 2020).

Gempa bumi Cianjur memiliki kekuatan 5,6 skala richter dengan tipe gempa kerak dangkal *(shallow crustal earthquake)* dengan tipe *mainshock-aftershock* (Supendi, dkk., 2022). Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, gempa Cianjur dipicu oleh patahan atau sesar Cugenang. Bentang Cugenang kurang lebih sekitar 9 (sembilan) kilometer yang melintasi 9 desa (Putratama,

2022). Akibatnya, terjadi banyak korban jiwa dan kerusakan infrastruktur. Salah satu infrastruktur yang rusak adalah infrastruktur Sumber Daya Air (SDA). Infrastruktur Sumber Daya Air (SDA) disebut juga sebagai prasarana sumber daya air atau bangunan pengairan. Berdasarkan Permen PU No. 6 tahun 2015, bangunan pengairan didefinisikan sebagai bangunan air beserta bangunan lain yang menunjang kegiatan pengelolaan sumber daya air, baik langsung maupun tidak langsung. Di dalam UU No. 17 Tahun 2019 dijelaskan bahwa kegiatan pengelolaan sumber daya air meliputi konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air. Pada umumnya, bangunan konstruksi keairan terdiri dari 2 jenis, yaitu bangunan konstruksi di sungai dan bangunan konstruksi di pantai. Infrastruktur sungai pada umumnya dibangun dengan tujuan utama sebagai pengaman banjir, pengendalian alur sungai, dan pendayagunaan aliran sungai, sedangkan infrastruktur pantai dan muara difungsikan untuk menyalurkan debit sungai, melewatkan debit yang dihasilkan oleh aktivitas pasang surut, maupun sebagai lokasi pelabuhan (Adi, dkk., 2009). Jenis-jenis infrastruktur keairan bermacam-macam sesuai fungsi masing-masing. Contoh infrastruktur sungai yang berkaitan dengan pengendalian daya rusak air seperti bangunan perkuatan tebing, normalisasi, pemasangan *groundsill*, pintu pengendali banjir, *sheet pile*, *check dam*, dan lain-lain, sedangkan contoh infrastruktur sungai yang berkaitan dengan pendayagunaan SDA contohnya bangunan bendung. Bendung berfungsi untuk menaikkan tinggi muka air yang nantinya akan digunakan untuk melayani pemberian air irigasi. Bangunan bendung terdiri dari bangunan utama, bangunan pelengkap, dan saluran irigasi. Contoh infrastruktur pantai diantaranya *groin*, *jetty*, pemecah gelombang, *seawall*, dan lain-lain.

Pada penelitian terdahulu, Adi dkk. (2018) melakukan studi tentang kerusakan infrastruktur keairan akibat gempa tektonik di Kabupaten Klaten akibat dari gempa 5,9 skala richter yang terjadi di wilayah D.I. Yogyakarta. Hasil kajiannya menunjukkan bahwa gempa bumi menimbulkan kerusakan pada bangunan infrastruktur keairan yang dikelompokkan dalam infrastruktur sungai (tanggul dan bendung, infrastruktur irigasi (bangunan dan saluran), dan infrastruktur rumah dinas. Di dalam penelitiannya, disebutkan bahwa penyebab kerusakan tersebut terjadi akibat umur bendung sudah tua, posisi bendung berada tepat pada alur gempa, konstruksi bendung tidak memenuhi persyaratan gempa. Di sisi lain, kejadian gempa bumi akan memicu tanah longsor pada tanah dengan kestabilan rendah tanah, misalnya tanah yang ada di kawasan dekat aliran sungai. Apabila terjadi longsor, kemungkinan besar tanah akan mengisi badan sungai dan menyebabkan aliran debris serta menunjang proses sedimentasi yang tinggi pada aliran sungai.

Kurniawati (2017) melakukan penelitian mengenai inventarisasi kondisi jaringan irigasi saluran irigasi sekunder pada daerah irigasi Taman Sari wilayah kerja pengamat pengairan Wuluhan Kabupaten Jember. Pada penelitian tersebut dilakukan penilaian aset irigasi meliputi penilaian struktur, pintu air, dan bangunan ukur menggunakan nilai prioritas. Nilai prioritas diperoleh dengan cara menilai kondisi dan fungsi aset secara langsung berdasarkan ketetapan parameter yang digunakan sebagai acuan penilaian. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa terdapat beberapa bangunan yang masuk kategori baik dan rusak ringan serta kategori baik dan rusak sedang.

Wahyudi (2020) telah melakukan kajian analisis kinerja dan AKNOP sungai berdasarkan kondisi morfologi sungai dengan studi kasus di Sungai Opak, Sungai Kuning, dan Sungai Winongo yang berada di DI Yogyakarta. Dalam penelitian tersebut dilakukan penilaian terhadap kondisi fisik (tingkat kerusakan) dan kondisi fungsi sarana prasarana yang ada di lokasi penelitian. Kategori kerusakan kondisi fisik dibedakan menjadi empat kategori yaitu kondisi baik (tingkat

kerusakan<10%), kondisi rusak ringan (tingkat kerusakan 10-20%), kondisi rusak sedang (tingkat kerusakan 21-40%, dan rusak berat (tingkat kerusakan >40%). Kategori penilaian fungsionalitas prasarana juga dibedakan menjadi 4, antara lain kategori baik (kondisi fungsionalitas >80), kategori cukup (kondisi fungsionalitas 61-80%), kategori kurang berfungsi (kondisi fungsionalitas 40-60%), dan kategori tidak berfungsi (kondisi fungsionalitas <40%). Hasil analisis kemudian digunakan untuk menilai kelayakan infrastruktur dan menentukan jenis pemeliharaan pada masing-masing prasarana.

Oleh karena itu, pada studi ini dilakukan kajian studi untuk mengidentifikasi jenis dan tingkat kerusakan infrastruktur SDA akibat gempa tektonik Cianjur 2022. Hasil analisis akan digunakan untuk memberikan rekomendasi pemeliharaan. Adanya studi ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan akan pentingnya memperhatikan faktor gempa saat melakukan desain infrastruktur keairan.

B. METODE

Studi dilakukan di kawasan terdampak gempa bumi Cianjur. Studi ini termasuk penelitian kualitatif deskriptif. Data dikumpulkan melalui survei lapangan dan wawancara dengan *stakeholder* terkait. Data-data teknis terkait diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Sumber Daya Air (SDA) Kabupaten Cianjur. Data tersebut dianalisis kategori kerusakannya baik untuk kondisi fisik maupun fungsinya. Klasifikasi kerusakan sarana dan prasarana keairan didasarkan Permen PU No. 23 Tahun 2015. Klasifikasi kondisi fisik infrastruktur keairan dibedakan menjadi 4 kategori, antara lain kondisi baik jika tingkat kerusakan <10% dari kondisi awal bangunan/saluran, kondisi ringan jika tingkat kerusakan 10-20% dari kondisi awal bangunan/saluran, kondisi rusak sedang jika tingkat kerusakan 21-40% dari kondisi awal bangunan/saluran, dan kondisi rusak berak apabila tingkat kerusakan >40% dari kondisi awal bangunan/saluran. Klasifikasi kondisi fungsi kinerja infrastruktur keairan juga dibedakan menjadi 4 kategori, diantaranya kondisi fungsi baik apabila penurunan fungsi <10% dari fungsi awal infrastruktur keairan sesuai direncanakan, kondisi fungsi rusak ringan apabila penurunan fungsi 10%-20% dari fungsi awal infrastruktur keairan sesuai direncanakan, kondisi fungsi rusak sedang apabila penurunan fungsi 21-40% dari fungsi awal infrastruktur keairan sesuai direncanakan, dan kondisi fungsi rusak berat apabila penurunan fungsi >40% dari fungsi awal infrastruktur keairan sesuai direncanakan. Data yang terkumpul dari lapangan, kemudian dikategorikan sesuai tingkat kerusakannya dan dievaluasi sesuai Tabel 1 agar dapat ditentukan rekomendasi pemeliharaannya sesuai Tabel 2. Ciri-ciri kriteria kerusakan untuk kondisi fisik ditampilkan pada Tabel 3, sedangkan untuk kondisi fungsionalnya ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 1. Evaluasi penilaian kondisi fisik dan fungsi infrastruktur keairan (Dary, dkk., 2022)

Penilaian		Kondisi Fisik			
		50 Risiko sangat kecil = kondisi fisik baik	**40** Risiko kecil = kondisi fisik rusak ringan	**25** Risiko sedang = kondisi fisik rusak ringan	**10** Risiko besar = kondisi fisik rusak berat
Kondisi Fungsi	**10** Risiko besar = kondisi fungsi rusak berat	**60**	**50**	**35**	**20**
	25 Risiko sedang = kondisi fungsi rusak sedang	**75**	**65**	**50**	**35**
	40 Risiko kecil = kondisi fungsi rusak ringan	**90**	**80**	**65**	**50**
	50 Risiko sangat kecil = kondisi fungsi baik	**100**	**90**	**75**	**60**

Tabel 2. Kriteria penentuan rekomendasi pemeliharaan berdasarkan hasil penilaian (Dary, dkk., 2022)

Prosentase (%)	Uraian	Jenis pemeliharaan
>90	Tidak ada risiko + kinerja baik	Pemeliharaan rutin
70-90	Risiko rendah + kinerja baik	Pemeliharaan preventif
50-70	Risiko sedang + kinerja cukup	Pemeliharaan korektif
<50	Risiko tinggi + kinerja buruk	Pemeliharaan Rehabilitatif

Tabel 3. Ciri-ciri Kriteria Kondisi Fisik (Putri, 2018) (Wahyudi, 2020)

Kriteria	Kondisi Fisik
Baik (Tingkat Kerusakan <10%)	1. Bentuk fisik bangunan masih terlihat utuh dan tidak ada kerusakan 2. Pintu tidak ada yang bocor 3. Mistar ukur terlihat jelas 4. Tidak ada gerusan pada lantai di hilir bangunan 5. Terlihat agak kotor (sampah/tanaman bersemak, dll.) 6. Bangunan baru/masih baru
Rusak Ringan (Tingkat Kerusakan 10-20%)	1. Bentuk fisik bangunan tampak ada perubahan 2. Plesteran/siar ada beberapa yang mengelupas 3. Terlihat retakan rambut tidak struktur 4. Pintu ada bocoran kecil 5. Operasi pintu berat dan kurang pelumas/berkarat 6. Mistar ukur hilang Sebagian 7. Ada gerusan kecil lantai hilir bangunan 8. Sudah beroperasi penuh, memerlukan pemeliharaan normal
Rusak Sedang (Tingkat Kerusakan 21-40%)	1. Bentuk fisik bangunan tampak ada perubahan: (a) plesteran/siar ada sebagian yang mengelupas (b) terlihat retakan struktur/pecah 2. Pintu ada bocoran cukup besar 3. Komponen alat pemutar hilang/rusak 4. Operasi pintu berat dan kurang pelumas/berkarat/macet 5. Mistar ukur hilang 6. Ada gerusan cukup dalam lantai di hilir bangunan berdampak kerusakan lantai 7. Beroperasi tetapi memerlukan pemeliharaan intensif (korektif)
Rusak Berat (Tingkat Kerusakan >40%)	1. Bentuk fisik bangunan tampak ada perubahan serius (a) plesteran/siar ada sebagian yang mengelupas (b) terlihat retakan struktur pecah-pecah (c) stabilitas terganggu 2. Pintu ada bocoran besar 3. Ulir pintu bengkok/daun pintu rusak keropos 4. Pintu tidak dapat dioperasikan sama sekali 5. Mistar ukur hilang 6. Ada gerusan cukup dalam lantai di hilir bangunan berdampak kerusakan lantai 7. Tidak beroperasi, bangunan rusak

Tabel 4. Ciri-ciri Kriteria Kondisi Fungsional (Putri, 2018) (Wahyudi, 2020)

Kriteria	Kondisi Fungsional
Baik	1. Pintu air dapat dioperasikan sesuai prosedur. 2. Dapat mengalirkan debit air rencana. 3. Bangunan ukur dapat untuk mengukur dengan baik. 4. Bangunan dapat digunakan dengan baik. 5. Optimal fungsi pelayanan memenuhi syarat-syarat pengoperasian.
Cukup	1. Pintu air dapat dioperasikan sesuai prosedur. 2. Dapat mengalirkan debit air rencana. 3. Bangunan ukur kurang dapat mengukur dengan baik. 4. Bangunan dapat digunakan dengan baik. 5. Marginal, kurang memenuhi syarat-syarat pengoperasian.
Kurang	1. Pintu air tidak dapat dioperasikan sesuai prosedur. 2. Kurang dapat mengalirkan debit rencana. 3. Bangunan ukur tidak dapat untuk mengukur dengan baik. 4. Bangunan kurang dapat digunakan dengan baik. 5. Sub marginal, tidak memenuhi syarat-syarat
Tidak berfungsi	1. Pintu air tidak dapat dioperasikan. 2. Tidak dapat mengalirkan debit rencana. 3. Bangunan ukur tidak dapat digunakan untuk mengukur. 4. Bangunan tidak dapat digunakan dengan baik. 5. Gagal, tidak berfungsi

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gempa bumi tektonik Cianjur menyebabkan berbagai kerusakan infrastruktur, salah satunya infrastruktur sumber daya air. Kerusakan infrastruktur sumber daya air dapat menyebabkan terganggunya sistem pengelolaan air. Kerusakan-kerusakan yang terjadi diantaranya kerusakan bangunan utama irigasi, kerusakan bangunan sungai dan kerusakan saluran irigasi. Kerusakan bangunan utama irigasi meliputi kerusakan bangunan utama irigasi yaitu bendung beserta bangunan pelengkapnya, kerusakan bangunan sadap, kerusakan saluran irigasi, dan kerusakan bangunan pelengkap irigasi seperti pintu air dan talang. Kerusakan tersebut berada di beberapa titik lokasi, diantaranya di Desa Cicadas, Desa Majalaya, Desa Nagrak, dan Desa Sukamahi. Adapun kerusakan-kerusakan tersebut ditunjukkan oleh Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 1. Kerusakan bendung di DI Cicadas, Desa Sukamahi, Kecamatan Cijati
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Gambar 1 merupakan kerusakan bendung yang berada di Daerah irigasi (DI) Cicadas, tepatnya berada di sungai Cicadas, Desa Sukamahi, Kecamatan Cijati, Kab. Cianjur, Jawa Barat. Bendung merupakan bangunan utama irigasi yang berfungsi menaikkan tinggi muka air. Bendung didesain sedemikian rupa sesuai KP Irigasi dengan tujuan dapat menyediakan kebutuhan air irigasi disaat dibutuhkan khususnya pada saat musim kemarau di suatu daerah layanan irigasi. Selain di DI Cicadas, juga ditemukan kerusakan bendung di DI Ciartamaya yang berada di Desa Sukamanah, Kecamatan Cianjur dan DI Jatun yang berlokasi di Desa Mangunkerta, Kecamatan Cugenang. Kerusakan yang terjadi dikategorikan sebagai rusak berat dengan risiko tinggi dan kinerja buruk, sehingga memerlukan pemeliharaan rehabilitatif.



Gambar 2. Kerusakan sayap kiri bendung di Desa Majalaya
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Gambar 2 merupakan kerusakan infrastruktur SDA berupa rubuhnya tembok sayap hilir bendung sebelah kiri yang ada di Desa Majalaya Kecamatan Cikalong Kulon sepanjang 10 m. Tembok sayap bendung merupakan bangunan pelengkap bendung yang berfungsi untuk mencegah aliran samping, pengarah aliran dari bendung ke hilir, penahan tanah tebing atau sebagai pengaman terhadap longsoran tebing. Tembok sayap hilir bendung pada umumnya berada setelah bangunan peredam energi. Kerusakan yang terjadi dikategorikan sebagai rusak sedang dengan risiko sedang dan kinerja cukup, sehingga memerlukan pemeliharaan korektif (perbaikan).



Gambar 3. Kerusakan pintu air di DI Cisarua, Desa Nagrak, Kecamatan Cianjur
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Gambar 3 merupakan kerusakan pintu air di DI Cisarua yang berada di Desa Nagrak, Kecamatan Cianjur. Kerusakan berupa retaknya bangunan pintu air. Pintu air irigasi merupakan bangunan pelengkap irigasi yang memiliki peran sangat penting. Pintu air ini berfungsi sebagai pengatur air. Apabila dilihat dari gambar, kerusakan pada pintu ini terjadi di bagian dinding saluran yang berhubungan dengan pintu air. Menurut Okamoto (1984), besar kerusakan pintu air akibat gempa sebagian besar terdiri dari kerusakan lentur *(bending breakage)* karena aksi balok dan retaknya dinding pada bukaan. Selain itu, kerusakan juga dipengaruhi oleh usia bangunan pintu. Kerusakan tersebut dikategorikan sebagai rusak sedang dengan risiko sedang dan kinerja cukup, sehingga memerlukan pemeliharaan korektif (perbaikan). Masih di wilayah yang sama, ditemukan kerusakan bangunan irigasi berupa kerusakan bangunan sadap seperti yang ditunjukkan Gambar 4. Bangunan sadap merupakan bangunan yang berfungsi menyadap air dari saluran irigasi untuk dibagikan ke beberapa saluran dan memberikan ke petak-petak sawah. Apabila bangunan ini tidak dapat berfungsi, maka proses pemberian air irigasi tidak dapat dialirkan secara tepat dan efisien sesuai kebutuhan masing-masing petak sawah. Kerusakan bangunan sadap di DI Cisarua, Desa Nagrak, Kecamatan Cianjur sesuai Gambar 4 dikategorikan sebagai rusak sedang dengan risiko sedang dan kinerja cukup, sehingga memerlukan pemeliharaan korektif (perbaikan).



Gambar 4. Kerusakan bangunan sadap di DI Cisarua, Desa Nagrak, Kecamatan Cianjur
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Kerusakan infrastruktur irigasi juga terjadi di saluran pembawa. Saluran ini berfungsi untuk mengalirkan air yang bersumber dari bendung menuju ke petak sawah. Kerusakan yang terjadi pada umumnya akibat tertimbun oleh longsoran. Akibatnya, akan mengurangi kapasitas tampang saluran yang secara langsung berpengaruh terhadap efisiensi saluran irigasi. Saluran-saluran irigasi yang terdampak diantaranya berada di DI Cijedil, DI Cisarua, Di Cimanahayu, DI Ciartamaya, DI Susukan Pasir, dan DI Cisarepong. Adapun kerusakan saluran-saluran tersebut ditunjukkan oleh gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5. Saluran irigasi yang tertimbun longsoran di DI Cijedil, Desa Cijedil, Kecamatan Cugenang (Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Gambar 5 merupakan saluran irigasi yang tertimbun longsoran di DI Cijedil, Desa Cijedil, Kecamatan Cugenang. Saluran irigasi tersebut merupakan bagian dari daerah irigasi cijedil yang digunakan untuk mengairi areal pertanian seluas 35 Ha. Akibat longsoran tersebut, menyebabkan akses jalan menuju ke lokasi bendung juga tertutup. Saluran irigasi di kawasan ini rusak sepanjang 366 m dengan rincian 35 m (Hm.4-Hm.6), 20 m (Hm.8-Hm. 9), 6 m (Hm. 10.-Hm-11), 75 m (Hm. 11-Hm. 12), 150 m (Hm.13-Hm.15), dan 80 m (Hm.15-Hm. 18). Kerusakan yang terjadi dikategorikan sebagai rusak berat dengan risiko tinggi dan kinerja buruk, sehingga memerlukan pemeliharaan rehabilitatif. Masih di Desa Cijedil, kerusakan saluran juga ditemukan di DI Sususkan Pasir dengan kerusakan infrastruktur berupa rusaknya pasangan lining sepanjang 50 m seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6a dan saluran tertutup longsoran sepanjang 20 m seperti yang ditampilkan oleh Gambar 6b. Kerusakan yang terjadi dikategorikan sebagai rusak berat dengan risiko tinggi dan kinerja buruk, sehingga memerlukan pemeliharaan rehabilitatif



Gambar 6. (a) Kerusakan lining saluran di DI Cijedil (b) Tertutupnya saluran oleh longsoran di DI Cijedil (Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Selain itu, juga terdapat saluran irigasi yang tertimbun material longsoran sepanjang 3 meter di DI Cisarua, Desa Nagrak, Kecamatan Cianjur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Longsoran berasal dari dinding penahan saluran. Kerusakan tersebut termasuk rusak berat dengan risiko tinggi dan kinerja buruk, sehingga memerlukan pemeliharaan rehabilitatif. Tertutupnya saluran irigasi oleh material longsoran juga terjadi di DI Cimanahayu, Desa Mangunkarta, Kecamatan Cugenang

seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8. Kerusakan yang terjadi dikategorikan sebagai rusak berat dengan risiko tinggi dan kinerja buruk, sehingga memerlukan pemeliharaan rehabilitatif. Kemudian di DI Ciartamaya hanya terjadi kerusakan pasangan lining saluran sepanjang 30 m seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9, sehingga kerusakannya dikategorikan sebagai rusak ringan dengan risiko rendah dan kinerja baik yang memerlukan pemeliharaan preventif berupa perawatan. Lining saluran berfungsi untuk mengurangi kehilangan air, mencegah gerusan dan erosi, dan mencegah pertumbuhan tumbuhan air.



Gambar 7. Saluran Irigasi DI Cisarua tertimbun material longsoran
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)



Gambar 8. Saluran Irigasi DI Cimanahayu tertimbun material longsoran
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)



Gambar 9. Kerusakan lining saluran di DI Ciartamaya
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)



(b)

Gambar 10. Kerusakan Infrastruktur di DI Cisarepong (a)Pasangan lining rusak (b) saluran tertutup oleh longsoran
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Gambar 10 merupakan kerusakan yang ada di DI Cisarepong, Desa Babakan Karet, Kecamatan Cianjur. Kerusakan infrastruktur SDA berupa pasangan lining rusak dan tertimbunnya saluran irigasi oleh longsoran dari bangunan yang ada di sekitarnya. Kerusakan ini menyebabkan saluran tidak dapat difungsikan kembali. Kerusakan yang terjadi dikategorikan sebagai rusak berat dengan risiko tinggi dan kinerja buruk, sehingga memerlukan pemeliharaan rehabilitatif. Kerusakan Infrastruktur SDA tidak hanya terjadi di bangunan irigasi, tetapi juga terjadi di Sungai. Lokasi-lokasi sungai yang terdampak gempa tektonik Cianjur berada di Sungai Cisarua Gede, Sungai Cianjur, dan Sungai Cibodas. Adapun kerusakan yang terjadi di kedua sungai tersebut ditunjukkan oleh Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13.



Gambar 11. Tanggul sungai Cisarua Gede roboh
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Gambar 11 merupakan kerusakan infrastruktur SDA di Sungai Cisarua Gede, Desa Nagrak, Kecamatan Cianjur yaitu robohnya tanggul sungai yang berada di dekat Jembatan Cisarua Gede. Panjang longsoran kurang lebih 18,5 m, retak-retak 5,5 m dan ketinggian longsoran sekitar 5,5 m. Kerusakan yang terjadi di Sungai Cisarua Gede tersebut termasuk rusak sedang (risiko sedang dan kinerja cukup), sehingga memerlukan pemeliharaan korektif berupa perbaikan. Selanjutnya, kerusakan infrastruktur SDA di Sungai Cianjur berada di sekitar Kelurahan Pamoyanan, Kecamatan Cianjur yaitu Dinding Penahan Tanah (DPT) di Sungai Cianjur jebol sepanjang 5 m. Adapun kondisinya retak dan miring dengan panjang retakan sepanjang 50 m. DPT tersebut memiliki sekitar 4 m seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 12. DPT merupakan konstruksi untuk mencegah kelongsoran pada suatu tebing yang agak curam/tegak dan biasanya digunakan pada daerah yang berbatasan dengan sungai, danau, maupun rawa (Wiraga,dkk., 2015). Jenis DPT tersebut tersusun oleh pasangan batu kali. Menurut Handayana, dkk. (2020), dinding penahan tanah yang tersusun dari pasangan batu kali memiliki beberapa fungsi diantaranya dapat menahan lateral tanah aktif yang dapat berpotensi menyebabkan terjadinya keruntuhan lateral tanah seperti longsor, menahan tekanan lateral air yang menyebabkan terjadinya keruntuhan akibat tekanan air yang besar, dan mencegah terjadinya rembesan air secara lateral akibat elevasi muka air tanah yang cukup tinggi serta memotong aliran air. Apabila DPT ini rusak maka kestabilan tanah di sekitar sungai akan terganggu, secara langsung juga mempengaruhi keamanan bangunan pemukiman di sekitarnya. Rusaknya DPT di Sungai Cianjur tersebut termasuk kategori kerusakan sedang dengan risiko sedang dan kinerja cukup, sehingga memerlukan pemeliharaan korektif.



Gambar 12. Tembok penahan tanah di Sungai Cianjur, Kelurahan Pamayonan jebol
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)



Gambar 13. Sungai Cianjur di Desa Mangunkerta, Kecamatan Cugenang terkena longsoran
(Sumber: PU SDA Kabupaten Cianjur)

Gambar 13 merupakan Sungai Cianjur di Desa Mangunkerta, Kecamatan Cugenang terkena longsoran. Dampak yang ditimbulkan oleh tanah longsoran yang masuk ke alur sungai adalah meningkatnya sedimentasi sungai dan terjadi perubahan alur sungai yang dapat memicu terjadinya meander pada sungai. Air sungai yang mengalir akan membawa tanah longsoran tersebut ke sepanjang alur sungai yang ada di elevasi yang lebih rendah. Jika hal ini tidak ditangani dengan maksimal, maka akan terjadi pengendapan sedimen di sepanjang alur yang kedepannya akan mempengaruhi morfologi sungai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liu dan Yang (2015), gempa bumi di Wenchuan tahun 2008 memberikan dampak yang signifikan terhadap proses agradasi sungai akibat suplai sedimen ke sungai yang relatif tinggi. Kerusakan di Sungai Cianjur tersebut dikategorikan sebagai rusak berat dengan risiko tinggi dan kinerja buruk, sehingga memerlukan pemeliharaan rehabilitatif. Upaya yang dapat dilakukan adalah normalisasi dan perkuatan lereng/tebing yang ada di sekitar saluran sungai.

Berdasarkan hasil pengamatan dapat dijelaskan bahwa kerusakan infrastruktur SDA dapat disebabkan beberapa hal seperti usia bangunan dan keberadaan bangunan disesar gempa karena ada beberapa desa yang terletak di jalur sesar Cugenang. Menurut pemaparan Dwikorita, Sesar Cugenang melintasi sedikitnya 9 desa. Dari 9 desa yang dilintasi Sesar Cugenang, delapan diantaranya termasuk Kecamatan Cugenang. Kedelapan desa itu di antaranya Desa Ciherang, Desa Ciputri, Cibeureum, Nyalindung, Mangunkerta, Sarampad, Cibulakan, dan Desa Benjot. Satu desa terakhir, Nagrak, lokasinya di dalam wilayah Kecamatan Cianjur (Putratama, 2022). Kerusakan infrastruktur SDA ini perlu segera diperbaiki agar infrastruktur tersebut dapat berfungsi dengan baik.

D. KESIMPULAN

Gempa bumi cianjur menyebabkan kerusakan infrastruktur SDA baik bangunan utama irigasi, bangunan sungai dan saluran irigasi di beberapa lokasi terdampak gempa. Terdapat beberapa kerusakan infrastruktur SDA yang masuk dalam kategori rusak ringan yang memerlukan pemeliharaan preventif, rusak sedang yang memerlukan pemeliharaan korektif (perbaikan), maupun rusak berat yang memerlukan pemeliharaan rehabilitatif. Daerah Irigasi (DI) yang bangunannya terdampak gempa berada di DI Cijedil, DI Cisurian, DI Cisarua, DI Cimanahayu, DI Jatun, DI Ciartamaya, DI Cicadas, DI Susukan Pasir, dan DI Cisarempong, sedangkan sungai yang terdampak gempa adalah Sungai Cianjur, Sungai Cisarua, Sungai Cisurian, Sungai Cisurian Gede, Sungai Cicadas, dan Sungai Cibodas. Kerusakan infrastruktur irigasi berbeda-beda di tiap lokasi, diantaranya, kerusakan pada bendung, tertutupnya saluran irigasi oleh material longsoran, dan kerusakan lining pasangan saluran. Kerusakan infrastruktur sungai bervariasi di setiap titik lokasinya, seperti kerusakan dinding penahan tanah (DPT), kerusakan tanggul sungai, dan tertimbunnya alur sungai oleh tanah longsoran. kerusakan infrastruktur SDA dapat disebabkan beberapa hal seperti usia bangunan dan keberadaan bangunan disesar gempa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Kantor PUPR SDA Cianjur atas kerjasamanya dalam kegiatan survei dan pengumpulan data serta kepada semua pihak yang telah mendukung dalam kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, H. P., Wahyudi, S. I., Santoso, E. (2009). ”Studi tentang kerusakan infrastruktur keairan akibat gempa tektonik di Kabupaten Klaten”. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan.* Vol. 11, 161-168

Dary, F., Sholichin, S., dan Prayogo T. B., (2022). “Studi penilaian kinerja dan angka kebutuhan nyata operasi dan pemeliharaan (AKNOP) Sungai Bajak di Kota Semarang”. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, Vol. 3, 420-433.

Elnashai, A. S. dan Sarno, L. D. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England.

Handayana, R., Dharmawansyah, D., Kurniati, E., Mawardin, A. (2020). “Analisis dinding penahan tanah pada Sungai Brang Biji”. *HEXAGON: Jurnal Teknik dan Sains Fakultas Teknik Universitas Teknologi Sumbawa*. Vol. 1, 23-32.

Kurniawati, L. (2017). Inventarisasi kondisi jaringan irigasi saluran irigasi sekunder pada daerah irigasi Taman Sari wilayah kerja pengamat pengairan Wuluhan KAbupaten Jember. Universitas Jember. Jember.

Liu, F and Yang, S. (2015). “The effect of the Wenchuan earthquake on the fluvial morphology in the Longmen Shan, eastern Tibetan Plateau Discussion and Speculation”. *Quaternary International: The Journal of The International Union for Quaternary Research*. Vol. 371, 280-289.

Okamoto, S. (1984). *Introduction to earthquake engineering*. University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.

Permen PU No. 6. (2015). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Sumber Daya Air dan Bangunan Pengairan. Kementerian PUPR.

Putratama, R. (2022). Gempa Cianjur disebabkan sesar cugenang, BMKG dorong Pemkab Cianjur relokasi 9 Desa. Website:https://www.bmkg.go.id/press-release/?p=gempa-cianjur-disebabkan-sesar-cugenang-bmkg-dorong-pemkab-cianjur-relokasi-9-desa&tag=press-release&lang=ID . Diakses pada 19 April 2023.

Putri, N. M. (2018). "Analisis prioritas rehabilitasi bendung: Studi kasus Bendung Cokrobedog, Gamping, Pendowo dan Pijenan di Kali Bedog". *Semesta Teknika*, Vol. 21, 10-17.

Sabtaji, A. (2020). "Statistik kejadian gempa bumi tektonik tiap provinsi di Indonesia selama 11 tahun pengamatan (2009-2019)". *Buletin Meteorologi,Klimatologi, dan Geofisika*, Vol. 1, 31-46.

Supendi, P., Priyobudi, Jatnika, J., Sianipar, D., Ali, Y.H., Heryandoko, N., Daryono, Adi, S. P., Karnawati, D., Anugerah, S. D., Fatchurochman, I., Sudrajat, A. (2022). *"Analisis Gempabumi Cianjur (jawa Barat) Mw 5,6 tanggal 21 November 2022"*. Kelompok Kerja Sesar Aktif dan Katalog Gempabumi

UU No.17. (2019). Undang-Undang Nomor 17/2019 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. Kementerian PUPR

Wahyudi, S. (2020). Analisis kinerja dan AKNOP sungai berdasarkan kondisi morfologi sungai (studi kasus Sungai Opak, Sungai Kuning, Sungai Winongo Daerah Istimewa Yogyakarta). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Wiraga, I. W., Negera. D. R. S. I. G. A. G. S., Arya, I. W., Wibawa, I. G. S. (2015)." Penyebab runtuhnya dinding penahan tanah pada perumahan Karania Graha Di Desa Jadi Kediri Tabanan". *Jurnal Logic*. Vol. 15, 131-136.

KAJIAN PERUBAHAN MORFOLOGI SUNGAI AMERORO AKIBAT ADANYA BENDUNGAN AMERORO, SULAWESI TENGGARA

Indradjati Rachmatullah[1*], Dyah Widyaningrum[1], Widiawati Rustan[1], Dantje Kardana Natakusumah[2], Widyaningtyas[2], Eka Oktariyanto Nugroho[2]

[1]Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung*
[2]Kelompok Keahlian Sumber Daya Air, Insitut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung
Email: 25822022@mahasiswa.itb.ac.id (Corresponding author)

ABSTRAK

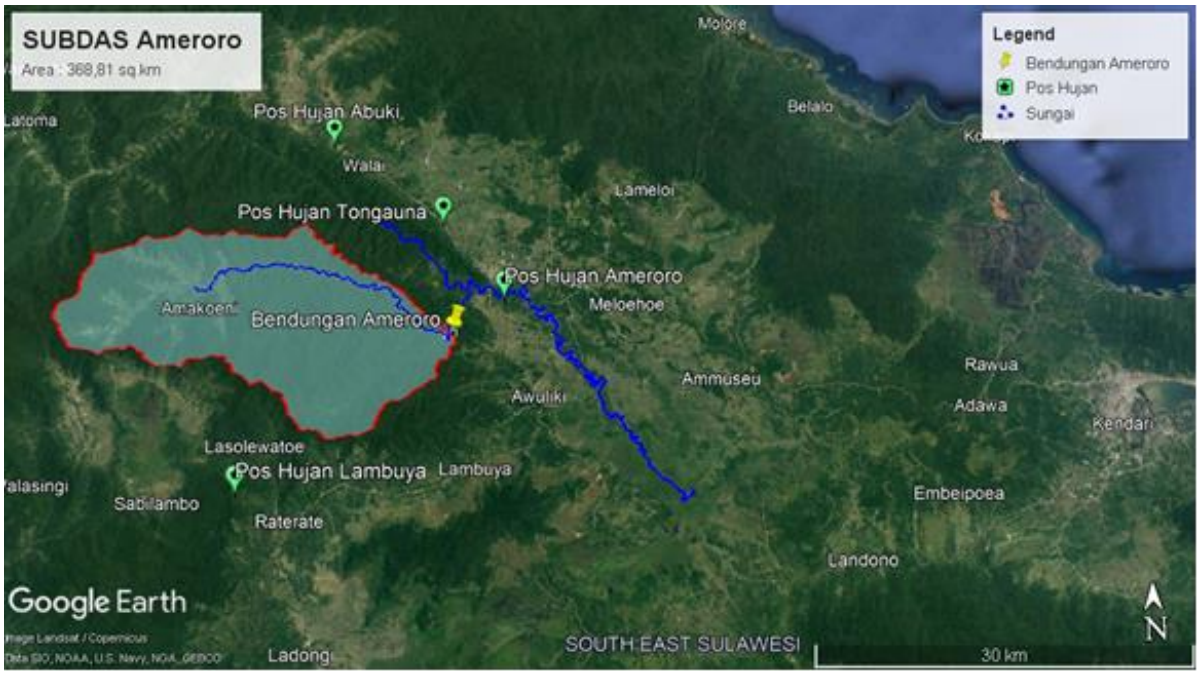
Perubahan morfologi sungai terjadi akibat faktor alami maupun faktor manusia. Sungai Ameroro mengalami perubahan morfologi dalam jangka waktu singkat, hal ini menggambarkan perlunya tindak lanjut agar SUBDAS Ameroro tidak menjadi kritis. Penanganan yang dilakukan adalah dengan pembangunan Bendungan Ameroro di Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara, dimana dengan adanya bangunan melintang sungai maka akan mempengaruhi morfologi sungai tersebut. Dengan metode analisis hidrologi, analisis angkutan sedimen dengan menggunakan data geologi tanah dan analisis hidraulik menggunakan bantuan HECRAS dapat terlihat pengaruh adanya Bendungan Ameroro terhadap perubahan morfologi sungai Ameroro. Perubahan terlihat pada elevasi dasar sungai, agradasi dan degradasi serta ruang genangan akibat bendungan. Pada kondisi alami perubahan dasar sungai pada bagian hulu menjadi lebih curam dan sebaliknya pada bagian hilir. Hal ini berkebalikan dengan kondisi terdapat bendungan, sedangkan untuk bagian tengah kedua kondisi ini tidak banyak mempengaruhi kemiringan sungai. Untuk agradasi dan degradasi kedua kondisi ini mengalami kesamaan pada setiap bagian, tetapi pada kondisi sungai yang terdapat bendungan memperlihatkan bahwa bendungan mengurangi agradasi maupun degradasi pada sungai. Ruang genangan akibat bendungan menyebabkan luas penampang basah sungai semakin besar sampai ke hulu sungai yang merubah aliran pada sungai. Sehingga ketiga hal yang ditinjau memperlihatkan bahwa perubahan morfologi Sungai Ameroro nantinya akan dipengaruhi adanya Bendungan Ameroro.

Kata kunci: Morfologi, Geologi, Sedimen, HECRAS

A. PENDAHULUAN

Perubahan morfologi sungai merupakan salah satu kejadian pada sungai yang dipengaruhi oleh faktor alam maupun manusia. Morfologi sungai dapat mancakup perubahan-perubahan pada sungai seperti sedimentasi, erosi, kenaikan muka air, bentuk alur aliran sungai, banjir rob dan sebagainya. Pentingnya mengetahui perubahan morfologi pada sungai akan sangat membantu perencanaan pola pengelolaan wilayah sungai maupun perencanaan tata guna lahan pada suatu daerah sungai.

Sungai Ameroro merupakan anak sungai Konaweha di daerah Sulawesi Tenggara dimana pada daerah Wilayah Sungai Konaweha banyak terjadi kekeringan dan banjir dalam satu tahun yang sama. Sehingga Bendungan Ameroro pada SUBDAS Ameroro di kabupaten Konawe yang dibangun pada tahun 2021 dan direncanakan selesai tahun 2023 menjadi solusi untuk permasalahan yang sering terjadi di induk Sungai Konaweha.

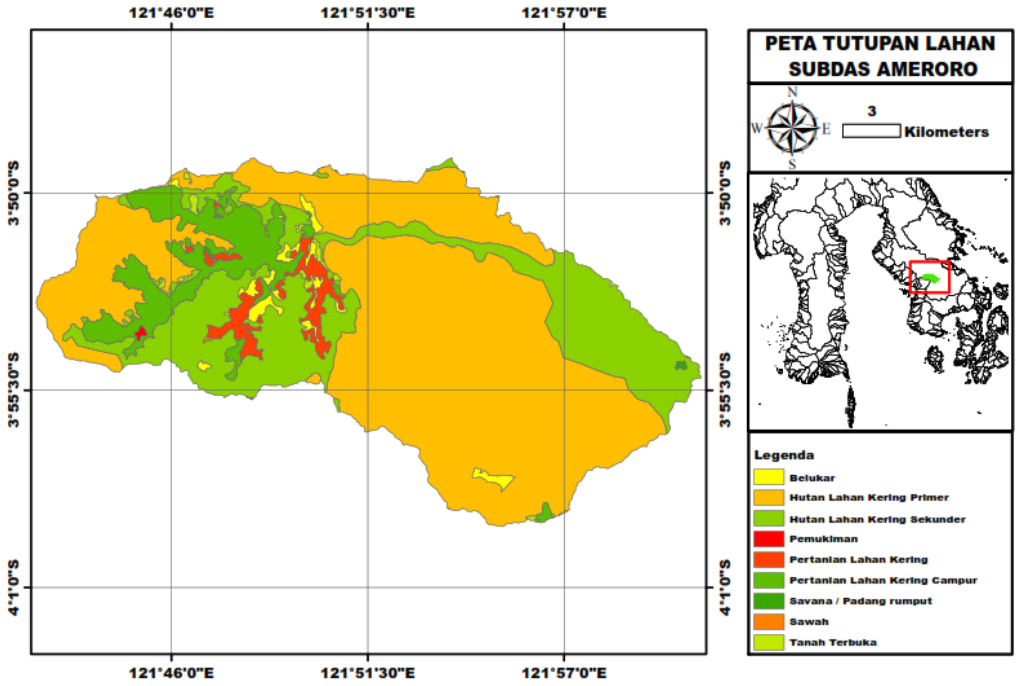


Gambar 1. Subdas Ameroro, Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara (Citra Satelit, Google Earth)

Perubahan morfologi Sungai Ameroro sudah sangat terlihat secara langsung pada citra satelit dari tahun 2014 - 2023, hal ini yang menjadi peran penting perencanaan pembangunan suatu wilayah apabila terdapat infrastruktur baru yaitu Bendungan Ameroro yang akan mempengaruhi bentuk sungainya. Perubahan akan terjadi pada aliran sungai, bentuk sungai dan geometri sungai, dimana bentuk-bentuk tersebut dapat berubah dengan mudah terhadap aliran rendah (Julien, Pierre Y 2018). Terlihat pada Gambar 2 proses *meandering* terjadi dalam beberapa tahun kebelakang pada Sungai Ameroro. Proses sedimentasi pada sungai sangat mempengaruhi perubahan morfologi saluran terutama pada bagian hilir atau muara (Eekhout, Joris P.C 2014).



Gambar 2. Perubahan morfologi Sungai Ameroro tahun 2014 – 2023 (Citra Satelit, Google Earth)



Gambar 3. Peta tutupan lahan SUBDAS Ameroro

Pada kawasan Sungai Ameroro didominasi tutupan lahan hutan lahan kering primer sebesar 61% dan berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Konawe peningkatan penduduk rata-rata dari tahun 2010-2017 sebesar 1.98% atau berkisar 4.400 jiwa, hal ini sangat berpengaruh terhadap perubahan tata guna lahan pada SUBDAS Ameroro. Perubahan tata guna lahan menjadi pemukiman menjadi salah satu faktor perubahan dasar sungai dalam jangka panjang (Julien, Pierre Y 2018).

Perubahan yang signifikan dan cepat pada morfologi sungai menandakan bahwa proses erosi dan sedimentasi yang terjadi pada Sungai Ameroro perlu segera ditangani sehingga tidak menjadikan SUBDAS Ameroro kritis. Dengan hal ini pentingnya mengkaji perubahan morfologi pada Sungai Ameroro akibat adanya Bendungan Ameroro agar penanganan lebih efektif dan tepat sasaran.

B. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan menganalisis SUBDAS Ameroro dengan analisis hidrologi, hidraulika dan angkutan sedimen terhadap data lapangan yang tersedia selama proses perencanaan sampai pembangunan Bendungan Ameroro.

Menentukan hujan wilayah maksimum dan periode ulang maksimum dengan uji statistik dan probabilitas dengan beberapa alternatif uji seperti Normal, Log-Normal, Gumbel dan Log-Pearson III serta dilakukan beberapa pengecekan kelayakan seperti NSE (*Nash–Sutcliffe Efficiency*), MAE (*Mean Absolute Error*), Uji SMIRNOV-KOLMOGOROV dan Uji Chi-Square. Hujan maksimum digunakan untuk menghitung debit banjir dalam proses analisis genangan pada bendungan.

Tabel 1. Persentase Thiessen Subdas Ameroro

Pos Hujan	Luas *Polygon* Thiessen (km^2)	Persentase Luasan (%)
Abuki	201.13	20.12
Tongauna	66.41	54.54
Lambuya	74.2	18.01
Ameroro	27.07	7.34
Total	**368.81**	**100**

Tabel 2. Distribusi hujan wilayah maksimum rata-rata

Tahun	Distribusi Hujan Maksimum				
	Pengamatan	Normal	Log-Normal	Gumbel	Log-Pearson III
2000	**66.71**	67.71	66.22	65.22	65.04
2001	**54.80**	57.52	57.07	56.94	56.76
2002	**51.39**	50.44	51.47	52.19	50.85
2003	**44.59**	41.83	45.40	47.26	44.94
2004	**82.78**	86.83	87.52	87.70	87.51
2005	**54.45**	55.46	55.39	55.49	54.40
2006	**64.94**	66.11	64.69	63.79	63.86
2007	**62.31**	64.50	63.19	62.40	62.68
2008	**73.00**	72.64	71.16	70.02	69.77
2009	**52.67**	53.15	53.55	53.93	53.22
2010	**77.14**	76.29	75.05	73.98	74.50
2011	**71.98**	70.95	69.42	68.31	68.59
2012	**58.30**	59.41	58.67	58.33	57.95
2013	**106.70**	91.98	94.36	95.88	94.61
2014	**58.36**	61.18	60.20	59.69	59.13
2015	**68.68**	69.31	67.79	66.72	66.23
2016	**76.74**	74.41	73.02	71.89	72.14
2017	**47.38**	46.99	48.94	50.11	48.49
2018	**58.46**	62.86	61.70	61.04	60.31
2019	**82.01**	83.38	83.23	82.79	82.78
2020	**80.12**	80.66	79.99	79.22	79.23
2021	**78.44**	78.35	77.34	76.37	76.87
MAE		2.990%	2.725%	3.437%	2.815%
NSE		0.934	0.949	0.947	0.946
Uji SMIRNOV-KOLMOGOROV		Lulus	Lulus	Lulus	Lulus
Uji CHI-SQUARE		Lulus	Lulus	Lulus	Lulus

Dari hasil distribusi dan uji kelayakan data hujan wilayah maksimum tahunan didapatkan distribusi Log-Normal yang paling baik dari keempat distribusi diatas, sehingga untuk perhitungan periode ulang didapatkan nilai sebagai berikut.

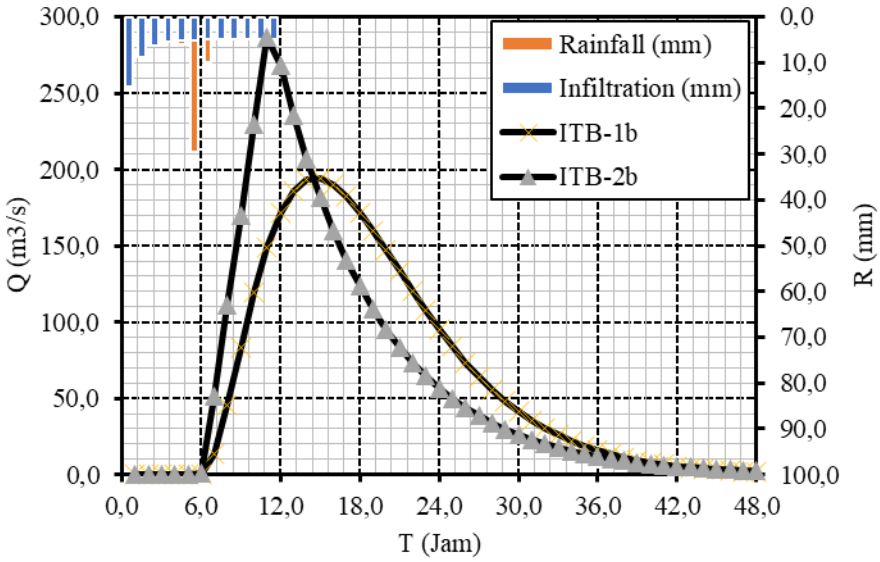
Tabel 3. Perhitungan periode ulang hujan wilayah maksimum

Periode	Hujan Maksimum
2	65.45
5	78.35
10	86.07
20	93.02
25	95.15
50	101.51
100	107.60
200	113.50
500	121.07
1000	126.68
PMP	426.77

Periode ulang yang dihitung dibuat untuk perhitungan debit banjir, debit banjir yang dihitung bisa digunakan dengan banyak metode, beberapa yang digunakan adalah HSS ITB-1b dan HSS ITB-2b karena memerlukan data SUBDAS yang tidak banyak dengan hasil yang cukup akurat (Natakusumah, Dantje K 2011). Dengan memperhitungkan infiltrasi metode Horton dan distribusi hujan menggunakan PSA 007 dapat dilihat hidrograf satuan seperti berikut.

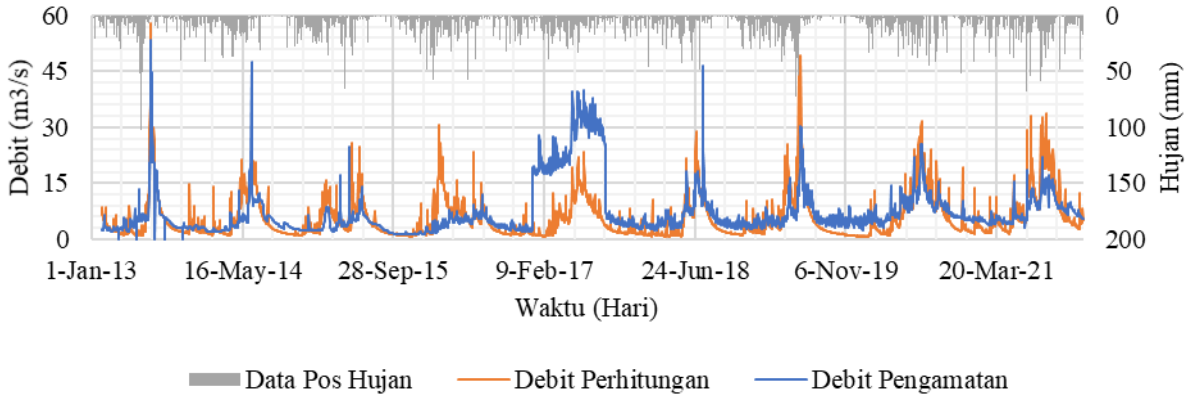
Tabel 4. Data perhitungan Hidrograf

Uraian	Satuan	Nilai
Luas SUBDAS	km^2	368.81
Panjang Aliran Sungai	km	45.341
Infiltrasi Horton	%	50



Grafik 1. Hidrograf periode ulang 2 tahun

Permodelan yang dilakukan menggunakan program HEC-RAS 6.3.1 untuk memodelkan aliran dilihat secara geometrik sungai dan angkutan sedimen yang terjadi. Permodelan debit harian didekati dengan metode Sacramento dan kalibrasi menggunakan data PDA pada Bendung Ameroro dengan jumlah tahun pengamatan debit 2013-2021, didapatkan kalibrasi dan permodelan sebagai berikut



Grafik 2. Kalibrasi debit dengan metode Sacramento

Nilai kalibrasi didapatkan korelasi 53% hal ini terlihat berbeda di tahun 2017 semester awal dimana debit pengamatan yang terjadi merupakan debit besar dibandingkan debit di tahun sebelum dan sesudahnya. Berdasarkan nilai korelasi diatas permodelan masih termasuk kriteria sedang (Sugiyono 2017) yang masih bisa untuk digunakan sebagai model.

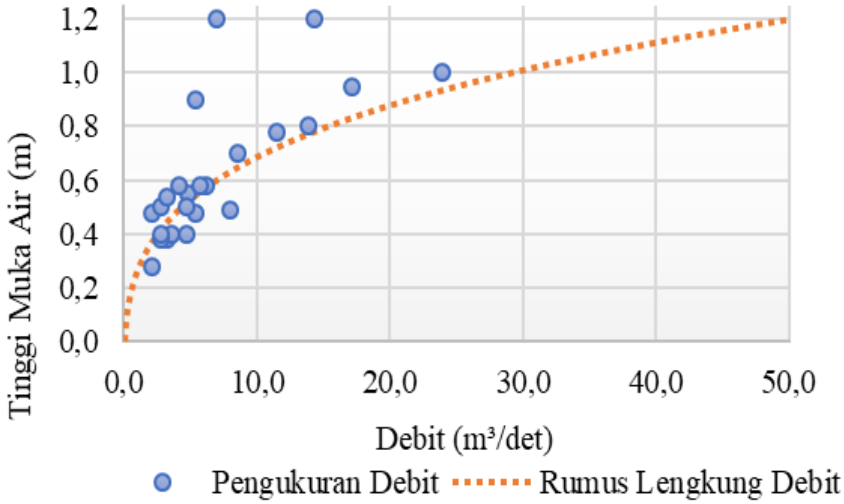
Permodelan dilakukan dengan disandingkan data yang didapatkan langsung pada perencanaan dan pembangunan Bendungan Ameroro oleh BWS Sulawesi IV Kendari, Dir. Jend. SDA, Kemen. PUPR. Data yang diambil sebagai berikut.

Tabel 5. Data yang digunakan dalam penelitian

Uraian	Ketersediaan Data	Sumber
Data Topografi	Pengukuran topografi dengan luas area 74,76 km^2	Pengukuran Proyek Pembangungan Bendungan Ameroro (2022)
Data Potongan Melintang	96 Potongan melintang Sungai Ameroro 46 Potongan melintang Anak Sungai Ameroro	Pengukuran Proyek Pembangungan Bendungan Ameroro (2022)
Detail Bendungan	Detail gambar bendungan	Pelaksanaan Proyek Pembangungan Bendungan Ameroro (2022)
	Perhitungan perencanaan bendungan utama	Perencanaan Proyek Pembangungan Bendungan Ameroro (2019)
Detail Bangunan Pelimpah	Detail gambar bangunan pelimpah	Pelaksanaan Proyek Pembangungan Bendungan Ameroro (2022)
	Perhitungan perencanaan bangunan pelimpah	Perencanaan Proyek Pembangungan Bendungan Ameroro (2019)

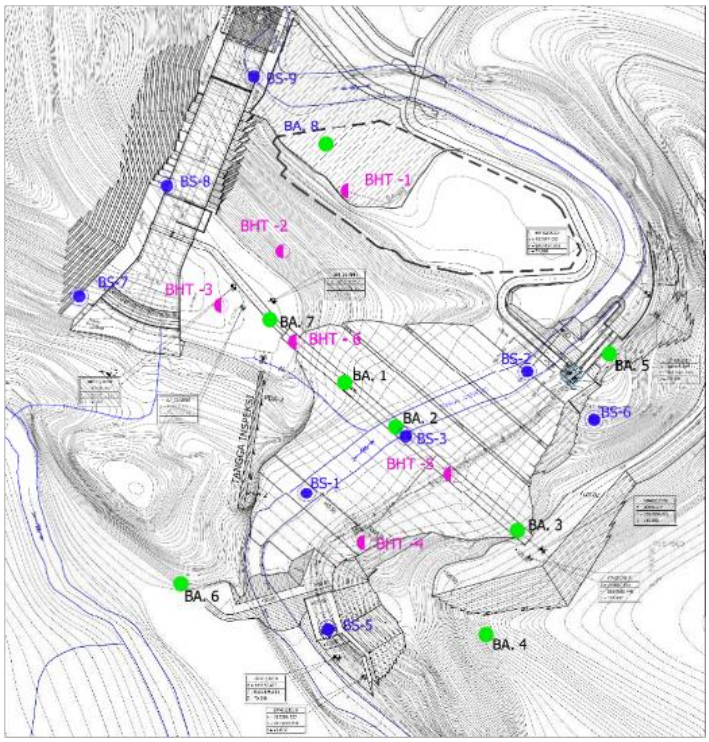
Uraian	Ketersediaan Data	Sumber
Data Geologi	Geologi di kawasan tubuh bendungan dan bangunan pelimpah	Perencanaan Proyek Pembangungan Bendungan Ameroro (2019)
Data Hidrologi	Data curah hujan (Abuki, Tongauna, Ameroro, Lambuya), data pengamatan debit Bendung Ameroro, dan data iklim (Unaaha)	BHLK & AWLR Ameroro
Data Tutupan Lahan	Sebaran tutupan lahan Sulawesi Tenggara	KLHK 2019
Digital Elevation Model	Data topografi diluar topografi hasil pengukuran	DEM Nasional Indonesia

Batasan ruang lingkup penelitian adalah di kawasan lokasi Bendungan Ameroro berdasarkan data yang didapat dan dibatasi oleh Bendung Ameroro yang telah dibangun sejak 1991 untuk pemanfaatan irigasi. Pada Bendung Ameroro terdapat hasil pengamatan tinggi muka air dan debit aliran dari tahun 2013 – 2021 yang akan dijadikan batas pada permodelan HEC-RAS 6.3.1



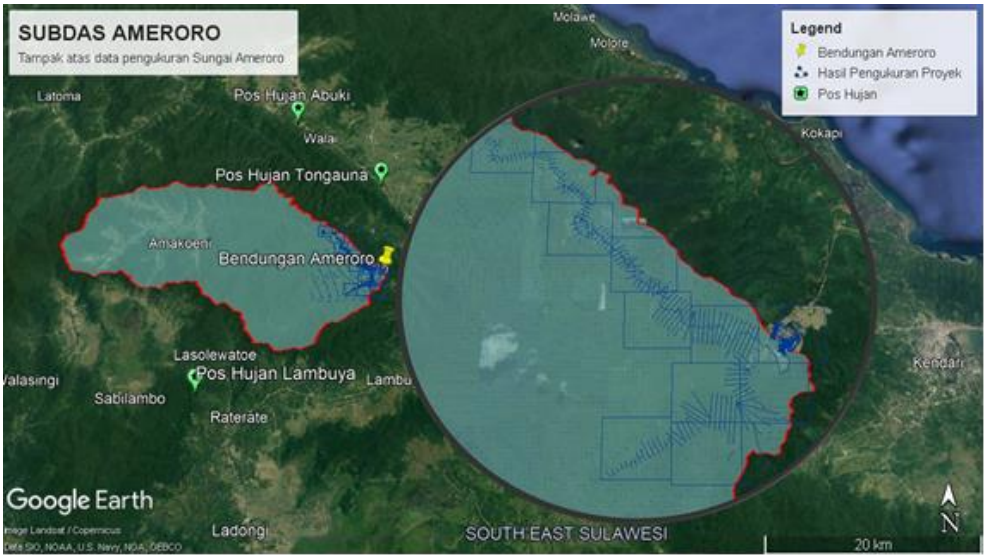
Grafik 3. Perbandingan tinggi muka air dan debit di pengamatan Bendung Ameroro

Dalam proses permodelan untuk proses angkutan sedimen pada Sungai Ameroro yang merupakan daerah hulu atau dataran tinggi dimana kecepatan aliran yang besar akan membuat pergerakan material dasar lebih mudah (Julien, Pierre Y 2018) sehingga angkutan sedimen yang dimodelkan menggunakan metode *Bed Load* sehingga dalam pemasukan sedimen data dapat menggunakan data geologi yang diambil di sekitar tubuh bendungan.

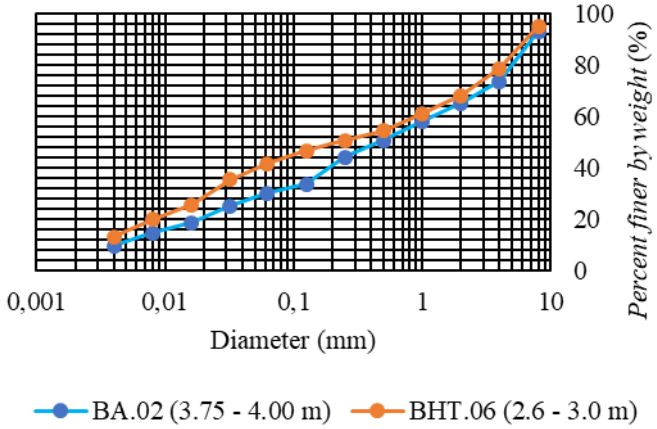


Gambar 4. Tampak atas titik pengambilan data geologi di lokasi bendungan dan bangunan pelimpah

Pengambilan data geologi menggunakan metode pengeboran dan uji tanah yang digunakan mendapatkan nilai-nilai kriteria tanah pada kawasan bendungan dan bangunan pelimpah pada Bendungan Ameroro. Data yang digunakan dari pengukuran geologi adalah gradasi butiran pada titik tertinggi dan terendah pengeboran sebagai permodelan untuk gradasi di hulu sungai dan hilir sungai pada Sungai Ameroro. Permodelan dilakukan sebesar 17.16 km panjang sungai, dimana 11.36 km dari pengukuran dan 5.80 km menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*) Nasional Indonesia menggambarkan 38% panjang sungai utama pada SUBDAS Ameroro. Hulu sungai dalam permodelan berada pada elevasi +130.73 dan hilir sungai berada pada elevasi +66.3, dan penggunaan data geologi diambil di titik BHT.06 (Elv. +131) dan BA.02 (Elv. +65).



Gambar 4. Ploting hasil data pengukuran Proyek Bendungan Ameroro

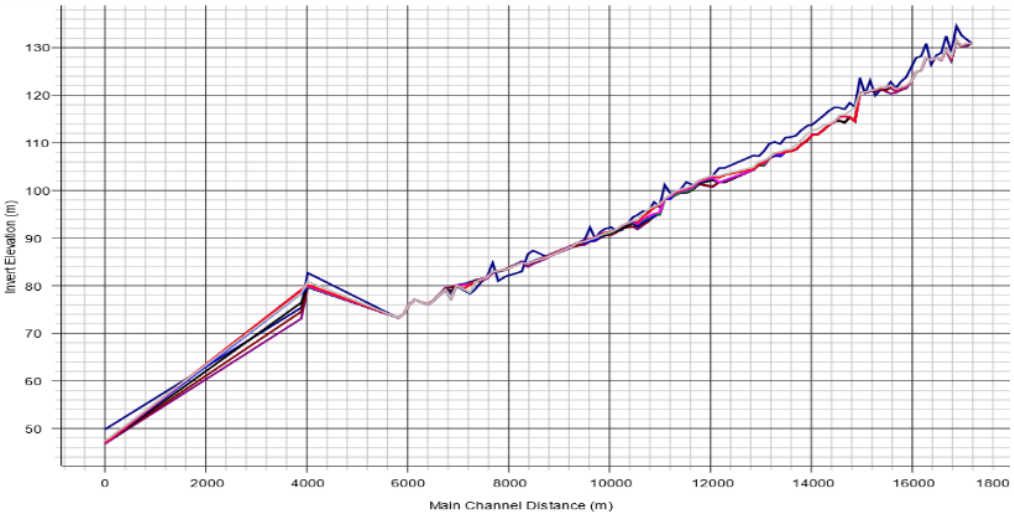


Grafik 4. Gradasi butiran tanah pada lokasi titik bor

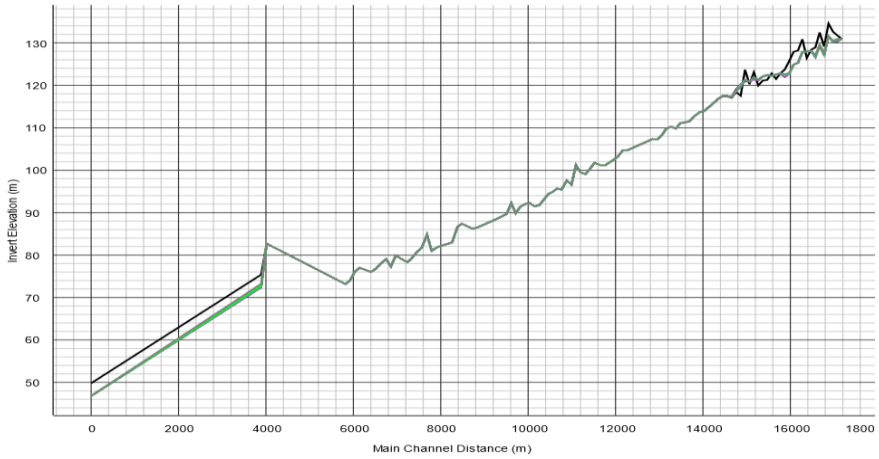
Permodelan HECRAS dilakukan dengan 2 dimensi untuk melihat perubahan morfologi sungai secara vertikal dan horizontal geometri Sungai Ameroro.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil permodelan dengan menggunakan debit Sacramento selama 9 tahun 2013-2021 yang ditinjau pada setiap tanggal 31 Desember di tahun tersebut, dapat dilihat pada gambar dibawah ini,



Gambar 5. Perubahan dasar sungai tanpa adanya bendungan



Gambar 6. Perubahan dasar sungai karena adanya bendungan

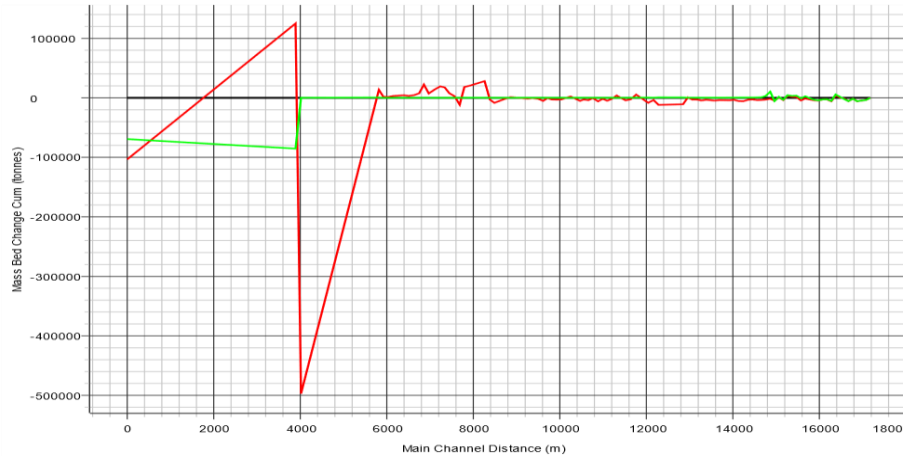
Profil memanjang Sungai Ameroro dilakukan pengukuran pada tahun 2022, sehingga terdapat Stasiun 6580 yang sudah tinggi seperti bendungan, dimana pengukuran dilakukan setelah adanya pekerjaan timbunan pada pelaksanaan pembangunan Bendungan Ameroro. Dari Stasiun 6580 menggunakan data DEM sehingga penampang melintang dan memanjang hanya 3 titik (St 6458, St 5078, St 2563) yang ditinjau.

Hasil dari permodelan yang dilakukan dilihat dari 3 bagian yang ditinjau,

Tabel 6. Perbandingan perubahan kemiringan sungai

Segmen	Potongan Melintang	Panjang (km)	KEMIRINGAN / SLOPE SUNGAI				
			Eksisting	Tanpa Bendungan	Deviasi	Ada Bendungan	Deviasi
			(1)	(2)	(3) = (2)-(1)	(4)	(5) = (4)-(1)
Hulu	St (19741 – 16488)	5.82	0.005	0.006	0.001	0.005	(0.000)
Tengah	St (16359 – 8383)	8.10	0.005	0.005	(0.000)	0.005	0.000
Hilir	St (6583 – 2565)	3.25	0.032	0.029	(0.003)	0.041	0.009

Perubahan dasar sungai dapat terlihat secara elevasi dasar yang terjadi pada setiap penampang sungai, terlihat segmen hulu pada Gambar 5 dan 6 keduanya mengalami perubahan elevasi dimana pada Tabel 6 memperlihatkan bahwa pada kondisi alami tidak adanya bendungan kemiringan sungai menjadi lebih curam tetapi pada kondisi sungai yang terdapat bendungan kemiringan sungai menjadi lebih landai dan hal ini berkebalikan pada segmen hilir. Untuk segmen tengah perubahan yang terjadi sangat terlihat pada Gambar 5 dibandingkan dengan Gambar 6, perubahan ini tidak banyak merubah kemiringan sungai pada Tabel 6.



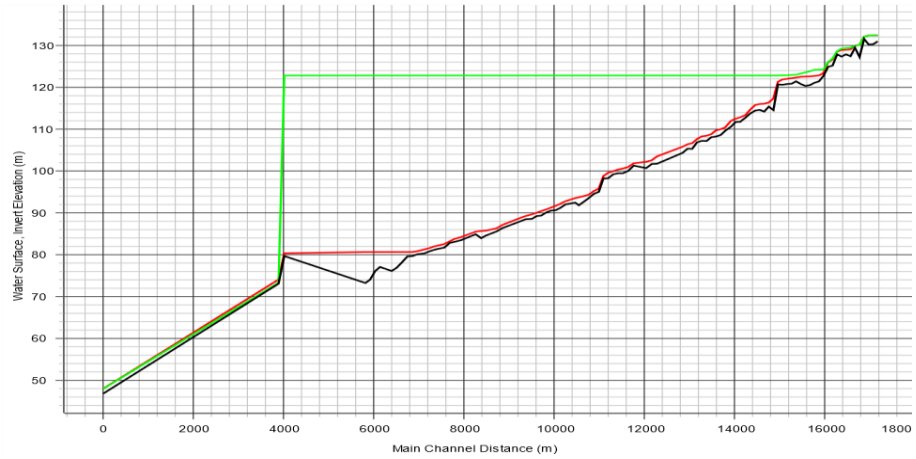
Gambar 7. Perbandingan perubahan jumlah massa pada sungai

Tabel 7. Perbandingan perubahan massa sungai

Segmen	Potongan Melintang	Panjang (km)	Agradasi / Degradasi Sungai			
			Tanpa Bendungan	Keterangan	Ada Bendungan	Keterangan
			(1)	(2)	(3) = (2)-(1)	(4)
Hulu	St (19741 – 16488)	5.82	(1,724.177)	Degradasi	(301.151)	Degradasi
Tengah	St (16359 – 8383)	8.10	808.379	Agradasi	150.570	Agradasi
Hilir	St (6583 – 2565)	3.25	(56,129.344)	Degradasi	(42,615.601)	Degradasi

Perubahan dasar sungai juga dapat dilihat dari total keluar masuknya massa yang terjadi pada setiap penampang sungai, dimana pada Gambar 7 garis merah adalah perubahan massa pada kondisi tidak ada bendungan dan garis hijau adalah perubahan yang terjadi pada kondisi terdapat bendungan. Perubahan keluar masuknya massa pada bagian hulu dan hilir keduanya mengalami degradasi tetapi pada bagian tengah mengalami agradasi, terlihat perubahan segmen hulu ke segmen tengah memperlihatkan bahwa massa dari segmen hulu terbawa dan mengendap ke segmen bagian tengah. Serta untuk perubahan segmen tengah ke segmen hilir terjadi perubahan tinggi elevasi yang cukup curam pada bagian potongan bendungan yang sudah tertimbun pekerjaan Proyek Bendungan Ameroro memperlihatkan bahwa di bagian hilir bendungan mengalami degradasi.

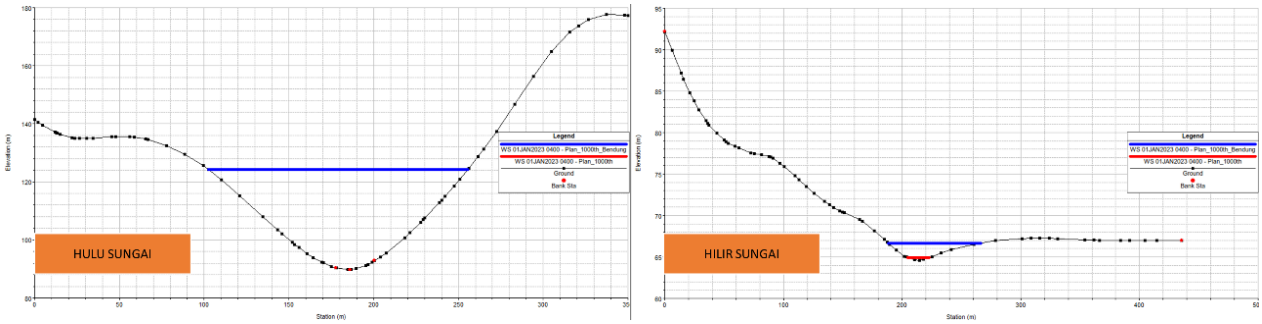
Perubahan keluar masuknya massa juga memperlihatkan pengaruh bendungan terhadap agradasi dan degradasi dimana kondisi sungai yang terdapat bendungan mengalami penurunan jumlah keluar masuknya massa dibandingkan kondisi alami sungai.



Gambar 8. Perbandingan tinggi muka air pada muka air



Gambar 9. Tampak atas perbandingan ruang genangan akibat adanya bendungan



Gambar 10. Potongan melintang perbandingan tinggi muka air pada hulu dan hilir sungai

Kondisi perubahan morfologi sungai sangat dipengaruhi besar kecilnya debit yang terjadi, permodelan debit banjir memperlihatkan kenaikan muka air akibat ada tidaknya bendungan. Hasil analisis memperlihatkan hubungan antara kemiringan sungai, perubahan massa, dan tinggi muka air dari tabel berikut

Tabel 8. Hubungan antara kemiringan, agradasi/degradasi dan tinggi muka air

Segmen	Kondisi alami			Kondisi terdapat bendungan		
	Perubahan kemiringan	Agradasi / Degradasi	Tinggi muka air	Perubahan kemiringan	Agradasi / Degradasi	Tinggi muka air
Hilir	(0.003)	Degradasi	2.76	0.009	Degradasi	20.13
Tengah	(0.000)	Agradasi	1.55	0.000	Agradasi	30.44
Hulu	0.001	Degradasi	1.40	(0.000)	Degradasi	2.74

Dari hubungan ketiga hasil yang diamati perubahan morfologi sungai sangat dipengaruhi oleh kemiringan sungai, besar kecilnya proses agradasi dan degradasi serta tingi muka air.

D. KESIMPULAN

Hasil yang dapat dilihat berdasarkan analisis kondisi Sungai Ameroro akibat adanya Bendungan Ameroro sangat mempengaruhi perubahan morfologi sungai dilihat dari proses angkutan sedimen dan kondisi debit banjir yang terjadi pada Sungai Ameroro. Bendungan Ameroro membantu mengurangi agradasi dan degradasi pada sungai akibat perubahan kecepatan aliran pada penampang dengan muka air yang tinggi. Terlihat pada segmen hulu untuk semua kondisi baik ada ataupun tidak adanya bendungan mengalami degradasi, untuk segmen tengah variasi perubahan morfologi sungai terjadi ketika tidak adanya bendungan dan mayoritas terjadi agradasi untuk kedua kondisi tersebut, untuk segmen hilir terjadi degradasi akibat peningkatan kecepatan aliran air akibat kemiringan yang curam dari hilir bendungan. Bendungan Ameroro memperbesar luas penampang basah pada Sungai Ameroro akibat terdapat ruang genangan/tampungan bendungan, hal ini akan berdampak pada morfologi sungai baik secara horizontal maupun vertikal penampang.

DAFTAR PUSTAKA

Julien, P. Y. (2018). *River Mechanics: Second Edition.* Cambridge University Press, Cambridge.

Julien, P. Y. (2010). *Erosion and Sedimentation: Second Edition*. Cambridge University Press, Cambridge

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Inc, United State of America.

Eekhout, Joris P.C. (2014). Disertasi. "*Morphological Process in Lowland Streams - Implications for Stream Restoration"*. Wageningen University, Wageningen.

Natakusumah, D. K., Hatmoko W., Harlan D. (2011). "Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintesis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya". Jurnal Teknik Sipil, Vol. 18

Natakusumah, D. K., Hatmoko W., Harlan D. (2013). "*A New Synthetic Unit Hydrograph Computation Method Based on Mass Conservation Principle*". River Basin Management Conference, New Forrest.

Ginting, S. (2014). Presentasi. "*Rainfall – Runoff Module: Sacramento Method*". https://www.researchgate.net/publication/331298344_Rainfall-Runoff_Module_Sacramento_Method.

Sugiyono. (2017). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitkatif dan R&D. CV Alfabeta, Bandung.

Sakti, P. (2021). "Analisis Tingkat Erosi pada Sungai Konaweha di Kabupaten Konawe". Ge-STRAM, Vol. 04

Tanika, L., Pawitan, H., Noordwijk, M. V., Zulkarnain, M. T. (2013). “Dampak Perubahan Tutupan Lahan dan Iklim Terhadap Fungsi Hidrologi Daerah Aliran Sungai Konaweha Hulu”. Jurnal Sumber Daya Air, Vol. 9

TEMA D: GEOTEKNIK

PERKUATAN PARAMETER KUAT GESER *TAILING* DENGAN METODE *SOYBEAN CRUDE UREASE CALCITE PRECIPITATION* (SCU-CP)

Ramadhita Adji Mubarrak[1*] dan Heriansyah Putra[2]
[1*]Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB University, Jl. Raya Dramaga
Email: ramaadji15ramadhita@apps.ipb.ac.id (Corresponding Author)
[2]Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB University, Jl. Raya Dramaga
Email: heriansyahptr@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Industri pertambangan menghasilkan limbah dalam bentuk *tailing* dengan jumlah yang cukup besar. Jumlah buangan *tailing* melebihi 96% dari total produksi tambang. Perusahaan tambang dapat membuang limbah *tailing* sebanyak 2.500 ton/hari. Berbagai pemanfaatan limbah *tailing* sebagai bahan konstruksi telah banyak dilakukan, namun pemanfaatan *tailing* sebagai bahan konstruksi belum cukup optimal dari segi kekuatan. Upaya perbaikan yang dapat diaplikasikan pada *tailing* untuk meningkatkan kekuatan *tailing* adalah secara mekanik dengan pemadatan dan secara kimiawi dengan metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation* (SCU-CP). Penelitian bertujuan menganalisis pengaruh perbaikan tanah secara mekanik dengan pemadatan dan secara kimiawi dengan larutan perbaikan, serta kombinasinya terhadap nilai kohesi dan sudut gesek dalam. Proses pengujian melibatkan beberapa tahapan, termasuk pengujian sifat fisik *tailing*, pengujian kepadatan menggunakan metode Proctor, pembuatan larutan, dan pengujian geser langsung untuk memperoleh nilai kohesi dan sudut gesek dalam. Sampel *tailing* diuji dalam dua kondisi, yaitu tanpa larutan perbaikan (*untreated*) dan dengan larutan perbaikan (*treated*) pada setiap variasi kepadatan, yaitu 90%, 70%, dan 50%. Perbaikan *tailing* dengan pemadatan menghasilkan kenaikan nilai kohesi yang berbanding lurus dengan tingkat kepadatan. Nilai kohesi tertinggi tercapai pada kepadatan 90%, yaitu sebesar 15.64 kPa. Sementara itu, perbaikan kimiawi dengan menggunakan larutan meningkatkan nilai kohesi sebesar 31% pada tingkat kepadatan 70%. Peningkatan sudut gesek dalam setelah diberi larutan dapat mencapai 36%. SCU-CP yang dikombinasikan dengan pemadatan dapat dijadikan sebagai pendukung dalam menambah kekuatan tailing dengan usaha pemadatan yang lebih kecil..

Kata kunci: *calcite precipitation;* pemadatan; perbaikan tanah; *tailing*;

A. PENDAHULUAN

Industri pertambangan menjadi kegiatan yang memiliki peran penting sebagai sumber pendapatan negara untuk memenuhi kebutuhan ekonomi. Akan tetapi, pemanfaatan sumber daya alam oleh industri pertambangan menghasilkan limbah dalam bentuk *tailing* dengan jumlah yang cukup besar, serta turut memberikan dampak kerusakan terhadap lingkungan. *Tailing* adalah hasil buangan atau limbah dari industri pertambangan yang terdiri dari endapan batuan atau tanah yang berbentuk lumpur atau pasir, yang tersisa setelah proses ekstraksi mineral berharga seperti tembaga, perak, dan emas dari bahan tambang (Rohman, 2016). Proses pengolahan mineral berharga menghasilkan kurang dari 3% bijih yang menjadi produk, sementara sisanya menjadi lumpur *tailing*. Lumpur *tailing* terdiri dari 30% fraksi padat dan 70% fraksi cair, serta mengandung logam berat tertentu sesuai dengan mineral yang ditambang dan senyawa kimia tertentu yang ditambahkan untuk mengekstraksi mineral berharga dari bijih (Widyati, 2016). Perusahaan pertambangan emas PT Antam Tbk – UBPE Pongkor umumnya menghasilkan *tailing* sebanyak 2.500 ton/hari (Fauziah, 2009). Jumlah buangan *tailing* dapat melebihi 96% dari total produksi tambang (Windusari et al., 2011). Salah satu perusahaan pertambangan di Indonesia, PT Freeport Indonesia yang berlokasi di

Papua, membuang 650 kg limbah *tailing* dan 1.730 kg *overburden* (lapisan batuan penutup) hanya untuk menghasilkan satu gram emas (Widyati, 2016).

Upaya pemanfaatan *tailing* untuk menjadi material yang berguna telah banyak dilakukan. *Tailing* juga telah dimanfaatkan sebagai material konstruksi seperti bahan campuran beton, *paving block*, lapis perkerasan jalan, dan lain-lain. Pemanfaatan *tailing* sebagai bahan konstruksi tersebut belum optimal dari segi kekuatan. *Tailing* yang dimanfaatkan sebagai bahan substitusi parsial pada semen tidak memberikan pengaruh peningkatan pada kuat tekan dan kuat tarik beton (Sondakh et al., 2015). *Tailing* yang digunakan sebagai pengganti agregat pada bata beton berlubang dapat menurunkan kuat tekan bata beton tersebut (Amalia dan Murdiyoto, 2019). Penambahan *tailing* sebagai bahan pembuatan *paving block* dapat menurunkan mutu *paving block* (Cahyono dan Kusdarini, 2019). *Tailing* dapat digunakan sebagai pengganti agregat pasir untuk campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) berdasarkan distribusi butiran, namun penggunaan *tailing* pada campuran Latasir pada perkerasan jalan dapat menurunkan stabilitas (Kusnianti, 2005).

Penelitian mengenai perbaikan *tailing* dengan perkuatan sifat-sifat mekanik *tailing* telah banyak dilakukan dengan berbagai metode sebagai upaya pemanfaatan *tailing* sebagai material konstruksi. Upaya perbaikan dengan pemadatan hingga mencapai kondisi kering maksimum meningkatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam *tailing*, namun peningkatan kekuatan dengan pemadatan membutuhkan usaha pemadatan yang besar untuk mencapai tingkat kepadatan maksimum di lapangan (Prakosa, 2019). Perbaikan *tailing* menggunakan metode *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) yang menggunakan bakteri untuk mempercepat proses pembentukan kalsit dapat meningkatkan nilai kohesi yang semula 4,79 kPa menjadi 131,98 kPa, sedangkan pada sudut gesek dalam peningkatan tidak terlalu signifikan (Zhang et al., 2020). Inkubasi bakteri dalam metode MICP relatif sulit untuk dikendalikan karena memerlukan perawatan khusus (Neupane et al., 2013). Konsentrasi reagen yang semakin tinggi juga berpotensi memiliki efek dalam menghambat laju pertumbuhan bakteri (Nemati et al., 2005).

Alternatif metode pengendapan kalsit yang prospektif untuk perbaikan sifat mekanik *tailing* adalah Metode *Enzime-Mediated Calcite Precipitation* (EMCP). Metode EMCP menggunakan enzim *urease* sebagai katalis dalam pembentukan kalsit untuk perbaikan tanah. Enzim tersebut mengurai urea menjadi ion amonium (NH^{4+}) dan ion karbonat (CO_3^{2-}). Ion karbonat akan membentuk kristal kalsit dengan adanya ion kalsium (Ca^{2+}). Kristal kalsit yang terbentuk akan mengisi ruang antar butiran dan mencegah pergerakan butiran, sehingga meningkatkan sifat kekuatan dan kekakuan material (Harkes et al., 2010). Metode pengendapan kalsit dapat mengurangi permeabilitas dari tanah berpori, mengurangi risiko pengembangan tanah lempung, serta meningkatkan kekuatan tanah (Baiq et al., 2020a). Enzim *urease* dapat ditemukan pada beberapa tanaman umum, seperti melon, labu, dan varietas kacang-kacangan, termasuk kacang koro (Canavalia *ensiformis*) dan kacang kedelai. Enzim *urease* terbaik yang berasal dari tumbuhan adalah enzim yang dimurnikan dari kacang koro (Baiq et al., 2020). Almajed et al. (2021) menyatakan bahwa enzim *urease* yang dimurnikan dari kacang koro memerlukan biaya yang tinggi. Pemanfaatan enzim *urease* yang bersumber dari kedelai mentah atau dikenal sebagai metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation* (SCU-CP) merupakan sumber alternatif yang berpotensi untuk perbaikan tanah sebagai upaya pemanfaatan *tailing* menjadi material yang berguna (Putra et al., 2021).

Metode SCU-CP adalah metode pengendapan kalsit dengan menggunakan enzim *urease* yang berasal dari kedelai menggantikan enzim *urease* murni sebagai biokatalis dalam pembentukan kalsit

untuk memperbaiki sifat mekanik tanah (Putra et al., 2021). Metode ini telah banyak diteliti untuk meningkatkan kekuatan tanah berpasir dan tanah organik dengan mencampurkan larutan perbaikan ke dalam tanah. Pengaplikasian metode ini pada tanah organik menunjukkan peningkatan kekuatan geser sebesar 50% (Putra et al., 2021). Larutan perbaikan dalam penelitian ini merupakan campuran reagen, berupa urea dan kalsium klorida dihidrat, serta kedelai yang dibuat dalam kondisi optimum untuk dicampurkan ke *tailing*, kemudian dilakukan pengujian geser langsung untuk mengetahui parameter kuat geser *tailing* tersebut. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perbaikan tanah secara mekanik dengan pemadatan dan secara kimiawi dengan larutan SCU-CP, serta kombinasinya terhadap nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

B. METODE

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain alat uji sifat-sifat fisik tanah yang meliputi alat uji berat jenis tanah, yaitu piknometer, alat uji kadar air, yaitu cawan dan oven, alat uji batas cair, yaitu *Casagrande*, serta alat uji gradasi butiran, yaitu *sieve shaker*. Alat uji kepadatan Proctor yang terdiri atas *mould*, *hammer*, dan *extruder*. Alat yang digunakan dalam pembuatan larutan SCU-CP, antara lain *magnetic-stirrer*, gelas ukur, saringan no.400, dan batang pengaduk. Alat uji geser langsung digunakan dalam pengujian *direct shear*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain sampel *tailing* yang berasal dari PT Aneka Tambang Tbk (Antam) – UBPE Pongkor, reagen berupa urea ($CO(NH_2)_2$) dengan spesifikasi *laboratory grade* merek ACS, *Reag. Ph Eur grade reag. Ph. Eur* dan kalsium klorida dihidrat ($CaCl_2.2H_2O$) dengan spesifikasi *laboratory grade* merek EMSURE dengan grade ACS, *Reag. Ph Eur*, biji kedelai, dan air destilasi. Tahapan pengujian terdiri dari pengujian sifat fisik *tailing*, pengujian kepadatan Proctor, pembuatan larutan, serta pengujian geser langsung.

Pengujian sifat fisik (*index properties*) *tailing*

Pengujian sifat fisik *tailing* dilakukan untuk mendapatkan nilai berat jenis *tailing*, *Atterberg limit*, dan ukuran butiran *tailing*, serta klasifikasi *tailing*. Sampel *tailing* yang digunakan dalam pengujian merupakan sampel terganggu (*disturbed*). Pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur dalam acuan yang digunakan yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Acuan pengujian sifat fisik *tailing*

Pengujian	Acuan
Kadar air	SNI 1965:2008
Berat jenis	SNI 1964:2008
Batas cair	SNI 1967:2008
Batas plastis	SNI 1966:2008
Gradasi butiran	SNI 3423:2008

Sumber: (BSN, 2008a; BSN, 2008b; BSN, 2008c; BSN, 2008d; BSN, 2008e)

Pembuatan larutan Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)

Pembuatan larutan SCU-CP menggunakan reagen yang terdiri dari CH_4N_2O (urea) dan $CaCl_2$ (kalsium klorida) dengan masing-masing konsentrasi 1 mol/L, serta kedelai dengan konsentrasi sebesar 20 g/L agar didapatkan larutan dengan kondisi optimum (Putra et al., 2021). Kedelai disiapkan dengan cara digiling hingga lolos saringan No. 40. Dalam pembuatan larutan, kebutuhan volume larutan, jumlah reagen, dan kedelai sesuai dengan kombinasi optimum dihitung berdasarkan volume OMC hasil uji Proctor menggunakan Persamaan (1) dan (2). Larutan dilakukan uji pengendapan terlebih dahulu sebelum dicampurkan ke tailing. Uji pengendapan dilakukan setelah larutan dalam tube didiamkan selama 7 hari sesuai curing time. Pengujian dilakukan untuk mengetahui rasio presipitasi atau perbandingan massa kalsit aktual yang terbentuk dengan massa kalsit teoritis. Rasio presipitasi dihitung menggunakan Persamaan (3). Massa kalsit teoritis dihitung menggunakan Persamaan (4) (Baiq et al., 2020).

$$\text{massa reagen} = \frac{\text{mol reagen} \times Mr \times V_{OMC}}{1000\ \text{mL}} \quad \ldots\ldots (1)$$

$$\text{massa soybean (konsentrasi 20gr/L)} = \frac{20\ \text{gr} \times V_{OMC}}{1000\ \text{mL}} \quad \ldots\ldots (2)$$

$$\text{rasio presipitasi (\%)} = \frac{m_a}{m_t} \times 100\% \quad \ldots\ldots (3)$$

$$m_t = C \times V \times M \quad \ldots\ldots (4)$$

dengan Mr = massa atom relatif reagen (Urea atau $CaCl_2$) (gr/mol), V_{OMC} = volume air berdasarkan kadar air optimum (mL), m_a = massa presipitasi aktual (gr), m_t = massa presipitasi teoritis (gr), C = konsentrasi reagen (mol/L), V= volume larutan SCU-CP (L), M = massa molar $CaCO_3$ (100.087 g/mol).

Pengujian kepadatan Proctor dan pembuatan sampel tanah uji dengan variasi kepadatan

Pengujian Proctor mengacu pada SNI 1742:2008 tentang Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah (BSN, 2008f). Nilai kepadatan kering maksimum (MDD) yang diperoleh digunakan sebagai dasar pembuatan sampel dengan variasi kepadatan. Sampel uji dibuat dalam dua kondisi, yaitu kondisi *treated* yang dicampur larutan perbaikan dan kondisi *untreated* tanpa dicampur larutan perbaikan. Kedua kondisi tersebut dilakukan pengujian dengan variasi kepadatan berdasarkan kepadatan Proctor untuk melihat pengaruh tingkat kepadatan terhadap nilai parameter kuat geser. Variasi kepadatan yang akan dibuat adalah sebesar 50%, 70%, dan 90% dari kepadatan kering maksimum. Kondisi eksperimental sampel dengan adanya penambahan larutan SCU-CP dan variasi kepadatan dapat dilihat pada Tabel 2, dengan TR adalah sampel dengan kondisi *treated*, sedangkan UT adalah sampel dengan kondisi *untreated*.

Tabel 2. Kondisi Eksperimental Variasi Sampel *Tailing*

Sampel	Kepadatan (%)
TR90	90±3
TR70	70±3
TR50	50±3
UT90	90±3
UT70	70±3
UT70	50±3

Pengujian geser langsung

Pengujian geser langsung dilakukan untuk menilai pengaruh pemadatan dan efektivitas metode SCU-CP pada nilai kohesi atau gaya tarik-menarik antar partikel dan sudut gesek dalam atau gesekan antara butir tanah. Pada penelitian ini, pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*) mengacu pada SNI 3420:2016 tentang Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase (BSN, 2016).

Kepadatan benda uji pada pengujian geser langsung divariasikan pada kepadatan 90%, 70%, dan 50%. Benda uji dibuat dalam dua kondisi, yaitu sampel *tailing* dengan penambahan larutan perbaikan dan tanpa penambahan larutan perbaikan sebagai kontrol. Masing-masing variasi kepadatan dengan atau tanpa larutan perbaikan dilakukan sebanyak 2 set pengujian untuk memperoleh hasil yang akurat. Pengujian menggunakan beban normal 49,04 kPa; 98,07 kPa; 147,11 kPa.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

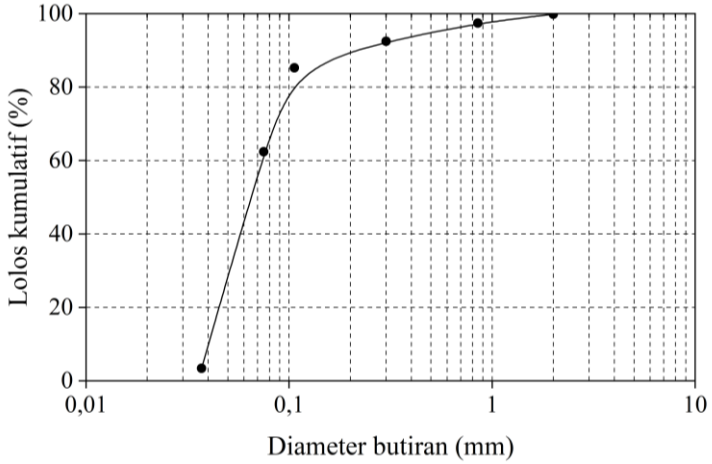
Sifat-sifat fisik (index properties) tailing

Pengujian sifat fisik dilakukan untuk mendapatkan nilai berat jenis, gradasi butiran, dan nilai Atterberg limit. Pengujian sifat fisik tailing memberikan gambaran mengenai kesesuaian tailing sebagai material konstruksi. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat-sifat fisik *tailing*

***Properties* Tanah**	**Nilai**	**Satuan**
Berat Jenis (*Gs*)	2,23	-
Batas Cair (*LL*)	24	%
Batas Plastis (*PL*)	N.P	%

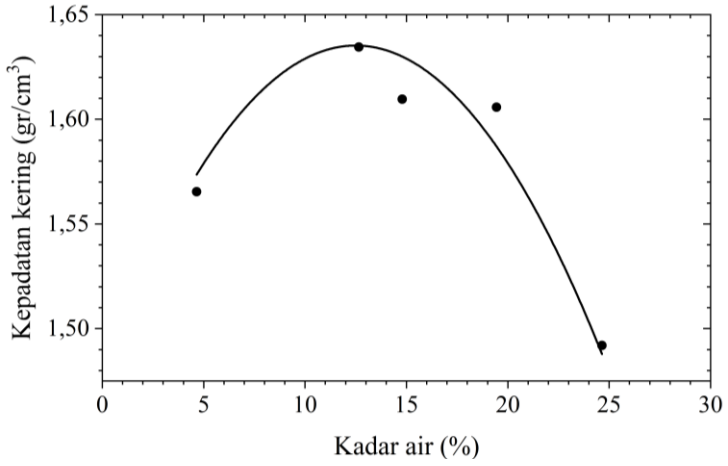
Tailing memiliki berat jenis spesifik (*Gs*) sebesar 2,23. Peningkatan berat jenis memiliki pengaruh terhadap peningkatan parameter kuat geser. Nilai berat jenis yang semakin tinggi, maka dapat memberikan kekuatan lebih untuk digunakan sebagai jalan atau pondasi (Prakash dan Jain, 1979). Batas cair yang diperoleh berdasarkan pengujian adalah 24%. Hasil pengujian batas plastis menunjukkan bahwa *tailing* bersifat non-plastis. Pernyataan ini relevan dengan hasil penelitian *tailing* di Timika yang menunjukkan sifat non-plastis, di mana butiran *tailing* tidak memiliki ikatan antara satu sama lain dan bersifat lepas (Kusnianti, 2005). Hasil pengujian gradasi tanah menunjukkan bahwa *tailing* merupakan tanah berbutir halus karena lebih dari 50% butiran lolos saringan No.200. Hasil pengujian sifat fisik *tailing* menunjukkan bahwa dalam klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS), *tailing* termasuk dalam kategori CL atau lempung anorganik dengan plastisitas rendah. Kurva distribusi ukuran butiran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Distribusi ukuran butiran

Kepadatan

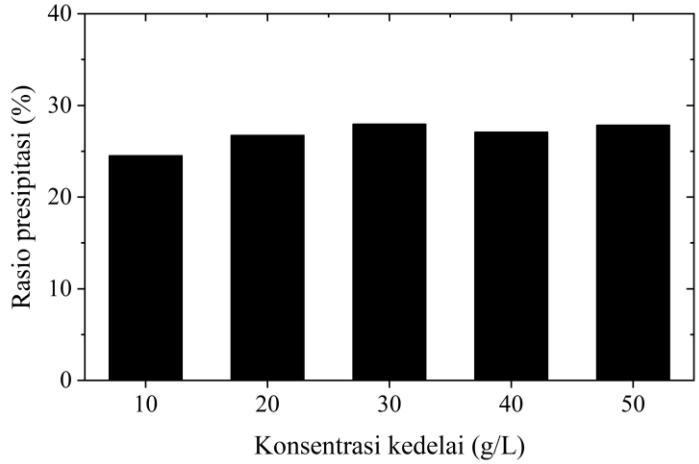
Kurva pemadatan pada Gambar 2 merupakan hasil pengujian kepadatan Proctor dari 5 sampel dengan kadar air yang berbeda. Kepadatan kering maksimum (MDD) yang dapat dicapai oleh sampel *tailing* adalah 1,63 gr/cm^3, sedangkan kadar air optimum (OMC) adalah 12,65%. Parameter hasil pengujian kepadatan Proctor tersebut selanjutnya digunakan untuk membuat sampel pengujian geser langsung dengan variasi kepadatan 90%, 70%, dan 50% dari MDD.



Gambar 2. Kurva pemadatan Proctor sampel *tailing*

Rasio Presipitasi Larutan

Larutan SCU-CP dibuat dengan cara mencampurkan reagen, yaitu Urea 1 mol/L dan $CaCl_2$ 1 mol/L, kemudian dicampur dengan larutan kedelai 20 g/L. Rasio presipitasi adalah perbandingan massa kalsit yang terbentuk dibandingkan dengan massa kalsit teoritis. Jumlah kalsit yang terbentuk akan sangat berpengaruh terhadap perkuatan tanah (Harkes et al., 2010). Rasio presipitasi larutan dengan konsentrasi reagen 1 mol/L dan kedelai 20 g/L didapat 26,75%. Hasil uji pengendapan larutan disajikan seperti pada Gambar 3.



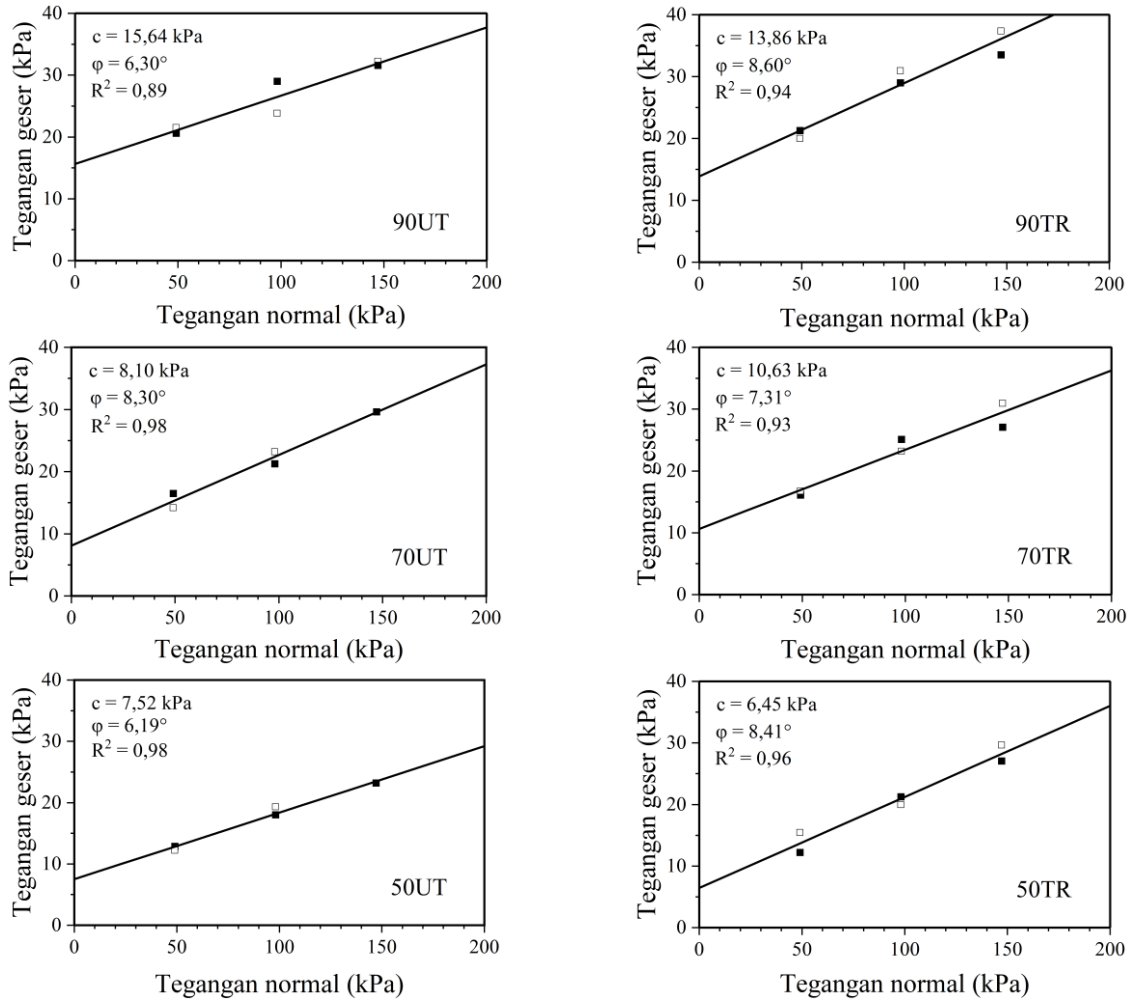
Gambar 3. Rasio pengendapan kalsit pada konsentrasi reagen 1 mol/1

Rasio presipitasi larutan sebesar 26,75% tergolong rendah karena massa kalsit yang terbentuk sangat sedikit dibandingkan massa kalsit teoritis. Penelitian lain menunjukkan bahwa pada konsentrasi reagen dan kedelai yang sama, rasio presipitasi yang dihasilkan dapat melebihi 90% (Putra et al., 2021). Rasio presipitasi larutan yang rendah dikarenakan tidak dilakukan kontrol

terhadap kedelai yang digunakan, sehingga kedelai yang digunakan dalam penelitian ini tidak berperan optimal sebagai katalis. Proses pembentukan kalsit dapat terhambat dengan adanya kandungan organik akibat kedelai yang tidak larut (Putra et al., 2017).

Parameter kuat geser

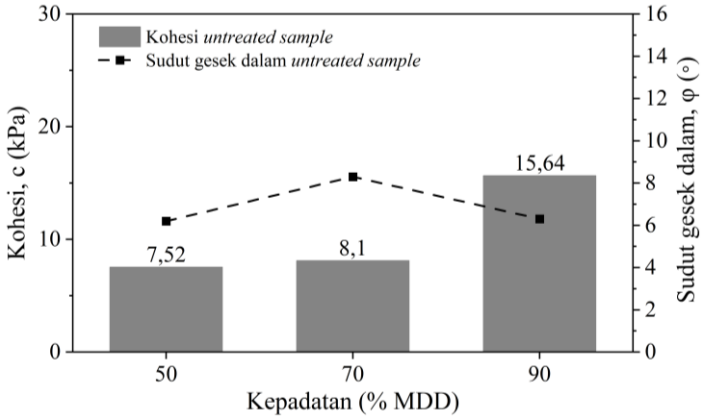
Parameter kuat geser berupa kohesi (*c*) dan sudut gesek dalam (φ) diperoleh dari pengujian geser langsung. Parameter tersebut didapatkan dari sampel *tailing* yang hanya diberi perlakukan perbaikan secara mekanik dengan pemadatan (*untreated*) dan sampel *tailing* yang diberi perlakuan perbaikan secara kimiawi dengan larutan SCU-CP pada setiap variasi kepadatan (*treated*). Perbaikan dengan pemadatan dilakukan untuk melihat pengaruh tingkat kepadatan terhadap parameter kuat geser, sedangkan perbaikan secara kimiawi dilakukan untuk melihat pengaruh larutan perbaikan terhadap parameter kuat geser pada setiap variasi kepadatan. Sampel uji yang telah dicampur dengan larutan perbaikan didiamkan selama 7 hari. Kondisi *untreated* dan *treated* masing-masing dilakukan sebanyak 2 kali pengujian untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Hasil pengujian geser langsung dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kohesi dan sudut gesek dalam *tailing*

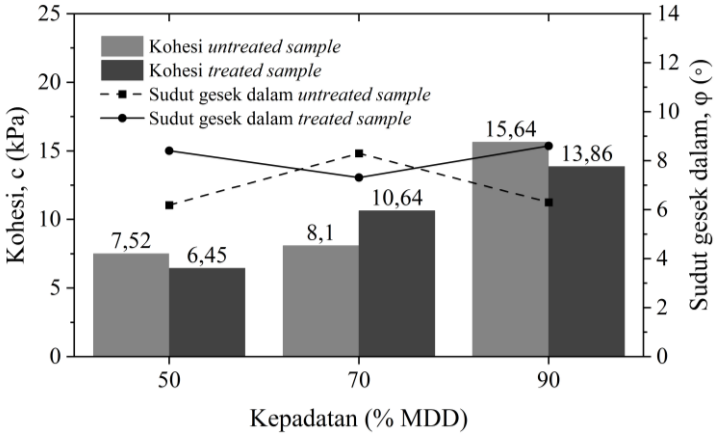
Tegangan geser pada *proving ring* dan pergeseran akibat gaya geser dicatat untuk setiap pembebanan selama pengujian berlangsung sampai tegangan geser menurun, sehingga diperoleh tegangan geser maksimum. Tegangan geser maksimum yang dicapai pada saat pengujian

dihubungkan dengan tegangan normal yang diaplikasikan pada sampel, sehingga diperoleh kurva linier. Perpotongan garis dengan sumbu vertikal merupakan nilai kohesi (*c*), sedangkan kemiringan garis tersebut merupakan nilai sudut gesek dalam (φ). Gambar 4 menunjukkan semakin curam garis, maka semakin tinggi sudut gesek dalam. Parameter kuat geser sampel dalam kondisi *untreated* tersebut disajikan menggunakan grafik batang dan garis pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh kepadatan terhadap parameter kuat geser

Kohesi tertinggi pada sampel *untreated* dicapai pada tingkat kepadatan 90% dengan nilai kohesi sebesar 15,64 kPa, sedangkan sampel dengan tingkat kepadatan 50% memiliki nilai kohesi terendah, yaitu 7,52 kPa. Sudut gesek dalam yang diperoleh sampel dengan kepadatan 90%, 70%, dan 50% dalam kondisi *untreated* berturut-turut sebesar 6,30°; 8,30°; dan 6,19°, di mana nilai tersebut setara dengan pasir pada tingkat kepadatan sangat lepas (Bowles, 1989). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat kepadatan berpengaruh terhadap parameter kuat geser. Tingkat kepadatan yang semakin tinggi berpengaruh terhadap nilai kohesi yang semakin besar. Amarullah dan Zardi (2019) menyatakan bahwa kepadatan tanah yang semakin meningkat berpengaruh terhadap kekuatan tanah yang semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin padat *tailing*, maka butiran *tailing* akan semakin rapat, sehingga gaya tarik-menarik antara butiran semakin tinggi. Perbandingan parameter kuat geser setiap variasi kepadatan dalam kondisi *treated* dan *untreated* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan parameter kuat geser dalam kondisi *treated* dan *untreated*

Kohesi tertinggi pada sampel dalam kondisi *treated* juga dicapai pada tingkat kepadatan 90%, yaitu sebesar 13,86 kPa, sedangkan tingkat kepadatan 50% memiliki nilai kohesi terendah sebesar

6,45 kPa. Sudut gesek dalam yang diperoleh dari sampel dengan kepadatan 90%, 70%, dan 50% dalam kondisi *treated* masing-masing sebesar 8,60°; 7,31°; dan 8,41°. Nilai sudut gesek dalam setelah diberi larutan perbaikan tetap setara pasir dalam keadaan sangat lepas, namun peningkatan sudut gesek dalam dapat mencapai 36% dari kondisi *untreated* karena kalsit yang terbentuk mengisi pori-pori antar butiran *tailing* (Bowles, 1989).

Sampel dalam kondisi *treated* juga menunjukkan tren kohesi yang sama dengan sampel dalam kondisi *untreated*, yaitu semakin padat *tailing*, maka semakin tinggi nilai kohesi. Peningkatan nilai kohesi setelah diberi larutan perbaikan hanya terjadi pada tingkat kepadatan 70%, yaitu meningkat sebesar 31% dari kondisi *untreated*. Nilai kohesi pada tingkat kepadatan 90% dan 50% setelah diberi larutan mengalami penurunan masing-masing 11% dan 14% dari kondisi *untreated*. Peningkatan nilai kohesi yang tidak signifikan disebabkan oleh sedikitnya jumlah kalsit yang terbentuk, di mana rasio presipitasi hanya 26,75%. Adanya kandungan organik akibat kedelai yang tidak larut dapat menghambat proses pembentukan kalsit. Proses pembentukan kalsit yang tidak optimal dapat mengakibatkan kalsit tidak terbentuk secara sempurna atau berbentuk *amorphous* (Baiq et al., 2020). *Tailing* dengan kepadatan 90% memiliki kerapatan antara butiran yang tinggi, sehingga adanya kalsit tidak terbentuk sempurna di antara butiran *tailing* menyebabkan jarak antar butiran semakin meningkat dan melemahkan ikatan antara butiran *tailing* itu sendiri. *Tailing* dengan kepadatan 50% memiliki kerapatan antara butiran yang rendah, sehingga kalsit yang terbentuk di antara butiran *tailing* tidak cukup untuk mengikat butiran. Kalsit dengan bentuk *amorphous* lebih bersifat tidak stabil dibandingkan bentuk kristal. Bentuk *amorphous* ini yang dapat melemahkan ikatan antara butiran *tailing*, baik pada tingkat kepadatan tinggi maupun rendah (Putra dan Amelia, 2022). Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) perlu dilakukan untuk mengidentifikasi bentuk kalsit yang terbentuk dan kedelai yang tidak larut.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tingkat kepadatan yang semakin tinggi memiliki pengaruh terhadap nilai kohesi yang semakin besar. Nilai kohesi tertinggi pada sampel yang diberi perlakuan perbaikan dengan pemadatan adalah 15,64 kPa, yaitu pada tingkat kepadatan 90%, sedangkan nilai kohesi terendah yang diperoleh adalah 7,52 kPa, yaitu pada tingkat kepadatan 50%.
2. Perbaikan secara kimiawi menggunakan larutan SCU-CP meningkatkan nilai kohesi pada tingkat kepadatan 70% sebesar 31%, sedangkan pada tingkat kepadatan 50% dan 90% masing-masing menurun 14% dan 11%. Peningkatan sudut gesek dalam setelah diberi larutan perbaikan dapat mencapai 36%. Peningkatan yang tidak signifikan dikarenakan rasio presipitasi hanya 26,75%.
3. Perbaikan *tailing* secara mekanik dengan pemadatan dapat dikombinasikan dengan perbaikan secara kimiawi menggunakan larutan SCU-CP sebagai pendukung dalam menambah kekuatan *tailing* dengan usaha pemadatan yang lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Almajed, A., Lateef, M. A., Moghal, A. A. B., Lemboye, K. (2021). "State-of-the-art review of the applicability and challenges of microbial-induced calcite precipitation (MICP) and enzyme-induced calcite precipitation (EICP) techniques for geotechnical and geoenvironmental applications". *Crystals*, Vol. 11, 370. https://doi.org/10.3390/cryst11040370

Amalia, A. dan Murdiyoto, A. (2019). "Kualitas bata beton berlubang dengan bahan limbah tailing penambangan emas UBPE Pongkor". *Jurnal Poli-Teknologi*. Vol. 18, 1–12. https://doi.org/https://doi.org/10.32722/pt.v18i1.1281

Amarullah, I. N. dan Zardi, M. (2019). "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa". *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, Vol. 5, 1–9

Baiq, H. S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H., Johan, E. (2020). "Examination of calcite precipitation using plant-derived urease enzyme for soil improvement". *International Journal of GEOMATE*, Vol.19, 231–237. https://doi.org/10.21660/2020.72.9481

Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah*. Erlangga, Jakarta

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008a). *SNI 1742:2008 cara uji kepadatan ringan untuk tanah*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008b). SNI 1964:2008 *cara uji berat jenis tanah*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008c). SNI 1965:2008 *cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008d). SNI 1966:2008 *cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008e). SNI 1967:2008 *cara uji penentuan batas cair tanah*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008f). SNI 3423:2008 *cara uji analisis ukuran butiran tanah*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 3420:2016 *metode uji kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Cahyono, Y. D. G dan Kusdarini, E. (2019). "Pengaruh penambahan tailing bauksit terhadap uji kuat tekan dan kadar logam besi pada pembuatan paving blok". *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, Vol. 1, 32–35. https://doi.org/https://doi.org/10.31284/-j.semitan.2019.823

Fauziah, A.B. (2009). *Pengaruh asam humat dan kompos aktif untuk memperbaiki sifat tailing dengan indikator pertumbuhan tinggi semai Enterolobium cyclocarpum Griseb dan Altingia excelsa Noronhae [skripsi]*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika tanah 1*. Gramedia Pustaka, Jakarta.

Harkes, M. P., van Paassen, L. A., Booster, J. L., Whiffin, V. S., van Loosdrecht, M. C. M. (2010). "Fixation and distribution of bacterial activity in sand to induce carbonate precipitation for

ground reinforcement". *Ecological Engineering*, Vol. 36, 112–117. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.01.004

Kusnianti, N. (2005). "Pemanfaatan Tailing Untuk Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) pada Perkerasan Jalan". *Jurnal Jalan-Jembatan*, Vol.22.

Mousavi, S. M., Alavi, A. H., Gandomi, A. H., Mollahasani, A. L. I. (2011). "Nonlinear genetic-based simulation of soil shear strength parameters". *Journal of Earth System Science*, Vol. 120, 1001–1022. https://doi.org/10.1007/s12040-011-0119-9

Nemati, M., Greene, E. A., Voordouw, G. (2005). "Permeability profile modification using bacterially formed calcium carbonate: comparison with enzymic option". Process Biochemistry, Vol. 40, 925–933. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procbio.-2004.02.019

Neupane, D., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Unno, T. (2013). "Applicability of Enzymatic Calcium Carbonate Precipitation as a Soil-Strengthening Technique". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 139, 2201–2211. https://doi.org/10.1061/-(ASCE)GT.1943-5606.0000959

Prakash, S., dan Jain, P. K. (1979). Engineering Soil Testing. Nem Chand, Roorke.

Prakosa, R. A. (2019). "Pengujian properties limbah tailing kering padat untuk pemanfaatan material stabilisasi tanggul". Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI 1, 29 April 2019, 633–640 https://doi.org/https://doi.org/10.36986/ptptp.v1i1.105

Putra, H. dan Amelia, R. (2022). "Perkuatan ikatan plastik dan matriks semen menggunakan metode Soybean Crude Urease - Calcite Precipitation (SCU-CP)". Jurnal Teknik Sipil, Vol. 17, 34–44. https://doi.org/10.24002/jts.v17i1.6083

Putra, H., Erizal, Sutoyo, Simatupang, M., Yanto, D. H. Y. (2021). "Improvement of organic soil shear strength through calcite precipitation method using soybeans as bio-catalyst". Crystals, Vol. 11. https://doi.org/10.3390/cryst11091044

Sondakh, I. J. R., Sumajouw, M. D. J., Pandaleke, R., Dapas, S. O. (2015). "Pemanfaatan tailing sebagai substitusi parsial pada semen ditinjau terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur (studi kasus: tailing dari Ratatotok, Minahasa Tenggara)". Jurnal Sipil Statik, Vol. 3, 253–259.

Widyati, E. (2016). "Pemanfaatan sludge industri pulp dan kertas untuk ameliorasi tanah tailing tambang emas". Jurnal Selulosa, Vol. 2, 28–38. https://doi.org/-http://dx.doi.org/10.25269/jsel.v2i01.30

Windusari, Y., Susanto, R. H., Dahlan, Z., Susetyo, W. (2011). "Asosiasi jenis pada komunitas vegetasi suksesi di kawasan pengendapan tailing tanggul ganda di pertambangan PTFI Papua". Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati, Vol. 16, 242–251. https://doi.org/https://doi.org/10.24002/biota.v16i2.106

Zhang, Z., Tong, K., Hu, L., Yu, Q., Wu, L. (2020). "Experimental study on solidification of tailings by MICP under the regulation of organic matrix". *Construction and Building Materials*, 265, 1-11. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120303

EFFECT OF INSTALLATION OF EPS GEOFOAM AS BACKFILL RETAINING WALL ON SLOPE STABILITY ANALYSIS

Reki Arbianto[1*], Yusep Muslih Purwana[2] dan Bambang Setiawan[3]

[1*]Department of Civil Engineering, Tunas Pembangunan University, Jl. Walanda Maramis 31 Surakarta
Email: reki.arbianto@student.uns.ac.id (Corresponding Author)
[2]Department of Civil Engineering, Sebelas Maret University, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: ymuslih@staff.uns.ac.id
[3]Department of Civil Engineering, Sebelas Maret University, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: bambangsetiawan@staff.uns.ac.id

ABSTRACT

Infrastructure development in Indonesia is developing very rapidly, and one of the strategic projects that is underway is the construction of roads. The road of Trans Papua that connects Sorong and Manokwari is mostly on the slopes of mountains and hills and has experienced collapse. The attempt to overturn the merger is to change the structure of the retaining wall. The structure of the retaining wall is needed because the road is on a slope. The Retaining wall design proposal is to use backfill with EPS geofoam. Geofoam is one of the types of expanded polystyrene (EPS) that has material properties suitable for use in construction. EPS Geofoam has a unit weight of approximately 1–3% of the weight of conventional stack content, which makes it considered a new category of lightweight filling materials, i.e., "ultra-light" filling. Geofoam is expected to be an alternative solution as an effective and efficient cluster, especially in difficult areas. The method used in this study is numerical simulation. The authors suggested the use of simulations with SLOPE/W. Based on the results of the study, it was found that the replacement of the geofoam EPS material could increase the average safety factor by 117%. The results of the analysis showed that the higher the density of EPS Geofoam, the higher the safety factor. The high-density EPS Geofoam has high shear strength parameters, so its shear resistance becomes large.

Keywords: EPS geofoam, retaining wall, safety factor, slope/w, stability

A. INTRODUCTION

Infrastructure development in Indonesia is growing rapidly, and one of the ongoing strategic projects is road construction. Roads are one of the important factors supporting economic development. Road alignment planning is not always done in a flat location but through mountains and hills. The majority of the Trans Papua road alignment that connects Sorong and Manowari is on the slopes of mountains and hills and has experienced landslides. The location of the road slide is at KM 273+400 shown in Figure 1, approximately 274 km from the city of Manokwari. The road trip to get to the location takes 7 hours. This road is the only road connecting Ayawasi and Sisu districts. The research location is in a mountainous area with shale rock formations, making it difficult to find good stockpiling material. In addition, the difficult location resulted in the road embankment compaction process not being optimal. High-intensity rains further increase the risk of landslides. Several landslide countermeasures have been carried out, including the installation of gabions and stone retaining walls, but these have often failed. The temporary measure taken is to excavate the side of the cliff to make a new road alignment. As a result, the upper slope becomes steeper and has the potential to generate new landslides. The current effort to deal with landslides is to construct retaining wall structures. The retaining wall structure is needed because the road is on

an embankment slope. The embankment slope originates from the cut and fill material of the slope above it. So that the material used is not the material of choice but from the excavated quarry because the selected stockpile material is difficult to obtain. If you are forced to look for selected materials, it will cost quite a lot because the location is quite far. The retaining wall is expected to be a massive structure to withstand road loads and maintain slope stability. The proposed Retaining wall design uses a backfill made from EPS geofoam. This work project is under the ministry of Public Works and Public Housing.

Geofoam is a sort of extended polystyrene (EPS) that has material properties reasonable for development use. EPS Geofoam has a unit weight of around 1-3% of the mass thickness of regular dikes, which has prompted geofoam to be viewed as another classification of lightweight filling material, in particular "ultra-light" filling (Horvath & Manhattan College, 2001). EPS geofoam is a polymeric block or planar rigid cellular foam material used in geotechnical engineering applications, according to ASTM D 6817-07. The first time this material was used anywhere in the world was in 1972 for the construction of an embankment next to a bridge in Norway that was built on deep foundations In the 1980s, lightweight fill embankment construction in the United States first made use of EPS geofoam. Expanded and moisture-dissipated resin beads make up the EPS geofoam blocks. The steam's heat softens the beads that have been arranged in the desired shape. They are then compressed to create a polyhedral structure and the bond that binds surfaces that touch. The ASTM D 6817-07 standard specifies that the EPS geofoam must have a minimum density of 0.1 to 0.4 kN/m3 (0.70–2.85 pcf) (ASTM, 2009). EPS geofoam is multiple times lighter than the vast majority of the dike fill soils and no less than 20 to multiple times lighter compared with other lightweight fill options for embankment development (Puppala, 2019).



Figure 1. Location of a slide at Ayawasi - Sisu KM 273+400

Despite its lightweight, geofoam's stiffness is comparable to that of loose sand. The use of geofoam in engineering generally includes filling cavities for bridge approaches (Maleska, 2019), road embankments (Siabil, 2019), slope extension and repair (Gunawan, 2020), vibration dampers (Ouyang, 2019), tunnel structures (AbdelSalam, 2019), pipe protection (Hassan, 2021), rail safety trenches (Jazebi, 2022), filling of retaining wall structures (M. I. Khan, 2021a) (Kim, 2018), and expansive soil handling (El-Sakhawy, 2023). EPS geofoam as fill material behind the retaining wall structure can be an alternative because of its practicality and ease of installation (Giuliani, 2020). An example of installing geofoam on a road embankment is shown in Figure 2.



Figure 2. Geofoam installation application (Puppala, 2020)

An accurate assessment of lateral earth pressure is essential when designing geotechnical structures, particularly retaining wall structures. For static conditions, the value of K is typically estimated using Coulomb theory, Rankine's equation, or Jaky. The horizontal effective stress σ'_h is typically calculated by multiplying the vertical effective stress σ'_v by the lateral earth pressure coefficient K (Kim, 2018). The value of K suitable for static analysis mainly depends on the magnitude of the lateral wall deformation. Retaining wall backfill material can reduce lateral forces. (M. I. Khan, 2021a, 2021b).

This study will discuss the effect of using geofoam as an embankment behind retaining wall structures on the safety factor of slope stability. Geofoam is expected to be an alternative solution as an effective and efficient embankment, especially in difficult areas.

B. METHOD

Slope stability analysis

The concept of limit-plastic equilibrium typically serves as the foundation for slope stability analysis. The stability analysis's objective is to ascertain the terrain's safety factor in the event of a landslide. The ratio of the holding force to the driving force is the definition of the safety factor (Arbianto & Gunarso, 2022)

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (1)$$

with : SF= Safety factor, τ = maximum shear resistance (kN/m^2), τ_d = shear resistance occurs (kN/m^2)

SNI 8460-2017 recommends the categories of safety factors shown in Table 1 as follows:

Table 1. Recommended slope safety figures

Costs and consequences of slope failure	Uncertainty level analysis conditions	
	Low	High
The repair costs are outweighed by the additional cost of designing a more conservative slope	1.25	1.5
The repair costs outweigh the incremental costs of designing a more conservative slope	1.5	2.0 or more

Techniques for computing the powers following up on the disappointment plane have been created by a few specialists, including Diocesan's severe, Spencer's, Sarma's, and Morgenstern-Cost, which give a more intricate method for considering the second power balance. Figure 3 depicts the forces exerted on the landslide cross-section. Listed below:

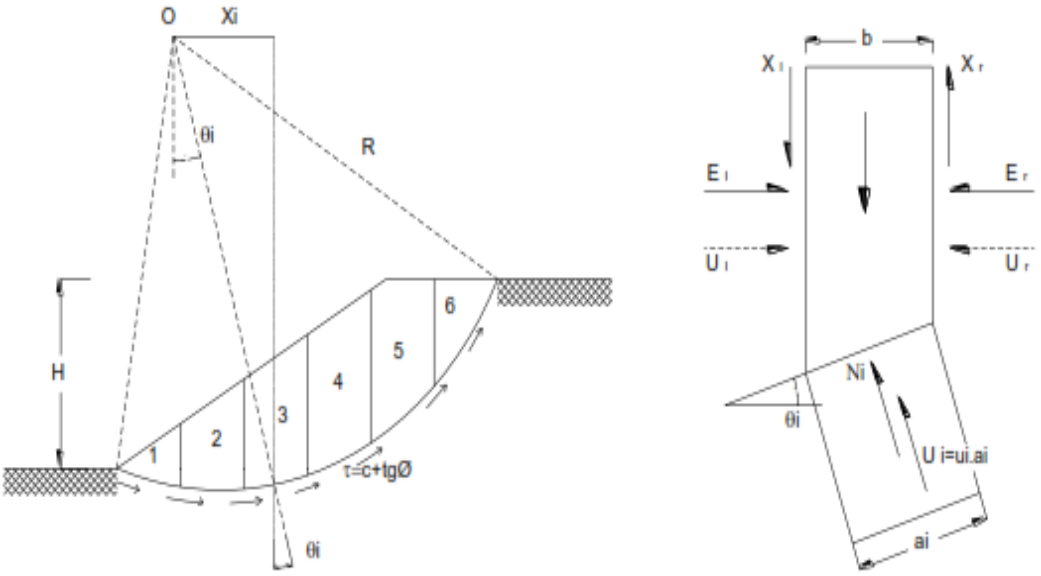


Figure 3. The force acting on the slice of the landslide plane (Hardiyatmo, 2012)

Soil shear strength boundaries comprise cohesion (c) and internal friction angle (φ). The general equation given by Mohr-Coulumb (Hardiyatmo, 2012) is as follows:

$$\tau = c + \sigma tg\varphi \quad \text{.....} \quad (2)$$

with : τ = shear strenght (kN/m^2), c = cohesion (kN/m^2), □ = friction angle (°), σ = normal stress (kN/m^2)

Numeric simulation

The method used in this study is numerical simulation. Soil parameters and slope conditions are based on soil and laboratory research data. Geofoam data properties are obtained from previous research. Numerical simulations of the use of EPS geofoam as a cluster of ground-resistant walls have already been carried out by several previous researchers, including the PLAXIS Simulation (M. I. Khan, 2021a, 2021b), ADINA Simulation (El-kady et al., 2018), PLAXIS Simulations (Gunawan, 2021), PLAXIS and Laboratory (Kim, 2018), PLAXIS and Laboratory (Xie, 2019), and FLAC Simulation (Notash, 2018). The authors suggested the use of simulations with different software from previous researchers, namely with SLOPE/W. Numerical analysis is carried out in two dimensions and with global stability analysis. Mohr-Coulumb material models are utilized in numerical soil and geofoam models. Data analysis is needed to figure out the parameters of the soil and reinforcement material based on the results of both field and laboratory tests. High-strength material models are used to model the retaining walls, which are constructed of concrete structures.

EPS Geofoam can reduce the structural load. EPS Geo-foam is not a ground-fill substitute in general but is intended to solve engineering challenges. The use of Geofoam EPS benefits construction by shortening construction schedules and lowering the overall cost of construction. Its implementation does not require special equipment and is not affected by weather conditions. (El-kady et al., 2018). The high-pressure resistance of EPS makes it capable and sufficiently supportive of highway traffic loads (Khalaj, 2019).

Material property

A series of direct sliding tests are carried out to evaluate the sliding strength and EPS geofoam interface parameters; a brief description of the material properties is given below (M. Khan, 2018), shown in Table 2:

Table 2. Parameter of Geofoam

Type	Density (kN/m^3)	Shear Strenght Parameter	
		C (kPa)	Φ (°)
EPS 15	0.15	30.8	3
EPS 20	0.20	36	4
EPS 22	0.22	40.3	4.5
EPS 30	0.30	59.8	6

Correlation of field data to obtain land design parameters such as the internal sliding angle and cohesion is done by correlating N-SPT data with the C_u value, thus obtaining the soil parameters used for analysis shown in Table 3 as follows:

Table 3. Design of numerical simulation parameters

Name	Model	Unit Weight (kN/m^3)	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Shear Force (kN)	K_h
Sand-silt	Mohr-Coulomb	18	30	0	-	
Slate stone	Mohr-Coulomb	19	330	0	-	
Retaining wall	High Strenght	24	-	-	-	
Pile	-	-	-	-	100	
Earthquake						0.3

C. RESULT AND DISCUSSION

Analysis of slope stability using the Morgenstern-Price method, and the slope field is defined by the entry-exit slip surface. Applied load of 25 kN/m^2 covering traffic load and road structure (BSN, 2017). The model analysis carried out includes:

1. Retaining wall slope with conventional backfill
2. Retaining wall slope with EPS 15 backfill
3. Retaining wall slope with EPS 20 backfill
4. Retaining wall slope with EPS 22 backfill
5. Retaining wall slope with EPS 30 backfill

Conducting multiple simulations to independently examine each failure mode is a good practice. Different conceivable outcomes can happen that can bring about avalanches. Typically, this is accomplished by adjusting the slip surface search zone's location.(Arbianto & Gunarso, 2022).

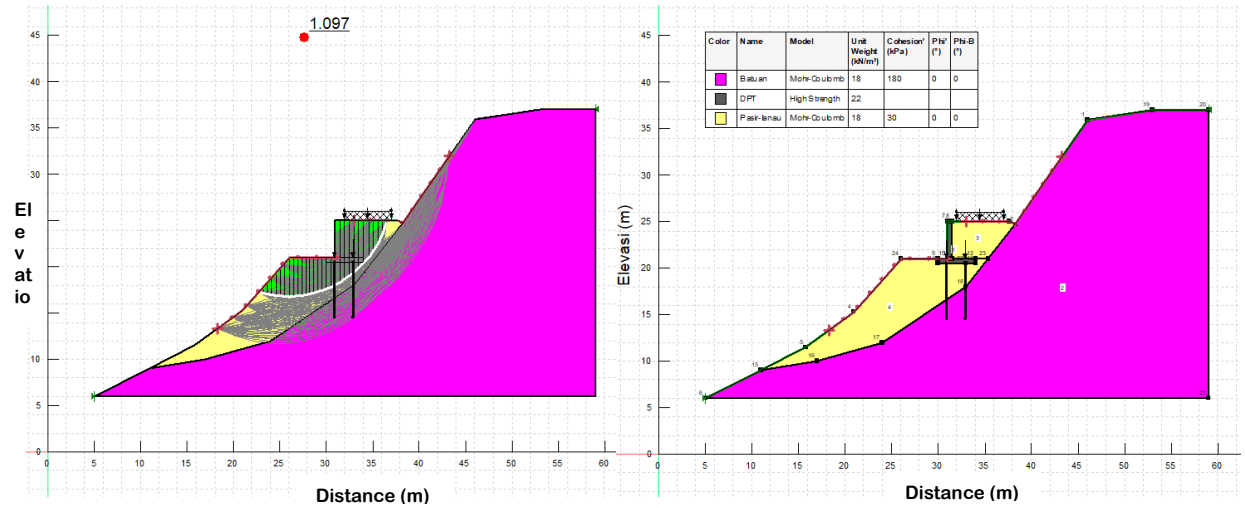


Figure 4. Results of model analysis 1

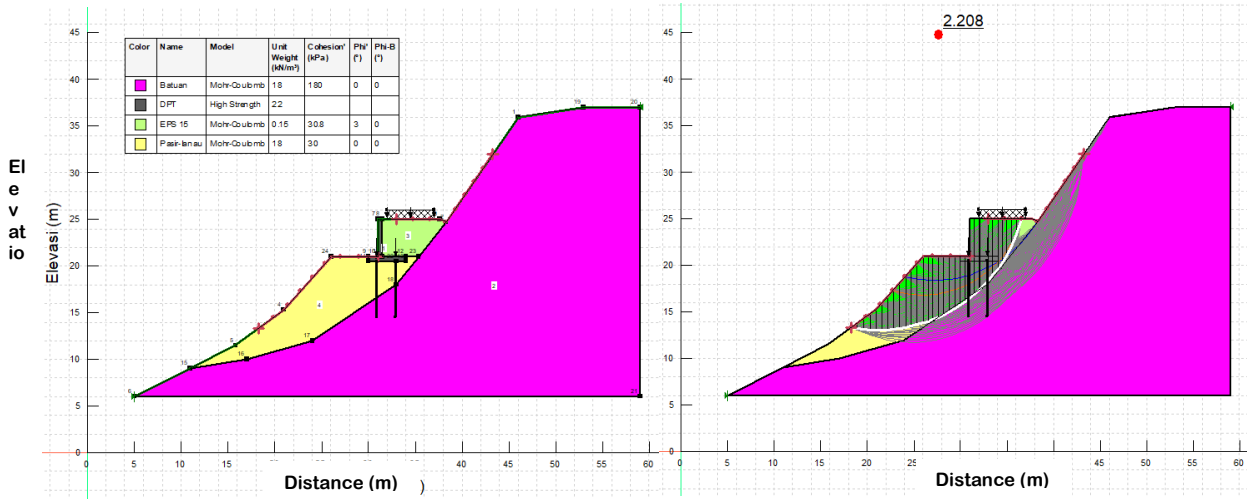


Figure 5. Results of model analysis 2

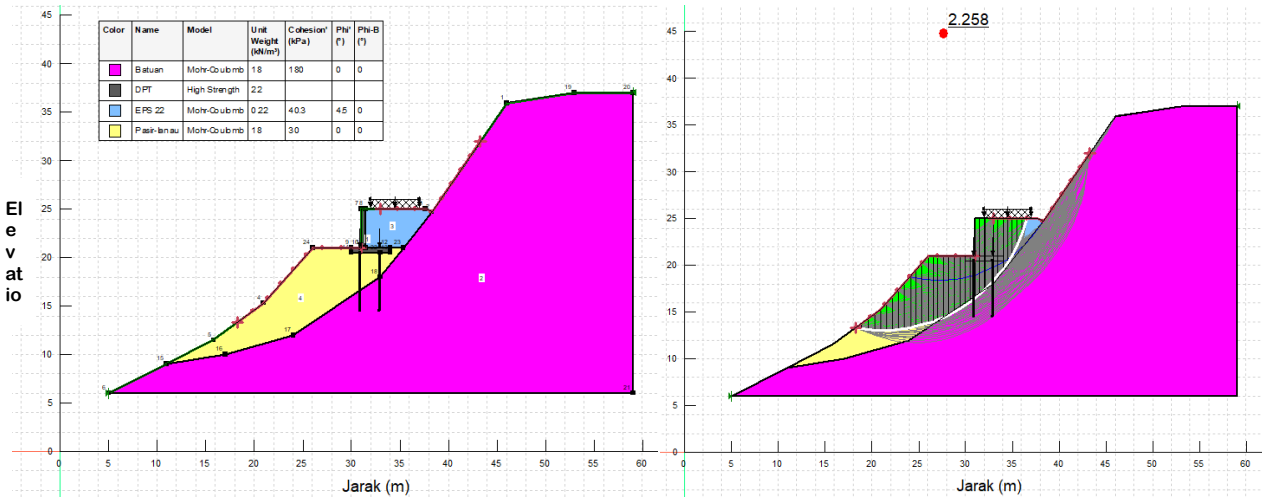


Figure 6. Results of model analysis 3

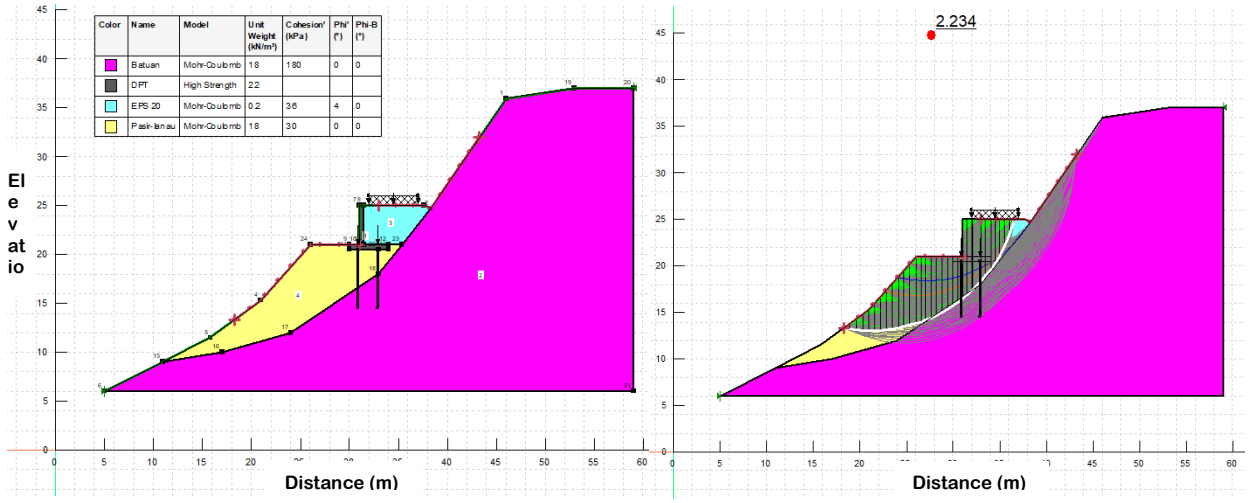


Figure 7. Results of model analysis 4

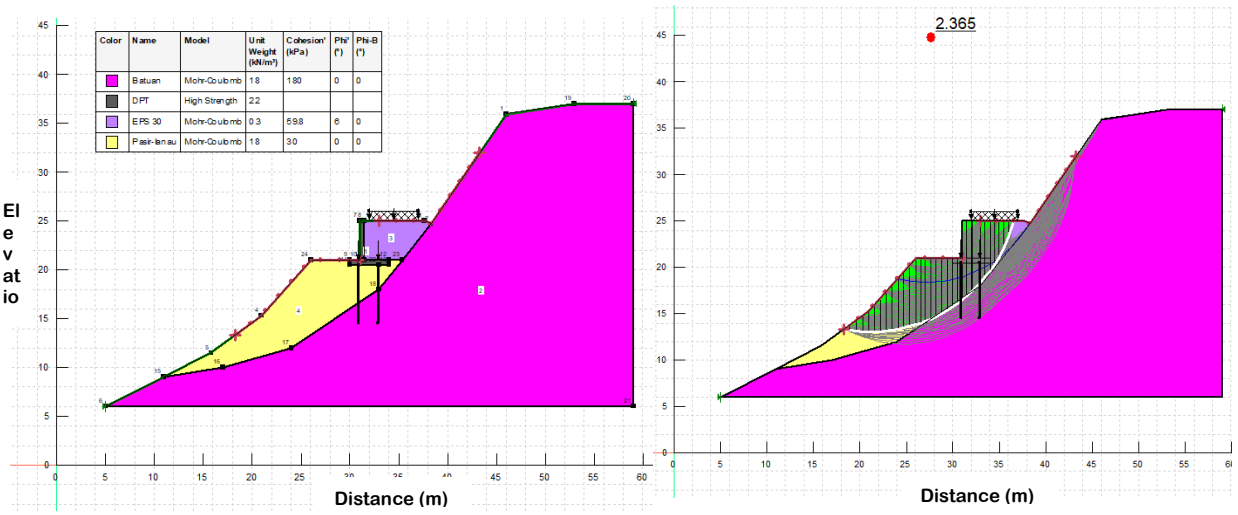


Figure 8. Results of model analysis 5

Figure 4 shows the numerical simulation for model 1 of the retaining wall reinforced Slope with conventional backfill. The resulting safe number is SF = 1.097 >1.5, meaning that the slope is in an unsafe condition. Figure 5 is a numerical simulation for model 2 of DPT-reinforced slopes with EPS 15 backfill. The resulting safety figure is SF = 2.208 >1.5, meaning the slope is in a safe condition. Figure 6 shows a numerical simulation for model 3 of retaining wall reinforced slopes with EPS 20 backfill. The resulting safe number is SF = 2.234 >1.5, meaning the slope is in a safe condition. Figure 7 shows the numerical simulation for model 4 of retaining wall reinforced slopes with EPS 22 backfill. The resulting safety factor is SF = 2.258 >1.5, meaning the slope is in a safe condition. Figure 8 shows the numerical simulation for model 5 retaining wall reinforced slopes with EPS 22 backfill. The resulting safe number, SF = 2.365 >1.5, implies the slope is in a safe condition

Table 4. Recapitulation of analysis results

No	Model's	Description	Safety factor	Information
1	Model 1	Retaining wall slope with conventional backfill	1.097	Not Safe
2	Model 2	Retaining wall slope with EPS 15 backfill	2.208	Safe
3	Model 3	Retaining wall slope with EPS 20 backfill	2.234	Safe
4	Model 4	Retaining wall slope with EPS 22 backfill	2.258	Safe
5	Model 5	Retaining wall slope with EPS 30 backfill	2.365	Safe

Based on the results in Table 4, shows that the substitution of heap fill material with EPS geofoam can increase the safety factor. The higher the soil density, the safe number increases from 1.097 to >2. This is in accordance with numerical simulations for retaining walls, which increase the safety value from 1 to >1.5 (Gunawan, 2022).

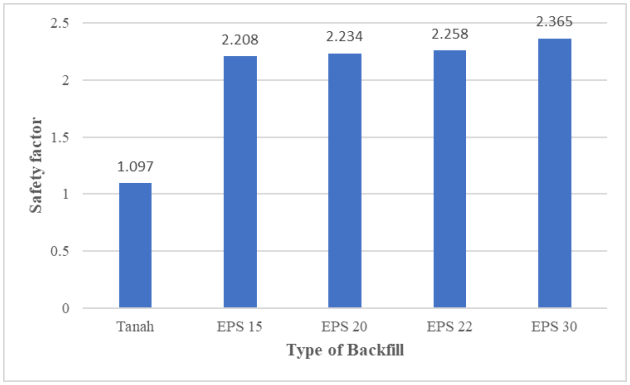


Figure 9. Chart of type backfill – safety factor

Figure 9 can clarify the comparison of the increase in safety factors based on the backfill material behind the retaining walls. The high density of EPS has a high shear strength parameter, so the shear resistance becomes large, as shown in Figure 10.

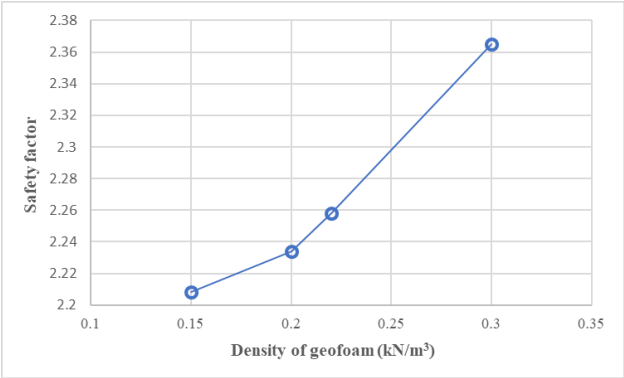


Figure 10. Chart of EPS density – safety factors

The increase in the safety score was due to the reduction in lateral earth pressure due to a lightweight backfill replacement. The higher the bulk density of the soil, the greater the lateral pressure. Reduction of lateral pressure by 30% (El-kady et al., 2018)

D. CONCLUSION

This study presents numerical modeling of retaining walls with geofoam as backfill at different densities. The aim is to highlight the effectiveness of geofoam as a lightweight material compared to earth fills. Based on the results of this study, it can be concluded that the replacement of EPS geofoam material can increase the average safety rate by 117%. The results of the analysis show that the higher the EPS geofoam density, the higher the safety ratio. EPS geofoam with high density has high shear strength parameters, so the shear resistance becomes large. For future research, the author will analyze the internal forces that occur on the retaining wall, so that the behavior of geofoam as a fill material can be comprehensively known.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the P2JN Manokwari and PT. Pemeta Consultant for their information and cooperation. Hopefully, the design that we have proposed can be implemented properly and fully utilized.

REFERENCES

AbdelSalam, S. S. (2019). EPS inclusion to reduce vertical stresses on shallow tunnels. *Geosynthetics International*, *26*(2), 121–135. https://doi.org/10.1680/jgein.18.00042

Arbianto, R., & Gunarso. (2022). Design Review Of Leuwikeris Dam Acces Road Pakage 4. *Pondasi*, *27*(1), 98–11. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30659/pondasi.v27i1.22881

ASTM. (2009). *Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam 1*. www.astm.org,

El-kady, M. S., Alzara, M. A., & Farouk, M. A. (2018). Reduction of lateral earth pressure using Geo-foam blocks. *Innovative Infrastructure Solutions*, *3*(1). https://doi.org/10.1007/s41062-018-0145-4

El-Sakhawy, N. (2023). Decreasing Earth Thrust with EPS Geofoam. *E3S Web of Conferences*, *368*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336802017

Giuliani, F. (2020). Expanded polystyrene (EPS) in road construction: Twenty years of Italian experiences. *Transportation Research Procedia*, *45*, 410–417. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.033

Gunawan, A. (2020). Geofoam: A potential for Indonesia's soil problem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *426*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012004

Gunawan, A. (2021). Geofoam: A potential for Indonesia's soil problem II. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *794*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012031

Gunawan, A. (2022). Geofoam: A potential for Indonesia's soil problem III - Stabilizing retaining wall. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *998*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012010

Hassan, D. (2021). Protecting buried pipelines using different shapes of geofoam blocks. *Mining of Mineral Deposits*, *15*(2), 54–62. https://doi.org/10.33271/mining15.02.054

Horvath, J. S., & Manhattan College, P. (2001). *Geomaterials Research Project Geofoam and Geocomb Geosynthetics: A Bibliography Through the Second Millennium A*. www.engineering.manhattan.edu/civil/CGT.html

Jazebi, M. (2022). Performance of Open and In-Filled (Geofoam) Trenches in Mitigating Ground-Borne Vibrations Induced by Impact Loading. *International Journal of Pavement Research and Technology*. https://doi.org/10.1007/s42947-022-00159-w

Khalaj, O. (2019). Performance Evaluation of Pavements Constructed on EPS Geofoam Backfill Using Repeated Plate Load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *221*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012007

Khan, M. (2018). Experimental Investigation of the Shear Behavior of EPS Geofoam. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, *4*(2). https://doi.org/10.1007/s40891-018-0129-7

Khan, M. I. (2021a). A Numerical Study on the Role of EPS Geofoam in Reducing Earth Pressure on Retaining Structures Under Dynamic Loading. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, *7*(3). https://doi.org/10.1007/s40891-021-00304-8

Khan, M. I. (2021b). Evaluating the role of geofoam properties in reducing lateral loads on retaining walls: A numerical study. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(9). https://doi.org/10.3390/su13094754

Kim, H. (2018). Numerical study of earth pressure reduction on rigid walls using EPS geofoam inclusions. *Geosynthetics International*, *25*(2), 180–199. https://doi.org/10.1680/jgein.18.00001

Maleska, T. (2019). Application of EPS geofoam to a soil–steel bridge to reduce seismic excitations. *Geosciences (Switzerland)*, *9*(10). https://doi.org/10.3390/geosciences9100448

Notash, N. H. (2018). Effects of Geofoam Panels on Static Behavior of Cantilever Retaining Wall. *Advances in Civil Engineering*, *2018*. https://doi.org/10.1155/2018/2942689

Ouyang, C. (2019). Dynamic Analysis of Rockfall Impacts on Geogrid Reinforced Soil and EPS Absorption Cushions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *23*(1), 37–45. https://doi.org/10.1007/s12205-018-0704-4

Puppala, A. J. (2019). Design and construction of lightweight EPS geofoam embedded geomaterial embankment system for control of settlements. *Geotextiles and Geomembranes*, *47*(3), 295–305. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.01.015

Puppala, A. J. (2020). Geosynthetics in geo-infrastructure applications. *Durability of Composite Systems*, 289–312. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818260-4.00007-7

Siabil, S. M. A. G. (2019). Behavior of expanded polystyrene (EPS) blocks under cyclic pavement foundation loading. *Geosynthetics International*, *26*(1), 1–25. https://doi.org/10.1680/jgein.18.00033

Xie, M. (2019). Lateral earth pressure on rigid retaining walls with EPS deformable geofoam inclusions. *Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, *41*, 65–68. https://doi.org/10.11779/CJGE2019S1017

ANALISIS PERKUATAN TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK ANTARA PENGGUNAAN GEOFOAM DAN GEOTEKSTIL DENGAN GEOSTUDIO

Prasetyo Widhy Utomo[1*], Bambang Setiawan[2] dan Niken Silmi Surjandari[3]

[1*]Mahasiswa Pascasarjana Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: prasetyowidhyutomo@student.uns.ac.id (Corresponding Author)
[2]Dosen Pascasarjana Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: bambangsetiawan@staff.uns.ac.id
[3]Dosen Pascasarjana Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: nikensilmisurjandari@staff.unsac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur jalan di indonesia berkmbang pesat hingga pemerintah menggelontorkan sejumlah dana untuk pembangunan. Pembangunan jalan dalam rangka memperoleh *trace* jalan terbaik harus melewati berbagai kondisi tanah. Medan yang dilewati terkadang memiliki karakteristik tanah-tanah bermasalah seperti tanah lunak sehingga mengharuskan perencanan untuk mengambil langkah dalam pelaksanaan proyek. Perkuatan timbunan dengan geotekstil dan geofoam merupakan beberapa langkah atau solusi dalam menangani masalah dijumpainya tanah lunak. Oleh karena itu pada penelitian ini, peneliti akan menganalisis perkuatan timbunan antara penggunaan geotekstil dibanding penggunaan geofoam melalui model analisis secara numerik dengan pendekatan *finite elemen method (FEM)* pada Geostudio. Tujuan dari penelitian adalah menyusun perbandingan antara penggunaan geofoam sebagai perkuatan dibanding dengan penggunaan geotekstil sebagai perkuatan timbunan di atas tanah lunak. Model analisis numerik pada Geostudio menggunakan program SIGMA/W untuk memperoleh besarnya deformasi pada tanah asli (tanah lunak) dengan membandingkan antara perkuatan menggunakan 1 lapis geotekstil dan dengan perkuatan geofoam ketebalan 2 meter, dan 4 meter, dan 6 meter dengan tinggi timbunan 7 meter, sedangkan tanah lunak berdasarkan data-data sekunder sebanyak 4 variasi data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan penurunan antara perkuatan geotekstil dengan geofoam didapati rata-rata prosentase reduksi penurunan untuk perkuatan geotekstil dan geofoam (ketebalan 2 m, 4 m, dan 6 m) terhitung masing-masing sebesar 1,13 %; 27,36 %; 54;92 %; dan 78,16 %.

Kata kunci: geofoam, geotekstil, penurunan, tanah lunak, dan timbunan.

A. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan sebuah mega proyek yang membutuhkan dana besar, pada tahun 2022 Kementerian PUPR menyiapkan dana Rp 332,59 Triliun untuk pembangunan infrastruktur (Kemen. PUPR : 2022). Perencana umumnya membuat desain trace jalan yang paling dekat, aman, dan memiliki potensi daya guna berdasarkan hasil pengukuran topografi, namun ada kalanya desain rencana akan melewati lahan dengan kondisi tanah yang tidak mendukung. Jenis kondisi tanah yang dimaksud pada penelitian ini adalah tanah berdaya dukung rendah yang biasa dikenal dengan soft soil (tanah lunak).

Studi dan penelitian untuk perkuatan tanah semakin berkembang dan mengarah untuk menurunkan besarnya pembebanan timbunan terhadap tanah asli dengan menggunakan material Geofoam. Özer (2018) menerapkan geofoam block pada timbunan jalan di Acibadem, Istanbul, Turki. Selain itu penggunaan yang lain sebagai pelebaran jalan pada Duškov (2018) dan sebagai

abutment jembatan pada Vaslestand (2018). Penggunaan Geofoam sudah ada sejak 1972 di Jepang, dengan menggunakan geofoam masa timbunan terhadap tanah dapat dikurangi dan terbukti mampu mengurangi penurunan pada tanah asli dan dapat bertahan selama beberapa tahun (Aabøe: 2018). Perkuatan yang telah ada adalah dengan penggunaan geotekstile Septiandri, dkk (2021) menyatakan semakin tinggi timbunan maka membutuhkan tegangan ultimit geotextile yang semakin besar. Peneltian perkuatan timbunan menggunakan geosintetik oleh Putri, dkk (2018) lebih di-rekomenasikan dibandingkan dengan metode konvensional lainnya. Oleh karena itu pada penelitian ini, peneliti akan menganalisis perkuatan timbunan antara penggunaan geotekstil dibanding penggunaan geofoam melalui model analisis pada Geostudio sebagai reduksi penurunan pada timbunan.

Hasil penelitian berupa grafik korelasi antara nilai penurunan dengan parameter tanah yang diperkuat menggunakan geofoam dibanding dengan geotekstil. Kurva korelasi tersebut diharapkan mampu memperkirakan nilai penurunan timbunan antara dua perkuatan. Pada penelitian ini pemodelan akan dibatasi yaitu analisis untuk timbunan untuk jalan tol, menggunakan 1 lapis geotekstile dan perkuatan geofoam ketebalan 2 meter, dan 4 meter, dan 6 meter dengan tinggi timbunan 7 meter, sedangkan tanah lunak berdasarkan data-data sekunder sebanyak 4 variasi data. Hasil analisis akan menggambarkan besaran reduksi penurunan antara masing-masing perkuatan terhadap variasi parameter tanah lunak yang digunakan

Penelitian ini menggunakan metode analisis numerik dengan bantuan geostudio program SIGMA/W yang berbasis FEM untuk menentukan besar deformasi pada tanah lunak. Oleh karena itu perumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk menanalisis bagaimana besar penurunan antara perkuatan geofoam dibandingkan perkuatan dengan geotekstil pada timbunan atas tanah lunak menggunakan geostudio. Maka tujuan pada pebelitian ini adalah menyusun besar penurunan antara penggunaan geofoam dibandingkan perkuatan dengan geotekstil sebagai perkuatan timbunan di atas tanah lunak pada variasi parameter tanah menggunaka geostudio.

B. METODE

Metode analisis menggunakan analisis numerik dengan bantuan perangkat lunak Geostudio program SIGMA/W. Bahan penelitian berupa data sekunder meliputi: Parameter tanah lunak terdiri atas 4 variasi, parameter tanah timbunan, dan ketebalan geofoam dan Geotekstil. Data sekunder daimbil dari beberapa sumber dinataranya untuk properties geofoam menurut ASTM D 6817 dan untuk parameter tanah berdasarkan Bowles (1977) dalam Hardiyatmo (2010) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut ini,

Tabel 1. Klasifikasi Modulus elastiasitas tanah (Bowles (1977) dalam Hardiyatmo (2010))

Macam Tanah	E (kN/m^2)
Lempung	
Sangat Lunak	**300 – 3000**
Lunak	**2000 – 4000**
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak Padat	10000 – 25000
Padat	**50000 – 100000**

Tabel 2. Material propertis EPS Geofoam menurut ASTM D 6817

Type	EPS12	EPS15	EPS19	EPS22	EPS29	EPS39	EPS46
Density, min. Kg/m3 (lb/ft3)	11.2 (0,70)	14,4 (0,90)	18,4 (1,15)	21,6 (1,35)	28,8 (1,80)	38,4 (2,40)	45,7 (2,85)
Kuat tekan, min. saat 1 %. kPa (psi)	15 (2,2)	25 (3,6)	40 (5,8)	50 (7,3)	75 (10,9)	103 (15,0)	128 (18,6)
Kuat tekan, min. saat 5 %. kPa (psi)	35 (5,1)	55 (8,0)	90 (13,1)	115 (16,7)	170 (24,7)	241 (35,0)	300 (43,5)
Kuat tekan, min. saat 10 %. kPa (psi))	40 (5,8)	70 (10,2)	110 (16,0)	135 (19,6)	200 (29,0)	276 (40,0)	345 (50,0)
Kuat lentur, min. kPa (psi)	69 (10,0)	172 (25,0)	207 (30,0)	240 (35,0)	345 (50,0)	424 (60,0)	517 (75,0)
Oksigen indeks, min. Volume %	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0

Berdasarkan data sekunder di atas, peneliti menentukan dan membagi menjadi variabel penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5. Berikut.

Tabel 3. Variabel ketebalan geofoam

Variasi	Ketebalan geofoam/hg (m)
H1	2,00
H2	4,00
H3	6,00

Tabel 4. Variabel Tanah Lunak (Hardiyatmo: 2010, Bowles: 1977)

Tanah Lunak	Modulus Elastisitas (kN/m2)	Berat volume tanah (kN/m^3)
Variasi 1	500	16,0
Variasi 2	1000	16,5
Variasi 3	2000	17,0
Variasi 4	4000	17,5

Tabel 5. Hasil penyelidikan geotextile (Ghazavi dan Soltanpour: 2008)

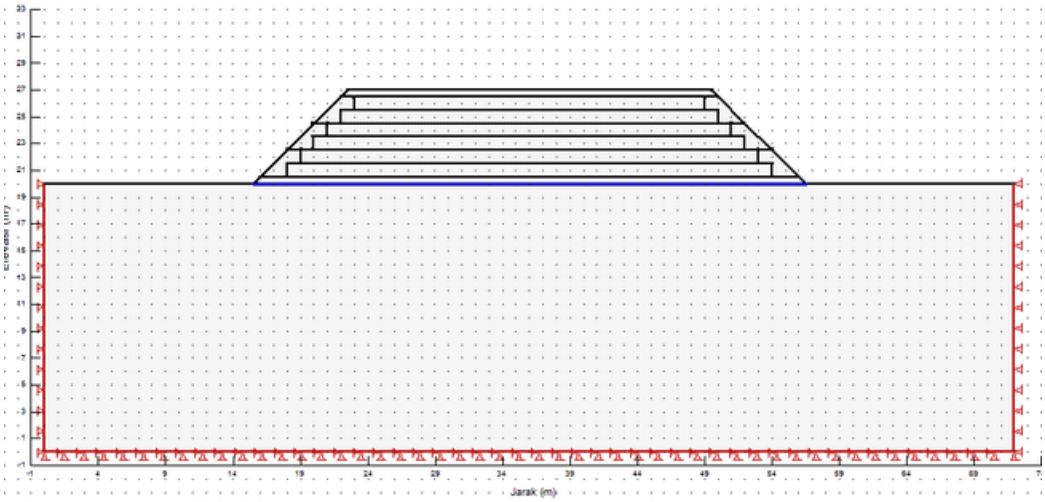
Parameter	Nilai
Modulus elastisitas (kN/m^2)	5000
Poisson ratio	0,25
Tensile stress	14

Nilai parameter yang berlaku konstan dalam analisis penelitian ini adalah ketinggian timbunan (H), modulus elastisitas (E), dan nilai berat volume tanah (γ) berturut turut 7 m, 60000, dan 18 kN/m3. Modulus Elastisitas geotekstil bernilai sebesar 5000 kN/m^2. Spesifikasi geofoam yang digunakan memiliki nilai modulus elastisitas sebsear 10000 kN/m^2 dan berat volume 1,5 kN/m^3.

2.1. Tata laksana penelitian

Pengumpulan data dan penentuan model analisis

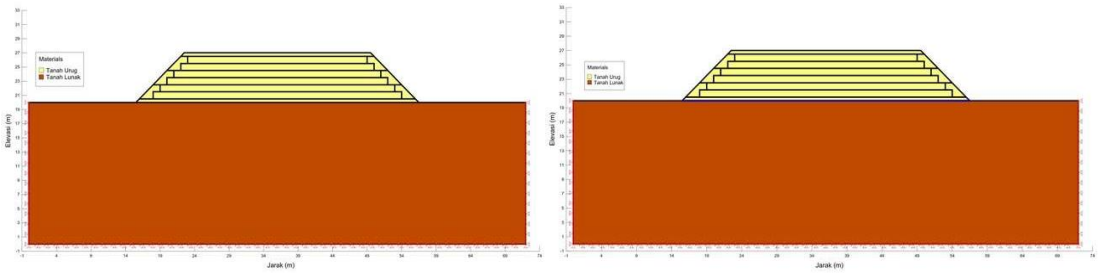
Pada penelitian ini dibutuhkan data untuk parameter nilai tanah meliputi nilai modulus elastisitas tanah (E) dan berat volume tanah (γ). Peneliti akan memodelkan untuk berbagai parameter berbeda guna memperoleh korelasi deformasi pada setiap tanah yang digunakan. Model timbunan awal (region) ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini,



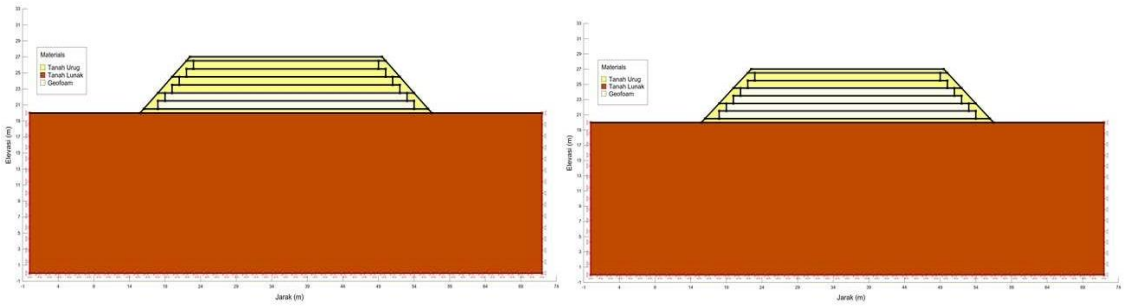
Gambar 1. Region analisis perkuatan Geofoam dan Geotekstil dengan Geostudio
Region bagian atas terbagi kembali menjadi beberapa region yang menunjukkan lapisan timbunan dan penyesuain penggunaan material tanah urug atau geofoam. Bagain bawah timbunan terdapat perkuatan geotekstil.

1. Pemodelan timbunan

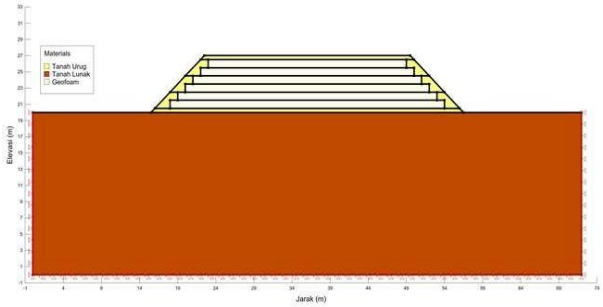
Pemodelan secara numerik menggunakan geostudio ditetapkan terdapat 5 model ; model timbunan tanpa perkuatan, perkuatan geotekstil, dan perkuatan geofoam (ketebalan 2 m, 4 m, dan 6 m). Model analisa dapat dilihat pada Gambar 2 berikut,



(a) tanpa perkuatan (b) perkuatan geotekstil



(c) perkuatan geofoam ketebalan 2 meter (d) perkuatan geofoam ketebalan 4 meter



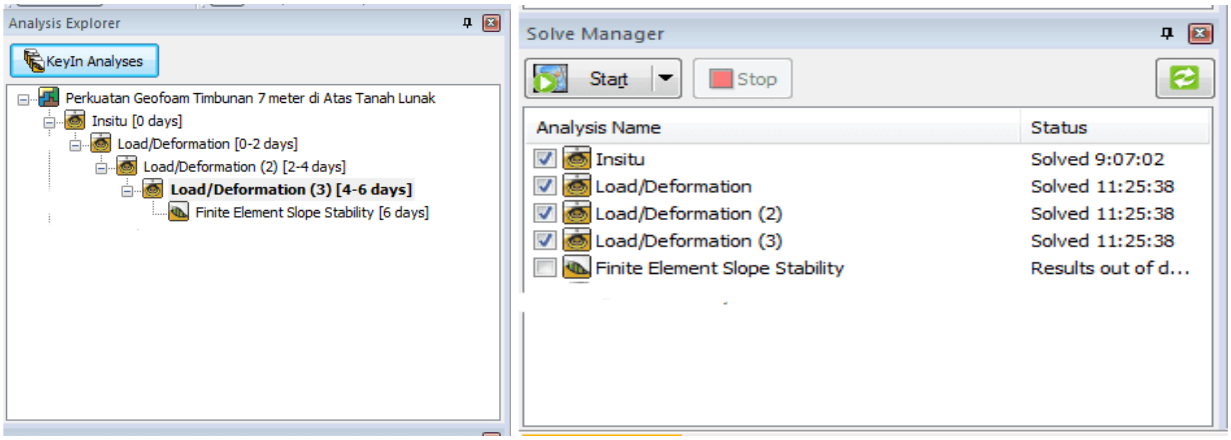
(e) perkuatan geofoam ketebalan 6 meter

Gambar 2. Model analisis Geostudio (SIGMA/W) yang digunakan

Pada Gambar 2 menunjukkan 5 model yang nantinya akan dianalisis besaran deformasi yang terjadi, selain itu pada masing-masing model akan diberlakukan 4 variasi tanah lunak (warna cokelat) untuk melihat besarnya penurunan pada parameter tanah lunak yang berbeda. Perletakkan geofoam dimulai dari lapisan pertama, sehingga pada ketebalan 2 m geofoam berada pada lapisan 1, ketebalan 4 meter berada pada lapisan ke 2 dan ke 3, terakhir 6 meter berada pada ke tiga lapisan. Penempatan geotekstil sebagaimana ditunjukkan Gambar 2.(b) berada pada bidang kontak timbunan dengan tanah asli.

2. Analisis penurunan menggunakan Geostudio program SIGMA/W

Model yang sudah diinput data material dan kondisi batasnya dapat dilaksanakan running. Proses running dapat dilihat pada Gambar 3 berikut,



Gambar 3. Data analisis dan running analisis pada model yang digunakan

Running analisis akan berhasil apabila data yang dimasukkan sudah sesuai, sehingga akan ditampilkan hasil penurunan dan dapat diambil grafik penuruna yang terjadi. Demi mendapatkan hasil running sesuai dengan yang diharapkan maka perlu memperhatikan langkah analisis berikut ini:

- ✓ Menentukan model analisis dengan menggambar region dan dimensinya
- ✓ Menentuukan desain analisis (key-in alaysis) sebagai fase pekerjaan timbunan
- ✓ Penentuan parameter material tanah, geotektil, dan geofoam
- ✓ Penentuan kondisi batas analisis
- ✓ Melakukan running "start" sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.
- ✓ Mengexport grafik dan data hasil analisis

1. Intepretasi hasil analisis

Intepretasi hasil analisis berupa besar penurunan maksimum pada bidang perrtemuan timbunan dengan tanah asli tiap perkuatan yang digunakan. Analisis numerik mengunakan geostudio akan diperoleh nilai penurunan sepanjang bidang pengamatan pada masing masing analisis perkuatan pada tiap variasi tanah lunak. Banyak data grafik teridiri atas 5 kondisi timbunan dan 4 variasi tanah, sehingga terdapat 20 data grafik penurunan untuk penarikan hasil analisis

2. Penyusunan grafik perbandingan penurunan dari intepretasi hasil analisis

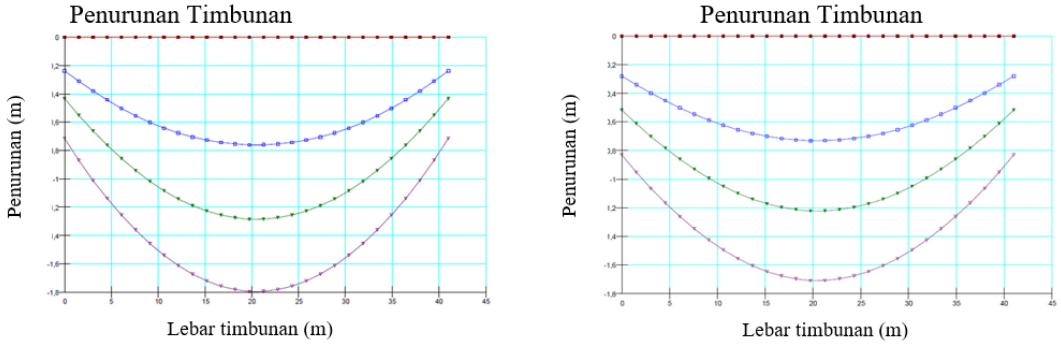
Hasil analisis tiap model selanjutnya akan dibandingan untuk mengetahui besaran reduksi penurunan atas perkuatan yang diberikan (R_s). Perbandingan diperoleh dengan menghirung prosentasi antara timbunan yang diberikan perkuatan dibanding tanpa perkuatan menggunakan persamaan 1 berikut,

$$R_s = \frac{(s_1 - s_0)}{s_0} x\ 100\% \quad \text{.....} \quad (1)$$

dengan R_s = reduksi penurunan (%), s_1 = penurunan dengan perkuatan, s_0 = penurunan tanpa perkuatan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

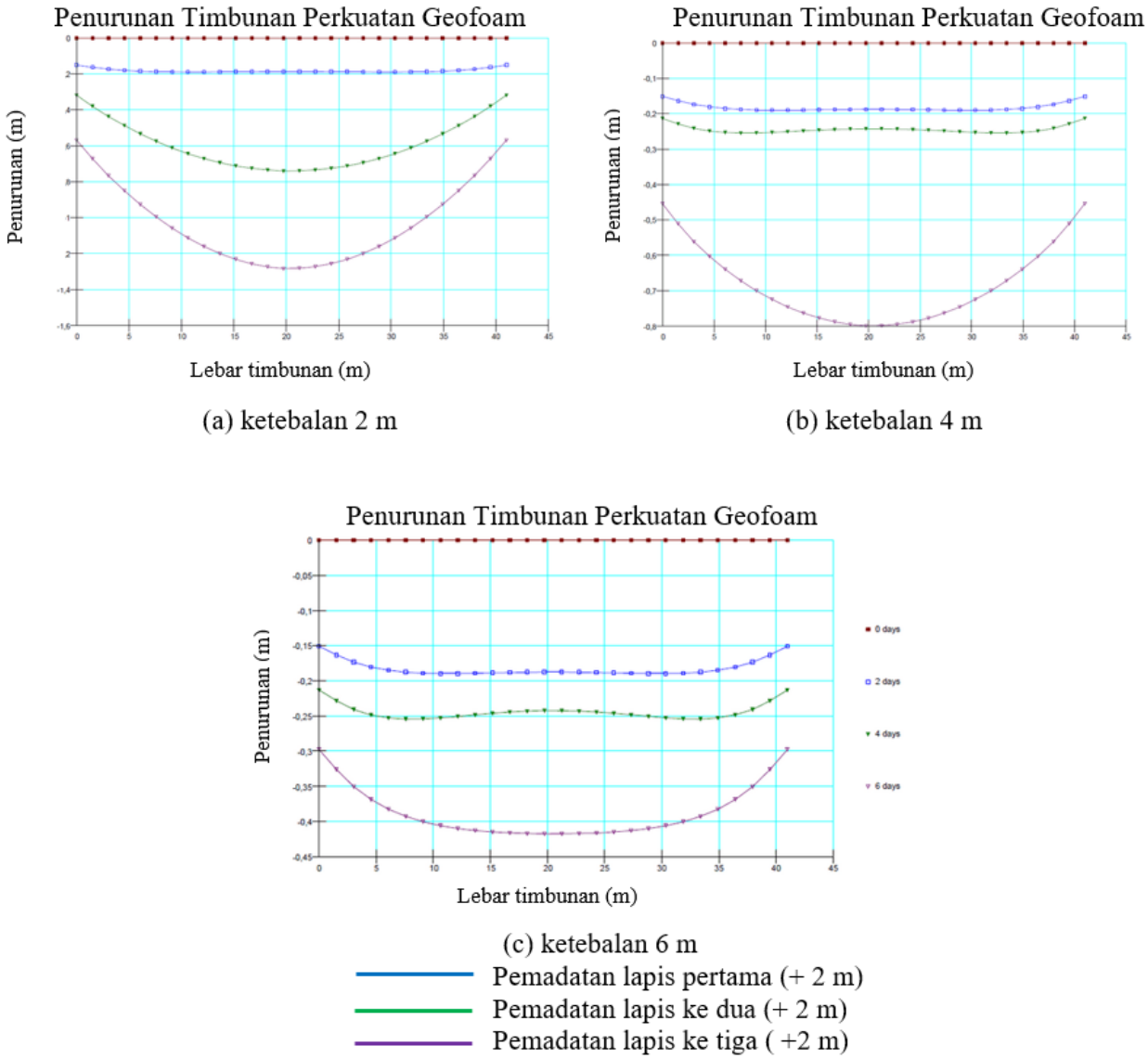
Hasil analisis geostudio untuk timbunan tanpa perkuatan, perkuatan geotekstil, dan perkuatan geofoam masing masing ketebalan untuk tanah variasi 1 ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



(a) Tanpa perkuatan (b) Perkuatan geotekstil

Gambar 4. Grafik penurunan timbunan tanpa perkuatan dan perkuatan geotekstil pada tanah variasi 1

Grafik hasil analisis untuk model timbunan tanpa perkuatan ditunjukkan pada Gambar 4.(a) dimana pada akhir konstruksi (Gambar 3.(a)) diperoleh penurunan maksimum 1,80 m sedangkan pada timbunan dengan perkuatan geotekstil yang ditunjukkan Gambar 4.(b) diperoleh penurunan maksimum 1,71 m. Penurunan timbunan dengan perkuatan geotekstil pada variasi tanah 1 memiliki selisih sebesar 0,09 m dibanding tanpa perkuatan. Apabila dihitung menggunakan persamaan 1 maka diperoleh reduksi penurunan (R_s).



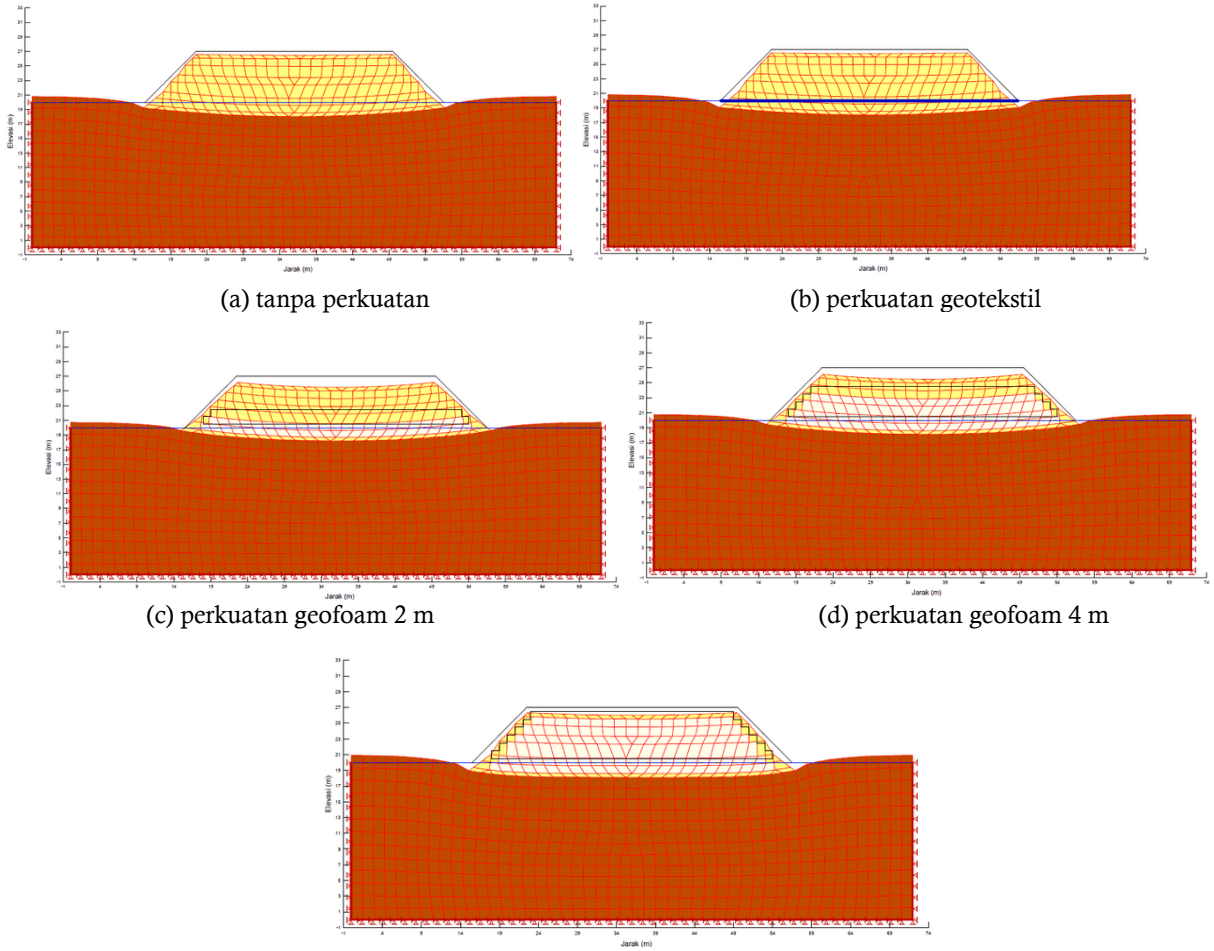
Gambar 5. Grafik penurunan timbunan perkuatan geofoam pada tanah variasi 1

Pada Gambar 5. (a), (b), dan (c) menunjukkan penurunan maksimum timbunan dengan perkuatan geofoam masing-masing 1,28 m; 0,80 m; dan 0,42 m. Penurunan maksimum selanjutnya dilakukan perhitungan reduksi penurunan terhadap timbunan tanpa perkuatan sehingga diperoleh R_s masing-masing 28,6%; 55,52%; dan 76,76%.

Peada Gambar 5.(a) menunjukkan kurva mendatar pada lapisan pertama, hal tersebut dikarenakan geofoam mulai diterapkan pada lapisan awal pada ketebalan 2 m, kemudian dilanjutkan pemadatan hingga penambahan ketebalan 2 meter dan 2 meter terakhir. Pada proses penimbunan 4 meter terakhir timbunan mulai mengalami penurunan yang signifikan. Pada Gambar

5.(b) menunjukkan kurva mendatar pada lapisan awal (2 m pertama) dan lapisan ke dua (2 m kedua) kemudian pada lapisan ke tiga menunjukkan kurva penurunan yang cukup ekstrim. Hal tersebut dikarenakan pada lapisan terakhir tidak diterapkan perkuatan geofoam. Pada Gambar 5.(c) pada ketiga lapisan diberikan perkuatan geofoam hingga ketebalan geofoam total sebesar 6 m, kurva pada grafik penurunan relatif berbentuk gelombang datar hingga membentuk cekungan pada lapisan terakhir karena timbunan berbentuk trapesium.

Hasil analisis dari grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5 dibuat berdasarkan analisis deformasi yang terjadi pada model timbunan yang telah dibuat sebelumnya. Analisis dilakukan untuk setiap variasi tanah kemdudian diperoleh deformasi model sebagimana ditunjukkan pada Gambar 6. Pada gambar ditunjukkan warna kuning merupakan material tanah urug, warna putih adalah material geofoam, warna cokelat adalah tanah lunak, dan garis biru merupakan geotekstil.



(a) tanpa perkuatan (b) perkuatan geotekstil

(c) perkuatan geofoam 2 m (d) perkuatan geofoam 4 m

(e) perkuatan geofoam 6 m

Gambar 6. Model hasil analisis masing-masing perkuatan

Perilaku penurunan yang ditunjukkan pada kurva pada timbunan dengan perkuatan geofoam mengambarkan kemampuan geofoam sebagai material ringan yang mampu mengurangi timbulnya penurunan terutama pada bagian tengah timbunan. Pada kurva hasil analisis untuk variasi tanah yang lain kurang lebih menunjukkan pola yang mirip namun untuk besarnya penurunan maksimum relatif berbeda. Hasil analisis untuk variasi tanah 2, variasi tanah 3, dann variasi tanah 4 menunjukkan perbedaan yang relatif linier. Rekapitulasi hasil analisis numerik pada masing-masing perkuatan menggunakan geostudio program SIGMA/W ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi penurunan maksimum tiap perkuatan dan variasi tanah

	Penurunan maksimum (m)			
E (kN/m^2)	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Perkuatan	**Tanah variasi 1**	**Tanah variasi 2**	**Tanah variasi 3**	**Tanah variasi 4**
Tanpa perkuatan	1,7971	0,9680	0,5149	0,2691
Geotekstil	1,7655	0,9532	0,5089	0,2669
Geofoam 2 m	1,2831	0,7004	0,3767	0,1982
Geofoam 4 m	0,7993	0,4331	0,2332	0,1233
Geofoam 6 m	0,4177	0,2147	0,1096	0,0555

Pada rekapitulasi penurunan Tabel 6 menunjukkan penurunan terbesar terjadi pada timbunan tanpa perkuatan dan penurunan berbanding terbalik dengan besaran modulus elastisitas tanah (E). Semakin besar nilai modulus elastisitas maka penurunan yang terjadi akan semakin kecil. Penurunan maksimum dari yang terbesar secara berturut-turut yaitu 1. Timbunan tanpa perkuatan, 2. Timbunan dengan perkuatan geotekstil, 3. Timbunan perkuatan geofoam ketebalan 2 m, 4. Timbunan perkuatan geofoam ketebalan 4 m, terakhir 5. Timbunan perkuatan geofoam ketebalan 6 m. Penurunan terbesar pada variasi 1 timbunan tanpa perkuatan sebesar 1,7971 m dan penurunan maksimum terkecil pada variasi 4 dengan perkuatan geofoam ketebalan 6 meter sebesar 0,0555 m.

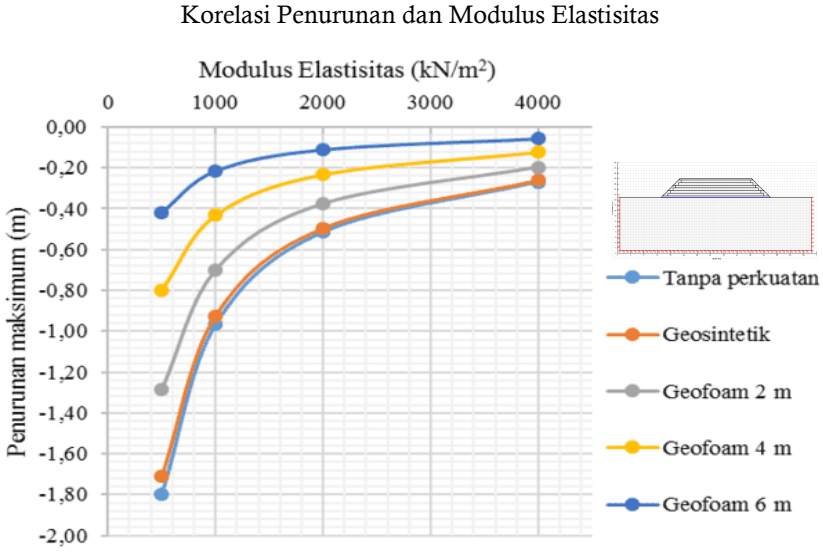
Data penurunan maksimum sleanjutnya dikalkulasi untuk penentuan nilai reduksi penurunan menggunakan persamaan 1 sehingga dapat diperoleh nilai prosentasi reduksi penurunan. Rekapiulasi prosentasi reduksi penurunan timbunan yang diperkuat terhadap tanpa perkuatan dsiajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi prosentase reduksi penuruan

	Prosentase reduksi penurunan (R_s) (%)			
E (kN/m^2)	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Perkuatan	**Tanah variasi 1**	**Tanah variasi 2**	**Tanah variasi 3**	**Tanah variasi 4**
Geotekstil	1,75	1,52	1,16	0,08
Geofoam 2 m	28,60	27,64	26,83	26,36
Geofoam 4 m	55,52	55,26	54,71	54,18
Geofoam 6 m	76,76	77,82	78,70	79,37

Reduksi penurunan pada Tabel 7 menunjukkan nilai terbesar pada penggunaan geofoam sebagai perkuatan dengan reduksi mencapai 79,37%. Rata-rata prosentase reduksi penurunan untuk perkuatan geotekstil dan geofoam (ketebalan 2 m, 4 m, dan 6 m) terhitung masing-masing sebesar 1,13 %; 27,36 %; 54;92 %; dan 78,16 %. Pada rekapitulasi Tabel 4, meskipun nilai reduksi penurunan ini memiliki kemiripan untuk tiap variasi nyatanya pada Tabel 3 terdapat perbedaan nilai yang signifikan sehingga dimungkinkan terdapat suatu fungsi yang dapat diambil pada hubungan penuruanan terhadap variasi tanah berupa nilai modulus elastisitas tanah (E).

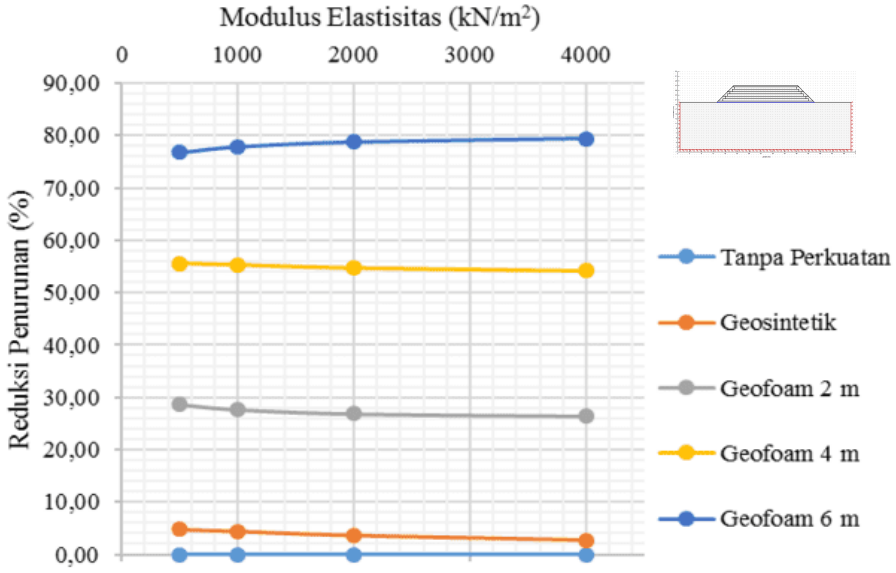
Rekapitulasi pada Tabel 6 disusun kembali menjadi sebuah grafik korelasi antara penurunan maksimum dengan nilai modulus elastisitas tanah untuk masing-masing perkuatan yang diterapkan pada timbunan. Grafik korelasi penurunan maksimum perkuatan timbunan terhadap modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Gambar 6 dan grafik korelasi terhadap reduksi penurunannya pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik korelasi penurunan dengan modulus elastisitas tanah pada tiap penerapan perkuatan

Pada Gambar 7 merupakan kumpulan data dari hasil analisis menggunakan geostudio program SIGMA/W. Jenis perkuatan terdiri atas 5 kondisi sebagaimana ditunjukkan pada legenda pada Gambar 7 di atas. Nilai penurunan terkecil diperoleh pada perkuatan timbunan dengan geofoam setebal 6 meter. Reduksi penurunan menujukkan bahwa semakin tebal geofoam yang digunakan sebagai timbunan maka reduksi penurunan akan semakin besar Sehingga dapat diperoleh grafik perbandingan korelasi reduksi penurunan masing-masing perkuatan terhadap modulus elastisitas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

Korelasi reduksi penurunan terhadap nilai modulus elastisitas dari tanah lunak memberikan gambaran bahwa semakin besar nilai modulus elastisitas dari tanah lunak maka nilai penurunan akan semakin kecil. Pada penggunakan perkuatan geofoam diperoleh reduksi penurunan terbesar mencapai nilai 78% daripada tanpa perkuatan. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, nilai reduksi semakin besar seiring dengan banyaknya penggunaan geofoam sebagai material timbunan.



Gambar 8. Grafik korelasi reduksi penurunan tiap perkuatan

D. KESIMPULAN

Hasil dari analisis numerik menggunakan geostudio untuk mengetahui bagaimana kondisi timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dan geofoam dapat ditarik kesimpulan antaralain,

1. Besar nilai penurunan yang terjadi menunjukkan bahwa dengan menggunakan geofoam akan bernilai lebih kecil daripada menggunakan geotekstil dan semakin tebal geofoam maka penurunan semakin kecil . Pada perbedaan parameter tanah lunak, penurunan akan semakin kecil sejalan dengan bertambahnya modulus elastisitas tanah.
2. Perbandingan penurunan antara perkuatan geotekstil dengan geofoam didapati rata-rata prosentase reduksi penurunan untuk perkuatan geotekstil dan geofoam (ketebalan 2 m, 4 m, dan 6 m) terhitung masing-masing sebesar 1,13 %; 27,36 %; 54;92 %; dan 78,16 %.

DAFTAR PUSTAKA

Aabøe R. et al. 2018. "Geofoam Blocks in Civil Engineering Applications". Conference: Springer International Publishing.

Duškov and Erkelens. 2018. "Dutch N201 Road Embankment with EPS Geofoam". Conference: Springer International Publishing

Ghazavi M dan Soltanpour Y. 2008. Effect of Cavity on Bearing Capacity of Shallow Foundations in Geotextile-Reinforced Soil. Conference : 12 th International Conference (IACMAG) India.

Hardiyatmo H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2*. UGM : UGM press

Kemen. PUPR. 2022. *Kementerian PUPR Siapkan 30 Proyek KPBU Senilai Rp332,59 Triliun di Tahun 2022*. Internet: https://eppid.pu.go.id/page/kilas_berita/2901/Kementerian-PUPR-Siapkan-30-Proyek-KPBU-Senilai-Rp332-59-Triliun-di-Tahun-2022

Putri L.D., Hakam A, Thamrin R. 2018. Penggunaan Geosintetik pada Konstruksi Jalan di Atas Tanah Lunak. Padang: 5 th ACE Conference.

Septiani R.A., dkk. 2021. *Analisis Kebutuhan Perkuatan Geotextile untuk Tinggi Timbunan Badan Jalan yang Bervariasi di atas Tanah Lunak pada Kondisi dengan dan tanpa Pemasangan PVD (Prefabricated Vertical Drain)*. ITS: Jurnal Aplikasi Teknik Sipil.

Vaslestad dan Sayd. 2018. "Load Reduction on Buried Rigid Culverts, Instrumented Case Histories and Numerical Modeling". Conference: Springer International Publishing.

Vaslestad et al. 2018. "Geofoam Eps Used in Bridge Abutment, E18 Farris Bridge". Conference: Springer International Publishing.

ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN PEMANCANGAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN TERHADAP WAKTU KONSOLIDASI

M. Izzuddin Anwarrizqika[1], Galuh Chrismaningwang[2*], dan Pria Ardhana[3]

[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: izzud.ar@student.uns.ac.id
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: galuh@ft.uns.ac.id (Corresponding Author)
[3]PT. Tetrasa Geosinindo, Jakarta Pusat
Email: ardhana@geosinindo.co.id

ABSTRAK

Tanah lunak merupakan tanah dengan karakteristik kekuatan geser rendah, kompresibilitas tinggi, dan koefisien permeabilitas rendah membuat tanah lunak memiliki problematika pada proses konstruksi. Tanah lunak dengan ketebalan yang besar memiliki waktu konsolidasi yang sangat lama. Untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur akibat terjadinya konsolidasi, maka tanah harus dimampatkan sebelum struktur dibangun. Salah satu upaya untuk mempercepat proses konsolidasi adalah dengan metode kombinasi *preloading* dan *prefabricated vertical drain* (PVD). PVD akan memperpendek jalur drainase air pori dan mengubah aliran air pori yang semula vertikal menjadi horizontal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu konsolidasi yang terjadi untuk variasi kedalaman pemancangan PVD 100%, 90%, 80%, 75%, dan 50% dari ketebalan tanah kompresibel. Analisis empiris drainase vertikal dilakukan dengan metode Hansbo dengan kondisi tanpa gangguan dan dengan gangguan. Hasil analisis konsolidasi satu dimensi menunjukkan penurunan yang terjadi sebesar 0,89 m pada kondisi derajat konsolidasi 90% dengan waktu konsolidasi selama 65,462 tahun. Hasil analisis waktu konsolidasi setelah dilakukan perbaikan menggunakan *preloading* dan PVD dengan kedalaman pemancangan 100%, 90%, 80%, 75%, dan 50% dalam kondisi tanpa gangguan (*smear zone*) didapatkan 0,84; 8,81; 32,70; 50,62; 199,96 bulan. Hasil analisis dalam kondisi dengan gangguan (*smear zone*) pada variasi kedalaman pemancangan yang sama menunjukkan hasil waktu konsolidasi sebesar 3,69; 11,66; 35,55; 53,47; 269,86 bulan. Hasil analisis waktu konsolidasi pada kedua kondisi memiliki pola yang sama, yang menunjukkan bahwa semakin dalam pemancangan PVD, maka waktu konsolidasi semakin singkat. Hasil analisis juga menunjukkan semakin besar persentase kedalaman pemancangan memberikan selisih waktu yang signifikan.

Kata kunci: drainase vertikal, perbaikan tanah, PVD, tanah lunak.

A. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu komponen kunci dari pekerjaan konstruksi seperti gedung, transportasi, bangunan air, dan proyek lainnya. Tanah memiliki karakteristik yang berbeda-beda salah satunya adalah tanah lunak. Tanah lunak, seperti lempung lunak, tanah organik, dan gambut, biasanya memiliki kekuatan geser rendah, kompresibilitas tinggi, dan koefisien permeabilitas rendah, membuatnya sulit untuk dikerjakan (Das, 1955). Tanah lunak di Indonesia tersebar di sepanjang pantai utara Pulau Jawa, pantai timur Pulau Sumatra, pantai barat, selatan, dan timur Pulau Kalimantan, pantai selatan Pulau Sulawesi serta pantai barat dan selatan Pulau Papua (Wardoyo et al., 2019). Pembangunan infrastruktur di atas tanah lunak sering terjadi permasalahan. Menurut (Hardiyatmo, 2020), permasalahan yang terjadi pada tanah lunak adalah terjadinya penurunan tanah apabila tanah tersebut menerima beban yang besar. Penurunan pada tanah lunak

terjadi akibat pemampatan pori-pori tanah secara vertikal dan horizontal, sehingga mengakibatkan perubahan volume tanah yang disebut penurunan konsolidasi (Das, 2008). Pada tanah lunak yang tebal, penurunan konsolidasi yang terjadi akan besar pula, hal ini dapat mengganggu kestabilan struktur di atasnya. Permeabilitas yang rendah pada tanah lunak mengakibatkan proses konsolidasi menjadi sangat lambat. Selain itu, tanah lunak juga memiliki kapasitas dukung yang rendah dan rentan terhadap penurunan yang berlebihan. Untuk memastikan bahwa penurunan setelah konstruksi tidak mengganggu stabilitas bangunan, konsolidasi harus diselesaikan sebelum pembangunan dimulai. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mencapai tujuan tersebut adalah perbaikan tanah melalui penerapan drainase vertikal.

Salah satu metode drainase vertikal yang dapat digunakan pada tanah lunak adalah *preloading* dan *prefabricated vertical drain* (PVD). *Preloading* merupakan merupakan cara yang paling sederhana dan ekonomis untuk mempercepat konsolidasi dengan memberikan beban sementara sebesar beban rencana bangunan pada tanah berupa timbunan. PVD adalah jenis material geokomposit yang terdiri dari kombinasi antara geotekstil dan inti polimer. Inti PVD memiliki pola tertentu yang memungkinkan aliran air yang cukup besar di dalamnya, dan inti PVD dilapisi dengan geotekstil yang bertindak sebagai pemisah dan penyaring. Sistem geokomposit ini digunakan sebagai pengganti metode drainase pasir konvensional untuk mempercepat proses konsolidasi pada tanah berbutir halus (Koerner, 2005). Gambar PVD disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Prefabricated Vertical Drain* (PT. Tetrasa Geosinindo)

Metode *preloading* jika digunakan sendiri akan memiliki keterbatasan waktu yang digunakan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% yang mana akan memakan waktu yang lama. Penggunaan PVD dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi tanah lunak dengan cara PVD memperpendek jalur drainase air pori menjadi sekitar setengah dari jarak tanam PVD dan mengubah aliran air pori yang awalnya vertikal menjadi horizontal (Sakleshpur et al., 2018). Menggabungkan dua metode ini, *preloading* dan PVD menjadi salah satu metode perbaikan tanah lunak yang sering digunakan dan disukai oleh pelaku konstruksi.

Penggunaan PVD merupakan metode umum untuk mempercepat pemadatan tanah lunak dan dianggap sebagai metode yang efektif dan efisien selama tiga dekade terakhir (Chai et al., 2018;

Filippo et al., 2017; Guo et al., 2018; Kimet al., 2018; Wang et al., 2018). Chai & Miura (1999) melakukan studi tentang faktor yang mempengaruhi kinerja PVD sebagai drainase vertikal adalah jarak antar PVD, diameter ekuivalen, kapasitas debit (*discharge capacity*), efek gangguan (*smear effect*), dan pengaruh selimut pasir (*sand blanket*). Namun teori drainase vertikal yang dipopulerkan oleh Hansbo (1979) menyatakan bahwa variabel panjang pemancangan PVD juga merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi kinerja PVD, karena akan berdampak pada nilai tahanan sumur.

Pemancangan PVD adalah faktor penting dalam proses konsolidasi tanah. Beberapa penelitian telah meneliti pengaruh panjang penanaman PVD terhadap pemadatan. Dalam sebuah eksperimen laboratorium oleh Lou et al. (2019), PVD dengan panjang 0,6 m dan 1,2 m ditanam dalam tanah dengan ketebalan yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa PVD dengan panjang 1,2 m menghasilkan derajat konsolidasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan PVD dengan panjang 0,6 m. Studi kasus oleh Ikhya & Schweiger (2012) menunjukkan bahwa panjang pemancangan dapat dikurangi sebanyak 30% dari kedalaman tanah kompresibel tanpa mengurangi proses konsolidasi secara signifikan. Iskandar & Sapei (2022) melakukan studi untuk mencari kedalaman pemancangan optimum pada Proyek Reklamasi Pelabuhan Belawan, Medan yang memberikan hasil bahwa kedalaman pemancangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerjanya. Widoanindyawati et al. (2016) melakukan kajian efektivitas kedalaman pemancangan pada studi kasus konstruksi timbunan apron Bandara Ahmad Yani Semarang dengan metode Asaoka yang divalidasi dengan analisis numeris menggunakan Plaxis 2D. Namun penelitian ini belum mempertimbangkan faktor gangguan yang dapat mempengaruhi waktu konsolidasi.

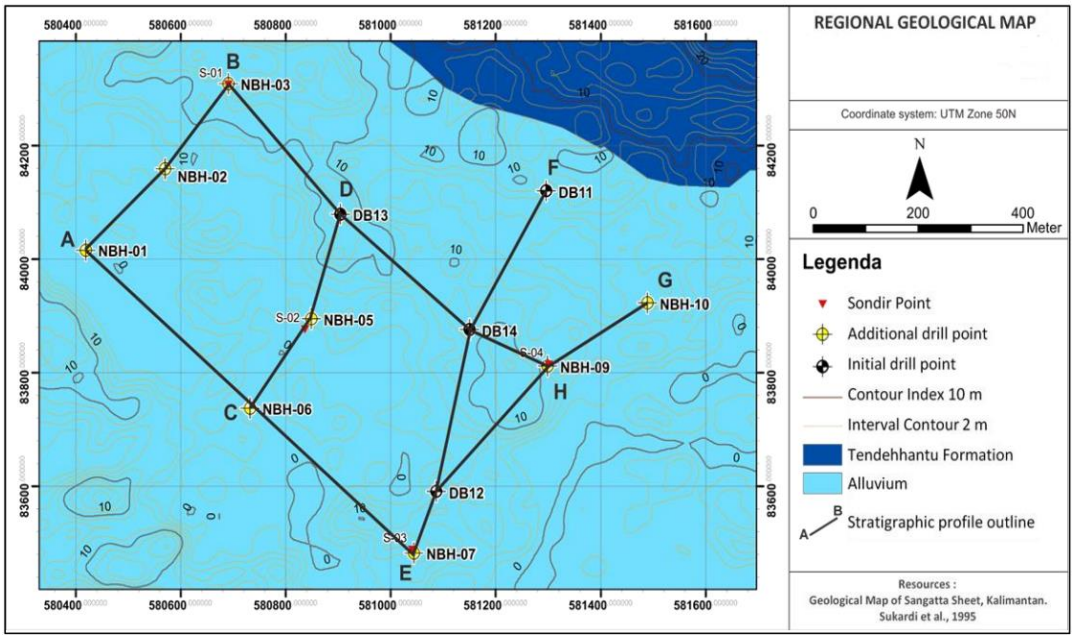
Penentuan kedalaman pemancangan efektif PVD sangat perlu dilakukan karena sangat mempengaruhi waktu konsolidasi yang dapat berdampak pada kelancaran proses pembangunan infrastruktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman pemancangan PVD dengan variasi kedalaman 50%, 75%, 80%, 90%, dan 100% dari kedalaman tanah kompresibel terhadap waktu konsolidasi Analisis secara empiris menggunakan teori Hansbo (1979). Selain itu, kondisi *smear zone* juga diperhitungkan untuk melihat pengaruh dari dari faktor gangguan pada kinerja PVD. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri konstruksi dalam tahap perancangan drainase vertikal.

B. METODE

Metode analisis yang digunakan pada studi ini adalah analisis empiris dengan menggunakan teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi untuk menentukan waktu konsolidasi tanah sebelum perbaikan. Sedangkan analisis konsolidasi dengan setelah perbaikan dengan menggunakan metode *preloading* dan PVD dilakukan secara empiris dengan menggunakan teori drainase vertikal yang diusulkan oleh Hansbo (1979). Analisis dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari data *borelog* beserta hasil pengujian laboratorium sampel tanah pada Proyek Pematangan Lahan Pabrik di Kutai Timur. Daerah Kutai Timur diketahui merupakan daerah yang memiliki karakteristik tanah lunak (Badan Geologi Kementerian ESDM, 2019), sehingga metode perbaikan tanah dengan kombinasi preloading dan PVD dianggap sebagai metode yang paling efisien. Lokasi proyek dan titik bor disajikan pada Gambar 2.

Data parameter tanah disajikan pada Tabel 1. Analisis drainase vertikal dilakukan dengan menggunakan asumsi jenis PVD Alidrain AD530 dengan spesifikasi disajikan pada Tabel 2. Tahapan analisis diawali dengan menentukan kedalaman tanah lunak dengan cara interpretasi

lapisan tanah yang diperoleh dari data *borelog*. Selanjutnya dilakukan analisis konsolidasi satu dimensi untuk mengetahui besarnya penurunan serta waktu konsolidasi sebelum dilakukan perbaikan tanah. Tahap berikutnya adalah analisis konsolidasi drainase vertikal yang dilakukan pada dua kondisi, tanpa dan dengan gangguan. Analisis drainase vertikal direncanakan menggunakan pola pemasangan bujursangkar.



Gambar 2. Peta lokasi proyek dan titik bor

Tabel 1. Data parameter tanah

Parameter	Simbol	Satuan	Tanah Lapis 1	Tanah Lapis 2	Tanah Lapis 3	Tanah Lapis 4
Berat Jenis	*Gs*	-	2,571	2,592	2,656	2,571
Kadar air	*w*	%	67,51	51,28	59,53	39,77
Berat volume	γ	kN/m^3	15,4	16,4	15,8	17,7
Angka pori	*e*	-	1,74	1,34	1,54	1,02
Indeks Plastisitas	*PI*	%	41,98	22,74	62,09	42,83
Jenis Tanah	-	-	CH	MH	CH	CH
Kohesi	*c*	kN/m^2	12,15	12,74	14,21	16,46
Sudut geser dalam	φ	o	7,87	6,93	8,75	9,19
Koefisien konsolidasi	*Cv*	m^2/tahun	5,29	4,95	5,55	5,86
Koefisien permeabilitas	*k*	m/hari	0,0026	0,0055	0,0042	0,0072
Koefisien kemampatan	a_v	kN/m^2	0,00827	0,00282	0,00471	0,00256
Indeks Pemampatan	m_v	m^2/kN	0,00302	0,00120	0,00186	0,00127

Tabel 2. Data spesifikasi PVD

Parameter	Simbol	Satuan	Keterangan
Tebal	d	m	0,003
Lebar	b	m	0,1
Kapasitas debit	q_w	m^3/s	0,00005
Jarak pemasangan	S	m	1
Pola pemasangan	-	-	Bujur sangkar

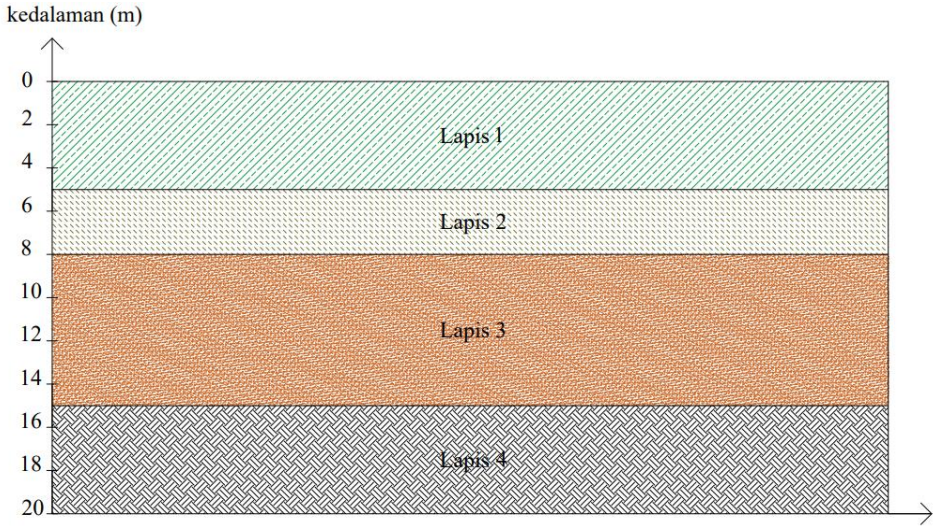
Interpretasi Lapisan Tanah

Lapisan tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh tanah lempung lunak dengan sebagian lempung lunak tersebut tercampur pasir dan lanau, serta sebagian yang lain terdapat lempung organik. Proyek penelitian memiliki beberapa titik bor, namun pada penelitian ini hanya menggunakan data dari satu titik bor yaitu titik BH-02.

Tabel 3. Lapisan tanah BH-02

Titik Bor	Kedalaman (m)	N-SPT	Lapis Tanah
BH-02	0,00 – 5,00	2	Lempung, lunak
	5,00 – 8,00	2	Lempung, lunak
	8,00 – 15,00	1,75	Lempung, sangat lunak
	15,00 – 20,00	1,33	Lempung organik, lunak

Tabel 3 menyajikan nilai N-SPT pada tiap kedalaman lapisan tanah di titik BH-02. Tanah pada lapis 1 memiliki nilai N-SPT = 2 dan dikategorikan sebagai tanah lempung dengan plastisitas tinggi (CH), tanah lapis 2 memiliki N-SPT = 2 dan dikategorikan sebagai tanah lanau dengan plastisitas tinggi (MH). Nilai N-SPT dari tanah lapis 1 dan 2 menunjukkan bahwa konsistensi tanah adalah lunak. Sedangkan, lapis 3 dan lapis 4 memiliki nilai N-SPT≤2, sehingga termasuk tanah dengan konsistensi sangat lunak. Tanah lapis 3 dan 4 dikategorikan sebagai tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Interpretasi lapisan tanah disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Interpretasi lapisan tanah pada titik BH-02

Gambar 3 memperlihatkan lapisan tanah pada titik BH-02, yang menunjukkan kedalaman tanah kompresibel (H_{dr}) setebal 20 m. Sehingga analisis drainase vertikal akan dilakukan dengan kedalaman pemancangan PVD 100%, 90%, 80%, 75%, dan 50% tanah kompresibel atau 20 m, 18 m, 16 m, 15 m, dan 10 m.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konsolidasi Sebelum Perbaikan

Teori konsolidasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi. Menurut Terzaghi (1943) menyatakan bahwa faktor waktu penurunan konsolidasi dinyatakan pada Persamaan 1.

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_{dr}^{\ 2}} \quad \text{.....} \quad (1)$$

dengan T_v = faktor waktu, t = waktu konsolidasi, H_{dr} = kedalaman tanah kompresibel, C_v = koefisien konsolidasi vertikal.

Waktu konsolidasi dihitung hingga tanah mengalami derajat konsolidasi 90% (U=90%). Perhitungan hasil waktu konsolidasi dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1. Hasil analisis waktu konsolidasi sebelum perbaikan untuk tiap tahap derajat konsolidasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Waktu konsolidasi tanah sebelum perbaikan

Derajat konsolidasi (%)	Faktor waktu (T_v)	Waktu (tahun)
0,00	0,000	0,00
0,10	0,008	0,15
0,20	0,031	2,43
0,30	0,071	5,46
0,40	0,126	9,70
0,50	0,196	15,16
0,60	0,283	22,10
0,70	0,403	31,10
0,80	0,567	43,78
0,90	0,848	65,46

Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk mencapai derajat konsolidasi 90% (U=90%) membutuhkan waktu selama 65,46 tahun, yang dianggap sangat lama. Sehingga, diperlukan perbaikan tanah untuk mempercepat konsolidasi yang terjadi pada tanah.

Analisis Penurunan

Penurunan yang terjadi pada sebuah tanah terdapat dua jenis penurunan, yaitu penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi. Namun, karena penelitian ini dilakukan pada tanah kohesif penurunan segera nilainya sangat kecil sehingga diabaikan. Besarnya penurunan konsolidasi ditentukan dengan Persamaan 2.

$$S_c = m_v H \Delta\sigma \quad \text{.....} \quad (2)$$

dengan S_c = penurunan konsolidasi (m), m_v = indeks pemampatan (m^2/kN), $\Delta\sigma$ = tambahan tegangan (kN/m^2).

$$m_v = \frac{a_v}{1+e} \quad \text{.....} \quad (3)$$

Analisis penurunan dilakukan menggunakan asumsi beban *preloading* di atas tanah lunak setinggi ±3,176 m, ketinggian *sand blanket* ±0,5 m, *base embankment* ±1,5 meter, dan *surcharge* ±1,176 meter dengan γ = 17 kN/m^3 untuk tanah timbuan dan γ = 19 kN/m^3 untuk *sand blanket*. Hasil perhitungan penurunan konsolidasi tanah lunak disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Penurunan konsolidasi lapisan tanah lunak pada pemancangan PVD 100% kedalaman tanah kompresibel

Kedalaman Tanah (*m*)	Tebal Tanah *(m)*	m_v *(m²/kN)*	Δσ *(kN/m²)*	S_c *(m)*	S_c *U90% (m)*
0 – 5	5	0,00302	26,93	0,406	0,3656
5 – 8	3	0,00120	26,74	0,097	0,0869
8 – 15	7	0,00186	25,62	0,333	0,2995
15 – 20	5	0,00127	24,32	0,154	0,1388
Total *Sc (m)*				0,99	0,89

Tabel 5 menunjukkan hasil penurunan total sebesar 0,99 m dan penurunan pada derajat konsolidasi 90% sebesar 0,89 m. Nilai penurunan tiap variasi kedalaman pemancangan PVD disajikan pada Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan nilai penurunan yang didapatkan dari tiap variasi kedalaman pemancangan PVD memiliki hasil nilai yang sama. Sehingga dapat disimpulkan kedalaman pemancangan PVD tidak memiliki pengaruh terhadap besarnya penurunan.

Tabel 6. Penurunan tiap variasi pemancangan kedalaman PVD

Kedalaman Pemancangan PVD	S_c *(m)*		S_c Total *(m)*	S_c Total *U90% (m)*
	Tanah dengan PVD	Tanah Tanpa PVD		
100%	0,99	-	0,99	0,89
90%	0,93	0,06	0,99	0,89
80%	0,87	0,12	0,99	0,89
75%	0,84	0,15	0,99	0,89
50%	0,60	0,39	0,99	0,89

Analisis Drainase Vertikal

Teori Hansbo (1979) memberikan persamaan untuk perhitungan waktu konsolidasi dengan bantuan drainase vertikal untuk kondisi ideal/tanpa gangguan yang disajikan pada Persamaan 4.

$$t = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right) \quad \text{.....} \quad (4)$$

Sedangkan untuk perhitungan waktu konsoldiasi dengan memperhitungkan pengaruh gangguan tanah dan tahanan drainase atau pada kondisi dengan gangguan (*smear zone*) Hansbo (1979) dinyatakan pada Persamaan 5.

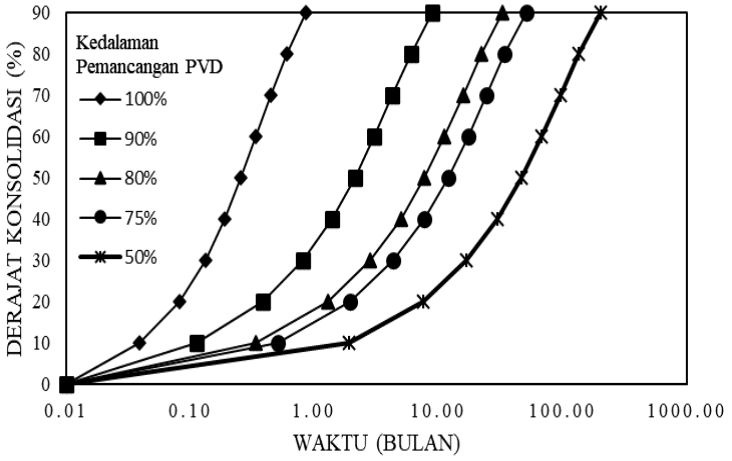
$$t = \frac{D^2}{8C_h} \{F(n) + F_s + F_r\} \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right) \quad \text{.....} \quad (5)$$

dengan t= waktu, D= diameter silinder pengaruh drainase vertikal, $F(n)$= faktor jarak pemasangan PVD, F_s= faktor gangguan tanah, F_r= faktor tahanan drainase.

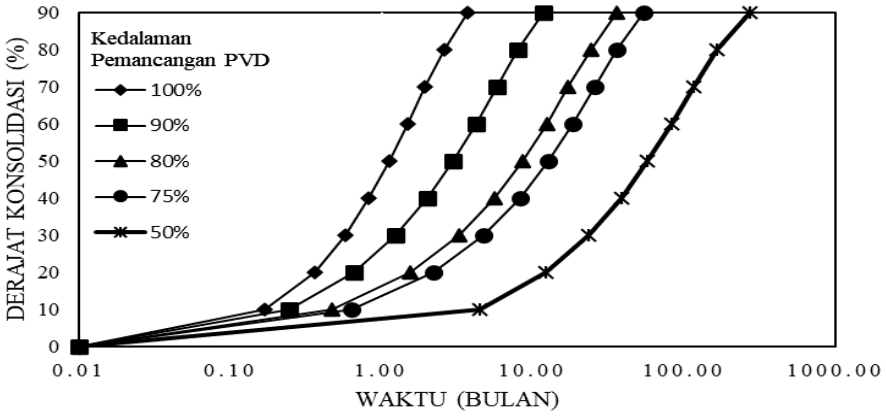
Perbaikan tanah dilakukan dengan pemasangan PVD pada tanah dengan variasi kedalaman pemancangan yang berbeda untuk melihat perbedaan waktu konsolidasi tiap variasi kedalaman pemancangan. Dengan asumsi, pada tanah yang tidak terkena PVD akan terjadi konsolidasi secara

natural. Konsolidasi lapis tanah tanpa PVD yang terjadi secara natural akan naik hingga lapisan paling atas secara vertikal. PVD akan merubah arah air menjadi horizontal lalu membuat air memasuki PVD akibat perbedaan tekanan antara tanah dengan PVD. Selain itu, analisis dibedakan antara PVD tanpa *smear zone* dan dengan *smear zone* untuk memperlihatkan perbedaan antara kedua kondisi. Hasil analisis waktu konsolidasi setelah perbaikan menggunakan preloading dan PVD pada variasi kedalaman pemancangan ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4(a) menunjukkan waktu yang dibutuhkan kedalaman pemancangan PVD 100%, 90%, 80%, 75%, dan 50% dalam menempuh tiap 10% derajat konsolidasi dalam kondisi tanpa gangguan, sedangkan Gambar 4(b) menunjukkan dalam kondisi dengan gangguan. Hasil analisis waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi U90% untuk kedalaman pemancangan PVD 100%, 90%, 80%, 75%, dan 50% dari tanah kompresibel dalam kondisi tanpa gangguan didapatkan 0,84; 8,81; 32,70; 50,62; 199,96 bulan. Sedangkan, hasil analisis kedalaman pemancangan PVD 100%, 90%, 80%, 75%, dan 50% dari tanah kompresibel dalam kondisi dengan gangguan adalah sebesar 3,69; 11,66; 35,55; 53,47; 269,86 bulan.



(a)



(b)

Gambar 4. Hubungan antara derajat konsolidasi dengan waktu
(a) PVD tanpa gangguan (b) PVD dengan gangguan

Waktu konsolidasi tercepat pada variasi kedalaman pemancangan PVD terjadi ketika PVD dipancang sedalam 100% ketebalan tanah kompresibel. Sementara jika hanya menggunakan PVD dengan kedalaman 50% tanah kompresibel waktu konsolidasi terpaut jauh dari waktu konsolidasi tercepat. Selain itu, hasil analisis dari kedua kondisi memiliki pola yang sama, semakin dalam pemancangan PVD semakin cepat waktu konsolidasi dengan rentang waktu yang cukup signifikan tiap persen kedalaman.

Pengaruh kedalaman pemancangan PVD akan sangat mempengaruhi waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi U90%. Perbedaan waktu konsolidasi sangat terlihat pada lapis tanah kompresibel yang tidak dipancang oleh PVD, semakin tebal tanah yang tidak dipancang PVD akan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi U90%. Selain itu, perbedaan nilai C_v pada lapisan tanah akan mempengaruhi juga lama waktu PVD seperti yang disajikan pada rumus Terzaghi pada Persamaan (1). Namun, pada penelitian ini perbedaan nilai C_v antara lapisan tanah tidak begitu jauh sehingga perbedaan waktu konsolidasi tanah juga sangat kecil.

Untuk tanah yang dipancang PVD hanya mempengaruhi waktu konsolidasi sangat kecil. Pada PVD tanpa gangguan (*smear zone*) tidak terdapat perbedaan waktu konsolidasi pada tiap variasi kedalaman PVD karena pada rumus Hansbo di Persamaan (4) untuk menghitung PVD tanpa gangguan (*smear zone*), kedalamaan bukan merupakan faktor gangguan yang mengakibatkan lamanya waktu konsolidasi yang terjadi sehingga tidak ada perbedaan waktu konsolidasi antar variasi kedalaman PVD. Sedangkan , pada PVD dengan gangguan (*smear zone*) memiliki perbedaan waktu konsolidasi karena pada rumus Hansbo di Persamaan (5) untuk menghitung PVD dengan gangguan *(smear zone*), kedalaman memiliki pengaruh pada waktu untuk mencapai konsolidasi U90% karena faktor tahanan drainase (F_r). Namun, perbedaan waktu tersebut tidak terlalu signifikan.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dapat mempercepat proses konsolidasi pada tanah. Kedalaman pemancangan PVD memiliki pengaruh pada waktu konsolidasi. Waktu konsolidasi terpaut jauh antara kedalaman pemancangan PVD 100%, 90%, 80%, 75%, dan 50% kedalaman tanah kompresibel dengan kondisi tanpa gangguan dan dengan gangguan. Sehingga, nilai yang paling realistis untuk pemancangan PVD adalah pada kedalaman pemancangan 100% dari tanah kompresibel untuk mempercepat proses konsolidasi pada proyek konstruksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak PT. Tetrasa Geosinindo yang telah mengizinkan untuk menggunakan data tanah pada Proyek Perbaikan Lahan Pabrik di Kutai Timur dan kepada pihak Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sebelas Maret atas segala bantuan dan fasilitas yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

Das, B. M. (1955). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* (Jilid 1). Jakarta: Penerbit Erlangga.

Das, B. M. (2008). *Advanced Soil Mechanics* (1st editio). London: CRC Press.

Hardiyatmo, H. C. (2020). *Analisis dan Perancangan Fondasi I* (Edisi 4). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Wardoyo, Sarwondo, Destiasari, F., Wahyudin, Wiyono, Hasibuan, G., & Sollu, W. P. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Bandung: BADAN GEOLOGI Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Prosiding:

Widoanindyawati, V., Wardani, S. P. R., & Partono, W. (2016). Analisa Efektifitas Kedalaman Pemasangan Pvd Studi Kasus Konstruksi Timbunan Apron Bandara Ahmad Yani Semarang. In Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi (pp. 1–11). Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Jurnal:

Chai, B. J., & Miura, N. (1999). Investigation of Factors Affecting Vertical Drain Behavior. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *125*(March), 216–226.

Chai, J. C., Shen, J. S. L., Liu, M. D., & Yuan, D. J. (2018). Predicting the performance of embankments on PVD-improved subsoils. *Computers and Geotechnics*, *93*, 222–231. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.05.018

Filippo, G. Di, Bandini, V., Cascone, E., & Biondi, G. (2017). Measurements and predictions of settlements induced by preloading and vertical drains on a heterogeneous soil deposit. *Measurement*, *104*, 302–315.

Guo, W., Chu, J., & Nie, W. (2018). An observational method for consolidation analysis of the PVD-improved subsoil. *Geotextiles and Geomembranes*, *46*(5), 625–633. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.04.014

Hansbo, S. (1979). Consolidation of Clay By Band-Shaped Prefabricated Drains. *Ground Engineering*, *12*(5), 16–18, 21.

Ikhya, I., & Schweiger, H. F. (2012). Numerical Modeling of Floating *Prefabricated vertical drain*s in Layered Soil. *Acta Geotechnica Slovenica*, 25–35.

Iskandar, K. H., & Sapei, A. (2022). Pemampatan Tanah Lunak pada Berbagai Kedalaman *Prefabricated vertical drain* di Reklamasi Pelabuhan Belawan , Kota Medan. *JURNAL TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN*, *07*(01), 1–16. https://doi.org/10.29244/jsil.7.1.1-16

Kim, Y.-T., Nguyen, B.-P., & Yun, D.-H. (2018). Analysis of consolidation behavior of PVD-improved ground considering a varied discharge capacity. *Engineering Computations*, *35*(3), 1183–1202. https://doi.org/https://doi.org/10.1108/EC-06-2017-0199 Downloaded

Koerner, R. M. (2005). *Designing with Geosynthetics* (5th ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Lou, C., Ni, J., Chai, J., Fu, H., Hu, X., Xu, D., … Ye, Q. (2019). Consolidation Effect of *Prefabricated vertical drain*s with Different Lengths for Soft Subsoil under Vacuum Preloading. *Advances in Civil Engineering*, *2019*. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/7428595

Sakleshpur, V. A., Prezzi, M., & Salgado, R. (2018). Ground engineering using *prefabricated vertical drain*s: A review. *Geotechnical Engineering*, *49*(1), 45–64.

Wang, J., Fang, Z., Cai, Y., Chai, J., Wang, P., & Geng, X. (2018). Preloading using fill surcharge and *prefabricated vertical drain*s for an airport. *Geotextiles and Geomembranes*, *46*(5), 575–585. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.04.013

TEMA E: MANAJEMEN KONSTRUKSI

ANALISIS FAKTOR PENYEBAB *CONTRACT CHANGE ORDER* (CCO) PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG IKM MEBEL KOTA SURAKARTA

Galang Rakasiwi[1]* dan Budi Priyanto[2]

[*1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah
Email: d100190224@student.ums.ac.id (Corresponding Author)
[2]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah
Email: Bp225@.ums.ac.id

ABSTRAK

Contract Change Order (CCO) merupakan kegiatan mengubah kontrak kerja suatu proyek. CCO telah menjadi suatu bagian yang khas dari suatu proyek karena CCO yang terjadi akan berbeda pada tiap proyeknya. Munculnya CCO dalam pelaksanaan proyek konstruksi akan berdampak pada pemilik proyek maupun kontraktor yang melakukan konstruksi. Oleh karena itu makalah ini dibuat dengan tujuan menganalisis faktor-faktor risiko penyebab terjadinya CCO pada proyek konstruksi khususnya pada proyek pembangunan Gedung Sentra IKM Mebel Kota Surakarta, yang mana pada saat pelaksanaannya ditemukan kendala-kendala yang memaksa adanya CCO pada proyek tersebut. Makalah ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode skala likert, Relative Importance Index (RII), serta severity indeks (SI) agar dapat ditemukan faktor-faktor risiko utama terjadinya CCO pada proyek tersebut, untuk pengumpulan data pada penelitian kali ini dilakukan dengan cara penyebaran kuesioner. Pada akhir analisa ditemukan 3 faktor utama penyebab CCO, yang mana diantaranya ialah perbedaan dari ukuran item pekerjaan, dan struktur bangunan yang diperlukan di lapangan dengan gambar rencana, adanya beberapa pelaksanaan konstruksi yang tidak bisa dilakukan, dan dari permintaan pemilik proyek untuk mengubah desain bangunan. Setelah ditemukannya ketiga faktor utama tersebut diharapkan pada proyek pembangunan berikutnya akan dapat menghindari faktor-faktor risiko yang telah ada dan nantinya bisa meningkatkan kualitas kerja dan hasil akhir pekerjaan yang ada.

Kata kunci: Contract Change Order, faktor risiko, skala likert, Relative Importance Indeks, severity indeks

A. PENDAHULUAN

Proyek adalah serangkaian kegiatan yang saling berhubungan dengan titik awal dan akhir serta hasil tertentu. Proyek biasanya bersifat lintas fungsi, membutuhkan keterampilan (skill) yang berbeda dari profesi dan organisasi yang berbeda. Setiap proyek itu unik, tidak ada dua proyek yang bias persis sama, pada keduanya pasti akan ada sebuah perbedaan.

Proyek konstruksi adalah rangkaian kegiatan yang saling berhubungan untuk mencapai suatu tujuan tertentu (bangunan/konstruksi) dalam batasan waktu, biaya dan kualitas yang ditentukan. Proyek konstruksi selalu membutuhkan sumber daya seperti manusia, material, mesin, metode, uang, informasi, dan waktu.

Proyek konstruksi bersifat besar, kompleks, unik, dinamis, dan pekerjaan penuh risiko, serta ketidakpastian. Selama pelaksanaan pekerjaan konstruksi akan ada perubahan pekerjaaan yang terjadi, baik perubahan besar maupun perubahan kecil (Wena & Suparno, 2015). Perubahan-perubahan ini dapat terjadi di awal, tengah maupun di akhir pelaksanaan proyek.

Perubahan pekerjaan yang terjadi pada proyek konstruksi akan menyebabkan suatu perubahan kontrak kerja yang ada, sering disebut dengan istilah Contract Change Order (CCO). Secara singkat, Contract Change Order (CCO) bisa didefinisikan sebagai hasil modifikasi dari kontrak awal/asli proyek (Martanti, 2018). CCO dalam proyek konstruksi adalah kegiatan yang mengubah lingkup pekerjaan, waktu pelaksanaan, dan juga biaya pelaksanaan suatu proyek. Ketiga lingkup tersebut tidak bisa terlepas saat terjadinya suatu CCO (Hanna dkk., 2002). Suatu proyek konstruksi jarang berjalan tanpa adanya CCO. Hal ini biasanya disebabkan oleh berbagai penyebab yang bersumber dari berbagai pihak yang terlibat dalam pelaksanaan proyek (Alaryan dkk., 2014).

Setiap proyek konstruksi memiliki penyebab dari terjadinya CCO, dan menyebabkan tidak akan pernah sama satu proyek dengan yang lain (Bangun & Setyono, 2018). Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya CCO itu sendiri bersumber dari berubahnya desain bangunan yang dilakukan oleh konsultan untuk sumber utamanya, dan perubahan material yang digunakan dalam pembangunan merupakan faktor kedua terjadinya CCO (Alaryan dkk., 2014). Selain itu adanya CCO disebabkan oleh adanya penurunan kualitas pekerjaaan pada saat berlangsungnya sebuah proyek konstruksi sebagai sumber utama, serta terjadinya sebuah ketegangan atau bisa dibilang perselisihan antara sang pemilik proyek dengan kontraktor menjadi penyebab kedua terjadinya CCO dalam suatu proyek konstruksi (Du dkk., 2012). Di luar dari yang sudah disebutkan sebenarnya masih banyak lagi penyebab-penyebab terjadinya suatu CCO.

Munculnya CCO dalam pelaksanaan proyek konstruksi akan berdampak pada pemilik proyek maupun kontraktor yang melakukan konstruksi. Perubahan signifikan dan ekstensif dalam pekerjaan akan mempengaruhi kualitas proyek. Seperti pelaksanaan pekerjaan konstruksi yang menyimpang atau tidak sesuai dengan nilai kontrak dan nilai dokumen yang telah disepakati sebelumnya antara pemilik dan kontraktor. Untuk menghindari perselisihan yang dapat mengakibatkan keterlambatan dan penyelesaian pekerjaan, diperlukan kesepakatan antara berbagai pihak yang terlibat (Karthick dkk., 2015).

Munculya CCO juga dapat memberikan ketegangan pada hubungan antar pemilik, Perencana, kontraktor, subkontraktor, dan pihak lain yang terlibat dalam proses konstruksi. Tidak hanya alur kerja Anda yang terganggu, tetapi hubungan kerja menjadi tegang saat mencoba untuk segera mendapatkan perkiraan respons, gambar kerja, dan banyak hal lain yang diperlukan untuk mengembalikan alur kerja yang sesuai dengan jadwal (Rashid dkk., 2012).

Jika tidak dikelola, perubahan pekerjaan dalam CCO bisa membengkak. Mengubah jumlah pekerjaan melalui mekanisme perubahan kontrak dapat meningkatkan biaya proyek sekitar 10-15%. Proyek Pemerintah Republik Indonesia membatasi besaran biaya tambahan akibat adanya CCO hingga 10% dari harga yang ditentukan dalam kontrak awal berdasarkan Perpres No. 54 Tahun 2010 (Desai dkk., 2015). Sebuah CCO dalam pelaksanaannya harus memperhatikan ketersediaan anggaran yang ada serta membatasi besarnya penambahan biaya yang terjadi.

Dengan dampak-dampak yang ditimbulkan oleh adanya CCO ini, menjadikan CCO sering dihindari oleh pihak-pihak yang terlibat dalam suatu proyek konstruksi. Salah satunya cara yang bisa dilakukan merupakan mencegah faktor- faktor penyebab terjadinya CCO pada suatu proyek, maka dari itu tentunya dibutuhkan penelitian secara mendalam mengenai faktor-faktor penyebab terjadinya sebuah CCO.

Proyek pembangunan Gedung Sentra IKM Mebel sendiri merupakan salah satu proyek pemerintah yang bertempat di JL. A.Yani Gilingan Kota Surakarta. Merupakan proyek yang dibagi ke dalam tiga sesi pengerjaan yang mana sesi pertama dilaksanakan pada tahun 2022.

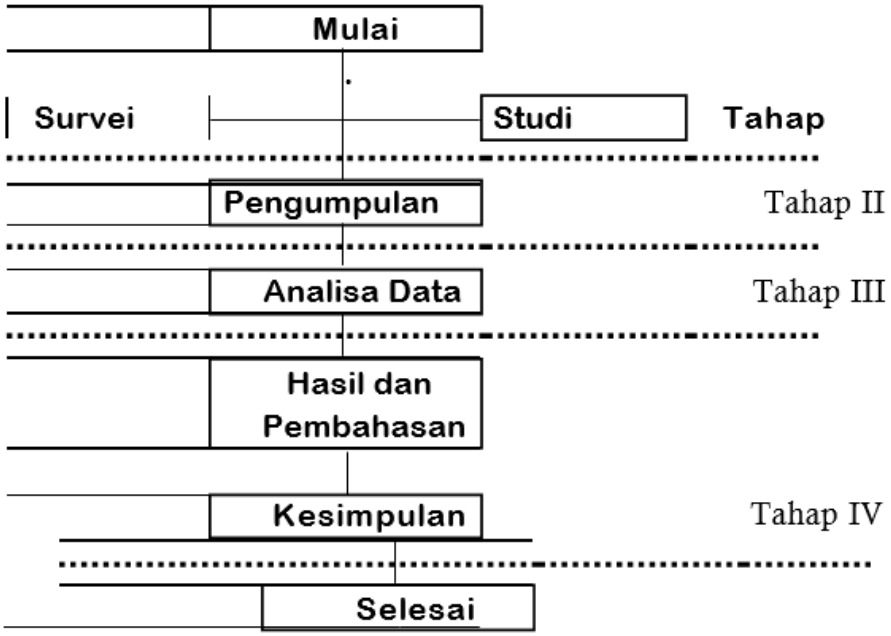
Dalam masa pengerjaannya proyek ini tidak luput dari adanya kendala yang terjadi. Kendala-kendala yang terjadi bersumber dari berbagai pihak yang terkait dalam pelaksanaan proyek, dan dikarenakan adanya beberapa kendala ini menjadikan pada proyek pembangunan Gedung Sentra IKM Mebel terjadi sebuah CCO.

Terdapat beberapa perbedaan yang ada pada jenis, cara penanganan, dan volume pekerjaan antara yang terjadi dalam kontrak kerja dan yang ada pada kondisi di lapangan, untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan CCO. Hal ini membuat adanya perubahan pada beberapa aspek dalam proyek Sentra IKM, perubahan yang terjadi tentunya memberikan dampak-dampak yang signifikan pada pengerjaan serta hasil akhir dari proyek ini.

Penelitian ini diperuntukkan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama penyebab terjadinya sebuah CCO pada proyek pembangunan gedung, khususnya dalam proyek pembangunan Gedung Sentra IKM Mebel Kota Surakarta agar pada pelaksanaan proyek pembangunan berikutnya, faktor-faktor tersebut bisa dihindari.

B. METODE

Langkah-langkah dalam penelitian ini ditampilkan dalam bagan alir penelitian.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Survei Data dan Studi Literatur

Langkah pertama dalam penelitian ini merupakan survei data faktor-faktor penyebab terjadinya CCO memalui pengamatan secara langsung pada lokasi proyek dan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait dalam pelaksanaan proyek.

Studi literatur dilaksanakan dengan mencari referensi-referensi atau sumber baik dari internet, jurnal, tugas akhir, maupun dari buku-buku teknik yang mendukung Analisa dalam penelitian kali ini. Studi literatur diambil dari berbagai sumber, termasuk majalah, buku, dokumen, internet, dan perpustakaan. Studi literatur merupakan rangkaian kegiatan tentang cara mengumpulkan bahan pustaka, cara membaca dan mencatat, serta cara mengelola bahan penulisan (Moi & Purnawirati, 2021).

Pengumpulan Data

Metode pengumpullan data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan angket kuesioner. Objek penelitiannya sendiri merupakan pihak-pihak yang terkait dalam pelaksanaan dan pengambilan keputusan pada proyek. Objek penelitiannya adalah perwakilan pemilik proyek, Tim Kontraktor Pelaksana pada proyek yaitu personel dari PT. Reka Esti Utama, serta tim konsultan manajemen yaitu personel dari CV. Sokogi Reksacipta.

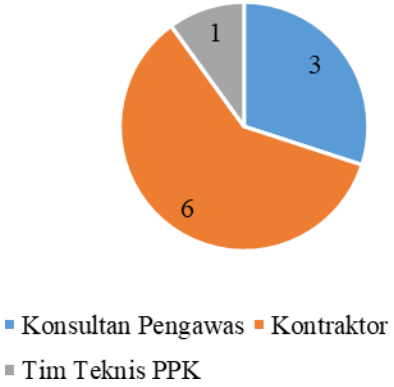
Terdapat 5 variabel utama yang digunakan sebagai variabel bebas pada penelitian ini yaitu indikator gambar rencana, indikator dokumen kontrak, indikator pemilik proyek, indikator pelaksanaan konstruksi, dan indikator eksternal yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 1. Indikator dan Faktor Risiko Kuesioner

Indikator	Kode	Faktor Risiko	Referensi
Detail Engineering Design	A.1	Ketidaksesuaian letak/posisi antara gambar rencana dengan kondisi eksisting di lapangan	(Murtopo dkk., 2022)
	A.2	Adanya perbedaan ukuran antara gambar rencana dengan ukuran di lapangan	Wawancara
	A.3	Kompleksitas desain tidak diikuti detail gambar rencana	Wawancara
	A.4	Spesifikasi material/bahan tidak mudah diperoleh atau diskontinu	Wawancara
	A.5	Tidak adanya penerapan Building Information Modeling (BIM)	(Murtopo dkk., 2022)
Dokumen Kontrak	B.1	Ketidakjelasan dokumen kontrak dalam kaitannya pekerjaan tambah kurang	(Murtopo dkk., 2022)
	B.2	Persyaratan spesifikasi bahan yang digunakan	Wawancara
	B.3	Kompleksitas metode pekerjaan	(Murtopo dkk., 2022)
	B.4	Persyaratan tenaga ahli yang diminta	(Murtopo dkk., 2022)
	B.5	Proses pelelangan pekerjaan yang bermasalah	(Murtopo dkk., 2022)
Pemilik Proyek	C.1	Permintaan perubahan kontrak oleh pemilik proyek untuk optimalisasi peruntukan bangunan	Wawancara
	C.2	Kurangnya koordinasi dan komunikasi antar pemilik proyek dengan pelaksana	Wawancara
	C.3	Kurangnya koordinasi dan komunikasi antar pemilik proyek dengan pengawas	(Murtopo dkk., 2022)

Indikator	Kode	Faktor Risiko	Referensi
	C.4	Keterlambatan pemilik proyek dalam pengesahan perubahan kontrak	(Murtopo dkk., 2022)
	C.5	Permintaan perubahan kontrak atas dasar permasalahan anggaran yang Dipakai	(Murtopo dkk., 2022)
Pelaksanaan Konstruksi	D.1	Perubahan kontrak akibat rencana kerja tidak dapat diaplikasikan di lapangan	Wawancara
	D.2	Rendahnya koordinasi antara pelaksana dengan pengawas	(Murtopo dkk., 2022)
	D.3	Metode pelaksanaan tidak terlaksana sesuai jadwal	(Murtopo dkk., 2022)
	D.4	Spesifikasi yang terlalu mengikat pada pabrikan tertentu	(Murtopo dkk., 2022)
	D.5	Ketidakmampuan pelaksana dalam memahami perencanaan	(Murtopo dkk., 2022)
Faktor Eksternal	E.1	Perubahan terhadap peraturan Pemerintah	(Murtopo dkk., 2022)
	E.2	Iklim yang tidak mendukung	Wawancara
	E.3	Rendahnya dukungan lingkungan sekitar	(Murtopo dkk., 2022)
	E.4	Terjadinya bencana alam	(Murtopo dkk., 2022)
	E.5	Ketidakpastian pembayaran sesuai termin	(Murtopo dkk., 2022)

Kuesioner ini dibagikan kepada para responden yang berjumlah 10 yang terbagi dalam 3 kelompok jabatan, untuk uraian dari masing-masing kelompok jabatan bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. Jumlah responden sesuai jabatan kerja.

Analisa Data

Skala yang digunakan dalam penyusunan kuesioner dalam penelitian ini yaitu Skala Likert. Skala likert merupakan skala yang digunakan untuk mengukur sikap dan pendapat. Pada penelitian ini skala likert digunakan untuk melengkapi kuesioner yang mengharuskan responden menunjukkan persetujuan mereka terhadap serangkaian faktor- faktor risiko yang telah disediakan (Nilawati et al., 2019). Pengaruh dari pernyataan ini akan kelompokkan menjadi 5 level skala dimana terdiri dari Sangat Tidak Setuju, sampai dengan Sangat Setuju. Nilai skala likert yang di gunakan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. Nilai Skala Likert

Skala	Nilai
Sangat Tidak Setuju	1
Tidak Setuju	2
Ragu-ragu	3
Setuju	4
Sangat Setuju	5

Hasil dari penilaian terhadap masing-masing indikator akan diolah dengan menggunakan pendekatan *Relative Importance Index* (RII) untuk menentukan variabel yang paling penting pengaruhnya terhadap adanya CCO. Penentuan bilai RII adalah sebagai berikut.

$$RII = \frac{\Sigma W}{A \; x \; N} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Dengan :

W = Total nilai skala Likert untuk tiap variabel/indikator

A = Nilai terbesar dari skala Likert

N = Jumlah responden untuk setiap variabel kategori

Untuk menentukan urutan variabel atau indikator yang paling relevan dalam munculnya CCO maka dipakai pendekatan *severity indeks* (SI). Persamaan untuk menentukan SI pada skala Likert dengan nilai maksimal 5 adalah dengan cara berikut.

Dengan :

Ai = Perolehan nilai dari responden i dengan skala

1-5 INI = Frekuensi dari responden i

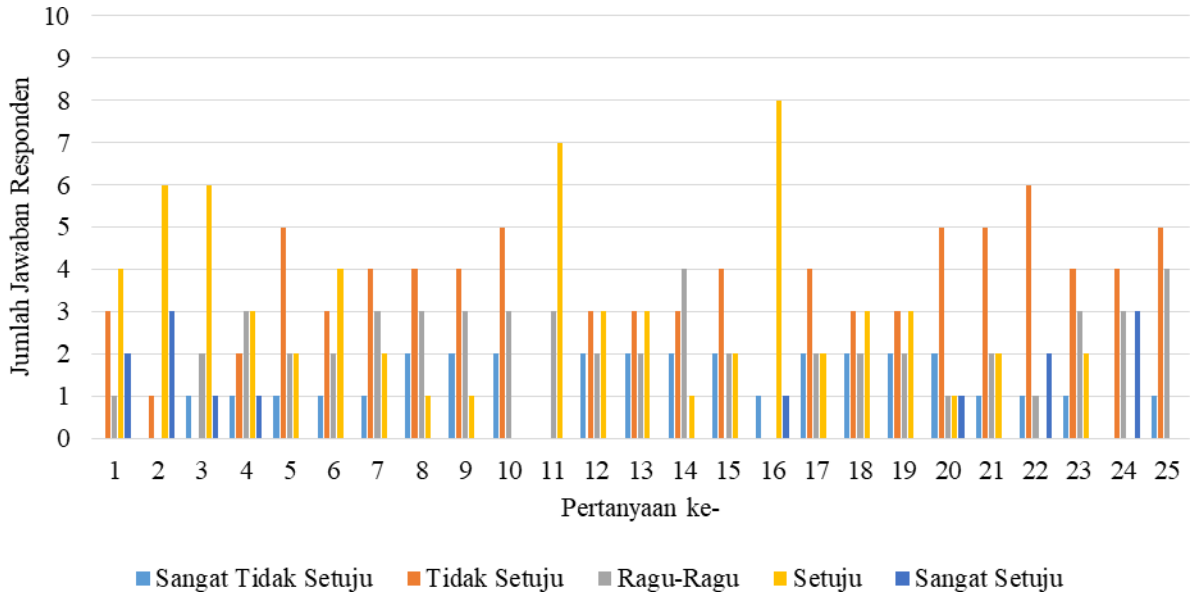
Nilai SI berkisar antara 0 hingga 100 di mana nilai 0 menyatakan bahwa faktor/pernyataan tersebut tidak relevan sedangkan nilai 100 menyatakan bahwa faktor/pernyataan tersebut dianggap sangat relevan. Kategori nilai SI ditinjau dari relevansinya yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 3. Skala Kategori *Severity Indeks*

Nilai SI (%)	**Relevansi**
$80 < SI \leq 100$	Sangat Tinggi
$60 < SI \leq 80$	Tinggi
$40 < SI \leq 60$	Sedang
$20 < SI \leq 40$	Rendah
$0 < SI \leq 20$	Sangat Rendah

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penilaian terhadap masing-masing indikator dari para responden dapat dilihat pada Gambar 3.1 dengan pernyataan A adalah terkait *Detail Engineering Design* (DED), pernyataan B adalah terkait dokumen kontrak, pernyataan C adalah terkait pemilik proyek, pernyataan D adalah terkait pelaksanaan konstruksi, dan pernyataan E adalah terkait faktor eksternal.



Gambar 3. Rekap hasil jawaban

Metode *Relative Importance Index* (RII) digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh suatu faktor atau variabel yang menyebabkan terjadinya CCO. Nilai RII diberikan oleh Persamaan (1). Nilai RII berkisar dari 0 hingga 1. Hasil RII kemudian diurutkan dari nilai RII tertinggi hingga nilai RII terendah. Semakin tinggi nilai RII, semakin besar dampaknya terhadap CCO. Tabel 3.1 menunjukkan tingkat nilai RII untuk masing-masing indikator.

Tabel 4. Hasil *Relative Importance Index* (RII)

Kode	Faktor Risiko	RII
A.2	Adanya perbedaan ukuran antara gambar rencana dengan ukuran di lapangan	0,82
D.1	Perubahan kontrak akibat rencana kerja tidak dapat diaplikasikan di lapangan	0,76
C.1	Permintaan perubahan kontrak oleh pemilik proyek untuk optimalisasi peruntukan bangunan	0,74
A.3	Kompleksitas desain tidak diikuti detail gambar rencana	0,72
A.1	Ketidaksesuaian letak/posisi antara gambar rencana dengan kondisi eksisting di lapangan	0,70
E.4	Terjadinya bencana alam	0,64
A.4	Spesifikasi material/bahan tidak mudah diperoleh atau diskontinu	0,62
B.1	Ketidakjelasan dokumen kontrak dalam kaitannya pekerjaan tambah kurang	0,58
B.2	Persyaratan spesifikasi bahan yang digunakan	0,52

Kode	Faktor Risiko	RII
C.2	Kurangnya koordinasi dan komunikasi antar pemilik proyek dengan pelaksana	0,52
C.3	Kurangnya koordinasi dan komunikasi antar pemilik proyek dengan pengawas	0,52
D.3	Metode pelaksanaan tidak terlaksana sesuai jadwal	0,52
D.4	Spesifikasi yang terlalu mengikat pada pabrikan tertentu	0,52
E.2	Iklim yang tidak mendukung	0,52
E.3	Rendahnya dukungan lingkungan sekitar	0,52
A.5	Tidak adanya penerapan Building Information Modeling (BIM)	0,50
E.1	Perubahan terhadap peraturan pemerintah	0,50
C.4	Keterlambatan pemilik proyek dalam pengesahan perubahan kontrak	0,48
C.5	Permintaan perubahan kontrak atas dasar permasalahan anggaran yang dipakai	0,48
D.2	Rendahnya koordinasi antara pelaksana dengan pengawas	0,48
D.5	Ketidakmampuan pelaksana dalam memahami perencanaan	0,48
B.3	Kompleksitas metode pekerjaan	0,46
B.4	Persyaratan tenaga ahli yang diminta	0,46
E.5	Ketidakpastian pembayaran sesuai termin	0,44
B.5	Proses pelelangan pekerjaan yang bermasalah	0,42

Digunakan metode *Severity Index* (SI) untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling relevan dengan CCO. Nilai SI berkisar dari 0 hingga 100. Semakin rendah nilai SI, maka semakin rendah pula relevansinya terhadap CCO. Besaran nilai SI serta skala SI dari tiap faktor-faktor risiko itu sendiri ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 5. Hasil *Severity Index* (SI)

Kode	Faktor Risiko	SI	Relevansi
A.1	Ketidaksesuaian letak/posisi antara gambar rencana dengan kondisi eksisting di lapangan	70	Tinggi
A.2	Adanya perbedaan ukuran antara gambar rencana dengan ukuran di lapangan	82	Sangat Tinggi
A.3	Kompleksitas desain tidak diikuti detail gambar rencana	72	Tinggi
A.4	Spesifikasi material/bahan tidak mudah diperoleh atau diskontinu	62	Tinggi
A.5	Tidak adanya penerapan Building Information Modeling (BIM)	50	Sedang
B.1	Ketidakjelasan dokumen kontrak dalam kaitannya pekerjaan tambah kurang	58	Sedang
B.2	Persyaratan spesifikasi bahan yang digunakan	52	Sedang
B.3	Kompleksitas metode pekerjaan	46	Sedang
B.4	Persyaratan tenaga ahli yang diminta	46	Sedang
B.5	Proses pelelangan pekerjaan yang bermasalah	42	Sedang

Kode	Faktor Risiko	SI	Relevansi
C.1	Permintaan perubahan kontrak oleh pemilik proyek untuk optimalisasi peruntukan bangunan	74	Tinggi
C.2	Kurangnya koordinasi dan komunikasi antar pemilik proyek dengan pelaksana	52	Sedang
C.3	Kurangnya koordinasi dan komunikasi antar pemilik proyek dengan pengawas	52	Sedang
C.4	Keterlambatan pemilik proyek dalam pengesahan perubahan kontrak	48	Sedang
C.5	Permintaan perubahan kontrak atas dasar permasalahan anggaran yang dipakai	48	Sedang
D.1	Perubahan kontrak akibat rencana kerja tidak dapat diaplikasikan di lapangan	76	Tinggi
D.2	Rendahnya koordinasi antara pelaksana dengan pengawas	48	Sedang
D.3	Metode pelaksanaan tidak terlaksana sesuai jadwal	52	Sedang
D.4	Spesifikasi yang terlalu mengikat pada pabrikan tertentu	52	Sedang
D.5	Ketidakmampuan pelaksana dalam memahami perencanaan	48	Sedang
E.1	Perubahan terhadap peraturan pemerintah	50	Sedang
E.2	Iklim yang tidak mendukung	52	Sedang
E.3	Rendahnya dukungan lingkungan sekitar	52	Sedang
E.4	Terjadinya bencana alam	64	Tinggi
E.5	Ketidakpastian pembayaran sesuai termin	44	Sedang

Dapat dilihat pada Tabel 3.2 di atas kebanyakan faktor risiko yang ada di tiap indikator kebanyakan memiliki relevansi yang sedang dan tinggi terhadap penyebab terjadinya CCO, kemudian juga bisa dilihat di Tabel 3.2, proses pelelangan pekerjaan yang bermasalah serta ketidakpastian pembayaran sesuai termin menjadi faktor risiko yang memiliki relevansi paling minim terhadap terjadinya CCO. Hal ini menunjukkan bahwa pada prosesnya pelelangan pekerjaan tidak ditemukan kendala yang berarti (tidak terjadi masalah) serta pembayaran prestasi pekerjaan sesuai termin berjalan dengan lancar.

Berdasarkan hasil dari analisis yang telah dilakukan bisa diambil 3 faktor risiko yang paling berpengaruh terhadap terjadinya CCO pada proyek pembangunan Gedung Sentra IKM Mebel Surakarta.

Yang pertama berasal dari indikator Detail Engineering Design (DED) di mana adanya perbedaan ukuran antara gambar rencana dengan ukuran di lapangan menjadi penyebabnya. Bisa dilihat pada Tabel 3.1 serta Tabel 3.2 bahwa faktor ini memiliki nilai RII dan nilai SI yang paling tinggi, menjadikan faktor ini pengaruh serta relevansi utama terhadap terjadinya CCO pada proyek. Pada saat pengerjaannya sering ditemukan adanya perbedaan pada ukuran dari suatu item pekerjaan, serta struktur yang dibutuhkan di lapangan dengan gambar rencana yang ada pada DED. Hal ini menyebabkan pada saat pengerjaannya beberapa struktur dan item pekerjaan harus didesain ulang agar pelaksanaannya dapat dilakukan secara tepat mengikuti kondisi yang dibutuhkan di lapangan.

Berikutnya berasal dari indikator Pelaksanaan Kontruksi dimana perubahan kontrak akibat rencana kerja tidak dapat diaplikasikan di lapangan menjadi penyebabnya. Faktor ini menjadi faktor yang memiliki nilai RII dan nilai SI terbesar pada indikator Pelaksanaan Konstruksi dibandingkan keempat faktor yang lain. Faktor ini masih berkesinambungan dengan faktor sebelumnya di mana pada prosesnya ada beberapa pelaksanaan konstruksi yang tidak bisa dilaksanankan akibat kondisi di lapangan yang tidak memungkinkan, salah satunya pengerjaan pit-lift di mana pada pelaksanaannya harus disesuaikan dengan produk lift yang disetujui sehingga terjadi penyesuaian ukuran serta penambahan pondasi dan dinding pit-lift

Yang terakhir yaitu dari indikator Pemilik Proyek di mana permintaan perubahan kontrak oleh pemilik proyek untuk optimalisasi peruntukan bangunan menjadi faktor paling besar di indikatornya dibanding faktor ain pada indikator yang sama. Pada pelaksanaannya pemilik proyek yang telah melalui diskusi dan rapat bersama dengan pihak-pihak yang terkait dalam proyek akhirnya memutuskan untuk melakukan perubahan desain bangunan, tepatnya pada bangunan depan/ showroom di mana bangunan tersebut pengurangan grid bangunan pada sisi kanan dan kiri bangunan yang awalnya memilik panjang 68 meter menjadi 52 meter, hal ini ditunjukan karena pada rencana awal desain bangunan dapat menghalangi sirkulasi jalan yang ada.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Indikator yang berpengaruh terhadap adanya CCO dalam proyek pembangunan Gedung Sentra IKM Mebel Surakarta antara lain adalah terkait pada *Detail Engineering Design* (DED) yang tidak sesuai dengan kondisi di lapangan. Pelaksanaan konstruksi yang tidak sama dengan rencana kerja awal, serta Permintaan dari Pemilik proyek melakukan perubahan kontrak untuk optimalisasi peruntukan bangunan.
2. Berdasarkan analisis dari hasil kuesioner didapat 3 faktor utama yaitu, adanya perbedaan dari ukuran item pekerjaan dan struktur yang diperlukan di lapangan dengan gambar rencana, adanya beberapa pelaksanaan konstruksi yang tidak bisa dilakukan, dan dari permintaan pemilik proyek untuk mengubah desain bangunan.
3. Indikator serta faktor risiko yang telah dianalisis sebaiknya diperhatikan lagi pada saat pelaksanaan tahap kedua maupun ketiga proyek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya ditunjukan untuk pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan makalah ini yang mana diantaranya ada. PT. Reka Esti Utama selaku kontraktor pelaksana dalam proyek, CV. Sokogi Reksacipta selaku konsultan pengawas, Tim teknis PPK selalu perwakilan pemilik proyek, serta para rekan proyek yang senantiasa menambah wawasan serta pengalaman dalam pengerjaan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alaryan, A., Emadelbeltagi, Elshahat, A., & Dawood, M. (2014). "Causes and Effects of Change Orders on Construction Projects in Kuwait". Journal of Engineering Research and Applications Www.Ijera.Com ISSN, 4(2), 2248–962201. www.ijera.com

Bangun, D. S., & Setyono, J. S. (2018). "Tipologi Wilayah Jawa Bagian Tengah Berdasarkan Sektor Konstruksi".

JThe Implications of the Construction Industry to National Wealth. Engineering, Construction and Architectural Management, 26(5), 779–793. Https://Doi.Org/10.1108/ECAM-03-2018-0091, 16(4), 314–323.

Desai, J. N., Pitroda, J., & Bhavsar, J. J. (2015). "A Review on Change Order and Assessing Causes Affecting

Change Order in Construction". Journal of International Academic Research for Multidisciplinary, 2(12), 152–162.

Du, J., El-Gafy, M., & Ghanem, A. (2012). "Adding Value to Change Order Management Process Using Simulation Approach: A Case Study". 48th ASC Annual International Conference Proceedings, 1.

Hanna, A.S., Camlic, R., Peterson, P.A., Nordheim, E.V., (2002). "Quantitative Definition of Projects Impacted by Change Orders", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128, No.1.

Karthick, R., Malathi, B., & Umarani, C. (2015). "Study on Change Order Impact on Project Lifecycle".

International Journal of Engineering Research And, 4(05), 691–695. https://doi.org/-10.17577/ijertv4is050443

Martanti, A. Y. (2018). "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Cash Holding (Studi Empiris Pada Perusahaan Property Dan Real Estate Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Tahun 2009-2013) ".

Rekayasa Sipil, 7(1), 32–42.

Moi, F., & Purnawirati, I. G. . N. (2021). "Analisis Manajemen Risiko Pada Proyek Pembangunan Ruas Jalan Baru Waebetu – Tarawaja". Jurnal Talenta Sipil, 4(1), 79–84. https://doi.org/10.33087/talentasipil.v4i1.52

Murtopo, A., Nugroho, A., & Budihardjo, M. A. (2022). "Kajian Contract Change Order (CCO) Pada Proyek Pembangunan Laboratorium Terpadu Universitas Tidar". 46–52.

Nilawati, Z., Warka, I. G. P., & Ashari, I. (2019). "Analisis Manajemen Resiko Terhadap Mutu Beton Hasil Produksi Readymix Concrete". Ganec Swara, 13(1), 13–22. http://journal.unmasmataram.ac.id/index.php/GARA/article/view/57%0Ahttps://journal.unmasmataram.ac.i d/index.php/GARA/article/download/57/56

Rashid, I. A., El-mikawi, M. a, & Saleh, M. E. A. (2012). "The Impact of Change Orders on Construction Projects Sports Facilities Case Study". Journal of American Science, 8(8), 628–631.

Wena, M., & Suparno. (2015). "MANAJEMEN RISIKO DALAM PROYEK KONSTRUKSI". Jurnal Bangunan, 20(1), 1–12.

IMPLEMENTASI KONSEP BIM PADA TAHAP PELAKSANAAN KONSTRUKSI DENGAN *COMMON DATA ENVIRONMENT* (CDE)

Fina Ramadhani1* dan Vendie Abma1
[1]Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email: 17511186@students.uii.ac.id (Corresponding Author)
Email: vendie.abma@uii.ac.id

ABSTRAK

Manajemen proyek konstruksi seiring dengan berkembangnya industri menjadi semakin kompleks. Proyek konstruksi umumnya memiliki banyak subkontraktor yang harus bekerja sama dalam berkoordinasi, namun kurangnya kerja sama antar subkontraktor menyebabkan berkurangnya efisiensi dalam bekerja. Building Information Modeling (BIM) merupakan bagian dari transformasi teknologi di sektor konstruksi. Model bangunan 3D BIM mampu menyimpan informasi yang dibuat selama pelaksanaan proyek konstruksi. Penerapan BIM dapat mengubah sistem proyek konstruksi bangunan dan memungkinkan kolaborasi yang efisien antar semua pihak. Penerapan BIM pada proses pelaksanaan konstruksi mengharuskan tim proyek untuk saling bekerja sama, bertukar informasi, dan berkolaborasi untuk mengefisiensikan proses pelaksanaan konstruksi. Common Data Environment (CDE) merupakan sistem yang secara efektif dan efisien dalam berkoordinasi dan berkolaborasi berbagai sistem manajemen proyek di seluruh siklus hidup proyek dibawah satu platform. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penerapan dalam penggunaan CDE pada tahap pelaksanaan konstruksi. Untuk mencapai hal tersebut digunakan metode kualitatif dalam penelitian ini. Penyebaran kuesioner secara online digunakan untuk menilai kondisi terkini di lapangan oleh stakeholders, dan diikuti dengan wawancara tatap muka oleh 2 orang tenaga ahli untuk mengidentifikasi penerapan CDE saat pelaksanaan proyek. Dalam penerapan CDE di proyek UNU didapat nilai rata-rata Tingkat Capaian Responden (TCR) sebesar 79,29%, di mana hal tersebut dapat diartikan bahwa sebagian besar responden setuju penerapan CDE pada proyek Universitas Nahdatul Ulama dalam tahap pelaksanaan sudah diterapkan dengan baik dengan nilai TCR terbesar 87,14% yaitu mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi, hal tersebut terlihat dari saat pelaksanaannya proses koordinasi dan kolaborasi di bagian tertentu sudah berjalan dengan baik seperti pada bagian controlling.

Kata kunci: BIM, CDE (*Common Data Environment),* Kolaborasi, Konstruksi, Koordinasi, Pelaksanaan

A. PENDAHULUAN

Manajemen proyek konstruksi menjadi semakin kompleks seiring dengan berkembangnya industri konstruksi (Lu Ying dkk. 2021). Proyek konstruksi sepanjang siklusnya menghasilkan sejumlah besar data yang berbeda, yang menjadi permasalahan utamanya adalah data tersebut tidak terstruktur, kacau dan tidak terkoordinasi dengan baik Pengendalian sistem manajemen proyek yang tidak tepat dapat meningkatkan biaya proyek, penundaan proyek, mengurangi produktivitas dan hilangnya keuntungan. Hal utama dalam pengendalian proyek adalah dapat memberikan informasi yang benar dan aktual kepada para pekerja proyek (Radl and Kaiser, 2019).

Building Information Modeling (BIM) pada beberapa tahun terakhir mendapat banyak daya tarik sebagai teknologi konstruksi digital yang akan mengubah praktek industri bangunan dan konstruksi. Proses kerja dan komunikasi dapat ditingkatkan dengan bantuan *information modelling*. Oleh karena

itu, metode BIM dapat berfungsi sebagai alat yang penting untuk proses kolaborasi (Preidel dkk. 2016). Penerapan BIM juga merupakan cara kerja baru yang menggunakan teknologi untuk memfasilitasi manajemen dan pelaksanaan proyek, pengendalian proses konstruksi yang lebih baik, kolaborasi lintas disiplin ilmu, koordinasi internal, komunikasi eksternal, pemecahan masalah, dan manajemen risiko selama siklus hidup bangunan (Council 2013).

Common Data Environment (CDE) memberikan kesempatan secara efektif dan efisien untuk mengkoordinasikan dan berkolaborasi dengan berbagai sistem manajemen proyek di seluruh siklus hidup proyek dibawah satu platform (Akob dkk. 2019). Informasi yang diberikan ke CDE tidak terbatas pada proyek yang dibuat dalam perangkat lunak BIM. Selain BIM, sistem CDE mencakup dokumentasi, model grafis, serta aset non-grafis. CDE menyediakan fitur untuk manajemen data, pembuatan versi, dan sharing. Sederhananya, CDE adalah alat untuk meningkatkan fitur dan hasil BIM. BIM dapat berjalan tanpa CDE, tetapi CDE adalah aplikasi yang dirancang untuk lingkungan BIM (Oberste, 2021)

Dalam penelitian ini proyek pembangunan Gedung Universitas Nahdatul Ulama menggunakan platform *Common Data Environment* (CDE) sebagai pusat sumber informasi dan pertukaran informasi. Proyek ini merupakan *project* pertama di lingkungan Direktorat Prasarana Strategis DI Yogyakarta yang berbasis BIM sebagai perencanaan, dan dilanjutkan ke tahap pelaksanaan dengan CDE sebagai sarana koordinasi *stakeholders* yang terlibat dalam proyek konstruksi untuk berkolaborasi dalam cara yang saling berhubungan dan terkoordinasi. Dari uraian tersebut maka dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana penerapan BIM dalam tahap pelaksanaan dengan menggunakan *Common Data Environment (CDE*).

Building Information Modelling (BIM)

Building Information Modelling (BIM) pada umumnya didefinisikan sebagai proses penciptaan hebat dilihat dari kumpulan data dari berbagai ahli/professional dalam bidang desain dan konstruksi yang dapat diolah dan dihitung dalam bentuk 3D. BIM memungkinkan untuk para perencana, engineer, dan kontraktor untuk memvisualisasikan seluruh lingkup dari proyek bangunannya dalam bentuk 3D. BIM juga dikenal sebagai proses menggunakan model 3D untuk meningkatkan kerja sama antar orang-orang yang melaksanakan proyek. Menggunakan pendekatan kolaboratif, antara desainer dan kontraktor dapat merencanakan output secara tepat dan rinci dari mulai lokasi yang dibutuhkan untuk pembangunan proyek hingga proyek tersebut selesai. (Korman dkk, 2010)

Building Information Modelling (BIM) merupakan penggabungan dari dua gagasan penting, yaitu:

1. Menjaga informasi desain kritis dalam bentuk digital, sehingga lebih mudah untuk diperbaharui dan berbagi dari perusahaan yang merencanakan dan perusahaan yang menggunakannya.
2. Membuat real-time yang berhubungan terus menerus antara data desain digital dengan inovasi-inovasi teknologi permodelan bangunan, sehingga dapat menghemat waktu dan uang serta meningkatkan produktivitas dan kualitas proyek

BIM-based Collaboration and Coordination

Preidel, dkk (2018) mengemukakan BIM-*based collaboration* mengharuskan semua stakeholders proyek untuk bertukar informasi yang terdefinisi dengan baik antara satu sama lain pada waktu tertentu, yang disepakati secara kontrak. Dalam BIM, tim proyek (owner, arsitek, kontraktor, *engineer*, *supplier*) saling bekerja sama, bertukar informasi (baik data maupun geometri), berkolaborasi dalam mengefisienkan proses pembangunan/konstruksi.

Kolaborasi terkait dengan koordinasi pengembangan model baik dalam satu disiplin maupun antar disiplin. Model 3D dapat dikerjakan secara terpisah oleh disiplin masing-masing (*independen*) dan kemudian digabungkan ke dalam model yang terkonsolidasi. Model dapat diubah berdasarkan dinamika proyek, sehingga harus dapat diakses oleh tim proyek yang berkepentingan dalam rangka menambahkan, mengekstrak, memperbaharui atau mengubah informasi

***Common Data Environment* (CDE)**

Common Data Environment (CDE) adalah platform digital yang menjadi pusat sumber informasi dan pertukaran informasi yang digunakan untuk mengumpulkan, mengolah dan menyebarkan informasi digital untuk seluruh tim proyek (yaitu semua informasi proyek baik yang dibuat di lingkungan BIM maupun diformat data konvensional) serta dapat memfasilitasi kolaborasi antara anggota tim proyek dan membantu menghindari duplikasi dan kesalahan (Permen PUPR No.9, 2021).

Informasi yang diberikan ke CDE tidak terbatas pada proyek yang dibuat dalam perangkat lunak BIM. Selain BIM, sistem CDE mencakup dokumentasi, model grafis, serta aset non-grafis. CDE menyediakan fitur canggih untuk manajemen data, *versioning*, dan *sharing*. *Common Data Environment* (CDE) bertujuan untuk memudahkan proses kolaborasi dan koordinasi pada proyek berbasis BIM. Penerapan CDE yang dilakukan dengan cara *mengunggah file* 3D model yang telah direncanakan ke dalam layanan menyimpan *cloud*, yang kemudian digunakan bersama-sama oleh sebagian besar personil proyek antara lain *project manager, site engineering manager, site operational manager*, dll.

Fatimah dkk. (2022) mengemukakan keberhasilan dalam penerapan CDE (*common data environment)* pada proyek memiliki faktor-faktor seperti:

1. Hubungan antara variabel (kualitas informasi, kualitas sistem, ekspektasi kinerja, ekspektasi usaha dan kondisi yang memfasilitasi) berpengaruh positif serta signifikan terhadap minat pemanfaatan platform CDE.
2. Personil perlu memiliki pengetahuan yang cukup untuk dapat menggunakan platform CDE
3. Sumber daya yang diperlukan untuk menggunakan platform CDE
4. Adanya tim untuk saling bantu jika terjadi kendala dalam penggunaan CDE
5. Perangkat kantor yang mendukung dalam penggunaan CDE seperti laptop, smartphone, dan tablet
6. Jaringan internet juga mempengaruhi terhadap minat dalam pemanfaatan CDE
7. Dengan hubungan variabel yang berpengaruh positif maka minat untuk pemanfaatan penggunaan platform CDE akan semakin meningkat dan berpengaruh terhadap peningkatan kinerja.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penerapan CDE pada tahap pelaksanaan di proyek UNU, sehingga penelitian ini menggunakan metode kualitatif, penggunaan metode kualitatif dilakukan untuk memahami apa yang dialami komunitas atau individu dalam menerima isu/fenomena tertentu, seperti perilaku, persepsi, tindakan, dll secara holistic, dengan cara deskripsi dalam bentuk kata-kata dan Bahasa pada suatu konteks (Moleong, 2005).

Pengumpulan data

Pelaksanaan pengumpulan data pada penelitian ini dimulai dengan penyebaran kuesioner kepada responden dengan kriteria pemangku kepentingan atau tenaga ahli yang berkaitan langsung dengan penggunaan CDE sebagai sarana koordinasi dan kolaborasi pada proyek gedung UNU. Survey kuesioner ini dilakukan secara online menggunakan *G-form* kepada 14 responden. Kuesioner berbentuk skala likert yang menyediakan alternatif jawaban dari skor 1 sampai dengan 5. Tujuan penggunaan teknik kuesioner agar penelitian menjadi efisien karena dapat menjangkau responden dalam waktu singkat, dan jawaban responden menjadi lebih terukur.

Setelah dilakukan pengumpulan data dengan penyebaran kuesioner maka dilanjutkan dengan wawancara, wawancara dilakukan secara informal oleh 2 orang narasumber tenaga ahli di proyek pembangunan Gedung UNU yang aktif dalam penggunaan CDE sebagai sarana koordinasi dan kolaborasi. Wawancara dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui hal-hal yang lebih mendalam tentang bagaimana situasi atau keadaan yang dihadapi oleh para tenaga ahli secara langsung tentang penggunaan CDE. Pelaksanaan wawancara juga untuk meningkatkan kredibilitas atau tingkat kepercayaan yang tinggi dari hasil kuesioner dan untuk memastikan kesesuaian antara fakta di lapangan dengan yang dilihat dari pandangan informan atau narasumber.

Teknik analisis data

1. Uji Validitas

Uji validitas digunakan untuk mengetahui interpretasi responden terhadap setiap item pernyataan yang termasuk dalam instrumen penelitian, apakah interpretasi masing-masing responden sama atau tidak sama sekali. Jika interpretasi responden sama, maka dapat dikatakan instrumen penelitian valid.

Menurut Widayanto (2010), ukuran validitas menggunakan korelasi *Bivariat Pearson* dengan rumus sebagai berikut:

$$\Gamma xy = \frac{N\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{N\sum X^2 - (\sum X)^2} . \sqrt{N\sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad \ldots\ldots (1)$$

Dengan :

r_{xy} = Koefisien korelasi variable x dan y,
N = Banyaknya subjek,
X = Jumlah skor dalam distribusi X,
Y = jumlah skor dalam distribusi Y

Untuk menguji signifikan hasil korelasi digunakan uji t. nilai r yang didapat akan digunakan pada t_{hitung} yang selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai dalam t_{tabel}. Untuk mencari t_{hitung} akan digunakan rumus:

$$t_{hitung} = \frac{\Gamma xy\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-\Gamma xy^2)}} \quad \ldots\ldots (2)$$

Dengan r_{xy} = Koefisien korelasi variabel x dan y, n = jumlah responden.

1. Uji Reliabilitas

Data pada penelitian akan dianggap reliabel apabila kondisi penelitian di lapangan sama dengan kenyataan yang terjadi. Tingkat reliabilitas pada metode kualitatif bersifat individu atau tidak sama pada setiap orang.

Untuk pengujian reliabilitas pada penelitian ini menggunakan rumus *Alpha Cronbach* sebagai berikut:

$$\Gamma 11 = \left[\frac{k}{(k-1)}\right]\left[1 - \frac{\sum {\sigma_b}^2}{{\sigma_t}^2}\right] \quad \text{.....} \quad (3)$$

Dengan

r_{11} = koefisien realibilitas instrumen

k = jumlah butir pertanyaan yang sah,

${\sigma_b}^2$ = jumlah varian butir

${\sigma_t}^2$ = varian skor total

Sebuah kuesioner dianggap reliabel jika nilai *Cronbach alpha* lebih besar dari 0,6.

2. Analisis tingkat capaian responden (TCR)

Setelah dilakukan uji validitas dan reliabilitas maka dilanjutkan dengan analisis frekuensi untuk menentukan nilai TCR. berikut langkah-langkah untuk menganalisis nilai TCR pada variabel.

Skala likert yang digunakan adalah 5 skala, sehingga untuk indeks penilaian (I) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$I = \frac{100}{jumlah\ skala\ likert} \quad \text{.....} \quad (4)$$

Dari persamaan (4) akan digunakan untuk perhitungan nilai indeks sebagai penentu kategori

$$I = \frac{100}{5}$$
$$I = 20$$

Dari hasil perhitungan indeks penilaian (I) maka dikategorikan persen setiap skala sebesar 20% dengan interval sebagai berikut:

0-20% : Sangat Tidak Setuju

21-40%: Tidak Setuju

41-60%: Netral

61-80%: Setuju

81-100%: Sangat Setuju

Nilai maksimum skala likert akan dikalikan dengan jumlah responden

$$Y = Skor\ Maksimum \times Total\ responden \quad \text{.....} \quad (5)$$

Dari persamaan (5) akan digunakan untuk perhitungan evaluasi nilai maksimum

$$Y = 5 \times 14$$
$$Y = 70$$

Hitung total skor dari tiap pernyataan dan hitung nilai Tingkat Capaian Responden (TCR) untuk mendapat persentase pada tiap pernyataan

$$TCR = \frac{Total\ Skor}{Y} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (6)$$

Dari persamaan (6) akan digunakan untuk menghitung nilai Tingkat Capaian Responden (TCR).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian terdapat 14 tanggapan dari responden yang mengisi kuesioner, pengolahan hasil kuesioner menggunakan *Ms. Excel.*

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Jawaban Responden

	Variabel (X)																			
Responden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R1	5	5	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5	5	3
R2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
R3	4	4	4	4	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	3
R4	4	4	4	2	4	4	3	4	2	4	3	4	4	2	4	4	4	2	4	4
R5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5
R6	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	4	4	4	2
R7	4	4	3	5	4	5	3	3	4	5	5	5	3	3	4	5	5	5	4	4
R8	4	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4
R9	5	4	5	5	4	4	4	3	3	5	3	4	4	4	5	5	4	4	4	4
R10	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
R11	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	3
R12	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
R13	4	3	5	4	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
R14	5	4	5	5	5	5	4	3	3	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5
Total	61	56	60	54	57	57	52	49	49	59	53	58	55	52	54	58	59	56	58	53

Uji validitas

Uji validitas pada penelitian ini menggunakan *Ms. Excel* dengan membandingkan nilai *Pearson Correlation* dan hasil perhitungan. Nilai toleransi error sebesar 5%, sehingga dapat diperoleh dari tabel distribusi nilai r untuk nilai r_{tabel} sebesar 0,532. Setiap pernyataan dikatakan valid apabila nilai *Pearson Correlation* (r_{hitung}) lebih besar disbanding $r_{tabel.}$ hasil uji validitas pada penelitian ini didapatkan bahwa semua variabel valid.

Tabel 2. Hasil Uji Validitas

Item	*Pearson Correlation*	Keterangan
1	0,764	Valid
2	0,541	Valid
3	0,616	Valid
4	0,801	Valid
5	0,687	Valid
6	0,593	Valid
7	0,620	Valid
8	0,625	Valid
9	0,610	Valid

Item	*Pearson Correlation*	Keterangan
10	0,668	Valid
11	0,605	Valid
12	0,612	Valid
13	0,615	Valid
14	0,578	Valid
15	0,596	Valid
16	0,657	Valid
17	0,644	Valid
18	0,685	Valid
19	0,642	Valid
20	0,579	Valid

Uji reliabilitas

Setelah dilakukan uji validitas dan variabel dinyatakan valid kemudian akan dilanjutkan uji reliabilitas. Pengujian reliabilitas dilakukan untuk mengetahui konsistensi dari data hasil kuesioner. Besarnya nilai reliabilitas menunjukkan tingkat kepercayaan dari suatu kuesioner yang diberikan. Uji reliabilitas pada penelitian ini menggunakan *MS. Excel* untuk melakukan perhitungan nilai *Cronbach's Alpha.* Didapatkan nilai *Cronbach's Alpha* pada hasil kuesioner sebesar 0,872 di mana nilai tersebut lebih dari 0,7 dan kurang dari 0,9. Maka dapat disimpulkan bahwa instrument penelitian reliabel dan masuk pada kategori tingkat reliabilitas instrument

Tinggi tingkat capaian responden (TCR)

Berdasarkan hasil jawaban responden pada tabel 1 maka dilakukan analisis frekuensi untuk menentukan nilai TCR. Analisis dilakukan untuk menghitung skala likert dan *mean* dari jumlah jawaban responden. Untuk menghitung nilai TCR dapat dilakukan sebagai berikut:

$$TCR = \frac{Total\ Skor}{Y} \times 100\%$$

$$TCR = \frac{61}{70} \times 100\%$$

$$= 87{,}14\ \%$$

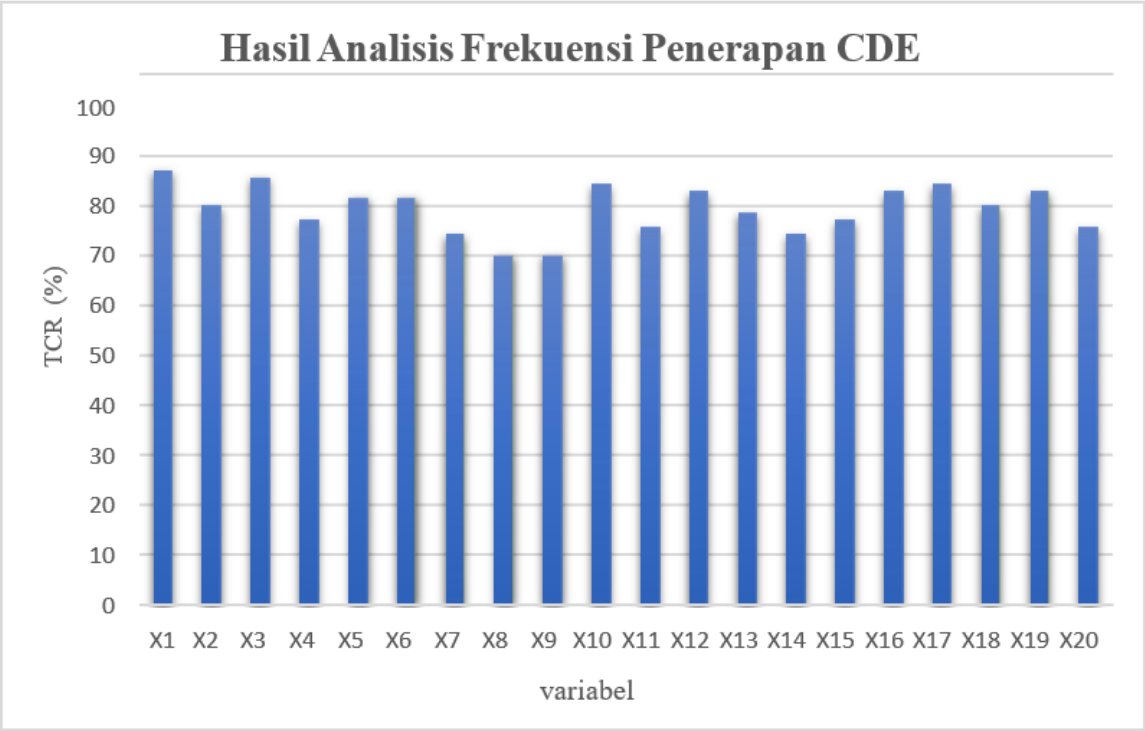
Berdasarkan hasil perhitungan untuk variabel X1 didapatkan nilai Tingkat Pencapaian Responden (TCR) sebesar 87,14% yang berarti termasuk pada kategori Sangat Setuju (81-100%), sehingga dapat disimpulkan bahwa sebagian besar responden setuju bahwa penerapan CDE pada proyek UNU mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi.

Analisis frekuensi tersebut dilakukan pada semua pernyataan di kuesioner bagian 1 yang berjumlah 20 pernyataan, hal tersebut dilakukan untuk dapat mengetahui Tingkat Pencapaian Responden (TCR) pada tiap butir pernyataan.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil TCR

Variabel	Pernyataan	Mean	TCR (%)
X1	Mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi	4,07	87,14
X2	Mampu mengurangi keterlambatan informasi di lapangan	4,00	80,00
X3	Penyimpanan file lebih teratur	4,29	85,71
X4	Meminimalisasi kemungkinan kesalahan pada data	3,86	77,14

Variabel	Pernyataan	Mean	TCR (%)
X5	Pelaporan data menjadi lebih baik	4,07	81,43
X6	Meminimalisasi data hilang dan tidak lengkap	4,07	81,43
X7	Memudahkan seluruh pihak jika terdapat perubahan data	3,71	74,29
X8	Meningkatkan efisiensi dalam pengambilan keputusan	3,50	70,00
X9	Efektif dalam mengurangi pengerjaan berulang	3,50	70,00
X10	Data dapat diakses di manapun oleh seluruh tim proyek	4,21	84,29
X11	Selalu termonitornya permasalahan di lapangan	3,79	75,71
X12	Terdapat histori pada perubahan data	4,14	82,86
X13	Penggunaan tanda tangan digital, QR Code, dan Akses berfungsi sebagai persetujuan digital	3,93	78,57
X14	Tingkat akses data dan tipe informasi sudah sesuai dengan bagian tim	3,71	74,29
X15	Sudah terdapat ketentuan penamaan dokumen sesuai dengan BEP	3,86	77,14
X16	Pada item pekerjaan tertentu dapat menampilkan clash detection, seperti pemipaan	4,14	82,86
X17	Dapat melihat gambar 3D *shopdrawing* tanpa harus punya *software* BIM	4,21	84,29
X18	Laporan issue/permasalahan proyek dapat dilaporkan secara digital	4,00	80,00
X19	Dapat melihat secara visual rencana progres pelaksanaan	4,14	82,86
X20	Parameter-parameter penting dalam 3D sudah dimasukkan dalam pemodelan BIM, seperti spesifikasi material	3,79	75,71
	Rata-rata		79,29%



Gambar 1. Diagram hasil analisis TCR

Berdasarkan hasil rekapitulasi analisis frekuensi pada Tabel 2. dapat disimpulkan dari 20 pertanyaan dalam penerapan CDE memiliki nilai rata-rata Tingkat Capaian Responden (TCR) sebesar 79,29%. Di mana hal tersebut dapat diartikan bahwa **sebagian besar responden setuju** penerapan CDE pada proyek Universitas Nahdatul Ulama dalam tahap pelaksanaan sudah di-terapkan dengan baik. Pada Gambar 1. dapat terlihat perbedaan hasil dari masing-masing variabel, di mana TCR tertinggi pada variabel X_1 yaitu mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi dan TCR terendah pada variabel X_8 yaitu meningkatkan efisiensi dalam pengambilan keputusan.

Pembahasan

Dari hasil penelitian dalam penerapan BIM pada tahap pelaksanaan dengan CDE di proyek UNU sudah diterapkan dengan baik terutama mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi, penyimpanan file lebih teratur, data dapat diakses di manapun oleh seluruh tim proyek, dapat melihat gambar 3D *shopdrawing* tanpa harus punya *software* BIM, dan terdapat histori pada perubahan data. Data yang terstruktur dengan baik dan regulasi pertukaran ditentukan dengan jelas dapat meningkatkan pengurangan waktu dan biaya pada informasi yang terkoordinasi. hal tersebut sesuai dengan tujuan dari penggunaan CDE. hal tersebut juga sesuai dengan yang dikemukakan oleh Radl dan Kaiser (2019) bahwa pengendalian proyek adalah memberikan informasi yang benar dan aktual kepada orang yang melakukan pekerjaan atau proses. Selain itu penggunaan CDE sebagai 'Sumber Tunggal dari Kebenaran' dalam lingkungan kerja yang kolaboratif (Lu et al, 2018) .Penggunaan proses CDE (pertukaran data, protokol pemeriksaan) membuat proses koordinasi menjadi lebih baik. berikut ini merupakan hasil 5 tingkat capaian responden tertinggi dalam penerapan CDE pada saat pelaksanaannya

1. Mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi

   Dalam penerapan CDE di proyek UNU didapat TCR tertinggi pada variabel X1 dengan 87,14% yaitu mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi. Pada pelaksanaan proses kolaborasi dan koordinasi di beberapa hal tertentu sudah berjalan dengan baik, terutama pada bagian controlling, seperti tenaga ahli dari pejabat pembuat komitmen (PPK) dapat mengetahui pekerjaan mana yang seharusnya sudah selesai, masih berjalan atau yang belum dilakukan. Hal tersebut sesuai dengan bagaimana pendapat dari Fatimah dkk. (2022) pemanfaatan CDE berpengaruh positif serta signifikan terhadap peningkatan kinerja. penerapan CDE selain untuk penyimpanan dokumen proyek juga digunakan untuk kolaborasi dan koordinasi proyek seperti approval shop drawing, notulen rapat, dll.
2. Pada saat pelaporan juga proses koordinasi berjalan dengan baik karena pelaporan menjadi lebih terkini. Kontraktor konsisten dalam penggunaan CDE dan tenaga ahli BIM juga konsisten untuk membantu mengisi laporan harian. Pada saat dibutuhkan seperti adanya panggilan oleh audit untuk melihat laporan harian maka tidak perlu mengirimkan file satu-satu, hanya perlu diberikan link CDE yang berisikan laporan harian untuk dapat dilihat atau ditinjau langsung di dalam CDE. Hal tersebut merupakan salah satu yang dapat menjadi efektif setelah penerpan CDE. Manfaat dari penggunaan CDE berbanding lurus dengan modalnya, modal dalam hal SDM yang mampu mengoperasikan CDE dengan baik dan perangkat yang terfasilitasi dengan baik. Ketika semua siap dan saat implementasinya berjalan lancar maka manfaatnya akan lebih terlihat.

3. Penyimpanan file lebih teratur

   Di proyek UNU penerapan CDE membuat penyimpanan file yang teratur, hal tersebut terlihat dari laporan di CDE terekap dengan rapi dan bukan hanya laporan namun adanya backup arsip yang ada di CDE dapat membantu dalam pengecekan ulang data dari laporan mingguan yang masuk dalam bentuk hardfile. Dalam penggunaan CDE di proyek UNU saat pelaporan dokumen atau data menjadi lebih efektif karena dapat mengurangi keterlambatan informasi, penyampaian informasi pada saat pelaksanaan juga menjadi lebih update seperti pada saat terjadi perubahan pada desain oleh perencana dapat langsung terlihat oleh pemangku kepentingan atau tenaga ahli. Laporan yang berada di dalam satu tempat dapat membuat lebih efisien karena ketika pada saat ada pengecekan hanya perlu memberikan link yang berisi dokumen-dokumen yang ada di CDE. Hal ini berbeda dengan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Radl and Kaiser (2019) pada proyek konstruksi jalan di Republik Ceko. Dalam penelitian tersebut kondisi sebenarnya dari dokumen-dokumen yang disimpan tidak terpantau dengan baik selama proyek berlangsung, banyak dokumen yang kurang update akan kondisi di lapangan, seperti dokumen baru selesai saat setelah dilakukan tindakan/pengerjaan. Dokumen seharusnya dibuat sesuai dengan kondisi aktual dan terstruktur

4. Data dapat diakses di manapun oleh seluruh tim proyek

   penggunaan BIM di proyek UNU dapat membantu menemukan adanya clash detection. *Clash detection* merupakan identifikasi potensi konflik antara sistem struktur, arsitektur, dan mekanikal, elektrikal dan plumbing (MEP). Issue tersebut dapat diangkat dan dikontrol dengan jawaban-jawaban oleh tenaga ahli. Seperti pada perencana yang mengeluarkan surat untuk perubahan desain dan surat tersebut tersimpan di CDE, sehingga meminimalisasi miskomunikasi jika terdapat pertanyaan tentang kenapa desainnya berubah, karena untuk perubahan tersebut sudah ada suratnya di CDE dan metode tersebut legal karena ada BEP yang menyatakan bahwa data atau dokumen di dalam CDE legal dan resmi terpakai.

5. Pada saat proses koordinasi dan kolaborasi juga sudah dilakukan dalam satu pintu sehingga pihak yang jauh dapat melihat progress pekerjaan yang sedang dilakukan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Mahardika dkk. (2019) dalam proses koordinasi seperti approval shop drawing dapat dilaksanakan dengan lebih cepat dan mudah karena teknologi CDE memudah-kan seluruh pihak untuk bisa melakukan koreksi gambar secara online dan tidak men ANALISIS FAKTOR PENYEBAB *CONTRACT CHANGE ORDER* (CCO)gharuskan pihak yang terkait berada dalam satu tempat

6. Dapat melihat gambar 3D shopdrawing tanpa harus mempunyai software BIM

   penerapan CDE pada proyek pembangunan Gedung Universitas Nahdatul Ulama (UNU) dapat melihat gambar 3D shopdrawing tanpa harus mempunyai software BIM. ketika akan berkoordinasi maka tim proyek (owner, arsitek, kontraktor, engineer, supplier) saling bekerja sama dalam pertukaran informasi baik data maupun geometri. Penggunaan BIM berdampak pada perubahan dari pertukaran 2D menjadi model 3D antara disiplin yang berbeda. Untuk dapat melihat gambar 3D shopdrawing tidak harus mempunyai software BIM. Hal tersebut sesuai dengan yang dikemukakan oleh Logothetis dkk. (2018) bahwa penggunaan teknologi cloud dapat mengembangkan tampilan web sebagai pusat data BIM, yang dapat menangani data BIM yang besar dengan menggunakan server. Server ini dapat diakses oleh banyak pengguna melalui berbagai perangkat elektronik kapan pun dan di mana pun sehingga mereka dapat melihat model 3D secara online menggunakan browser.

7. Tenaga ahli dalam proyek UNU belum semua menangkap perubahan sistem pekerjaan baru terutama tenaga ahli yang berkaitan langsung dengan controlling pembangunan. Dengan penggunaan metode konvensional, shopdrawing diajukan menggunakan kertas lalu tenaga ahli akan menerima, berkomentar atau memberikan cap persetujuan pada kertas tersebut. Jika dengan menggunakan CDE setiap tenaga ahli yang menerima gambar maka tenaga ahli tersebut harus mempunyai perangkat yang mencukupi dan dapat menggunakan perangkat tersebut. Untuk meminimalisasi permasalahan dari hal tersebut, dari pihak manajemen konstruksi (MK) dalam proses koordinasinya dilakukan oleh satu orang tenaga ahli sebagai pemegang akun CDE yang berinteraksi langsung pada perangkat untuk menerima shopdrawing oleh tenaga ahli arsitek. Lalu tenaga ahli tersebut menjadi perantara ke bagian struktur dan MEP untuk dapat melihat detail pekerjaannya. Hal tersebut menjadi salah satu perbedaan yang signifikan karena pada saat menggunakan metode konvensional para tenaga ahli akan bekerja masing-masing namun dengan penerapan CDE menjadi saling berkaitan satu sama lain, berkaitan dalam proses bekerjanya
8. Terdapat histori pada perubahan data

   Dalam penerapan CDE di proyek UNU dokumen pelaporan menjadi lebih teratur, jika dengan menggunakan metode konvensional masih dapat memungkinkan terjadinya human eror, kelalaian atau kehilangan data pada saat pelaksanaannya. Namun dengan penerapan CDE adanya backup arsip yang tersimpan dengan rapi menjadi salah satu keuntungan di mana tenaga ahli dapat melihat kembali paparan sebelumnya yang dapat dijadikan refrensi karena dokumen tersebut tersimpan di server pengguna. Pada histori dokumen yang tersimpan juga berguna untuk memeriksa laporan mingguan yang nantinya akan dicocokan dengan hardfile yang dilakukan di lapangan dengan data yang dimasukkan ke CDE. Hal tersebut sesuai dengan pendapat dari Radl and Kaiser (2019) bahwasannya dokumen- dokumen pada penggunaan Common data environment (CDE) disimpan dalam arsip digital dengan tingkat keamanan tertentu. Penyimpanan dokumen-dokumen tersebut dilakukan setelah persetujuan final dokumen. Dokumen terbaru disediakan dengan perekaman secara teratur, pencatatan rutin tergantung pada frekuensi pembuatan dokumen dan tanggung jawab pribadi pekerja. Dokumen terbaru sangat penting untuk pengambilan keputusan oleh pihak yang bertanggung jawab.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan tujuan dari penelitian mengenai implementasi BIM pada tahap pelaksanaan dengan menggunakan CDE yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan Penerapan BIM dalam tahap pelaksanaan dengan menggunakan CDE pada proyek Universitas Nahdatul Ulama memiliki rata-rata pada tingkat capaian responden (TCR) sebesar 79,29% yang dapat diartikan bahwa penerapan CDE di proyek UNU sudah diterapkan dengan baik. Dalam penerapan CDE dengan tingkat capaian responden (TCR) terbesar 87,14% yaitu mampu mendorong efisiensi dalam berkoordinasi, dan tingkat capaian responden (TCR) terkecil 70% yaitu efektif dalam mengurangi pengerjaan berulang.

DAFTAR PUSTAKA

Akob, Zohari, Mohd Zaidee, Abang Hipni, and Ravi Koka. 2019. "Coordination and Collaboration of Information for Pan Borneo Highway (Sarawak) via Common Data Environment (CDE)." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 512(1).

Council, C. I. (2013). Final draft report of the roadmap for BIM strategic implementation in Hong Kong's construction industry. Online: http://www.hkcic.org/WorkArea/DownloadAsset. aspx

Dr. Kai Oberste-ufer. 2021. Common Data Environment (CDE) for BIM: 7 Questions Answered. (Online). (https://blog.dormakaba.com/author/kaioberste/. Diakses pada 25 oktober 2022

Fatimah, Jennika Rahmita et al. 2022. "PENERAPAN COMMON DATA ENVIRONMENT BERBASIS MODEL

UTAUT PADA PROYEK BENDUNGAN Industri Konstruksi Global Saat Ini Mengalami Pertumbuhan Yang Pesat , Yang Serta Kebutuhan Akan Alat Yang Efisien Seperti BIM (Building Information Modeling) Buat Manajemen In." 14(1): 131–39.

Logothetis, S., Karachaliou, E., Valari, E., & Stylianidis, E. (2018). Open source cloud-based technologies for BIM. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, 42, 607-614.

Lu, N., & Korman, T. (2010). Implementation of building information modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges. In Construction Research Congress 2010: Innovation for reshaping construction practice (pp. 1136-1145).

Lu, W., Lai, C. C., & Tse, T. (2018). Big data for construction cost management. In BIM and Big Data for Construction Cost Management. https://doi.org/10.1201/9781351172325-6

Lu, Y., Gong, P., Tang, Y., Sun, S., & Li, Q. (2021). BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects. Automation in Construction, 124, 103553

Moleong Lexy J. 2005. Metodologi Penelitian Kualitatif. Bandung: Remaja Rosdakarya

Rakhma D.A Mahardika, Ahmad Sidik, dan Fandy Dwi Hermawan. 2019. "DATABASE COMMON DATA ENVIRONMENT UNTUK PENYIAPAN OPERASI DAN PEMELIHARAAN PADA BENDUNGAN"

Preidel, C., A. Borrmann, C. Oberender, and M. Tretheway. 2016. "Seamless Integration of Common Data Environment Access into BIM Authoring Applications: The BIM Integration Framework." eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction - Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM 2016 (June): 119–28.

Preidel, C., & Borrmann, A. (2018). BIM-based code compliance checking. Building information modeling: Technology foundations and industry practice, 367-381.

Presiden Republik Indonesia. 2021. "Peraturan Pemerintah No 16 Tahun 2021 Tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung." Presiden Republik Indonesia (087169): 406. https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/2851/1.

Radl, Jan, and Jiri Kaiser. 2019. "Benefits of Implementation of Common Data Environment (CDE) into Construction Projects." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 471(2).

ANALISIS MANAJEMEN RISIKO PADA PROYEK JEMBATAN *CALLENDER HAMILTON* JURUG B SURAKARTA

Yanuar Ridlo Fathurrachman[1] dan Yenny Nurchasanah[2*]
[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah
Email: d100190223@student.ums.ac.id
[2*]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah
Email: yn205@.ums.ac.id
(Corresponding Author)

ABSTRAK

Pada setiap pelaksanaan proyek konstruksi, salah satunya proyek pembangunan jembatan, selalu mempunyai faktor-faktor risiko, faktor risiko tersebut dapat berupa faktor internal dan faktor eksternal. Faktor risiko dapat mempengaruhi performa dan sasaran proyek. Risiko yang timbul berdampak dan dapat mempengaruhi produktivitas, anggaran, mutu dan pencapaian proyek. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengelola risiko pada proyek. Duplikasi atau Penggantian Jembatan Callender Hamilton Jurug B di Kota Surakarta. Pada penelitian ini dilaksanakan dengan penyebaran kuesioner kepada beberapa pegawai yang memiliki jobdesk relevan dengan penelitian ini yaitu supervisor relevan dengan risiko pelaksanaan, site engineer relevan dengan risiko desain gambar, quality control relevan dengan risiko mutu, dan HSE relevan dengan risiko force majeuere dan risiko tenaga kerja. Dengan hasil didapat 56 risiko yang relevan yang terjadi pada proyek . Duplikasi atau Penggantian Jembatan Callender Hamilton Jurug B di Kota Surakarta. Hasil data primer berupa kuesioner tersebut selanjutnya dimasukkan ke tahap analisis dengan cara menghitung frekuensi risiko terjadi dan dampak risiko dalam bentuk skala likert. Dengan diperoleh hasil risiko yang dominan atau sering terjadi diantaranya kenaikan permukaan air sungai, pekerja kelelahan, terjadi perubahan desain tiba-tiba, air sungai masuk ke galian. Untuk tahap selanjutnya pada penelitian ini yaitu melakukan pengendalian risiko-risiko dominan. Pengelolaan atau pengendalian dilakukan dengan cara aksi tindakan pencegahan pada risiko tersebut agar tidak berdampak besar salah satunya terhadap kerugian pada proyek.

Kata kunci: Jembatan, Manajemen Risiko, Skala Likert

A. PENDAHULUAN

Pada pelaksanaan proyek konstruksi sebaiknya dilaksanakan atau dikerjakan dengan terencana agar pelaksanaan proyek konstruksi berjalan sesuai harapan dan tujuan proyek konstruksi dapat tercapai (Tanjung, 2017). Industri konstruksi di zaman globalisasi ini memiliki perkembangan yang pesat dan terkadang terdapat beberapa kendala dalam menghadapinya yaitu terkendala waktu, biaya, dan mutu. Hal ini dapat didefinisikan sebagai tepat waktu, biaya, dan mutu. Dikarenakan hal tersebut suatu proyek konstruksi perlu manajemen proyek konstruksi yaitu cara dalam mengelola suatu kegiatan dalam bentuk proyek konstruksi, seperti pengelolaan risiko yang sedang terjadi maupun yang akan timbul saat proyek konstruksi dikerjakan (Fahlevi dkk, 2019).

Jembatan merupakan akses penghubung antar daerah bagi moda transportasi di mana jembatan sangat dibutuhkan untuk penyebrangan jalan, sungai, dan lembah (Lilu, 2019). Proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B dengan panjang 162 m dan melintasi Sungai Bengawan Solo yang merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa, tidak luput dari

risiko yang terjadi, sehingga diperlukan pengkajian beberapa risiko dan memberikan solusi yang tepat. Risiko tersebut adalah risiko teknis dan non teknis. Risiko teknis berupa bahan atau material, alat, tenaga kerja, dan bobot pekerjaan. Risiko lain yang dapat timbul yaitu terlambatnya pekerjaan yang disebabkan oleh faktor non teknis meliputi faktor cuaca, keuangan lingkungan sekitar, lalu lintas yang macet di area proyek, dan kecelakaan kerja. Faktor penyebab keterlambatan proyek yang paling berpengaruh yaitu *force majeure*, alat dan bahan, keuangan, material, sarana dan prasarana, dan perubahan desain (Maslina dkk, 2022)

Kata risiko berasal dari Bahasa arab yang artinya hadiah yang tidak diharapkan kedatangannya dari surga. Risiko merupakan sesuatu yang menuju pada ketidakpastian terhadap kejadian dengan rentang waktu tertentu, di mana peristiwa tersebut berakibat pada kelangsungan hidup perusahaan tersebut yaitu mengakibatkan kerugian kecil hingga kerugian besar (Lokobal dkk, 2014). Manajemen risiko adalah suatu cara untuk mengelola suatu ketidakpastian tentang ancaman risiko. Dalam mengelola suatu ketidakpastian, menurut Soputan (2014), dibagi menjadi tiga diantaranya mengidentifikasi risiko, menganalisis risiko, dan merespons risiko tersebut.

Tujuan manajemen risiko yaitu meminimalisasi atau mencegah pengaruh buruk akibat insiden tak terduga dengan menyiapkan rencana kontingensi yang berkaitan dengan risiko tersebut. Secara umum manajemen risiko diartikan sebagai proses, mengidentifikasi, menakar, meyakinkan risiko dan memperluas strategi dalam mengelola risiko tersebut. Pada manajemen proyek, yang dimaksud manajemen risiko proyek yaitu seni dan ilmu untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menanggapi risiko selama usia proyek dan masih jaminan pencapaian tujuan proyek (Santosa, 2009).

Menurut Budi Santosa (2009), terdapat tiga hal yang perlu diperhatikan dalam manajemen risiko agar efektif:

1. Identifikasi, analisis dan pengukuran risiko pada awal proyek secara sistematis dan mengembangkan rencana untuk mengatasinya.
2. Pihak atau tim yang paling sesuai harus bertanggung jawab dalam pengelolaan risiko tersebut.
3. Biaya dalam menangani risiko harus dipastikan lebih kecil dari nilai proyek.

Proses bertahap dengan teratur untuk menangani dan meminimalkan atau menghindari terjadinya risiko disebut manajemen risiko. Langkah-langkah tersebut adalah identifikasi risiko, penilaian risiko, penerimaan risiko, mitigasi risiko, dan alokasi kepemilikan risiko. Identifikasi risiko merupakan proses risiko tersebut berulang-ulang dan penyebab dari risiko tersebut ditemukan saat pelaksanaan proyek sedang berlangsung. Pada proyek konstruksi, tim proyek harus berpartisipasi dalam segala proses ini, karena jumlah pengulangan dan setiap pihak yang berperan akan beragam dari setiap kasus. Hal tersebut berguna untuk menambah pengetahuan mengenai cara mengatasi terhadap risiko yang mungkin terjadi saat proyek konstruksi dikerjakan, dan juga pihak yang bertanggung jawab terhadap timbulnya risiko. Penilaian risiko adalah hasil dari kalkulasi atau pengklasifikasian dengan perhitungan responden tentang frekuensi dan dampak besar yang muncul . Mitigasi risiko adalah kegiatan penanganan pada risiko yang terjadi saat proses proyek berjalan. Penanganan ini bukan untuk membuang risiko yang ada tetapi meminimalkan risiko tersebut. Alokasi kepemilikan risiko yaitu mengalokasikan kepada seseorang yang memiliki tanggung jawab, dapat menangani risiko tersebut selama proses proyek konstruksi berjalan (Nyoman dkk, 2019).

Beberapa proses yang dilalui manajemen risiko adalah sebagai berikut.

a. Perencanaan Risiko, proses ini dapat berupa langkah dalam memutuskan cara mendekati dan melakukan
b. planning pada kegiatan manajemen risiko untuk proyek konstruksi
c. Identifikasi Risiko, yaitu identifikasi yaitu mengenali macam-macam risiko yang mungkin ditemui setiap pebisnis.
d. Analisis Risiko Kualitatif, yaitu proses mengukur dampak dan hal yang mungkin risiko tersebut telah diidentifikasi.
e. Analisis Risiko Kuantitatif, merupakan proses mengidentifikasi secara numerik probabilitas dari masing- masing risiko.
f. Perencanaan Respons Risiko, merupakan suatu proses yang dikerjakan agar mengurangi besar risiko yang terjadi hingga batas yang bisa diambil.
g. Pengendalian dan Monitoring Risiko, proses ini berupa memonitoring risiko yang telah teridentifikasi, pengawan risiko tersisa, mengidentifiakasi risiko terbaru, dapat memastikan penerapan perencanaan manajemen risiko, dan Dapat mengurangi risiko dengan keefektifan tersebut dievaluasi (Soputan dkk, 2014)
h. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi risiko-risiko yang mungkin terjadi pada pelaksanaan proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan Callender Hamilton jurug B di Solo dan mengidentifikasi faktor yang menyebabkan risiko pada kegiatan proyek pembangunan jembatan tersebut, membagi ranking risiko- risiko yang sangat berdampak setelah itu memberi solusi untuk penanganan yang tepat/saran tindakan (mitigation action) (Nurlela dan Suprapto, 2014)

B. METODE

Pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap. Langkah-langkah dalam penelitian ini diantaranya dimulai dengan pengambilan data, data ini dapat berupa data primer dan sekunder. Tahap kedua yaitu menganalisis data, setelah data teranalisis dilanjutkan dengan pembahasan pada data tersebut, dan untuk yang terakhir yaitu mendapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

Pengambilan Data

Tahap pertama dalam identifikasi risiko ialah dengan menyebarkan kuesioner ke responden. Penyebaran kuesioner ini bertujuan untuk mengenali risiko yang terdapat pada proyek ini, risiko-risiko tersebut telah sesuai pada Tabel 1. Sampai dengan Tabel 5. responden menjawab dengan memberi checklist pada kolom frekuensi dan kolom dampak. Pada kolom frekuensi risiko tersebut merupakan risiko yang pernah terjadi atau memiliki potensi risiko tersebut terjadi di kemudian hari akibatnya berdampak pada pelaksanaan proyek.

Pada proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan Callender Hamilton Jurug B di Kota Solo terdapat 56 risiko yang terjadi pada proyek pembangunan tersebut. Data sekunder dapat berupa studi literatur. Studi literatur dilaksanakan dengan mencari referensi dari buku, jurnal, tugas akhir, internet, dan lain-lain, yang terpenting topik dari referensi tersebut mendukung analisis pada penelitian. Studi literatur merupakan runtutan kegiatan dalam mengumpulkan bahan-bahan Pustaka (Moi dan Purnawirati, 2021).

Analisis Risiko

Untuk menganalisis risiko-risiko yang sangat sering terjadi menurut frekuensi dan dampak risiko, penulis menyebarkan kuesioner kembali. Pada tahap Analisis risiko, para responden tidak menjawab semua kuesioner, namun hanya menjawab data variabel yang sesuai dengan keahlian responden masing-masing.

Saat meneliti penelitian ini penulis membagikan kuesioner untuk menganalisis semua risiko yang paling sering terjadi menurut frekuensi kejadian dan menurut dampaknya. Pada analisis risiko para responden hanya mengisi data variabel risiko yang sesuai dengan bidangnya masing-masing. Supervisor mengisi data risiko pelaksanaan lapangan, Site Engineer mengisi data risiko desain gambar, Quality Control mengisi data risiko mutu. Dan Health, Safety, and Environment (HSE) mengisi data force majeure dan risiko tenaga kerja.

Para responden mengisi pada kolom yang tersedia, yaitu Frekuensi Risiko (P) dan Dampak (I) melalui cara checklist di kolom yang tersedia. Dalam penelitian ini menggunakan Skala Likert, yang merupakan skala survei untuk mengukur sikap dan pendapat. Skala ini untuk melengkapi kuesioner yang mengharuskan responden untuk menyetujui kuesioner ini terhadap serangkaian pertanyaan yang diberikan.

Pada Frekuensi Risiko yaitu seberapa sering risiko tersebut terjadi bernilai skala diantaranya

Sangat Jarang	(SJ)	= 1-3 kali terjadi (bernilai 1)
Jarang	(J)	= 3-5 kali terjadi (bernilai 2)
Cukup	(C)	= 6-7 kali terjadi (bernilai 3)
Sering	(S)	= 8-9 kali terjadi (bernilai 4)
Sangat Sering	(SS)	= >10 kali kejadian) (bernilai 5)

Pada Dampak, yaitu besar dampak dari risiko tersebut terjadi bernilai skala diantaranya

Sangat Kecil	(SK)	= Bernilai 1
Kecil	(K)	= Bernilai 2
Sedang	(S)	= Bernilai 3
Besar	(B)	= Bernilai 4 Sangat Besar (SB) = Bernilai 5

Apabila nilai skala frekuensi risiko (P) dan nilai skala dampak (I) telah didapat dari responden pada Proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Solo. Selanjutnya mengkalikan skala pada kolom frekuensi (P) dan skala dampak (I).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data adalah salah satu hasil penunjang penelitian sebelum pengerjaan pengolahan data, oleh karena itu, data pengumpulan data terlebih dahulu dilakukan. Data yang diperlukan untuk penelitian ini yaitu data primer dan sekunder. Data Primer merupakan data yang didapat dengan menyebarkan kuesioner di proyek yang ditinjau sebanyak 4 responden yaitu *Supervisor, Site Engineer, Quality Control*, dan HSE yang ada di proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Surakarta. Sedangkan data sekunder merupakan data yang didapat dengan hasil studi literatur seperti jurnal penelitian sebelumnya dan berbagai buku yang memiliki keterkaitan dengan manajemen risiko proyek.

Berikut merupakan hasil dari pengumpulan data primer yang disajikan pada Tabel 1. Sampai dengan Tabel 5. Data tersebut telah disebarkan ke responden dan telah disesuaikan dengan risiko-risiko yang terjadi pada proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Solo.

Tabel 1. *Probability* dan *impact* risiko *force majeure*

No	Variabel	Frekuensi Risiko (P)	Dampak/*Impact* (I)	P x I
1	**Risiko *Force Majeure***			
1A	Kenaikan permukaan air sungai	8-9 kali terjadi	Sedang	15
1B	Hujan badai	1-3 kali terjadi	Besar	4
1C	Terjadinya kebakaran	1-3 kali terjadi	Sedang	3
1D	Cuaca sering berubah	6-7 kali terjadi	Sedang	9
1E	Banjir	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	4
1F	Protes dari warga sekitar (Demonstrasi)	3-5 kali terjadi	Sangat Kecil	2

Tabel 2. *Probability* dan *impact* risiko tenaga kerja

No	Variabel	Frekuensi Risiko (P)	Dampak/*Impact* (I)	P x I
2	**Risiko Tenaga Kerja**			
2A	Terjadinya kecelakaan pekerja	3-5 kali terjadi	Sangat Kecil	2
2B	Konflik antar pekerja	3-5 kali terjadi	Kecil	4
2C	Terjadinya pekerja yang mogok bekerja	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	5
2D	Pekerja kurang terampil	1-3 kali terjadi	Sedang	3
2E	Rendahnya produktivitas pekerja	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	5
2F	Pekerja tidak menggunakan APD	>10 kali terjadi	Kecil	5
2G	Pekerja kelelahan	8-9 kali terjadi	Sangat Besar	20
2H	Keinginan pekerja terhadap kenaikan upah	1-3 kali terjadi	Kecil	2

Tabel 3. *Probability* dan *impact* risiko desain gambar

No	Variabel	Frekuensi Risiko (P)	Dampak/*Impact* (I)	P x I
3	**Risiko Desain Gambar**			
3A	Kesalahan dalam mendesain	3-5 kali terjadi	Sangat Besar	10
3B	Terjadi perubahan desain tiba-tiba	8-9 kali terjadi	Sangat Besar	20
3C	Kesalahan melaksanakan metode	3-5 kali terjadi	Sangat Besar	10
3D	Kesulitan menggunakan software baru	3-5 kali terjadi	Sangat Kecil	1
3E	Ketidaksesuaian desain gambar dengan kenyataan di lapangan	1-3 kali terjadi	Besar	4
3F	Kurangnya kelengkapan data-data untuk desain	1-3 kali terjadi	Sedang	3
3G	Ketidaktelitian dalam penentuan spesifikasi detail desain	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	5
3H	Kesalahan perhitungan desain	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	5
3I	Kesulitan pengambilan data di lapangan untuk desain	1-3 kali terjadi	Kecil	2
3J	Kesalahan penentuan elevasi	3-5 kali terjadi	Sangat Besar	10

Tabel 4. *Probability* dan *impact* risiko pelaksanaan

No	Variabel	Frekuensi Risiko (P)	Dampak/*Impact* (I)	P x I
4	**Risiko Pelaksanaan**			
4A	Air sungai masuk ke galian	>10 kali terjadi	Besar	20
4B	Debit air sungai yang tidak menentu	8-9 kali terjadi	Besar	16
4C	Kesalahan penentuan titik koordinat oleh surveyor	3-5 kali terjadi	Sangat Besar	10
4D	Akses sulit	6-7 kali terjadi	Sedang	9
4E	Terjadinya *trouble* pada alat berat	3-5 kali terjadi	Sedang	6
4F	Tidak tersedianya alat (*hiabcrane*, dll)	3-5 kali terjadi	Sedang	6
4G	Tidak tersedia material (*readymix*)	6-7 kali terjadi	Besar	12

No	Variabel	Frekuensi Risiko (P)	Dampak/*Impact* (I)	P x I
4H	Kondisi geologi tanah (tanah keras)	6-7 kali terjadi	Sedang	9
4I	Hilangnya tanah timbunan akibat banjir	6-7 kali terjadi	Kecil	6
4J	Perubahan jadwal mendadak	6-7 kali terjadi	Besar	12
4K	Pemadatan tanah timbunan tidak merata	3-5 kali terjadi	Kecil	4
4L	Pembesian tidak tepat	3-5 kali terjadi	Besar	8
4M	Terjadi longsoran (lubang borepile)	3-5 kali terjadi	Sedang	6
4N	Pembesian tulangan yang tidak sesuai dengan gambar kerja	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	5
4O	Kesalahan mengestimasi waktu pelaksanaan	3-5 kali terjadi	Besar	8
4P	Ketidaksesuaian elevasi dengan rencana gambar	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	5

Tabel 5. *Probability* dan *impact* risiko mutu

No	Variabel	Frekuensi Risiko (P)	mpak/Impact (I)	P x I
5	**Risiko Mutu**			
5A	Keterlambatan truck mixer	6-7 kali terjadi	Sedang	9
5B	Kesalahan saat melakukan pengujian	1-3 kali terjadi	Besar	4
5C	Hasil pengujian slump tidak sesuai spesifikasi	1-3 kali terjadi	Besar	4
5D	Adukan beton terlalu kental	6-7 kali terjadi	Kecil	6
5E	Adukan beton terlalu encer	3-5 kali terjadi	Besar	8
5F	Sampel uji keropos	1-3 kali terjadi	Sedang	3
5G	Kesalahan menentukan volume beton	1-3 kali terjadi	Kecil	2
5H	Hasil pengujian tidak sesuai target yang dicapai (PDA test,pengujian kuat tekan, dll)	1-3 kali terjadi	Besar	4
5I	Kesalahan pembuatan sampel benda uji	1-3 kali terjadi	Kecil	2
5J	Kenaikan faktor air semen	6-7 kali terjadi	Besar	12
5K	Terdapat rongga-rongga pada beton	1-3 kali terjadi	Besar	4
5L	Kurangnya perawatan (Curring) pada beton	1-3 kali terjadi	Kecil	2
5M	Penambahan air pada adukan beton	1-3 kali terjadi	Sangat Besar	5
5N	Kurang menjaga temperatur bahan selama Pengecoran	1-3 kali terjadi	Sedang	3
5O	Tidak dilakukan perawatan segera pada beton yang mulai mengeras	1-3 kali terjadi	Sedang	3
5P	Menggunakan air kotor pada pengujian (CSL test)	1-3 kali terjadi	Besar	4

Berdasarkan Tabel 1. hingga Tabel 5. telah didapat risiko-risiko yang bernilai besar dibanding hasil nilai risiko lain. Kemudian risiko-risiko yang mendapat hasil nilai paling besar merupakan risiko yang sering terjadi pada proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Solo. Dari data primer tersebut dapat dilakukan rekapitulasi untuk dasar dalam menganalisis risiko dan mencari pengendalian risiko atau mitigasi dari risiko-risiko tersebut. Data Sekunder didapat dari studi literatur ataupun dari jurnal yaitu metode skala likert yang berguna untuk mengerjakan kuesioner kolom frekuensi dan dampak. Setelah mendapat risiko yang paling dominan, maka selanjutnya dilakukan pengendalian risiko, tahap ini hanya dikerjakan pada risiko-risiko yang bernilai *Probability (P) x Impact (I)* terbesar dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Risiko dominan

No	Variabel Risiko	P x I
1	Kenaikan permukaan air sungai	15
2	Pekerja kelelahan	20
3	Terjadi perubahan desain tiba-tiba	20
4	Air sungai masuk ke galian	20

Tabel 7. Penanganan risiko-risiko dominan

No

No	Variabel	Penanganan atau Mitigasi
1	Kenaikan permukaan air sungai	Selalu siaga dalam memantau *pile scale*, jika permukaan air sudah mencapai siaga kuning agar mempersiapkan evakuasi terhadap alat dan lain-lainnya
2	Pekerja kelelahan	Pemberian sedikit waktu untuk beristirahat sejenak
3	Terjadi perubahan desain tiba-tiba	Melakukan penggambaran ulang
4	Air sungai masuk ke galian	Mengevakuasi semua alat, kemudian pada galian yang tergenang air sungai segera dilakukan pengurasan dengan *submersible pump,* pemberian tanah timbunan (*sand bag*) pada area galian, memasang *sheet pile* dengan rapi serta rapat agar air sungai tidak masuk ke galian

E. KESIMPULAN

Berdasarkan penyebaran kuesioner telah didapat sebanyak 56 data variabel risiko yang terjadi pada proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Surakarta. kemudian setelah melakukan penganalisisan data variabel risiko tersebut telah didapat 4 variabel risiko dominan pada proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Solo.

Kenaikan permukaan air sungai menjadi salah satu risiko yang paling dominan pada proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Solo. Risiko ini dapat dilakukan aksi mitigasi dengan selalu siaga dalam memantau permukaan air sungai pada *pile scale*, apabila permukaan sudah mencapai siaga kuning maka perlu persiapan untuk mengevakuasi alat dan lain-lain.

Risiko paling dominan lainnya yaitu pekerja yang kelelahan. Risiko tersebut dapat ditangani dengan memberi pekerja waktu sejenak agar pekerja dapat istirahat.

Terjadinya perubahan desain secara tiba-tiba dapat dilakukan penanganan dengan cara melakukan penggambaran ulang segera pada desain gambar.

Risiko air sungai yang masuk ke dalam lubang galian dapat ditangani dengan pemasangan *sheet pile* secara rapi dan rapat, pemberian tanah timbunan berupa *sand bag* di area galian yang akan diberi *sheet pile.* Jika air sungai sudah masuk ke galian penanganan dilakukan dengan mengevakuasi alat-alat kemudian pengurasan dengan *submersible pump* pada galian tersebut, sehingga pekerjaan dapat dilanjutkan kembali

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada tim PT. Hutama Karya Infrastruktur dan beberapa tim PT. Bukaka Teknik Utama pada proyek Duplikasi atau Penggantian Jembatan *Callender Hamilton* Jurug B di Kota Surakarta yang telah membantu dalam pengambilan data dan senantiasa memberi ilmu dan wawasan.

DAFTAR PUSTAKA

Fahlevi, A. E., Safaria, F., & Susetyaningsih, A. (2019). "Analisis Manajemen Risiko Pelaksanaan Proyek Konstruksi." Jurnal Konstruksi, 17(01), 28–36. http://jurnal.sttgarut.ac.id/

Lilu, D. F. (2019). "Alternatif Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Tipe Camel Back Truss Dengan Menggunakan Metode LRFD Di Weutu Kota Atambua, Kab. Belu. Provinsi NTT." E-Journal Perencanaan Jembatan Rangka Baja, 1–14.

Lokobal, A., Pascasarjana, A., Sam, U., Marthin, R., Sumajouw, D. J., & Sompie, B. F. (2014). "Manajemen Risiko pada Perusahaan Jasa Pelaksana Konstruksi di Propinsi Papua (Study Kasus di Kabupaten Sarmi)." Jurnal Ilmiah Media Engineering, 4(2), 109–118.

Maslina, Kurnia, M., Agustiyana, N., & Maya Sari, H. (2022). "Analisis Risiko Menggunakan Metode Sevecindex pada Proyek Pembangunan Kantor Lingkungan Samarinda." Jurnal TRANSUKMA, 05(01), 18–26.

Moi, F., & Purnawirati, I. G. . N. (2021). "Analisis Manajemen Risiko Pada Proyek Pembangunan Ruas Jalan Baru Waebetu – Tarawaja." Jurnal Talenta Sipil, 4(1), 79–84. https://doi.org/10.33087/talentasipil.v4i1.52

Nurlela, & Suprapto, H. (2014). "Identifikasi dan Analisis Manajemen Risiko pada Proyek Pembangunan Infrastruktur Bangunan Gedung Bertingkat." Jurnal Desain Konstruksi, Vol. 13(No. 2), 114–124.

Nyoman, I., Jaya, M., Sudarsana, D. K., Kade, G. A., & Wiratni, I. (2019). "Manajemen Risiko Terhadap Pelaksanaan Proyek konstruksi Hotel di Kawasan Sarbagita." In Jurnal Spektran (Vol. 7, Issue 1). http://ojs.unud.ac.id/index.php/jsn/index

Santosa, B. (2009). Manajemen Proyek Konsep & Implementasi. Graha Ilmu. Yogyakarta

Soputan, G. E. M., Sompie, B. F., & Mandagi, R. J. M. (2014). "Manajemen Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) (Study Kasus pada Pembangunan Gedung SMA Eben Haezar)." Jurnal Ilmiah Media Engineering, 4(4), 229–238.

Tanjung, M. (2017). "Fungsi Organisasi dalam Manajemen Proyek." Jurnal Riset Manajemen Dan Bisnis, 6(2), 7– 15.

ANALISIS RESIDUAL *VALUE VIBRATORY ROLLER* DENGAN ALGORITMA *MODIFIED DECISION TREE* MENGGUNAKAN PENDEKATAN *MACHINE LEARNING*

Andrew Mashandro Tanto Putra[1*], Hermawan[2], dan Budi Hasiholan[3]
[1*]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Semarang email: 19b10088@student.unika.ac.id (Corresponding Author)
[2]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Semarang email: hermawan.mrk@gmail.com
[3]Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung email: hasiholan.budi.siregar@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi Indonesia diprediksi berada pada angka 5% di tahun 2023 yang disumbang oleh sektor industri, pertambangan, pertanian, perdagangan, dan konstruksi. Dalam sektor konstruksi, salah satu usaha yang mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia adalah permintaan alat berat yang meningkat hingga tahun 2023. Tingginya permintaan alat berat, salah satunya disebabkan oleh pembangunan khususnya infrastruktur berupa jalan tol yang menjadi prioritas pemerintah hingga tahun 2024. Tingginya permintaan tersebut mengindikasikan bahwa semakin banyak investor yang berinvestasi pada alat berat. Guna memaksimalkan investasi alat berat, salah satu upaya yang dilakukan agar menguntungkan adalah kepastian perhitungan terhadap life cycle cost dari alat berat. Komponen dalam perhitungan life cycle cost adalah owning cost dan operational cost di mana dalam owning cost terdapat komponen perhitungan yaitu residual value. Terdapat perbedaan metode untuk menentukan residual value dari alat berat. Penentuan residual value dilakukan dengan mengasumsikannya sebesar 10% – 30% dari harga beli alat berat, hal tersebut bertentangan dengan teori yang disampaikan oleh Shehadeh, dkk., (2021) yang menyebutkan bahwa residual value tidak boleh diambil sebagai persenan atau berdasarkan pengalaman karena nilainya yang rentan terhadap waktu dan kondisi. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi residual value berdasarkan market value agar residual value yang digunakan didasarkan dari hasil real di lapangan. Metode yang digunakan adalah penggunaan algoritma modified decision tree dengan pendekatan machine learning dari kumpulan data alat berat dari perusahaan persewaan jasa alat berat. Diperoleh hasil berupa model yang memberikan kesamaan sebesar 97,8% antara hasil prediksi dan real. Berdasarkan kesamaan tersebut, model yang dibangun dapat digunakan untuk memprediksi residual value secara real.

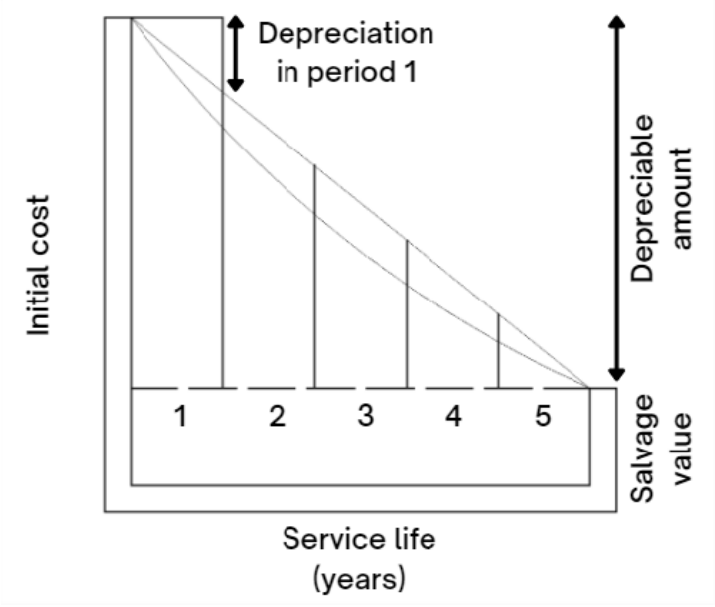
Kata kunci: alat berat, *life cycle cost*, *machine learning*, *residual value*

A. PENDAHULUAN

Menurut Kementerian Keuangan RI (2022), ekonomi Indonesia tumbuh 5,3% di tahun 2022 dan diprediksi 5% di tahun 2023. Sektor industri, pertambangan, pertanian, perdagangan, dan konstruksi adalah lima sektor utama yang mengalami pertumbuhan. Ekonomi konstruksi diprediksi akan naik 5-6%, didukung oleh sub-sektor infrastruktur, residensial, dan industri. Pemerintah mempromosikan penggunaan produk dalam negeri untuk meningkatkan kontribusi konstruksi terhadap ekonomi Indonesia. Mempersingkat teks. Pemerintah Indonesia meluncurkan e-katalog sebagai aplikasi dan web untuk efisiensi sistem pengadaan barang dan jasa, mengurangi risiko, dan menciptakan kesempatan kerja. E-katalog berisi informasi tentang alat yang bisa disewa atau dibeli dan ketersediaannya.

Alat-alat yang dimaksudkan adalah alat berat, laboratorium Bina Marga, dan Aspal Buton. Salah satu usaha yang terdaftar adalah alat berat dengan harapan mampu meningkatkan investor untuk berinvestasi pada alat berat. Alat berat untuk keperluan konstruksi meningkat sebanyak 84% untuk pertumbuhannyan karena banyaknya pembangunan jalan tol seperti yang diprioritaskan pemerintah sebelum tahun 2024. Mubarok (2014) menyebutkan bahwa pekerjaan jalan tol membutuhkan banyak alat berat untuk pekerjaan tanah seperti penggalian, pemadatan, dan pemindahan tanah. Atmaja (2021) menyebutkan bahwa pekerjaan pemadatan tanah merupakan salah satu faktor terpenting dalam keberhasilan suatu proyek konstruksi karena dapat meningkatkan daya dukung tanah. Pada tahun 2024 ditargetkan panjang jalan tol operasional mencapai 4.761 km, dari angka tersebut dapat diindikasikan bahwa permintaan terhadap alat berat akan semakin meningkat. Asosiasi Perusahaan Pembiayaan Indonesia (APPI) menyebutkan bahwa pembiayaan alat berat menjadi salah satu penopang terbesar perusahaan *multifinance* dengan kontribusi sebesar 25% sampai 30% dengan piutang pembiayaan alat berat tumbuh berkisar 28%.

Menurut Wulandari, dkk., (2022) investasi merupakan rangkaian perputaran dana yang dimulai dari pengeluaran dana untuk modal barang atau jasa. Investasi alat berat dimulai dengan sistem pengadaan alat berat sebagai bahan pertimbangan karena investasi ditentukan berdasarkan modal dari investor (Annisa dan Murad, 2018). Investasi merupakan kegiatan yang memiliki efek berkepanjangan karena selanjutnya akan diikuti oleh pengeluaran secara berkala atau yang biasa disebut Life Cycle Cost. Life cycle costs untuk alat berat memiliki dua komponen yaitu biaya kepemilikan dan biaya operasional. Kementerian Pekerjaan Umum (2014) menyatakan bahwa biaya kepemilikan (owning cost) dan biaya operasional (operational cost) merupakan perkiraan biaya yang harus dikeluarkan pada saat alat berat tersebut bekerja hingga masa tertentu. Owning cost merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh pemilik alat berat baik dalam keadaan alat tersebut sedang digunakan ataupun tidak (Murad dan Monika, 2018). Komponen owning cost adalah biaya depresiasi dan biaya interest insurance tax atau IIT yang harus dikeluarkan setiap tahunnya. Komponen operational cost adalah biaya perawatan, biaya perbaikan, biaya bahan bakar, biaya pelumas, biaya operator, biaya special item, dan biaya roda (Gransberg dan Connor, 2015). Kedua biaya tersebut dibutuhkan dalam life cycle cost analysis yang nantinya bermanfaat untuk membantu memberikan keputusan dalam manajemen alat berat. Dalam perhitungan owning cost, terdapat komponen biaya depresiasi atau biaya penyusutan alat berat seiring bertambahnya usia alat. Faktor yang diperhitungkan dalam biaya depresiasi adalah intial cost, useful life, dan residual value. Faktor yang diperhitungkan dalam biaya depresiasi suatu aset diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Faktor dalam perhitungan biaya depresiasi (**Sumber:** Digambar ulang dari Halpin dan Senior, 2011)

Berdasarkan Gambar 1 diperlihatkan bahwa terdapat *depreciable amount* atau biaya yang dapat disusutkan. *Salvage value* sudah ditentukan dari awal sehingga dapat muncul *depreciable amount*. Menurut Halpin dan Senior (2011) terdapat dua cara perhitungan depresiasi yang sering digunakan yaitu metode *straight line* dan *declining balance*. Secara ringkas perbedaan keduanya adalah metode *straight line* memiliki nilai depresiasi yang sama setiap tahunnya, sedangkan metode *declining balance* nilai depresiasinya berbeda untuk tiap tahunnya. Menurut Lestari (2018) menyebutkan bahwa metode *straight line* sesuai untuk digunakan untuk aset yang sudah beroperasi di atas 10 tahun, namun untuk metode *declining balance* sesuai untuk aset yang beroperasi dibawah 10 tahun. Menurut Ibrahim dan Rinienta (2020) Metode *declining balance* lebih sesuai untuk pembelian alat berat baru, untuk pembelian alat berat *second hand* lebih cocok menggunakan metode *straight line*.

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya bahwa terdapat faktor perhitungan depresiasi yaitu *salvage value* atau *residual value*. Menurut Jones (2019) *residual value* merupakan nilai yang muncul di akhir siklus umur dari proyek ataupun aset yang akan dijadikan sebagai acuan untuk harga jual berikutnya. Dalam beberapa penelitian di Indonesia, terdapat beberapa pendekatan dalam penentuan *residual value*. Febrianti dan Zakia (2019) mengasumsikan nilai sisa sebesar 20% dari harga beli alat berat, sementara Wulandari, dkk., (2022) mengasumsikan nilai sisa sebesar 10%. Berdasarkan Katalog Alat Berat Konstruksi (2014) nilai sisa alat berat diambil sebesar 30% dari harga baru mesin atau alat baru. Berdasarkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (2022) nilai sisa alat diambil sebesar 3% sampai 10% dari harga pokok alat. Peraturan dan penelitian yang dilakukan di Indonesia masih mengasumsikan *residual value* dengan nilai persen dari harga alat.

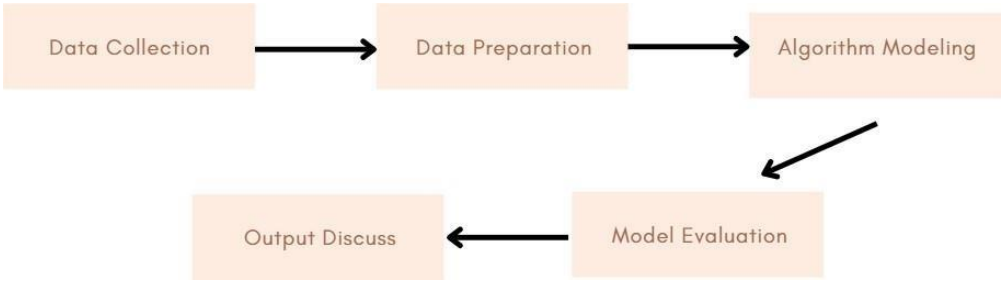
Berbeda dengan penelitian yang dilakukan di Indonesia, Lucko (2011) menyebutkan bahwa *residual value* juga berpengaruh terhadap pengelolaan jangka panjang dari alat berat, dalam hal penentuan waktu dan cara yang tepat untuk mengakuisisi alat berat baru, mengoperasikan, dan membuang atau mengganti alat berat. *Residual value* penting untuk diestimasikan bagi pemilik dan pembeli alat berat, di mana pihak pemilik alat berat perlu memahami faktor- faktor apa saja yang mempengaruhi nilai sisa, sedangkan pihak pembeli perlu mengetahui nilai sisa *real* dari alat berat karena alat yang dibeli bersifat *second hand* (Milošević, dkk., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh

Shehadeh, dkk., (2021) menyebutkan ada beberapa faktor yang mempengaruhi alat berat secara umum, yaitu (1) intensitas penggunaan alat berat, (2) usia alat berat, (3) kondisi alat berat, (4) harga jual atau harga *sold* alat berat, dan (5) *yearly construction investment*.

Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi *residual value* berdasarkan *market value* agar *residual value* yang digunakan dapat dijadikan nilai sisa secara *real* dari salah satu alat berat pemadatan tanah yaitu *vibratory roller*. Proyek di Indonesia terkhusus untuk pekerjaan tanah beberapa penelitian menyebutkan bahwa *vibratory roller* sering digunakan untuk pemadatan tanah. Dalam penelitian ini estimasi *residual value* dibantu dengan menggunakan algoritma *modified decision tree* yang diasosiasikan dengan *machine learning*. Penelitian yang dilakukan oleh Shehadeh, dkk., (2021) menyebutkan bahwa metode yang paling akurat hasilnya untuk mengestimasi *residual value* adalah *modified decision tree*. *Modified decision tree* sendiri merupakan sebuah struktur pohon keputusan yang memiliki *root node*, *leaf node*, dan *decision node*. *Modified decision tree* memiliki perbedaan pada kriteria pemisahan, aturan pemangkasan, atau metode pemilihan simpul dengan *decision tree* pada umumnya. Algoritma *modified decision tree* dibantu *machine learning* melalui pemrograman komputer untuk mempelajari pola dari kumpulan data. Ada dua teknik dalam *machine learning* yaitu *unsupervised learning* dan *supervised learning*, yang dibedakan oleh pelabelan data dan *output*. *Supervised learning* menggunakan teknik untuk mengklasifikasikan dan melakukan regresi data yang telah memiliki label. Penelitian ini menggunakan teknik *supervised learning* dengan *regression* karena hasilnya bersifat prediksi, tidak *classification*.

B. METODE

Penelitian memiliki tujuan untuk mengestimasi residual value dengan menggunakan algoritma modified decision tree yang diasosiasikan dengan machine learning. Proses analisis dilakukan secara otomatis dengan pemrograman komputer melalui kumpulan data yang disiapkan. Machine learning merupakan proses untuk mempelajari pola dalam sekumpulan data. Hasil dari penelitian ini estimasi atau prediksi dari residual value yang ditemukan berdasarkan pola yang dibentuk melalui data. Metode penelitian secara rinci diperlihatkan pada Gambar 2.

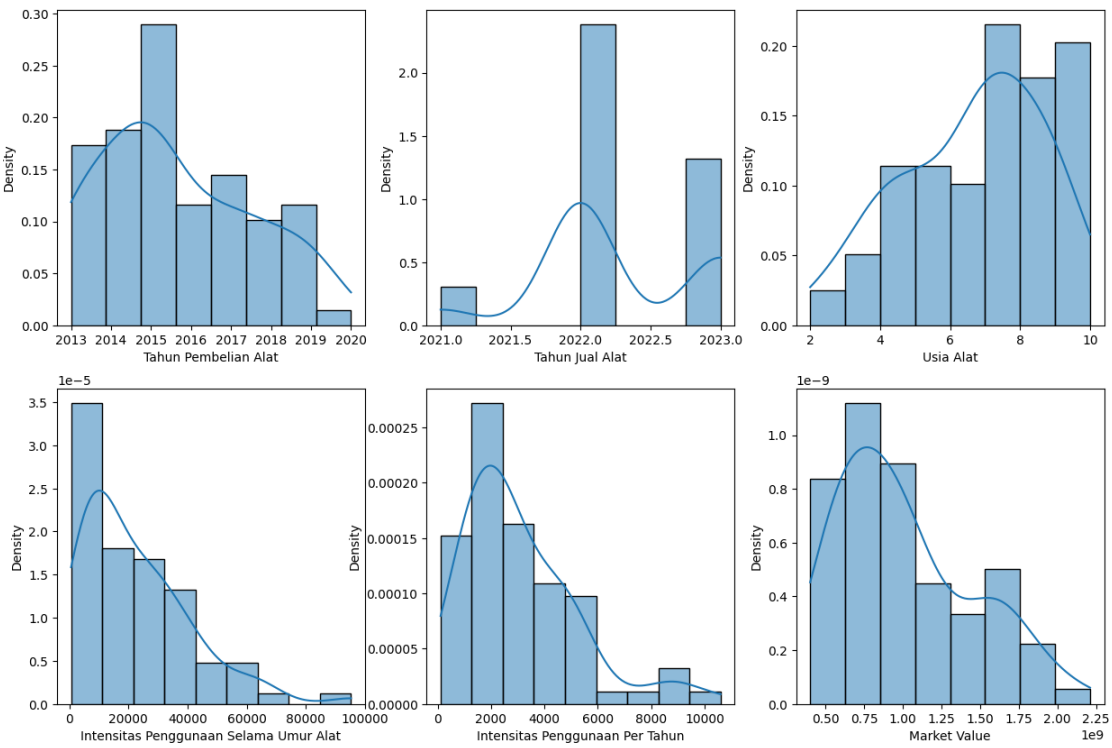


Gambar 2. Metode penelitian

Berdasarkan Gambar 2. diperlihatkan bahwa terdapat lima tahapan dalam proses penelitian yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Data collection merupakan tahap pengumpulan data. Data yang dikumpulkan didapat dari perusahaan alat berat xyz dengan data yang digunakan adalah data alat berat yang sudah pernah dijual atau diganti. Komponen data yang perlu dikumpulkan adalah jenis alat, tipe alat, merk alat, usia alat, tahun pembelian alat, tahun penjualan alat, intensitas penggunaan per tahun, intensitas penggunaan selama umur alat, kondisi alat, kepemilikan alat, dan market value atau harga jual.

2. Data preparation merupakan tahap lanjutan setelah pengumpulan data. Mulai dari import data, split into training and test sets, encoding categorical data dan melihat normalisasi pada data yang telah dikumpulkan.
3. Algorithm modeling merupakan tahap penyusunan algoritma modified decision tree yang dilakukan dalam aplikasi
4. Google Colab dengan bahasa pemrograman Python.
5. Model evaluation merupakan tahapan untuk mengukur tingkat akurasi dari model yang dibuat dan membandingkan hasil prediksi residual value dengan real residual value. Parameter yang digunakan adalah MAE, MSE, MAPE, dan R2. Parameter MAE merupakan rata-rata perbedaan dari hasil prediksi dan hasil real, MSE memiliki arti bahwa nilai ini merupakan hasil kuadrat dari perbedaan antara hasil prediksi dan hasil real dari residual, MAPE digunakan untuk mengukur keakuratan suatu model dalam melakukan prediksi, dan R2 merupakan koefisien determinan yang digunakan untuk mengindikasikan tingkat akurasi dari suatu model yang dibangun.
6. Output discussion merupakan tahap akhir dalam proses ini yaitu menganalisis hasil akhir dari residual value dan membuat kesimpulan dari hasilnya. Data dikumpulkan dari beberapa perusahaan alat berat yang bergerak dalam bidang jasa persewaan alat berat, dengan total data yang terkumpul adalah 80 data di mana didominasi merek alat berat SAKAI, CAT, BOMAG, dan DYNAPAC. Data tersebut mencakup jenis alat berat, tipe alat, merek alat, dan kepemilikan alat, yang selanjutnya menjadi categorical value atau berupa nilai kategori. Data lainnya berupa usia alat, tahun pembelian alat, tahun jual alat, intensitas penggunaan per tahun, intensitas penggunaan selama umur alat, kondisi alat, dan market value, selanjutnya menjadi numerical value atau berupa data angka. Normalisasi pada data diperlihatkan pada Gambar 3.

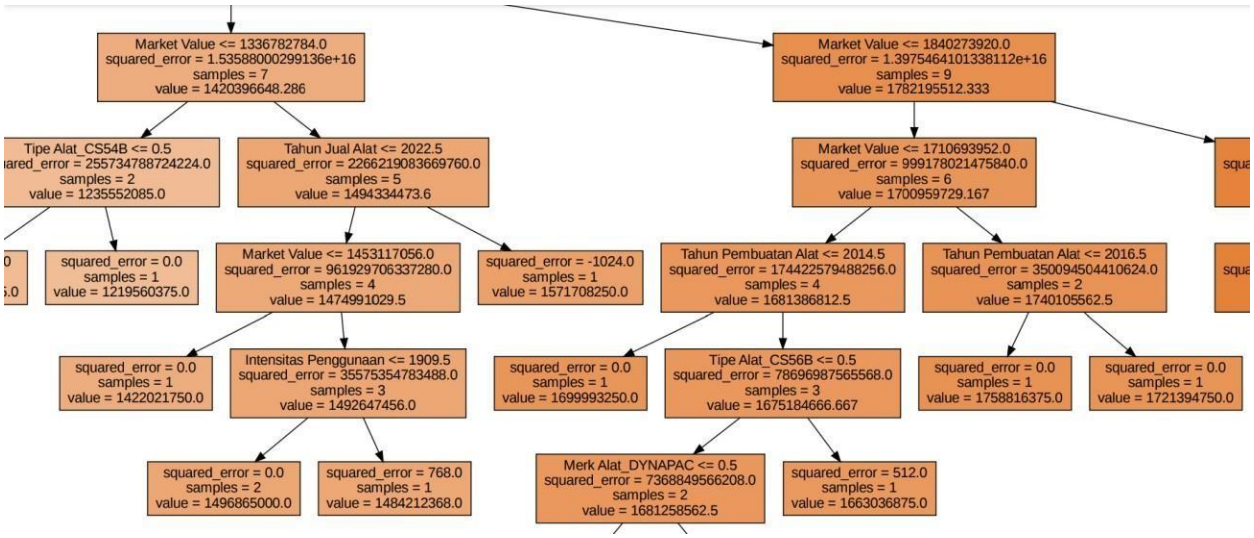


Gambar 3. Normalisasi pada data (Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

Berdasarkan Gambar 3 diperlihatkan bahwa usia alat, intensitas penggunaan per tahun, dan *market value* dari alat berat sudah memenuhi normalisasi data. Pada *categorical value*, perlu diubah menjadi *numerical value* dengan melakukan pendekatan *One-Hot Encoding*. Pendekatan ini dilakukan dengan cara *categorical value* akan diubah menjadi kolom baru dan memberikan angka 1 atau 0 yang menunjukkan benar atau salah. Proses *algoritma* dimulai setelah melakukan pembagian terhadap x dan y, variabel x merupakan variabel yang digunakan untuk memprediksi variabel y. Keperluan *training and testing sets* dibagi menjadi 80% data untuk keperluan *training* model yang akan dibangun dan 20% data untuk keperluan *testing* dari model yang telah dibangun.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 2 tahapan *algorithm modelling*, pada *modified decision tree* menggunakan *max depth* dengan nilai 10, *minimum sample leaf* sebesar 1, dan *minimum sample split* sebesar 2 sesuai dengan yang disarankan oleh Shehadeh, dkk., (2021). Sebagian dari *modified decision tree* diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sebagian *modified decision tree* (Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

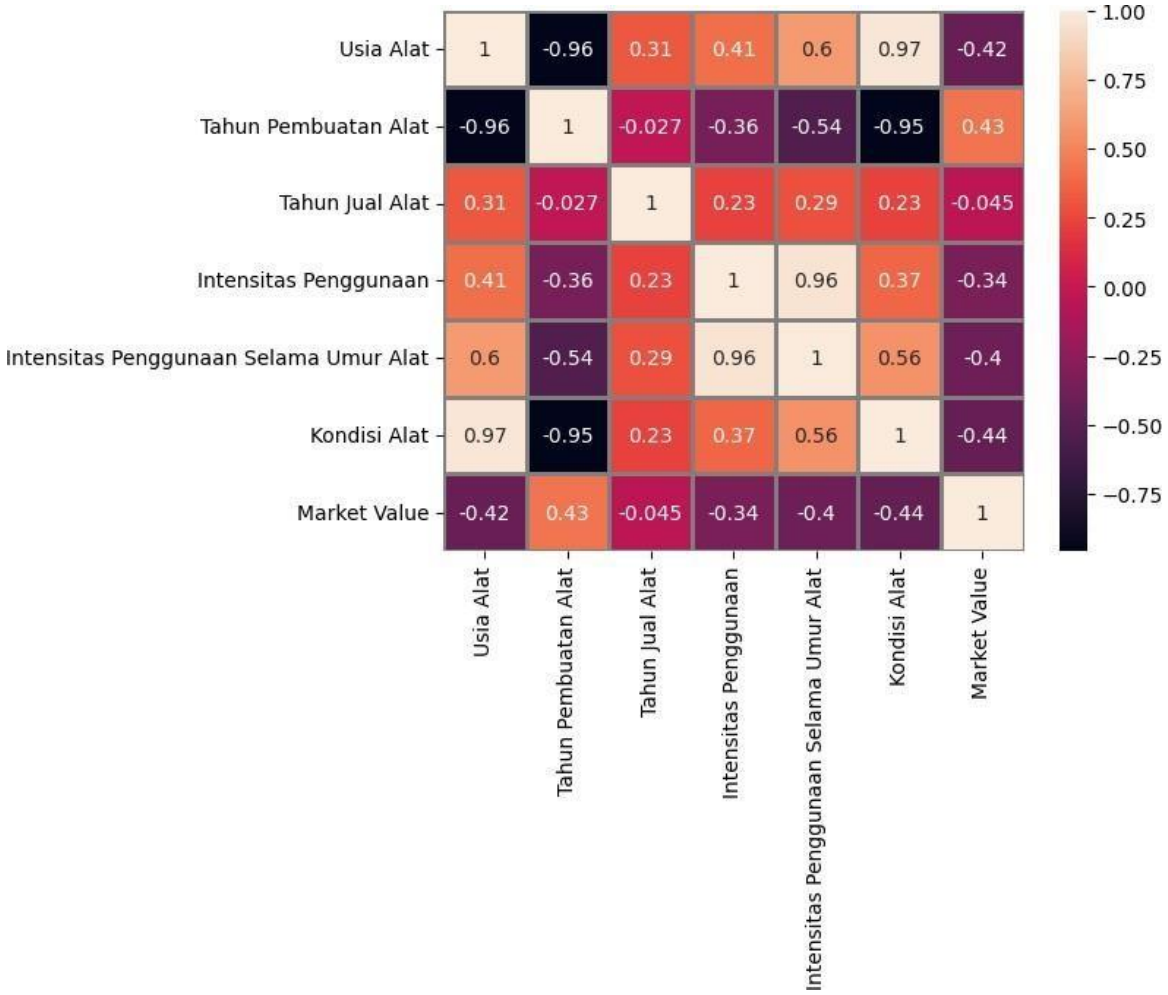
Berdasarkan Gambar 2 tahap *model evaluation* proses validasi pada model dilakukan dengan *KFold Cross Validation*, proses tersebut dilakukan dengan cara *dataset* yang ada akan diacak atau *cross validation* sebanyak nilai *k*. Makin banyak proses pengacakan akan meningkatkan *score* validasi untuk data training. Nilai *k* yang digunakan adalah 10, sesuai dengan saran yang disampaikan oleh Shehadek, dkk., (2021). Sehingga, *score* validasi yang didapat adalah 0,9856 (98,56%) yang menunjukkan hasil yang bagus karena mendekati 1. Dari hasil *modified decision tree* didapatkan *score* sebesar 0,978 (97,8%), dengan nilai tersebut sudah menunjukkan hasil regresi yang didapat sudah bagus karena nilainya yang mendekati 1. *Score* tersebut diperhitungkan pada data *testing*. Karena hasil validasi pada model untuk data *training* dan data *testing* menghasilkan nilai 0,9856 dan 0,978 yang menunjukkan sedikit perbedaan, maka model dapat merepresentasikan data *real*. Model yang telah diuji coba pada data *training*, kemudian diterapkan pada data *testing* untuk melihat hasil prediksi dan nilai *real* dari *residual value* yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perbandingan *residual value* prediksi dan *real* (IDR)

No	Prediksi	Real
1	525.875.000	575.201.060
2	1.422.022.000	1.404.342250
3	1.012.048.000	1.034.778.500
4	566.175.000	539.532.000
5	849.996.600	849.470.888
6	1.571.708.000	1.571.708.250
7	1.131.364.000	1.141.299.688
8	899.220.000	899.220.000
9	1.966.345.000	2.211.511.750
10	562.012.500	579.484.200
11	1.251.544.000	1.309.726.938
12	1.182.604.000	1.161.492.500
13	1.683.973.000	1.646.551.500
14	1.496.865.000	1.571.708.250
15	474.397.000	464.597.000
16	1.131.364.000	1.132.350.000

(**Sumber:** Hasil Pengolahan Data, 2023)

Berdasarkan hasil yang didapat pada Tabel 1 secara sekilas dapat dilihat bahwa hasil prediksi dan hasil *real* tidak beda jauh, kemudian dilanjutkan evaluasi dengan empat parameter yaitu MSE, R^2, MAE, dan MAPE. Berdasarkan hasil yang didapat nilai MSE sebesar 4713307303121586.0, R^2 sebesar 0.9783214711162302, MAE sebesar 36989060.4375, dan MAPE sebesar 0.029683586559518783. Berdasarkan hasil parameter yang didapat, untuk nilai R^2 mendapatkan hasil 0,9782 yang nilainya hampir mendekati 1,0 artinya model sudah dapat memprediksi *residual value* dengan indikasi hasilnya sama dengan *residual value* sesuai kenyataan. Parameter MAE mendapatkan hasil 36989060.4375 yang merupakan rata-rata perbedaan dari hasil prediksi dan hasil *real*, nilainya cukup besar karena mengingat variabel y yang diprediksi berupa nilai rupiah. Parameter MSE bernilai 4713307303121586.0 yang memiliki arti bahwa nilai ini merupakan hasil kuadrat dari perbedaan antara hasil prediksi dan hasil *real* dari *residual*, nilainya cukup besar karena variabel y merupakan nilai rupiah. Parameter terakhir ada MAPE yang memberikan tingkat akurasi dari hasil yang diprediksi sebesar 0,0297 atau 2,97% yang memiliki arti hasil prediksi sangat akurat. Parameter yang menentukan tingkat akurasi dari hasil dan model adalah MAPE dan R^2 yang hasilnya berturut-turut 2,97% dan 0,97832, perbandingan pada hasil yang dilakukan oleh Shehadeh, dkk., (2021) mendapat hasil MAPE sebesar 7,28% dan R^2 sebesar 0,9284. Perbedaan tersebut menghasilkan bahwa model yang dibangun lebih akurat dibandingkan yang dibangun oleh Shehadeh, dkk., (2021). Perbedaan tersebut dapat disebabkan juga oleh variansi data yang tersedia, Shehadeh, dkk., (2021) menggunakan lebih dari 60.000 data dengan variansi jenis dan merek alat berat yang beragam. Pada pemodelan penelitian ini menggunakan 80 data dan terfokus hanya pada alat berat pemadatan tanah, perbedaan tersebut mengakibatkan perbedaan pada nilai MAE dan MSE yang cukup jauh. Guna meninjau hubungan antar variabel dapat menggunakan korelasi nilai antar data yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Korelasi antar nilai pada data (Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2023)

Berdasarkan Gambar 5 diperlihatkan bahwa nilai yang mendekati 1 menjadi sebuah indikator bahwa kedua nilai tersebut sama-sama kuat dan sebaliknya nilai yang mendekati -1 menjadi sebuah indikator bahwa kedua nilai tersebut sama-sama lemah. Contohnya pada kondisi alat dan usia alat menunjukkan nilai 0,97 yang memiliki arti bahwa semakin tua usia alat makan kondisi alat akan semakin buruk karena memerlukan banyak perawatan dan perbaikan. Pada *market value* dan kondisi alat menunjukkan nilai -0,44 yang memiliki arti bahwa *market value* atau harga jual alat akan semakin kecil apabila kondisi alat semakin buruk. Pada intensitas penggunaan dan usia alat bernilai 0,41 yang memiliki arti bahwa semakin tinggi intensitas penggunaan, semakin tua juga usia alat berat tersebut. Pada kondisi alat dan tahun pembuatan alat bernilai -0,95 yang memiliki arti bahwa semakin buruk kondisi alat maka semakin tua tahun pembuatan alatnya. Variabel yang paling berpengaruh dalam penentuan residual value berdasarkan Gambar 5 adalah kondisi alat, usia alat, intensitas penggunaan alat, dan market value dari alat berat.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapat bahwa *residual value* hasil prediksi dan data *real* memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan terlihat pada hasil R^2 sebesar 0,9782 yang mendekati 1. Proses estimasi dapat menggunakan algoritma *modified decision tree* yang diasosiasikan dengan *machine learning* terlihat dari hasil validasi model untuk data *training* dan *testing* sebesar

0,9856 dan 0,978 yang mendekati 1. Parameter MAPE memperlihatkan hasil sebesar 2,97% (< 10%) yang memiliki arti bahwa hasil prediksi sangat akurat. Variabel yang mempengaruhi *residual value* adalah kondisi alat, usia alat, intensitas penggunaan alat, dan *market value* dari alat berat. Penelitian ini memiliki limitasi yaitu pemodelan ini hanya dapat digunakan sesuai dengan tipe alat dan merek alat pada data yang dikumpulkan, untuk hasil prediksi hanya bisa untuk tipe alat dan merek alat yang sama. Peneliti memberikan saran untuk menambah jumlah data alat berat agar model dapat digunakan secara merata untuk seluruh alat berat yang digunakan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Annisa, W. O. N., dan Murad. (2018). "Analisis investasi pengadaan alat berat untuk penambangan bijih nikel kadar Low Grade Saprolite Ore (LGSO) di PT ANTAM (PERSERO) TBK UBPN SULTRA". Jurnal Bina Tambang, Vol. 3 No. 3, 984-987, ISSN 2302-3333.

Atmaja, J. (2021). "Analisa kajian penggunaan alat berat pada pekerjaan tanah proyek pembangunan jalan". Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa, Vol. 17 No. 1, 11-12, ISSN 1858-3709

Departemen Pekerjaan Umum. (2022). Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) bidang pekerjaan umum.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.

Febrianti, D., dan Zakia. (2019). "Analisis durasi dan perhitungan biaya penyusutan (depresiasi) alat berat excavator". Jurnal Teknik Sipil, Vol. 8 No. 1, 10-12, p-ISSN 2088-9321, e-ISSN 2502-5295.

Ibrahim, M. F., dan Rinienta, M. (2020). "Ekonomi teknik", ANDI, Yogyakarta, 13-27, 151-167, ISBN 978-623-01- 0418-3.

Jones, H. (2019). "Residual value of infrastructures". Industry Innovation and Infrastructure, Vol. 17 No. 1, p-ISBN 978-3-319-71059-4, e-ISBN 978-3-319-71059-4

Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2022). Hingga kuartal ketiga 2022, kondisi ekonomi Indonesia masih resilien dan kuat. Diunduh pada https://www.kemenkeu.go.id/informasi-publik/publikasi/berita-utama/Kuartal- Ketiga-Kondisi-Ekonomi-Resilien-dan-Kuat pada 11 April 2022, pukul 14.43 WIB.

Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. (2022). Bahas kondisi ekonomi global dalam Bloomberg CEO Forum, pemerintah lakukan penguatan kebijakan fiskal dan dapat dukungan pelaku bisnis. Diunduh dari https://www.ekon.go.id/-publikasi/detail/4713/bahas-kondisi-ekonomi-global-dalam-bloomberg-ceo-forum-pemerintah-lakukan-penguatan-kebijakan-fiskal-dan-dapatkan-dukungan-pelaku-bisnis pada 11 April 2023, pukul 13.57 WIB.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). Buka konstruksi Indonesia 2022, Menteri Basuki ajak pelaku konstruksi gunakan produk dalam negeri. Diunduh pada https://pu.go.id/berita/buka-konstruksi- indonesia-2022-menteri-basuki-ajak-pelaku-konstruksi-gunakan-produk-dalam-negeri pada 10 April 2023, pukul 16.34 WIB.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2014). "Katalog alat berat konstruksi 2013". Pusat Pembinaan Sumber Daya Investasi: Jakarta Selatan, 10-21, ISBN 978-602-70342-04

KONTAN. (2022). Pembiayaan alat berat masih diyakini prospektif pada tahun depan. Diunduh dari https://keuangan.kontan.co.id/news/pembiayaan-alat-berat-masih-diyakini-prospektif-pada-tahun-depan pada 10 April 2023, pukul 08:49 WIB.

Lestari, R. (2018). Perhitungan penyusutan aset tetap dengan menggunakan metode saldo menurun ganda (double declining method) di Dinas Perhubungan Kabupaten Bandung. Skripsi, Fakultas Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.

Lucko, G. (2011). "Modeling the residual market value of construction equipment under changed economic conditions". Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 137 No. 10, 806-807, p-ISSN 0733- 9364, e-ISSN 1943-7862.

Milošević, I., Kovačević, M., dan Petronijević, P. (2021). "Estimating residual value of heavy construction equipment using ensemble learning". Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 147 No. 7, p-ISSN 0733- 9364, e-ISSN 1943-7862.

Monika, I., dan Murad. (2018). "Analisis investasi pengadaan alat berat untuk mencapai target produksi batu gamping 240.000 ton/tahun dengan metode NPV dan IRR di PT Anugrah Halaban Sepakat". Jurnal Bina Tambang, Vol. 3 No. 3, 1014-1017, ISSN 2302-3333.

Newnan, D. G., Eschenbach, T. G., dan Lavelle, J. P. (2012). "Engineering economic analysis". Oxford University Press: New York, ISBN 978-0-19-977804-1.

Shehadeh, A., Alshboul, O., Mamlook, R. E. A., dan Hamedat, O. (2021). "Machine learning models for predicting the residual value of heavy construction equipment: an evaluation of modified decision tree, lightGBM, and XGboost regression". Automation in Construction, 1-16, ISSN 0926-5705.

Wulandari, N. W., DAS, A. M., dan Raudhati, E. (2022). "Studi kelayakan investasi operasional alat berat PT Permata Agung Dewata di Kota Jambi". Jurnal Talenta Sipil, Vol 5 No. 1, 9-17, ISSN 2615-1632.

Yanwardhana, E. (2022). Tahun ini, Jokowi panen tol, ada lewat rumah kamu?. Diunduh dari https://www.cnbcindonesia.com/news/20221026063621-4-382515/tahun-ini-jokowi-panen-tol-ada-lewat- rumah-kamu pada 11 April 2023 17.41 WIB.

MENYUSUN STANDAR KESELAMATAN PELEDAKAN (*BLASTING*) DI BENDUNGAN UTAMA

Wahyu Kuntoro[1*] dan Fitri Nugraheni[2]
[1*]Mahasiswa Program Magister Teknik SIpil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam, Indonesia, Jl.Kaliurang KM 14,5 Sleman Yogyakarta
Email: 21914027@students.uii.ac.id (Corresponding Author)
[2]Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang KM 14,5 Sleman Yogyakarta
Email: 005110101@uii.ac.id

ABSTRAK

Pelaksanaan pekerjaan proyek konstruksi atau dalam proyek pembangunan, ada banyak kecelakaan kerja. Di Indonesia, menurut Menteri Ketenagakerjaan Ida Fauziyah (2021) mengungkapkan hasil data Badan Penyelenggaraan Jaminan Sosial (BPJS), berdasarkan data yang dilaporkan kepada BPJS peningkatan kecelakaan kerja konstruksi pada tahun 2019 sebanyak 114.000 kecelakaan kerja menjadi 177.000 pada tahun 2020. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menurut Kementerian Tenaga Kerja Republik Indonesia (2015) yaitu suatu usaha dalam melahirkan lingkungan pekerjaan yang aman, sehat, dan bebas dari kecelakaan, ledakan, kebakaran, pencemaran lingkungan dan penyakit dampak dari aktivitas pekerjaan. Menurut Wirawan (2015) menyampaikan bahwa keselamatan kerja adalah kondisi di mana pekerja aman dan tidak mengalami cedera saat melakukan pekerjaan mereka. Menurut Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 Pasal 1 tentang keselamatan kerja bahwa setiap pekerja berhak atas jaminan kesejahteraannya dalam menyelesaikan pekerjaan untuk menunjang program pemerintah dan untuk meningkatkan produksi dan efisiensi atau meningkatkan produktivitas nasional. Maka dari itu setiap perusahaan atau pihak manapun baik terkait dengan konstruksi ataupun tidak wajib menerapkan standar keselamatan kerja. Beberapa tahapan pekerjaan diperlukan pada pembangunan bendungan, diantaranya adalah tahapan pembangunan main dam. Pekerjaan main dam sebagian besar tidak terlepas dari proses pekerjaan galian. Pekerjaan galian main dam sering kali menggunakan metode peledakan atau blasting. Sebelum dilaksanakannya pekerjaan blasting, diperlukan checklist standar keselamatan kerja. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk membuat checklist standar keselamatan pelaksanaan peledakan (blasting) pada pekerjaan galian main dam di proyek Bendungan Bener Purworejo. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan kualitatif dengan metode narrative review dengan menggunakan studi literatur dari tiga referensi yaitu PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3, Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan Juknis nomor 309.K/30/DJB/2018. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan lima pekerjaan checklist standar keselamatan pelaksanaan peledakan yaitu pekerjaan pengangkutan bahan peledak, pekerjaan drilling, pekerjaan charging dan steaming, pekerjaan tie up, dan pekerjaan peledakan.

Kata kunci: *blasting, checklist,* keselamatan, standar.

A. PENDAHULUAN

Implementasi pekerjaan proyek konstruksi banyak menimbulkan kecelakaan kerja. Di Indonesia, menurut Menteri Ketenagakerjaan Ida Fauziyah (2021) mengungkapkan hasil data Badan Penyelenggaraan Jaminan Sosial (BPJS), berdasarkan data yang dilaporkan kepada BPJS peningkatan kecelakaan kerja konstruksi pada tahun 2019 sejumlah

114.000 kecelakaan kerja menjadi 177.000 pada tahun 2020. Angka kecelakaan konstruksi jauh lebih tinggi dari jumlah yang dilaporkan oleh BPJS karena tidak semua pekerja konstruksi menjadi anggota BPJS. Berbagai faktor penyebab terjadinya kecelakaan pada pekerjaan proyek konstruksi,

seperti tidak terpenuhinya peralatan keselamatan kerja, anggapan bahwa kecelakaan kerja jarang terjadi, penerapan *checklist* standar keselamatan kerja yang belum maksimal, serta kurangnya kesadaran pekerja akan pentingnya menggunakan peralatan perlindungan diri untuk menghindari hal buruk terjadi.

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menurut Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia (2017) yaitu suatu usaha dalam melahirkan lingkungan pekerjaan yang aman, sehat, dan terbebas dari insiden, ledakan, kebakaran, dan penyakit dampak dari aktivitas pekerjaan. Upaya manajemen dalam penyelenggaraan dan pengendalian pelayanan kesehatan kerja dilakukan melalui sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja(SMK3).

Implementasi rencana Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yaitu suatu kewajiban supaya terwujudnya lingkungan kerja yang terlindungi dan aman. Upaya pencegahan terhadap terjadinya kecelakaan kerja di proyek konstruksi dapat dicapai dengan berbagai cara, salah satunya dengan penilaian atau *assessment* yang dapat dilakukan dengan cara peninjauan di lapangan dengan penerapan aturan keselamatan kerja yang disyaratkan sesuai standar keselamatan, kesadaran diri dari pekerja, dan pengawasan yang baik dari petugas yang bertanggung jawab terhadap keselamatan kerja pada proyek tersebut. Untuk itu diperlukan penelitian pada pelaksanaan pekerjaan *Blasting* pada proyek pembangunan Bendungan Bener Purworejo sehingga dapat meminimalisir terjadinya risiko kecelakaan kerja. Menurut Wirawan (2015) menyampaikan bahwa keselamatan kerja adalah kondisi di mana pekerja aman dan tidak mengalami cedera saat melakukan pekerjaan mereka. Menurut Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 Pasal 1 mengenai keselamatan kerja disampaikan bahwa pekerja berhak atas jaminan kesejahteraannya dalam menyelesaikan pekerjaan untuk menunjang program pemerintah dan untuk meningkatkan produksi dan efisiensi atau meningkatkan produktivitas nasional. Pentingnya keselamatan kerja konstruksi di Indonesia ditandai dengan adanya peraturan implementasi penerapan K3 dalam Undang-Undang dan harus dilaksanakan di semua bidang industri konstruksi. Implementasi K3 merupakan hal mutlak yang dapat melindungi dan mengurangi kemungkinan kecelakaan kerja dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja dan produktivitas, serta untuk memastikan kualitas dan keamanan suatu pekerjaan hingga tercapai *zero accident.* (PARAMPARA, 2018).

Salah satu pekerjaan konstruksi adalah proyek pembangunan bendungan. Beberapa tahapan diperlukan pada pembangunan bendungan, diantaranya adalah tahapan pembangunan *main dam*. Tujuan dari *main dam* adalah sebagai bendung utama. Pada pekerjaan *main dam* terdapat beberapa tahapan, salah satunya pekerjaan galian. Pekerjaan galian umumnya dibantu dengan alat berat berupa *excavator,* tetapi tidak semua lokasi dapat dilakukan galian secara langsung dengan menggunakan *excavator,* hal ini mengingat terdapat lapisan batuan keras pada lokasi pekerjaan galian. Pada lokasi atau titik galian dengan lapisan keras diperlukan metode lain seperti peledakan atau *blasting. Blasting* merupakan pekerjaan peledakan *quarry d*engan menggunakan bahan peledak. Sebelum dilaksanakannya pekerjaan *blasting* atau peledakan, terdapat beberapa standar yang harus dipenuhi. Standar tersebut bertujuan untuk meminimalkan terjadinya keadaan yang tidak diinginkan seperti kecelakaan kerja. Standar yang dimaksud berupa *checklist* standar keselamatan pelaksanaan peledakan.

Blasting merupakan aktivitas konstruksi peledakan pada suatu lokasi dengan bahan peledak yang sudah diputuskan sesuai rencana peledakan dan rangkaian ledak tertentu. Pada penelitian ini, peledakan menggunakan bahan peledak dan detonator khusus atau disebut dengan peledakan *over*

burden (OB). Hal ini terjadi karena robekan tidak dapat merusak lapisan OB yang cukup keras. Tujuan peledakan adalah untuk memecah lapisan OB dengan lebih mudah sehingga dapat dengan mudah dimuat ke truk dan dipindahkan untuk dibuang. Pekerjaan *blasting* memiliki potensi yang sangat berbahaya. Aktivitas *blasting* dapat memberikan dampak yang serius bagi keselamatan tenaga kerja, unit kerja, maupun masyarakat di sekitar lokasi peledakan. Dengan demikian, pelaksanaan pekerjaan blasting perlu memperhatikan standar keselamatan pelaksanaan peledakan.

Menurut Sanjaya (2013) *Checklist* adalah petunjuk dalam suatu pengamatan yang meliputi beberapa aspek yang dapat diamati di mana pengamat mencentang atau memeriksa untuk melihat apakah ada sesuatu itu berdasarkan pengamatannya. *Checklist* standar keselamatan pelaksanaan peledakan merupakan hal-hal apa yang seharusnya ada dan terpenuhi agar pekerjaan dapat dilaksanakan secara aman. *Checklist* standar keselamatan pelaksanaan peledakan dilakukan sebagai suatu pencegahan untuk menghindari kecelakaan kerja, penyakit yang diakibatkan kerja dan peristiwa yang dapat menyebabkan kerugian, dengan arti lain *checklist* kegiatan dan standar keselamatan pelaksanaan peledakan agar pekerjaan peledakan dapat dilaksanakan dengan aman. *Checklist* sendiri bertujuan untuk memudahkan dalam pemeriksaan. *Checklist* standar keselamatan pelaksanaan peledakan dapat memberikan kenyamanan untuk setiap pekerja dalam proses pelaksanaan pekerjaannya serta dapat menghasilkan pekerjaan berkualitas tinggi, dan meminimalkan risiko terjadinya kecelakaan. Selain itu pemahaman, sikap, dan kesadaran dari pekerja merupakan hal penting yang harus dimiliki oleh semua pekerja dalam mengimplementasikan dan mematuhi aturan-aturan keselamatan pelaksanaan peledakan, agar setiap pekerja melaksanakan tugasnya dengan benar.

Tujuan dari penelitian ini untuk menyusun *checklist* standar keselamatan pelaksanaan peledakan *blasting* pada pekerjaan galian *main dam* di proyek Bendungan Bener Purworejo. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Arumsari (2017) dengan judul "Pengembangan *Checklist* Penilaian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dan Kesiapan Mitigasi Bahaya Pada Gedung Perguruan Tinggi" menggunakan metode *checklist* dikembangkan secara modular. Dengan menerapkan penilaian menggunakan *checklist*, kemudian didapat nilai tingkat penerapan K3. Dengan begitu dapat dibuat pengelompokan tingkat bahaya dengan menggunakan Tabel Implementasi K3-Kecelakaan (Tabel TIK) yang terdiri atas 4 tingkatan yaitu aman, waspada, rawan dan bahaya. Penelitian tersebut dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Kartika dan Sukindrawati (2021) dengan judul "Analisa Visual Keselamatan Kerja Pada Pekerja Konstruksi Galian Tanah" didapatkan hasil *checklist* standar keselamatan pekerjaan galian sebanyak 12 standar. Penelitian tersebut dilakukan di proyek Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia pada pekerjaan galian tanah. Penelitian terdahulu dengan penelitian ini memiliki perbedaan pada objek penelitian. Objek penelitian ini dilakukan di proyek Bendungan Bener Purworejo pada pekerjaan peledakan (*blasting) main dam.*

B. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode *narrative review. Narrative review* merupakan tinjauan yang berguna dalam mengumpulkan sejumlah literatur dalam bidang subjek tertentu serta mensintesisnya. *Narrative review* memiliki tujuan untuk memberikan dasar yang luas kepada pembaca,mengenali dan menggambarkan sebuah isu yang menarik saat ini, dan memahami informasi atau menampilkan pentingnya eksplorasi baru

(Demiris dkk, 2019). Mengidentifikasi kata kunci, me*review* isi abstrak dan artikel, meringkas dan mensintesakan temuan dari artikel, dan memasukkannya ke dalam tulisan merupakan langkah-langkah dalam *review* naratif (Demiris dkk, 2019).

Ford (2020) dalam Fani dan Rukmana (2022) menjelaskan bahwa *narrative review* merupakan jenis penelitian kualitatif di mana fokus mendeskripsikan kehidupan manusia dengan meniti pengalaman, wawancara, biografi, fotografi, dan metode *narrative* pada pengalaman-pengalaman manusia lainnya. Selain itu, jenis *narrative review* adalah studi untuk mengevaluasi publikasi yang mendukung penelitian dalam ilmu *Library and Information Science* (LIS).

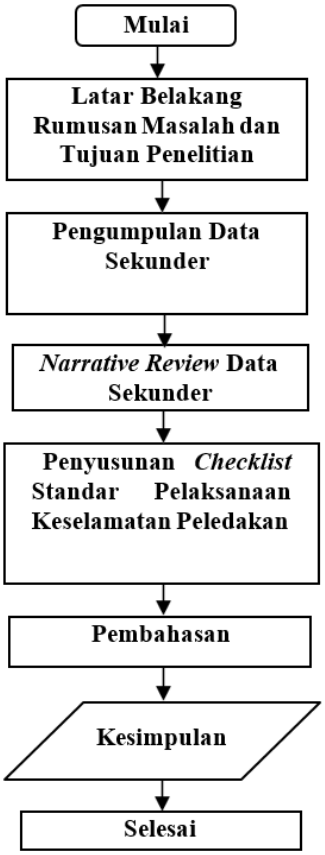
Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dengan mencari literatur-literatur dan peraturan-peraturan yang membahas dan mengatur tentang aktifivasi pekerjaan peledakan (*blasting).* Literatur dicari dengan menggunakan kata kunci "peledakan", "*blasting",* "standar pelaksanaan", dan "*checklist".* Analisis data dilakukan dengan meringkas, menyimpulkan, dan mengintegrasikan penemuan dari tulisan dan peraturan-peraturan mengenai standar pelaksanaan keselamatan peledakan (*blasting)* yang ada di Indonesia. Hasil analisa ini ditampilkan dalam bentuk tabel *checklist* standar pelaksanaan keselamatan peledakan agar pelaksanaan peledakan dapat dilaksanakan dengan aman.

Berikut data literatur atau tinjauan pustaka yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data *literatur*

No	Literatur yang Digunakan	Sumber
1	PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3	Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tahun 2012
2	Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik	Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tahun 2018
3	Juknis nomor 309.K/30/DJB/2018	Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tahun 2018

Teknik pengumpulan data menggunakan tiga literatur dari berbagai sumber. Berdasarkan tiga data literatur tersebut, digunakan dua fase teknik pengumpulan data yaitu penyaringan judul dan pembacaan teks serta pemahaman data, untuk mengidentifikasi kajian yang sepenuhnya memenuhi kriteria kelayakan (Frandsen dkk, 2021) dalam (Fani dan Rukmana, 2022). Setelah itu, peneliti mengonfirmasikan tiga data literatur tersebut untuk kemudian dapat disusun *checklist* standar kegiatan keselamatan pelaksanaan peledakan.



Gambar 1. Bagan alir

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Standar kegiatan keselamatan adalah suatu standar atau metode yang dapat digunakan untuk menyampaikan informasi bagi karyawan atau pekerja ataupun *stakeholder* sehingga mereka dapat dengan aman dan nyaman melaksanakan tanggung jawab mereka serta dapat terhindar dari penyakit atau kecelakaan kerja, dan dapat mencapai tujuan ataupun target yang telah direncanakan oleh perusahaan. Standar kegiatan disusun dengan harapan agar pekerjaan dapat berjalan dengan aman.

Checklist standar keselamatan kerja pekerjaan pengangkutan bahan peledak

Berikut adalah standar keselamatan kerja pada pekerjaan pengangkutan bahan peledak dalam PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3, Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Te knik Pertambangan Yang Baik dan Juknis Nomor 309.K/30/DJB/2018 Tabel 2.

Tabel 2. *Checklist* standar keselamatan kerja pekerjaan pengangkutan bahan peledak

No	*Checklist* Standar Keselamatan Kerja Pekerjaan Pengangkutan Bahan Peledak
1	Pengangkutan bahan peledak dengan menggunakan kendaraan khusus pengangkutan bahan peledak antara lain, *rotary lamp* berwarna merah, bendera merah, memiliki tulisan "awas bahan peledak" di sisi sebelah kanan, kiri dan belakang, bak pengangkut bukan merupakan konduktor listrik (bilamana merupakan konduktor listrik harus dilapisi bahan isolator dan dapat ditutup, detonator harus ditempatkan dalam tempat khusus yang bukan merupakan konduktor listrik dan terpisah satu dengan lainnya, tersedia alat pemadam api ringan (APAR), serta alat atau kendaraan tidak digerakkan oleh listrik.
2	Harus ada petugas keamanan dan personil peledakan yang ikut dalam perjalanan pengawalan saat pengangkutan bahan peledak dari gudang ke lokasi peledakan, begitu juga sebaliknya bilamana terdapat bahan peledak tersisa yang akan dikembalikan ke gudang bahan peledak dari lokasi peledakan.

No	*Checklist* Standar Keselamatan Kerja Pekerjaan Pengangkutan Bahan Peledak
3	*Rotary lamp* dan lampu bahaya pada kendaraan pengangkutan harus selalu menyala selama pengangkutan bahan peledak.
4	Unit pengawal bahan peledak harus mengaktifkan sirene, lampu rotari, lampu depan, dan lampu *hazard* dengan posisi di depan unit pengangkut pada jarak aman yang telah disesuaikan dengan keselamatan.
5	Selama kegiatan berlangsung dilarang : merokok, menyalakan api, bercanda dan melakukan tindakan yang dapat membahayakan keselamatan diri sendiri ataupun orang lain.

Checklist standar keselamatan kerja pekerjaan drilling

Berikut adalah standar keselamatan kerja pada pekerjaan *drilling* dalam PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3, Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan Juknis Nomor 309.K/30/DJB/2018 pada Tabel 3.

Tabel 3. Checklist standar keselamatan kerja pekerjaan *drilling*

No	*Checklist* Standar Keselamatan Kerja Pekerjaan *Drilling*
1	*Drill & Blasting Foreman* harus memeriksa lubang hasil bor yang nantinya digunakan sebagai wadah untuk memasukkan bahan peledak dan detonatornya serta memeriksa jumlah lubang, jarak antar lubang, dan kedalamannya.
2	Pekerja pelaksanaan *drilling* dilengkapi dengan APD (Alat Pelindung Diri) yang dipersyaratkan: Helm, *Safety shoes*, *safety glasses*, sarung tangan, masker debu.
3	Sebelum dilaksanakan *drilling* dilakukan instalasi *safety line*
4	Tidak ada orang di sekitar alat bor.
5	Pastikan kedalaman bor sesuai dan mengukur kedalaman bor dengan tongkat ukur (*stick steaming).*

Checklist standar keselamatan kerja pekerjaan charging dan steaming

Berikut adalah standar keselamatan kerja pada pekerjaan *charging* dan *steaming* dalam PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3, Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan Juknis Nomor 309.K/30/DJB/2018 pada Tabel 4.

Tabel 4. Checklist standar keselamatan kerja pekerjaan *charging* dan *steaming*

No	*Checklist* Standar Keselamatan Kerja Pekerjaan *charging* dan *steaming*
1	Distribusikan bahan peledak dynamit, detonator, dan ammoniumnitrate fuel oil (ANFO) di dekat lubang ledak
2	Pekerja pelaksanaan *charging* dilengkapi dengan APD (Alat Pelindung Diri) yang dipersyaratkan: helm, *safety shoes*, *safety glasses*, sarung tangan, dan masker debu.
3	Pastikan tempat kerja telah aman dari setiap kendaraan maupun alat berat.
4	*Charging* dilaksanakan saat cuaca cerah dan tidak ada petir.
5	Gunakan tongkat ukur untuk mengetahui sisa kolom penyumbatan.
6	Proses *charging* turut diawasi oleh pihak berwajib (pihak kepolisian).
7	Pemberian tanda berupa pita pada setiap lubang sebagai penanda lubang kering dan lubang basah serta diberikan tanda status ketinggian air dan kedalaman lubang.
8	Jika terdapat air di dalam lubang, bahan peledak terutama untuk AN / FO harus dikemas dengan plastik kemudian ujung plastik diikat kuat.
9	Proses *steaming* menggunakan tongkat untuk memasukkan material keras yang dipadatkan ke dalam lubang dan memastikan ujung *in hole delay* tidak masuk.
10	Bila terdapat bahan peledak yang tersisa atau tidak terpakai harus dikembalikan ke pusat distribusi (gudang) bahan peledak.
11	Selama kegiatan berlangsung dilarang : merokok, menyalakan api, bercanda dan melakukan tindakan yang dapat membahayakan keselamatan diri sendiri ataupun orang lain.

Checklist standar keselamatan kerja pekerjaan tie up

Berikut adalah standar keselamatan kerja pada pekerjaan *tie up* dalam PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3, Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan Juknis Nomor 309.K/30/DJB/2018 pada Tabel 5.

Tabel 5. *Checklist* standar keselamatan kerja pekerjaan *tie up*

No	***Checklist* Standar Keselamatan Kerja Pekerjaan *Tie Up***
1	Ujung *Det-cord/Tube In Hole Delay* / kabel Elektrik Detonator dirapikan (tidak terlilit) untuk memudahkan pelaksanaan perangkaian (*Tie up*).
2	Dilakukan pemeriksaan rangkaian sambungan tersambung sempurna (dengan isolator atau isolasi secara sempurna).
3	Periksa ohm setiap detonator kabel listrik dan kabel primer menggunakan ohm meter.
4	Panjang kabel yang digunakan harus mencukupi sampai ke shelter minimum 300m
5	Detonator dipasang setelah semua manusia dan alat mekanis sudah berada pada radius aman.
6	Selama kegiatan berlangsung dilarang: merokok, menyalakan api, bercanda dan melakukan tindakan yang dapat mengancam keselamatan pribadi ataupun orang lain.

Checklist standar keselamatan kerja pekerjaan peledakan

Berikut adalah standar keselamatan kerja pada pekerjaan peledakan dalam PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3, Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan Juknis Nomor 309.K/30/DJB/2018 pada Tabel 6.

Tabel 6. *Checklist* standar keselamatan kerja pekerjaan peledakan

No	***Checklist* Standar Keselamatan Kerja Pekerjaan Peledakan**
1	Pelaksanaan peledakan turut didampingi oleh pihak kepolisian.
2	Juru Ledak harus memastikan area peledakan dalam kondisi steril dari manusia, kendaraan dan alat berat.
3	Barikade harus ditempatkan di jalan akses untuk memastikan tidak ada orang masuk ke area peledakan.
4	Evakuasi alat atau pemindahan alat berat di sekitar lokasi peledakan dengan jarak >300 m dan Evakuasi semua orang keluar dari zona peledakan dengan jarak >500 m.
5	Semua jalan masuk menuju lokasi diberi pintu atau rumah jaga.
6	Pasang dua bendera pemblokiran radius: bendera kuning dengan jarak aman 300 meter untuk unit atau alat berat dan bendera hijau dan merah dengan jarak aman 500 meter untuk orang.
7	Letak *shelter* dalam minimal 200 m dan tidak berada di posisi *free face* peledakan untuk menghindari *flying rock/boulder.*
8	Tersedia alat *sirine* yang akan digunakan sebagai sinyal peringatan dan pemberitahuan akan dilaksanakannya peledakan.
9	Setelah peledakan, *blaster* harus melakukan inspeksi lokasi ledakan terhadap kemungkinan adanya gagal ledak (*misfire*).

Dari ketiga peraturan yaitu PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan SMK3, Kepmen nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan Juknis Nomor 309.K/30/DJB/2018 yang digunakan sebagai data dalam penelitian ini, didapatkan hasil lima kelompok *checklist* standar pekerjaan peledakan. Kelompok tersebut yaitu pekerjaan pengangkutan bahan peledak, pekerjaan *drilling,* pekerjaan *charging* dan *steaming,* pekerjaan *tie up* dan pekerjaan peledakan.

D. KESIMPULAN

Checklist standar keselamatan kerja pelaksanaan peledakan (*blasting)* pada pekerjaan galian *main dam* di proyek Bendungan Bener Purworejo didapatkan lima kelompok pekerjaan. Kelima kelompok pekerjaan tersebut adalah c*hecklist* standar keselamatan kerja pekerjaan pengangkutan bahan peledak, c*hecklist* standar keselamatan kerja pekerjaan *drilling,* c*hecklist* standar keselamatan kerja pekerjaan *charging* dan *steaming,* c*hecklist* standar keselamatan kerja pekerjaan *tie up,* dan c*hecklist* standar keselamatan kerja pekerjaan peledakan.

DAFTAR PUSTAKA

Anggara, R. (2017). "Teknik Peledakan". Balai Pendidikan Dan Pelatihan Tambang Bawah Tanah, No.

009/32.02/BDT/2017

Arumsari F. (2017). "Pengembangan Checklist Penilaian Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Dan Kesiapan Mitigasi Bahaya Pada Gedung Perguruan Tinggi". Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

Demiris, dkk. (2019). "Defining and analyzing the problem. In Behavioral Intervention Research in Hospice and Palliative Care". Academic Press, London. doi:10.1016/B978-0-12-814449-7.00003-X

Fani, Z. A. dan Rukmana, E.N. (2022). "Penelitian penerapan SLiMS dalam pengolahan perpustakaan pada database Google Scholar: sebuah narrative literature review". Journal of Library and Information Science, Vol. 2(1), 29- 42, Januari 2022 ISSN 2775-0043

Gondosiswanto, F. C. dan Andi. (2017). "Analisis Unsafe Act Dan Unsafe Condition Pada Proyek Pembangunan Gedung X". Dimensi Utama Teknik Sipil, Vol.4, No.1

Hidayat, W. dkk. (2022). "Pelaksanaan Kegiatan Peledakan Dalam Upaya Pemberaian Over Burden (OB)". Jurnal Geologi Pertambangan, Vol. 28, No. 01

Ibrahim. (2020). "Analisis Penerapan System Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (SMK3) Pada Proyek Konstruksi Gedung". Tesis. Universitas Islam Indonesia

Kartika, W. dan Sukindrawati, B. (2021). "Analisa Visual Keselamatan Kerja Pada Pekerja Konstruksi Galian Tanah". Agregat. Vol. 6, No.1

Republik Indonesia. (2018). Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Keputusan Direktur Jenderal Mineral Dan Batubara Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 309.K/30/DJB/2018 Tentang Petunjuk Teknis Keselamatan Bahan Peledak Dan Peledakan Serta Keselamatan Fasilitas Penimbunan Bahan Bakar Cair Pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral Dan Batubara.

Republik Indonesia. (2018). Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.

Republik Indonesia. (2015). Menteri Ketenagakerjaan republik Indonesia. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2015 Tentang Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Listrik Di Tempat Kerja. Republik Indonesia. (2012). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 Tentang Penerapan

Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja.

Republik Indonesia. (1970). Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja.
Wirawan. (2015). "Manajemen Sumber Daya Manusia Indonesia". PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.

ANALISIS RISIKO PADA PELAKSANAAN KONSTRUKSI DENGAN SISTEM KONTRAK *DESIGN AND BUILD*

Chairunnisa V Gobel[1*], Sarwidi[2] dan Albani Musyafa'[3]
[1*]Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta Email: ichaagobel@gmail.com (Corresponding Author)
[2]Departemen Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta Email: sarwidi@uii.ac.id
[3]Departemen Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta Email: albani.musyafa@uii.ac.id

ABSTRAK

Mengacu pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 12 Tahun 2017 tentang Standar dan Pedoman Pengadaan Pekerjaan Konstruksi Terintegrasi Rancang dan Bangun atau Design and build (DB) merupakan salah satu metode alternatif pengadaan (procurement) di mana tahap perencanaan dan konstruksi berada dibawah satu kontrak. Keuntungan dari penggunaan metode design and build ini berpotensi mempersingkat waktu dan mengurangi biaya proyek (Aandahla dkk., 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabel risiko kontrak design and build, menganalisis risiko tinggi dan responnya terhadap kontrak design and build, serta menentukan respon dari risiko tinggi kontrak design and build. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dengan survei kuesioner dan wawancara, sedangkan data sekunder diperoleh dari profil pekerjaan dan dokumen pendukung lainnya seperti studi terdahulu dan ISO 31000:2018. Teknik analisis data menggunakan metode kualitatif yaitu membandingkan teori dan lapangan. Teori yang digunakan yaitu ISO 31000:2018 dan lapangan merupakan hasil dari penyebaran kuesioner dan wawancara. Hasil penelitian menunjukkan identifikasi risiko yang terjadi terdapat 32 variabel risiko yang berasal dari studi literatur dan risiko tambahan yang didapatkan dari kuesioner yang dibagikan kepada responden, terdapat risiko tinggi "high risk" sebanyak 14 variabel dengan risiko respon risiko terhadap tingkat risiko tinggi "high risk" sebagian besar memiliki respon risiko retention sebanyak 57%, reduction 35%, dan transfer 7%.

Kata kunci: *design and build*, manajemen konstruksi, risiko

A. PENDAHULUAN

Peran sektor infrastruktur merupakan aspek yang penting dalam pencapaian pembangunan baik dalam bidang sosial maupun bidang ekonomi. Pencapaian pembangunan di bidang ekonomi salah satunya yaitu pada sektor pariwisata. Kegiatan pariwisata merupakan salah satu sektor yang diharapkan dapat memberikan kontribusi yang cukup terhadap perekonomian negara. Undang-Undang No. 10 Tahun 2009 menyebutkan bahwa keberadaan objek wisata pada suatu daerah dapat meningkatkan pendapatan daerah, meningkatkan taraf hidup masyarakat dan memperluas kesempatan kerja, meningkatkan rasa cinta lingkungan serta melestarikan alam dan budaya yang ada. Salah satu tempat wisata yaitu Taman Mini Indonesia Indah (TMII). Sejak Januari 2022 TMII mulai renovasi dengan tujuan menjadi tempat destinasi wisata yang lebih aman, nyaman, dan sehat. Taman Mini Indonesia Indah (TMII) merupakan suatu kawasan taman wisata bertema budaya Indonesia dengan luas kurang lebih 150 hektar atau 1,5 kilometer persegi. TMII merupakan simbol kebudayaan dan kekayaan bangsa Indonesia, yang mencakup berbagai aspek kehidupan sehari-hari masyarakat 34 provinsi di Indonesia yang ditampilkan dalam Anjungan Daerah berarsitektur tradisional, serta menampilkan aneka busana, tarian dan tradisi daerah. Setelah beroperasi selama

44 tahun, pemerintah mengambil alih pengelolaan berdasarkan Perpres Nomor 19 Tahun tentang Pengelolaan Taman Mini Indonesia Indah (TMII) yang kemudian melakukan revitalisasi bersamaan dengan momentum dipilihnya Indonesia sebagai tuan rumah penyelenggaraan Presidensi G-20. Mengingat kebutuhan yang mendesak pada pekerjaan revitalisasi, maka penyelenggaraan revitalisasi dilakukan dengan metode *Design and build*.

Mengacu pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 12 Tahun 2017 tentang Standar dan Pedoman Pengadaan Pekerjaan Konstruksi Terintegrasi Rancang dan Bangun atau *Design and build* (DB) merupakan salah satu metode alternatif pengadaan (*procurement*) di mana tahap perencanaan dan konstruksi berada dibawah satu kontrak. Selama dua dekade terakhir, tren penggunaan Kontrak *Design and build* mulai meningkat di kalangan *owner* dalam pengembangan dan penerapan inovasi (Lenderink, dkk 2022). Keuntungan dari penggunaan metode *design and build* ini berpotensi mempersingkat waktu dan mengurangi biaya proyek (Aandahla, dkk 2017).

Yunianto, dkk (2014) melakukan penelitian terkait penerapan *constructability* dengan membandingkan kontrak konvensional dan kontrak *design and build* pada proyek konstruksi bangunan gedung menghasilkan bahwa siklus hidup pada proyek Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro memerlukan waktu ± 28 bulan dengan sistem kontrak konvensional (*design bid build*) kemudian dimodifikasi memakai sistem rancang bangun (*design and build*) memerlukan waktu ± 9 bulan, artinya memiliki jeda kosong (*waste time*) ± 16 bulan. Sedangkan proyek gedung MG Suites telah memakai sistem rancang bangun sehingga pengendalian waktu dapat berjalan optimal, meminimalisir *waste time*, dan desain yang dihasilkan lebih *construtable*. Namun, dalam penelitian Alaydrus dan Hardjomuljadi (2018) menyatakan bahwa pada penerapan metode *design and build* memiliki risiko diantaranya adalah keterlambatan konstruksi dikarenakan adanya keterlambatan kontraktor dalam menyelesaikan desain tepat pada waktunya. Menurut (Dewi, dkk, 2017), dalam penelitiannya menyatakan bahwa terdapat kendala dalam menerapkan metode *design and build* yaitu aspek petunjuk pelaksanaan, kapabilitas klien dan *stakeholders* serta adaptasi yang masih kurang sehingga perlu adanya penyesuaian dari aspek regulasi, melakukan *training, workshop* serta pelatihan mengenai metode *design and build*. Kemudian, Putra, ddk (2021) melakukan penelitian mengenai evaluasi risiko pada pembangunan gedung RSIA Bunda di Bali Terdapat risiko dominan terhadap biaya yang mengalami pembengkakan biaya sebesar ± 10 M dan keterlambatan waktu sebanyak 117 hari.

Menurut Soeharto (2001) risiko adalah faktor-faktor akibat yang dapat mempengaruhi pencapaian tujuan, sehingga terjadi konsekuensi yang tidak diinginkan. Dampak risiko dapat mempengaruhi produktivitas, prestasi, kualitas, waktu dan anggaran proyek. Risiko merupakan suatu hal yang tidak akan terlepas dari pelaksanaan proyek konstruksi tidak baik dari risiko baik risiko besar maupun risiko kecil. Risiko merupakan faktor yang merugikan proyek diperhitungkan dari tahap awal investasi ketika proses tender dimenangkan untuk kontrak. Tingkat risiko yang diidentifikasi pada suatu kontrak konstruksi yang mempengaruhi pengambilan keputusan untuk menerima kontrak atau tidak (Dziadosz, dkk 2015). Tujuan penerapan manajemen risiko diperlukan untuk kelancaran dan keberhasilan suatu proyek, di mana semakin kecilnya potensi risiko maka akan menguntungkan proyek baik dari segi biaya maupun dari segi pembangunannya. Semakin besar skala proyek maka semakin besar pula risiko yang dihadapi dan akan menghambat pelaksanaan proyek bila tidak ditangani dengan benar oleh pihak pelaksana proyek. Pencapaian tujuan fungsional suatu proyek konstruksi, diperlukan suatu sistem manajemen risiko yang meliputi

identifikasi, analisis, respon, dan *monitoring* terhadap berbagai risiko yang mungkin terjadi selama masa pembangunan (Harahap, dkk, 2010). Menurut Shabani dkk (2022), manfaat utama dari proses manajemen risiko diantaranya efisiensi terhadap penetapan harga proyek yang rasional, dapat mempertimbangkan tantangan yang terjadi dalam siklus hidup proyek, menerapkan manajemen risiko yang efektif meningkatkan kemungkinan penyelesaian dan keberhasilan proyek dengan jumlah kerugian yang minimal, penilaian risiko yang lebih sistematis dan terperinci, rekam jejak perusahaan konstruksi yang mengesankan dan sistem manajemen risiko yang ditunjukkan akan meningkatkan peluang untuk memenangkan kontrak potensial dari pemilik proyek yang sama karena reputasi yang baik diperoleh perusahaan, serta dapat meningkatkan komunikasi antara pihak proyek sehingga proses manajemen risiko dapat efektif.

Dalam kaitannya risiko dengan penerapan metode *design and build* pada pekerjaan revitalisasi TMII memiliki waktu penyelesaian pekerjaan yang cukup singkat yaitu 8 bulan. Proyek ini merupakan kebutuhan yang mendesak sehingga *stakeholder* harus mampu menyelesaikan pekerjaan tepat waktu. Ketepatan dalam menerapkan proses manajemen risiko dalam suatu proyek merupakan kunci keberhasilan dalam pengelolaan risiko. Manajemen risiko merupakan suatu usaha untuk mengetahui, menganalisis, serta mengendalikan risiko dalam setiap kegiatan dengan tujuan untuk memperoleh efektivitas dan efisiensi (Darmawi, 2016).

Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabel risiko kontrak design and build, menganalisis risiko tinggi dan responnya terhadap kontrak design and build, serta menentukan respon dari risiko tinggi kontrak design and build.

Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai referensi untuk para pihak yang terlibat pekerjaan menggunakan kontrak design and build yang ditinjau dari perspektif manajemen konstruksi

B. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis risiko yang terjadi selama pelaksanaan pekerjaan revitalisasi Taman Mini Indonesia Indah (TMII).

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dengan survei kuesioner dan wawancara, sedangkan data sekunder diperoleh dari profil pekerjaan dan dokumen pendukung lainnya seperti studi terdahulu dan ISO 31000:2018.

Teknik analisis data menggunakan metode kualitatif yaitu membandingkan teori dan lapangan. Teori yang digunakan yaitu ISO 31000:2018 dan lapangan merupakan hasil dari penyebaran kuesioner dan wawancara.

Kriteria responden

Responden penelitian ini yaitu personel manajemen konstruksi berpengalaman sebagai tenaga ahli dalam pekerjaan konstruksi bangunan maupun pembangunan kawasan/ lingkungan pada pekerjaan revitalisasi Taman Mini Indonesia Indah (TMII) serta memahami teknis pelaksanaan pekerjaan.

Tahapan penelitian

1. Identifikasi Risiko, merupakan risiko yang didapat dari penelitian terdahulu yang terkait dengan kontrak design and build. Adapun variabel-variabel risiko dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variabel risiko

No	Variabel Risiko	Referensi
1	Kurangnya dokumen rancangan awal	Alaydrus dan Hardjomuljadi (2018)
2	Kesalahan dalam estimasi biaya	Alaydrus dan Hardjomuljadi (2018)
3	Kesalahan dalam mengestimasi waktu tiap kegiatan pelaksanaan	Umar dan Simanjuntak (2020) & Alaydrus dan Hardjomuljadi (2018)
4	Tata guna lahan yang belum tersedia	Ardian (2021)
5	Adanya perubahan/ pengembangan *design* saat proses pelaksanaan	Umar dan Simanjuntak (2020)
6	Rendahnya kualitas perencanaan	Umar dan Simanjuntak (2020)
7	Tidak sesuainya jumlah SDM dengan aktivitas pekerjaan yang ada	Umar dan Simanjuntak (2020)
8	Tidak efektifnya komunikasi antar personel	Umar dan Simanjuntak (2020)
9	Ketidakmampuan dalam melakukan pembagian tugas dan tanggung jawab	Umar dan Simanjuntak (2020)
10	Tidak menerapkan prosedur Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)	Umar dan Simanjuntak (2020)
11	Realisasi pelaksanaan pekerjaan yang tidak sesuai dengan perencanaan	Umar dan Simanjuntak (2020)
12	Sulitnya kontraktor dalam mendapatkan material dan alat	Umar dan Simanjuntak (2020)
13	Kondisi dan lingkungan tapak lokasi tidak sesuai dengan dokumen rancangan awal	Umar dan Simanjuntak (2020)
14	Ketidakmampuan dalam mengolah inovasi/ teknologi yang ada	Umar dan Simanjuntak (2020) & Ardian (2021)
15	Kurang optimal dalam penyusunan metode pekerjaan	Umar dan Simanjuntak (2020)
16	Peralatan yang digunakan tidak layak sehingga tidak dapat digunakan untuk penyelesaian pekerjaan sesuai dengan jadwal	Umar dan Simanjuntak (2020)
17	Peralatan yang kurang/ tidak lengkap	Umar dan Simanjuntak (2020) & Ardian (2021)
18	Keterlambatan pengiriman peralatan	Umar dan Simanjuntak (2020)
19	Kesalahan penempatan peralatan	Ardian (2021)
20	Kesulitan akses alat berat ke lokasi pekerjaan	Lisananda (2021)
21	Kerusakan material	Lisananda (2021)
22	Material tidak sesuai dengan spesifikasi	Lisananda (2021)
23	Keterlambatan material	Lisananda (2021)
24	Kehilangan material/ pencurian material	Lisananda (2021)
25	Sulitnya mendapatkan material	Ardian (2021)
26	Persiapan dan persetujuan desain yang terlambat	Lisananda (2021)
27	Cuaca yang buruk	Ardian (2021)
28	Bencana alam	Ardian (2021)
29	Perubahan kebijakan pemerintah	Umar dan Simanjuntak (2020) & Ardian (2021)
30	Adanya wabah penyakit	Umar dan Simanjuntak (2020)

No	Variabel Risiko	Referensi
31	Kenaikan harga	Alaydrus dan Hardjomuljadi (2018) & Ardian (2021)
32	Keterlambatan pembayaran	Alaydrus dan Hardjomuljadi (2018)
	Tambahan risiko oleh responden:	
33	Perubahan desain atas permintaan *owner*	
34	Ketentuan Peraturan tentang *design and build* yang masih tindih dengan peraturan harga satuan	
35	Tata cara audit proyek *design and build* yang masih rancu dengan audit harga satuan	
36	RAB terlalu dimainkan kontraktor	
37	Spesifikasi material terlalu diatur kontraktor	
38	Harga dasar material banyak mark up data dari kontraktor	

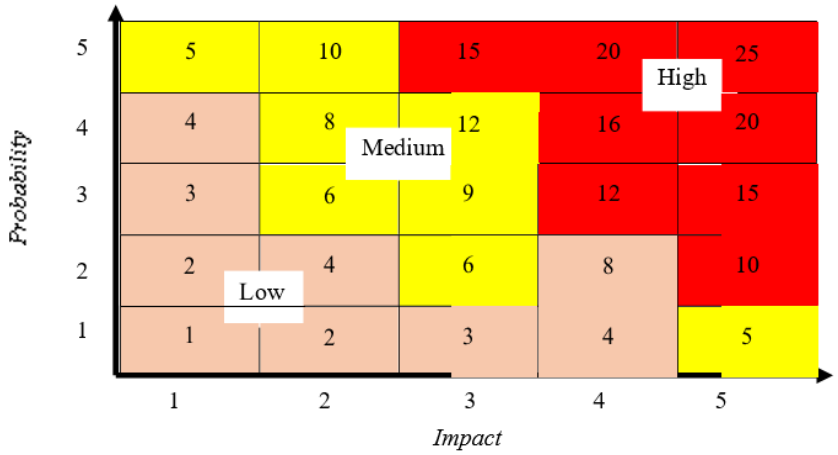
(**Sumber:** Alaydrus dan Hardjomuljadi (2018), Umar dan Simanjuntak (2020), Lisananda (2021), Ardian (2021)).

1. Analisis Risiko, menggunakan skala likert kemudian dianalisis menggunakan metode Severity Index (SI). Severity Index (SI) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^{4} a_i x_i}{4\sum_{i=0}^{4} x_i} \times 100\% \quad \ldots\ldots (1)$$

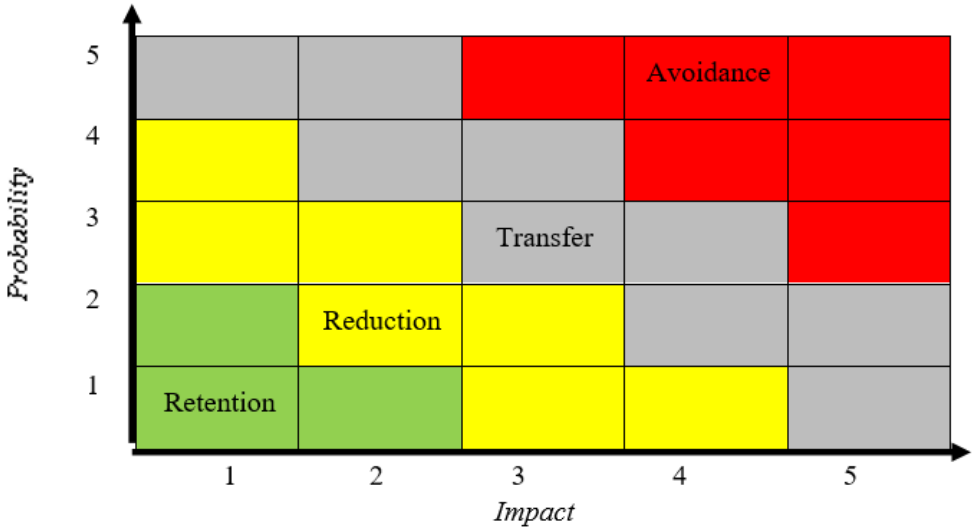
dengan ai = konstanta penilaian, x_i = frekuensi responden, i = 0, 1, 2, 3, 4,…. N, x_0 = 0, a_1 = 1, a_2 = 2, a_3 = 3, a_4 = 4, x_0 = frekuensi responden "sangat rendah" maka a_0 = 0, x_1 = frekuensi responden "rendah" maka a_1 = 1, x_2 = frekuensi responden "cukup tinggi" maka a_2 = 2, x_3 = frekuensi responden "tinggi" maka a_3 = 3, x_4 = frekuensi responden "sangat tinggi" maka a_4 = 4.

2. Evaluasi Risiko, digunakan untuk mengetahui strategi yang dilakukan pada suatu risiko yang dominan dilakukan wawancara respon risiko kepada responden. Pada ISO 31000:2018 evaluasi risiko menggunakan matriks yang menghubungkan antara tingkat risiko kemungkinan terjadinya risiko (*probability*) dan besarnya dampak risiko (*impact*) tersebut. Matriks ini merupakan analisis kualitatif bertujuan untuk memberikan level risiko pada setiap risiko yang terjadi. Level risiko terbagi atas 3 tingkat yaitu high, medium, dan low. Matriks tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Matriks probabilitas dan dampak terhadap evaluasi risiko
(**Sumber:** Suseno dan Setiadji (2015) dan Meylani (2018))

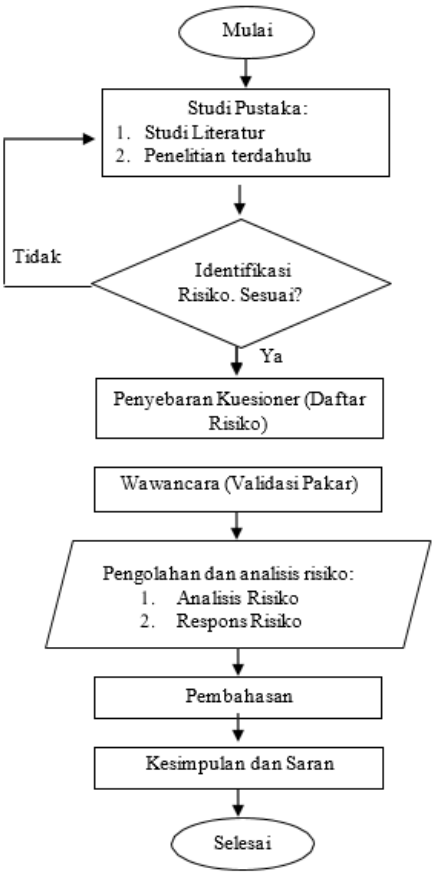
2. Perlakuan Risiko, dilakukan tahapan terhadap perlakuan risiko yang dikategorikan dalam empat, yaitu *risk retention*, *risk reduction*, *risk transfer*, dan *risk avoidance* menggunakan matriks hubungan kemungkinan terjadinya risiko (*probability*) dan besarnya dampak risiko (*impact).* Matriks perlakuan risiko dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Matriks probabilitas dan dampak terhadap perlakuan risiko
(**Sumber:** Rodhi (2017))

Bagan alir penelitian

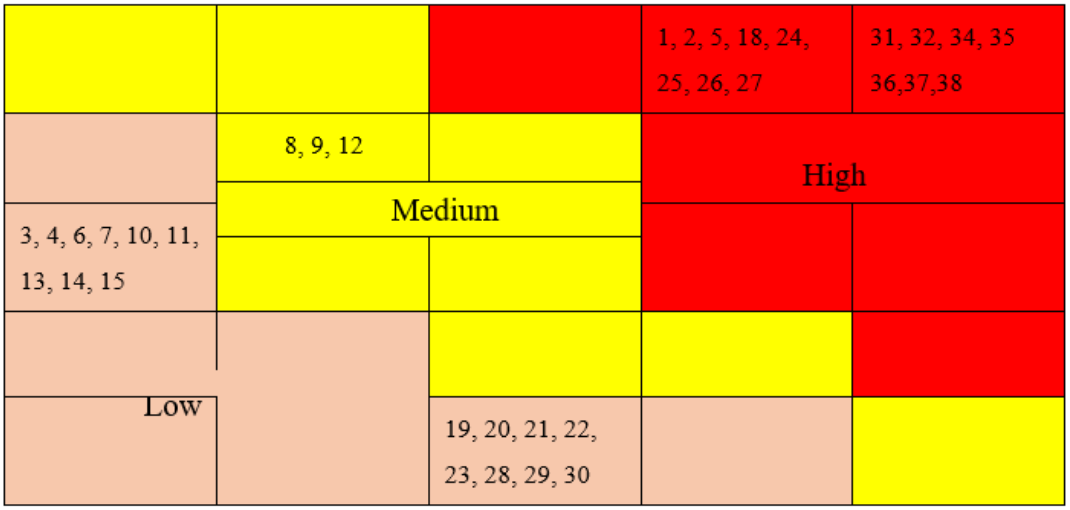
Bagan alir penelitian atau *flowchart* penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Bagian Alir Tahapan Penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil identifikasi variabel risiko yang telah disusun berdasarkan hasil penelitian terdahulu terdapat risiko sebanyak 32 risiko dan 6 risiko tambahan. Kemudian dilakukan evaluasi risiko berdasarkan kategori risiko yang dituangkan ke dalam matriks risiko yang menunjukkan hubungan antara tingkat risiko kemungkinan terjadinya peristiwa risiko dan dampak risiko tersebut. Kategori risiko terbagi atas 3 yaitu high risk, medium risk, dan low risk. Kategori risiko berdasarkan hasil wawancara oleh responden dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Matriks risiko
(**Sumber:** Suseno dan Setiadji (2015) dan Meylani (2018))

Berdasarkan Gambar 4 diketahui terdapat 16 risiko "high risk", 3 risiko "medium risk", dan 17 risiko "low risk". Pada kategori "high risk" sebanyak 16 risiko yaitu kurangnya dokumen rancangan awal, kesalahan dalam estimasi biaya, adanya perubahan/pengembangan design saat proses pelaksanaan, keterlambatan pengiriman peralatan, kehilangan material/pencurian material, sulitnya mendapatkan material, persiapan dan persetujuan desain yang terlambat, cuaca yang buruk, kenaikan harga, keterlambatan, perubahan atas permintaan owner, ketentuan Peraturan tentang *design and build* yang masih tindih dengan peraturan harga satuan, tata cara audit proyek *design and build* yang masih rancu dengan audit harga satuan, RAB terlalu dimainkan kontraktor, spesifikasi material terlalu diatur kontraktor, dan harga dasar material banyak di-mark up data dari kontraktor.

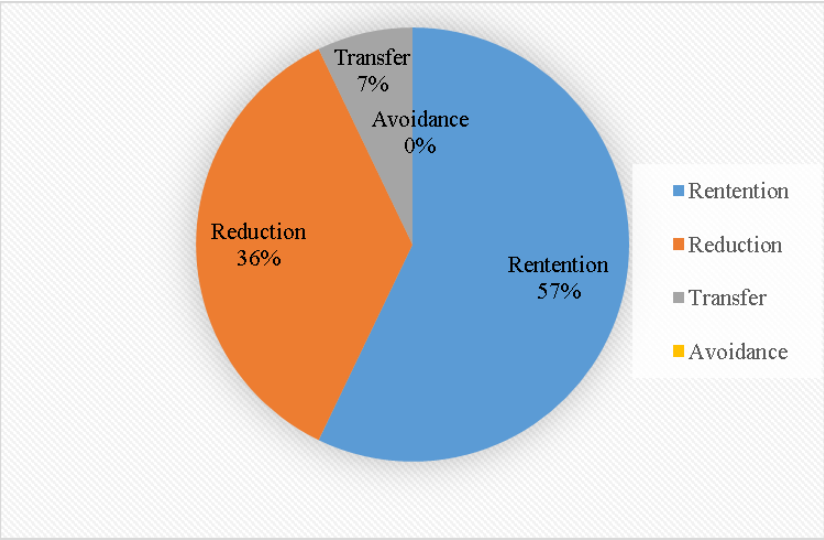
Perlakuan risiko berdasarkan tingkat risiko "high risk"

Terdapat perbedaan antara perlakuan risiko menggunakan ISO: 31000 dan hasil wawancara. Hasil perlakuan risiko berdasarkan tingkat risiko "High risk" hasil wawancara dikelompokkan seperti pada Tabel 2 dan Gambar 5 berikut.

Tabel 2. Hasil respon risiko berdasarkan tingkat risiko "*High risk*"

Respon Risiko	Risiko Berdasarkan Tabel	Risiko Berdasarkan Wawancara
Retention		1, 2, 5, 26, 33, 36, 37, 38
Reduction		18, 24, 25, 34, 35
Transfer		27
Avoidance	1, 2, 5, 18, 24, 25, 26, 27, 33, 34, 35, 36, 37, 38	

(**Sumber**: Hasil Perhitungan, 2023)



Gambar 5. Hasil respon risiko berdasarkan tingkat risiko "*high risk*"
(**Sumber:** Hasil Perhitungan, 2023)

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 5 menurut *expert* dari hasil wawancara, respon risiko dengan tingkat risiko "*high risk*" sebagian besar memiliki respon risiko *retention* sebanyak 57%. Berbeda dengan tabel respon risiko ISO 31000 di mana respon risiko *avoidance* sebanyak 100%, dikarenakan risiko yang diterima pada saat pelaksanaan pekerjaan revitalisasi Taman Mini Indonesia Indah (TMII) tim manajemen konstruksi melakukan tindakan mitigasi yaitu melakukan koordinasi dengan *stakeholder* agar risiko dapat dihindarkan atau dikurangi. Risiko perubahan/ pengembangan desain saat proses pelaksanaan mitigasi yang dilakukan yaitu melakukan koordinasi dengan pihak *owner* terkait desain yang akan dilakukan perubahan dan meminta kepada *owner* agar dapat mencantumkan justifikasi teknis dalam perubahan desain tersebut agar dapat dilakukan koordinasi lanjutan dengan pihak pelaksana. Seperti halnya pada penelitian Suharyanto dan Simanjuntak (2022) menilai risiko perubahan desain menyebabkan perubahan pekerjaan dari rencana semula merupakan risiko dominan. Risiko pengembangan desain merupakan hal yang terjadi di setiap pekerjaan menggunakan *system design and build* hal ini dikarenakan terdapat kebutuhan yang dinamis seiring dengan perkembangan kondisi *existing* pekerjaan. Menurut tim Manajemen Konstruksi segala risiko dapat dihindarkan atau dialihkan dengan cara berkoordinasi dengan baik kepada *stakeholder* agar tujuan pekerjaan yaitu sesuai waktu, biaya dan mutu dapat tercapai.

D. KESIMPULAN

Risiko merupakan kejadian yang mungkin terjadi pada pelaksanaan pekerjaan. Hasil identifikasi risiko yang terjadi terdapat 32 variabel risiko yang berasal dari studi literatur dan 6 risiko tambahan yang didapatkan dari kuesioner yang dibagikan kepada responden.

Risiko yang memiliki tingkat risiko tinggi sebanyak 16 variabel risiko, tingkat risiko sedang sebanyak 3 variabel, dan risiko rendah sebanyak 17 variabel risiko. Respon risiko terhadap tingkat risiko tinggi "high risk" sebagian besar memiliki respon risiko retention sebanyak 57%, reduction 35%, dan transfer 7%. Berbeda dengan tabel respon risiko ISO 31000 di mana respon risiko *avoidance* sebanyak 100%, dikarenakan risiko yang diterima pada saat pelaksanaan pekerjaan revitalisasi Taman Mini Indonesia Indah (TMII) tim manajemen konstruksi melakukan tindakan mitigasi yaitu

melakukan koordinasi dengan stakeholder agar risiko dapat dihindarkan atau dikurangi. Menurut tim Manajemen Konstruksi segala risiko dapat dihindarkan atau dialihkan dengan cara berkoordinasi dengan baik kepada stakeholder agar tujuan pekerjaan yaitu sesuai waktu, biaya dan mutu dapat tercapai.

Saran

Adapun saran yang diharapkan dalam penelitian selanjutnya, yaitu:

1. melakukan penelitian lanjutan terkait risiko pada pekerjaan design and build dengan melibatkan responden yang dari perspektif pelaksana yaitu kontraktor, dan
2. perlu dilakukan pengaruh dari risiko yang terjadi terhadap biaya, dan waktu penyelesaian pekerjaan.

DAFTAR PUSTAKA

Aandahla, S. H., Wondimu, P. A., Lohne, J., dan Ola Laedre, O. (2017). "Managing the room of maneuver in Design Build Contracts". A Comparative Study of Norwegian Road Projects, Procedia Engineering, Volume 196 2017 Pages 187-194.

Alaydrus, A. M., dan Sarwono Hardjomuljadi, S. (2018). "Analisis Faktor Keterlambatan dimulainya Pelaksanaan Proyek Konstruksi pada Model Kontrak Rancang Bangun". Jurnal Konstruksia, Volume 10 Nomor 1.

Ardian, A. S. (2021). "Manajemen Risiko Proyek Perumahan Taman Golf Residence 3". Tesis. Jurusan Magister Teknik Sipil. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Darmawi, H. (2016). Manajemen Risiko Edisi 2. PT Bumi Aksara, Jakarta.

Dewi, A. A. D. P., Diputra, G. A., dan Frederika, A. (2017). "Kendala dalam Penerapan Metode Terintegrasi pada Proyek Konstruksi". Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2 (SeNaTS 2) Tahun 2017 Sanur – Bali 2017.

Dziadosz, A., Tomczyk, A., Kaplinski, O. (2015). "Financial Risk Estimation in Construction Contracts". Procedia Engineering 122 (2015) 120 – 128, Operational Research in Sustainable Development and Civil Engineering - EURO working group meeting and 15th German-Lithuanian-Polish colloquium (ORSDCE 2015), https://www.sciencedirect.com/-science/article/pii/S1877705815031045. Diakes 20 April 2023

Harahap, K., Nurcahyo, C. B., dan Putri, Y. E. (2010). Analisis Risiko pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Nusa Dua – Ngurah Rai – Benoa Bali, (http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-28582-3106100703-Paper.pdf. Diakses 19 Juni 2022).

Lenderink, B., Halman, J., I., M., Boes, J., Voordijk, H., Doree, A., G. (2022). Procurement and Innovation Risk Management: How a Public Client Managed to Realize a Radical Green Innovation in a civil Engineering Project, https://www.sciencedirect.com/-science/article/pii/S1478409222000024. Diakses 21 April 2023.

Lisananda, A. A. (2021). "Manajemen Risiko Konstruksi pada Proyek Pembangunan Perpipaan Air Limbah Berdasar Konsep ISO 31000:2018". Tesis. Jurusan Magister Teknik Sipil. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Meylani, R. (2018). "Analisa Risiko Konstruksi pada Proyek Pembangunan Gedung (Studi Kasus: Pembangunan Rumah Susun Medan)". Tugas Akhir. Fakultas Teknik. Universitas Sumeatera Utara. Medan.

Putra, I., K., B., W., P., Dewi, A., A., D., P., Sudarsana, D., K. (2021). "Evaluasi Risiko Proyek Pembangunan Gedung RSIA Puri Bunda Tabanan- Bali". Jurnal Spektran, Vol 9 No 1 Hal 124-132, e-ISSN: 2302-2590.

Rodhi, N. N. (2017). "Analisa Risiko Proyek Konstruksi terhadap Umur Rencana Konstruksi Jalan Raya". Jurnal Unigoro. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Bojonegoro. Bojonegoro.

Shabani, A., Hasan, D., Saaifan, J., Sabboubeh, H., Eltaip, M., Saidani, M., Gherbal, N. (2022). "Financial Risk Management Within the Contruction Project". Journal of King Saud University – Engineering Sciences, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/-S1018363922000435. Diakses 17 Juli 2022.

Soeharto, I. (2001). Manajemen Proyek (dari Konseptual sampai Operasional). PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta. Suharyanto, A., Simanjuntak, M., R., A. (2020). "Risk Identification of Design and build at School Building Contruction Project in Central Jakarta". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1007, 3rd Tarumanegara International Conference of the Aplications of Technology and Engineering (TICATE).

Suseno, Y.H., Wibowo, M.A., dan Setiadji, B.H. (2015). "Risk Analysis of BOT Scheme on Post-Construction Toll Road". Procedia Engineering 125 (2015) 117-123. Universitas Diponegoro. Semarang.

Yuliana, C. (2017). "Manajemen Risiko Kontrak Untuk Proyek Konstruksi". Rekayasa Sipil, Volume 11 Nomor 1 ISSN 1978-5658.

ANALISIS PERBANDINGAN TINGKAT KEPENTINGAN KRITERIA UNTUK PENENTUAN PRIORITAS PENANGANAN JARINGAN JALAN KABUPATEN

Fajar Juniza[1*], Sarwidi[2], dan Albani Musyafa[3]
[1*]Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta
Email: fajarjuniza10@gmail.com (Corresponding Author)
[2]Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta
Email: sarwidi@uii.ac.id
[3]Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta
Email: albani.musyafa@uii.ac.id

ABSTRAK

Jalan merupakan infrastruktur transportasi yang menjadi tulang punggung kehidupan masyarakat dalam upaya pengembangan ekonomi, sosial, dan budaya. Dasar pemikiran yang melandasi dilakukan studi analisis perbandingan tingkat kepentingan kriteria untuk penentuan prioritas penanganan jaringan jalan di Kabupaten Belitung Timur karena terdapat kerusakan pada jaringan jalan. Masalah ini menjadi hambatan bagi akses masyarakat antar kecamatan yang dapat menghambat perkembangan ekonomi di wilayah kabupaten serta menghambat distribusi barang antar kecamatan dan desa ke pusat kota. Pemerintah Daerah terus melaksanakan program penanganan jalan di kabupaten sesuai dengan Undang-Undang No. 22 tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah. Namun, program ini menghadapi berbagai kendala seperti keterbatasan dana dan kurangnya tenaga kerja profesional. Sehingga, hanya sebagian kecil kebutuhan penanganan jaringan jalan yang dapat ditangani. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan program penanganan jalan secara bertahap dengan mengacu pada prioritas penanganan jalan yang telah ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan urutan prioritas kriteria dalam penanganan jalan kabupaten menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil penelitian didapatkan sebuah pemikiran bahwa dengan menggunakan metode AHP dapat memberikan pemecahan dalam penyelesaian permasalahan pada urusan menentukan urutan tingkat kepentingan untuk mengambil sebuah keputusan, dalam hal ini diambilah subjek permasalahan untuk mendapatkan tingkat urutan kepentingan kriteria dalam penanganan jalan di kabupaten yang belum pernah dilakukan oleh penelitian terdahulu, sehingga dengan dilakukannya penelitian tersebut, diharapkan dapat membantu Pemerintah Daerah dalam pengambilan kebijakan yang tepat dalam urusan penanganan jaringan jalan di kabupaten agar dapat memberikan pelayanan infrastruktur jalan menjadi lebih optimal, yang mana diharapkan dengan itu dapat meningkatkan taraf ekonomi masyarakat wilayah kabupaten.

Kata kunci: *Analitycal Hierarchy Process* (AHP), Kabupaten Belitung Timur, penanganan jalan, penentuan prioritas.

A. PENDAHULUAN

Dalam rangka membangun sistem transportasi yang handal dan berkemampuan tinggi, serta menjaga keamanan, kenyamanan, dan efisiensi dalam mendukung pembangunan, perlu dibina sistem transportasi yang terpadu dan tertib. Hal ini diatur dalam Undang-Undang No. 38 tahun 2004 tentang Jalan. Sistem transportasi yang baik akan memberikan dampak positif terhadap beragam sektor perekonomian, seperti perkebunan, pertanian, perikanan, pertambangan, pariwisata, dan budaya. Oleh sebab itu, penting untuk memberikan perhatian tersendiri pada jalan- jalan yang menghubungkan antar wilayah administrasi dalam suatu kawasan. Jalan-jalan ini menjadi infrastruktur vital yang merupakan tulang punggung kehidupan masyarakat dalam mengembangkan ekonomi, sosial, budaya, dan sektor lainnya. Keberadaan jalan-jalan ini sangat penting dalam pembangunan nasional secara keseluruhan dan pembangunan daerah secara khusus. Untuk

mengatasi kerusakan yang terjadi pada jaringan jalan di Kabupaten Belitung Timur, diperlukan studi analisis perbandingan tingkat kepentingan kriteria. Hal ini menjadi dasar pemikiran dalam menentukan prioritas penanganan jaringan jalan di daerah tersebut. Kerusakan jaringan jalan menjadi penghalang dalam akses masyarakat antar kecamatan, sehingga dapat memperlambat pengembangan ekonomi di Kabupaten Belitung Timur dan menghambat arus barang dan jasa antar kecamatan dan desa ke pusat kota. Pemerintah Daerah terus melaksanakan program penanganan jalan di kabupaten sesuai dengan Undang- Undang No. 22 tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah. Namun, program ini menghadapi berbagai kendala seperti keterbatasan dana dan kurangnya tenaga kerja profesional, sehingga kebutuhan untuk penanganan jaringan jalan hanya sebagian kecil. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi penggunaan anggaran pembangunan daerah untuk penanganan jaringan jalan. Perencanaan program penanganan jaringan jalan harus dilakukan secara bertahap dengan memperhatikan urutan prioritas penanganan jaringan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan urutan prioritas penanganan jaringan jalan kabupaten dengan menggunakan metode *Analitycal Hierarchy Process* (AHP). Kriteria penentuan prioritas ini didasarkan pada penelitian sebelumnya dan hasil wawancara dengan responden. Terdapat 8 kriteria yang digunakan, yaitu kondisi permukaan jalan, jenis permukaan jalan, aksesibilitas, mobilitas, tingkat kemiskinan, kepadatan penduduk, kesenjangan wilayah, dan pembiayaan. Hasil tingkat kepentingan kriteria akan dibandingkan dengan urutan prioritas kriteria yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian terkait penentuan urutan tingkat kepentingan telah dilakukan dengan berbagai macam subjek. Berikut ini adalah penjelasan mengenai beberapa hasil penelitian sebelumnya dengan topik atau masalah yang serupa yang dapat dijadikan referensi pada penelitian yang akan dilakukan.

1. Bike dan Uichang (2023) di dalam penelitiannya yang berjudul Construction of Equipment Evaluation Index System of Emergency Medical Rescue Based on Delphi method and AHP menjelaskan bahwa dengan menggunakan metode AHP, kausalitas setiap indeks dibagi menjadi beberapa grade. Konsultasi pakar dilakukan untuk menilai pentingnya indikator. Skala T.L. Saaty 1–9 digunakan sebagai standar penilaian, yang selanjutnya membentuk matriks penilaian.
2. Kemudian pada penelitian Wubalem (2023) dengan judul Modeling of Land Suitability for Surface Irrigation using AHP Method in Belessa Districts, Northwestern Ethiopia bertujuan untuk menentukan apakah tanah di Belessa cocok untuk irigasi permukaan.
3. Jiang, (2022) dalam penelitian yang berjudul City Readiness for Connected and Autonomous Vehicles: A multi-stakeholder and multi-criteria analysis through AHP menggunakan AHP untuk mengembangkan sistem pembobotan untuk serangkaian kriteria terkait kesiapan kota untuk CAV, dari perspektif berbagai kelompok pemangku kepentingan.
4. Singh dan Nachtnebel (2022) dalam penelitian yang berjudul AHP Application for Reinforcement of Hydropower Strategy in Nepal bertujuan untuk menganalisis implementasi PLTA di Nepal selama beberapa dekade terakhir dan untuk mengelaborasi rekomendasi untuk skala pembangunan PLTA yang paling tepat untuk Nepal.
5. Pushpakumara dan Fernando (2023) dalam penelitian yang berjudul Deterioration Assessment Model for Splash Zone of Marine Concrete Structures membahas tentang beton yang terkena zona percikan dalam struktur beton yang terendam sebagian memburuk dengan cepat karena alasan seperti siklus pengeringan- pembasahan, dampak bahan yang mengandung air, biodeteriorasi, serangan klorida dan sulfat.

6. Mosadeghi, dkk (2015) dalam penelitian yang berjudul Comparison of Fuzzy-AHP and AHP *in a* Spatial Multi Criteria Decision Making Model for Urban Land-Use Planning menjelaskan tentang teori perencanaan modern mendorong pendekatan yang mempertimbangkan semua pemangku kepentingan dengan berbagai nilai wacana untuk menghindari keputusan politik dan manipulatif.
7. Aminbakhsh, dkk. (2013) dengan penelitian yang berjudul Safety Risk Assessment using AHP During Planning and Budgeting of Construction Projects menjelaskan tentang risiko yang melekat dan unik pada proyek konstruksi seringkali menghadirkan tantangan utama bagi kontraktor.
8. Penelitian yang dilakukan Akbar (2018) adalah Analisis Prioritas Pengembangan Jaringan Jalan untuk Mendukung Lumbung Pangan Nasional di Kabupaten Merauke. Penelitian ini memiliki dua tujuan utama, yaitu menetapkan strategi pemerintah dalam mewujudkan Kabupaten Merauke sebagai lumbung pangan nasional dan merumuskan arahan prioritas pengembangan jalan untuk mendukung terciptanya lumbung pangan nasional di Kabupaten Merauke.

Penelitian yang akan dilakukan memiliki perbedaan dan kesamaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Perbedaan terletak pada responden, alternatif, dan subjek yang akan digunakan. Dalam penelitian ini, responden yang akan diambil adalah unsur dari pemerintah daerah, unsur legislatif, dan masyarakat. Alternatif yang akan dipakai adalah jaringan jalan Kabupaten Belitung Timur, dan subjek penelitiannya adalah penanganan jaringan jalan. Dalam analisis data, penelitian ini akan menggunakan metode AHP. Selain itu, penelitian ini juga memiliki kesamaan dalam hal penentuan urutan kepentingan dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian, penelitian ini memperhatikan perbedaan dalam hal responden, alternatif, dan subjek penelitian, namun tetap memiliki kesamaan dengan penelitian-penelitian terdahulu dalam hal teknik sampling, pengumpulan data, dan penentuan urutan kepentingan dalam pengambilan keputusan.

B. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk menentukan urutan kepentingan kriteria dalam penanganan jaringan jalan kabupaten dengan menggunakan metode AHP.

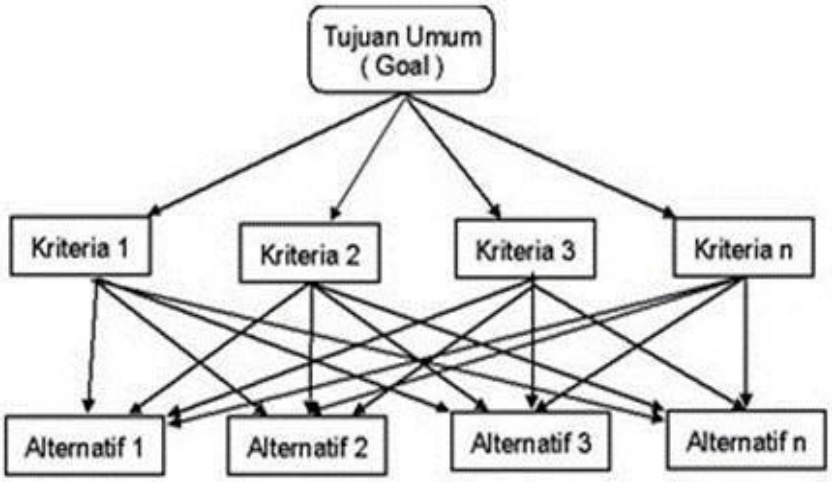
1. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Metode AHP merupakan model pendukung keputusan di dalam Sistem Pendukung Keputusan (SPK). Metode ini dirancang untuk mencerminkan cara berpikir manusia dalam pengambilan keputusan. Dalam AHP, aspek kuantitatif dan kualitatif dari suatu keputusan dapat diperhitungkan. Metode AHP juga menggunakan skala rasio untuk menentukan bobot kriteria serta penilaian alternatif. Pendekatan ini memberikan pengukuran yang lebih cermat dalam proses pengambilan keputusan (Magdalena, 2012).

Dalam menggunakan metode AHP untuk menyelesaikan permasalahan, terdapat beberapa prinsip dasar yang perlu diperhatikan (Manurung, 2010). Berikut adalah prinsip-prinsip tersebut:

a. *Decomposition*

   Permasalahan yang kompleks dapat dipecah menjadi komponen-komponen yang lebih kecil agar menjadi lebih mudah dipahami. Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 1, di mana pemecahan permasalahan dilakukan dengan membaginya menjadi elemen-elemen yang lebih kecil, lalu disusun dalam Hierarki.



Gambar 1. Hierarki AHP

b. *Comparative Judgement*

Pada tahun 1990, Saaty menyatakan bahwa dalam berbagai persoalan, skala 1 hingga 9 adalah skala terbaik untuk mengekspresikan pendapat (Saaty, 1990). Pendapat kualitatif dalam bentuk nilai dan definisi dari skala perbandingan menurut Saaty dapat diukur menggunakan tabel analisis. Hal ini terlihat pada Tabel 1, yang menunjukkan skala perbandingan pasangan

Tabel 1. Skala Nilai Perbandingan Pasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada yang lainnya
5	Elemen yang lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2, 4, 6, 8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan
Kebalikan (1/(2-9))	Jika aktivitas I mempunyai nilai yang lebih tinggi dari aktivitas j maka j mempunyai nilai berbalikan ketika dibandingkan dengan i

c. *Synthesis of Priority*

Menentukan prioritas dari elemen-elemen kriteria dapat dianggap sebagai bobot atau kontribusi elemen tersebut terhadap tujuan pengambilan keputusan. Pendekatan AHP digunakan untuk menganalisis prioritas elemen dengan metode perbandingan berpasangan antara dua elemen, sehingga semua elemen yang ada tercakup. Prioritas ini ditentukan berdasarkan pandangan para pakar dan pihak-pihak yang berkepentingan terhadap pengambilan keputusan, baik melalui diskusi langsung maupun melalui pengisian kuesioner.

d. *Logical Consistency*

Konsistensi memiliki dua makna yang berbeda. Pertama, konsistensi mengacu pada kemampuan untuk mengelompokkan objek-objek yang serupa berdasarkan keseragaman dan relevansi mereka. Kedua, konsistensi juga mengacu pada tingkat hubungan antara objek-objek tersebut berdasarkan kriteria tertentu.

Prosedur metode AHP meliputi (Kursini, 2007):

a. Mengadakan perbandingan antara kriteria dan menggambarkannya dalam bentuk matriks perbandingan pasangan.
b. Melakukan penjumlahan total kolom pada matriks. Total kolom matriks adalah jumlah dari semua nilai dalam setiap kolom kriteria. Hasil penjumlahan ini akan digunakan untuk normalisasi matriks.
c. Melakukan normalisasi matriks dan pembobotan. Normalisasi matriks dilakukan dengan membagi tiap nilai perbandingan kriteria dengan total kolom matriks. Pembobotan melibatkan penjumlahan total baris pada setiap kriteria.
d. Melakukan pengujian konsistensi. Pengujian konsistensi dilakukan untuk memeriksa apakah responden telah memberikan penilaian perbandingan secara konsisten.
e. Membuat perbandingan tingkat kepentingan kriteria yang telah dianalisis dengan penelitian sebelumnya.

2. Tahapan penelitian

Objek penelitian yang digunakan pada penelitian adalah adalah jalan kabupaten di Kabupaten Belitung Timur. Responden dari penelitian ini yaitu unsur Pemerintah Daerah Kabupaten Belitung Timur, unsur Legislatif, dan unsur Masyarakat, dengan menggunakan kuesioner.

Alat penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- aplikasi Microsoft Office Word versi 2022 sebagai *tools* pengetikan laporan penelitian,
- aplikasi Microsoft Office Excel versi 2022 sebagai *tools* perhitungan angka penelitian, dan
- kertas A4 dan pulpen shining black 0.5 mm sebagai alat bantu pengisian kuesioner.

Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis data yang akan digunakan, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan penilaian yang diberikan oleh responden dan dikumpulkan langsung oleh peneliti melalui kuesioner. Sementara itu, data sekunder terdiri dari kriteria yang digunakan dalam menentukan prioritas penanganan jaringan jalan kabupaten berdasarkan penelitian sebelumnya yang serupa, serta alternatif jalan yang digunakan dalam menentukan prioritas penanganan jaringan jalan di Kabupaten Belitung Timur.

Kriteria penentuan prioritas alternatif penanganan jaringan jalan:

- Kondisi Permukaan Jalan (K1)
- Jenis Permukaan Jalan (K2)
- Aksesibilitas (K3)
- Mobilitas (K4)
- Angka Kemiskinan (K5)
- Kepadatan Penduduk (K6)
- Kesenjangan Wilayah (K7)
- Pembiayaan (K8)

Tahapan penelitian:

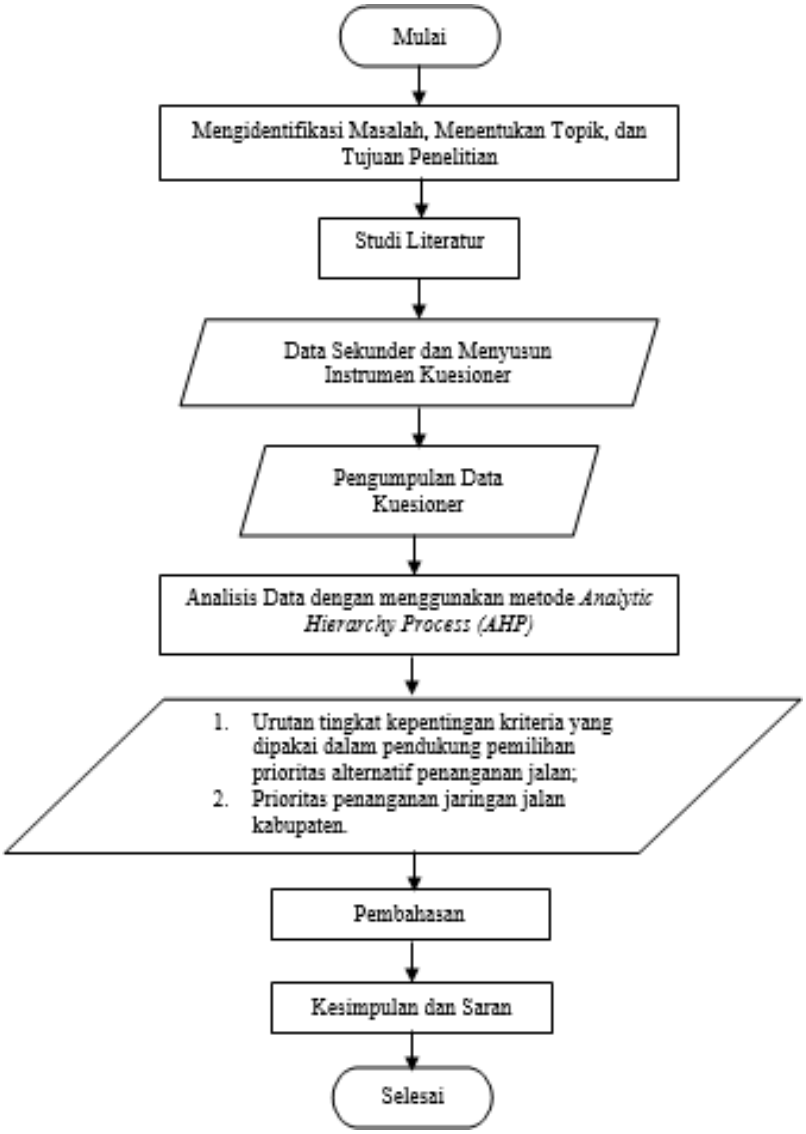
(1). Mulai,

(2). Identifikasi masalah, topik, dan tujuan penelitian,

(3). Studi literatur,

(4). Data sekunder dan menyusun instrumen kuesioner,
(5). Pengumpulan data kuesioner,
(6). Analisis data dengan menggunakan metode AHP,
(7). Pembahasan,
(8). Kesimpulan dan saran,
(9). Selesai.

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Bagan alir

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya terkait responden dan alternatif yang digunakan. Dalam penelitian ini, responden yang akan diikutsertakan adalah unsur dari Pemerintah Daerah, unsur Legislatif, dan unsur Masyarakat. Sementara itu, alternatif yang digunakan adalah jaringan jalan Kabupaten. Judul penelitian ini adalah "*Analisis Perbandingan Tingkat Kepentingan Kriteria untuk Penentuan Prioritas Penanganan Jaringan Jalan Kabupaten*". Metode

yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Analitycal Hierarchy Process* (AHP). Terdapat kesamaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya dalam hal penggunaan teknik purposive sampling dan pengumpulan data melalui kuesioner. Penelitian ini juga berfokus pada penentuan urutan kepentingan dalam pengambilan kebijakan.

Berikut ini langkah-langkah metode AHP yang akan dilakukan, sesuai dengan Kursini (2007).

1. Mendefinisikan permasalahan dan menentukan solusi yang diharapkan. Setelah itu, dilakukan penyusunan hierarki dari masalah tersebut. Penyusunan hierarki dilakukan dengan menetapkan tujuan sebagai target sistem secara keseluruhan pada level teratas.
2. Menetapkan tingkat kepentingan elemen
   - Langkah pertama untuk menentukan prioritas elemen yaitu dengan membuat perbandingan pasangan, di mana elemen-elemen dibandingkan satu sama lain berdasarkan kriteria yang ditetapkan.
   - Angka-angka dalam matriks perbandingan pasangan diisi untuk menggambarkan tingkat kepentingan relatif suatu elemen terhadap elemen lainnya. Informasi ini dapat ditemukan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Matriks perbandingan berpasangan

C	A1	A2	...	Aa
A1	1	a12	...	a1a
A2	a21	1	...	a2a
...	...	...	...	...
Aa	aa1	aa2	...	1

Tabel 3. Matriks perbandingan berpasangan terhadap nilai W

C	A1	A2	...	Aa
A1	W1/W1	W1/W2	...	W1/Wa
A2	W2/W1	W2/W2	...	W2/Wa
...	...	...	...	...
Aa	Wa/W1	Wa/W2	...	Wa/Wa

3. Sintesis

Pada langkah ini, pertimbangan terhadap perbandingan berpasangan disintetis untuk mendapatkan prioritas keseluruhan. Berikut yang dilakukan dalam langkah ini:

a. Mengakumulasikan nilai dari setiap kolom matriks.
b. Untuk mendapatkan normalisasi matriks, tiap nilai dalam kolom dibagi dengan total kolom yang bersangkutan.
c. Untuk mendapatkan median, nilai dari setiap baris dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah elemen yang ada.

4. Mengukur konsistensi

   Dalam proses pengambilan keputusan, penting untuk mengetahui sejauh mana tingkat konsistensi yang terdapat, karena keputusan diambil berdasarkan pertimbangan yang tidak konsisten tidak diinginkan. Berikut yang dilakukan dalam langkah ini:

a. Langkah ini melibatkan perkalian tiap nilai dalam kolom pertama dengan prioritas elemen pertama, nilai dalam kolom kedua dengan prioritas elemen kedua, dan seterusnya.
b. Dalam langkah ini, tiap baris dijumlahkan.

c. Hasil penjumlahan tiap baris dibagi dengan elemen prioritas yang terkait.

d. Langkah selanjutnya adalah menjumlahkan hasil bagi tersebut dengan jumlah elemen yang ada. Hasil dari penjumlahan ini disebut sebagai λ maks.

1) *Consistency Index* (CI) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n-1}$$

dengan CI = *Consistency Index*, λmax = eigenvalue maksimum dan n = Banyak elemen

2) *Cosistency Ratio* (CR) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$CR = \frac{CI}{IR}$$ dengan CR = *Consistency Ratio*, CI = *Consistency Index* dan IR = *Index Random Consistency*

1. Memeriksa konsistensi hierarki

a. Apabila nilai Indeks Konsistensi (CI) melebihi 10%, perlu dilakukan perbaikan pada penilaian data *judgement*. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai-nilai dalam matriks perbandingan antara unsur kriteria maupun alternatif perlu dihitung ulang agar nilai perbandingan matriks kriteria menjadi konsisten. Namun, jika rasio konsistensi (CI/IR) kurang dari atau sama dengan 0,1, maka hasil perhitungan dapat dianggap valid. Untuk mengetahui nilai Indeks Random Konsistensi (IR), dapat merujuk pada Tabel 4.

Tabel 4. Random indeks

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

b. Hasil akhir dari proses ini adalah prioritas global yang akan digunakan sebagai acuan untuk pengambilan keputusan. Prioritas global ini didapatkan dengan mengidentifikasi nilai tertinggi dari seluruh elemen yang dievaluasi.

Adapun pembahasan terhadap penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Bike dan Uichang (2023) didalam penelitiannya yang berjudul *Construction of Equipment Evaluation Index System of Emergency Medical Rescue Based on Delphi method and AHP* menjelaskan bahwa dengan menggunakan metode AHP, kausalitas setiap indeks dibagi menjadi beberapa grade. Konsultasi pakar dilakukan untuk menilai pentingnya indikator. Skala T.L. Saaty 1–9 digunakan sebagai standar penilaian, yang selanjutnya membentuk matriks penilaian. Setelah matriks penilaian terbentuk, bobot masing-masing indeks dihitung dengan software MATL. Metode pengelompokan hierarki adalah metode umum untuk mengklasifikasikan variabel serupa. Itu mulai menganggap kapasitas darurat berbagai kota sebagai satu kelas, menghitung matriks koefisien kesamaan antar kelas, menggabungkan dua kelas dengan koefisien kesamaan terbesar (jarak terkecil) menjadi kelas baru, menghitung koefisien kesamaan antara kelas baru dan kelas lain, dan mengulangi operasi sampai semua variabel digabungkan menjadi satu kelas. Fokus dari proses pengelompokan adalah untuk menilai berapa banyak kategori data yang harus dibagi. Umumnya, ketika perubahan koefisien pengelompokan dalam dua langkah yang berdekatan jauh lebih besar daripada perubahan pada langkah berdekatan sebelumnya, proses pengelompokan dapat diakhiri pada langkah ini, tetapi klasifikasi akhir mengharuskan analis untuk membuat penilaian yang komprehensif sesuai dengan situasi aktual. Setelah pengelompokan, analisis varian digunakan untuk menguji apakah perbedaan di antara berbagai jenis secara statistik signifikan.

2. Kemudian pada penelitian Wubalem, A. (2023) dengan judul *Modeling of Land Suitability for Surface Irrigation using AHP Method in Belessa Districts, Northwestern Ethiopia* bertujuan untuk menentukan apakah tanah di Belessa cocok untuk irigasi permukaan. Untuk ini, metode proses hierarki analitik berbasis GIS diterapkan. Delapan faktor/parameter seperti jenis tanah, kedalaman tanah, tekstur tanah, drainase tanah, kemiringan, jarak dari suplai air, dan tutupan lahan digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian area untuk irigasi permukaan. Bobot setiap parameter dihitung menggunakan matriks perbandingan berpasangan 8×8. Kemudian dibuat peta kesesuaian lahan untuk irigasi permukaan dengan menambahkan parameter pembobotan menggunakan metode *weighted overlay* pada perangkat lunak ArcGIS 10.3. Peta kesesuaian lahan dibagi menjadi empat kategori: sangat sesuai (S1), cukup sesuai (S2), sesuai marginal (S3), dan tidak sesuai (S4 atau N1). Hasil penelitian menunjukkan bahwa 12,2% daerah penelitian tidak sesuai (S4 atau N1) untuk irigasi permukaan, sedangkan 13,9% daerah penelitian sangat sesuai (S1) untuk irigasi permukaan. Kelas marjinal (S3) dan cukup sesuai (S2) masing-masing mencakup 26,9%, dan 46,9% dari wilayah studi. Keakuratan model dievaluasi dengan melapisi skema irigasi yang sudah ada sebelumnya di wilayah studi, yang termasuk dalam wilayah yang sangat sesuai dan sedang, menegaskan bahwa model tersebut akurat. Oleh karena itu, hasil ini akan menjadi penting untuk meningkatkan produksi tanaman di wilayah studi, dengan menerapkan irigasi permukaan pada lahan yang sangat sesuai dan sedang.
3. Jiang, dkk (2022) dalam penelitian yang berjudul *City Readiness for Connected and Autonomous Vehicles: A multi-stakeholder and multi-criteria analysis through AHP* menggunakan AHP untuk mengembangkan sistem pembobotan untuk serangkaian kriteria terkait kesiapan kota untuk CAV, dari perspektif berbagai kelompok pemangku kepentingan. Kriteria yang ditetapkan dibangun berdasarkan tinjauan literatur. Perbandingan berpasangan kriteria oleh berbagai pemangku kepentingan, yang merupakan tugas utama AHP, dilakukan melalui survei online.
4. Singh dan Nachtnebel (2022) dalam penelitian yang berjudul *AHP Application for Reinforcement of Hydropower Strategy in Nepal* bertujuan untuk menganalisis implementasi PLTA di Nepal selama beberapa dekade terakhir dan untuk mengelaborasi rekomendasi untuk skala pembangunan PLTA yang paling tepat untuk Nepal. Mengubah konteks nasional dengan peningkatan kesadaran sosial dan lingkungan membenarkan studi semacam itu yang didasarkan pada pendekatan multi-kriteria. Para pemangku kepentingan dengan latar belakang yang sangat berbeda dan terkait dengan pembangunan PLTA di negara tersebut dilibatkan untuk mencapai konsensus. Melibatkan banyak kelompok pemangku kepentingan yang berbeda melalui survei kuesioner untuk latihan prioritas adalah pertama kalinya sejak pemerintah mengklasifikasikan skema pembangkit listrik tenaga air menjadi lima skala berdasarkan kapasitas pembangkitan. Di antara berbagai alat pengambilan keputusan multi-kriteria (MCDM) Metode AHP yang dikembangkan oleh Saaty dipilih. Dapat disimpulkan bahwa AHP adalah alat yang mudah diterapkan dan tepat untuk memeringkat skema pembangkit listrik tenaga air sehubungan dengan skala dengan mempertimbangkan masalah sosial, ekonomi dan lingkungan. Selain itu, masalah politik dan teknis dipertimbangkan.
5. Pushpakumara dan Fernando (2023) dalam penelitian yang berjudul *Deterioration Assessment Model for Splash Zone of Marine Concrete Structures* membahas tentang beton yang terkena zona percikan dalam struktur beton yang terendam sebagian memburuk dengan cepat karena alasan seperti siklus pengeringan-pembasahan, dampak bahan yang mengandung air, bio-deteriorasi, serangan klorida dan sulfat. Sistem penilaian dan penilaian kondisi yang ada tidak mengikuti

keterkaitan antara atribut kinerja yang berbeda dari zona percikan dan model ini sangat subyektif terhadap kinerja evaluator. Tujuan dari penelitian ini untuk menilai efektivitas parameter yang memperburuk struktur beton laut dan mengembangkan model baru untuk memprediksi laju kerusakan zona percikan pada struktur beton laut. *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) digunakan untuk mengembangkan model untuk memprediksi laju kerusakan. Di sini, faktor lokal dikelompokkan dalam lima parameter utama sebagai inspeksi visual, kualitas air, faktor kasual, Uji Non-Destruktif (NDT) dan detail retakan. Data yang relevan dengan 15 struktur dikumpulkan melalui inspeksi visual, laboratorium, dan eksperimen lapangan untuk memvalidasi model yang diusulkan. Atribut kualitas air mencapai prioritas tertinggi untuk kerusakan zona tebasan struktur beton laut. Selanjutnya, nilai numerik diberikan pada model peringkat ini untuk menghindari ambiguitas dan ketidakjelasan deskriptor linguistik dalam sistem peringkat yang ada. Akhirnya, model yang dikembangkan ini dapat digunakan untuk mengevaluasi persentase deteriorasi dari zona percikan pada struktur dan sesuai dengan itu pekerjaan perkuatan dan perbaikan dapat dilakukan.

6. Mosadeghi, dkk. (2015) dalam penelitian yang berjudul *Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a Spatial Multi Criteria Decision Making Model for Urban Land-Use Planning* menjelaskan tentang teori perencanaan modern mendorong pendekatan yang mempertimbangkan semua pemangku kepentingan dengan berbagai nilai wacana untuk menghindari keputusan politik dan manipulatif. Dalam dekade terakhir, penerapan pendekatan kuantitatif seperti teknik pengambilan keputusan multikriteria dalam prosedur kesesuaian lahan telah meningkat, yang memungkinkan penanganan data yang heterogen. Sebagian besar aplikasi ini terutama menggunakan teknik pengambilan keputusan untuk menentukan peringkat prioritas pilihan manajemen yang telah ditentukan atau skenario perencanaan. Studi yang disajikan, bagaimanapun, menunjukkan bagaimana pengambilan keputusan spasial dapat digunakan tidak hanya untuk menentukan peringkat prioritas opsi dan melakukan analisis skenario, tetapi juga untuk memberikan wawasan tentang jangkauan spasial alternatif. Hal ini sangat membantu dalam situasi di mana transisi politik sehubungan dengan kebijakan perencanaan kota meninggalkan para pembuat keputusan lokal dengan ruang yang cukup untuk kebijaksanaan. Untuk mencapai hal ini, studi ini membandingkan hasil dari dua teknik kuantitatif (prosedur hierarki analitis (AHP) dan Fuzzy AHP) dalam menentukan luasan zona penggunaan lahan pada skenario perencanaan kota skala besar. Pendekatan yang disajikan juga menambah dimensi baru pada analisis komparatif penerapan teknik ini dalam perencanaan kota dengan mempertimbangkan skala dan tujuan pengambilan keputusan. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahap awal proses perencanaan, ketika mengidentifikasi opsi pembangunan sebagai titik fokus diperlukan, metode yang disederhanakan sudah cukup. Dalam situasi ini, memilih teknik yang lebih canggih belum tentu menghasilkan hasil yang berbeda. Namun, ketika perencanaan memerlukan pengidentifikasian luas spasial dari area pengembangan yang disukai, mengingat area persimpangan yang disarankan oleh kedua metode akan ideal.
7. Aminbakhsh, dkk. (2013) dengan penelitian yang berjudul *Safety Risk Assessment using AHP During Planning and Budgeting of Construction Projects* menjelaskan tentang risiko yang melekat dan unik pada proyek konstruksi seringkali menghadirkan tantangan utama bagi kontraktor. Risiko kesehatan dan keselamatan adalah salah satu risiko paling signifikan dalam proyek konstruksi karena industri konstruksi ditandai dengan tingkat cedera dan kematian yang relatif tinggi dibandingkan dengan industri lainnya. Dalam manajemen proyek konstruksi, penilaian risiko

keselamatan merupakan langkah penting untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan mengevaluasi risiko terkait dengan bahaya tersebut. Prioritas yang memadai atas risiko keselamatan selama penilaian risiko sangat penting untuk perencanaan, penganggaran, dan pengelolaan risiko terkait keselamatan.

8. Penelitian yang dilakukan oleh Akbar (2018) bertujuan menjadikan Kabupaten Merauke sebagai lumbung pangan nasional, serta merumuskan arahan prioritas pengembangan jaringan jalan guna mendukung terwujudnya lumbung pangan nasional di Kabupaten Merauke. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi peningkatan kinerja jaringan jalan yang direkomendasikan adalah strategi agresif. Fokus dari strategi ini adalah meningkatkan kinerja jaringan jalan untuk memenuhi harapan masyarakat dan mendukung kelancaran distribusi logistik pangan.
9. Dari hasil dan pembahasan penelitian di atas didapatkan sebuah pemikiran bahwa melalui metode AHP dapat memberikan solusi dalam penyelesaian permasalahan pada urusan menentukan urutan tingkat kepentingan untuk mengambil sebuah keputusan melalui pendekatan ilmiah, dalam hal ini diambilah subjek permasalahan untuk mendapatkan tingkat urutan kepentingan kriteria dalam penanganan jaringan jalan di Kabupaten sehingga dengan dilakukannya penelitian tersebut, diharapkan dapat membantu Pemerintah Daerah dalam pengambilan kebijakan yang tepat dalam urusan penanganan jaringan jalan di kabupaten agar dapat memberikan pelayanan prasarana jalan menjadi lebih optimal yang mana diharapkan dengan itu dapat meningkatkan taraf ekonomi masyarakat wilayah kabupaten.

D. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai aspek dalam penentuan urutan tingkat kepentingan untuk pendekatan pengambilan keputusan atau kebijakan. Metode AHP sering digunakan dalam menentukan urutan tingkat kepentingan dalam berbagai aspek permasalahan. Namun, belum ada penelitian sebelumnya yang secara khusus mengkaji perbandingan tingkat kepentingan kriteria untuk penentuan prioritas penanganan jaringan jalan di kabupaten. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan tingkat kepentingan kriteria dalam penentuan prioritas penanganan jaringan jalan di Kabupaten Belitung Timur menggunakan metode AHP. Tujuan penelitian ini adalah menentukan urutan kepentingan kriteria dalam penanganan jaringan jalan Kabupaten. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan dapat membantu Pemerintah Daerah dalam mengambil kebijakan yang tepat dalam penanganan jaringan jalan di kabupaten tersebut, sehingga pelayanan infrastruktur jalan dapat ditingkatkan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Akbar. (2018). Analisis Prioritas Pengembangan Jaringan Jalan Untuk Mendukung Lumbung Pangan Nasional di Kabupaten Merauke. Universitas Hasanuddin. Makasar.

Aminbakhsh, S., Gunduz, M. dan Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. Journal of Safety Research, Vol. 46, No. 99- 105.

Ataburan. (2013). Penentuan Prioritas Pengembangan Jaringan Jalan Kabupaten di Kabupaten Lembata Provinsi NTT. Universitas Brawijaya. Malang.

Bike, Z. dan uichang, W. (2023). Construction of equipment evaluation index system of emergency medical rescue based on Delphi method and analytic hierarchy process. Ain Shams Engineering Journal, Vol. 14, No. 2.

Hendi dan Ida. (2020). Analisis Risiko Rantai Pasok Material Terhadap Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Konstruksi. DOI:10.21776/ub.rekayasasipil.2020.014.01.6.

Jiang, L., Chen, H. dan Chen, Z. (2022). City readiness for connected and autonomous vehicles: A multi- stakeholder and multi-criteria analysis through analytic hierarchy process. Transport Policy, Vol. 128, No. 13-24.

Kursini. (2007). Konsep dan Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan. CV Andi Offset: Yogyakarta.

Magdalena, H., (2012). "Sistem Pendukung Keputusan untuk Menentukan Mahasiswa Lulusan Terbaik di Perguruan Tinggi (STUDI KASUS STMIK ATMA LUHUR PANGKALPINANG)", Jurnal Informatika, Program Studi Sistem Informasi STMIK Atma Luhur Pangkalpinang, hal. 49-56. ISSN : 2089-9815.

Manurung, P. (2010). Beasiswa Dengan Metode Ahp dan Topsis (Studi Kasus: Fmipa Usu) Skripsi Departemen Ilmu Komputer. Skripsi, (PANGERAN MANURUNG), 1-74.

Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R. dan Mirfenderesk, H. (2015). Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 49, No. 54-65.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan, Jakarta.

Pushpakumara, B.H.J. dan Fernando, M.S.G.M. (2023). Deterioration assessment model for splash zone of marine concrete structures. Case Studies in Construction Materials, Vol. 18, No. 1.

Saaty. T.L., (1990). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocatting. Pittsburgh: University of Pittsburgh Pers.

Singh, R.P. dan Nachtnebel, H.P. (2022). Analytical hierarchy process (AHP) application for reinforcement of hydropower strategy in Nepal. Renewable and Suistainable Energy Reviews, Vol. 55, No. 43-58.

Sprague et.al, (1993). Decision Support Systems: Putting Theory into Practice. Prentice Hall College Div; 3 Sub edition (February 1993): Upper Saddle River, New Jersey, United States.

Undang-undang Republik Indonesia, Nomor 38 Tahun 2004. tentang Jalan.

Undang-undang Republik Indonesia, Nomor 22 Tahun 1999 tentang Pemerintah Daerah.

Wubalem, A. (2023). Modeling of land suitability for surface irrigation using analytical hierarchy process method in Belessa Districts, northwestern Ethiopia. Heliyon, Vol. 9, No. 3.

STUDI *CRITICAL SUCCESS FACTORS* PROSES PENGADAAN PEMERINTAH PADA JASA KONSTRUKSI DI INDONESIA

Sofian[1]*, Herman Parung[2], Syarif Burhanuddin[3], Rosmariani Arifuddin[4]
[1*,2,3,4] Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jl. Malino No. 8F Gowa
Email: sofian071274@gmail.com (Corresponding Author)

ABSTRAK

Pengadaan Barang/Jasa adalah kegiatan pengadaan Barang/Jasa oleh Kementerian/Lembaga/ Perangkat Daerah dibiayai oleh APBN/APBD yang prosesnya dimulai dari identifikasi kebutuhan, sampai dengan serah terima hasil pekerjaan. Pengadaan pada proyek konstruksi yang menerapkan *system e-procurement* berupaya mendukung ekonomi negara dengan memastikan efektivitas dalam proses pengadaan barang/jasa. Proses pengadaan pada proyek konstruksi di beberapa negara masih menghadapi banyak tantangan. Begitu pula di Indonesia, proses pengadaan pemerintah di sektor konstruksi Indonesia berdasarkan data dari Balai Pelaksana Pemilihan Jasa Konstruksi (BP2JK) masih menghadapi berbagai permasalahan. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lebih jauh faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas pengadaan Barang/Jasa pada proyek konstruksi dengan studi kasus pada unit pengadaan pemerintah, Balai Pelaksana Pemilihan Barang/Jasa Konstruksi (BP2JK) Kementerian PUPR di Indonesia. Metode penelitian dengan pengumpulan data melalui studi literatur dan analisis statistik deskriptif mengidentifikasi *critical success factors* yang mempengaruhi efektivitas pengadaan Barang/Jasa pada proyek konstruksi. Selanjutnya pengumpulan data melalui *Expert Judgement* dengan melibatkan 6 e*xpert* dalam bidang pengadaan Barang/Jasa pada jasa konstruksi untuk memvalidasi faktor-faktor yang telah diidentifikasi melalui studi literatur. Hasil *Expert Judgement* selanjutnya diolah dengan menggunakan analisis deskriptif untuk mendapatkan gambaran awal *critical success factors* yang mempengaruhi efektivitas pengadaan Barang/Jasa pada proyek konstruksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas pengadaan Barang/Jasa proyek konstruksi berdasarkan studi literatur dan hasil olah data dari *Expert Judgement* yang terlibat dalam proses pengadaan di Balai Pelaksana Pemilihan Barang/Jasa Konstruksi (BP2JK) meliputi: (i)faktor regulasi, (ii)faktor organisasi, (iii)faktor sumber daya manusia, (iv)faktor sistem informasi, (v)faktor proses bisnis dan (vi)faktor *monitoring* dan evaluasi.

Kata kunci: BP2JK*, critical success factors*, pemerintah, pengadaan barang/jasa konstruksi.

A. PENDAHULUAN

Pengadaan atau *Procurement* adalah upaya mendapatkan barang dan jasa yang dibutuhkan berdasarkan pemikiran logis dan sistematis dan mengikuti norma dan etika yang berlaku yang sesuai dengan metode pengadaan barang dan jasa. Dalam sektor jasa konstruksi pada tahap awal pelaksanaannya terdapat kontrak pengadaan barang/jasa pemerintah khususnya kontrak kerja konstruksi untuk memenuhi kebutuhan infrastruktur pelayanan publik (Alfidah dkk, 2020). Proses pengadaan pada proyek konstruksi memberikan andil besar dalam perekonomian sebuah negara. Proses pengadaan pada proyek konstruksi yang menerapkan *system e-procurement* berupaya mendukung ekonomi negara dengan memastikan efektivitas dalam proses pengadaan barang dan jasa (Tebeka dan Yessuf, 2019).

Namun di sisi lain proses pengadaan pada proyek konstruksi di beberapa negara masih menghadapi banyak tantangan. Di Ethiopia pengadaan mengambil bagian terbesar dari anggaran tahunan pemerintah 14% dari PDB Ethiopia, karena hal ini pemerintah di Negara Ethiopia

berupaya membangun kepercayaan dengan memastikan efisiensi dan efektivitas dalam pelaksanaan pengadaan publik. Di Kenya dan Negara Afrika lainnya yang tidak menerapkan sanksi kepada pejabat pemerintah yang melanggar aturan pengadaan menyebabkan proses pengadaan rentan untuk disalahgunakan dan menjadi peluang terjadinya korupsi (Kioko dan Were, 2014). Di Ghana setiap tahun, triliunan dolar anggaran yang dikeluarkan untuk pelaksanaan pengadaan publik namun seringkali terjadi masalah pembiayaan salah satunya pembayaran pekerjaan yang belum selesai sehingga mengurangi kepercayaan publik terhadap pemerintah terkait (Owusu dkk, 2020). Selain masalah pembayaran di negara lain seperti Nigeria terjadinya ketidaksesuaian selama proses tender juga menjadi salah satu masalah dalam proses pengadaan sehingga dapat menyebabkan keterlambatan proyek untuk diselesaikan (Afolabi dkk, 2020). Adapun di Negara Portugal yang baru memulai penerapan *e- procurement* masih mengalami kesulitan dalam penerapannya terutama dalam perubahan proses dari konvensional menjadi elektronik (Costa dkk, 2013)

Hal yang sama di Indonesia, proses pengadaan pada proyek konstruksi telah diatur melalui Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi. Selanjutnya untuk proyek infrastruktur di bawah koordinasi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat telah mengatur proses pengadaan melalui Keputusan Menteri No. 1620/KPTS/M/2021 tentang Pembentukan Unit Kerja Pengadaan Barang/Jasa Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang selanjutnya disingkat UKPBJ dan Unit Pelaksana Teknis Pengadaan Barang/Jasa yang selanjutnya disingkat UPTPBJ. Lebih jauh untuk proses pengadaan barang dan jasa khususnya pada bidang konstruksi di Kementerian PUPR dilakukan oleh Balai Pelaksana Pemilihan Barang dan Jasa Konstruksi (BP2JK). Proses pengadaan pemerintah di sektor konstruksi Indonesia berdasarkan data dari Balai Pelaksana Pemilihan Barang dan Jasa Konstruksi (BP2JK) masih menghadapi berbagai permasalahan diantaranya : (i) hasil pengadaan banyak belum sesuai tujuan pengadaan/tujuan organisasi, (ii) waktu pemrosesan pengadaan yang panjang/tidak efisien, (iii) banyak paket dan pengadaan sangat transaksional, (iv) dokumentasi pengadaan terlalu banyak dan tersebar, (v) kesulitan koordinasi para pihak terkait PBJ, (vi) program pemberdayaan UMKM dan penggunaan TKDN belum efektif, (vii) pengadaan dianggap hanya pekerjaan administrasi/ tambahan, (viii) belum terbangun profesionalitas & kemandirian pengadaan, (ix) banyak 'tekanan/ tuntutan' dari berbagai pihak, (x) tantangan dalam menjaga prinsip-prinsip pengadaan.

Pada penelitian Kioko dan Were (2014) menjelaskan bahwa ada 4 faktor yang mempengaruhi fungsi pengadaan di Kenya yaitu faktor regulasi dengan sub indikator berupa kerangka hukum yang mengatur keberadaan tim pengadaan; faktor organisasi dengan sub indikator yang terdiri atas pengaruh budaya kelembagaan atau budaya organisasi, pengaruh politik, sikap adil tim pengadaan dalam memberikan kontrak, pengaruh dari pihak birokrasi serta tindakan pencegahan terhadap korupsi dengan penggunaan sistem elektronik dalam pengadaan; Faktor Sumber Daya Manusia (SDM) dengan sub indikator berupa kompetensi staf lembaga pengadaan serta sarana dan prasarana untuk membantu meningkatkan kinerja staf; Faktor Sistem Informasi dengan sub indikator keuntungan dari penggunaan Teknologi Komunikasi Informasi melalui *e-procurement*. Pada penelitian ini hanya membahas 4 faktor di atas dan tidak membahas faktor proses bisnis dan *monitoring* & evaluasi.

Septiani (2015) dalam penelitiannya menyatakan 3 faktor dalam implementasi *e-procurement* pada PT.X yaitu faktor organisasi dengan sub indikator berupa tata kelola pembentukan tim pengadaan; faktor Sumber Daya Manusia (SDM) dengan sub indikator antusiasme/ambisi pekerja dalam meningkatkan kompetensi; faktor sistem informasi dengan sub indikator kemudahan akses *website e-procurement.*

Adapun pada penelitian Prasetyo (2019) yang meneliti *Critical Success Factors* yang mendukung keberhasilan implementasi *e-procurement* pada tingkat kementerian di Indonesia menyatakan bahwa ada 4 faktor yang berpengaruh yaitu faktor Sumber Daya Manusia (SDM) dengan sub indikator berupa Pendidikan dan pelatihan kepada para staf tim pengadaan; faktor sistem informasi dengan sub indikator berupa dampak dari penerapan *e-procurement*; faktor proses bisnis dengan sub indikator berupa proses pengadaan yang transparan; faktor *monitoring* & evaluasi dengan sub indikator berupa pemantauan kinerja staf dan pemantauan kinerja sistem informasi.

Tebeka dan Yessuf (2019) dalam penelitiannya di Ethiopia yang bertujuan untuk mengetahui tantangan dan faktor penentu keberhasilan implementasi *e-procurement* menyatakan bahwa ada 3 faktor yaitu faktor regulasi dimana yang dimaksud disini adalah kepatuhan tim pengadaan terhadap regulasi pengadaan dalam menjalankan proses pengadaan; faktor Sumber Daya Manusia dengan sub indikator adanya pelatihan bagi tim pengadaan; faktor sistem informasi dengan sub indikator keandalan teknologi artinya sistem informasi yang digunakan berfungsi dengan efisien serta penggunaan sistem untuk melakukan *monitoring* & evaluasi.

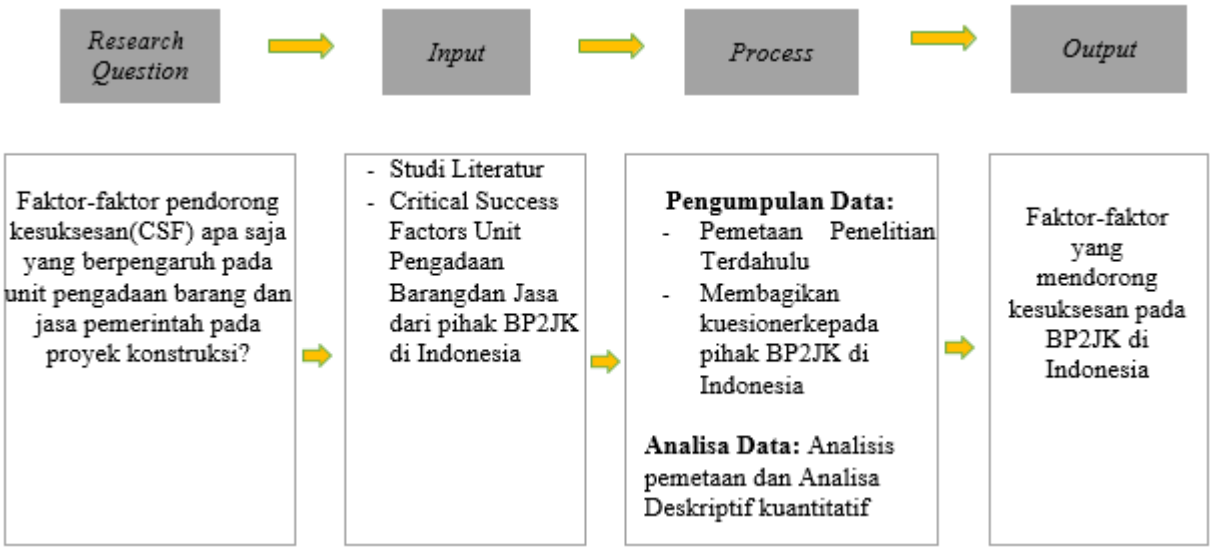
Akbar dkk (2022) dalam penelitiannya pada Unit Kerja Pengadaan Barang/jasa (UKPBJ) di Indonesia menyatakan bahwa ada 4 faktor yang berpengaruh dalam meningkatkan tingkat kematangan UKPBJ dalam pelaksanaan pengadaan barang/jasa yaitu Faktor Organisasi dengan sub indikator kesiapan UKPBJ dalam menghadapi segala perubahan dalam sistem pengadaan; Faktor Sumber Daya Manusia (SDM) dengan sub indikator berupa sikap profesional para staf pengadaan; Faktor Sistem Informasi dengan sub indikator berupa penerapan dan pengembangan teknologi elektronik dalam pelaksanaan pengadaan; Faktor proses bisnis dengan sub indikator berupa terobosan dan inovasi bisnis dalam hal ini perubahan sistem dari konvensional menjadi elektronik.

Mengacu pada fenomena permasalahan pengadaan barang dan jasa pada industri konstruksi sebelumnya, maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan faktor-faktor apa saja yang berpengaruh pada proses pengadaan pemerintah pada jasa konstruksi yang efektif. Penelitian fokus pada pengadaan pemerintah untuk jasa konstruksi yang dilaksanakan oleh di Balai Pelaksana Pemilihan Barang dan Jasa Konstruksi (BP2JK) di Kementerian PUPR.

Jasa konstruksi merupakan bagian penting dari terbentuknya produk konstruksi, karena jasa konstruksi menjadi arena pertemuan antara penyedia jasa dengan pengguna jasa. Pengguna jasa konstruksi bisa berasal dari pihak pemerintah dengan menggunakan anggaran APBN atau APBD, perusahaan swasta, BUMN, BUMD dan lain-lain. Mengacu pada UU No. 2 Tahun 2017 Jasa Konstruksi, jasa konstruksi adalah layanan jasa konsultasi konstruksi dan/atau pekerjaan konstruksi. Lebih jauh layanan jasa konstruksi melibatkan pihak Pemberi Jasa dan Pihak Penyedia Jasa.

B. METODE

Uraian gambaran penelitian yang dilakukan dituangkan kerangka operasional penelitian yang dituangkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka operasional penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan melakukan dalam 2 tahap:

1. Tahap Pertama: melakukan studi literatur dengan mengumpulkan berbagai paper yang membahas pengadaan pada jasa konstruksi dari berbagai negara. Ada tiga langkah yang digunakan dalam pemilihan jurnal: i) pencarian dengan penggunaan kata kunci, yaitu *Critical Success Factors* dan *Procurement Unit;* 2) memilih artikel yang berhubungan dengan judul yang dibahas; 3) melakukan pemetaaan terkait *Critical Success Factors* yang diperoleh dengan mengelompokkan faktor utama dan sub-faktor dari setiap faktor utama. Dalam pencarian jurnal, beberapa *database* yang digunakan antara lain: *Google Scholar, Science Direct* dan *Researchgate.*
2. Tahap Kedua: melakukan validasi pakar terkait *critical success factors* yang telah diperoleh dari Tahap Pertama melalui kuesioner kepada Pakar *(Expert)* melalui *Expert Judgement*. Adapun pakar yang dilibatkan adalah *stakeholders* yang mewakili BP2JK. Pemilihan Pakar (*Expert*) dilakukan dengan kriteria (i) terlibat langsung pada proses pengadaan di BP2JK, (ii) memiliki pengalaman terlibat di BP2JK. Kuesioner diberikan kepada pakar yang terpilih melalui Google Form yang berisi tingkat signifikansi setiap faktor dengan skala pengukuran; (i) Nilai 5: Sangat Signifikan (ii) Nilai 4: Signifikan, (iii) Nilai 3: Netral, (iv) Nilai 2: Tidak Signifikan, (v) Nilai 1: Sangat Tidak Signifikan. Selanjunya hasil hasil dari Tahap Kedua dianalisis dengan menggunakan perhitungan persentase dari nilai yang diperoleh.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari beberapa artikel yang terpilih, maka hasil dari Tahap Pertama adalah *critical success factors* yang berpengaruh pada efektivitas pengadaan pemerintah pada jasa konstruksi yang selanjutnya dipetakan yang terdiri dari 6 faktor utama dan 33 sub-faktor seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas pengadaan barang dan jasa

	Penulis	Variabel Penelitian					
		Regulasi	Organisasi	Sumber Daya Manusia	Sistem Informasi	Proses Bisnis	Monitoring & Evaluasi
1	Kioko dan Were (2014)	➶	➶		➶		
2	Fauzan dkk (2015)	➶		➶	➶		
3	Tebeka dan yessuf (2019)	➶		➶	➶		
4	Septiani (2015)		➶	➶	➶		
5	Akbar dkk (2022)		➶	➶	➶	➶	➶
6	Prasetyo (2019)			➶	➶	➶	
7	Costa dkk (2013)				➶	➶	
8	Afolabi dkk (2020)				➶		
9	Nurdinna, dkk (2021)		➶	➶	➶		
10	Martono, dkk (2021)			➶	➶		

Adapun sub-faktor dari faktor Regulasi meliputi (i): Kerangka Hukum, (ii) Regulasi tentang Kepatuhan, (iii) Pemahaman Aturan; faktor Organisasi meliputi: (i) Budaya Organisasi, (ii) Pengaruh Politik, (iii) Sikap Adil, (iv) Kepatuhan pada Prosedur; faktor Sumber Daya Manusia meliputi: (i) Kompetensi SDM, (ii) Profesionalisme SDM,

Pengalaman SDM, (iv) Pendidikan dan Pelatihan SDM, (v) Dukungan dari *top management,* (vi) Fasilitas, sarana dan prasarana untuk tim, (viii) Antusiasme/ambisi tim; faktor Sistem Informasi meliputi: (i) Ketersediaan Sistem Informasi Pengadaan (SIMPAN) untuk registrasi, (ii) Ketersediaan Sistem Informasi MPK (SIMPK) untuk Registrasi MPK, Info *Supply demand* MPK, (iii) Ketersediaan Sistem Informasi Konstruksi Indonesia (SIKI) untuk Registrasi,

Ketersediaan Sistem Informasi PBJ (SIPBJ) untuk data usulan tender, data kontrak, data TKK/Peralatan, (v) Ketersediaan Sistem Informasi HPS Terintegrasi (SIPASTI); faktor Proses Bisnis meliputi: (i) Terobosan dan Inovasi Bisnis, (ii) Proses Pengadaan yang transparan, (iii) Proses Pengadaan yang akuntabel, (iv) Pengaruh Birokrasi, (v) *E- Procurement* meminimalisir peluang korupsi; faktor *Monitoring* & Evaluasi meliputi: (i) *Monitoring* & Evaluasi kepuasan penyedia jasa, (ii) *Monitoring* & Evaluasi kinerja Sistem Informasi

Selanjutnya hasil pengumpulan data melalui *Expert Judgement* diperoleh sebagai berikut:

1. Faktor Regulasi (X1)

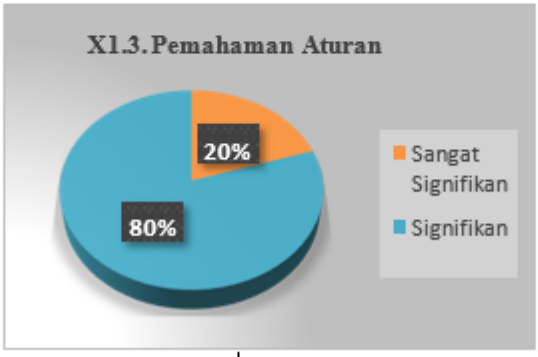
   Berdasarkan dari hasil pengolahan data dengan analisis deskriptif dengan menghitung persentase sub-variabel yang diperoleh dari Expert Judgement, seluruh sub-faktor dari faktor regulasi menunjukkan rata-rata persentase > 50% (> signifikan). Hal ini menunjukkan bahwa faktor regulasi berpengaruh signifikan pada efektivitas pengadaan yang dituangkan dalam Gambar 2, 3 dan 4:



Gambar 2. Hasil persentase indikator X1.1



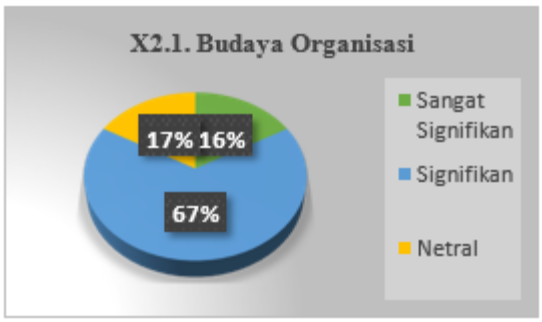
Gambar 3. Hasil persentase indikator X1.2



Gambar 4. Hasil persentase indikator X1.3

2. Faktor Organisasi (X2)

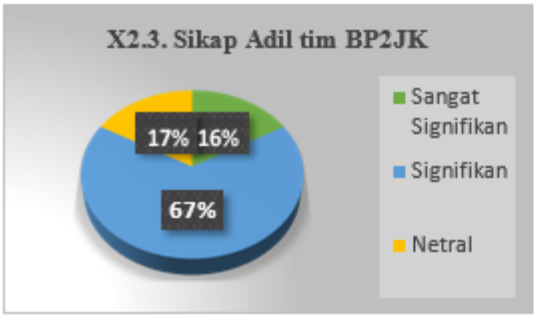
Berdasarkan hasil pengolahan data melalui Expert Judgement diperoleh faktor organisasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efektivitas pengadaan barang dan jasa terdiri atas empat sub-faktor. Hasil menunjukkan bahwa sub-faktor: (i) tidak adanya pengaruh politik dalam pengambilan keputusan pada Tim BP2JK, (ii) Tim BP2JK bersikap adil dalam memutuskan pemenang tender dan (iii) Tim BP2JK patuh terhadap prosedur pengadaan barang dan jasa sangat signifikan atau 67% berpengaruh pada efektivitas pelaksanaan tender yang dilaksanakan di BP2JK. Secara menyeluruh hasil untuk faktor organisasi dituangkan dalam Gambar 5,6,7 dan 8.



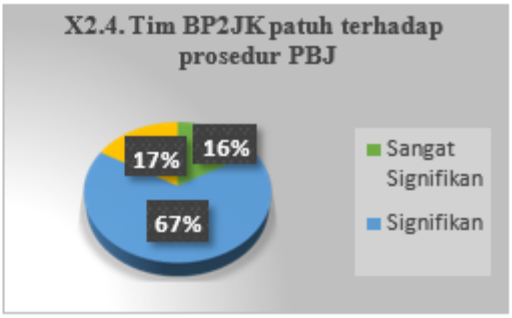
Gambar 5. Hasil persentase indikator X2.1



Gambar 6. Hasil persentase indikator X2.2



Gambar 7. Hasil persentase indikator X2.3



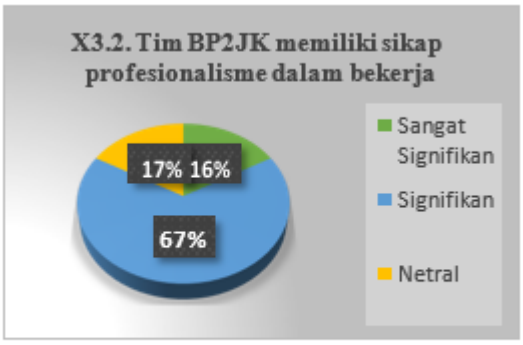
Gambar 8. Hasil persentase indikator X2.4

3. Faktor Sumber Daya Manusia (X3)

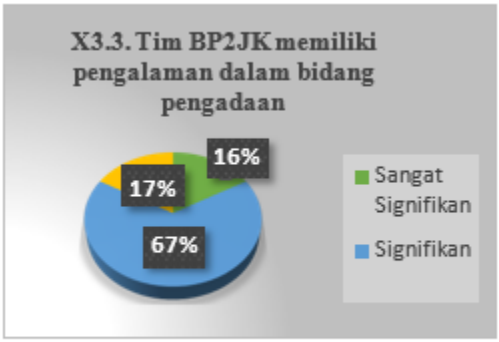
Berdasarkan hasil pengolahan data melalui Expert Jugdment diperoleh bahwa faktor Sumber Daya Manusia merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efektivitas pengadaan barang dan jasa yang terdiri tujuh sub-faktor. Hasil menunjukkan bahwa sub-faktor (i) Tim BP2JK memiliki kompetensi, (ii) Tim BP2JK memiliki pengalaman dalam pengadaan, (iii) Adanya Pendidikan dan Pelatihan bagi Tim BP2JK, (iv) adanya dukungan dari kepala BP2JK kepada Tim BP2JK, (v) adanya fasilitas sarana dan prasarana Tim BP2JK dan (vi) adanya antusiasme dan motivasi Tim BP2JK, merupakan faktor-faktor yang signifikan mempengaruhi efektivitas pelaksanaan pengadaan barang dan jasa melalui BP2JK. Secara menyeluruh hasil pengolahan data untuk faktor sumber daya manusia dituangkan dalam Gambar 9,10,11,12,13,14 dan 15.



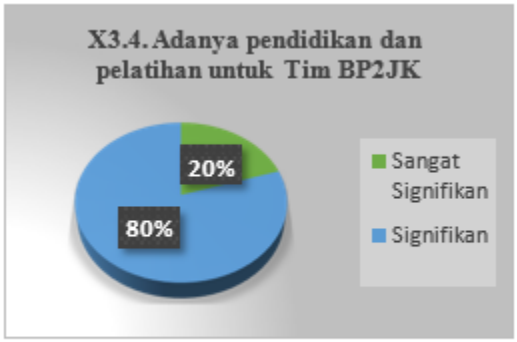
Gambar 9. Hasil persentase indikator X3.1



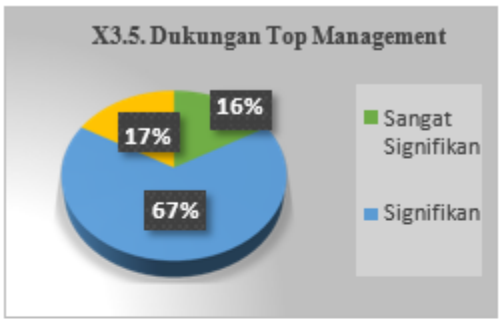
Gambar 10. Hasil persentase indikator X3.2



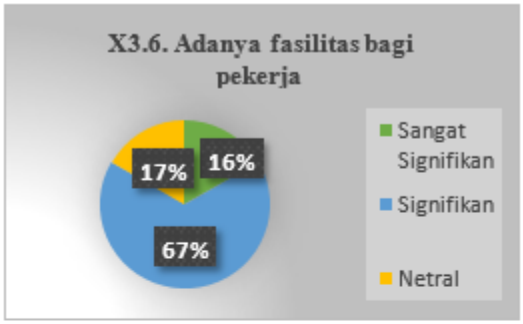
Gambar 11. Hasil persentase indikator X3.3



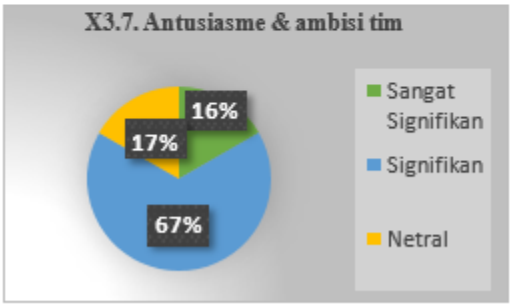
Gambar 12. Hasil persentase indikator X3.4



Gambar 13. Hasil persentase indikator X3.5



Gambar 14. Hasil persentase indikator X3.6

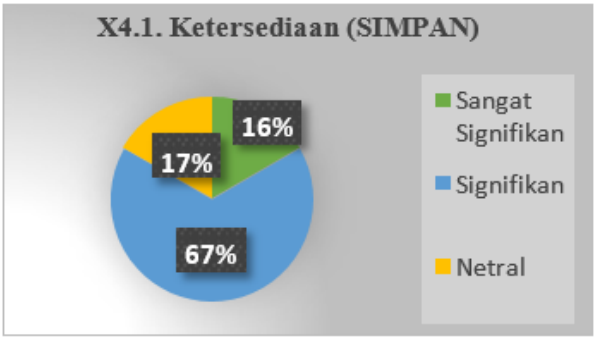


Gambar 15. Hasil persentase indikator X3.7

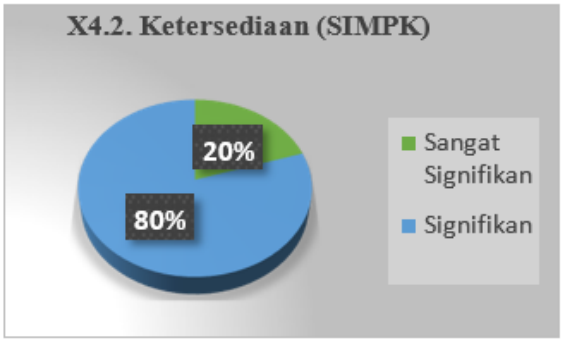
4. Faktor Sistem Informasi (X4)

Berdasarkan hasil pengolahan data Expert Judgement diperoleh bahwa Sistem Informasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efektivitas pengadaan barang dan jasa. Ada lima sub-faktor yang terdiri dari:

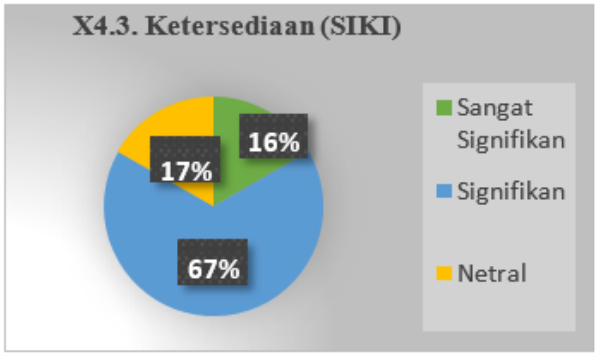
(i) Ketersediaan Sistem SIMPAN, (ii) Ketersediaan Sistem SIMPK, (iii) Ketersediaan Sistem SIKI, (iv) Ketersediaan Sistem SIPBJ, (v) Ketersediaan SIPASTI signifikan sebesar 67% mempengaruhi efektivitas pelaksanaan pengadaan barang dan jasa melalui BP2JK. Secara menyeluruh hasil pengolahan data untuk faktor sistem informasi dituangkan dalam Gambar 16,17,18,19 dan 20.



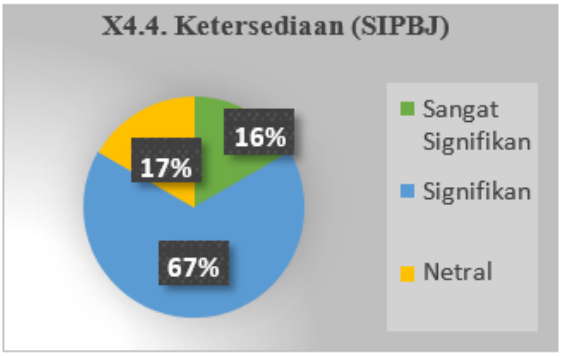
Gambar 16. Hasil persentase indikator X4.1



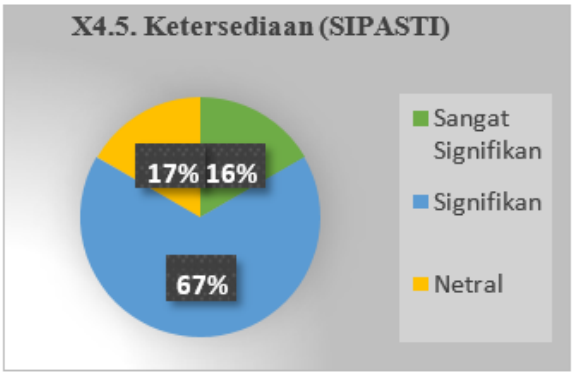
Gambar 17. Hasil persentase indikator X4.2



Gambar 18. Hasil persentase indikator X4.3



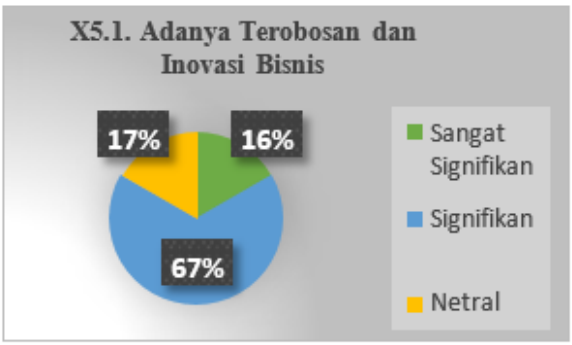
Gambar 19. Hasil persentase indikator X4.4



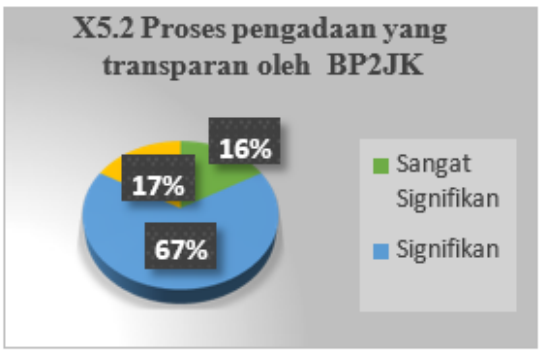
Gambar 20. Hasil Persentase Indikator X4.5

5. Faktor Proses Bisnis (X5)

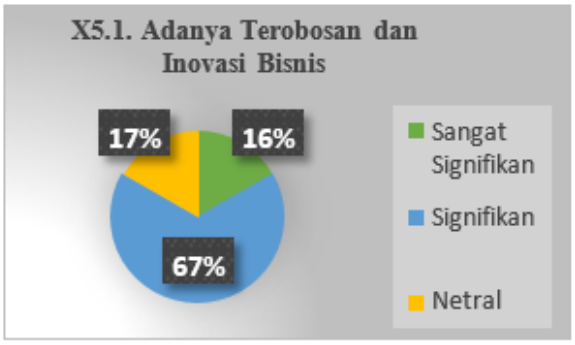
Berdasarkan hasil pengolahan data melalui Expert Jugdment diperoleh bahwa faktor Proses Bisnis merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efektivitas pengadaan barang dan jasa, Untuk faktor Proses Bisnis diperoleh lima sub-faktor yang terdiri dari (ii) Adanya terobosan dan inovasi bisnis, (ii) adanya proses pengadaan yang transparansi, (iii0 adanya proses pengadaan yang akuntabilitas, (iv) tidak adanya pengaruh birokrasi dan (v) adanya proses pengadaan secara sistem signifikan sebesar 67% mempengaruhi efektivitas pelaksanaan pengadaan barang dan jasa melalui BP2JK. Secara menyeluruh hasil pengolahan data untuk faktor proses bisnis dituangkan dalam Gambar 21, 22, 23, 24 dan 25.



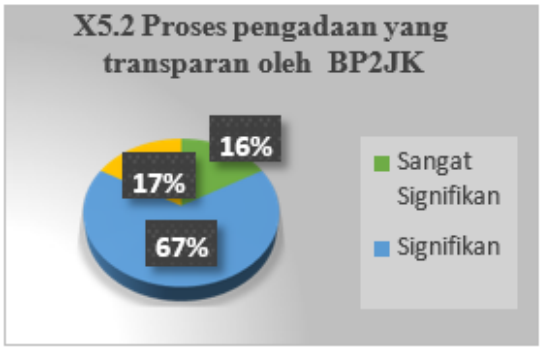
Gambar 21. Hasil persentase indikator X5.1



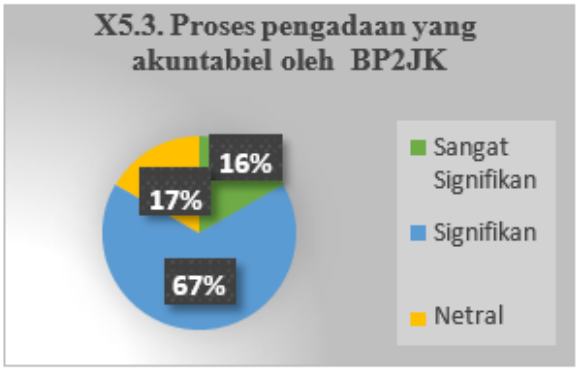
Gambar 22. Hasil persentase indikator X5.2



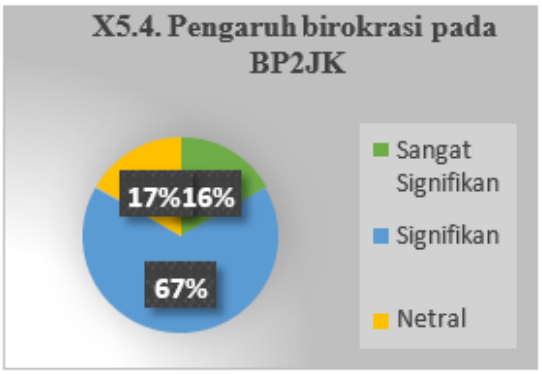
Gambar 21. Hasil persentase indikator X5.1



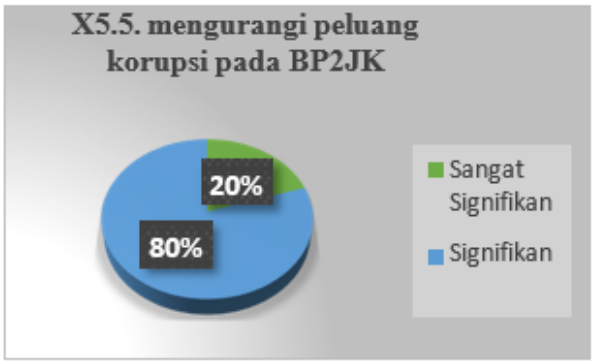
Gambar 22. Hasil persentase indikator X5.2



Gambar 23. Hasil persentase indikator X5.3



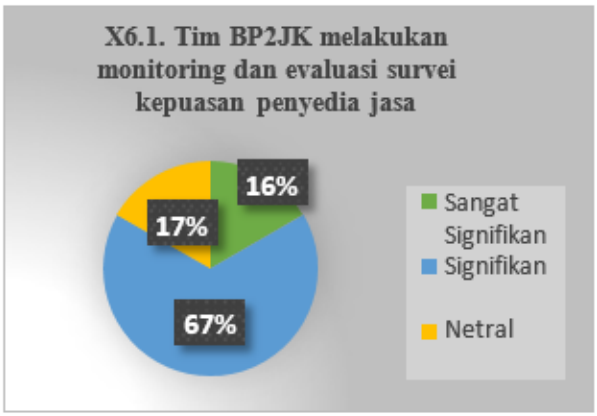
Gambar 24. Hasil persentase indikator X5.4



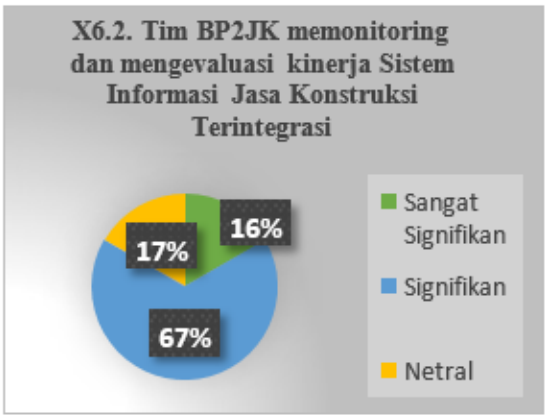
Gambar 25. Hasil persentase indikator X5.5

6. Faktor Monitoring dan Evaluasi (X6)

Berdasarkan hasil pengolahan data Expert Judgement diperoleh bahwa faktor monitoring dan evaluasi. Untuk faktor monitoring dan evaluasi diperoleh dua sub-faktor. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa: (i) Tim BP2JK melakukan monitoring dan evaluasi melalui survei kepuasan dan (ii) Tim BP2JK melakukan monitoring dan evaluasi kinerja sistem informasi signifikan sebesar 67% mempengaruhi efektivitas pelaksanaan pengadaan barang dan jasa melalui BP2JK. Secara menyeluruh hasil pengolahan data untuk faktor monitoring dan evaluasi dituangkan dalam Gambar 26 dan 27.



Gambar 26. Hasil persentase indikator X6.1



Gambar 27. Hasil persentase indikator X6.2

E. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan data, maka kesimpulan penelitian yang diperoleh *Critical Success Factors* Proses Pengadaan Pemerintah pada Jasa Konstruksi di Indonesia dipengaruhi oleh enam faktor meliputi; (i) Faktor Regulasi, (ii) Faktor Organisasi, (iii) Faktor Sumber Daya Manusia, (iv) Faktor Sistem Informasi, (v) Faktor Proses Bisnis, dan (vi) Faktor *Monitoring* dan Evaluasi. Secara menyeluruh sub-faktor dari enam faktor utama memberikan pengaruh pada peningkatan efektivitas atau kinerja tim Balai Pelaksana Pemilihan Barang dan Jasa Konstruksi (BP2JK) sehingga mampu menjadikan BP2JK sebagai agen pengadaan yang andal di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Afolabi, A., Ibem, E., Aduwo, E., & Tunji-Olayeni, P. (2020). "Digitizing the grey areas in the Nigerian public procurement system using e-Procurement technologies". International Journal of Construction Management, Vol. 22, 1010

Akbar, M.L., Suroso, A.I., Juanda, B., & Sukmawati, A. (2022). "Optimal Maturity Level Development for Government Goods/Services Procurement Organizations (UKBPJ) in Indonesia". Jurnal Aplikasi Bisnis dan Manajemen, Vol. 8, 424-433

Alfiddah, Istanti, R.Z., Asih, Y., Dianasarld, S.L. (2019). "Pembatalan Akta Perjanjian Ikatan Jual Beli Tanah Kavling". Jurnal Spektrum Hukum, Vol. 17, 170-184

Costa, A.A., Arantes, A., & Tavares, L.V. (2013). "Evidence of the impacts of public e-procurement: The Portuguese experience". Journal of Purchasing and Supply Management, Vol. 19, 238-246

Fauzan, M., Mukhlis, Evazavira. (2015). "Faktor Sukses (Key Success Factor) Kontraktor Dalam Mengikuti Lelang Menggunakan Sistem E-Procurement Di Kota Lhokseumawe". Teras Jurnal, Vol. 5, 109-124

Keputusan Menteri No. 1620/KPTS/M/2021 tentang Pembentukan Unit Kerja Pengadaan Barang/ Jasa Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Kioko, N.J. dan Were, D.S. (2014). "Factors Affecting Efficiency Of The Procurement Function At The Public Institutions In Kenya (A Case Of Supplies Branch In Nairobi)". International Journal of Business & Law Reseacrh, Vol. 2, 1-14

Martono, D. & Simanjuntk, M.R.A. (2021). "Analisis Faktor Keberhasilan Procurement Tipe Tender Cepat Berbasis e-Procurement di Perusahaan PT.ABC". Prosiding CEEDRiMS, Surakarta, 30 Juni 2021, 277-284

Nurdinna, E., Widyastuti, T., & Nurbaiti, B. (2021). "Effect Of E-Procurement, Comptence And Good Governance On The Quality Of Electrinic Procurement Services On The Island Of Java". Journal of Research in Business and Management, Vol. 9, 9-13

Owusus, E.K., Chan, A.P.C., Hosseini, M.R., & Nikmehr, B. (2020). "Assessing Procurement Irregularities In The Supply-Chain Of Ghanaian Construction Projects: A Soft-Computing Approach". Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 26, 66-82

Prasetyo, A. (2019). "Critical Success Factor Implementasi Pengadaan Secara Elektronik di Kementerian PPN/Bappenas Republik Indonesia". The Indonesian Journal of Development Planning, Vol. 3, 122-142

Tebeka, S.M. & Yessuf, A. (2019). "Challenges And Critical Success Factors For E-Procurement Adoption In Ethiopia". Russian Journal of Agricultural and Soci-economic Sciences, Vol. 86, 94-107

Tria Maulida Septiani. (2015). "Evaluasi Critical Success Factors Pada Implementasi E-Procurement Menggunakan Metode Dematel Analytical Network Process (Danp) Di PT.X". Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi

STUDI FAKTOR PENINGKATAN PERFORMA KONTRAKTOR DALAM PROSES TENDER: *LITERATURE REVIEW*

Memed Timang Palembangan[1*], Rusdi Usman Latief[2], Rosmariani Arifuddin[3], Asad Abdurrahman[4], dan Rifan Fadlillah[5]
[1*,2,3,4,5]Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Malino No. 8F Gowa
Email: memedtimang@gmail.com (Corresponding Author)

ABSTRAK

Performa perusahaan konstruksi adalah kualitas dan kuantitas pekerjaan yang mampu dilakukan perusahaan dalam memenuhi tugas dan tanggung jawab yang dibebankan. Tahapan tender merupakan tahapan pemilihan penyedia jasa yang sangat berpengaruh pada keberhasilan penyelenggaraan proyek konstruksi. Namun di sisi lain penyedia jasa, dalam hal ini BUJK, kontraktor masih menghadapi permasalahan dalam mengikuti tender. Penelitian terdahulu menunjukkan beberapa faktor kendala yang dihadapi kontraktor di Indonesia dalam pemenangan tender, meliputi kurangnya personil yang memadai, metode yang tidak sesuai persyaratan, peralatan yang tidak memadai. Permasalahan kontraktor dalam proses tender menjadi fenomena yang mendorong pentingnya studi yang komprehensif untuk menemukenali faktor-faktor yang dapat mendorong peningkatan performa kontraktor dalam tahapan tender. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi lebih jauh faktor-faktor pendorong peningkatan performa kontraktor di Indonesia. Metodologi penelitian dengan studi literatur dengan mengumpulkan berbagai sumber referensi terdahulu yang terintegrasi meliputi jurnal melalui *google scholar, scopus,* dan hasil penelitian berupa skripsi, tesis dan disertasi terkait. Selanjutnya faktor- faktor yang mendorong peningkatan performa kontraktor dipetakan dan dikelompokkan. Hasil penelitian menunjukkan terdapat tujuh faktor utama yang mendorong peningkatan performa kontraktor meliputi: (i) pemahaman dan pemenuhan regulasi/ peraturan, (ii) kelengkapan administrasi, (iii) ketersediaan finansial, (iv) ketersediaan sumber daya manusia, (v) ketersediaan peralatan kerja, (vi) kemampuan dalam sistem *e-procurement*, dan (vii) pengalaman proyek konstruksi.

Kata kunci: faktor, kontraktor, performa, tender

A. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi berkontribusi sebesar 13% dari Produk Domestik Bruto (PDB), menjadikan sektor konstruksi merupakan salah satu sektor industri terbesar dengan pengeluaran tahunan sekitar USD 10 triliun di seluruh dunia (Mc Kinsey Global Institute, 2017). Namun, kinerja sektor ini secara signifikan tertinggal dibandingkan dengan industri lain yang ditandai dengan hampir 70% proyek mengalami pembengkakan waktu dan biaya serta pertumbuhan produktivitas yang tidak signifikan (KPMG International Cooperative, 2015). Lebih jauh, sektor konstruksi mengakomodasi sejumlah kegiatan yang kompleks, beragam, dan saling terkait yang terdiri dari berbagai macam keterampilan dan kondisi operasional dari satu proyek ke proyek lainnya. Menurut Al-Sabah dan Abdulrahim (2021), sektor konstruksi dicirikan oleh industri terkemuka dan paling berpengaruh di dunia dan merupakan pemain utama dalam pertumbuhan ekonomi dunia.

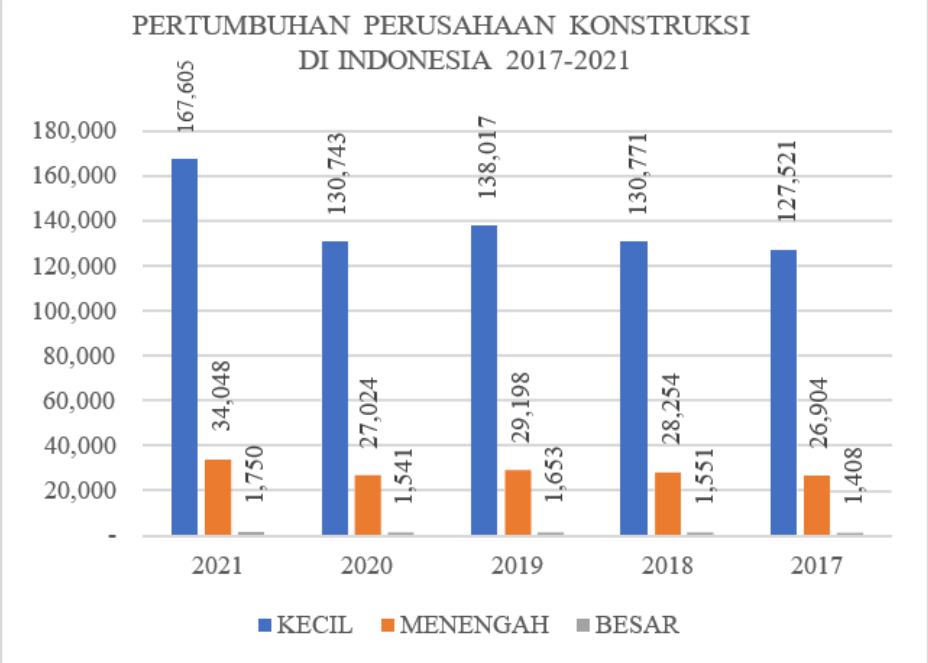
Hal yang sama, pertumbuhan sektor konstruksi di Indonesia mencapai 6%-7% per tahun, yang diproyeksikan akan terus meningkat menjadi 10%-15% pada tahun 2050 sesuai dengan *Masterplan* Percepatan dan Perluasan Pertumbuhan Ekonomi Indonesia (MP3EI). Pertumbuhan tersebut juga berbanding lurus dengan tantangan dunia jasa konstruksi yang semakin berkembang. Kedepannya,

tuntutan efisiensi, efektivitas dan tanggung jawab dalam pelaksanaan proyek konstruksi akan semakin tinggi. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat jumlah perusahaan konstruksi di Indonesia sebanyak 203.403 unit pada 2021. Jumlah tersebut berkembang pesat dibandingkan pada tahun sebelumnya yang menc apai 159.308 unit. Melihat trennya, perusahaan konstruksi di Indonesia cenderung menunjukkan peningkatan. Perusahaan konstruksi mencatatkan rekor tertingginya sebanyak 203.403 unit pada tahun 2021 yang dituangkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Jumlah perusahaan konstruksi di Indonesia 2017-2021

Adapun pertumbuhan perusahaan konstruksi di Indonesia berdasarkan kategori kecil, menengah, dan besar dari tahun 2017 hingga 2021 seperti yang dituangkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pertumbuhan perusahaan konstruksi di Indonesia 2017-2021

Berdasarkan gambar pertumbuhan perusahaan penyedia jasa konstruksi di Indonesia yang terus meningkat maka akan berdampak pada meningkatnya persaingan usaha dalam mendapatkan pekerjaan. Salah satu cara dalam mendapatkan pekerjaan yaitu dengan mengikuti tender paket konstruksi yang dilaksanakan oleh pemerintah.

Peraturan Presiden No. 12 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden No. 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah menjelaskan bahwa tender merupakan proses pemilihan untuk mendapatkan penyedia barang/pekerjaan konstruksi/jasa lainnya. Demikian juga, Onifade (2011) menyatakan bahwa tender adalah proses menyatukan berbagai kontraktor atau pemasok untuk proyek konstruksi yang sama di pasar kontrak konstruksi. Dotoli dkk. (2020) menyatakan bahwa proses tender yang sukses adalah proses tender yang sukses bergantung pada elemen-elemen seperti stabilitas keuangan kontraktor harga yang ditawarkan dan perkiraan waktu pengiriman, pengalaman kontraktor, pertimbangan lingkungan, jenis teknologi, dan kualifikasi personel. Sebagai hasilnya, proses tender adalah digunakan untuk memilih kontraktor untuk mencapai standar tertentu kualitas tanpa membuang-buang uang. Dari beberapa faktor yang telah dijelaskan nantinya akan menjadi patokan dalam peningkatan kinerja kontraktor.

Kinerja mencerminkan keberhasilan suatu proyek dan dinilai dan diukur melalui pengukuran kinerja. Sebuah proyek konstruksi dikatakan berhasil jika mampu memenuhi tujuan proyek dengan variasi yang minimum. Untuk mencapai keberhasilan proyek, memilih kontraktor yang berkinerja lebih baik sangatlah penting (Leong, K.T. dkk., 2014).

Performa adalah suatu kondisi yang harus diketahui dan dipastikan oleh pihak tertentu untuk menentukan tingkat pemenuhan hasil instansi dalam kaitannya dengan visi organisasi atau perusahaan serta mengetahui dampak positif dan negatif dari kebijakan tersebut. Kinerja kontraktor sangat penting demi keberlanjutan sebuah perusahaan kontraktor. Tak sedikit pula, tanpa mengedepankan peningkatan performa kontraktor akan berakibat pada kekalahan dalam proses pelelangan (Febrian, T. G., 2021).

Salah satu faktor yang menjadi pentingnya peningkatan performa kontraktor adalah pengalaman tenaga kerja. Pengalaman tenaga kerja merupakan suatu proses pembentukan pengetahuan dan keterampilan tentang cara kerja yang dihasilkan dari keikutsertaan karyawan dalam pelaksanaan tugas pekerjaan. Pengalaman kerja menunjukkan jenis pekerjaan apa yang telah dilakukan dan memberikan peluang yang sangat baik untuk melakukan pekerjaan yang lebih baik. Upaya untuk memanfaatkan pengalaman profesional mengarah pada kinerja wirausahawan yang berkualitas tinggi, dalam hal ini kinerja wirausahawan yang bersangkutan dan kemampuan untuk memberikan kontribusi terbaiknya untuk mencapai tujuan perusahaan (I Wayan Muka, 2019).

Di Australia, menurut Be Lan Oo et. al. (2022) dengan judul penelitian *"Critical Factors Affecting Contractors' Decision to Bid: A Global Perspective"* faktor yang berpengaruh antara lain kemampuan finansial, ketersediaan tenaga kerja, situasi pelelangan, reputasi perusahaan kontraktor, dan pengalaman pada proyek berjenis sama. Penelitian Eshentu Fanta Fango (2019) berjudul "*Challenges of Local Contractors in Winning Tender of Road Construction Projects"* di Negara Ethiopia menjelaskan bahwa terdapat beberapa tantangan kontraktor lokal memenangkan tender seperti pengalaman perusahaan kontraktor dan memiliki atau menyewa peralatan konstruksi. Di Indonesia sendiri, peneliti Yosef Marianus K. T. (2019) berjudul "Analisis Faktor Faktor Penentu Kemenangan Kontraktor Saat Tender Proyek Konstruksi di Kabupaten Flores Timur dan Lembata" menyatakan bahwa faktor-faktor penentu kemenangan kontraktor saat tender proyek konstruksi dan faktor mana

yang bisa dipakai sebagai strategi untuk memenangkan tender di Indonesia adalah dari segi biaya termasuk biaya sumber daya manusia hingga peralatan, pengalaman kontraktor seperti jumlah proyek yang telah dimenangkan dan lama kontraktor bekerja.

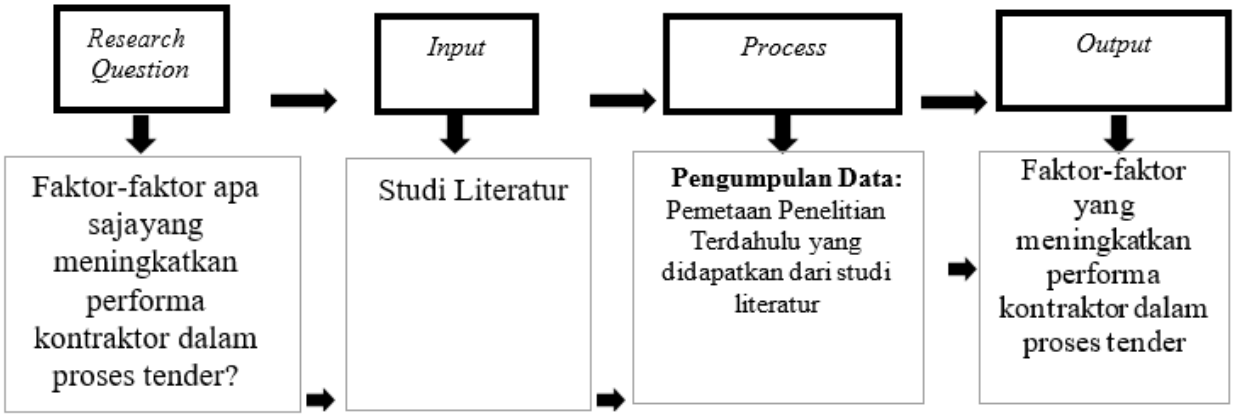
Dalam sebuah proses pelelangan (tender) pastinya akan terjadi kegagalan atau kekalahan oleh beberapa pihak. Kekalahan yang dialami oleh setiap pengusaha disebabkan oleh banyak hal seperti, kegagalan menarik perhatian pemilik proyek melalui dokumen tender, ketidakmampuan untuk bersaing dengan peserta lain, atau mungkin kesalahan yang terjadi dalam pelelangan . Proses ini yang menyebabkan gagal atau kalah dalam proses penawaran. Kemungkinan munculnya risiko yang bisa gagal dalam proses tender harus disikapi oleh masing-masing kontraktor (Grandisa Cahya Abimantara, 2019).

Data LPSE menjelaskan bahwa kegagalan pada perusahaan konstruksi dalam mengikuti proses tender disebabkan oleh beberapa hal signifikan. Pada perusahaan konstruksi kategori kecil, beberapa faktor yang telah diidentifikasi menjadi penyebab kegagalan adalah berupa substansi personil, peralatan, pembuktian, kualifikasi, RKK, dan harga. Sepadan dengan kategori kecil, penyebab kegagalan perusahaan konstruksi kategori menengah dipengaruhi oleh peralatan, personil, kualifikasi, RKK, harga, dan juga pekerjaan subkon. Yang menjadi faktor kegagalan perusahaan konstruksi berkategori besar dalam proses tender proyek konstruksi di Indonesia adalah personil, peralatan, pembuktian, kualifikasi, RKK, harga, pekerjaan subkon, serta metode.

Mengacu pada fenomena permasalahan performa kontraktor dalam proses tender maka disimpulkan bahwa performa kontraktor dalam proses tender masih mengalami kendala di berbagai aspek, sehingga perlu dilakukan penelitian mendalam terkait faktor-faktor apa saja yang dapat meningkatkan performa kontraktor dalam proses tender serta pemodelan strategi peningkatan performa kontraktor pada proses tender proyek konstruksi di Indonesia.

B. METODE

Metode penelitian dilakukan dengan studi literatur dengan mengumpulkan seluruh referensi terdahulu yang terakit dan selanjutnya dianalisis lebih jauh variabel-variabel yang telah diteliti. Data awalnya diperoleh dari jurnal yang diterbitkan secara global dari tahun 2013 hingga 2023 dan dianalisis sesuai dengan topik yang telah ditentukan dan koleksi menggunakan sumber terintegrasi meliputi jurnal melalui *google scholar, scopus* dan hasil penelitian berupa skripsi, tesis dan disertasi terkait. Kata kunci yang digunakan difokuskan pada peningkatan performa kontraktor, faktor peningkatan performa kontraktor, performa kontraktor dalam proses tender. Tahapan penelitian digambarkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan penelitian

Selanjutnya, abstrak dari berbagai referensi yang relevan dipilih sesuai dengan kriteria judul yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengumpulan referensi diperoleh 30 artikel. Selanjutnya artikel yang diperoleh dianalisis lebih lanjut dengan seleksi intensif yang terkait dengan relevansi dengan penelitian diperoleh 8 artikel yang sangat relevan. Artikel diseleksi secara intensif dengan kriteria sebagai berikut: (i) artikel harus fokus pada topik performa kontraktor dalam proses tender; dan (ii) artikel harus berisi faktor yang meningkatkan performa kontraktor. Lebih jauh dari 8 artikel yang sangat relevan dengan penelitian ini, dilakukan pemetaan dan pengelompokan variabel-variabel yang terkait.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengacu pada pengumpulan referensi dan analisis pemetaan variabel dari studi literatur yang dilakukan diperoleh bahwa penelitian-penelitian terdahulu yang membahas terkait performa kontraktor dalam tahapan tender cukup beragam baik dari variabel-variabel yang dikembangkan, maupun metodologi penelitian yang digunakan. Khususnya mengenai variabel, berbagai penelitian-penelitian yang berbeda sering melaporkan hasil yang tidak konsisten atau bahkan kontradiktif yang tidak konsisten atau bahkan bertentangan mengenai dampak dari beberapa faktor terhadap performa kontraktor dalam proses tender, maka diperoleh faktor-faktor yang mendorong peningkatan performa kontraktor dalam proses tender proyek konstruksi.

Tabel 1. Faktor yang meningkatkan performa kontraktor dalam proses tender

No.	Penelitian	Variabel Penelitian							Metodologi Penelitian
		Regulasi/ Peraturan	Administrasi	Sumber Daya Finansial	Sumber Daya Manusia	Sumber Daya Peralatan	Sistem	Pengalaman	
1	Fauzan, M. dkk(2015)	√	√		√	√	√		Pengumpulan Data: Melalui kuesioner yang diberikan kepada kontraktor yang pernah mengikuti lelangdi Kota Lhokseumawe. Analisis Data: Analisis regresi dengan menggunakan program SPSS

No.	Penelitian	Variabel Penelitian							Metodologi Penelitian
		Regulasi/ Peraturan	Administrasi	Sumber Daya Finansial	Sumber Daya Manusia	Sumber Daya Peralatan	Sistem	Pengalaman	
2	Pio, G. N. dkk (2015)		√		√	√		√	Pengumpulan Data: *Survey*, kuesioner, dan wawancara langsung kepada responden Analisis Data: Uji validitas dan reliabilitas, kemudian menggunakan program SPSS 17.0
3	Alptekin, O. dan Alptekin, N. (2017)			√	√	√		√	Pengumpulan Data: Survey kepada responden Analisis Data: Menggunakan analisis Entropy untuk menskalakan hasil survey dan analisis TOPSIS untuk memberikan perankingan
4	Fango, E. F. (2019)			√	√	√		√	Pengumpulan Data: Survey penelitian kepada responden Analisis Data: Menggunakan analisis Indeks Relative Importance (RII) dengan program microsoft excel
5	Kiwan, Y. M. T. (2019)			√	√	√	√	√	Pengumpulan Data: Menggunakan kuesioner skala likert Analisis Data: Analisis regresi berganda dengan program SPSS
6	Mnuni, K. E. (2019)	√		√			√		Pengumpulan Data: kuesioner, wawancara langsung, dan review dokumen Analisis Data: Uji reliabilitas dan validitas
7	Peli, M. dan Ariani, V. (2020)		√	√	√	√	√	√	Pengumpulan Data: Studi literatur dan menggunakan kuesioner Analisis Data: Metode analisis percentage
8	Naji, K. K. dkk (2022)			√	√	√		√	Pengumpulan Data: Menggunakan kuesioner skala likert Analisis Data: Analisis Relative Importance Index (RII) dan Analytic Network Process (ANP)

Terdapat tujuh faktor yang meningkatkan performa kontraktor dalam proses tender antara lain Peraturan, Administrasi, Sumber Daya Finansial, Sumber Daya Manusia, Sumber Daya Peralatan, Sistem, dan Pengalaman Perusahaan. Faktor-faktor yang meningkatkan performa kontraktor dalam proses tender dibahas di bagian selanjutnya, terkait dengan tujuh kategori ini.

Terdapat tujuh faktor yang meningkatkan performa kontraktor dalam proses tender antara lain Peraturan, Administrasi, Sumber Daya Finansial, Sumber Daya Manusia, Sumber Daya Peralatan, Sistem, dan Pengalaman Perusahaan. Faktor-faktor yang meningkatkan performa kontraktor dalam proses tender dibahas di bagian selanjutnya, terkait dengan tujuh kategori ini.

1. **Regulasi/Peraturan**

   Salah satu faktor yang berpengaruh pada performa kontraktor adalah sejauh mana kontraktor memahami dan pemenuhan regulasi atau peraturan yang dijadikan acuan dalam melakukan transaksi elektronik untuk menjamin keabsahan dalam melakukan transaksi tersebut. Faktor ini menilai seberapa besar kontribusinya terhadap peningkatan performa kontraktor selama masa penawaran (Mnuni, 2019). pemenuhan ketentuan peraturan perundang-undangan untuk menjalankan usaha menjadi faktor yang diteliti oleh Fauzan, M. dkk (2015)

2. **Administrasi**

   Pada penelitian Peli, M. dan Ariani, V. (2020) menjelaskan bahwa indikator yang berpengaruh dalam performa kontraktor salah satunya adalah kelengkapan persyaratan administrasi. Kelengkapan administrasi terbagi menjadi waktu pelaksanaan dan harga penawaran. Waktu penyelesaian merupakan hal yang sangat penting dalam proses konstruksi dan dicantumkan dalam dokumen kontrak, semakin cepat waktunya maka semakin cepat pula proyek dapat digunakan. Pio, G. N. dkk (2015) menyatakan bahwa kelengkapan persyaratan substansial yang diminta dalam dokumen lelang menjadi salah satu sub faktor dalam faktor administrasi.

3. **Sumber Daya Finansial**

   Salah satu faktor peningkatan performa kontraktor dalam proses tender adalah modal perusahaan karena memainkan peran penting dalam dunia konstruksi karena memungkinkan perusahaan menghasilkan arus kas untuk pekerjaan yang dilakukan. Kapasitas permodalan yang kuat mempermudah perencanaan proses pengadaan tenaga kerja, peralatan, dan material (Alptekin, O dan Alptekin, N., 2017). Selain itu penelitian Kiwan, Y. M. T. (2019) menyatakan bahwa segi harga antara meliputi penawaran, daftar kuantitas dan harga satuan setiap jenis atau item pekerjaan menjadi faktor meningkatkan performa kontraktor.

4. **Sumber Daya Manusia**

   Penelitian Peli, M. dan Ariani, V. (2020) menjelaskan selain faktor manajerial dan sumber daya keuangan meliputi faktor manusia yang merupakan pegawai atau tenaga ahli. Semakin tinggi kualifikasi dan jumlah tenaga ahli yang ada di perusahaan maka semakin besar pengaruhnya terhadap penyelesaian pekerjaan dan semakin besar pula peluang perusahaan memenangkan kontrak. Faktor sumber daya manusia menjadi salah satu hal dalam penelitian Naji, K. K. (2020) termasuk mengenai jumlah tenaga kerja, jenis keterampilan dan keahlian tenaga kerja, dan kesejahteraan tenaga kerja. salah satu faktor dalam pengembangan potensi sumber daya manusia adalah bahwa orang-orang yang terlibat dalam pelaksanaan lelang harus memiliki keterampilan dan pengetahuan yang memadai untuk dapat berpartisipasi dalam pelaksanaan lelang atau penawaran dalam peran yang sesuai dengan tugasnya (Fango, E. F. 2019)

5. Sumber Daya Peralata

Sumber daya peralatan merupakan nilai tambah dalam memenangkan tender karena ketersediaan peralatan cepat atau lambat mempengaruhi dimulainya atau selesainya suatu proyek konstruksi dan membawa nilai tambah bagi perusahaan pemenang tender (Pio, G. N. dkk., 2015). Penelitian Kiwan, Y. M. T. (2019) menjelaskan bahwa faktor sumber daya peralatan yang menjadi faktor peningkatan performa kontraktor adalah penyiapan dan kualitas material bahan.

6. Sistem

Penelitian Peli, M. dan Ariani, V. (2020) menyatakan bahwa metode pelaksanaan penawaran adalah mengembangkan prosedur dan teknik untuk melaksanakan pekerjaan. Metode pelaksanaannya berkaitan dengan persyaratan dokumen lelang dan realitas teknis dan finansial di lapangan. Pengelolaan teknologi adalah pelaksanaan transaksi melalui media elektronik, pengembangan sistem pendaftaran penyedia layanan, kapasitas bandwidth yang memadai untuk kelancaran pengisian formulir penawaran (Fauzan, M. dkk. 2015).

7. Pengalaman

Pengalaman menjadi salah satu faktor yang diteliti oleh Peli, M. dan Ariani, V. (2020). Apabila perusahaan memiliki pengalaman bisnis yang tinggi, panitia lelang akan lebih memperhatikan penawaran perusahaan. Naji, K. K. dkk., (2022) juga menjelaskan bahwa pengalaman menjadi salah satu faktor yang cukup krusial dalam peningkatan performa kontraktor seperti jumlah proyek yang dimenangkan dan lama kontraktor bekerja dalam suatu proyek.

F. KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur mengenai faktor peningkatan performa kontraktor dalam proses tender proyek konstruksi dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang meningkatkan performa kontraktor dalam proses tender terdiri dari: (i) pemahaman dan pemenuhan regulasi/ peraturan, (ii) kelengkapan administrasi, (iii) ketersediaan sumber daya finansial, (iv) ketersediaan sumber daya manusia, (v) ketersediaan sumber daya peralatan kerja, (vi) kemampuan dalam pengoperasian tender melalui *system E-procurement*, dan (vii) pengalaman dalam penyelenggaraan proyek konstruksi.

Hasil penelitian ini merupakan penelitian awal yang akan dikembangkan lebih jauh untuk mengenali secara komprehensif faktor faktor-faktor yang dapat mendorong peningkatan performa kontraktor dalam tahapan tender dan strategi peningkatan performa kontraktor dalam tahapan tender.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Sabah, R. dan Abdulrahim, F. (2021). "Influence of the New Tender Law on Construction Project Bid Prices and Durations in Kuwait". Journal of Engineering Research, Vol.9,No. 2.

Alptekin, O. dan Alptekin, N. (2017). "Analysis of Criteria Influencing Contractor Selection Using TOPSIS Method" IOP Con. Series, Vol. 245.

Dotoli, M., Epicoco, N., dan Falagario, M. (2022). "Multi-Criteria Decision Making techniques for the management of public procurement tenders: A case study". Applied Soft Computing, Vol. 88.

Fango, E. F. (2019). "Challenges of Local Contractors in Winning Tender of Road Construction Projects". Addis Ababa Science and Technology University.

Fauzan, M., Mukhlis, dan Evazavira. (2015). "Faktor Sukses (Key Success Factor) Kontraktor dalam Mengikuti Lelang Menggunakan Sistem E-Procurement di Kota Lhokseumawe". Teras Jurnal, Vol. 5, No. 2.

Febrian, T. G., Nurisra, dan Mahmuddin. (2021). "Penyebab Gugurnya Penawaran Kontraktor dalam Proses Lelang ditinjau dari Aspek Teknis di Kota Banda Aceh". Journal of The Civil Engineering Student, Vol. 3, No. 2.

Kiwan, Y. M. T. (2019). "Analisis Faktor Penentu Kemenangan Kontraktor Saat Tender Proyek Konstruksi di Kabupaten Flores Timur dan Lembata". Jurnal Sondir, Vol. 2.

KPMG International Cooperative. (2015). Passion, Porpuse, Perspective.

Leong, K. T., Zakuan, N., Saman, M. Z. M., Ariff, M. S. M., dan Tan, C. S. (2014). "Using Project Performance to Measure Effectiveness of Quality Management System Maintenance and Practices in Construction Industry". The Scientific World Journal, Vol. 2014.

McKency Global Institure. (2017). Reinventing Construction A Route to Higher Productivity.

Mnuni, K. E. (2019). "Factors Hindering Local Contractors From Winning Huge Road Constructions Tenders: A Case Study of Tanroads HQ and Dar Es Salaam Region". Mzumbe University.

Muka, I. W. dan Wijaya, I. M. H. (2019). "Pengaruh Pengalaman Tenaga Kerja Terhadap Kinerja Kontraktor pada Proyek Konstruksi Villa (Study Kasus : Pembangunan Villa Menaro's House, PT. Cipta Kreasi Bangun Pratama)". Widya Teknik, Vol. 12, No. 1.

Naji, K. K., Gunduz, M., dan Falamarzi, M. H. (2022). "Assessment of Construction Project Contractor Selection Success Factors considering Their Connections". KCSE Journal of Civil Engineering.

Onifade, A. (2011). "Analysis of Factors Affecting Contractors' Tender Success". Federal University of Technology. Oo, B. L., Lim, T. H. B., dan Runeson, G. (2022). "Critical Factors Affecting Contractors' Decision to Bid: A Global Perspective". Buildings, Vol. 12, Issue 3

Peli, M. dan Ariani, V. (2020). "Penerapan Keppres Nomor 80 Tahun 2003 dalam Proses Pemilihan Pemenang Tender Proyek Konstruksi di Sumatera Barat". Rekayasa Sipil, Vol. 14, No. 3.

Pio, G. N., Sutarja, I. N., dan Yansen, I. W. (2015). "Faktor-Faktor Pemilihan Pemenang Lelang Jasa Konstruksi pada Proyek Pemerintah di Kabupaten Sikka". Jurnal Spektran, Vol. 3, No. 2.

ANALISIS ALUR PERSETUJUAN BANGUNAN GEDUNG (PBG) UNTUK SYARAT PEMBANGUNAN GEDUNG BARU

Dyah Ayu Septiana[1*], Hendramawat Aski Safarizki[2] dan Iwan Ristanto[3]
[1*,2,3] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjend. Sujono Hunardani
Email: einstein@uns.ac.id (Corresponding Author)

ABSTRAK

Dalam pembangunan rumah tinggal atau gedung tinggi dan luas, diperlukannya sebuah pedoman atau acuan agar dalam proses pendirian bangunan gedung atau tempat tinggal tersebut tetap sesuai aturan yang berlaku. Salah satu izin yang berhak dikeluarkan oleh dinas terkait dan digunakan secara utuh karena dapat melindungi pemohon mendapatkan izin mendirikan sebuah bangunan. Metode perizinan yang digunakan adalah pelayanan perizinan melalui IMB (Izin Mendirikan Bangunan) dengan beberapa layanan yang dapat diakses secara langsung dan cepat melalui *online website* dari SIMBG pada layanan PBG (Persetujuan Bangunan Gedung). Beberapa analisis dan pertanyaan mulai muncul terkait penggunaan layanan *online* perizinan persetujuan mendirikan bangunan gedung. Dengan itu, penelitian ini bersifat kuantitatif dengan sebaran kuesioner pada 35 responden secara acak agar dapat mengisi penilaian secara nyata tentang efektivitas Persetujuan Bangunan Gedung (PBG) dengan sistem *online* SIMBG. Kemudian dapat diketahui beberapa hasil kuesioner menyatakan lebih dari 50% pria dewasa memahami bahwa IMB telah diganti dengan PBG, PBG dengan sistem *online* dinilai sedikit lebih efektif karena pelayanan mudah, lengkap, dan rinci secara *online*. Kurang dari 50% beberapa responden menyatakan bahwa pelayanan PBG masih sama saja dengan IMB secara *offline*, di mana pengurusannya memerlukan waktu beberapa hari agar dapat terbit izin mendirikan bangunan gedung atau rumah tinggal. Berdasarkan hasil kuesioner dan pengolahan data yang dilakukan, diperoleh hasil perizinan PBG menggunakan layanan SIMB dinilai lebih efektif. Hal ini dapat diketahui dengan jumlah responden yang memahami tentang dasar hukum, metode pelayanan dan keunggulan PBG melebihi 70% dari jumlah responden

Kata kunci: IMB, Persetujuan Bangunan Gedung (PBG), SIMBG

A. PENDAHULUAN

Bangunan gedung merupakan salah satu dari sekian banyak konstruksi yang ada di dunia. Bangunan gedung memiliki berbagai fungsi dan memegang peran penting bagi keberlangsungan kegiatan manusia. Namun, diperlukan perizinan dalam pembangunan gedung. Hal ini diperlukan karena setiap bangunan yang didirikan wajib memiliki identitas termasuk dalam fungsi bangunan, pemilik bangunan, spesifikasi dan yang lainnya. Pembangunan gedung baru atau renovasi gedung diperlukan penyesuaian dengan aturan bangunan gedung yang berlaku di Indonesia dengan mengajukan Persetujuan Bangunan Gedung (PBG) untuk mendapatkan izin dan alur kerja dalam mendirikan sebuah bangunan gedung baru ataupun renovasi.

Sebelumnya, peraturan tentang mendirikan bangunan diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005. Pada Peraturan Pemerintah tersebut diisyaratkan bahwa setiap bangunan gedung wajib memenuhi persyaratan teknis sesuai dengan fungsi bangunan gedung. Namun pemerintah telah memperbarui peraturan tentang bangunan gedung sebagai ganti dari PP No.36 Tahun 2005 menjadi Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021. Secara singkat, pada peraturan ini terdapat perubahan yang sebelumnya Izin Mendirikan Bangunan (IMB) menjadi Persetujuan Bangunan Gedung (PBG) (Syafrizal & Syaidiman, 2021). Izin ini sebagaimana IMB wajib dimiliki siapa pun

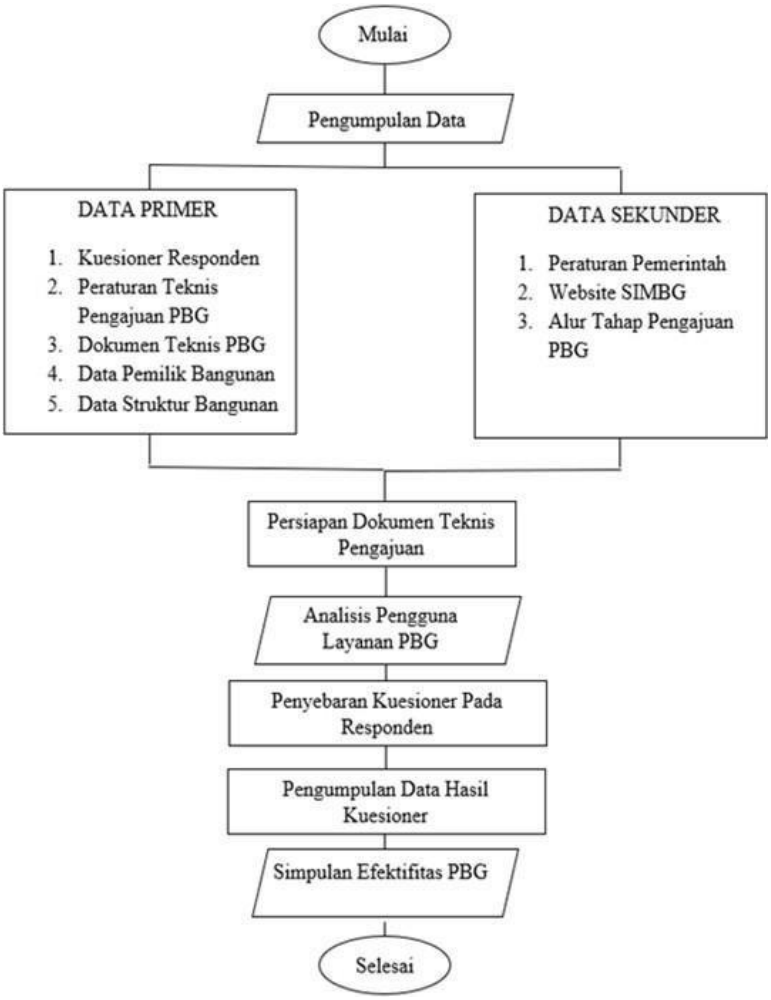
yang ingin membangun bangunan baru, mengubah, sampai merawat bangunan. Secara garis besar persyaratan yang diberikan mirip dengan peraturan sebelumnya yang meliputi status kepemilikan tanah, kepemilikan bangunan gedung, dan lingkungan sekitar gedung. Namun terdapat beberapa perubahan seperti tidak mengharuskan pemilik gedung mengajukan izin sebelum membangun gedung dan melaporkan fungsi bangunannya, pemerintah memberikan opsi fungsi campuran pada PBG di mana dengan fungsi campuran bangunan bisa digunakan untuk lebih dari satu fungsi misalnya berupa bangunan hunian yang juga dipakai sebagai bangunan usaha. PBG memiliki informasi wajib yang harus dicantumkan. Pelanggaran dapat mengakibatkan sanksi sesuai dengan Pasal 12 (Yanto *et al*, 2022). Menurut publikasi Kementerian PUPR, PBG dapat diterbitkan dalam dua hari jika pemohon memenuhi standar teknis. PBG menerapkan konsep NSPK dari pemerintah pusat, berbeda dengan IMB. PBG memungkinkan pembangunan langsung jika memenuhi standar pemerintah, tanpa harus menyelesaikan IMB terlebih dahulu (Setiawan, 2021).

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, terdapat perubahan yang penting dalam pengajuan pendirian bangunan gedung yaitu peralihan dari Izin Mendirikan Bangunan (IMB) ke Persetujuan Bangunan Gedung (PBG). Perbedaan yang paling mendasar antara IMB dengan PBG adalah IMB merupakan izin yang harus diperoleh pemilik sebelum atau saat mendirikan bangunan dan teknis bangunan harus dilampirkan saat mengajukan permohonan izin, sedangkan PBG bersifat pengaturan perizinan yang mengatur bangunan gedung harus didirikan, pengaturan tersebut bangunan gedung harus memenuhi standar teknis yang sudah ditetapkan. Standar teknis yang dimaksud berupa perencanaan dan perancangan bangunan gedung, pelaksanaan dan pengawasan konstruksi bangunan gedung dan pemanfaatan bangunan gedung (Situngkir, 2021). Pada penelitian ini penulis menganalisis alur persetujuan bangunan gedung yang baru dirilis oleh pemerintah dengan tujuan mendapatkan analisis manakah yang lebih efektif antara IMB yang selama ini sudah diterapkan atau PBG dengan sistem yang baru, dengan alur yang berbeda pula, serta menganalisis apakah PBG lebih mudah pelaksanaanya dibandingkan dengan IMB.

B. METODE

Pada penelitian ini, digunakan metode *survey* dan pengisian *survey* melalui Google Formulirulir. Diperlukan studi literatur sebagai dasar penulisan penelitian, selain itu juga diperlukan responden yang dapat mengisi kuesioner yang dibagikan oleh penulis. Untuk menganalisis data, peneliti menggunakan aplikasi Microsoft Excel.

Metode dari penelitian ini adalah dengan cara setiap responden mengisi setiap kuesioner yang diberikan melalui Google Formulirulir. Sebanyak 35 responden yang menjadi sampel dari penelitian ini dikelompokkan berdasarkan preferensi jenis kelamin laki-laki dan perempuan yang sekaligus sebagai hasil data primer. Data sekunder didapatkan dari sumber literatur berupa buku, peraturan, jurnal dan yang lainnya. Berikut adalah diagram alur penelitian.



Gambar 1. Diagram alir

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peneliti mengajukan sebanyak 16 pertanyaan pada 35 responden yang berhubungan dengan perubahan peraturan, IMB, PBG dan sistem pelayanan pengajuan PBG melalui *website* SIMBG serta tanggapan masyarakat akan hal tersebut. Berikut pertanyaan pada kuesioner dan analisisnya.

Seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 1 penulis mendapatkan data usia pengisi kuesioner dengan responden terbanyak pada usia 25-40 tahun atau dalam usia produktif.

Tabel 1. Jumlah status usia responden

No	Status	Jumlah
1	Pria	29
2	Wanita	6
3	Lainnya	0

Dari target responden sebesar 35 responden selama kurun waktu 3 hari, maka didapatkan hasil pengisian Google Formulirulir dari 35 responden terisi. Sebanyak 29 reponden pria yang mengisi dan sisanya wanita. Di mana dalam kurun waktu PBG ini dimulai sejak tahun 2022 banyak pemohon yang berjenis kelamin pria yang ditampilkan dalam Tabel 2 berikut ini.

Jenis kelamin

Dari target responden sebesar 35 responden selama kurun waktu 3 hari, maka didapatkan hasil pengisian Google Formulirulir dari 35 responden terisi. Sebanyak 29 reponden pria yang mengisi dan sisanya wanita. Di mana dalam kurun waktu PBG ini dimulai sejak tahun 2022 banyak pemohon yang berjenis kelamin pria yang ditampilkan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Jenis Kelamin

No	Status	Jumlah
1	Pria	29
2	Wanita	6
3	Lainnya	0

Domisili responden

Penelitian ini diteliti di Kabupaten Wonogiri maka dari itu diharapkan koresponden berasal dari Kabupaten Wonogiri guna mengetahui bagaimana pemahaman masyarakat Kabupaten Wonogiri memahami alur mengajukan Persetujuan Bangunan Gedung (PBG) dan dapat dibuktikan dengan hasil yaitu 27 koresponden dari 35 koresponden berasal dari Kabupaten Wonogiri yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Domisili Responden

No	Domisili	Jumlah
1	Wonogiri	27
2	Surakarta	3
3	Klaten	1
4	Karanganyar	1
5	Sleman	1
6	Cirebon	1
7	Bekasi	1
	Total	35

Kepemilikan rumah tinggal

Pada data koresponden, peneliti juga mencantumkan status kepemilikan rumah tinggal. Hal ini diharapkan bahwa responden yang sudah memiliki tempat tinggal dapat mengetahui peraturan yang baru mengenai PBG. Data kepemilikan rumah tinggal dapat dilihat dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kepemilikan rumah tinggal

No	Memiliki Rumah Tinggal	Jumlah
1	Sudah	27
2	Belum	8
	Total	35

Pengenalan IMB

Data koresponden yang mengenal IMB diperlukan penulis karena peraturan dan prosedur yang selama ini berlaku adalah tentang IMB, sebelum adanya pembaruan. Maka dari itu penulis berasumsi bahwa koresponden lebih mengenal IMB.

Alur mengurus IMB rumah tinggal

Penulis mencantumkan pertanyaan mengenai alur pengurusan IMB karena peraturan IMB yang sudah lama berlaku. Pertanyaan ini juga digunakan sebagai dasar pada pertanyaan mengenai perbandingan IMB dan peraturan PBG yang baru ditetapkan dan dihasilkan data *survey* seperti pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Alur mengurus IMB rumah tinggal

No	Mengetahui Alur IMB	Jumlah
1	Tahu	33
2	Tidak	2
	Total	35

Pembaharuan IMB menjadi PBG

Sekitar 94,3% masyarakat di Wonogiri kebanyakan sudah mengetahui bahwa IMB yang dulu, kini telah digantikan dengan PBG (Persetujuan Bangunan Gedung) di mana proses pengurusannya lebih mudah melalui *website online*. Namun, bisa dilihat dari hasil *survey* yang terlihat pada Tabel 6, masih belum banyak pemohon yang paham akan *system online website* mengurus PBG.

Tabel 6. Pembaharuan IMB menjadi PBG

No	Syarat Pengajuan PBG	Jumlah
1	Tahu	28
2	Tidak	7
	Total	35

Syarat pengajuan PBG

Tabel 7 dibawah ini merupakan hasil kuesioner tentang syarat pengajuan PBG digunakan untuk mengetahui berapa banyak responden yang memahami alur pengajuan PBG.

Tabel 7. Syarat Pengajuan PBG

No	Syarat Pengajuan PBG	Jumlah
1	Tahu	28
2	Tidak	7
	Total	35

Dasar hukum PBG

Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 mengatur Tentang Bangunan Gedung yang telah diatur oleh pemerintah sebagai pedoman pengurusan perizinan mendirikan sebuah bangunan tempat tinggal atau gedung. Agar dalam penerbitan dan kegunaannya dapat terlindungi hukum secara aktif dan nyata, serta dapat dipertanggungjawabkan. Sebagai pengetahuan lanjut mengenai PBG, responden diberikan kuesioner mengenai dasar hukum PBG. Pengetahuan mengenai dasar hukum PBG diperlukan agar masyarakat menjalankan peraturan mengenai pengajuan PBG. Adapun jumlah PP yang menjadi dasar hukum PBG dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Dasar Hukum PBG

No	Dasar Hukum PBG	Jumlah
1	PP No. 16 tahun 2021	27
2	PP No. 11 tahun 2020	2
3	PP No. 56 tahun 2022	6
	Total	35

Metode pelayanan PBG

Lebih dari 50% responden menyatakan bahwa dalam pengurusan PBG benar melalui *website* yang mudah dipahami dan alurnya lengkap pada *website* SIMBG sebagai syarat sah pelayanan dan pengurusan PBG. Maka dari itu, dari tabel 9 dapat disimpulkan bahwa mayoritas pelaku pembangunan sudah paham akan maksud dan tujuan IMB diganti dengan PBG melalui system yang telah ditentukan.

Tabel 9. SIMBG

No	SIMBG	Jumlah
1	Tahu	32
2	Tidak	3
	Total	35

Keunggulan PBG dibandingkan IMB

Salah satu kriteria penting dalam menentukan efektif atau tidaknya PBG adalah membandingkannya dengan peraturan yang lama yaitu IMB. Tabel 10 menunjukkan sebanyak 34 responden telah memahami alur pengajuan perizinan PBG yang dapat dilakukan melalui *website* SIMBG dan hanya 1 orang yang belum memahami tentang keunggulan PBG. Dari angka tersebut dapat terlihat bahwa PBG lebih unggul dibandingkan IMB.

Tabel 10. Keunggulan SIMBG

No	Keunggulan	Jumlah
1	Dapat Mengurus di mana saja melalui SIMBG	34
2	Dapat Mengurus di kantor perizinan mana saja	1
Total		35

Dokumen pengurusan PBG

Kuesioner mengenai pengetahuan responden tentang dokumen yang diperlukan dalam pengurusan PBG diperlukan karena jika dibandingkan dengan peraturan sebelumnya, PBG memiliki perbedaan dalam memberikan syarat dokumen kepengurusan. Pada perhitungan nilai skor kuesioner yaitu dengan mengalikan skor dengan jumlah jawaban responden, pada data yang tercantum di Tabel 11 didapatkan hasil bahwa lebih tinggi pengetahuan responden mengenai PBG yang dapat mengindikasikan PBG lebih mudah dibandingkan IMB.

Tabel 11. Dokumen Pengurusan PBG

No	Dokumen PBG lebih ringkas dari IMB	Skor	Jawaban
1	Sangat Tidak Yakin	1	0
2	Tidak Yakin	2	20
3	Yakin	3	0
4	Sangat Yakin	4	15

Rasio perbandingan efektivitas PBG

Pada penelitian dan pembagian kuesioner terdapat pertanyaan mengenai perbandingan IMB dan PBG yaitu "Dengan adanya *website* SIMBG, apakah dapat dikatakan pelayanan mengurus PBG lebih cepat dibandingkan IMB?". Tabel 12 menunjukkan sebanyak 22 orang dari 35 responden berpendapat bahwa sistem baru PBG yang dibuat pemerintah ini memiliki kecepatan pelayanan yang sama dengan IMB. Dan sebanyak 13 orang dari total responden berpendapat lebih cepat dibandingkan dengan IMB. Dari analisis kuesioner, penulis mengambil kesimpulan bahwa responden yang menjawab "cepat" memiliki kecenderungan lebih memilih PBG dan sisanya memilih IMB.

Tabel 12. Rasio perbandingan

No	Keterangan Jawaban	Jumlah Penjawab	Analisis
1	Cepat	13	Penjawab lebih memilih PBG
2	Sama Saja	22	Penjawab lebih memilih IMB

Alur pengajuan dan dokumen PBG

Pada bagian akhir kuesioner, responden mendapatkan dua pertanyaan mengenai PBG. Pertanyaan pertama mengenai alur pengajuan PBG dan pertanyaan kedua atau yang terakhir mengenai dokumen persyaratan mengajukan PBG. Dua pertanyaan terakhir ini dinilai sebagai pengetahuan lanjutan responden mengenai PBG. Hasilnya, sebanyak 29 responden telah mengetahui alur pengajuan PBG beserta persyaratannya, dan sisanya kurang memahami tentang alur pengajuan ran dokumen yang dibutuhkan dalam PBG.

Analisis keseluruhan

Hasil kuesioner Pengisian kuesioner oleh responden dilakukan melalui Google Formulir dengan mengajukan 16 pertanyaan (dapat dilihat pada lampiran). Dan untuk analisis dari hasil kuesioner penulis mendapatkan bahwa sebanyak 77% dari responden berdomisili di Kabupaten Wonogiri, sisanya merupakan masyarakat Wonogiri yang berdomisili di luar Kabupaten Wonogiri. Sebanyak 77% dari total responden telah memiliki rumah tinggal. Terkait alur pengajuan IMB, sebanyak 80% responden mengetahui alur tersebut. Sekitar 94% responden telah mengetahui perubahan peraturan dari IMB ke PBG. Untuk dasar hukum PBG dan syarat pengajuan PBG didapatkan 78,5% dari total responden telah mengetahui atau memahaminya. Sebanyak 91% responden mengetahui alur pengajuan PBG melalui SIMBG. Sebanyak 42% responden menilai bahwa dokumen pengurusan PBG lebih mudah dibandingkan dengan IMB. 37% dari total responden menilai bahwa alur PBG lebih cepat dibanding IMB. Dari perhitungan rata- rata total skor pada kuesioner tentang dokumen PBG dan perbandingan cepat atau sama saja antara IMB dan PBG dengan hasil rata rata 2,85 dan 3,37, didapatkan nilai Standar Deviasi sebesar 0,363 di mana nilai tersebut menunjukkan bahwa pelayanan PBG lebih efektif dibandingkan IMB. Sehingga bisa dikatakan indikator yang mendasari efektivitas PBG dibandingkan dengan IMB adalah berdasarkan banyaknya responden yang menyatakan mengetahui alur pengajuan PBG melalui SIMBAG yang tercantum pada analisis diatas.

D. KESIMPULAN

Analisis hasil keseluruhan kuesioner pada bab sebelumnya menunjukkan pengajuan perizinan PBG melalui SIMBG dinilai lebih efektif. Hal ini dapat diketahui dari data responden pada Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10 yang memahami dasar peraturan, alur pengajuan PBG dan pendaftaran PBG yang dapat dilakukan di mana saja. Nilai efektivitas dari PBG tidak hanya dicepat atau lambatnya pengurusan dokumen, tetapi juga dari pemahaman alur pendaftaran, syarat pendaftaran PBG, dan kemudahan dalam pendaftaran PBG. Sehingga dapat diambil kesimpulan dari 35 orang yang menjadi responden penelitian, sebanyak 92% sudah paham akan maksud dan tujuan IMB diganti dengan PBG serta sudah paham akan metode pelayanan dalam PBG, dan 98% diantaranya mengakui PBG lebih efektif digunakan karena bisa diakses di mana saja dan kapan saja.

DAFTAR PUSTAKA

Abiyasakere, S. (1989). Jakarta a History. Oxford University Press, New York. Arni, M. (2009). Komunikasi Organisasi. Bumi Aksara, Jakarta.

Cokrowinoto, M. (1996). Pembangunan, Dilema dan Tantangan. PT. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Cresswell, J. W. (1994). Research Design: Qualitative & Quantitative Approaches. Sage Publications, New Delhi. Ida, B. M. (2004). Demografi Umum (Cetakan III). Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Setiawan, A. (2021). Mengenal Persetujuan Bangunan Gedung (PBG) Pengganti Izin Mendirikan Bangunan (IMB). Situngkir, R. (2021). Peralihan Izin Mendirikan Bangunan Menjadi Persetujuan Bangunan Gedung Berdasarkan

Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 Tentang Cipta Kerja.

Syafrizal, A. & Syaidiman. (2021). Implementasi Kebijakan Persetujuan Bangunan Gedung (PBG). Palembang: Junaidi.

Yanto, D., Evi. M., & Kristanto, K. (2022). Undang-Undang Nomor 25 tahun 2009 sebagai Values of Law atas Pelayanan Publik terhadap Implementasi Penerbitan Izin Persetujuan Bangunan Gedung. Singaraja: JKH (Jurnal Komunikasi Hukum).

TEMA F: MATERIAL

PENGARUH ABU LIMBAH KARBIT SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

Markun Setiawan[1], Hendramawat Aski Safarizki[2*] , Iwan Ristanto[3], dan Rida Handiana Devi[4]

[1]Program Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjen Humardani 1 Sukoharjo
[2*]Program Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjen Humardani 1 Sukoharjo
Email: hendra.mawat@gmail.com (Corresponding Author)
[3]Program Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjen Humardani 1 Sukoharjo
Email: iwan.ristanto@yahoo.com
[4]Program Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjen Humardani 1 Sukoharjo
Email: ridahandiana@gmail.com

ABSTRAK

Banyak bahan tambah yang digunakan ke dalam campuran mortar, salah satunya adalah bahan tambah zat kimia dan alami. Penambahan zat kimia akan meningkatkan kualitas dan mutu mortar dengan lebih baik, namun penggunaan zat kimia memiliki harga yang mahal. Salah satu upaya untuk menekan biaya pembangunan adalah dengan cara pemanfaatan hasil limbah karbit yang dihasilkan oleh industri las yang sangat banyak terdapat di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan abu limbah karbit sebagai bahan tambah semen untuk pembuatan mortar. Persentase kadar limbah karbit yang digunakan untuk penelitian ini adalah 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen dan 12,5 persen. Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara mencampur bahan pengikat (semen dan limbah karbit), pasir (agregat halus), dan air. Benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan persegi ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dan dilakukan perawatan *curing*. Untuk pengujian sampel mortar dilakukan pada umur sampel mencapai 14 hari dan 28 hari. Total benda uji yang dibuat pada penelitian ini adalah 36 sampel. Hasil kuat tekan rata-rata sampel mortar normal dan *mix design* menggunakan bahan tambah limbah karbit sebesar 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen dan 12,5 persen pada umur beton 14 hari secara berturut-turut adalah 23,73 MPa, 28,13 MPa, 27,07 MPa, 27,47 MPa, 25,6 MPa, 26,13 MPa. Sedangkan pengujian sampe pada umur 28 hari mortar normal dan dengan menggunakan bahan tambah limbah karbit sebesar 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen dan 12,5 persen secara berturut-turut adalah 22,67 MPa, 30,4 MPa, 32 MPa, 32 MPa, 26 MPa, 27,87 MPa. Jadi pada penelitian ini, mortar dengan bahan tambah abu limbah karbit mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan mortar normal.

Kata kunci: Agregat, Kuat Tekan, Limbah Karbit, Mortar.

A. PENDAHULUAN

Mortar merupakan bahan bangunan yang banyak digunakan sebagai bahan pekerjaan pasangan, plesteran, pasangan keramik, pengacian, dan lainnya. Bahan pembuatan mortar secara umum adalah semen sebagai bahan pengikat dalam mortar, pasir sebagai agregat halus, air, dan bahan tambah lainnya untuk meningkatkan kualitas dan mutu mortar. Banyak bahan tambah yang digunakan ke dalam campuran mortar, salah satunya adalah bahan tambah zat kimia dan alami. Penambahan zat kimia akan meningkatkan kualitas dan mutu mortar dengan lebih baik, namun penggunaan zat kimia memiliki harga yang mahal. Dengan nilai harga yang mahal, banyak masyarakat enggan untuk menggunakan zat kimia dalam campuran mortar yang mereka gunakan untuk menekan biaya pembangunan (Kharum, 2022).

Salah satu upaya untuk menekan biaya pembangunan adalah dengan cara pemanfaatan hasil limbah karbit yang dihasilkan oleh industri las yang sangat banyak terdapat di Indonesia. Limbah karbit merupakan limbah B3 yang berasal dari proses produksi gas asetilen. Limbah karbit tersebut berasal dari reaksi antara air dan karbit pada reaktor pembuatan gas asetilen.

Limbah karbit memiliki komposisi kimia 60% Calsium (CaO), 1.48% SiO_2, 0,09% Fe_2O_3, 9,07% Al_2O_3, pada penelitian yang sama diketahui bahwa unsur pembentuk utama dari semen adalah Calsium yang berasal dari batu kapur (Rajiman, 2015). Kandungan kalsium yang cukup tinggi membuat limbah karbit ini memiliki sifat-sifat fisis yang menyerupai kalsium hidroksida dalam hal senyawa kimia terbesar adalah $Ca(OH)_2$, daya ikat terhadap air cukup tinggi, memiliki tekstur bahan berbutir, mempunyai bau yang khas, dan diameter butiran-butiran relatif lebih besar dibanding butiran lempung. Penambahan limbah karbit merupakan upaya untuk meningkatkan unsur kalsium yang diperlukan dalam terjadinya reaksi pozzolanic bila tercampur dengan SiO_2 dalam limbah karbit. Reaksi pozzolanic merupakan reaksi antara kalsium, silika atau aluminat dengan air sehingga membentuk suatu massa yang keras dan kaku yang hampir sama dengan proses hidrasi pada Portland Cement (Aswad, 2013).

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh limbah karbit sebagai alternatif penambah semen. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-2015 komposisi semen portland yaitu CaO, SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3, MgO dan K_2O sehingga jika diamati dari SNI tersebut, limbah karbit memiliki kandungan yang bisa digunakan sebagai bahan penambah semen agar menaikkan kualitas mortar dari segi kuat tekan. Untuk proses pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini mengacu dari SNI 03-6825-2002 Metode pengujian kuat tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil.

B. METODE

Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental yaitu dengan melakukan uji lab. Metode eksperimen pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan mortar normal dengan mortar menggunakan bahan tambah limbah karbit pada semen yang ditinjau berdasarkan kuat tekan. Pengujian sampel mortar dilakukan pada saat umur 14 hari dan 28 hari dengan variasi campuran sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dari berat semen.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Air

Pemeriksaan terhadap air dilakukan secara visual yaitu air harus bersih, jernih, tidak berwarna, tidak kotor, dan tidak berbau. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa air yang terdapat pada Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo dalam kondisi yang baik, sehingga dapat digunakan untuk pembuatan mortar.

Semen Portland

Semen yang digunakan adalah semen portland jenis I merk semen Gresik dengan kemasan 50 kg/zak. Semen yang digunakan saat penelitian tidak menggumpal dan dalam keadaan kering sehingga semen layak digunakan sebagai bahan penelitian.

Uji Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam yang didapatkan dari toko bangunan terdekat dengan laboratorium tempat dilaksanakannya penelitian. Pasir alam yang digunakan dalam penelitian ini karena secara umum mutu pasir tersebut memenuhi syarat untuk dapat digunakan sebagai bahan bangunan, walaupun demikian tetap perlu diadakan pemeriksaan mengenai mutu pasir tersebut.

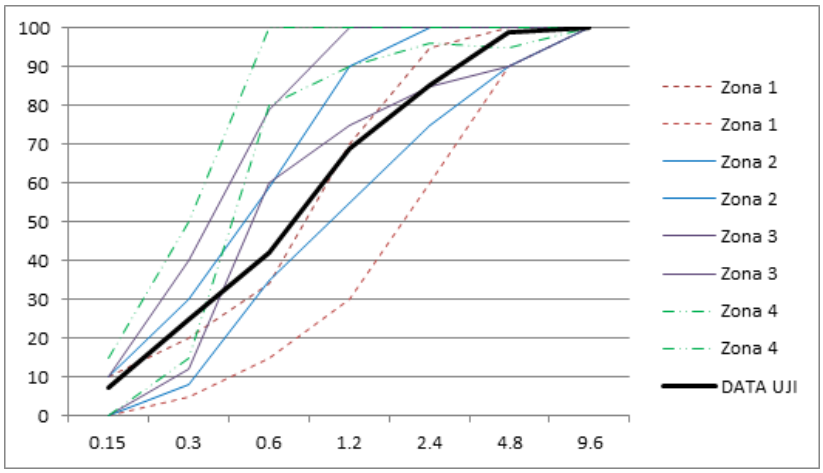
Berikut ini adalah hasil pemeriksaan yang dilakukan.

1. Uji Gradasi

Hasil berat isi dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Hasil Uji Gradasi

Ukuran Ayakan (mm)	Berat Pasir (gr)	Pasir Tertingga l (%)	Persentase Komulatif (%)	
			Tertinggal	Lolos
4,75 mm	10	1	1	99
2,36 mm	136	13,6	14,6	85,4
1,18 mm	167	16,7	31,3	68,7
0,6 mm	266	26,6	57,9	42,1
0,3 mm	174	17,4	75,3	24,7
0,15 mm	173	17,3	92,6	7,4
Pan/sisa	74	7,4	0	0
Jumlah	1000	100	272,7	



Gambar 1. Hasil Uji Zona

Hasil dari pengujian yang dilakukan menunjukkan gradasi ukuran butir agregat halus adalah zona II yang merupakan pasir agak kasar.

2. Pemerikasaan Kadar Lumpur

Hasil pemeriksaan kadar lumpur dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Lumpur

No	Uraian	Benda Uji
1	Berat pasir kering sebelum dicuci	500 gr
2	Berat pasir kering setelah dicuci	482,4 gr
3	Kadar lumpur	3,52 %

Jadi kadar lumpur yang didapat dari pengujian adalah 3,52 persen.

3. Pemeriksaan *Saturated Surface Dry* (SSD)

Hasil pengujian bisa dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil Pengujian SSD

Setelah dilakukan pengujian SSD menggunakan *Sand Absorption Cone and Temper*, benda uji yang digunakan untuk penelitan ini sudah mencapai kondisi *Saturatd Surface Dry* (SSD).

Limbah Karbit

Limbah karbit yang didapat dari tempat tukang las masih berupa gumpalan dan beraroma menyengat. Maka dari itu limbah karbit perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Adapun pengolahan limbah karbit berupa penjemuran selama 2-3 hari hingga limbah karbit kering sempurna. Setelah limbah karbit kering kemudian ditumbuk yang bertujuan untuk menghaluskan hingga halus seperti semen. Limbah karbit dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Limbah Karbit

Perhitungan *Mix design*

Mix design dalam penelitian ini menggunakan SNI 03-6825-2002 tentang Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen *Portland* Untuk Pekerjaan Sipil. Untuk pembuatan 3 benda uji mortar normal dan campuran dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Rencana Campuran

Persentase Bahan Tambah	Kebutuhan Proporsi Campuran			
	Air (ml)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Limbah Karbit (gr)
0 % Limbah Karbit	242	500	1.375	0
2,5 % Limbah Karbit	242	500	1.375	12,5
5 % Limbah Karbit	242	500	1.375	25
7,5 % Limbah Karbit	242	500	1.375	37,5
10 % Limbah Karbit	242	500	1.375	50
12,5 % Limbah Karbit	242	500	1.375	62,5

Daya Serap Air

Pengujian ini dilakukan setelah sampel mortar berumur 14 hari dan 28 hari. Sampel mortar yang telah diangkat dari perendaman kemudian ditimbang untuk mengetahui berat basah sampel. Setelah diangkat, kemudian didiamkan selama 24 jam sebelum pengujian. Sebelum pengujian dilakukan penimbangan sampel untuk mengetahui berat kering. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo. Pengujian daya serap air dapat dihitung dengan rumus :

Daya serap air = $\frac{A-B}{A}$ x 100

Keterangan:

A = Berat sampel mortar basah (gr)

B = Berat sampel mortar kering (gr)

Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Daya Resap Air Umur 14 Hari

Variasi	Rata-rata Berat Basah (gr)	Rata-rata Berat Kering (gr)	Daya Resap (%)
Normal	303,67	296	2,52
V. 2,5%	302,67	296,33	2,1
V. 5%	298	290,67	2,46
V. 7,5%	302,33	295,67	2,2
V. 10%	301,67	294,67	2,32
V.12,5%	301,67	294	2.54

Tabel 5. Hasil Daya Resap Air Umur 28 Hari

Variasi	Rata-rata Berat Basah (gr)	Rata-rata Berat Kering (gr)	Daya Resap (%)
Normal	305,67	300,67	1,63
V. 2,5%	302,33	297,33	1,65
V. 5%	296,33	292,33	1,35
V. 7,5%	302,33	298,33	1,32
V. 10%	302,33	298,33	1,32
V.12,5%	303,33	300	1,1

Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Mortar

Hasil uji kuat tekan pada sampel mortar dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, di mana setiap variasinya menggunakan 3 sampel benda uji yang akan digunakan untuk mengambil rata-rata kuat tekan pada setiap variasi campuran. Pengujian dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo. Rumus -rumus yang digunakan untuk perhitungan adalah :

$\sigma m = \frac{Pmaxs}{A}$

Di mana :

σm = Kekuatan tekan mortar (MPa)

Pmaks = Gaya tekan maksimum (N)

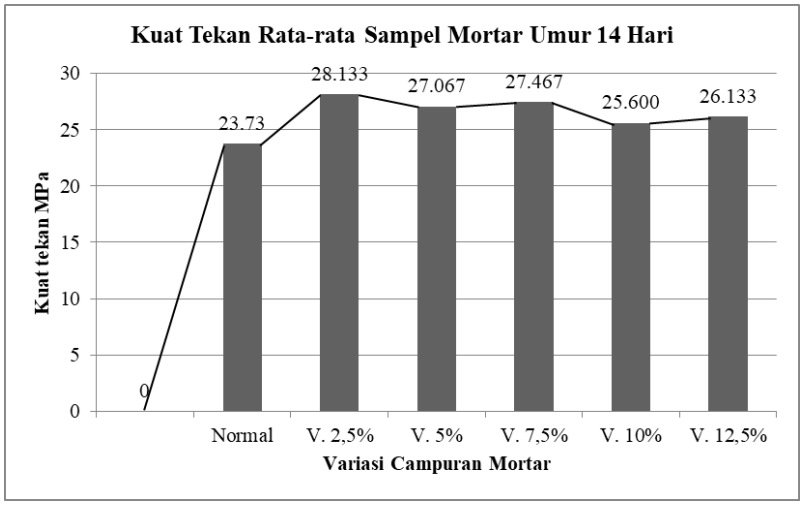
A = Luas penampang benda uji (mm²)

Hasil uji kuat tekan dapat diihat pada tabel 6, 7 dan gambar 4, 5, 6, 7 berikut ini.

Tabel 6. Pengujian Sampel Mortar Pada Umur 14 Hari

Variasi	Benda Uji	Luas Permukaan (mm)	Kuat Tekan (kN)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
Normal	1	2500	58	23,733
	2	2500	74	
	3	2500	46	
V. 2,5%	1	2500	80	28,133
	2	2500	71	
	3	2500	60	
V. 5%	1	2500	73	27,067
	2	2500	72	
	3	2500	58	
Variasi	Benda Uji	Luas Permukaan (mm)	Kuat Tekan (kN)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
V. 7,5%	1	2500	71	27,467
	2	2500	58	
	3	2500	77	
V. 10%	1	2500	69	25,6
	2	2500	59	
	3	2500	64	
V.12,5%	1	2500	72	26,133
	2	2500	54	
	3	2500	70	

Pada pengujian sampel mortar pada umur 14 hari, mortar dengan bahan tambah abu limbah karbit mengalami kenaikan kuat tekan dibandingkan dengan sampel mortar normal. Kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran variasi 2,5 persen dengan kuat tekan sebesar 28,133 MPa.

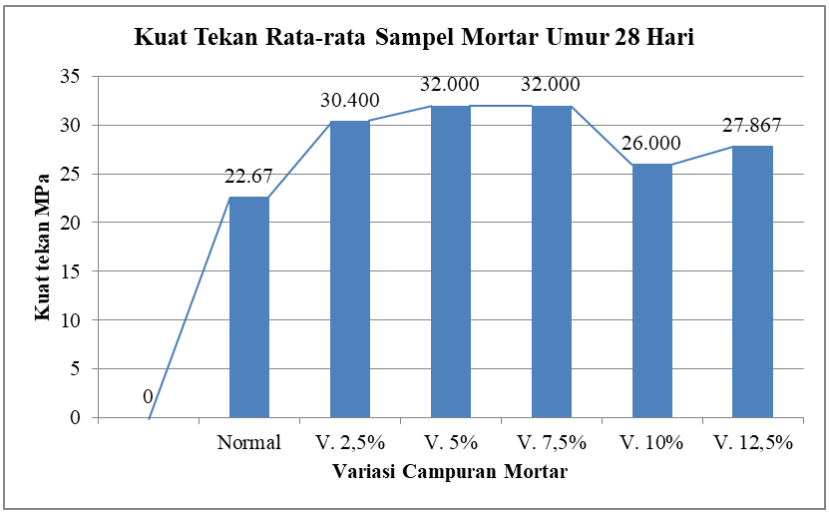


Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Rata-rata Sampel Mortar Umur 14 Hari

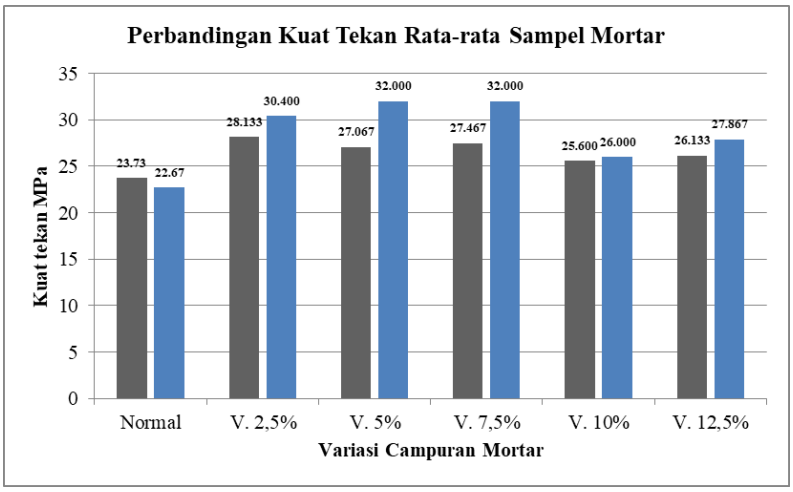
Tabel 7. Pengujian Sampel Mortar Pada Umur 28 Hari

Variasi	Benda Uji	Luas Permukaan (mm)	Kuat Tekan (kN)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
Normal	1	2500	51	22,667
	2	2500	45	
	3	2500	74	
V. 2,5%	1	2500	62	30,4
	2	2500	92	
	3	2500	74	
V. 5%	1	2500	80	32
	2	2500	83	
	3	2500	77	
V. 7,5%	1	2500	84	32
	2	2500	76	
	3	2500	80	
V. 10%	1	2500	58	26
	2	2500	80	
	3	2500	57	
V.12,5%	1	2500	69	27,867
	2	2500	65	
	3	2500	75	

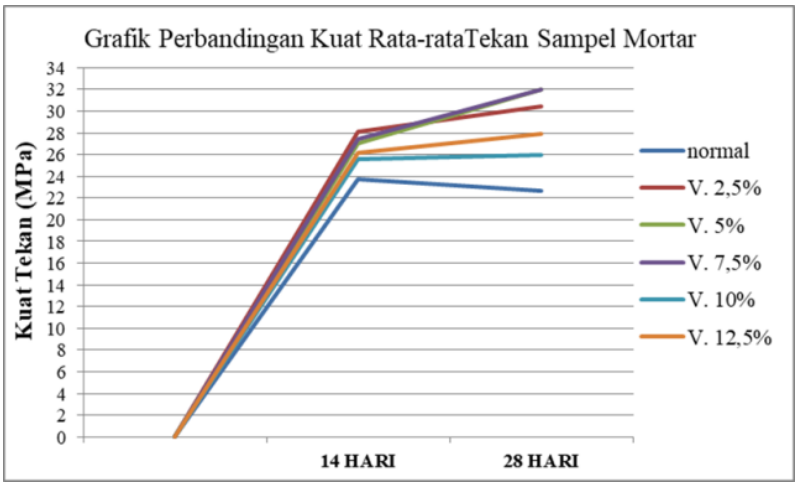
Pada pengujian sampel mortar pada umur 28 hari, mortar dengan bahan tambah abu limbah karbit mengalami kenaikan kuat tekan dibandingkan dengan sampel mortar normal. Kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran variasi 2,5 persen dan 5 persen dengan kuat tekan sebesar 32 MPa.



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Rata-rata Sampel Mortar Umur 28



Gambar 6. Perbandingan Grafik Kuat Tekan Rata-rata Sampel Mortar



Gambar 7. Perbandingan Grafik Kuat Tekan Rata-rata Sampel Mortar

D. KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian yang meliputi analisis data, eksperimental dan dari hasil itu dapat disimpulkan bahwa mortar *mix design* menggunakan penambahan limbah karbit sebagai bahan tambah semen dengan presentasi tiap spesimen sebesar 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen dan 12,5 persen dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil kuat tekan rata-rata sampel mortar mix design menggunakan bahan tambah limbah karbit sebesar 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen dan 12,5 persen pada umur beton 14 hari secara berturut-turut adalah 28,133 MPa, 27,067 MPa, 27,467 MPa, 25,6 MPa, 26,133 MPa. Sedangkan pada umur beton 14 hari secara berturut-turut adalah 30,4 MPa, 32 MPa, 32 MPa, 26 MPa, 27,867 MPa.
2. Pada sampel mortar normal umur 14 hari kuat tekan mencapai 23,733 MPa, sedangkan pada mortar dengan menggunakan campuran limbah karbit pada variasi 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen dan 12,5 persen kuat tekan mencapai 28,133 MPa, 27,067 MPa, 27,467 MPa, 25,6 MPa, 26,133 MPa. Kuat tekan paling optimal pada umur 14 hari adalah pada variasi campuran 2,5 % yang mengalami peningkatan sebesar 18,54 % dari sampel mortar normal.

Sedangkan pada sampel mortal normal umur 28 hari, kuat tekan mencapai 22,667 MPa, dan pada mortar dengan menggunakan campuran limbah karbit pada variasi 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen dan 12,5 persen kuat tekan mencapai 30,4 MPa, 32 MPa, 32 MPa, 26 MPa, 27,867 MPa. Kuat tekan paling optimal pada umur 28 hari adalah pada variasi campuran 5 % dan 7 % yang mengalami peningkatan sebesar 41,17% dari sampel mortar normal. Sedangkan penelitian yang dilakukan Wisnu dkk (2020) campuran mortar yang digunakan adalah 1 semen : 2 pasir : limbah karbit (0 persen, 2,5 persen, 5 persen, 7,5 persen, 10 persen, 12,5 persen) berjumlah total 36 benda uji dengan masing- masing setiap variasi 3 benda uji. Hasil pengujian kuat tekan mortar pada umur 7 hari dengan persentase campuran abu limbah karbit sebesar 0 persen : 15 MPa, 2,5 persen : 18 MPa, 5,0 persen : 23 MPa, 7,5 persen : 20,33 MPa, 10,0 persen : 19 MPa, 12,5 persen : 16 MPa. Sedangkan hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari persentase campuran abu limbah karbit sebesar 0 persen : 20,67 MPa, 2,5 persen : 23,33 MPa, 5,0 persen : 22 Mpa, 7,5 persen : 26,67 MPa, 10,0 persen : 24,33 MPa, 12,5 persen : 19 MPa. Bisa disimpulkan penelitian ini mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan penelitian saudara Wisnu.

DAFTAR PUSTAKA

Asward, N. H. (2013) Penggunaan Limbah Las Karbit Dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Subtitusi Semen Pada Paving Block.

Kharum, A. (2022). Kuat Rekat Mortar Dengan Bahan Tambah Abu dan Serbuk Sabut Kelapa Pada Pasangan Bata Merah.

Standar Nasional Indonesia. (2015). Semen Portland. SNI. 15-2049-2015. Badan Standar Nasional. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. (2002). Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen. SNI. 03-6820-2002. Badan Standar Nasional. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. (2002). Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil. SNI. 03- 6825- 2002. Badan Standar Nasional. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. (2002). Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan. SNI. 03-6882-2002. Badan Standar Nasional. Jakarta.

Wisnu, A. S., Anisah & Rosmawita, S. (2020). Pemanfaatan Limbah Karbit Sebagai Bahan Tambah Pada Mortar Ditinjau Dari Kuat Tekan. Jurnal Pensil : Pendidikan Teknik Sipil, 29(9), 154-16.

PENGARUH BAHAN TAMBAH ALAMI ABU BATU TERHADAP KUAT TEKAN BETON BERPORI

Eko Riyanto[1*], Agung Setiawan[2], Eksi Widyananto[3], dan Pugar Slamet Sinergy[4]

[1*,2,3,4] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo
Jl. K.H.A Dahlan 6, Purworejo
Email: eko.riyanto@umpwr.ac.id (Corresponding Author)

ABSTRAK

Beton berpori merupakan jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang dapat dilewati air sehingga dapat mengalirkan air ke dalam tanah. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penambahan bahan tambah alami abu batu terhadap kuat tekan beton berpori Metode yang digunakan dengan metode eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Purworejo. Abu batu digunakan sebagai material *filler*. Perbandingan berat semen dan agregat kasar yang digunakan 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7. Agregat kasar batuan Clereng berasal dari pemecah batu dengan ukuran lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm (A) dan lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm. Pengujian yang dilakukan meliputi kuat tekan, infiltrasi, permeabilitas, densitas dan porositas. Pemeriksaan karakteristik agregat menunjukkan berat jenis SSD agregat A sebesar 2,69 dan agregat B sebesar 2,70. Pemeriksaan keausan agregat A sebesar 25,81% dan agregat B sebesar 24,77%. Hasil pengujian kuat tekan tertinggi pada penggunaan agregat A dengan rasio perbandingan semen dan agregat kasar 1:3 sebesar 12,88 MPa. Infiltrasi dan permeabilitas tertinggi pada penggunaan agregat B dengan rasio perbandingan semen dan agregat kasar 1:7 sebesar 2,21 cm/detik dan 5,70 cm/detik. Nilai kuat tekan optimum yang dihasilkan dari campuran beton berpori tanpa bahan tambah abu batu sebesar 4,61 MPa, sedangkan variasi optimum dengan penambahan bahan tambah abu batu 50% didapat pada penggunaan agregat A dengan rasio perbandingan semen dan agregat kasar 1:5 dengan nilai kuat tekan sebesar 5,56 MPa. Penambahan bahan tambah abu batu 50% dapat meningkat kuat tekan beton berpori Variasi optimum untuk nilai infiltrasi sebesar 0,46 cm/detik, nilai permeabilitas sebesar 3,70 cm/detik, nilai densitas sebesar 1.883,93 kg/m^3 dan nilai porositas sebesar 3,98%. Kuat tekan beton berpori meningkat seiring dengan semakin kecil perbandingan berat semen dan agregat serta semakin kecil ukuran agregat kasar yang digunakan.

Kata kunci: abu batu, beton porous, infiltrasi, kuat tekan, permeabilitas

A. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan penduduk di perkotaan mengakibatkan kebutuhan akan sarana dan prasarana semakin tinggi, sehingga makin berkurangnya daerah resapan air hujan karena meningkatnya luas daerah yang ditutupi oleh bangunan kedap air. Apabila terjadi hujan dengan intensitas tinggi dan berlangsung lama akan terjadi genangan di berbagai titik hingga merugikan masyarakat. Beton berpori merupakan jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang dapat dilewati air sehingga dapat mengalirkan air ke dalam tanah serta mengisi cadangan air tanah.

Beton *porous* adalah suatu material dengan proporsi tertentu yang terdiri dari campuran semen portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, campuran bahan tambah (*admixture*) dan air (ACI 522R-06). Beton *porous* dapat mengantisipasi terjadinya genangan pada permukaan tanah, hal ini disebabkan karena beton *porous* memiliki rongga sehingga air dapat melewatinya. Beton *porous* dengan bahan tambah abu batu 50% dari berat semen dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja mekanik serta hidraulik beton *porous*.

Abu batu dalam penelitian ini berasal dari limbah penggergajian kerajinan batu Gunung Merapi, di mana abu batu memiliki ukuran butiran yang lembut dan merata, juga bertekstur tajam. Karakteristik abu batu ini diharapkan bermanfaat sebagai material pengisi dan memperkuat ikatan pada beton *porous*. Penggunaan abu batu sebagai material pengisi alam produksi *Self Compacting Concrete* (SCC) dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 3,5%, pada penambahan abu batu dengan takaran 25% berat semen (Handayani, F. 2019). Adanya abu batu sebagai material tambah dalam campuran beton diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton.

(Pratama, A. N, 2016) dalam penelitian "Kajian Jenis Agregat dan Proporsi Campuran Terhadap Kuat Tekan dan Daya Tembus Beton Porous" menggunakan metode eksperimental. Faktor air semen yang digunakan 0,4 dan 0,5 serta agregat yang digunakan berasal dari Clereng dan Merapi. Hasil pengujian menunjukkan agregat kasar Clereng mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan agregat kasar Merapi dengan kuat tekan yang lebih besar dihasilkan oleh rasio air semen 0,4.

(Erlinawati, L. D, 2022) dalam penelitian "Studi Eksperimental Pemanfaatan Bahan Tambah Abu Batu Terhadap Beton *Porous* Menggunakan Agregat Kasar Clereng" Penambahan bahan tambah abu batu sebesar 100% dari berat semen dan menggunakan fas 0,4. Variasi campuran perbandingan 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, dan 1:7 untuk campuran tanpa abu batu dan 1:1:3, 1:1:4, 1:1:5, 1:1:6 dan 1:1:7 untuk campuran dengan penambahan abu batu. Nilai kuat tekan optimum yang didapat pada variasi tanpa penambahan abu batu sebesar 4,61 MPa dan pada variasi dengan penambahan abu batu 100% sebesar 6,32 MPa. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja mekanik serta hidraulik beton *porous* dengan penambahan abu batu 50% terhadap berat semen dan membandingkan dengan penelitian sebelumnya.

B. METODE

Beton berpori

Beton *porous* adalah suatu material dengan proporsi tertentu yang terdiri dari campuran semen portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, campuran bahan tambah dan air (ACI 522R-10). Beton *porous* memiliki daya resap air yang tinggi berfungsi untuk mengurangi limpasan permukaan atau genangan, dan meningkatkan muka air tanah. Beton *porous* biasanya digunakan untuk perkerasan pada lalu lintas yang memiliki kepadatan ringan, lapangan parkir, perkerasan lapisan atas untuk taman, lapangan olahraga dan tempat untuk pejalan kaki atau trotoar (NRMCA, 2004).

Kelebihan dan kekurangan beton porous

Menurut Tennis dkk. 2004; ACI 2010 dalam Khonado, Manalip & Wallah (2019, 352). Kelebihan dan kekurangan beton adalah:

Kelebihan beton berpori:

1. Manajemen efektif untuk aliran air hujan;
2. Mengurangi kontaminasi di aliran air;
3. Mengisi kembali persediaan air tanah;
4. Mengurangi efek panas bumi;
5. Mengurangi suara rebut akibat interaksi antara ban dan jalan.

Kekurangan beton berpori:

1. Pemakaian terbatas untuk kendaraan berat di lalu lintas padat;
2. Praktek konstruksi khusus;
3. Sensitif terhadap konten air dan kontrol dalam beton segar;
4. Kekurangan metode percobaan yang distandardisasi;
5. Memerlukan kontrol khusus dalam pemeliharaan saat diaplikasikan di lapangan.

Material penyusun beton *porous*

Material penyusun yang digunakan pada pembuatan beton *porous* tidak jauh berbeda dengan beton konvensional, yaitu semen, agregat, bahan tambah dan air. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah:

1. Semen Portland

   Semen Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidraulis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 2049:2015). Semen yang dipergunakan adalah semen PCC tipe I produksi PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk. dengan merk Tiga Roda.

2. Agregat Kasar

   Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kasar yang digunakan yaitu agregat kasar dengan ukuran lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm (A) dan ukuran lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm (B) batuan Clereng yang berasal dari pemecah batu (*Stone Crusher*) di daerah Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta.

3. Bahan Tambah (Abu Batu)

   Abu batu adalah limbah hasil dari pemecah batu yang berupa butiran halus yang digunakan untuk kombinasi campuran beton. Abu batu yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan limbah abu batu yang berasal dari sisa penggergajian kerajinan batu Gunung Merapi.

4. Air

   Air memiliki peranan yang sangat penting dalam proses pembuatan beton porous, di mana kontrol serta ketelitian dalam penggunaan air pada campuran dan sangat berpengaruh pada pasta yang dihasilkan. Faktor air semen yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,4.

Pengujian material penyusun beton *porous*

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus (abu batu)

Menurut SNI 1970:2008 pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry* = SSD), berat jenis semu (*apparent*) serta penyerapan abu batu. Berat jenis dan penyerapan air abu batu dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Perhitungan berat jenis abu batu:

$$(S_d) = \frac{A}{(B+S-C)} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Perhitungan penyerapan air abu batu

$$(S_w) = \frac{(B-A)}{A} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (2)$$

Pemeriksaan saringan agregat halus (abu batu)

Menurut SNI (ASTM C 136-06, IDT) pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi material berupa agregat halus, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini menggunakan material abu batu. Dalam pengujian pemeriksaan analisis saringan terdapat rumus perhitungan yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan Kumulatif}}{100\,\%} \quad \text{.....} \quad (3)$$

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Menurut SNI 1969:2008 berat jenis merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Perhitungan berat jenis agregat kasar

$$(S_d) = \frac{B}{(B-C)} \quad \text{.....} \quad (4)$$

Perhitungan penyerapan air agregat kasar

$$(S_w) = \left[\frac{B-A}{A}\right] \times 100\% \quad \text{.....} \quad (5)$$

Pemeriksaan uji keausan agregat kasar

Menurut SNI 2417:2008 uji keausan agregat menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk menentukan keausan agregat kasar, berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi dan jembatan (revisi 2) yaitu maksimal 40%. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Perhitungan uji keausan

$$\text{Uji Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad \text{.....} \quad (6)$$

Pengujian benda uji beton *porous*

Pengujian nilai *slump* beton *porous*

Berdasarkan SNI 1972:2008 pengujian *slump* beton segar dilakukan dengan menggunakan cetakan kerucut Abrams dan pengukuran dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara cetakan dengan tinggi benda uji.

Pengujian kuat tekan beton *porous*

Berdasarkan SNI 1974:2011 kuat tekan beban beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Beton *porous* memilki kuat tekan berkisar antara 2,8 – 28 MPa menurut ACI 522R-10. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$fc' = \frac{P}{A} \quad \text{.....} \quad (7)$$

dengan fc'= Kuat tekan beton (MPa), P = Gaya tekan aksial (N) dan A = Luas penampang yang menerima beban (mm^2).

Pengujian densitas beton *porous*

Densitas merupakan perbandingan antara massa benda uji dengan volume wadah alat uji berdasarkan SNI 1973:2016 yaitu pengujian densitas untuk beton segar. Nilai densitas beton segar diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{Mc - Mm}{Vm} \quad \text{.....} \quad (8)$$

dengan D = Densitas (kg/m^3), Mc = Massa wadah ukur yang berisi beton (kg), Mm = Massa wadah ukur (kg) dan Vm = Volume wadah ukur (m^3).

Pengujian porositas beton *porous*

Porositas beton adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai porositas (ASTM C 642-06, dalam Sultan, dkk., 2018) adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{B - C}{B - A} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (9)$$

dengan P = Porositas (%), A = Berat sampel dalam air (gram), B = Berat sampel kondisi SSD (gram) dan C = Berat sampel kering oven (gram).

Pengujian infiltrasi beton *porous*

Uji infiltrasi dilakukan dengan maksud meneliti seberapa cepat beton *porous* dalam meloloskan air. Pengujian infiltrasi dilakukan untuk mengetahui berapa kadar air yang lolos dari permukaan beton dengan satuan cm/s. Berdasarkan modifikasi ASTM C1701 dalam (Kurniawan & Pranata, 2020) rumus untuk menghitung infiltrasi sebagai berikut:

$$I = \frac{4V}{D^2 \pi t} \quad \text{.....} \quad (10)$$

dengan I = Laju infiltrasi (cm/detik), V = Volume air (cm^3), D = Diameter sampel (cm) dan t = Waktu air surut (detik).

Pengujian permeabilitas beton *porous*

Permeabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan beton untuk dilalui oleh air dalam kondisi jenuh. Nilai permeabilitas beton *porous* dengan metode Falling Head berdasarkan dari Mekanika Tanah I (Hardiyatmo, H. C, 2002) dapat diketahui rumus perhitungan sebagai berikut:

$$K = 2,303\frac{\alpha L}{At}\log\frac{h_1}{h_2} \quad \text{..... (11)}$$

dengan K = Permeabilitas (cm/detik), L = Tinggi sampel (cm), a = Luas pipa pengukur (cm^2), A = Luas sampel (cm^2), h_1 = Tinggi muka air awal tabung (cm), h_2 = Tinggi muka air akhir tabung (cm) dan t = Waktu pengukuran (detik).

G. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu ukuran lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm (Agregat A) dan ukuran lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm (Agregat B). Penggunaan faktor air semen (fas) yaitu 0,4 dari berat semen, variasi semen: agregat yang digunakan yaitu 1:3,1:4,1:5,1:6,1:7 dan rasio penambahan abu batu sebanyak 50% terhadap berat semen untuk setiap variasi.

Rancangan campuran pembuatan beton *porous*

Rancangan campuran untuk pengujian kuat tekan, porositas, dan densitas penggunaan agregat A serta penggunaan agregat B dilihat pada Tabel 1. Rancangan campuran untuk pengujian infiltrasi, dan permeabilitas penggunaan agregat A serta penggunaan agregat B dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Rancangan campuran uji kuat tekan, porositas dan densitas

Kode Sampel	Komposisi Campuran	Faktor Air Semen	Jumlah Sampel
KTA - 3	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 3 (agregat)	0,4	5
KTA - 4	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 4 (agregat)	0,4	5
KTA - 5	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 5 (agregat)	0,4	5
KTA - 6	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 6 (agregat)	0,4	5
KTA - 7	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 7 (agregat)	0,4	5
KTB - 3	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 3 (agregat)	0,4	5
KTB - 4	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 4 (agregat)	0,4	5
KTB - 5	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 5 (agregat)	0,4	5
KTB - 6	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 6 (agregat)	0,4	5
KTB - 7	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 7 (agregat)	0,4	5

Sumber: Hasil Rancangan

Tabel 2. Rancangan campuran uji infiltrasi, dan permeabilitas

Kode Sampel	Komposisi Campuran	Faktor Air Semen	Jumlah Sampel
PFA - 3	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 3 (agregat)	0,4	5
PFA - 4	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 4 (agregat)	0,4	5
PFA - 5	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 5 (agregat)	0,4	5
PFA - 6	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 6 (agregat)	0,4	5
PFA - 7	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 7 (agregat)	0,4	5
PFB - 3	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 3 (agregat)	0,4	5
PFB - 4	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 4 (agregat)	0,4	5
PFB - 5	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 5 (agregat)	0,4	5
PFB - 6	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 6 (agregat)	0,4	5
PFB - 7	1 (semen) : 0,5 (abu batu) : 7 (agregat)	0,4	5

Sumber: Hasil Rancangan

Hasil pengujian material penyusun beton *porous*

Hasil pengujian material abu batu batu dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengujian material agregat kasar (agregat A) lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm dapat dilihat pada Tabel 4, dan hasil pengujian material agregat kasar (agregat B) lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Hasil pengujian material abu batu

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar
Berat Jenis SSD	2,74	2,5 – 2,7
Penyerapan Air	9,11%	-
Modulus Halus Butir	2,13	1,5 – 3,8

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4. Hasil pengujian material agregat A

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar
Berat Jenis SSD	2,69	2,5 – 2,7
Penyerapan Air	1,83%	-
Keausan Agregat	25,81%	< 40%

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 5. Hasil pengujian material agregat B

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar
Berat Jenis SSD	2,70	2,5 – 2,7
Penyerapan Air	2,03%	-
Keausan Agregat	24,77%	< 40%

Sumber: Hasil Pengujian

Hasil pengujian benda uji beton porous

Pengujian dilakukan setelah beton *porous* melalui perawatan *water curing* (perawatan dengan cara direndam di dalam air hingga menutupi seluruh permukaan beton) pada benda uji dengan cetakan silinder selama 28 hari yang nantinya digunakan untuk pengujian kuat tekan. Perawatan pada benda uji dengan cetakan PVC dilakukan dengan perawatan *dry curing* (perawatan dengan cara disimpan pada suhu ruangan yang tidak terkena cahaya matahari secara langsung) selama 14 hari yang nantinya digunakan untuk pengujian infiltrasi dan permeabilitas. Pengujian beton *porous* meliputi pengujian nilai *slump*, kuat tekan, densitas, porositas, infiltrasi, dan permeabilitas beton *porous*. Agregat kasar yang digunakan pada pembuatan beton *porous* adalah lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm dengan kode sampel (KTA;PFA) dan lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm dengan kode sampel (KTB;PFB). Rasio penambahan abu batu 50% terhadap berat semen, dan faktor air semen 0,4 pada setiap variasi benda uji.

Pengujian nilai slump beton porous

Pengujian nilai *slump* bertujuan untuk mengetahui nilai kekentalan campuran beton segar dan menjadi penentu dalam kemudahan pekerjaan beton (*workability*). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian nilai *slump* beton *porous*

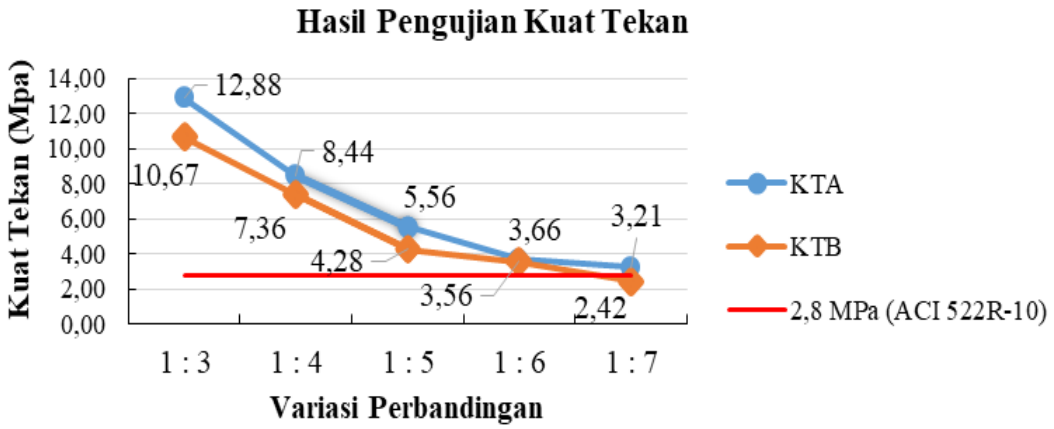
Variasi Perbandingan Semen : Agregat	KTA;PFA (cm)	KTB;PFB (cm)
1 : 3	0,40	0,50
1 : 4	0,80	0,70
1 : 5	1,50	0,90
1 : 6	3,20	1,00
1 : 7	5,70	5,90

Sumber: *Hasil Pengujian*

Dari Tabel 6 didapat nilai tertinggi pada penggunaan agregat B (KTB;PFB) variasi perbandingan 1:0,5:7 dengan nilai 5,90 cm, serta dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi variasi perbandingan semen:agregat yang digunakan semakin tinggi pula nilai *slump* yang didapat.

Pengujian kuat tekan beton porous

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kuat tekan atau *Universal Testing Machine* (UTM). Pengujian dilakukan setelah perawatan benda uji silinder (diameter 150 mm, dan tinggi 300 mm) selama 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 1.

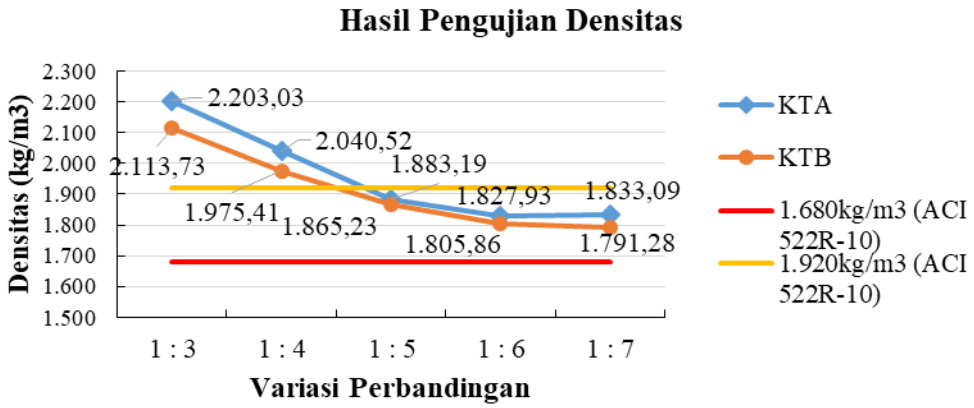


Gambar 1. Hasil pengujian kuat tekan beton porous

Dari hasil pengujian kuat tekan dengan variasi campuran yang sama, penggunaan (agregat A atau KTA) lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm mendapat nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan (agregat B atau KTB) lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran agregat yang digunakan maka kuat tekannya semakin tinggi, dikarenakan dengan menggunakan agregat yang berukuran lebih kecil maka pori-pori beton *porous* semakin kecil sehingga ikatan antar agregat semakin kuat yang akan berpengaruh terhadap nilai kuat tekan.

Pengujian densitas beton porous

Hasil pengujian densitas beton *porous* yang dilakukan dengan perbandingan berat beton segar dengan volume silinder beton, maka didapat hasil pada Gambar 2.



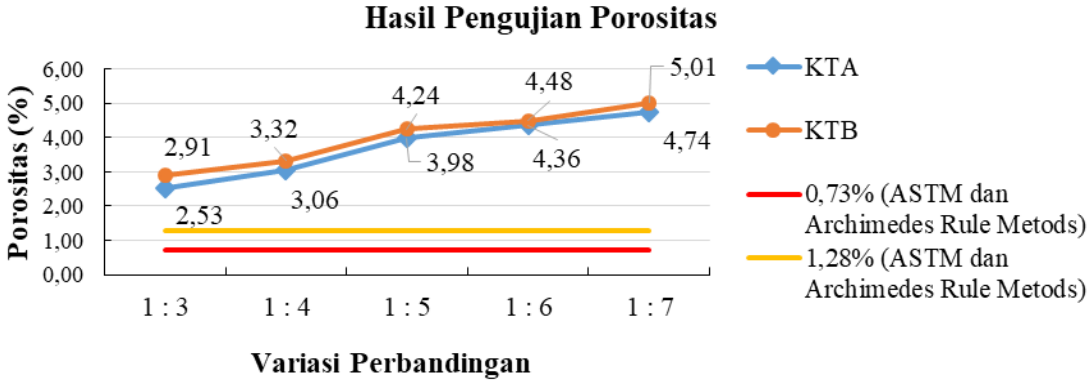
Gambar 2. Hasil pengujian densitas beton porous

Dari hasil pengujian densitas dengan variasi campuran yang sama, penggunaan (agregat A atau KTA) lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm mendapat densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan (agregat B atau KTB) lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran agregat yang digunakan maka densitasnya semakin meningkat, dikarenakan dengan menggunakan agregat yang berukuran lebih kecil maka pori-pori pada beton *porous* semakin kecil yang berpengaruh terhadap berat benda uji.

Menurut ACI 552R-10, berat satuan yang dihasilkan beton *porous* berkisar antara 105 - 120 lb/ft3 atau 1.680 – 1.920 kg/m^3. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa variasi 1:3 dan 1:4 tidak masuk ke dalam standar, hal ini disebabkan karena massa beton terlalu padat, sehingga nilai densitasnya melebihi standar.

Pengujian porositas beton porous

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besar kecilnya rongga pada beton *porous*. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Gambar 3.

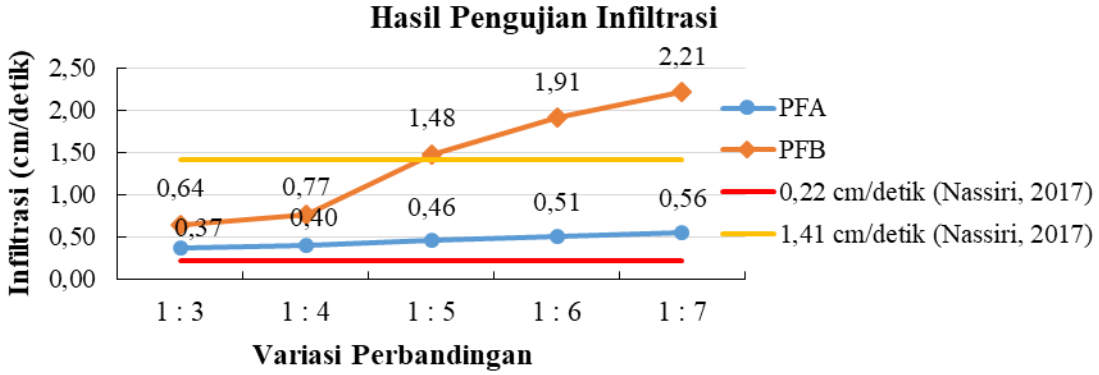


Gambar 3. Hasil pengujian porositas beton *porous*

Dari hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan berat semen dan agregat maka nilai porositas semakin meningkat. Semua variasi mendapat nilai melebihi standar yang telah ditetapkan, hal ini disebabkan karena tidak meratanya adukan atau kurang padatnya campuran beton pada saat dimasukkan ke dalam cetakan. Sehingga rongga atau pori-pori yang dihasilkan pada dinding cetakan beton *porous* menjadi cukup besar.

Pengujian infiltrasi beton porous

Pengujian infiltrasi dilakukan setelah melewati proses perawatan benda uji selama 14 hari. Hasil pengujian infiltrasi dapat dilihat pada Gambar 4.



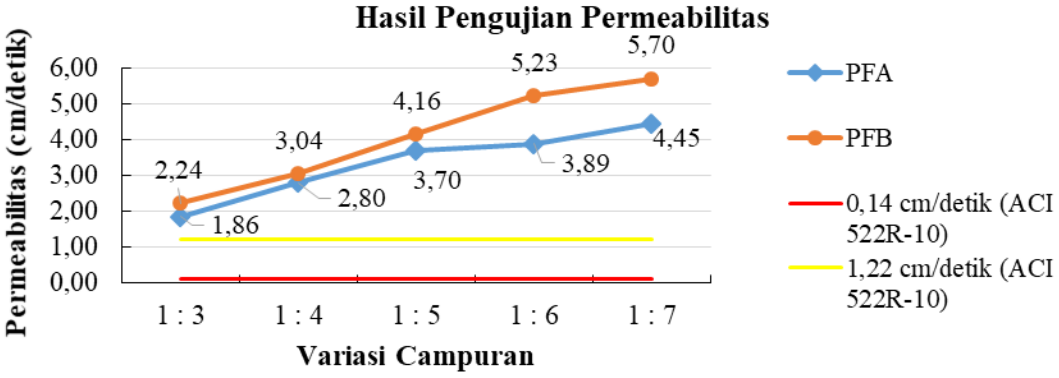
Gambar 4. Hasil pengujian infiltrasi beton *porous*

Dari hasil pengujian infiltrasi dengan variasi campuran yang sama, penggunaan (agregat B atau PFB) lolos ayakan 37,5 mm tertahan 19 mm mendapat nilai infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan (agregat A atau PFA) lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran agregat yang digunakan maka nilai infiltrasi semakin tinggi, karena dengan menggunakan agregat yang berukuran lebih besar maka pori-pori dari beton *porous* semakin banyak yang berpengaruh pada kemampuan beton dalam meloloskan air.

Menurut Nassiri (2017), nilai infiltrasi beton *porous* yang dihasilkan antara 300 hingga 2.000 in/jam atau 0,22 – 1,41 cm/detik. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa semua nilai infiltrasi pada variasi PFA masuk ke dalam standar nilai infiltrasi beton *porous*. Sedangkan untuk variasi PFB hanya campuran dengan perbandingan 1:3 dan 1:4 saja yang masuk ke dalam standar nilai infiltrasi beton *porous*.

Pengujian permeabilitas beton porous

Pengujian permeabilitas diambil pada hari ke 14 dengan menggunakan metode *falling head permeability*. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengujian permeabilitas beton porous

Dari hasil pengujian permeabilitas menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan berat semen dan agregat maka nilai permeabilitas semakin meningkat serta semakin besar ukuran agregat yang digunakan maka nilai permeabilitas semakin meningkat, dikarenakan dengan menggunakan agregat yang berukuran lebih besar maka pori-pori dari beton *porous* semakin besar yang berpengaruh terhadap kemampuan beton dalam mengalirkan air.

Menurut ACI 522R-10, tingkat drainase dari perkerasan beton *porous* bervariasi sesuai ukuran agregat dan kepadatan campuran, umumnya memiliki permeabilitas 81 hingga 730 l/min/m^2 atau 0,14 cm/s – 1,22 cm/s. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa semua variasi menghasilkan nilai permeabilitas yang melebihi standar yang telah ditetapkan. Hal ini dikarenakan rongga beton yang terdapat pada dinding cetakan cukup besar, dikarenakan tidak meratanya adukan sehingga berpengaruh besar dalam rongga-rongga yang dihasilkan dan berpengaruh pada nilai permeabilitas.

Pembahasan

Variasi beton *porous* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, dan 1:7 yang merupakan perbandingan berat semen dan agregat kasar. Rasio penambahan abu batu sebanyak 50% terhadap berat semen. Setelah dilakukan pengujian pada beton *porous* meliputi pengujian kuat tekan, densitas, porositas, infiltrasi dan permeabilitas dapat diketahui variasi campuran yang memiliki nilai optimum. Hasil variasi optimum pada beton porous dengan rasio penambahan abu batu sebanyak 50% terhadap berat semen yaitu pada penggunaan (agregat A atau KTA;PFA) ukuran lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm dengan variasi perbandingan 1:5 (KTA-5;PFA-5).

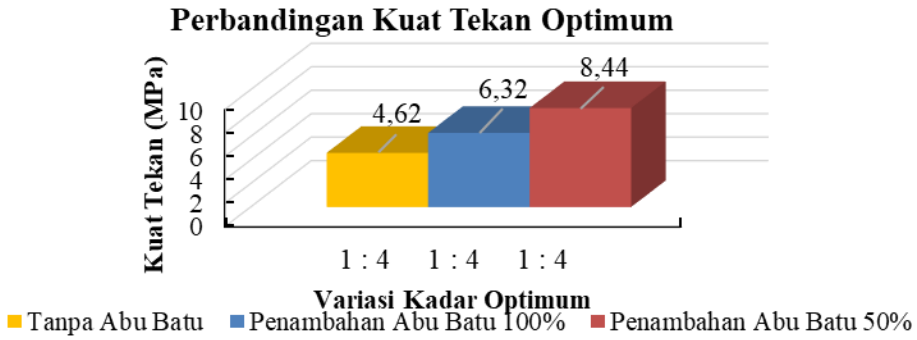
Menurut ACI 522R-10, beton *porous* dapat dihasilkan kuat tekan sebesar 2,8 hingga 28 MPa, permeabilitas 81 hingga 730 l/min/m^2 atau 0,14 – 1,22 cm/detik serta berat satuan yang dihasilkan bervariasi berkisar antara 105 hingga 120 lb/ft^3 atau 1.680 – 1.920 kg/m^3. Menurut ASTM dan Archimedes Rule Metods tingkat porositas beton *porous* berkisar antara 0,73% hingga 1,28%. Sedangkan, menurut Nassiri 2017), nilai infiltrasi beton *porous* yang dihasilkan antara 300 hingga 2.000 in/jam atau 0,21 – 1,41 cm/s.

Pada variasi 1:5 (KTA–5;PFA–5), nilai kuat tekan KTA–5 yang dihasilkan sebesar 5,56 MPa, nilai densitas KTA–5 sebesar 1.883,19 kg/m^3, nilai porositas KTA–5 sebesar 3,98%, nilai infiltrasi PFA–5 sebesar 0,46 cm/s, dan nilai permeabilitas PFA–5 sebesar 3,70 cm/s. Akan tetapi, nilai porositas dan permeabilitas melebihi standar.

Komposisi optimum perbandingan semen dan agregat

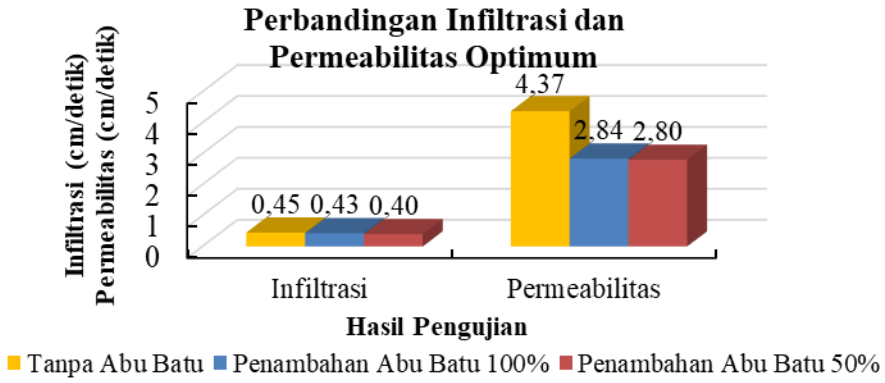
Penelitian saat ini mendapat nilai variasi optimum pada penggunaan agregat ukuran lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm dengan variasi perbandingan semen: agregat (1 : 5) dan rasio penambahan abu batu sebanyak 50% terhadap berat semen. Sedangkan, pada penelitian sebelumnya dalam Erlinawati, L. D (2022) variasi optimum yang dihasilkan pada agregat ukuran lolos saringan 25 mm tertahan pada 9,5 mm dari batuan Clereng. Faktor air semen (fas) 0,4, tanpa penambahan abu batu dan dengan penambahan abu batu 100% terhadap berat semen yaitu pada variasi perbandingan semen: agregat (1 : 4). Untuk membandingkan kinerja mekanik serta hidraulik beton *porous* antara penelitian saat ini dengan penelitian sebelumnya, maka penggunaan variasi perbandingan semen: agregatnya disamakan dengan penelitian terdahulu pada variasi semen: agregat (1:4).

Grafik perbandingan kuat tekan optimum antara penelitian terdahulu dengan penelitian saat ini dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan grafik perbandingan infiltrasi dan permeabilitas antara penelitian terdahulu dengan penelitian saat ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Grafik perbandingan kuat tekan optimum

Gambar 6 menunjukkan perbandingan kinerja mekanik beton porous dari penelitian terdahulu Erlinawati, L. D (2022) pada rasio semen : agregat (1:4), nilai kuat tekan optimum dari penelitian terdahulu yaitu 4,62 MPa pada campuran tanpa penambahan abu batu dan 6,32 MPa pada campuran dengan penambahan abu batu 100%, sedangkan penelitian saat ini pada rasio semen : agregat (1:4) memiliki nilai kuat tekan optimum yaitu 8,44 MPa pada campuran dengan penambahan abu batu 50%. Maka, dapat disimpulkan bahwa hanya dengan penambahan bahan tambah abu batu 50% dari berat semen dapat meningkatkan kinerja mekanik beton porous serta lebih ekonomis, karena dengan penggunaan abu batu yang lebih sedikit dapat memiliki kuat tekan optimum yang masih memadai dalam standar ACI 522R-10.



Gambar 7. Grafik perbandingan infiltrasi dan permeabilitas optimum

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kinerja hidraulis beton *porous* dari penelitian terdahulu Erlinawati, L. D (2022) pada rasio semen : agregat (1:4), nilai infiltrasi dan nilai permeabilitas optimum dari penelitian terdahulu yaitu (0,45 cm/detik ; 4,37 cm/detik) pada campuran tanpa penambahan abu batu, dan (0,43 cm/detik ; 2,84 cm/detik) pada campuran dengan penambahan abu batu 100%, sedangkan penelitian saat ini memiliki bahwa nilai infiltrasi dan nilai permeabilitas optimum yaitu (0,40 cm/detik ; 2,80 cm/detik) pada campuran dengan penambahan abu batu 50%. nilai permeabilitas optimum ketiga variasi campuran tersebut melebihi standar yang telah ditetapkan. Umumnya beton *porous* memiliki permeabilitas 81 hingga 730 l/min/m^2 atau 0,14 cm/s – 1,22 cm/s (ACI 522R-10). Hal ini dikarenakan rongga beton yang terdapat pada dinding cetakan tertalu besar, tidak meratanya adukan, ini berpengaruh besar dalam rongga-rongga yang dihasilkan dan berpengaruh pada nilai permeabilitas.

H. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kuat tekan tertinggi pada rasio perbandingan semen dan agregat 1:3 ukuran agregat lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm dengan nilai yaitu 12,88 MPa. Sedangkan, infiltrasi dan permeabilitas tertinggi pada rasio perbandingan semen dan agregat 1:7 ukuran agregat lolos ayakan 37,5 mm dengan nilai yaitu 2,21 cm/detik, dan 5,70 cm/detik.
2. Variasi yang menghasilkan nilai kuat tekan, infiltrasi, dan permeabilitas optimum pada penggunaan agregat lolos ayakan 19 mm tertahan 9,5 mm rasio perbandingan semen dan agregat 1:5 dengan nilai kuat tekan yaitu 5,56 MPa, nilai infiltrasi yaitu 0,46 cm/detik, dan nilai permeabilitas yaitu 3,70 cm/detik.
3. Nilai kuat tekan optimum yang dihasilkan dari campuran beton *porous* tanpa bahan tambah abu batu sebesar 4,61 MPa, sedangkan campuran dengan penambahan abu batu 50% dari berat semen mendapat nilai kuat 148 tekan optimum sebesar 5,56 MPa. Maka, dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan abu batu 50% dapat meningkatkan kinerja mekanik beton *porous*.

Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian porositas dan permeabilitas penelitian saat ini masih melebihi standar yang telah ditetapkan. Peneliti selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan ukuran agregat yang lebih kecil, penambahan bahan tambah seperti *silica foam*, *fly ash* atau abu batu dengan rasio penambahan yang berbeda. Serta penggunaan metode yang berbeda pada saat memasukan campuran ke dalam cetakan untuk mendapat nilai porositas dan permeabilitas yang lebih optimal.
2. Penuangan air pada saat pengujian infiltrasi masih menggunakan metode manual. Maka, diperlukan inovasi alat uji untuk pengujian infiltrasi supaya saat penuangan air menjadi konstan, sehingga data yang dihasilkan lebih akurat.
3. Peneliti selanjutnya dapat menambah pengujian kuat tarik beton *porous* agar mengetahui nilai tegangan beton *porous* sehingga dapat membantu klasifikasi penggunaan beton *porous* yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 214R-11. (2011). Guide to Evaluation of. ISBN 978-0-87031-423-0.

ACI 522R-10. (2011). Pervious Concrete. ISBN 978-087031-364-6.

ASTM C 1701-09. (2009). Standard Tst Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. ASTM International.

Erlinawati, L. D. (2022). "Studi Eksperimental Pemanfaatan Bahan Tambah Abu Batu Terhadap Beton Porous Menggunakan Agregat Kasar Clereng". Jurnal Surya Beton Vol.6, No.2 Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Oktober 2022, 88-89.

Handayani, F. (2019). "Manfaat Limbah Abu Batu Sebagai Tambahan Material Bahan Bangunan". Kisaran, Seminar Nasional Tahunan VI Program Studi Magister Teknik Sipil ULM, ISBN 978-623-7533-03-0, 59-68.

Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Khonado, M. F. (2019). "Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous dengan Variasi Ukuran Agregat". Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.3 Maret 2019 Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado, 351-358.

Nassiri, S. E. (2017). "Preliminary Study to Develop Standard Acceptance Tests for Pervious Concrete". Washington State Department of Transportation, May 2017., 10-58.

Pratama, A. N. (2016). "Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Dari Yogyakarta Terhadap Kuat Tekan Beton". Repository UMY, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 1-9.

SNI 1969:2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.

SNI 1970:2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.

SNI 1972:2008. (2008). Cara Uji Slump Beton.

SNI 1973:2016. (2016). Metode Uji Densitas, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara (Gravimetrik) Beton.

SNI 1974:2011. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.

SNI 2049-2015. (2015). Semen Portland.

SNI 2417:2008. (2008). Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles.

SNI 7656:2012. (2012). Tata Cara Pembuatan Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa.

Tjokrodimuljo, K., (2007). Teknologi Beton. Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.

PENGARUH AIR LAUT SEBAGAI CAMPURAN MORTAR DAN RENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN LENTUR DINDING

Naufal Hafidh Tauhid[1*] dan Sarwidi[2]
[1*]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km. 14,5 Sleman
Email: naufal.tauhid@students.uii.ac.id (Corresponding Author)
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km. 14,5 Sleman
Email: sarwidi@uii.ac.id

ABSTRAK

Banjir rob yang terjadi di wilayah pesisir akan memengaruhi rumah yang sudah berdiri maupun yang akan dibangun. Pada rumah yang sudah berdiri, dinding yang terendam banjir akan memengaruhi kekuatannya. Selain itu, pada proses pembuatan mortar saat pembangunan rumah, tercemarnya air tawar akibat banjir rob juga akan memengaruhi kekuatannya. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh rendaman air laut serta pengaruh penggunaan air laut sebagai campuran mortar pada dinding bata merah terhadap kuat tekan dan lenturnya. Metode yang digunakan adalah eksperimen di laboratorium yang mengacu pada ASTM. Variabel yang digunakan adalah 2 jenis air pencampur mortar, yaitu air tawar dan laut, serta 2 macam pengkondisian, yaitu kondisi tanpa direndam dan direndam air laut. Terdapat 4 macam benda uji, yaitu mortar kubus 5 cm untuk pengujian kuat tekan mortar, susunan 2 bata menyilang untuk pengujian kuat lekat mortar, dan prisma pasangan bata untuk pengujian kuat tekan dan lentur dinding. Benda uji dengan variasi perendaman dilakukan perendaman dalam air laut selama 14 hari setelah masa perawatan 28 hari. Berdasarkan hasil dari tiap pengujian, dapat diketahui bahwa penggunaan air laut sebagai campuran mortar dapat meningkatkan kekuatan mortar dan dinding bata. Hal tersebut terjadi akibat kandungan Klorida yang mempercepat hidrasi semen. Akan tetapi, apabila mortar air laut tersebut terendam air laut, terjadi penurunan kekuatan yang signifikan. Hal tersebut diperkirakan akibat bertambahnya garam friedel pada saat perendaman benda uji. Sifat garam friedel yang makin lama makin mengembang mengakibatkan mortar terjadi tegangan dalam sehingga kekuatan mortar menurun dan juga kekuatan dinding bata ikut menurun.

Kata kunci: dinding bata merah, kuat lekat, kuat lentur, kuat tekan, mortar.

A. PENDAHULUAN

Salah satu indikator tempat tinggal yang baik di wilayah pesisir adalah tempat tinggal yang aman dari banjir rob. Akan tetapi, masih banyak masyarakat dengan keterbatasannya tidak dapat memilih tempat tinggal yang baik tersebut dan mau tidak mau harus tinggal di daerah banjir rob. Banjir rob terjadi akibat dari meluapnya air laut menuju permukiman warga. Banjir tersebut akan mempengaruhi bangunan rumah yang sudah berdiri maupun yang akan dibangun. Pada bangunan rumah yang sudah berdiri, dinding rumah yang terendam banjir rob dalam jangka waktu tertentu akan mempengaruhi kekuatannya. Daerah yang setiap tahunnya terjadi banjir rob mengakibatkan sumber air tawar warga yang berasal dari sumur dangkal menjadi tercemar. Pada proses pembangunan rumah, air tawar diperlukan sebagai campuran saat pembuatan mortar. Tercemarnya air tawar akan mempengaruhi kekuatan dinding, terutama mortar.

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan, maka perlu dilakukan adanya penelitian untuk mengetahui pengaruh rendaman air laut pada dinding bata merah serta pengaruh penggunaan air laut pada campuran mortar pada dinding bata merah terhadap kuat tekan dan lentur dinding bata merah. Penelitian tersebut perlu dilakukan agar masyarakat yang mau tidak mau harus tinggal

di daerah banjir rob dapat mengetahui pengaruh air laut pada bangunan mereka sehingga ke depannya dapat meminimalisir bahaya yang akan terjadi pada bangunan mereka ataupun dapat memanfaatkan potensi yang ada dari kondisi banjir tersebut.

Penelitian dilakukan oleh Hanafi dkk. (2019) berkaitan dengan kuat tekan dinding bata merah yang direndam dengan air tawar, air payau dan air asin. Terdapat variasi dinding bata merah tanpa plesteran dan dengan plesteran. Komposisi campuran mortar untuk dinding bata tanpa plesteran adalah 1:4, sedangkan yang dengan plesteran adalah 1:2. Setiap dinding bata akan diambil 3 sampel kubus mortar untuk diuji kuat tekannya. Setiap benda uji dilakukan perawatan selama 28 hari, lalu direndam selama 21 hari dengan air tawar, air payau, dan air asin. Berdasarkan hasil pengujian, terjadi penurunan nilai kuat tekan mortar, dinding bata tanpa plesteran, maupun dinding bata dengan plesteran akibat direndam dengan air laut.

Sedangkan penelitian terdahulu mengenai penggunaan air laut pada pembuatan mortar sebagian besar didapatkan hasil kenaikan kekuatan, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Erniati dkk. (2013). Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan dimensi (50x50x50) mm. Benda uji dirawat sesuai dengan jenis air pencampurnya. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3,7, dan 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian, terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 3,28% akibat penggunaan air laut sebagai pencampur pada umur 28 hari.

Penelitian lainnya berkaitan dengan kuat tekan beton yang menggunakan air laut sebagai campurannya dilakukan oleh Vishwakarma (2020). Penelitian ini menggunakan perbandingan M30 *grade* untuk komposisi campuran beton. Variasi umur pengujian beton adalah 7, 14, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan benda uji kubus berdimensi (150 x 150 x 150) mm. Berdasarkan hasil pengujian, terjadi kenaikan 4,5% pada umur 28 hari akibat dari penggunaan air laut.

Penelitian berkaitan dengan kuat tekan mortar yang menggunakan air laut sebagai campurannya serta dilakukan perendaman air laut dilakukan oleh Utami dkk. (2016). Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk kubus berukuran 50x50x50 mm dengan komposisi campuran 1 PC : 2,75 Pasir berdasarkan perbandingan berat. Setiap benda uji masing-masing dibuat dan direndam menggunakan tiga jenis air yaitu air tawar, air laut, dan air tawar diberi larutan NaCl. Variasi lama perendaman pada penelitian ini di antaranya 3, 7, 14, 21, 28, dan 60 hari. Dari penelitian yang dilakukan didapat hasil bahwa pada perendaman selama 21 sampai 60 hari semua benda uji kecuali mortar yang dibuat menggunakan air tawar lalu direndam air laut mengalami peningkatan kuat tekan yang relatif kecil. Pada mortar yang dibuat menggunakan air tawar lalu direndam air laut pada perendaman selama 28 hari terjadi penurunan kuat tekan. Mortar tersebut cenderung tidak mengalami perubahan kuat tekan pada perendaman selama 28 sampai 60 hari.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Ali dan Datu (2018) berkaitan dengan kuat tekan mortar yang menggunakan air laut sebagai campurannya serta dilakukan perawatan air laut. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk kubus (50x50x50) mm dengan pencampur air tawar dan air laut. Setelah 24 jam, benda uji dilakukan perawatan dengan air tawar, air laut, dan udara. Pengujian dilakukan saat benda uji berumur 3, 7, 14, dan 28 hari. Berdasarkan pengaruh jenis air pencampurnya, kuat tekan mortar yang dibuat menggunakan air laut lebih tinggi dari kuat tekan mortar yang dibuat menggunakan air tawar. Sedangkan berdasarkan jenis air perawatannya, kuat tekan mortar yang dibuat menggunakan air tawar maupun air laut lalu dirawat dengan air tawar sedikit lebih besar dibandingkan dengan yang dirawat dengan air laut, tetapi perbedaannya tidak signifikan.

Penelitian lainnya dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh lingkungan sekitar pada pengembangan kuat tekan beton yang menggunakan campuran air laut dilakukan oleh Khatibmasjedi dkk. (2020). Benda uji yang digunakan berbentuk silinder. Pengujian kuat tekan awal dilakukan pada umur 3,7, dan 28 hari pada masa perawatan. Setelah masa perawatan 28 hari, benda uji dikondisikan pada 4 kondisi lingkungan, yaitu lingkungan subtropis, zona pasang surut, perawatan lembab, dan air laut hingga waktu pengujian. Pengujian kuat tekan akhir dilakukan setelah 6, 12, 18, dan 24 bulan. Berdasarkan hasil pengujian, kuat tekan akhir didapatkan bahwa beton campuran air laut menunjukkan nilai yang sebanding pada 4 waktu pengujian dan 4 variasi kondisi, namun beton campuran air laut menunjukkan nilai lebih tinggi 14% pada 24 bulan kondisi lingkungan air laut.

Dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah disebutkan, penelitian yang berkaitan dengan penggunaan air laut pada campuran mortar maupun yang sekaligus berkaitan dengan rendaman air laut dilakukan menggunakan benda uji mortar atau beton saja, belum terdapat pengujian yang menggunakan benda uji dinding bata. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh rendaman air laut pada dinding bata merah serta pengaruh penggunaan air laut pada campuran mortar pada dinding bata merah terhadap kuat tekan dan lentur dinding bata merah dengan menggunakan benda uji dinding pasangan bata.

B. METODE

Variabel penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium dengan mengacu kepada ASTM. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan mortar (ASTM C 109), kuat lekat mortar (ASTM C 321), kuat tekan dinding bata (ASTM E 447), dan kuat lentur dinding bata (ASTM E 518). Variabel yang digunakan adalah dua jenis air pencampur mortar, yaitu air tawar dan air laut, serta dua macam pengkondisian, yaitu kondisi tanpa direndam dan kondisi direndam air laut.

Reaksi kimia

Menurut Wahyudi (2012), "terdapat empat komponen yang menentukan mutu suatu semen" yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen karakteristik dari semen

Reaksi Kimia	Campuran	Nama Campuran
3 $CaOSiO_2$	C_3S	Trikalsium Silikat
2 $CaOSiO_2$	C_2S	Dikalsium Silikat
3 $CaO.Al_2O_3$	C_3A	Trikalsium Aluminat
4 $CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	Tetrakalsium Aluminoferit

Iman (dalam Utami dkk., 2016) menyatakan "Reaksi hidrasi yang terjadi pada senyawa C_3A adalah yang paling reaktif, kemudian disusul dengan senyawa C_3S dan C_2S yang menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat (CSH) dan Kalsium Hidroksida $Ca(OH)_2$". Menurut Sanjaya (dalam Utami dkk., 2016), "senyawa Kalsium Silikat Hidrat (CSH) hasil proses hidrasi semen mempunyai sifat sebagai perekat akan menghasilkan senyawa $Ca(OH)_2$ yang membentuk pasta semen bersifat basa (dengan pH=12,5)", yang selanjutnya menurut Utami dkk. (2016) "bereaksi dengan NaCl dan $Na(OH)_2$ dan kemudian dengan adanya pengaruh garam, semen akan mengalami proses senyawa hidrasi menurut reaksi:

$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$
(hidrasi yang terjadi pada C_3S), dan
$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.2H_2O + Ca(OH)_2$
(hidrasi yang terjadi pada C_2S)".

Dari reaksi kimia yang terjadi di atas, Utami dkk. (2016) menyatakan "jika senyawa $Ca(OH)_2$ yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan senyawa NaCl maka akan menjadi:

$2NaCl + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCl_2+2NaOH,$
selanjutnya Kalsium Klorida (CaCl2) akan kembali bereaksi dengan salah satu komposisi kimia semen, yaitu Trikalsium Aluminat (C3A), yang akan menghasilkan Garam Friedel (CaO.Al2O3.10H2O.CaCl2) menurut reaksi kimia:

$3Ca.O.Al_2O_3.10H_2O + CaCl_2 \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.10H_2O.CaCl_2$ (Garam Friedel)".

Dasar teori

Pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini mengacu pada ASTM C 109 di mana nilai kuat tekan mortarnya dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$C = \frac{P}{A} \quad \text{.....} \quad (1)$$

dengan C = kuat tekan, P = beban maksimum, dan A = luas bidang tekan.

Pengujian lainnya yaitu pengujian kuat lekat yang bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kuat lekat ikatan mortar pada bata merah. Pengujian ini mengacu pada ASTM C 321 di mana nilai kuat lekat mortarnya dapat dihitung dengan persamaan (1).

Selanjutnya adalah pengujian kuat tekan dinding yang bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan dinding bata dalam menahan beban vertikal. Pengujian ini mengacu pada ASTM E 447 di mana nilai kuat tekan dindingnya dapat dihitung dengan persamaan (1).

Pengujian yang terakhir adalah pengujian kuat lentur dinding yang bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan dinding bata untuk menahan beban horizontal yang tegak lurus dengan bidang dinding. Pengujian ini mengacu pada ASTM E 518 dengan metode A, yakni uji menggunakan prisma pasangan bata dengan pembebanan dua titik di mana nilai kuat lentur dindingnya dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$R = \frac{(P + 0{,}75Ps)L}{bd^2} \quad \text{.....} \quad (2)$$

dengan R = kuat lentur dinding, Ps = berat benda uji, l = jarak antar dukungan, b = lebar benda uji, dan h = tinggi benda uji.

Bahan

Penelitian ini menggunakan semen Portland merek Tiga Roda, pasir berasal dari Gunung Merapi Yogyakarta, bata merah merek AT berasal dari Magelang, air tawar berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII, serta air laut berasal dari Dermaga Adikarta di Kulon Progo.

Benda uji

Terdapat empat macam benda uji yang digunakan, di antaranya yaitu mortar kubus berdimensi 5 cm untuk pengujian kuat tekan mortar, susunan dua bata menyilang untuk pengujian kuat lekat mortar, prisma pasangan bata tinggi minimal 38 cm untuk pengujian kuat tekan dinding bata, dan prisma pasangan bata tinggi minimal 46 cm untuk pengujian kuat lentur dinding bata. Campuran mortar menggunakan perbandingan volume 1 semen : 4 pasir. Benda uji dinding dalam kondisi tidak diplester dan mempunyai tebal spesi ± 1,5 cm. Jumlah benda uji untuk setiap variasinya berjumlah tiga buah yang detailnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah benda uji

Benda uji	Mortar air tawar		Mortar air laut	
	Tanpa perendaman	Dengan perendaman	Tanpa perendaman	Dengan perendaman
Mortar kubus	3	3	3	3
Susunan dua bata menyilang	3	3	3	3
Prisma pasangan bata (t>38 cm)	3	3	3	3
Prisma pasangan bata (t>46 cm)	3	3	3	3

Perawatan dan perendaman benda uji

Benda uji yang telah selesai dibuat lalu dilakukan perawatan selama 28 hari. Bentuk perawatan untuk benda uji mortar kubus adalah dengan direndam dalam air, sedangkan untuk susunan dua bata menyilang dan prisma pasangan bata adalah dengan menyimpannya di tempat yang lembab. Setelah masa perawatan 28 hari, benda uji dengan variasi perendaman dilakukan perendaman dalam air laut selama 14 hari di kolam rendam.

Pengujian benda uji

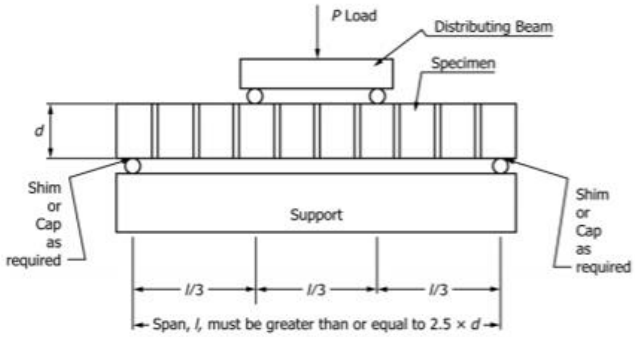
Pengujian kuat tekan mortar dan kuat tekan dinding bata dilakukan dengan cara memosisikan benda uji dalam kondisi berdiri vertikal pada mesin tekan lalu diberi beban vertikal hingga runtuh yang skemanya dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan pengujian kuat lentur dinding bata dilakukan dengan cara memosisikan benda uji dalam kondisi horizontal pada mesin tekan lalu diberi beban vertikal hingga runtuh yang skemanya dapat dilihat pada Gambar 3. Pengujian kuat lekat mortar dilakukan secara manual menggunakan alat uji beban jembatan kayu balsa dengan cara memberi tekanan pada salah satu sisi dalam bata menggunakan beban dari agregat hingga mortar terlepas dari bata yang skemanya dapat dilihat pada Gambar 2. Pengujian dilakukan setelah benda uji dirawat selama 28 hari lalu direndam selama 14 hari. Semua pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia.



Gambar 1. Skema pengujian kuat tekan



Gambar 2. Skema pengujian kuat lekat mortar

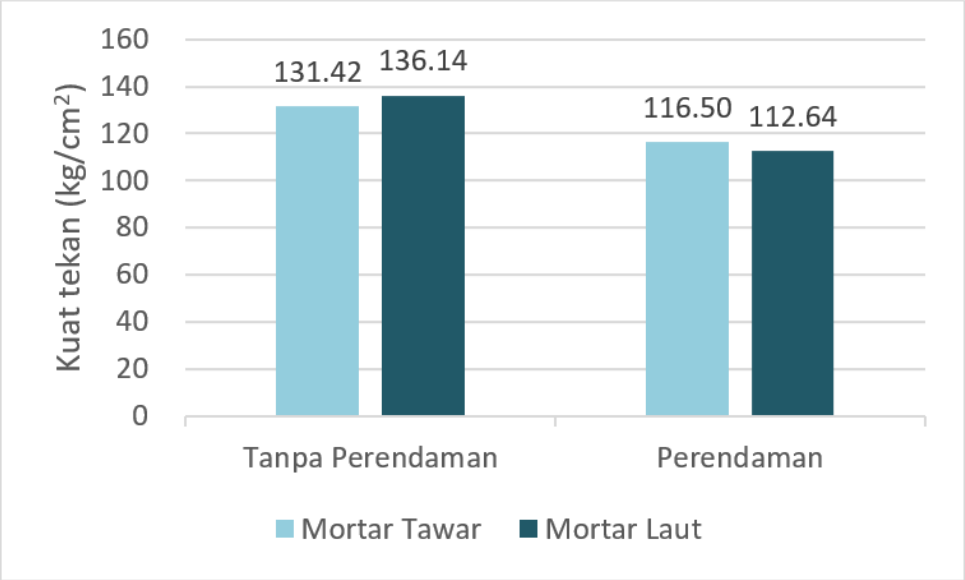


Gambar 3. Skema pengujian kuat lentur dinding

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kuat tekan mortar

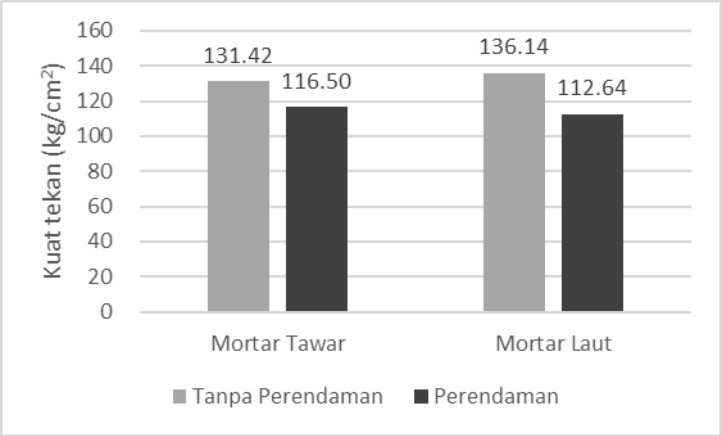
Hubungan jenis air pencampur mortar sebagai variabel bebas dengan jenis pengkondisian mortar sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. Diagram perbandingan kuat tekan mortar air tawar dengan mortar air laut

Berdasarkan Gambar 4, terjadi kenaikan kuat tekan mortar yang dibuat menggunakan air laut tanpa perendaman dengan mortar yang dibuat menggunakan air tawar tanpa perendaman sebesar 3,59%. Sedangkan hubungan kuat tekan mortar yang dibuat menggunakan air laut disertai perendaman dengan mortar yang dibuat menggunakan air tawar disertai perendaman mengalami penurunan sebesar 3,31%.

Hubungan jenis pengkondisian mortar sebagai variabel bebas dengan jenis air pencampur mortar sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.

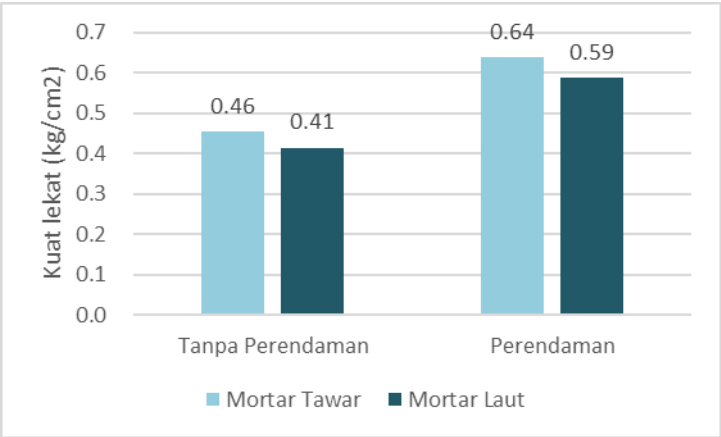


Gambar 5. Diagram perbandingan kuat tekan mortar tanpa perendaman dengan mortar disertai perendaman

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5, terjadi penurunan kuat tekan mortar yang dibuat menggunakan air tawar disertai perendaman dengan mortar yang dibuat menggunakan air tawar tanpa perendaman sebesar 11,36%. Sedangkan hubungan kuat tekan mortar yang dibuat menggunakan air laut disertai perendaman dengan mortar yang dibuat menggunakan air laut tanpa perendaman mengalami penurunan sebesar 17,26%.

Hasil pengujian kuat lekat mortar

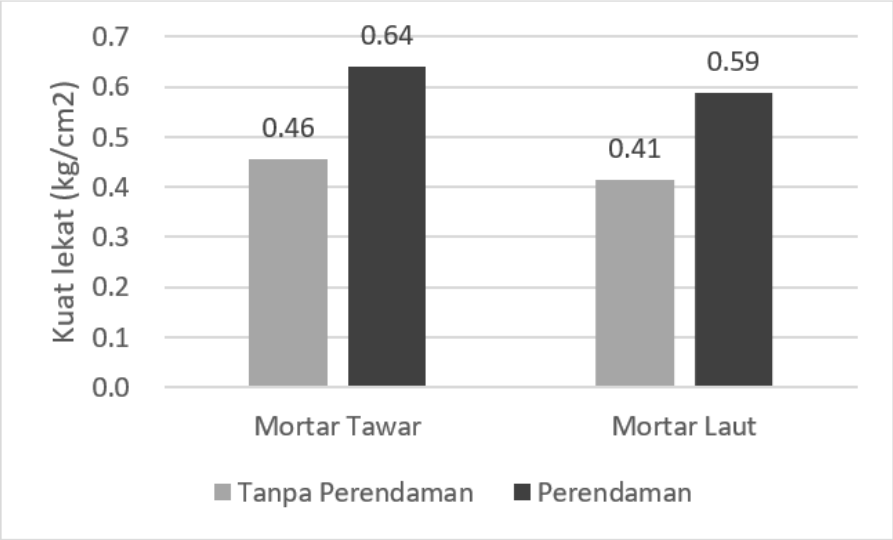
Hubungan jenis air pencampur mortar pada benda uji sebagai variabel bebas dengan jenis pengkondisian benda uji sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 6. Diagram perbandingan kuat lekat mortar air tawar dengan mortar air laut

Berdasarkan Gambar 6, terjadi penurunan kuat lekat mortar benda uji yang dibuat menggunakan mortar air laut tanpa perendaman dengan benda uji yang dibuat menggunakan mortar air tawar tanpa perendaman sebesar 8,91%. Sedangkan hubungan kuat lekat mortar benda uji yang dibuat menggunakan air laut disertai perendaman dengan benda uji yang dibuat menggunakan air tawar disertai perendaman mengalami penurunan sebesar 8,15%.

Hubungan jenis pengkondisian benda uji sebagai variabel bebas dengan jenis air pencampur pada benda uji sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.

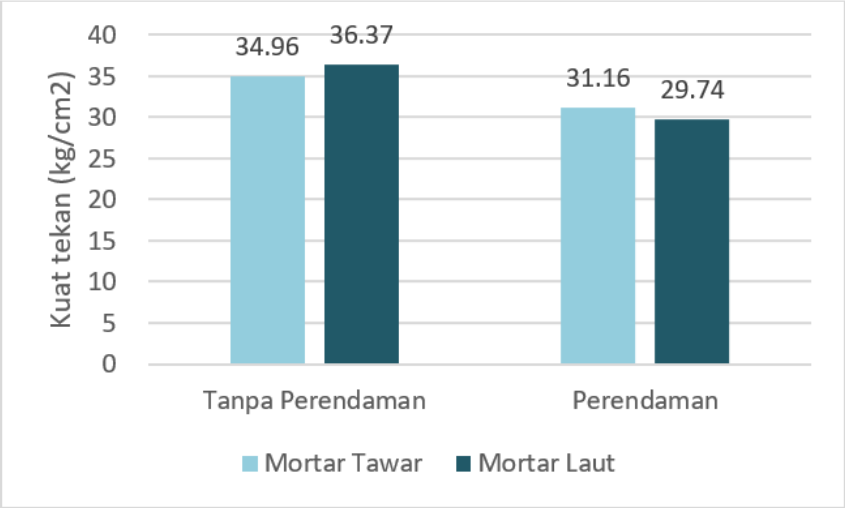


Gambar 7. Diagram perbandingan kuat lekat mortar tanpa perendaman dengan mortar disertai perendaman

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 7, terjadi kenaikan kuat lekat mortar benda uji yang dibuat menggunakan mortar air tawar disertai perendaman dengan benda uji yang dibuat menggunakan mortar air tawar tanpa perendaman sebesar 40,52%. Sedangkan hubungan kuat lekat mortar benda uji yang dibuat menggunakan air laut disertai perendaman dengan benda uji yang dibuat menggunakan air laut tanpa perendaman mengalami kenaikan sebesar 41,70%.

Hasil pengujian kuat tekan dinding bata

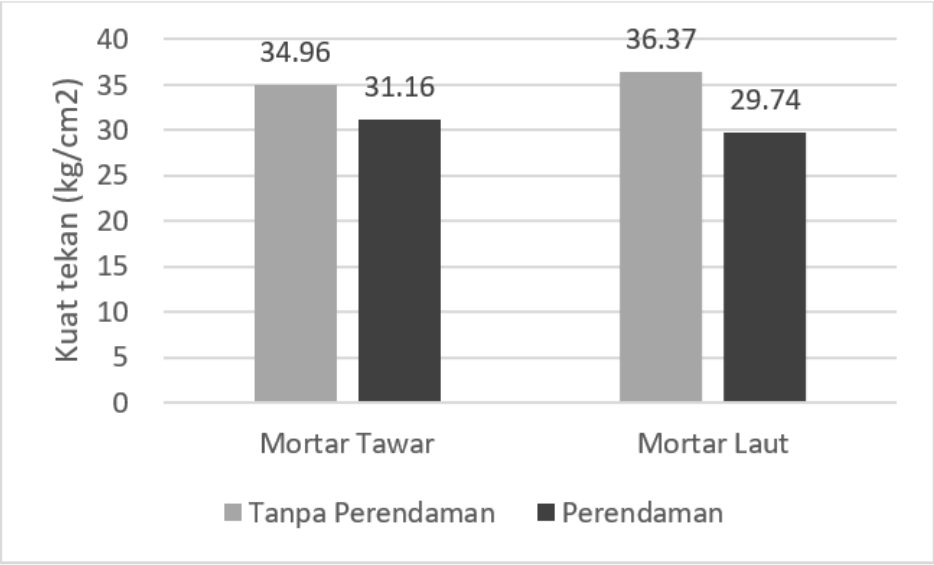
Hubungan jenis air pencampur mortar pada dinding sebagai variabel bebas dengan jenis pengkondisian dinding sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 8. Diagram perbandingan kuat tekan dinding menggunakan mortar air tawar dengan dinding menggunakan mortar air laut.

Berdasarkan Gambar 8, terjadi kenaikan kuat tekan dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut tanpa perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar tanpa perendaman sebesar 4,03%. Sedangkan hubungan kuat tekan dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut disertai perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar disertai perendaman mengalami penurunan sebesar 4,57%.

Hubungan jenis pengkondisian dinding sebagai variabel bebas dengan jenis air pencampur mortar pada dinding sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.

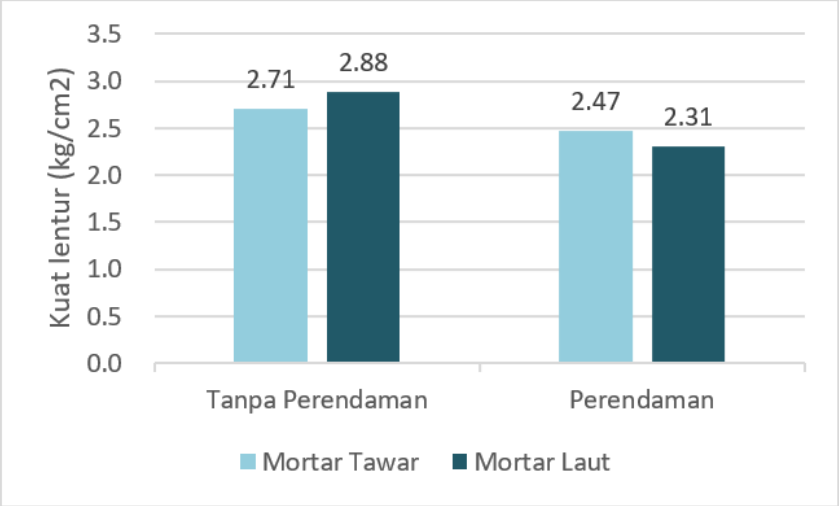


Gambar 9. Diagram perbandingan kuat tekan dinding tanpa perendaman dengan dinding disertai perendaman

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 9, terjadi penurunan kuat tekan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar disertai perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar tanpa perendaman sebesar 10,88%. Sedangkan hubungan kuat tekan dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut disertai perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut tanpa perendaman mengalami penurunan sebesar 18,24%.

Hasil pengujian kuat lentur dinding bata

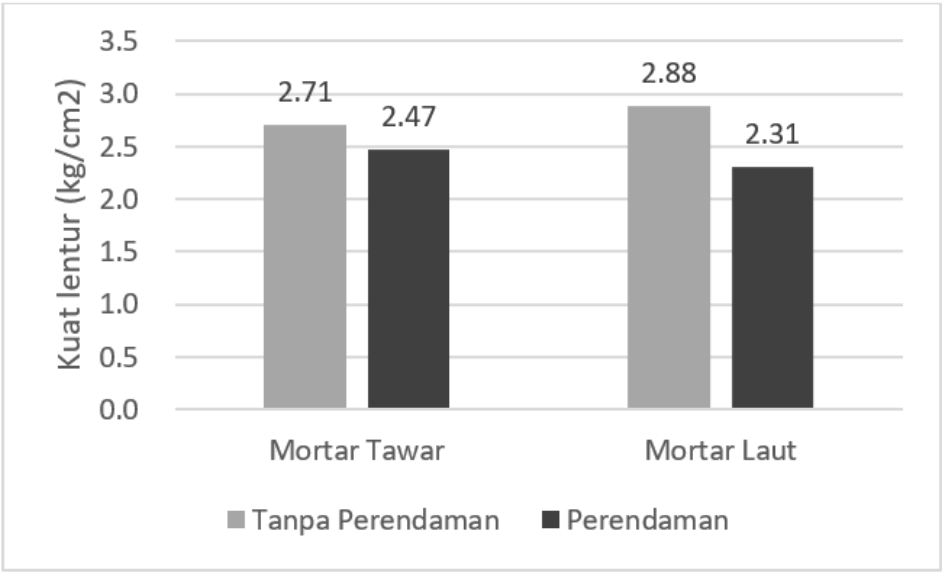
Hubungan jenis air pencampur mortar pada dinding sebagai variabel bebas dengan jenis pengkondisian dinding sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 10. Diagram perbandingan kuat lentur dinding menggunakan mortar air tawar dengan dinding menggunakan mortar air laut.

Berdasarkan Gambar 10, terjadi kenaikan kuat lentur dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut tanpa perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar tanpa perendaman sebesar 6,34%. Sedangkan hubungan kuat lentur dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut disertai perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar disertai perendaman mengalami penurunan sebesar 6,41%.

Hubungan dinding tanpa perendaman dan dinding disertai perendaman sebagai variabel bebas dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar dan air laut sebagai variabel terikat dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 11. Diagram perbandingan kuat lentur dinding tanpa perendaman dengan dinding disertai perendaman

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 11, terjadi penurunan kuat lentur dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar disertai perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air tawar tanpa perendaman sebesar 8,90%. Sedangkan hubungan kuat lentur dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut disertai perendaman dengan dinding yang dibuat menggunakan mortar air laut tanpa perendaman mengalami penurunan sebesar 19,82%.

Pembahasan

Berdasarkan hasil dari tiap pengujian, dapat dilihat bahwa terdapat pola di mana benda uji yang menghasilkan kekuatan paling tinggi adalah benda uji yang dibuat menggunakan air pencampur mortar dari air laut dengan kondisi tanpa perendaman. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan dari benda uji kontrol akibat penggunaan air laut sebagai campuran mortar. "Kenaikan kekuatan tersebut terjadi akibat pengaruh salinitas air laut, terutama kandungan Klorida sebagai senyawa yang mempercepat hidrasi semen, sehingga pasta semen lebih awal mengeras dibandingkan pencampur air tawar" (Ali dan Datu, 2018). Pruckner dan Gjorv (dalam Erniati dkk., 2013) menjabarkan bahwa "penggunaan air laut pada mortar akan membentuk kristal garam friedel yang dapat meningkatkan pH lebih tinggi dan alkalinitas meningkat sehingga akan mengaktifkan hidrasi semen serta memberikan struktur pasta lebih padat dengan pori-pori yang lebih kecil". Meningkatnya kekuatan mortar sedikit banyak juga akan mempengaruhi kekuatan dinding bata.

Sedangkan benda uji yang menghasilkan kekuatan paling rendah adalah benda uji yang dibuat menggunakan air pencampur mortar dari air laut dengan kondisi perendaman. Hal tersebut menunjukkan adanya penurunan kekuatan dari benda uji kontrol akibat penggunaan air laut sebagai campuran mortar yang disertai perendaman air laut. Penurunan kekuatan tersebut diperkirakan akibat bertambahnya Klorida yang berasal dari kondisi perendaman benda uji, sehingga garam friedel yang terbentuk juga makin bertambah. Utami dkk. (2016) menyatakan bahwa "sifat garam friedel di antaranya, masuk, meresap, mengisi pori-pori mortar, dan makin lama makin mengembang. Akibatnya pada tubuh mortar terjadi tegangan dalam karena mengambangnya garam friedel pada pori-pori mortar, sehingga kekuatan mortar makin lama semakin menurun". Yusuf dkk. (2013) menjabarkan bahwa "Klorida dapat masuk ke dalam mortar melalui pori-pori mortar yang terbentuk akibat keluarnya senyawa Kalsium Hidroksida yang merupakan hasil reaksi hidrasi antara semen dengan air dari dalam mortar. Pengembangan garam yang terjadi pada pori-pori mortar yang dapat menyebabkan keretakan pada mortar merupakan akibat dari reaksi antara Sulfat dengan Kalsium Hidroksida dan Kalsium Aluminat Hidrat". Menurunnya kekuatan mortar juga akan mempengaruhi kekuatan dinding bata.

Akan tetapi, terdapat perbedaan hasil pada pengujian kuat lekat dibandingkan dengan pola sebagian besar pengujian lainnya, di mana benda uji yang menghasilkan kekuatan paling tinggi adalah benda uji yang dibuat menggunakan air pencampur mortar dari air tawar dengan kondisi perendaman. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan akibat perendaman benda uji pada air laut. Sedangkan benda uji yang menghasilkan kekuatan paling rendah adalah benda uji yang dibuat menggunakan air pencampur mortar dari air laut dengan kondisi tanpa perendaman. Hal tersebut menunjukkan adanya penurunan kekuatan akibat penggunaan air laut sebagai campuran mortar. Perbedaan pola tersebut dimungkinkan akibat dari kendala-kendala yang terjadi saat penelitian kuat lekat mortar dilakukan. Terdapat kendala pada pengujian kuat lekat mortar, yaitu tidak terbacanya beban maksimum oleh alat tekan yang digunakan, serta terjadinya kerusakan

pada bata sehingga tidak dapat diperoleh nilai kuat lekat mortarnya. Berdasarkan hal tersebut, pengujian kuat lekat dilakukan menggunakan alat manual yang telah disebutkan pada subbab pengujian benda uji. Selain itu, dilakukan perkuatan pada bata agar saat pembebanan tidak terjadi kerusakan pada bata, yaitu dengan memberikan papan yang ditempelkan dengan lem pada sisi samping bata agar menambah kekakuan bata. Kondisi benda uji dengan variasi perendaman seharusnya diuji sesegera mungkin setelah mencapai waktu perendaman yang sudah ditentukan. Akan tetapi, pada kondisi saat penelitian, terjadi waktu tunggu yang cukup lama pada benda uji dari pengangkatan dari kolam rendam menuju waktu pengujian. Jeda waktu tersebut digunakan untuk menyelesaikan kendala-kendala yang telah disebutkan sebelumnya. Jeda waktu yang cukup lama tersebut memungkinkan banyak terjadi perubahan kondisi pada benda uji. Selain itu, penambahan beban yang dilakukan secara manual memungkinkan terjadinya ketidaksamaan waktu pembebanan tiap benda uji sehingga menghasilkan pola nilai kuat lekat yang berbeda dari pengujian lainnya.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari tiap pengujian, dapat diketahui bahwa penggunaan air laut sebagai campuran mortar dapat meningkatkan kekuatan mortar dan juga dinding bata. Hal tersebut terjadi akibat pengaruh salinitas air laut, terutama kandungan Klorida sebagai senyawa yang mempercepat hidrasi semen serta memberikan struktur pasta lebih padat. Meningkatnya kekuatan mortar sedikit banyak juga akan mempengaruhi kekuatan dinding bata. Akan tetapi, apabila mortar air laut tersebut terendam air laut, terjadi penurunan kekuatan yang signifikan. Hal tersebut diperkirakan akibat bertambahnya Klorida yang berasal dari kondisi perendaman benda uji, sehingga garam friedel yang terbentuk juga makin bertambah. Sifat garam friedel di antaranya, masuk, meresap, mengisi pori-pori mortar, dan makin lama makin mengembang. Akibatnya, pada tubuh mortar terjadi tegangan dalam sehingga kekuatan mortar makin lama semakin menurun sehingga kekuatan dinding bata juga ikut menurun.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, A. dan Datu, I.T. (2018). "Pengaruh Air Laut Pencampur dan Air Perawatan pada Karakteristik Pasta Semen dan Mortar". Journal INTEK, Vol. 5 No. 1:28-33

ASTM C 109. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. America Society for Testing and Materials, Philadelphia

ASTM C 321. Standard Test Method for Bond Strength of Chemical-Resistant Mortars. America Society for Testing and Materials, Philadelphia

ASTM E 447. Standard Test Method for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry Prisms. America Society for Testing and Materials, Philadelphia

ASTM E 518. Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry. America Society for Testing and Materials, Philadelphia

Erniati, Tjaronge, M.W., Djamaluddin, R., dan Sampebulu, V. (2013). "Konsistensi dan Kuat Tekan Mortar yang Menggunakan Air Laut sebagai Mixing Water". Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7), Surakarta, 24-26 Oktober 2013, 33-38

Hanafi, M.F., Muttaqin, dan Idris, Y. (2019). "Perbandingan Kuat Tekan Dinding Tanpa Plesteran dengan Plesteran Trassram Akibat Perendaman Air Tawar, Air Payau dan Air Asin". Journal of The Civil Engineering Student, Vol. 1 No. 2:78-85

Iman. (2014). "Hidrasi Pada Semen Portland". Diakses dari http://civilkitau.blogspot.com/ pada 27 Mei 2023

Irmawaty, R. dan Tjaronge, M.W. (2013). "Effect of Seawater as Mixing Water on the Mechanical Properties of Mortar and Concrete". Tanpa keterangan

Khatibmasjedi, M., Ramanathan, S., Suraneni, P., dan Nanni, A. (2020). "Compressive Strength Development of Seawater-Mixed Concrete Subject to Different Curing Regimes". ACI MATERIALS JOURNAL, No. 117-M81

Sanjaya, I. (2014). "Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Terhadap Variasi Penambahan Natrium Klorida (NaCl)". Tugas Akhir. Universitas Hasanuddin, Makassar

Utami, G.P., Wedhanto, S., dan Karyadi. (2016). "Pengaruh Jenis Air Pencampur dan Perendaman Terhadap Perilaku Kekuatan Tekan Mortar Campuran Semen Pasir". Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, Surakarta, Tanpa Tanggal, 415-424

Vishwakarma, A., Rai, A., dan Patel, A. (2020). "Effect of Salt Water on Compressive Strength, Flexural Strength and Durability of a Concrete". International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 7 No. 1:106-109

Wahyudi, Y. (2012). "Perbandingan Mortar Berpasir Pantai dan Sungai". Media Teknik Sipil, Vol. 10 No. 1:70-78.

Yusuf, Y., Zuki, Z., dan Refnita, G. (2013). "Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen Tipe PCC Serta Analisis Air Laut Yang Digunakan Untuk Perendaman". Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, Lampung, Tanpa Tanggal, 463-468.

TEMA G: STRUKTUR

ASESMEN DAN EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG EKSISTING TERHADAP BEBAN SEISMIK

Ahida N. Rizkana[1*], Raditya Aryanata[2], Lisa Fitriyana[3], Oktaria Lestari[4], dan Antonius[5]

[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: ahidanur.rizka@gmail.com (Corresponding author)
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: radityalfc16@gmail.com
[3]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: lisa.fitriyana@unissula.ac.id
[4]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: oktarialestari25@gmail.com
[5]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: antonius@unissula.ac.id

ABSTRAK

Paper ini menyajikan hasil asesmen terhadap gedung eksisting yang terbuat dari beton bertulang. Asesmen ini dilakukan karena terjadinya penurunan tanah di sekitar lokasi gedung di mana dikhawatirkan akan mempengaruhi keamanan struktur gedung eksisting. Akibat adanya penurunan tanah tersebut juga dicurigai menyebabkan terjadinya retak-retak di bagian bawah gedung yang timbul dari pengamatan secara visual. Selain itu gedung yang ditinjau didesain masih menggunakan standar yang lama, sehingga diperlukan penilaian struktur gedung berdasarkan standar terbaru yang berlaku di Indonesia. Metode utama yang digunakan adalah pengamatan visual, pengujian yang bersifat tidak merusak, pengukuran lendutan. Hasil asesmen menunjukkan bahwa kondisi struktur atas bangunan relatif baik, tidak ada tanda – tanda kerusakan struktural pada kolom, balok dan pelat lantai. Hasil pengujian tanah menunjukkan tanah keras berada di kedalaman mulai dengan 40 meter, dan setelah diverifikasi dengan kedalaman pondasi rencana sudah sesuai dengan kaidah teknis (pondasi berada di kedalaman 50 meter nilai SPT 60). Evaluasi kinerja seismik struktur menggunakan SNI 1726-2019 menunjukkan hasil kinerja bangunan terhadap beban gempa masih cukup baik dengan nilai simpangan antar lantai, dan efek terhadap P Delta masih dibawah batas ijin. Evaluasi terhadap kondisi geometri struktur menunjukkan bahwa tidak terjadi ketidak beraturan struktur, baik dalam arah horizontal maupun arah vertikal. Kondisi pelat lantai dan balok ruangan kantor dengan penulangan eksisting masih aman terhadap beban layan.

Kata kunci: asesmen, beton bertulang, gedung eksisting, kinerja seismik

A. PENDAHULUAN

Di dalam standar perencanaan bangunan gedung tahan gempa yang berlaku di Indonesia saat ini (SNI-1726-2019) terdapat perubahan nilai parameter dibandingkan parameter di dalam standar sebelumnya. Percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek (S_s) dan nilai parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa untuk periode 1 detik (S_1) mengalami perubahan dari standar yang berlaku sebelumnya. Sidi & Ong (2020) mengungkapkan bahwa perubahan tersebut mempengaruhi nilai parameter percepatan respon spektral pada periode pendek maupun nilai percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang masing-masing disebut sebagai S_{DS} dan S_{M1}. Nilai S_{DS} dan S_{D1} (percepatan respons spektral pada periode pendek dan parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik) juga mengalami perubahan. Selain itu perubahan lainnya adalah koefisien situs untuk periode pendek pada periode 0,2 detik (F_a) maupun koefisien situs untuk periode panjang dengan periode 1 detik (F_v). Konsekuensi dari perubahan tersebut di atas akan mempengaruhi nilai C_s, atau yang sering disebut sebagai koefisien seismik

untuk penentuan gaya geser dasar. Bentuk respons spektrum desain yang dianut SNI-1726-2019 mengakomodasi adanya periode panjang pada struktur jika struktur masuk kategori bangunan langsing. Dengan adanya perubahan tersebut analisa struktur terhadap beban gempa menggunakan standar terbaru menjadi sangat penting, karena akan mempengaruhi kinerja seismik dan stabilitas struktur eksisting, terutama yang di desain menggunakan standar yang lama (Enggartiasto & Antonius 2022). SNI-1726-2019 telah digunakan sebagai acuan utama dalam perencanaan struktur tahan gempa di Indonesia, diantaranya yang dilakukan oleh Bi Haqqi dkk. (2022), yang melakukan *redesain* terhadap sistim struktur *flat-slab*. Beberapa batasan maupun ketentuan khusus yang diberlakukan pada struktur *flat-slab* dijadikan pedoman dalam perencanaan ulang struktur.

Asesmen struktur sangat penting untuk dilakukan secara berkala mengingat cepatnya perubahan standar/*code*. Selain struktur eksisting yang relatif sederhana, untuk keberlangsungan dan waktu layan yang panjang, beberapa jenis struktur gedung lainnya juga mutlak dilakukan asesmen dan perencanaan ulang menggunakan standar terbaru karena gedung eksisting tersebut resikonya sangat tinggi. Sebagai contoh gedung pencakar langit yang mempunyai kelangsingan dan momen guling yang sangat tinggi. Gedung yang secara visual mempunyai sifat ketidakberaturan arah horizontal maupun arah vertikal juga termasuk kategori gedung yang memerlukan asesmen.

Kejadian gempa dengan intensitas yang cukup tinggi di berbagai wilayah di Indonesia dan di dunia dalam kurun waktu lima tahun terakhir menimbulkan pemikiran bahwa apakah kinerja seismik gedung-gedung yang dirancang dan dibangun dengan menggunakan standar yang lama seperti SNI 03-1726-2002 maupun SNI 1726-2012 masih mempunyai tingkat keamanan yang memadai. Mosleh dkk. (2016) dan Enggartiasto dkk. (2022) mengungkapkan pentingnya tinjauan seismik struktur gedung eksisting dengan menggunakan standar yang terbaru. Dengan analisa berdasarkan standar terbaru (SNI 1726-2019) akan dapat diprediksi dan diketahui dengan pasti bagian tertentu dari komponen struktur yang tidak aman sehingga perlu adanya *retrofit*.

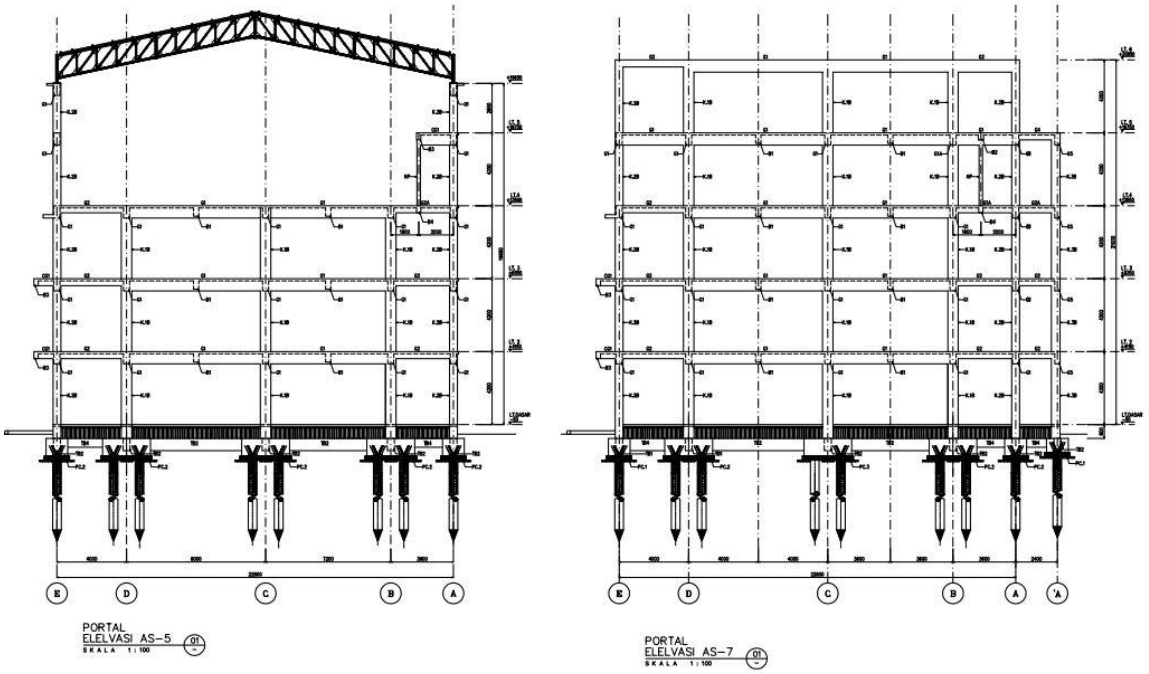
Paper ini menyajikan tentang asesmen struktur eksisting, yang dibangun sekitar tahun 2012 dan perencanaannya masih menggunakan standar yang lama (yang berlaku saat itu). Gedung tersebut terbuat dari material beton bertulang, mempunyai jumlah lantai 4 dan berada di kota Semarang. Lokasi gedung berada di daerah yang dekat dengan pantai utara kota Semarang, dan kondisi tanah eksisting dominan lempung pasir dan mempunyai muka air tanah yang sangat tinggi. Kuat tekan beton struktur sama untuk semua komponen struktur yaitu f_c'=24,9 MPa atau setara dengan K-300. Denah gedung mempunyai ukuran panjang dan lebar 52,8 x 22,8 m, dan tinggi struktur gedung dari lantai 1 (dasar) adalah 19,6 meter. Gedung relatif simetris. Lantai 1 dan 2 difungsikan untuk perkantoran, lantai 3 adalah ruang arsip. Di lantai 4 terdapat ruang serbaguna yang digunakan tidak setiap saat, hanya pada even tertentu saja, namun dapat dipastikan bahwa lantai 4 tersebut mendukung beban yang lebih berat dibandingkan lantai di bawahnya. Penutup atap gedung menggunakan struktur kuda-kuda baja. Gedung tersebut direncanakan tanpa menggunakan dinding geser, sehingga termasuk Sistim Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Semua lantai gedung mempunyai tebal yang sama yaitu 120 mm, dan menggunakan tulangan ganda ϕ8-150 (arah *x* maupun arah *y*). Pondasi yang digunakan adalah tiang pancang diameter 800 mm dan dipasang hingga kedalaman 50 meter.

Berdasarkan informasi dari pemilik gedung, telah terjadi penurunan tanah/halaman parker area gedung, dan dari luar bangunan tampak retak-retak di bagian bawah gedung. Hal tersebut menimbulkan kekhawatiran dan ketidaknyamanan dari penggunan bangunan, apakah peristiwa penurunan tersebut mempengaruhi tingkat keamanan struktur gedung. Selain itu, dengan adanya perubahan standar (terutama standar gempa) menimbulkan pertanyaan sampai seberapa besar kinerja seismik gedung tersebut jika menggunakan standar terbaru. Oleh sebab perlu diketahui tingkat keamanan gedung eksisting jika dihitung menggunakan SNI 1726-2019 karena akan mempengaruhi kapasitas penampang setiap komponen atau struktur secara keseluruhan. Paper ini menyajikan penilaian terhadap kinerja struktur gedung eksisting, di mana pembahasan dibatasi hanya terhadap kinerja seismik struktur. Gambar 1 adalah struktur gedung yang ditinjau dan berada di kota Semarang.

B. METODOLOGI

Data gambar yang digunakan sebagai acuan adalah data gambar perencanaan, karena gambar *as build drawing* tidak ditemukan. Alur asesmen ini dimulai dengan berbagai jenis pengujian, termasuk tanah, pengamatan visual, pengujian tidak merusak dan analisis struktur yang menggunakan data-data hasil uji lapangan. Pengujian ini mengikuti standar yang berlaku di Indonesia. Pengujian tanah berupa bor hingga kedalaman 50 meter dan pengamatan secara visual di mana kedua hasil pekerjaan tersebut digunakan sebagai data primer. Untuk keperluan cek terhadap ada atau tidaknya penurunan struktur, dibuat titik *Bench Marking* (BM) di sebelah utara gedung sebagai acuan. Obyek yang diamati misalnya pengamatan deformasi balok dan plat lantai, keretakan yang terjadi pada kolom, balok, dan pelat lantai. Pemeriksaan terhadap gambar perencanaan yang digunakan adalah sebagai referensi untuk memastikan apakah struktur terpasang sudah sesuai dengan gambar perencanaan. Selain itu, gambar perencanaan ini juga berfungsi untuk mempermudah analisis struktur. Peralatan yang bersifat tidak merusak seperti pengujian hammer test digunakan sebagai pendekatan untuk perkiraan kuat tekan beton. Distribusi tulangan, termasuk cek tebal selimut beton juga diamati menggunakan alat *Rebar Detector*.

Analisis struktur yang dilakukan mengacu kepada standar yang berlaku di Indonesia saat ini, seperti SNI 1726-2019, SNI 2847-2019, SNI 1727-2020, SNI 1729-2020. Metode perhitungan struktur, terutama analisa terhadap beban gempa, mengacu terhadap beberapa referensi, misalnya oleh Imran & Hendrik (2014), dan Budiono (2017). Selain acuan standar yang berlaku di di Indonesia, ketentuan di dalam FEMA 356, FEMA 440 dan ASCE 41-17 juga dijadikan referensi dalam analisis kinerja sismik struktur.



Gambar 1. Struktur potongan gedung yang ditinjau

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan visual

Beberapa komponen struktur yang mengalami retak halus dan pengeroposan pada selimut beton yang di perhatikan melalui pengamatan visual, namun retakan tersebut umumnya terjadi di permukaan dan dominan di daerah acian. Secara umum dapat dikatakan bahwa retak yang terjadi tidak mempunyai pengaruh terhadap kekuatan kondisi eksisting karena retakan yang terjadi kurang dari 25% total semua komponen struktur. selain itu retakan yang terjadi tersebut juga disebabkan oleh kurangnya perawatan struktur secara berkala. Contoh hasil pengamatan visual ditunjukkan pada Gambar 2.



a) Sampel pengamatan visual balok
b) Sampel pengamatan visual kolom
c) Sampel pengamatan visual plat
d) Pengujian distribusi tulangan dengan *rebar detector*

Gambar 2. Pengamatan visual komponen struktur

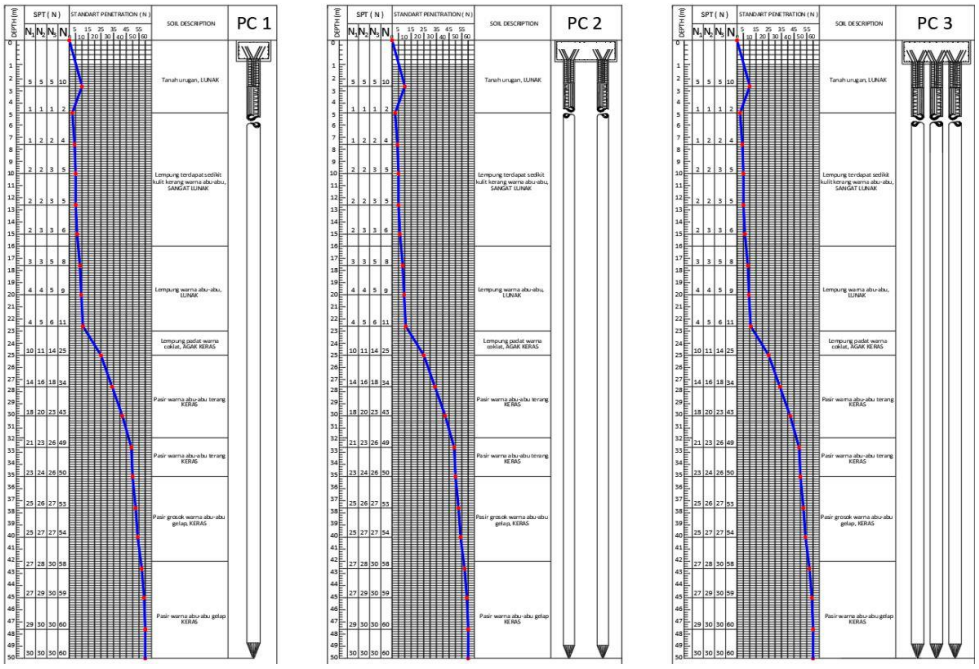
Hasil rebar detector didapatkan sampel distribusi tulangan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pengujian rebar detector yang dilakukan secara acak tersebut, didapat konfigurasi tulangan yang masih sesuai dengan gambar perencanaan.

Tabel 1. Hasil *Rebar Detector*

Lantai	Diameter Kolom	Jenis Tulangan
Lantai 1	K2B = 450 x 600 mm	U = D22-200 S = D10-60
Lantai 2	K1B = 600 x 600 mm	U = D22-70 S = D10-70
Lantai 3	K1B = 600 x 600 mm	U = D22-70 S = D10-60
Lantai 4	K1B = 600 x 600 mm	U = D22-80 S = D10-60

Cek kedalaman pondasi eksisting berdasarkan hasil bor tanah

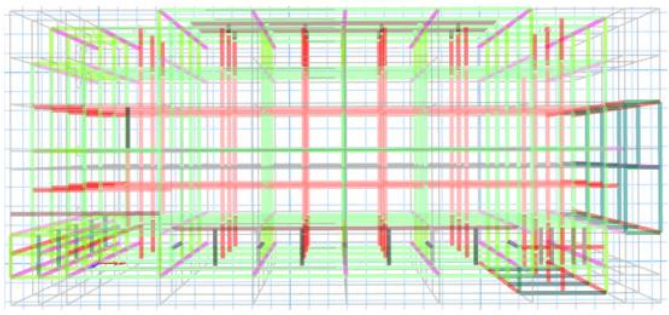
Berdasarkan hasil bor log, jenis tanah secara umum adalah lempung lunak pada kedalaman 1 meter hingga 25 meter dengan nilai spt berkisar 10 – 25 yang umumnya termasuk kategori tanah lunak. Nilai SPT meningkat drastis sampai pada kedalaman 50 meter yang mencapai nilai N SPT sebesar 60. Pada kedalaman 25 – 50 meter tanah didominasi pasir padat dan termasuk kategori tanah keras. Desain pondasi eksisting sesuai Gambar Perencanaan menggunakan tiang pancang jenis *spun pile* diameter 500 mm pada kedalaman 50 m dari muka tanah eksisting. Sehingga berdasarkan kedalaman dan data bor log tanah, desain pondasi bangunan sudah sesuai kaidah teknis. Contoh plot kedalaman pondasi terhadap data tanah terlihat pada Gambar 3.



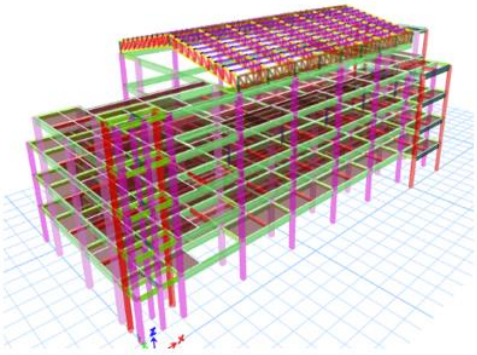
Gambar 3. Plot antara pondasi eksisting dengan data tanah

Analisa struktur eksisting

Detail struktur terdiri dari sistem pelat, balok dan kolom. Berdasarkan SNI 1726-2019, parameter faktor reduksi gempa atau R = 8 (SRPMK), faktor pembesaran defleksi atau C_d = 5,5, dan faktor kuat lebih atau Ω_0 = 3. Gambar 4 dan 5 adalah model struktur yang terdiri dari denah (tampak atas) dan tampak tiga dimensi.



Gambar 4. Denah struktur Lantai 1 Sampai Lantai Atap

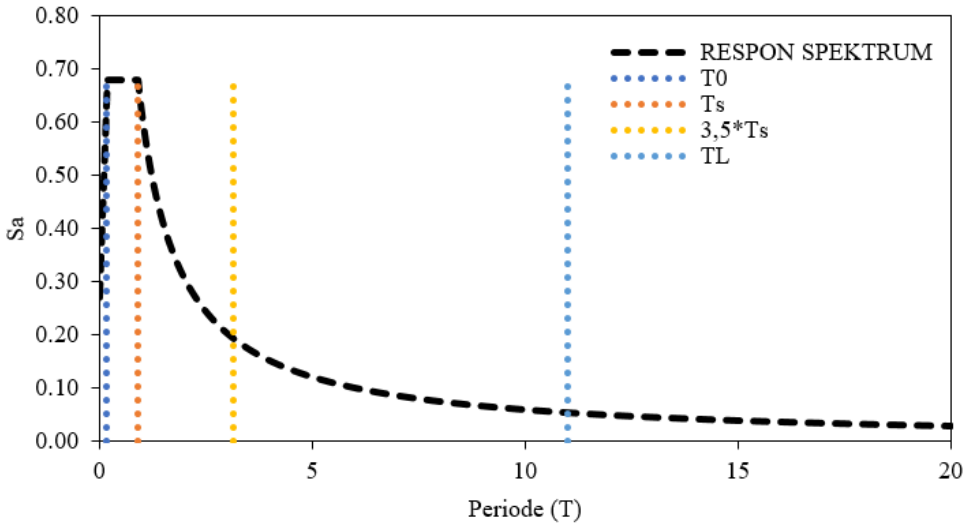


Gambar 5. Model Tiga Dimensi Struktur

Analisa terhadap gempa dan respons spektrum

Koordinat lokasi gedung berada dikota Semarang. Gambar 6 adalah grafik respons spektrum desain yang diperoleh dari situs web http://puskim.go.id/. Berikut merupakan acuan dalam analisis respons spektra :

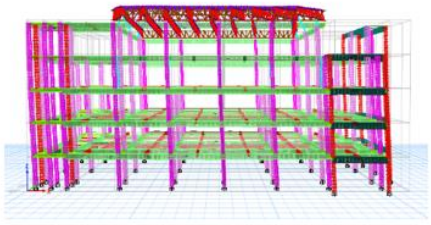
1. Kategori tanah *on site* : E (Tanah lunak, dari hasil pengujian tanah)
2. MCE, S_s = 0,817264 g
3. MCE periode 1 detik, S_{d1} = 0,6138 g
4. F_a = 1,246189
5. F_v =2,563
6. S_{DS} = 0,6793 g
7. S_{D1} = 0,6138 g
8. I_e = 1.0
9. Kategori resiko = tipe II (Gedung Perkantoran)
10. TL = 20 detik



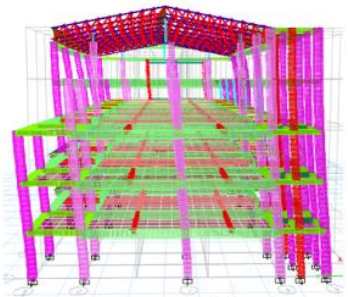
Gambar 6. Respons Spektrum Desain

Analisis ragam getar struktur

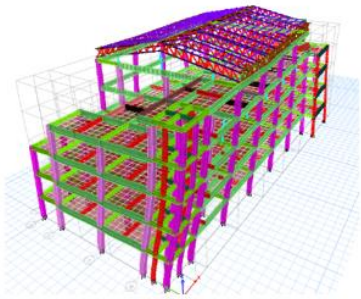
Hasil analisis ragam getar struktur sesuai dengan SNI 1726 – 2019 pada pasal 7.7.3, di mana mode 1 dan 2 masing-masing pada arah x dan y terjadi translasi (Gambar 7 dan 8), dan rotasi baru terjadi pada arah z (Gambar 9).



Gambar 7. Translasi Arah X



Gambar 8. Translasi Arah Y



Gambar 9. Translasi Arah Z

Partisipasi massa struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019, partisipasi massa ragam terkombinasi harus 100% dari massa struktur. Tabel 2 ini menunjukkan hasil partisipasi massa ragam terkombinasi yang telah mencapai 100% dari massa struktur.

Tabel 2. Partisipasi massa

Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	100
Modal	Acceleration	UY	100	100

Gaya lateral ekivalen

SNI 1726-2019 pasal 7.8.3 mengatur tentang distribusi gaya gempa lateral (F) pada tiap lantai. Berdasarkan hal tersebut, untuk arah *x* nilai k perioda desain pada rentang 0,5 < T < 2,5 adalah :

$k = 0,5 \times Tx + 0,75$

$k = 0,5 \times 0,818 + 0,75$

$k = 1,159$

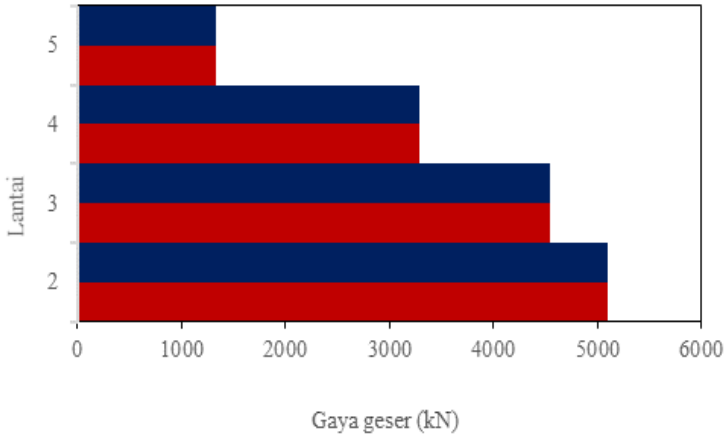
Dengan cara yang sama, untuk arah *y* diperoleh nilai k=1,155. Tabel 3 dan 4 adalah hasil analisis gaya geser tingkat. Selanjutnya gaya geser tersebut diperlihatkan pada Gambar 10.

Tabel 3. Gaya Geser Antar Tingkat Arah X

Lantai	Tinggi h_i (m)	Berat W_i (kN)	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	C_v	Lateral Fi-X (kN)
5	16,8	6532,85		171884,274	0,247231	1281,66474
4	12,6	13446,416		253475,5002	0,364588	1890,0543
3	8,4	13764,291	1,159	162178,5967	0,233271	1209,29381
2	4,2	13410,242		70759,13685	0,101777	527,619477
1	0	12823,15		0	0	0
Jumlah		59976,948		658297,5078		

Tabel 4. Gaya Geser Antar Tingkat Arah Y

Lantai	Tinggi h_i (m)	Berat W_i (kN)	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	C_v	Lateral Fi-X (kN)
5	16,8	6532,85		169955,3761	0,24684	1279,63526
4	12,6	13446,416		250919,5538	0,36443	1889,2342
3	8,4	13764,291	1,155	160803,8421	0,233548	1210,73114
2	4,2	13410,242		70354,11906	0,102181	529,713233
1	0	12823,15		0	0	0
Jumlah		59976,948		652032,8911		



Gambar 10. Grafik Gaya Geser Tiap lantai

Faktor skala

Selanjutnya berdasarkan Pasal 7.9.2.5.1 pada SNI 1726-2019, perhitungan beban gempa dinamik diharuskan 100% dari perhitungan beban gempa statis, atau $V_{DINAMIK} = V_{STATIK}$. Namun jikalau ketentuan tersebut tidak terpenuhi, maka perhitungan beban gempa dinamik harus skalakan atau yang disebut Faktor Skala. Hasil perhitungan Faktor Skala dan Gaya Geser Desain Antar Tingkat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Gaya Geser Antar Tingkat Dinamik Koreksi

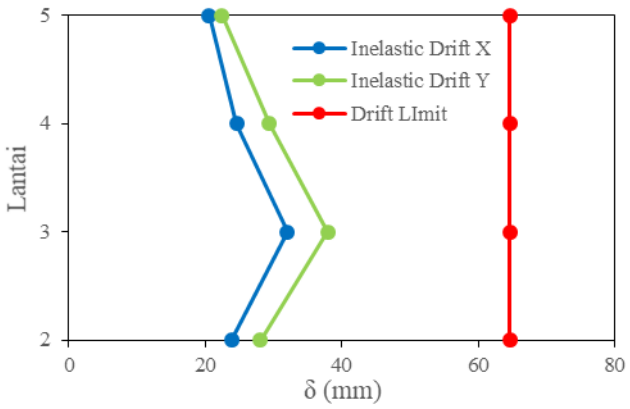
Story	Dinamik		Dinamik ETABS		Skala Gaya		Koreksi	
	V_x	V_y	V_{SPEC-X}	V_{SPEC-Y}	X-Dir	Y-Dir	V_{SPEC-X}	V_{SPEC-Y}
	kN	kN	kN	kN			kN	kN
Lt 5	1329,554	1327,264	1301,437	1302,803	1,022	1,019	1329,554	1327,264
Lt 4	3290,230	3286,818	2636,530	2683,508	1,248	1,225	3290,230	3286,818
Lt 3	4544,709	4542,613	3605,841	3662,000	1,260	1,240	4544,709	4542,613
Lt 2	5092,043	5092,043	4041,174	4092,232	1,260	1,244	5092,043	5092,043
Lt 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Simpangan antar lantai

Simpangan antar tingkat dihitung dengan persamaan berikut:

- Δ izin : $\frac{h \times 0{,}02}{1{,}3}$
- Δ xe : Δ total atap - Δ total lantai 6
- Δx : Δ xe atap × Cd

Simpangan struktur yang terjadi dikatakan aman apabila $\Delta x \leq \Delta$ izin. Hasil analisis simpangan struktur antar tingkat diperlihatkan pada Gambar 11, di mana simpangan yang terjadi masih di bawah simpangan izin.



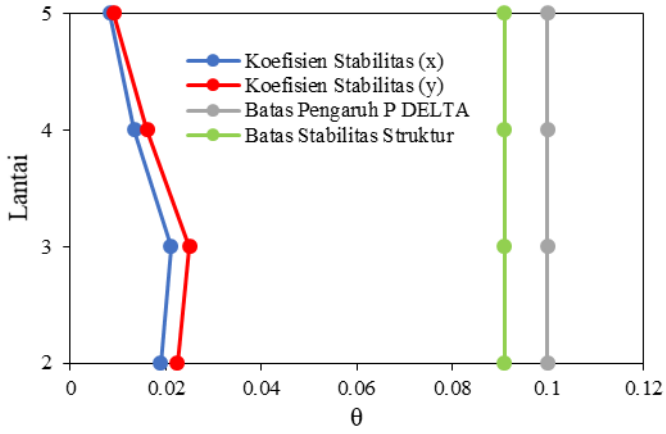
Gambar 11. Grafik Simpangan Antar Lantai

Cek kestabilan struktur akibat gempa

Tingkat kestabilan struktur yang disebabkan oleh gempa di hitung menggunakan persamaan berikut t:

$$\theta = \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)}$$

Struktur dikatakan aman apabila $\theta < \theta_{max.}$ Selanjutnya hasil analisis efek P-delta ditunjukkan pada Gambar 12. Berdasarkan gambar tersebut struktur masih aman terhadap pengaruh efek P-delta.



Gambar 12. Grafik Efek P-Delta

Cek ketidakberaturan struktur

SNI 1726 2019 juga mengatur tentang definisi struktur yang beraturan atau tidak beraturan. Ketidakberaturan struktur terbagi dalam arah horizontal dan arah vertikal. Hal tersebut diatur dalam SNI 1726 2019 pasal 7.3.2.

Tabel 6. Hasil Cek Ketidakberaturan Struktur

No	Tipe Ketidakberaturan	Hasil
Ketidakberaturan Horizontal		
1	1A	Tidak Ada / Teratur
2	1B	Ada
3	2	Tidak Ada / Teratur
4	3	Tidak Ada / Teratur
5	4	Tidak Ada / Teratur
6	5	Tidak Ada / Teratur
Ketidakberaturan Vertikal		
1	1A	Tidak Ada / Teratur
2	1B	Tidak Ada / Teratur
3	2	Ada
4	3	Tidak Ada / Teratur
5	4	Tidak Ada / Teratur
6	5A	Tidak Ada / Teratur

Berdasarkan pada Tabel 6 di atas, tidak didapatkan ketidakberaturan struktur.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil asesmen stuktur dan analisis kinerja seismik gedung yang ditinjau, maka dapat disimpulkan sebagai bahwa kondisi struktur atas bangunan relatif baik, tidak ada tanda – tanda kerusakan struktural pada kolom, balok dan pelat lantai. Hasil pengujian tanah menunjukkan tanah keras berada di kedalaman mulai dengan 40 meter, dan setelah diverifikasi dengan kedalaman pondasi rencana sudah sesuai dengan kaidah teknis (pondasi berada dikedalaman 50 meter nilai SPT 60). Secara keseluruhan tidak terjadi penurunan struktur, namun yang terjadi hanya penurunan tanah di sekeliling bangunan dan tidak mempengaruhi struktur. Evaluasi kinerja seismik struktur menggunakan SNI 1726-2019 menunjukkan bahwa kinerja bangunan terhadap beban gempa masih cukup baik dengan nilai simpangan antar lantai, dan efek terhadap P-Delta masih dibawah batas izin. Struktur yang ditinjau masih masuk kategori berbentuk beraturan baik arah horizontal maupun arah vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

ASCE 7-16 (2017). Minimum Design Loads and Associate Criteria for Buildings and Other Structures, Publishing by ASCE.

ASCE 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Published by ASCE.

Bi Haqqi, I., Rismayanti, I., Antonius dan Ahyar, M. Rusli(2022). "Perancangan dan Kinerja Seismik Struktur Gedung Menggunakan Sistim Flat-Slab", Seminar HAKI 23-24 Agustus 2022 – "Ketahanan Gempa pada Bangunan Gedung dan Infrastruktur", Jakarta.

Budiono, B. (2017). Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa, Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta. ITB Press.

Enggartiasto, L. dan Antonius (2022). "Asesmen Kekuatan dan Tingkat Kelayakan Struktur Gedung Lama Menggunakan Standar Terbaru", Seminar HAKI 23-24 Agustus 2022 – Ketahanan Gempa pada Bangunan Gedung dan Infrastruktur, Jakarta.

Enggartiasto, L., Cholida, Antonius, N.F.F. and Dewi, K. (2022), "Assessment of the Existing High-Rise Building Based On the Currently Indonesian Codes", International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, 5th ICEEDM 28-29 Sept. 2022 Yogyakarta, Indonesia.

FEMA 356 (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building.

FEMA 440 (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures.

Imran, I. dan Hendrik, F. (2014). Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang, ITB Press.

Mosleh, A., Rodrigues, H., Varum, H., and Costa, A. (2016). "Seismic Behavior of RC Building Structures Designed According to Current Codes", Structures, 7,1-13.

Sidi, Indra Djati & Ong, E.H.K. (2020). "Kinerja Bangunan Kaku yang Direncanakan dengan Metoda Statik Ekivalen SNI 1726 – 2019", Webinar HAKI Low Rise Building, 25 November.

SNI 2847-2019 (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.

SNI 1726-2019 (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

SNI 1727-2020 (2020). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH PADA BETON DALAM UPAYA PEMANFAATAN LIMBAH BATU BARA

Aji Wahyu Bimantoro[1], Muhammad Afrizaldi[2], Anik Kustirini[3], dan Bambang Purnijanto[4]

[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno Hatta Semarang 59160
Email: ajiawb441@gmail.com (Corresponding author)
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno Hatta Semarang 59160
Email: afrizaldi.setiawan@gmail.com
[3]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno Hatta Semarang 59160
Email: anik_krini@usm.ac.id
[4]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno Hatta Semarang 59160
Email: aabams@usm.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *fly ash* serta *bottom ash* menjadi material pembuat beton membagikan pengaruh positif apabila diamati melalui lingkungan. *Fly ash* berupa selisih pembakaran batu bara yang halus, melainkan *bottom ash* berupa selisih yang kasar. Penanganan *fly ash* serta *bottom ash* sekarang ini tak banyak sebab timbunan pada lahan kosong. Pada pengkajian ini, hendak mengamati kegunaan *fly ash* serta *bottom ash* menjadi material pengganti semen terhadap beton. Identifikasi material *fly ash* serta *bottom ash* konsisten terhadap dampak pemakaian material ini pada ketangguhan lentur serta tekan terutama terhadap awal usia beton. Target pengkajian ini guna mengamati dampak pemakaian *fly ash* serta *bottom ash* menjadi bahan pengganti semen pada kuat lentur serta tekan beton. Persentase *fly ash bottom ash* terdapat 2 variasi, yaitu 10% dan 15%. Beton hendak diujikan ketika usia 28 hari sesudah di-*curing,* pengkajian ini memakai benda uji berwujud silinder pada skala 15 cm serta tinggi 30 cm juga balok berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Beton dengan campuran 0%, 10%, dan 15% FABA, dan diuji pada usia beton 28 hari. Dari hasil kuat tekan umur 28 hari pada beton yang tertinggi diperoleh sebesar 38,91 MPa terdapat pada variasi 0% atau beton normal tanpa campuran dan untuk hasil kuat tekan beton yang terkecil ada pada variasi campuran FABA persentase 15% yaitu sebesar 35,09 MPa. Untuk hasil kuat lentur beton usia 28 hari terhadap variasi beton tanpa campuran atau persentase 0% adalah nilai kuat lentur yang tertinggi sebesar 53,33 kg/cm^2 dan untuk variasi FABA persentase 15% mendapatkan nilai kuat lentur yang terendah sebesar 44,67 kg/cm^2.
Kata kunci: *bottom ash,* FABA, *fly ash,* kuat lentur, kuat tekan.

A. PENDAHULUAN

Beton menjadi suatu tipe bahan konstruksi bangunan sipil sering dipakai warga khususnya yang bekerja sebagai kontraktor (penyelenggara). Industri konstruksi dan pembangunan yang terus-menerus dilakukan sudah pastinya beton menjadi salah satu peran penting dalam sebuah pembangunan. Tak jarang pembuatan beton dikaitkan dengan merusak lingkup diawali melalui tahap penggalian batu kapur menjadi perekatnya, perolehan emisinya pembakaran serta lainnya. Melalui (Hardjito, 2010) "maka segera mengembangkan suatu beton yang terbuat dari material ramah lingkungan sehingga nantinya tidak perlu lagi pembangunan tidak bisa terselesaikan dengan alasan demi menjaga keberlanjutan lingkungan".

Melalui asumsi (Sri Prabandiyani R.W., 2008) "*Fly ash* dan *bottom ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik yang mana ada tiga tipe pembakaran batu bara pada industri listrik yaitu *dry bottom boilers*, *wet bottom boilers* dan *cyclon furnace*.

Produksi abu terbang batu bara (*fly ash*) di dunia pada tahun 2000 diperkirakan berjumlah 349 miliar ton". Lalu melalui (Marinda Putri, 2012) "Penyumbang produksi abu terbang batu bara terbesar adalah pada sektor pembangkit listrik yang mana jenis ini di Indonesia terus meningkat, pada tahun 2000 jumlahnya mencapai 1,66 miliar ton dan diperkirakan mencapai 2 miliar ton pada tahun 2006 tersebut". Melalui data (Suara Merdeka, 2012) adanya 41 "terbukti masih adanya perusahaan membuang abu batu bara di jalan lingkar selatan kota Salatiga, limbah batu bara makan korban di Kayen Pati kejadian seperti ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah padat dari industri tidak dikelola dengan baik". Melainkan pengkajian pada sektor Rekayasa Bahan sering dilaksanakan pengkajian menjadi usaha guna menangani konflik serta memfungsikan limbah industri tersebut guna bisa diproduksi sebagai industri lainnya mencakup bahan bangunan.

Pengkajian ini bertarget guna mengamati campuran *fly ash* serta *bottom ash* (FABA) dengan jumlah persentase (0%, 10%, 15%), rencana kuat tekan beton f'c 35 MPa dan f's 45 MPa, dan umur benda uji atau umur beton selama 28 hari.

Ruang Lingkup:

1. Pengujian yang digunakan adalah uji kuat tekan dan uji kuat lentur beton.
2. Perbandingan persentase pada material 0%, 10%, 15%
3. Bahan tambah yang dipakai berupa *fly ash* serta *bottom ash*.
4. Parameter yang dipakai berupa komposisi job mix design.
5. *Mix design* yang dipakai berupa f'c 35 MPa dan f's 45 MPa.

B. METODE

Bahan penyusun

Berikut merupakan bahan penyusun yang digunakan oleh peneliti:

1. Semen *Portland*

Pada pengkajian ini memakai bahan penyusun semen *portland* dengan tipe I OPC Semen Gresik. Semen *portland* berupa bahan perekat yang utama serta sering dipergunakan guna pembangunan fisik. Fungsi semen guna membuat rekat agregat supaya dialami sebuah massa yang padat.

2. Agregat Halus

Agregat halus berupa pada besaran butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus biasa dikatakan pasir. Kriteria kualitas agregat halus melalui SK SNI 7656-2012 "tentang tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa yang mana agregat halus tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5%, apabila lebih dari 5% pasir harus dicuci serta tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit serta mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 hingga 3,8 tersebut".

Ayakan perlu mencakup kriteria berupa "Sisa di atas ayakan 4,8 mm, maksimal 2% dari berat, Sisa di atas ayakan 1,2 mm, maksimal 10% dari berat, Sisa di atas ayakan 0,30 mm, maksimal 15% dari berat serta Tidak boleh mengandung garam".

3. Agregat Kasar (Batu Belah)

Hal ini berupa bahan pokok pembuat beton melainkan semen. Kandungan agregat pada kombinasinya kisaran 70-75 % melalui volume jumlah beton, maka mutu agregat berdampak pada mutu beton. Melalui Departemen Pekerjaan Umum (1982) "persyaratan batu belah atau batu pecah dalam campuran beton mencakup syarat fisik (besar butir agregat maksimum, tidak boleh lebih besar dari 1/5 jarak terkecil bidang samping dari cetakan, ⅓ tebal plat atau ¾ dari jarak minimum tulangan, Kekerasan yang ditentukan dengan menggunakan bejana Rudellof tidak boleh mengandung bagian hancur yang tembus ayakan 2 mm lebih dari 16% berat, bagian yang hancur bila diuji dengan menggunakan mesin Los Angeles, tidak boleh lebih dari 27% berat, kadar lumpur maksimal 1%, bagian butir yang panjang dan pipih, maksimum 20% berat, terutama untuk beton mutu tinggi) lalu syarat kimia (kekekalan terhadap Na_2SO_4 bagian yang hancur, maksimum 12% berat, dan kekekalan terhadap $MgSO_4$ bagian yang hancur, maksimum 18% kemampuan bereaksi terhadap alkali harus negatif sehingga tidak berbahaya) tersebut".

4. Air

Air berupa bahan dalam campuran pembentukan beton yang sangat mudah didapat dan murah harganya. Air dalam pembuatan beton dibutuhkan untuk membantu reaksi kimia pada campuran beton lainnya.

5. *Fly ash* dan *bottom ash*

Hal ini berupa partikel halus selisih perolehan dibakarnya batu bara, abu yang terbang serta menaik dikatakan *fly ash* melainkan yang tak terbang disebut *bottom ash*. Perolehan pokok FABA bersumber melalui tahapan dibakarnya batu bara terhadap pembangkit listrik tenaga uap serta tahap dibakarnya batu bara di boiler serta tungku terhadap industri.

FABA berupa limbah sebab pembuangan yang diperoleh melalui sebuah tahap produksi di industri. Melalui Peraturan Pemerintah nomor 101 tahun 2014 mengenai "Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun, FABA dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun kategori 2, padahal pada negara lain seperti Amerika Serikat, Australia, Canada, Uni Eropa, Rusia dan Jepang FABA hanya dikategorikan sebagai limbah tetapi bukan limbah B3 yang mana selain berdampak positif pada lingkungan, penggunaan FABA pada industri semen juga memberikan keuntungan secara finansial karena FABA yang dihasilkan sendiri bisa didapatkan tanpa biaya dan harga FABA dari sumber luar masih cukup murah sehingga setelah diproses menjadi semen *portland* komposit akan memberikan nilai tambah yang cukup tinggi dan meningkatkan daya saing industri semen sebagai tantangan bagi industri semen dalam pemanfaatan FABA secara teknis adalah kualitas dan volume sedangkan tantangan non teknis adalah lokasi dan perizinan". Mutu FABA yang diperoleh luar pabrik serta individual, maka menyusahkan guna tahap pemfungsian sebab perlu melaksanakan penyelarasan guna tahap produksi serta pada daya FABA yang diperlukan tak sering selaras sebab menyelaraskan pada keinginan pasar.

Persiapan dan pelaksanaan pembuatan benda uji

1. Persiapan menyediakan bahan-bahan pembuatan campuran beton dan peralatannya.
2. Perencanaan komposisi campuran beton untuk di uji kuat tekan dan kuat lentur beton dengan *mix design* pada persentase rencana 0%, 10%, dan 15%.
3. *Slump test* yang bertujuan untuk mengetahui kekentalan adukan dari benda uji.

4. Benda uji dapat dibuat ketika seluruh campuran material melalui proses uji karakteristik material.
5. *Curing* atau perawatan beton selama beton mencapai umurnya.
6. Tahap pengujian benda uji beton dengan uji kuat tekan dan uji kuat lentur beton.

E. HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan rencana job mix design

Pada analisis perhitungan komposisi campuran beton untuk mutu rencana f'c 35 ini menggunakan Metode DoE (*Departement of Enviroment*) dengan komposisi persentase penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* yaitu 10%, 15% dari berat semen dalam 1 m³ dengan panjang serat ±5 cm, berikut penjelasannya:

1. Pasir + Semen + Batu pecah (0% *fly ash dan bottom ash* dari berat semen dalam 1 m³).
2. Pasir + Semen + Batu pecah + *Fly ash dan bottom ash* (10% *fly ash dan bottom ash* dari berat semen dalam 1 m³).
3. Pasir + Semen + Batu pecah + *Fly ash dan bottom ash* (15% *fly ash dan bottom ash* dari berat semen dalam 1 m³).

Uji spesifikasi

Uji spesifikasi material dilaksanakan guna mengamati jika material itu tergolong bahan yang selaras standardisasi.

Tabel 1. Pengujian agregat halus

No	Pengujian	Spesifikasi		Hasil	Satuan	Standar Pengujian
		Min	Maks			
1	Analisis Saringan Modulus Kehalusan	1,5	3,8	2,73	%	SNI 03 1968 – 1990
2	Berat sampel SSD			500		
3	Berat sampel permukaan jenuh			495.5		
	Berat piknometer + air + sampel			980		
	Berat sampel permukaan jenuh			2697		
4	Berat Jenis					
	Bulk	2,5	-	2602	Gram	SNI 03 1968 – 1990
	SSD	2,5	-	2678	Gram	
	Apparent	2,5	-	2709	Gram	
	Penyerapan Air	-	3	1,11%	%	SNI 03 1968 – 1990

Tabel 2. Pengujian agregat kasar

No	Pengujian	Spesifikasi		Hasil	Satuan	Standar Pengujian
		Min	Maks			
1	Analisis Saringan Modulus Kehalusan	5	8	7.88	%	SNI 03 1968 – 1990
2	Berat sampel uji kering oven			5000	gram	
	Berat sampel permukaan jenuh			5020	gram	
	Berat sampel dalam air (BA)			3220	gram	
3	Berat Jenis					SNI 03 1968 – 1990
	Bulk	2,5	-	2723	gram	SNI 03 1968 – 1990
	SSD	2,5	-	2704	gram	SNI 03 1968 – 1990
	Apparent	2,5	-	2717	gram	SNI 03 1968 – 1990
	Penyerapan Air	-	3	1,19%	%	SNI 03 1968 – 1990
4	Kadar Air			1.55	%	SNI 03 1968 – 1990

Hasil pengujian benda uji

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan benda uji berdasarkan perhitungan perbandingan bahan yang telah dilakukan pada tahap pembuatan *job mix design*. Langkah pertama yaitu adalah mempersiapkan pengadaan material seperti semen, agregat halus, agregat kasar, *fly ash* dan *bottom ash*, dan air harus ditimbang sesuai dengan komposisi masing-masing variasi mutu yang direncanakan. Masing-masing campuran ditentukan mutu rencana nilai kuat tekan yang dicapai yaitu sebesar f'c 35 MPa.

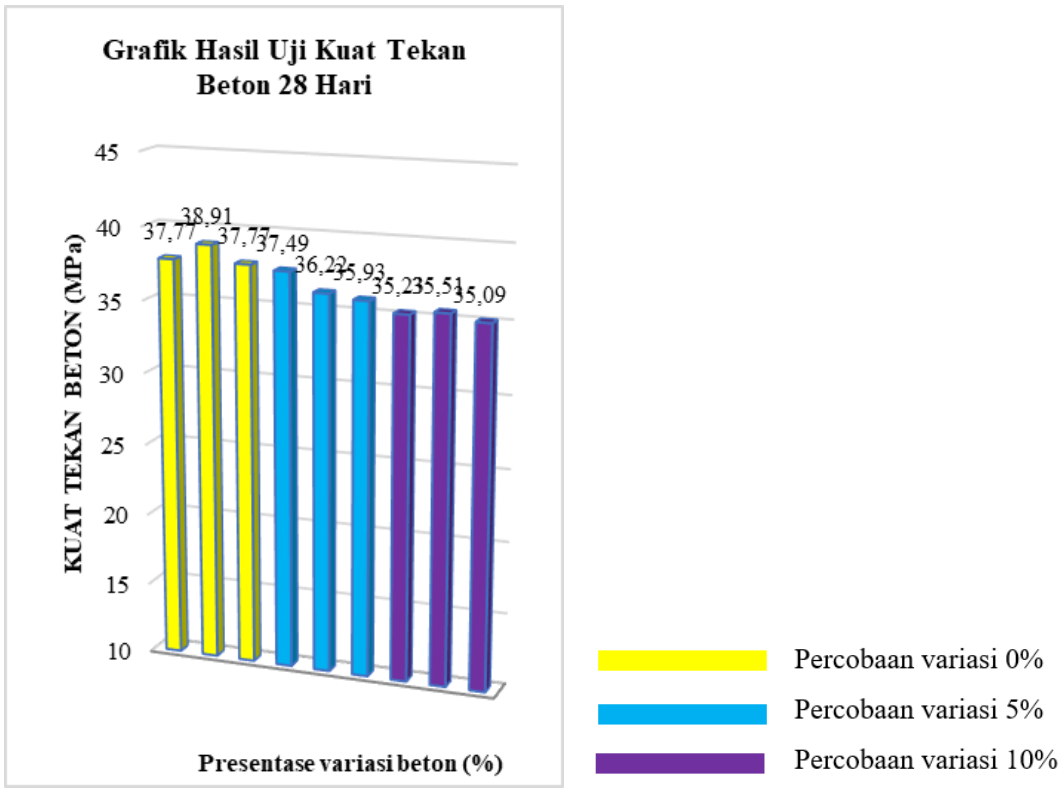
Tabel 3. Jumlah benda uji kuat tekan dan lentur beton

Variasi Mutu Rencana	Penambahan *fly ash* dan *bottom ash*		
Jumlah	Kuat Lentur	Dalam Air	SSD
Jumlah	Jumlah	703,5	1219,7
		704,9	1217,4
f'c 35	0%	703,3	1214,1

Pembuatan campuran beton untuk masing-masing variasi sesuai dengan material yang sudah diperhitungkan. Setelah diaduk secara merata campuran tersebut dituangkan ke dalam bak penampungan adukan dan ditampung ke dalam ember untuk dipindah ke tempat cetakan. Berikut langkah-langkah pembuatan benda uji:

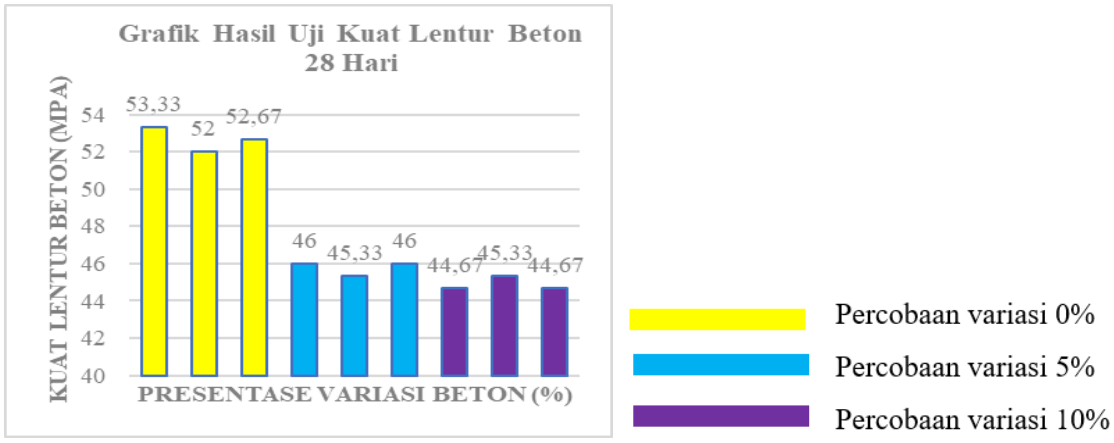
1. Persiapkan semua bahan penyusun beton yang sudah ditimbang, selanjutnya dimasukkan secara bertahap ke dalam bak penampung adukan (*concrete mixer*). Biarkan *concrete mixer* berputar sampai adukan tercampur rata.
2. Persiapkan ember dan tuang cetakan yang sudah ke dalam ember untuk dituang ke dalam cetakan.
3. Langkah berikutnya yaitu memeriksa kelecakan adukan dengan menggunakan kerucut Abram's.
4. Kemudian tuangkan adukan ke cetakan dilakukan menggunakan sekop. Tuangkan adukan pada cetakan sampai penuh agar saat pemadatan semua bagian dalam cetakan penuh terisi adukan.

Pada pembuatan benda uji yang telah dilaksanakan menghasilkan data uji kuat tekan dan uji kuat lentur yang terjadi pada gambar di bawah ini:



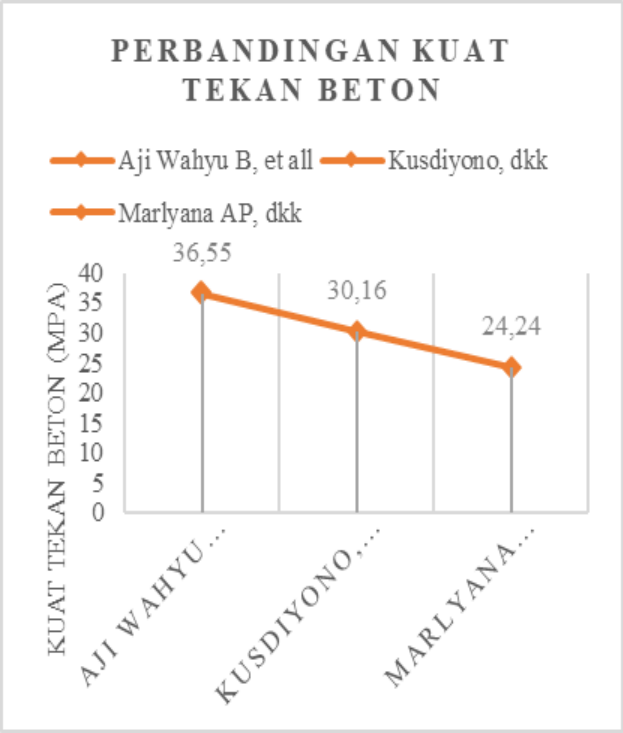
Gambar 1. Hasil uji kuat tekan beton 28 hari

Berdasarkan gambar di atas, diketahui bahwa masing-masing 3 (tiga) sampel variasi beton dari 0%, 10%, dan 15% semakin banyak persentase penambahan *fly ash* & *bottom ash* pada campuran beton maka semakin turun nilai kuat tekan beton. Beton normal menunjukkan gaya tekan 267 kN, 275 kN, dan 267 kN. Sehingga diperoleh rata-rata gaya tekan beton pada variasi beton 0% *fly ash* dan *bottom ash* sebesar 267 kN. Kemudian diketahui pada persentase beton dengan penambahan *fly ash* & *bottom ash* sebanyak 10% menunjukkan hasil gaya tekan beton sebesar 265 kN, 256 kN, dan 254 kN. Hasil ini menunjukkan penurunan dari nilai kuat tekan beton dari variasi 0%. Sehingga diketahui rata-rata gaya tekan beton dengan persentase 10% sebesar 258 kN. Selanjutnya pada percobaan pada penambahan *fly ash* & *bottom ash* dengan persentase 15% menunjukkan nilai 249 kN, 251 kN, 248 kN. Hasil ini menurun dibandingkan pada persentase 10%. Sehingga diketahui nilai rata-rata gaya tekan beton variasi 15% sebesar 249 kN.



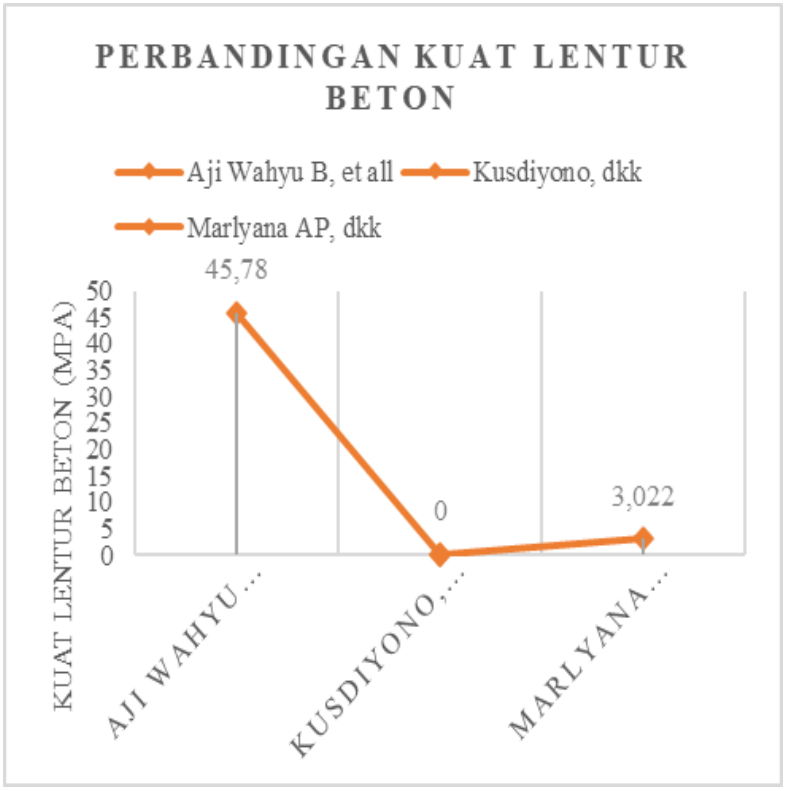
Gambar 2. Hasil uji kuat lentur beton 28 hari

Berdasarkan hasil dari penelitian, data yang ditunjukkan dari Gambar 2. hasil lentur beton f's 45 MPa umur beton 28 hari,didapatkan nilai kuat lentur pada percobaan pada beton normal atau variasi 0% adalah 46,67 kg/cm^2, 47,33 kg/cm^2, 46,67 kg/cm^2 dengan perolehan nilai rata-rata adalah 46,89 kg/cm^2, kemudian pada variasi dengan penambahan limbah beton sebanyak 10% adalah sebagai berikut 46,00 kg/cm^2, 45,33 kg/cm^2, 46,00 kg/cm^2 dengan nilai rata-rata yaitu 45,78 kg/cm^2. Selanjutnya dari percobaan beton dengan variasi penambahan *fly ash* dan *bottom ash* sebanyak 15% diperoleh nilai kuat lentur 44,367 kg/cm^2, 45,33 kg/cm^2, 44,67 kg/cm^2 dengan nilai rata-rata 44,89 kg/cm^2. Dari hasil tersebut diketahui nilai kuat lentur beton tertinggi diperoleh dari campuran beton normal 47,33 kg/cm^2 dan untuk beton dengan nominasi campuran *fly ash* dan *bottom ash* diperoleh nilai kuat lentur rata-rata pada variasi campuran 10% pada percobaan ketiga, yaitu 46 kg/cm^2.



Gambar 3. Hasil perbandingan uji kuat tekan beton 28 hari

Berdasarkan gambar di atas, hasil perbandingan kuat tekan pada penelitian Aji Wahyu Bimantoro dan Muhammad Afrizaldi S. menunjukkan nilai 36,55 MPa hasil rata-rata dari ketiga variasi campuran *fly ash* dan *bottom ash* dengan umur beton 3 hari. Kemudian diikuti dengan hasil kuat tekan pada penelitian Kusdiyono, Supriyadi, dan Herry Ludiro Wahyono yang menunjukkan angka 30,16 MPa yang berasal dari campuran penambahan *fly ash* dan *bottom ash* sebanyak 10% dari hasil campuran 1Pc : 2 Ps : 3 Ba. Kemudian hasil nilai perbandingan terendah ditunjukkan penelitian Marlyana Antika Pagau, Jonie Tanijaya, dan Desi Sandy dengan nilai 24,24 MPa yang berasal dari campuran 1 Pc : 2 Ba.



Gambar 4. Hasil perbandingan uji kuat lentur beton 28 hari

Data dari hasil pengujian kuat lentur. Hasil dari pada penelitian ini atau Aji Wahyu Bimantoro, dan Muhammad Afrizaldi S. menunjukkan nilai kuat lentur nilai hasil rata-rata sebesar 45,78 MPa yang berasal dari campuran beton yang sama dan umur beton 3 hari. Pada penelitian Kusdiyono, Supriyadi, dan Herry Ludiro Wahyono tidak ditemukan penelitian kuat lentur beton. Namun, pada penelitian Marlyana Antika Pagau, Jonie Tanijaya, dan Desi Sandy memperoleh hasil kuat lentur beton 3,022 MPa. Hasil antara penelitian Aji Wahyu Bimantoro dan Muhammad Afrizaldi S. dengan Marlyana Antika Pagau, Jonie Tanijaya, dan Desi Sandy terpaut jauh karena campuran yang digunakan pada penelitian Marlyana Antika Pagau, Jonie Tanijaya dan Desi Sandy lebih banyak sehingga membuat penurunan nilai pada beton. Hal ini membuktikan campuran beton pada penelitian Aji Wahyu Bimantoro dan Muhammad Afrizaldi S. menunjukkan angka kuat lentur lebih unggul dari pada penelitian Marlyana Antika Pagau, Jonie Tanijaya, dan Desi Sandy.

F. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian beton yang berumur 28 hari yang telah dilakukan dan hasil pembahasan yang sudah diuraikan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada campuran beton normal atau tanpa *ash* dan *bottom ash* memperoleh nilai tertinggi baik dari kuat tekan dan kuat lentur beton. Penambahan pada variasi 0% memperoleh nilai kuat tekan tertinggi 38,91 MPa, pada variasi 10% diperoleh dengan nilai kuat tekan tertinggi dengan kuat beton 37,49 MPa kemudian pada variasi 15% diperoleh 35,51 MPa.
2. Diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata dari masing-masing percobaan penambahan variasi beton, mulai dari beton normal, 10%, dan 15% adalah 37,84 MPa, 36,54 MPa, dan 35,27 MPa.

3. Hasil nilai kuat lentur tertinggi pada beton normal mencapai angka 47,33 kg/cm^2, kemudian untuk percobaan pada variasi penambahan *ash* dan *bottom ash* 10% mencapai angka tertinggi 46,00 kg/cm^2, dan untuk variasi 15% mencapai di angka 45,33 kg/cm^2.
4. Diperoleh nilai rata-rata pada hasil percobaan variasi beton 0%, 10%, dan 15% untuk nilai kuat lentur yaitu, 46,89 kg/cm^2, 45,77 kg/cm^2, dan 44,89 kg/cm^2.
5. Dari nilai tertinggi hasil uji kuat tekan beton, selisih nilai yang didapat dari beton normal atau 0% dan 10% adalah 1,24 MPa dan selisih antara campuran beton 10% dengan 15% mengalami penurunan yaitu 0,78 MPa.
6. Pada penurunan nilai kuat lentur beton dari hasil tertinggi dari ketiga percobaan dari beton normal ke beton dengan campuran *fly ash dan bottom ash* sebesar 10% mengalami penurunan sebesar 3,33 kg/cm^2. Kemudian dari hasil nilai kuat lentur beton campuran 10% mengalami penurunan pada campuran *fly ash dan bottom ash* persentase 15% sebesar 2,67 kg/cm^2.
7. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa penambahan *fly ash dan bottom ash* pada campuran beton mempunyai pengaruh dalam penentuan nilai kuat tekan dan lentur beton. Hal ini diketahui semakin banyak persentase penambahan *fly ash dan bottom ash* maka nilai kuat dan lentur semakin menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Adanya penelitian ini dapat terwujud, peneliti mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dosen pembimbing jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang, Anik Kustirini, S.T., M.Si. dan Ir. Bambang Purnijanto, M.T.
2. Laboratorium PT. Beton Budi Mulya yang telah memberikan izin dan memfasilitasi untuk keperluan pelaksanaan pengujian beton.

DAFTAR PUSTAKA

A. Ghosh, A. Ghosh, dan S. Neogi, "Reuse of fly ash and bottom ash in mortars with improved thermal conductivity performance for buildings," Heliyon, vol. 4, no. 11, hlm. e00934, 2018.

C. Argiz, M. Á. Sanjuán, dan E. Menéndez, "Coal Bottom ash for Portland Cement Production," Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2017, hlm. 1–7, 2017, doi: 10.1155/2017/6068286.

C. M. A. Fontes, R. B. Silva, dan P. R. L. Lima, "Characterization and Effect of Using Bottom and Fly ash es from Co-combustion of Cocoa Waste as Mineral Addition in Concrete," Waste Biomass Valorization, vol. 10, no. 1, hlm. 223–233, Jan 2019, doi: 10.1007/s12649-017-0031-x.

D. A. Syaputra, F. R. Nugroho, H. A. Lie, dan P. Purwanto, "Studi experimental pengaruh perbedaan molaritas aktivator pada perilaku beton geopolimer berbahan dasar fly ash," Jurnal Karya Teknik Sipil, vol. 7, no. 1, hlm. 89–98, 2018. [1] D. A. Syaputra, F. R. Nugroho, H. A. Lie, dan P. Purwanto, "Studi experimental pengaruh perbedaan molaritas aktivator pada perilaku beton geopolimer berbahan dasar fly ash," Jurnal Karya Teknik Sipil, vol. 7, no. 1, hlm. 89–98, 2018.

D. S. Budiningrum, A. Kustirini, B. Purnijanto, D. Mahasukma, dan T. Y. Utama, "Studi Experimental Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly ash Pltu Tanjungjati B Jepara," Bangun Rekaprima: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial dan Humaniora, vol. 7, no. 2, Oktober, hlm. 55–61, 2021.

D. Yongko dan R. Karolina, "Pengaruh Substitusi Fly ash Terhadap Semen Dan Bottom ash Terhadap Agregrat Halus Dalam Sifat Mekanik Beton SCC (Self Compacting Concrete)," Jurnal Teknik Sipil USU, vol. 6, no. 1, 2017.

H. L. Wahyono, "Pengaruh Penambahan Fly ash dan bottom ash Pada Pembuatan Beton Mutu F'c 20 Mpa Dalam Upaya Pemanfaatan Limbah Industri," Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil, vol. 22, no. 1, hlm. 40–49, 2017.

J.-H. Park, Q.-T. Bui, S.-H. Jung, dan I.-H. Yang, "Selected strength properties of coal bottom ash (CBA) concrete containing fly ash under different curing and drying conditions," Materials, vol. 14, no. 18, hlm. 5381, 2021.

M. A. Sultan, I. Imran, dan M. Faujan, "PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PEMBAKARAN BATU BARA (FLY ASH) Ex PLTU RUM PADA CAMPURAN BETON," TERAS JURNAL, vol. 9, no. 2, hlm. 83, Sep 2019, doi: 10.29103/tj.v9i2.186.

M. E. Kalaw, A. Culaba, H. Hinode, W. Kurniawan, S. Gallardo, dan M. A. Promentilla, "Optimizing and characterizing geopolymers from ternary blend of Philippine coal fly ash, coal bottom ash and rice hull ash," Materials, vol. 9, no. 7, hlm. 580, 2016.

M. Karalar, "Experimental and Numerical Investigation on Flexural and Crack Failure of Reinforced Concrete Beams with Bottom ash and Fly ash," Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, vol. 44, no. S1, hlm. 331–354, Okt 2020, doi: 10.1007/s40996-020-00465-y.

M. Setiawati, "Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton," Prosiding Semnastek, 2018.

N. I. R. R. Hannan, S. Shahidan, N. Ali, N. M. Bunnori, S. S. M. Zuki, dan M. H. W. Ibrahim, "Acoustic and non-acoustic performance of coal bottom ash concrete as sound absorber for wall concrete," Case Studies in Construction Materials, vol. 13, hlm. e00399, 2020.

R. K. Majhi dan A. N. Nayak, "Properties of Concrete Incorporating Coal Fly ash and Coal Bottom ash," Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, vol. 100, no. 3, hlm. 459–469, Sep 2019, doi: 10.1007/s40030-019-00374-y.

R. M. Mohamad, A. Rachman, dan R. Mointi, "Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen," RADIAL: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi, vol. 8, no. 1, hlm. 25–33, 2020.

R. T. Jurnal, "ANALISIS PENGARUH ADMIXTURE TERHADAP ABU TERBANG (FLY ASH) DAN BOTTOM ASH: TRI YUHANAH, NOVIA ADE MANDASARI," dalam Forum Mekanika, 2017, vol. 6, no. 2, hlm. 114–123.

T. S. Indriyati, A. Malik, dan Y. Alwinda, "Kajian pengaruh pemanfaatan limbah FABA (Fly ash dan Bottom ash) pada konstruksi lapisan base perkerasan jalan," Jurnal Teknik, vol. 13, no. 2, hlm. 112–119, 2019.

Y. Lu dkk., "Physical and Chemical Properties, Pretreatment, and Recycling of Municipal Solid Waste Incineration Fly ash and Bottom ash for Highway Engineering: A Literature Review," Advances in Civil Engineering, vol. 2020, hlm. 1–17, Des 2020, doi: 10.1155/2020/8886134.

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN SERAT KAWAT BENDRAT TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON MEMADAT SENDIRI

Irfana Nur Fasmaa'uun[1*] dan Mochamad Solikin[2]

[1*]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl.Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57169, Jawa Tengah, Indonesia
Email: Irfananurf@gmail.ac.id (Corresponding author)
[2]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl.Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57169, Jawa Tengah, Indonesia
Email: msolikin@ums.ac.id

ABSTRAK

Pemadatan pada saat pengecoran beton sering kali menemui kendala akibat alat pemadat yang digunakan tidak dapat menjangkau sudut-sudut sempit didalam bekisting. Untuk mengatasi masalah tersebut maka diperlukan beton yang mampu mengalir, melewati, dan mengisi ruang sempit dalam bekisting. Salah satu caranya adalah menggunakan beton memadat sendiri (SCC). Beton mempunyai sifat getas yang memiliki nilai kuat tekan tinggi namun nilai kuat tariknya rendah. Efektivitas pemakaian serat pada beton SCC adalah untuk meningkatkan nilai kuat tarik. Dalam penelitian ini beton SCC dibuat dengan menambahkan bahan berupa serat kawat bendrat untuk memperkuat beton dan *fly ash* sebagai substitusi semen, selain itu penggunaan *superplasticizer* juga digunakan untuk mencapai *flowability* yang disyaratkan beton memadat sendiri (SCC). Bahan penyusun dalam pembuatan beton adalah pasir, batu pecah ukuran maksimum 20 mm, air, semen, *fly ash* 30% sebagai pengganti sebagian semen, dan serat kawat bendrat sebesar 1% dengan ukuran diameter 0,9 mm dan panjang 70 mm. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis nilai *slump flow* dan kuat tekan. Beton dengan penambahan *fly ash* dan *fly ash* berserat dibuat dengan metode SCC sedangkan beton normal tanpa SCC. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan setelah perendaman beton selama 28 hari. Pengujian *slump flow* diperoleh nilai sebesar 68,5 dan 66,5 untuk benda uji beton *fly ash* dan beton *fly ash* + serat. Hasil pengujian kuat tekan pada BN, BFA, BFA+S berturut-turut adalah sebesar 27,55 MPa, 36,26 MPa, 39,80 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *fly ash* ditambah serat membuat kuat tekan meningkat sebesar 31,62% dan 44,47% dari beton normal.

Kata kunci : *fly ash*, kuat tekan, serat kawat bendrat, *slump flow*

A. PENDAHULUAN

Dalam proyek konstruksi saat pengecoran beton diperlukan pemadatan agar diperoleh beton yang padat dan homogen. Sering terjadi saat pemadatan beton alat pemadat yang digunakan sulit untuk menjangkau bagian-bagian maupun sudut yang sempit. Sehingga beton yang dihasilkan menjadi kurang baik dan berpotensi menurunkan mutu beton yang direncanakan akibat pemadatan yang dilakukan kurang sempurna. Rongga-rongga udara yang terjebak didalam beton meng-akibatkan kekuatan beton menjadi rendah, berkurangnya tenaga ahli menyebabkan perlunya campuran beton memadat sendiri untuk mendapatkan beton dengan kualitas tinggi dan hanya membutuhkan sedikit tenaga ahli. Beton kualitas tinggi diajukan dengan spesifikasi (1) sifat beton segar dapat memadat sendiri, (2) umur awal ditimbulkan oleh faktor eksternal. Beton ini dinamakan

Self Compacting Concrete (SCC) (Nugraha & Antoni, 2007). Untuk menjaga mutu beton agar sesuai rencana maka salah satu cara mengatasinya adalah membuat beton yang dapat mengalir dan mengisi semua ruang tanpa memerlukan alat pemadat yaitu menggunakan beton *Self Compacting Concrete (SCC)*.

Beton memadat sendiri (SCC) ialah beton yang dapat mengalir, melewati, dan mengisi semua ruang dalam bekisting tanpa adanya pemadatan tambahan. Beton SCC harus beton segar dengan nilai slump yang bagus (*flowable*) tanpa mengalami segresi selama proses pengecoran. Karakteristik tingginya nilai *slump* dijadikan penentu karakter beton SCC yaitu antara 550 mm dan 850 mm (SKh-1.7.23-2017, 2017). Pada campuran beton SCC penambahan *fly ash* dapat digunakan untuk substitusi semen. Agar beton menjadi SCC maka digunakan *superplasticizer* yang merupakan bahan kimia cair yang mampu membuat gumpalan-gumpalan menjadi larut dengan langkah melapisi pasta semen agar terurai merata dalam adukan beton dan menambah *workability* pada beton (Setiawan dkk, 2015). Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan nilai *slump* dalam campuran beton SCC dan meningkatkan sifat reologi SCC serta mengurangi panas hidrasi semen sehingga mengurangi potensi retak pada beton (Ahmad dkk, 2017).

Dalam pembuatan beton dibutuhkan material sebagai campuran yang mengandung agregat kasar, agregat halus, semen dan air. Seiring berkembangnya teknologi penggunaan bahan tambah pada campuran beton semakin banyak digunakan. Bahan tambah pada beton dapat mempengaruhi kualitas beton. Salah satunya adalah *fly ash. Fly ash* adalah limbah sisa dari membakar batubara yang sangat halus dan bersifat pozzolan. *Fly ash* umumnya berbentuk butiran halus, ringan, bundar, tidak ber-*porous* dan memiliki sifat pozzolanik dan tingginya bahan semen (Sudjatmiko & Kholis R., 2022). Menurut ASTM C618 - 03, (2010) *fly ash* digolongkan ke dalam tiga jenis, yaitu (1) *fly ash* kelas N yaitu *fly ash* yang memiliki sifat pozzolan yang baik yang dihasilkan dari pembakaran tanah diatomic, opaline chretz dan shales, tuff dan abu vulkanik yang mana biasa diproses pembakaran atau tidak melalui pembakaran, (2) *fly ash* kelas F yaitu *fly ash* yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara, dan (3) *fly ash* kelas C yaitu *fly ash* yang mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batu bara (batu bara muda). Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton sebagai pengganti dari semen sehingga dapat mengurangi biaya pembuatan beton. Pemakaian *fly ash* sebagai substitusi semen pada pencampuran beton menjadi suatu upaya menanggulangi masalah lingkungan karena memiliki kandungan senyawa silika yang tinggi dan dapat mencemari lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan (Sunarsih & Adi Sucipto, 2017). Selain itu penggantian semen dengan *fly ash* mengakibatkan kekuatan beton meningkat karena reaksi pozzolan dari *fly ash*, namun kekuatan akan menurun jika penambahan *fly ash* terlalu banyak (Posi dkk, 2019).

Bahan tambah dalam campuran beton lainnya adalah serat. Serat digunakan mengingat beton memiliki sifat getas yang mengakibatkan akan sangat mudah retak apabila diberikan beban tarik. Apabila gaya yang diberikan melebihi kapasitasnya maka retak pada beton akan terjadi. Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan tambah lain berupa serat (Tjokrodimuljo, 1996). Beberapa serat yang digunakan adalah serat polypropylene, nylon, dan baja. Serat yang ditambahkan pada campuran beton bertujuan meningkatkan kuat tarik beton yang diketahui rendahnya tingkat kuat tarik beton (Tjokrodimuljo, 1996). Serat yang mudah dan banyak ditemukan di Indonesia adalah serat bendrat yang memiliki harga lebih murah dibanding dengan serat lainnya (Prabowo & Solikin, 2022). Penambahan serat baja dalam campuran beton berdampak

meningkatkan kekuatan beton, selain itu penambahan serat baja juga dapat meningkatkan kuat lentur dari beton (Prabhu & Rooby, 2018). Dalam penelitian Prisilia dkk., (2021) penambahan kawat bendrat mempengaruhi sifat kelecakan pada beton sehingga menghasilkan nilai slump lebih tinggi. Serat kawat bendrat banyak digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton dikarenakan mudah didapat dan harganya murah dibandingkan serat lainnya.

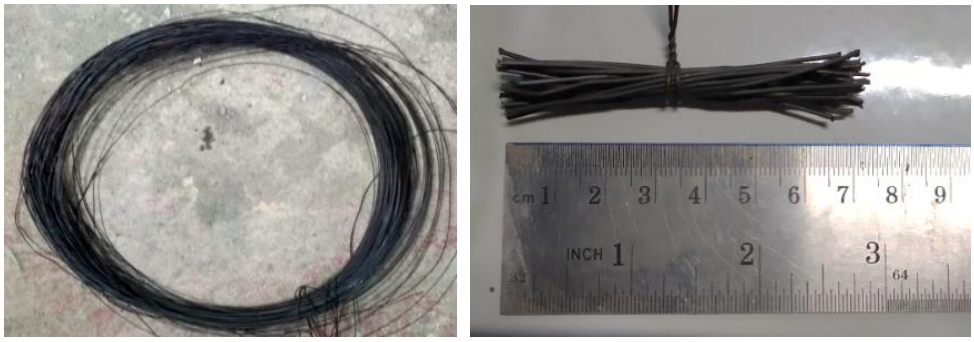
Dari pemaparan di atas, maka penulis meneliti dengan *fly ash* sebagai pengganti dari semen dan serat kawat bendrat pada campuran beton dengan metode *Self Compacting Concrete* (SCC) untuk mengetahui pengaruh dari bahan tambah yang digunakan terhadap sifat mekanis beton.

B. METODE

Tahapan awal pada penelitian ini yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Bahan yang digunakan yaitu semen dan pasir yang diperoleh dari PT. Solusi Bangun Beton di Yogyakarta, batu pecah dengan ukuran 20 mm diperoleh dari *Stone Crusher* di Klaten, *fly ash* berasal dari PLTU Tanjung Jati, *superplasticizer* merk *Viscocrete* 1003 produk SIKA diperoleh dari toko bahan bangunan di Sukoharjo, serat kawat bendrat BWG 21 dengan rasio aspek (l/d) 77,8 yang diperoleh dari toko material di Karanganyar.

Tabel 1. Spesifikasi Serat Bendrat BWG 21

Panjang (l)	70 mm
Diameter (d)	0,9 mm
Ratio (l/d)	77,8
Perpanjangan pada saat putus	5,50%
Kuat Tarik	38,5 Mpa
Specific Gravity	7,700



Gambar 1. Kawat Bendrat BWG 21

Setelah mempersiapkan alat dan bahan dilakukan pengujian pada bahan yang akan digunakan untuk mengetahui kualitas dari bahan tersebut. Untuk menguji agregat halus dilakukan uji kandungan bahan organik, uji *Saturated Surface Dry* (SSD), uji berat jenis dan penyerapan air, uji kandungan lumpur, pengujian gradasi agregat halus. Uji agregat kasar meliputi uji keausan, pengujian berat jenis dan penyerapan air, uji gradasi agregat kasar. Uji semen dilakukan pengujian ikatan awal.

Tahap selanjutnya yaitu pembuatan benda uji silinder dengan *fly ash* sebagai pengganti semen sebesar 30% dan serat kawat bendrat sebanyak 1% dari berat beton. Sebelum pembuatan benda uji,

disiapkan proporsi campuran beton yang dapat memadat sendiri. Beton memadat sendiri digunakan agar memudahkan pembuatan beton karena dapat memenuhi ruang dalam bekisting tanpa alat pemadat. Hasil perhitungan proporsi campuran beton dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Proporsi Campuran Beton per m^3

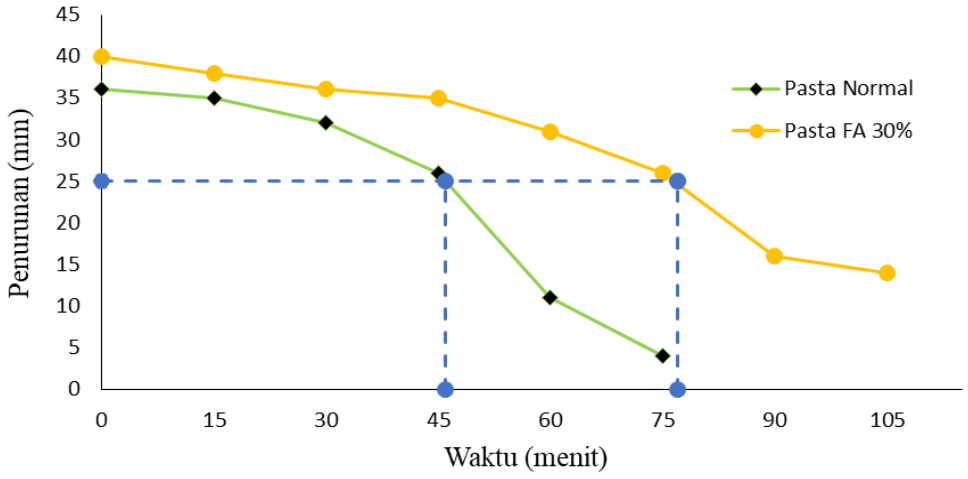
Air (liter)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Batu Pecah (kg)	*Fly Ash* 30% (kg)	*Superplasticizer* (liter)	Serat 1% (kg)
205	445,65	1031,61	687,74	118,84	8,02	23,7

Selain menggunakan *fly ash* dan serat kawat bendrat, dalam pembuatan campuran beton juga menggunakan *superplasticizer* untuk menghasilkan beton yang dapat memadat sendiri. Untuk mengetahui proporsi campuran yang dibuat sudah memenuhi syarat sebagai beton memadat sendiri maka dilakukan pengujian *slump flow* dengan cara mengambil sedikit adukan beton sebelum dituangkan kedalam bekisting. Hasil pengujian menunjukkan nilai *slump flow* memiliki diameter 68,5 cm dan 66,5 cm. Nilai ini memenuhi persyaratan untuk beton memadat sendiri yaitu antara 55 – 85 cm (SKh-1.7.23-2017). Pengujian yang dilakukan adalah uji ikatan awal semen, uji *slump flow*, dan uji kuat tekan untuk benda uji silinder dengan berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan setelah perendaman beton selama 28 hari.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ikatan awal semen

Pengujian ikatan awal semen bertujuan guna melihat waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen dalam perubahan sifat dari berbentuk cair menjadi padat pada saat penurunan 25 mm. Pengujian ini dilakukan pada pasta normal dan pasta *fly ash* pengganti semen sebesar 30% yang didasarkan sesuai ketentuan menurut SNI 03-6827-2002. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Interval Waktu dengan Penurunan Pasta Normal dan Pasta *Fly Ash* 30%



Gambar 3. Pengujian Ikatan Awal Semen

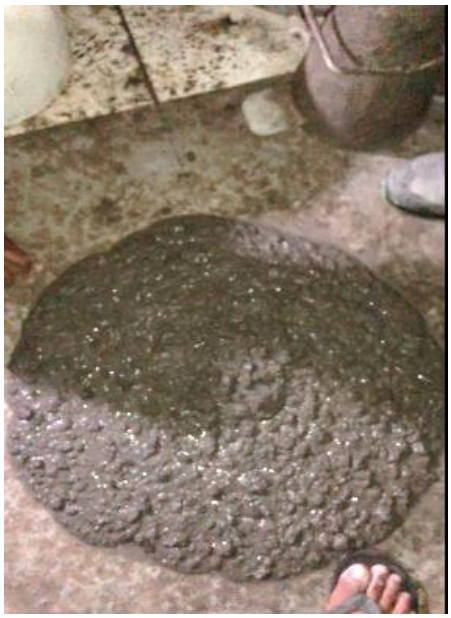
Dari Gambar 2. didapati waktu ikatan awal pasta *fly ash* sebesar 77 menit sedangkan waktu ikatan awal pasta normal sebesar 46 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa ikatan awal pasta *fly ash* memiliki waktu ikatan yang lebih lama daripada pasta normal. Hal ini dikarenakan senyawa pada semen dan air bereaksi dengan *fly ash* maka akan mengakibatkan proses hidrasi semakin panjang sehingga membuat *setting time* semakin lama. Penelitian yang dilakukan oleh Nuaklong dkk, (2019) menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* membuat waktu pengikatan awal dan akhir lebih lama daripada dengan mortar konvensional. Penelitian lainnya yang sejalan dilakukan oleh Chen dkk, (2019) menghasilkan bahwa waktu pengikatan yang dipengaruhi oleh *fly ash* mengakibatkan waktu ikat awal dan akhir semen semakin lama.

Pengujian slump flow

Pengujian ini mempergunakan kerucut abram's yang dibalik berdiameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm. Sebelum penuangan kedalam bekisting, dilakukan pengujian *slump flow* pada adukan beton untuk mengetahui kekentalan dan *workability*-nya. Hasil uji *slump flow* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Slump Flow

Nama Benda Uji	**Beton *Fly Ash* (cm)**		**Beton *Fly Ash* + Serat (cm)**	
Slump Flow	70	67	68	65
Rata-rata *Slump Flow*	68,5		66,5	



Gambar 4. Pengujian *Slump Flow*

Dari Tabel 3 diperoleh nilai *slump flow* beton dengan *fly ash* sebesar 68,5 cm sedangkan beton *fly ash* dengan penambahan serat kawat bendrat sebesar 66,5 cm. Hasil ini masih memenuhi persyaratan sesuai SKh-1.7.23-2017 (Beton Memadat Sendiri) yaitu minimum 550 mm dan maksimum 850 mm. Penambahan serat dalam campuran beton dapat mengurangi *workability* pada beton, hal ini dikarenakan beton tanpa serat dapat mengalir dengan mudah tanpa adanya hambatan dari serat. Hasil ini sesuai dengan penelitian dari Majain dkk, (2019) menunjukkan dengan penambahan serat baja pada beton menyebabkan penurunan aliran *slump*. Penelitian lainnya dilakukan oleh Alrawashdeh & Eren, (2022) menunjukkan bahwa aliran slump mengalami sedikit penurunan dengan menambah serat pada campuran beton.

Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan memberikan beban maksimum pada benda uji silinder hingga runtuh. Pengujian ini dilaksanakan pada benda uji beton silinder setelah direndam selama 28 hari. Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh menggunakan rumus :

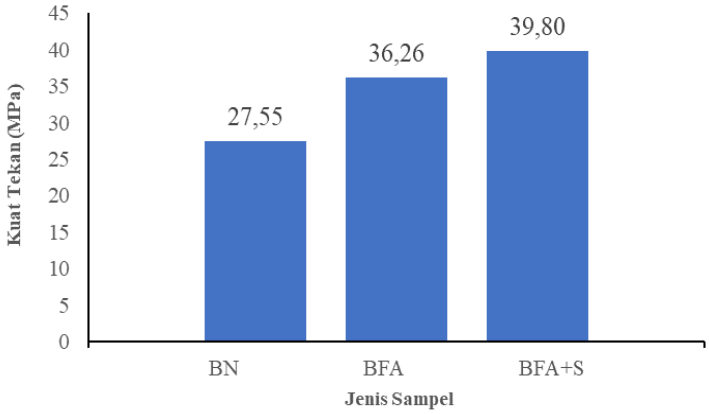
$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Dimana: f'_c adalah kuat tekan beton dengan satuan MPa, P adalah gaya aksial dengan satuan N dan A adalah luas penampang benda uji dengan satuan mm^2. Hasil pengujian kuat tekan beton silinder dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 5.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Nama	Berat Volume (kg/m^3)	Luas (cm^2)	Berat (kg)	Gaya Tekan (KN)	f'_c (Mpa)	f'_c rata - rata (Mpa)
1	BN	2215,53	173,50	11,57	480	27,67	27,55
		2189,53	175,84	11,55	470	26,73	
		2337,08	173,50	12,21	490	28,24	
2	BFA 30%	2323,16	175,06	12,16	610	34,85	36,26
		2325,76	175,84	12,25	620	35,26	
		2356,30	175,84	12,43	680	38,67	

No	Nama	Berat Volume (kg/m^3)	Luas (cm^2)	Berat (kg)	Gaya Tekan (KN)	f'_c (Mpa)	f'_c rata - rata (Mpa)
3	BFA+S 1%	2375,92	175,06	12,45	670	38,27	39,80
		2377,92	176,63	12,53	750	42,46	
		2288,05	175,84	12,07	680	38,67	



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar 6. Pengujian Kuat Tekan

Dari Gambar 5 diperoleh bahwa penggantian *fly ash* sebesar 30% dari semen dan *fly ash* berserat kawat bendrat dengan metode SCC mampu meningkatkan kuat tekan beton. Kekuatan beton meningkat sebesar 31,62% dan 44,47% dari beton normal. Meningkatnya kekuatan beton dengan penambahan *fly ash* dikarenakan reaktivitas pozzolanic dari *fly ash*, yaitu zat yang mengandung bahan silika dan alumina yang membentuk senyawa mirip semen ketika dicampur dengan air. Hasil ini didukung dengan penelitian Ahmad dkk, (2017) menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton SCC dengan campuran *fly ash* dan serat kaca mengalami peningkatan terhadap beton normal pada beton umur 7 dan 28 hari. Penelitian lainnya oleh Joel, (2020) diperoleh dengan kadar *fly ash* sebesar 10%,

20%, 30%, dan 40% mengakibatkan kekuatan beton meningkat, dan pada kadar 50% kekuatan beton mengalami penurunan dibanding dengan beton tanpa *fly ash*. Kekuatan tertinggi diperoleh dengan campuran *fly ash* sebesar 30% yaitu sebesar 41,4 MPa.

Dengan penambahan serat pada beton *fly ash* mengakibatkan nilai kuat tekan semakin meningkat. Nilai kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 9,76% dari beton *fly ash*. Penambahan serat ke dalam campuran beton dapat mencegah retakan kecil menjadi retakan yang lebih besar sehingga mengakibatkan ketahanan terhadap kuat tekan mengalami peningkatan. Penelitian yang dilakukan oleh Majain dkk, (2019) dengan metode beton SCC yang ditambah *fly ash* dan serat baja sebesar 0,5% dan 1% dari berat beton diperoleh bahwa beton dengan campuran *fly ash* dan serat menghasilkan nilai kuat tekan lebih tinggi daripada beton dengan *fly ash*. Selain itu, penelitian oleh Vijaykumar & Shamu, (2015) menggunakan kadar serat baja sebesar 0,5%, 0,75%, dan 1% dengan panjang serat 30 mm dan 25 mm menghasilkan beton SCC dengan campuran *fly ash* ditambah serat baja dapat meningkatkan nilai kuat tekan daripada beton SCC *fly ash* tanpa serat. Penelitian ini juga menghasilkan bahwa panjang serat juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, semakin panjang serat kekuatan beton juga semakin meningkat.

G. KESIMPULAN

Penelitian mengenai pengganti *fly ash* 30% dari semen dan penambahan serat kawat bendrat 1% terhadap sifat mekanis beton yang telah dilaksanakan didapat kesimpulan yaitu pada pengujian ikatan awal semen menunjukkan bahwa pasta *fly ash* pengganti semen 30% memiliki waktu ikat lebih lama dibanding dengan pasta normal. Pengujian *slump flow* menghasilkan beton telah memenuhi persyaratan untuk beton SCC, nilai *slump flow* pada beton *fly ash* dan beton *fly ash* berserat adalah 68,5 cm dan 66,5 cm. Dengan penambahan serat pada beton dapat mengurangi *workability* beton. Pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa kekuatan beton *fly ash* dan beton *fly ash* ditambah serat mengalami peningkatan sebesar 31,62% dan 44,47% dari beton normal. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton *fly ash* ditambah serat yaitu sebesar 39,80 MPa. Penambahan serat 1% dan *fly ash* sebagai pengganti semen sebesar 30% mengakibatkan nilai kuat tekan meningkat terhadap beton normal. Hasil ini menunjukkan penggunaan *fly ash* dan serat kawat bendrat pada campuran beton berpengaruh positif terhadap kekuatan beton.

SARAN

Setelah penelitian ini selesai dilakukan perlu dilakukan pengembangan untuk penelitian selanjutnya, yaitu membuat semua benda uji dengan menggunakan metode beton memadat sendiri (SCC). Selain itu, perlu mengganti kandungan *fly ash* dengan variasi yang berbeda dan juga variasi serat kawat bendrat yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada laboratorium Struktur Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta atas fasilitas tempat dan peralatan untuk pelaksanaan penelitian. Selanjutnya ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT. Solusi Bangun Beton di Yogyakarta yang telah memberikan bahan material untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, S., Umar, A., & Masood, A. (2017). Properties of Normal Concrete, Self-compacting Concrete and Glass Fibre-reinforced Self-compacting Concrete: An Experimental Study. Procedia Engineering, 173, 807–813. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.106

Alrawashdeh, A., & Eren, O. (2022). Mechanical and physical characterisation of steel fibre reinforced self-compacting concrete: Different aspect ratios and volume fractions of fibres. Results in Engineering, 13(January), 100335. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100335

ASTM C618 - 03. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use West Conshohocken, PA, 2001. Annual Book of ASTM Standards.

Chen, H. J., Shih, N. H., Wu, C. H., & Lin, S. K. (2019). Effects of the loss on ignition of fly ash on the properties of high-volume fly ash concrete. Sustainability (Switzerland), 11(9), 1–15. https://doi.org/10.3390/su11092704

Joel, S. (2020). Compressive strength of concrete using fly ash and rice husk ash: A review. Civil Engineering Journal (Iran), 6(7), 1400–1410. https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091556

Majain, N., Rahman, A. B. A., Mohamed, R. N., & Adnan, A. (2019). Effect of steel fibers on self-compacting concrete slump flow and compressive strength. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 513(1), 1–8. https://doi.org/10.1088/1757-899X/513/1/012007

Nuaklong, P., Wongsa, A., Sata, V., Boonserm, K., Sanjayan, J., & Chindaprasirt, P. (2019). Properties of high-calcium and low-calcium fly ash combination geopolymer mortar containing recycled aggregate. Heliyon, 5(9), e02513. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02513

Nugraha, P., & Antoni. (2007). Teknologi Beton (1 ed.). Yogyakarta, Indonesia: Andi.

Posi, P., Kasemsiri, P., Lertnimoolchai, S., & Chindaprasirt, P. (2019). Effect of fly ash fineness on compressive, flexural and shear strengths of high strength-high volume fly ash jointing mortar. International Journal of GEOMATE, 16(54), 36–41. https://doi.org/10.21660/2019.54.4662

Prabhu, V., & Rooby, J. (2018). BEHAVIOR OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE BEAM USING FLY ASH. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 9(1), 79–89.

Prabowo, J., & Solikin, M. (2022). Pengaruh Variasi Kadar Fly Ash Terhadap Karakteristik Beton Dengan Bahan Tambah Serat Bendrat. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik - UMS, Surakarta.

Prisilia, A., Simanihuruk, B., & Dewita, H. (2021). PENGARUH PENGGUNAAN STYROFOAM DAN KAWAT BENDRAT TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN. kajian Teknik Sipil, 6(1), 1–9.

Setiawan, D., MT, B. S., & MT, I. S. T. (2015). Pemanfaatan Pelat Beton Fly Ash Pracetak dengan Tulangan Bilah Bambu yang Dirangkai dan Diperkuat Kawat Galvanis Menyilang sebagai Solusi Lantai Rumah di Daerah Tanah Gerak. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 1-11.

SKh-1.7.23-2017. (2017). BETON MEMADAT SENDIRI (Self Compacting Concrete). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.

SNI 03-6827. (2002). Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggun*akan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil*. *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Sudjatmiko, A., & Kholis R., H. (2022). Fly Ash Sebagai Substitusi Semen pada Paving Block terhadap Pengujian Kuat Tekan dan Daya Serap air dengan Penekanan Menggunakan Desak Pyramid. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, (2022 : Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil XI), 37–42.

Sunarsih, E. S., & Adi Sucipto, T. L. (2017). Tinjauan Penambahan Limbah Styrofoam Dan Fly Ash Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Ringan Struktural. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan*, *7*(2), 9–16. https://doi.org/10.20961/-jiptek.v7i2.12690

Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. (K. Tjokrodimuljo, Ed.). Yogyakarta, Indonesia: Nafiri.

Vijaykumar, H., & Shamu, S. (2015). A critical study on the influence of steel fiber on performance of fresh and hard self compacting concrete. *Journal of Structural Engineering (India)*, *42*(3), 237–245.

SISTEM STRUKTUR DENGAN BRACING UNTUK MENINGKATKAN KINERJA SEISMIK GEDUNG EKSISTING

Dwi Nia Sastriavi[1*], Ameillia Widyastuti[2], Lintang Enggartiasto[3], M. Rusli Ahyar[4], Antonius[5]
[1*]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: dwiniasastryavi@gmail.com (Corresponding author)
[2]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: ameilliawidyastuti259@gmail.com
[3]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Arteri Soekarno Hatta
Email: lintangenggartiasto@usm.a.c.id
[4]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: muhamad.rusli.a@unissula.ac.id
[5]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: antonius@unissula.ac.id

ABSTRAK

Karakteristik dinamik struktur gedung pada umumnya menjadi perhatian utama dan memegang peranan signifikan dalam menentukan kinerja sesismik struktur. Di dalam struktur tahan gempa untuk bangunan gedung, biasanya salah satu pilihan perencanaan menggunakan Sistim Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ataupun Sistim Ganda yang dapat berupa struktur gedung ditambah dinding geser atau ditambah bracing. Paper ini menyajikan perilaku seismik struktur gedung beton bertulang eksisting setelah ditambah bracing. Penambahan perkuatan bracing dilatar belakangi oleh perilaku struktur eksisting yang dievaluasi terhadap beban gempa berdasarkan SNI terbaru, dan ternyata didapatkan mode ragam getar yang mengalami rotasi pada modus getar yang kedua. Hal tersebut tidak diizinkan menurut SNI 1726-2019 yang menentukan bahwa rotasi boleh terjadi setidaknya mulai modus getar ketiga. Berdasarkan permasalahan di atas diusulkan alternatif yaitu dengan menambah bracing di beberapa bagian struktur agar berperilaku sesuai dengan ketentuan SNI tersebut di atas. Pembebanan dan analisa beton bertulang menggunakan standar terbaru yaitu SNI 1727-2020 dan SNI 2847-2019. Analisa struktur baja menggunakan SNI 1729-2020. Hasil simulasi perilaku seismik struktur setelah ditambah bracing memperlihatkan bahwa modus getar pertama dan kedua mengalami translasi dan pada modus getar ketiga mengalami rotasi yang mana sudah sesuai dengan ketentuan bangunan tahan gempa. Hasil analisis lainnya seperti simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta yang terjadi masih berada di bawah batas ijin maksimum yang ditentukan oleh standar yang berlaku. Selanjutnya hasil evaluasi struktur dengan bracing menunjukkan bahwa struktur termasuk kategori beraturan dalam arah horizontal, namun terjadi ketidakberaturan dalam arah vertikal di lantai 2.

Kata-kata kunci: bracing, efek P-delta, modus getar, simpangan antar lantai, SRPMK.

A. PENDAHULUAN

Tujuan perencanaan struktur, khususnya bangunan gedung bertingkat pada dasarnya adalah untuk menghasilkan bangunan yang kuat (*strength*) dan kaku. Struktur yang kuat akan mampu menahan beban ultimit yang bekerja. Struktur yang kaku berhubungan dengan kemampuan layan (*servicebility*), dalam hal ini biasanya terkait dengan defleksi, perilaku kekangan dan lain-lain. Selain kedua hal tersebut, apabila struktur berada di zona gempa, maka persyaratan daktilitis dan kestabilan adalah dua hal tambahan untuk mencapai struktur bangunan yang tahan terhadap beban gempa. Struktur yang berperilaku daktil dapat diartikan bahwa struktur tersebut mampu menyerap energi gempa dengan baik dan meminimalisir gaya gempa yang diterima.

Perancangan struktur di zona rawan gempa kuat harus dirancang kapasitas terlebih dahulu dan juga perlu menentukan elemen – elemen kritisnya yang memungkinkan terjadinya mekanisme keruntuhan agar dapat memancarkan energi sebesar mungkin. Mekanisme ini diharapkan agar sendi – sendi plastis terbentuk pertama kali pada balok daripada di kolom. Hal ini menjadi evaluasi adanya bahaya ketidakstabilan yang diakibatkan oleh efek perpindahan jauh lebih kecil dibanding dengan mekanisme sendi plastis pada kolom jika dibandingkan dengan balok. Selain itu juga apabila kolom rusak penanganannya tidak mudah dikerjakan, maka dari itu perlu dilakukan pelindungan dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi. Maka dari itu konsep yang digunakan adalah *strong column – weak beam*. Ketahanan struktural terhadap beban gempa bumi merupakan sesuatu yang sangat penting. Dilakukannya hal ini untuk mencegah adanya kegagalan jika terjadi bencana alam gempa. Struktur wajib dirancang dengan mempertimbangkan pengaruh yang disebabkan dari gaya lateral akibat gempa tersebut.

Suatu performa struktur untuk menghadapi suatu bencana alam khusus nya gempa yaitu salah satu kinerja dari struktur. Dengan melakukan investigasi secara langsung di lokasi yang terdampak bencana alam gempa dapat dilihat visualisasi kerusakan bangunan. Hal ini menjadikan kinerja struktur berbanding lurus dengan biaya perbaikan pada bangunan gedung tersebut. Rancangan kinerja struktur harus ditinjau dari segi fungsi dan tujuan bangunan tersebut didirikan serta harus memperhatikan dari segi ekonomi untuk perbaikan saat gedung hancur ketika diterpa bencana gempa. Struktur yang dirancang harus berperilaku daktil sehingga dapat meminimalisir gaya gempa yang diterima. Kriteria tersebut digunakan sebagai tolok ukur dalam merencanakan suatu bangunan tahan gempa, agar desain struktur bangunan dapat aman dan tahan terhadap gaya yang ditimbulkan oleh gempa, terlebih bangunan tingkat tinggi.

Berdasarkan historisnya bangunan gedung bertingkat yang akan dibahas di dalam paper ini terletak di kota Salatiga dan didesain menggunakan peraturan SNI 1726-2012. Di Indonesia, yang berlaku saat ini kriteria pembangunan gedung yang tahan terhadap gempa telah diatur di dalam SNI 1726-2019. Perbandingan antara bangunan struktur tahan gempa tahun 2012 dengan 2019 mempunyai beberapa perbedaan diantaranya terdapat pada kombinasi pembebanan, spektrum respons desain, analisis ragam dan penskalaan gaya. Selain itu pada perencanaan beban seismik ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% atau gempa sebesar 100% sesuai dengan standar yang baru. Terkait dengan permasalahan tersebut, dalam rangka untuk memenuhi tingkat kelayakan struktur terutama dalam hal hal kinerja seismik, bangunan gedung bertingkat tersebut di atas dievaluasi menggunakan standar yang terbaru di Indonesia.

Terkait dengan permasalahan tersebut, dalam rangka untuk memenuhi tingkat kelayakan struktur terutama dalam hal hal kinerja seismik, bangunan gedung bertingkat milik pemerintah yang terdapat di kota Salatiga provinsi Jawa Tengah dievaluasi menggunakan standar yang terbaru di Indonesia. Gedung tersebut mempunyai 4 lantai dan 1 atap dengan ukuran simetris, mempunyai ukuran sekitar 86 x 21 meter, dan tinggi gedung adalah 19,45 meter. Gedung yang dievaluasi terbuat dari bahan beton bertulang, diperuntukkan untuk perkantoran, dan tanpa menggunakan dinding geser. Dengan demikian gedung tersebut masuk kategori Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang mana mempunyai durabilitas tinggi dan sesuai untuk diterapkan di daerah dengan ancaman gempanya yang tinggi. Sehingga pada sistem ini mempunyai keunggulan yang terletak pada segi arsitekturalnya yang umum, tetapi juga terdapat kekurangan dari sistem ini dimana

permodelan yang dibuat harus detail dan perancangan struktur di zona gempa juga harus lebih efisien, kekakuan pada struktur dapat digunakan untuk menyerap energi gempa melibihi batas plastisnya. Karena adanya karakter kekakuan, respons spektrum seismik desain plastis bisa direduksi menjadi beban seismik nominal dengan syarat dirancangnya harus relatif kokoh.

Pada perancangan suatu bangunan terdiri dari kerangka bawah dan kerangka atas. Berdasarkan SNI 1727:2020 bagian dari struktur bangunan harus dapat menopang berat dengan kombinasi berat sehingga bangunan tersebut cukup kuat pada saat menopang berat material. Dalam pemilihan mutu bahan konstruksi harus disesuaikan dengan fungsi dari bangunan tersebut agar tercapainya kinerja yang ekonomis dan efisien. Penggunaan mutu bahan konstruksi disesuaikan berdasarkan SNI 2847-2019 untuk perancangan beton struktural. Dan untuk SNI 1729-2020 untuk spesifikasi tulangan baja struktural. Adapun ketentuan lainnya dalam merancang sebuah gedung yaitu menetukan pembebanannya dari beban mati dan beban hidup serta kombinasi pembebanan yang diatur dalam SNI 1727-2020.

1. Evaluasi Awal (Gedung Eksisting)

Gedung yang dievaluasi mempunyai 4 lantai dan 1 atap dengan ukuran simetris, mempunyai ukuran 86 x 21 meter, dan tinggi gedung 19,45 meter. Gedung yang dievaluasi terbuat dari bahan beton bertulang, diperuntukkan untuk perkantoran, dan tanpa menggunakan dinding geser. Dengan demikian gedung tersebut masuk kategori Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Data pada evaluasi struktur gedung menggunakan data tanah dan gambar *shop drawing*. Mutu beton yang digunakan adalah f'_c=30 MPa dengan mutu tulangan baja mempunyai kuat tarik 420 MPa. Pemodelan yang digunakan untuk analisis struktur gedung menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS V18.1.1. Beban utama yang diperhitungkan meliputi beban hidup (*live load*), beban mati (*dead load*), beban angin (*wind load*) dan beban gempa (*earthquake load*). Data dimensi struktur eksisting ditampilkan pada Tabel 1. Analisa struktur gedung eksisting menggunakan beban menurut SNI 1727-2020, dan detail pembebanan setiap lantai terlihat pada Tabel 2. Untuk perencanaan beton menggunakan SNI 2847-2019, dan analisa gempa menggunakan persyaratan dalam SNI 1726-2019. Alur analisa gempa mengacu referensi oleh Imran & Hendrik (2014) dan Budiono (2017).

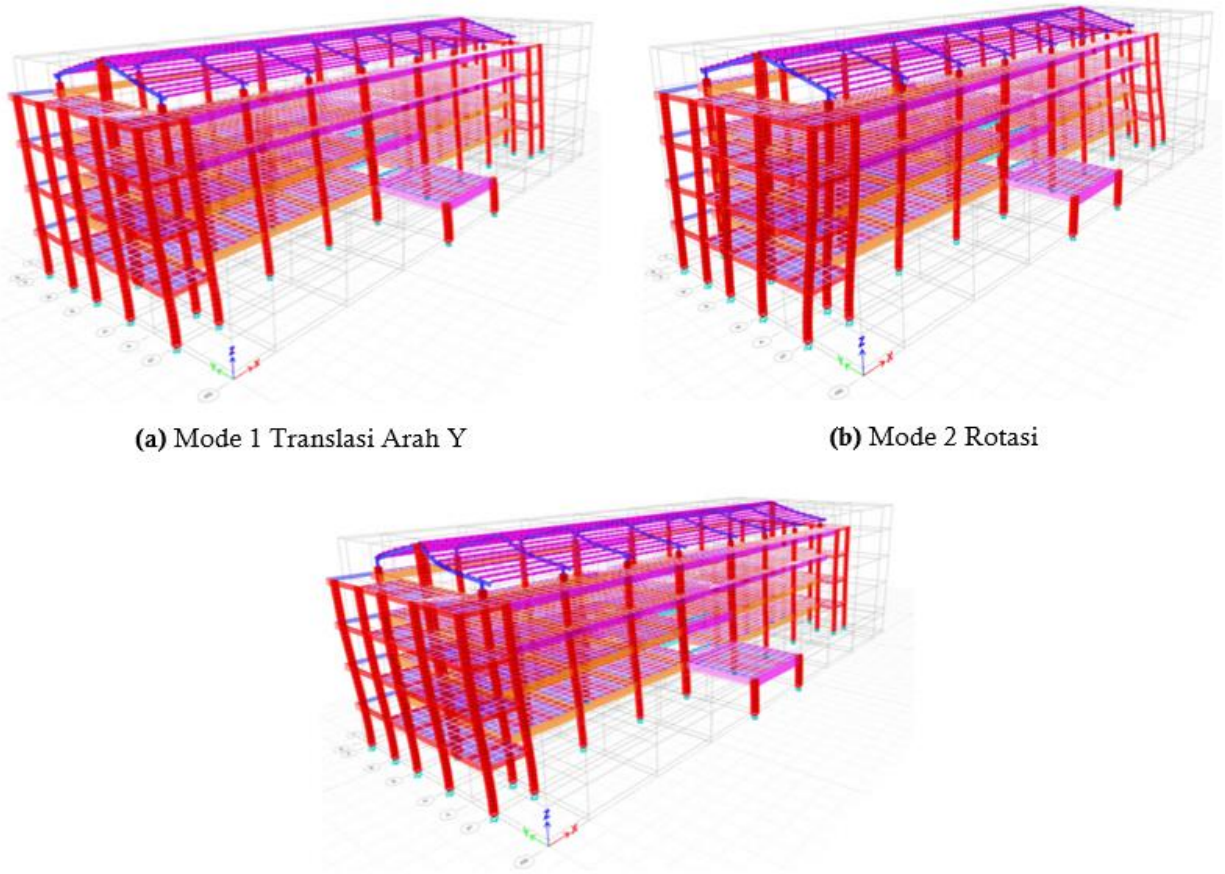
Tabel 1. Data komponen struktur

No	Jenis Elemen	Dimensi (mm)	Kode
1	Kolom	600 x 800	K1
		500 x 500	K2
2	Balok	450 x 950	B1
		350 x 700	B2
		300 x 650	B3
		200 x 400	B4
		250 x 600	BA1
		200 x 400	BA2
		200 x 350	BA3
		150 x 350	BA4
		200 x 700	B
3	Pelat Lantai	120	PL

Hasil analisis awal menunjukkan bahwa pada mode pertama gedung mengalami translasi, dan mode kedua mengalami rotasi (Gambar 1). Hal tersebut tidak memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.7.3. Berdasarkan permasalahan tersebut diusulkan perkuatan atau penambahan beberapa komponen struktur agar persyaratan SNI tersebut di atas dapat dipenuhi. Usulan adalah berupa penambahan bracing di lokasi tertentu gedung, dan dipilih bentuk bracing agar diperoleh hasil yang optimum.

Tabel 2. Detail pembebanan setiap lantai

Lantai	No	Lokasi	Tebal Pelat (mm)	Berat Material		Beban Mati					Dinding	Beban Hidup (kN/m)
				Beton Bertulang	Beton Polos	Berat Sendiri Pelat	Beban Mati Tambahan					
				kN/m	kN/m		Fin. Lantai (50 mm)	Plafond + Penggantung	ME	Total		
Lantai 1	1	Hall	0,15	24	22	3,60	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	2	Ruang Kanto	0,15	24	22	3,60	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,50
	3	Ruang Rapat	0,15	24	22	3,60	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	4	Ruang Panel	0,15	24	22	3,60	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	5	Ruang Arsip	0,15	24	22	3,60	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	5,00
	8	Lavatory	0,15	24	22	3,60	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,00
Lantai 2	1	Koridor	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	3,83
	2	Ruang Kanto	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,50
	4	Ruang Panel	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	5	Ruang Arsip	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	5,00
	8	Lavatory	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,00
	9	Dak	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	1,00
Lantai 3	1	Koridor	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	3,83
	2	Ruang Kanto	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,50
	3	Ruang Rapat	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	4	Ruang Panel	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	5	Ruang Arsip	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	5,00
	8	Lavatory	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,00
Lantai 4	1	Koridor	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	3,83
	2	Ruang Kanto	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,50
	3	Ruang Rapat	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	4	Ruang Panel	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	4,80
	5	Ruang Arsip	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	5,00
	8	Lavatory	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	2,00
Lantai Atap	1	Area Atap	0,12	24	22	2,88	1,10	0,20	0,50	1,80	2,50	1,00



(a) Mode 1 Translasi Arah Y

(b) Mode 2 Rotasi

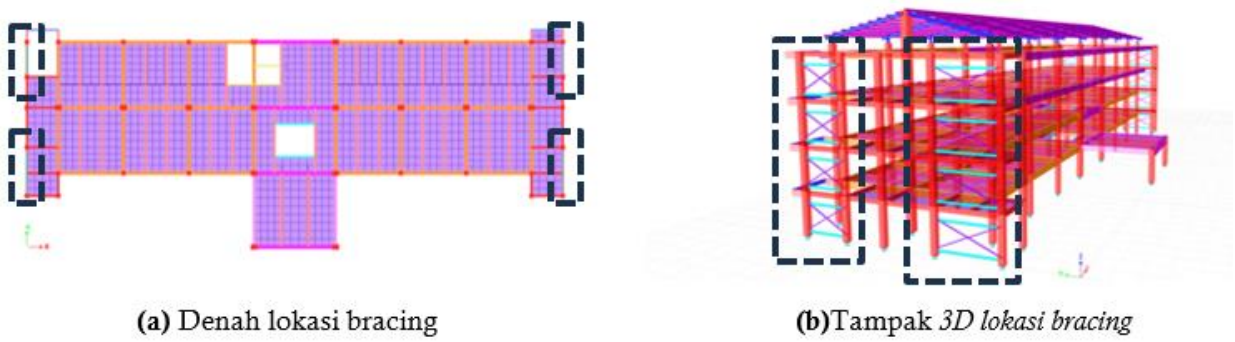
(c) Mode 3 Translasi Arah Y

Gambar 1. Ragam getar struktur eksisting

2. KINERJA SEISMIK STRUKTUR DENGAN BRACING

Penempatan bracing

Bracing yang digunakan adalah profil baja IWF 200x150x6x9 sebagai link beam dan profil siku ganda 2L 100 x 100 dalam ikatan silang. Lokasi penempatan bracing diperlihatkan pada Gambar 2. Pembebanan struktur disesuaikan dengan denah arsitektural yang diperoleh dari Gambar Perancangan Struktur.



(a) Denah lokasi bracing

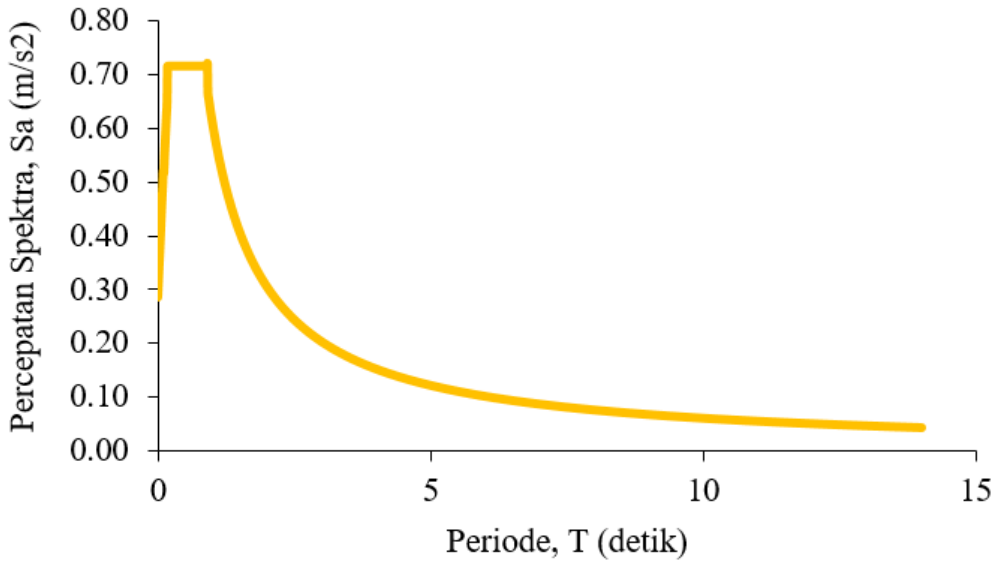
(b) Tampak *3D lokasi bracing*

Gambar 2. Lokasi penempatan bracing

Analisa gempa

Parameter yang digunakan dalam analisis ini adalah respons spektra yang diperoleh dari data situs *web* http://puskim.go.id/ berdasarkan koordinat bujur dan lintang dari gedung eksisting di kota Salatiga (Gambar 3). Berdasarkan SNI 1726-2019, diperoleh parameter gempa termasuk untuk analisis respons spektra sebagai berikut:

1. Katageori tanah *on site* : E
2. Percepatan respons spektra MCE_R periode pendek, S_s: 0,931 g
3. Percepatan respons spektra MCE_R periode 1 detik, S_1: 0,416 g
4. Koefisien situs untuk periode pendek, F_a: 1,1555
5. Koefisien situs untuk periode 1 detik, F_v: 2,3674
6. Percepatan respons spektra pada periode pendek, S_{DS}: 0,7169 g
7. Percepatan respons spektra pada periode 1 detik, S_{D1}: 0,657 g
8. Faktor keutamaan bangunan, Ie: 1.0
9. Kategori risiko : tipe II (Gedung Perkantoran)
10. 10.Periode Panjang, TL : 10 detik



Gambar 3. Respons Spektrum struktur dengan bracing

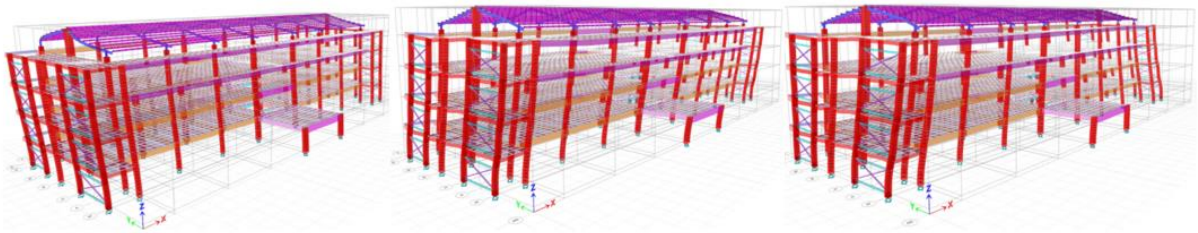
Hasil analisis mode getar struktur

Berdasarkan hasil analisis struktur dengan penambahan bracing seperti pada Gambar 4, didapatkan hasil getaran mode 1 dan mode 2 mengalami gerak translasi dan pada mode 3 menunjukkan gerak rotasi. Hal ini sudah sesuai dan memenuhi SNI 1726:2019. Dari ketiga modus getar tersebut, waktu getar alami (T) adalah sebagai berikut:

Mode 1: Ty = 0,670 detik

Mode 2: Tx = 0,612 detik

Mode 3: Tz = 0,482 detik



(a) Mode 1 (Translasi Arah Y) **(b)** Mode 2 (Translasi Arah X) **(c)** Mode 3 (Rotasi)

Gambar 4. Ragam getar struktur yang dipasang bracing

Selanjutnya kinerja seismik struktur setelah ditambah bracing perlu di cek terhadap ketentuan lainnya yang akan diuraikan di bawah ini.

Partisipasi massa struktur

Partisipasi massa struktur dengan tambahan bracing diperoleh sebesar 100% yang terlampir pada Tabel 3.

Tabel 3. Partisipasi Massa Struktur

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	100
Modal	Acceleration	UY	100	100
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Gaya lateral ekuivalen

Perencanaan gaya lateral ekuivalen perlantai dirumuskan sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.8.3 dengan interpolasi nilai *k* untuk arah *x* periode desain pada rentang 0,5 < T < 2,5 adalah:

$k = 0{,}5 \times T + 0{,}75$

$k = 0{,}5 \times 0{,}670 + 0{,}75$

$k = 1{,}085$

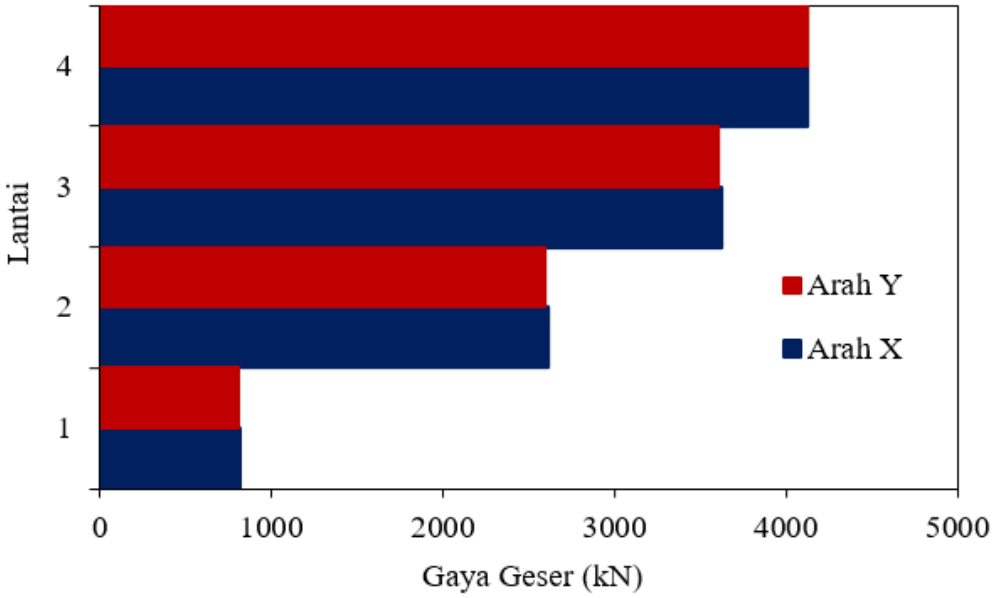
Gaya geser antar tingkat arah x dan y ditampilkan pada Tabel 4 dan 5, dan Gambar 5.

Tabel 4. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X

Lantai	Tinggi h_i (m)	Berat W_i (kN)	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	Cv	Lateral Fi-X (kN)
Lantai Atap	16	4913,65	1,085	99511,76	0,20	819,41
4	12	14674,78		217512,01	0,43	1791,06
3	8	12894,22		123097,07	0,25	1013,62
2	4	13581,86		61121,55	0,12	503,29
JUMLAH		46064,510		501242,3891		

Tabel 5. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y

Lantai	Tinggi h_i (m)	Berat W_i (kN)	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	Cv	Lateral Fi-Y (kN)
Lantai Atap	16	4913,65	1,056	91823,73	0,20	808,40
4	12	14674,78		202389,04	0,43	1781,79
3	8	12894,22		115893,24	0,25	1020,30
2	4	13581,86		58713,04	0,13	516,90
JUMLAH		46064,510		468819,0537		



Gambar 5. Grafik Gaya Geser Tiap lantai

Faktor skala

Relasi/hubungan pembebanan gempa statik dan dinamik mengharuskan bahwa gempa dinamik yang diperoleh minimal 100% dari beban gempa statik sesuai acuan SNI 1726-2019 atau $V_{DINAMIK} = V_{STATIK}$. Apabila persyaratan ini tidak dipenuhi, maka harus dilakukan peningkatan faktor skala baru. Hasil perhitungan lengkap Faktor Skala dan Gaya Geser Desain Antar Tingkat ditunjukan pada Tabel 6.

Tabel 6. Gaya Geser Antar Tingkat Dinamik Correctio

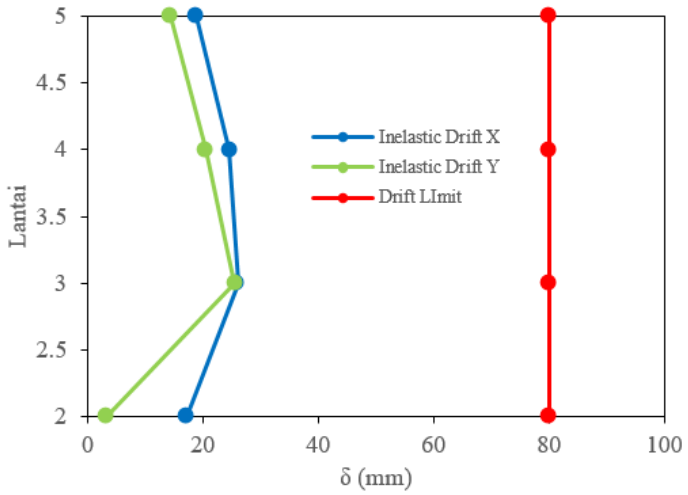
Story	STATIK 100%		DINAMIK ETABS		Skala Gaya		Dinamik *Correction*	
	Vx	Vy	V_{SPEC-X}	V_{SPEC-Y}	X-*Dir*	Y-*Dir*	V_{SPEC-X}	V_{SPEC-Y}
	kN	kN	kN	kN			kN	kN
Lt Atap	679,730	671,316	867,757	896,305	0,783	0,749	679,730	671,316
Lt 4	2322,96	2305,17	2598,87	2583,65	0,894	0,892	2322,96	2305,17
Lt 3	3380,23	3366,89	3639,62	3623,86	0,929	0,929	3380,23	3366,89
Lt 2	4106,30	4106,30	4116,01	4123,25	0,998	0,996	4106,30	4106,30

Simpangan antar lantai

Simpangan antar tingkat dihitung dengan persamaan berikut :

- Δ izin : $\frac{h \times 0{,}02}{1{,}3}$
- Δx_e : Δ total Atap - Δ total Lantai 5
- Δx : Δ xe Atap × Cd

Hasil yang diperoleh dapat terbilang aman jika Δx kurang dari atau sama dengan Δ izin. Gambar 6 memperlihatkan simpangan antara lantai yang terjadi untuk struktur dengan tambahan bracing, dimana simpangan tersebut berada di bawah simpangan izin.



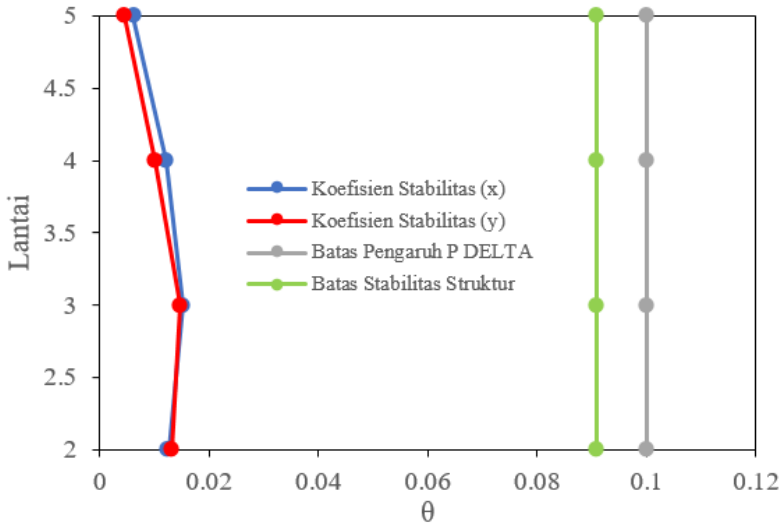
Gambar 6. Grafik Simpangan Antar Lantai

Cek kestabilan struktur akibat gempa/efek P-Delta

Untuk mengetahui layan bangunan harus diketahui tingkat kestabilan strukturnya yang terjadi akibat gempa, dapat dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$\theta = \frac{P \times \Delta \times Ie}{(Vy \times hsx \times Cd)}$$

Struktur dikatakan aman apabila θ < θ max. Hasil analisis efek P-delta pada struktur dengan tambahan bracing terlihat pada Gambar 7. Gambar tersebut menunjukkan bahwa struktur aman terhadap efek P-delta dan stabil, baik untuk arah y maupun arah x.



Gambar 7. Grafik Efek P-Delta

Cek ketidakberaturan struktur

Dalam klasifikasi struktur beraturan ataupun tidak beraturan harus ditentukan dari kriteria pasal SNI 1726-2019, yang mencakup ketidakberaturan struktur secara vertikal dan horizontal, tercantum dalam pasal 7.3.2. Hasil analisis seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7 memperlihatkan bahwa struktur masuk kategori teratur dalam arah horizontal, namun terjadi ketidakberaturan dalam arah vertikal di lantai 2.

Tabel 7. Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Struktur

No	Tipe Ketidakberaturan	Hasil
Ketidakberaturan Horizontal		
1	1A	Ada
2	1B	Tidak Ada / Teratur
3	2	Tidak Ada / Teratur
4	3	Tidak Ada / Teratur
5	4	Tidak Ada / Teratur
6	5	Tidak Ada / Teratur
Ketidakberaturan Vertikal		
1	1A	Tidak Ada / Teratur
2	1B	Tidak Ada / Teratur
3	2	Ada
4	3	Tidak Ada / Teratur
5	4	Tidak Ada / Teratur
6	5A	Tidak Ada / Teratur

B. KESIMPULAN

Hasil evaluasi terhadap struktur gedung yang ditinjau di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Struktur gedung eksisting yang dievaluasi berada di kota Salatiga, mempunyai jumlah lantai 4 ukuran 86x21 meter tinggi sekitar 19,45 meter merupakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Namun struktur eksisting mengalami rotasi pada modus getar ke-2 sehingga tidak memenuhi persyaratan SNI 1726-2019 pasal 7.3.3.
2. Struktur gedung yang ditambah bracing mempunyai perilaku modus getar yaitu translasi pada mode ke-1 dan 2 sehingga telah memenuhi SNI gempa tersebut di atas.
3. Kemampuan layan struktur meliputi analisa struktur terhadap beban dinamik (gempa), simpangan antar lantai, analisa P-Delta, serta analisa cek penampang struktur sudah memenuhi ketentuan SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019, maka diperoleh kesimpulan bahwa gedung terbilang aman.
4. Pada ketidakberaturan vertikal struktur gedung hanya mengalami ketidakberaturan di lantai 2.

DAFTAR PUSTAKA

Antonius. (2021). Perilaku Dasar dan Desain Struktur Beton Bertulang. UNISSULA PRESS.

Budiono, B. (2017). "Contoh Desain bangunan Tahan Gempa, Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta", ITB Press.

Enggartiasto, L. dan Antonius (2022). Asesmen Kekuatan dan Tingkat Kelayakan Struktur Gedung Lama Menggunakan Standar Terbaru, Seminar HAKI 23-24 Agustus 2022 – "Ketahanan Gempa pada Bangunan Gedung dan Infrastruktur", Jakarta.

FEMA 356 (2000). "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building".

FEMA 440 (2005). "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures".

Imran, I. & Hendrik, F. (2014). "Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang", ITB Press.

Mosleh, A., Rodrigues, H., Varum, H., and Costa, A. (2016). "Seismic Behavior of RC Building Structures Designed According to Current Codes, Structures, 7,1-13.

Sidi, Indra Djati & Ong, E.H.K. (2020). "Kinerja Bangunan Kaku yang Direncanakan dengan Metoda Statik Ekivalen SNI 1726 – 2019", Webinar HAKI Low Rise Building, 25 November.

SNI 2847-2019 (2019). "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan".

SNI 1726-2019 (2019). "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung".

SNI 1727-2020 (2019). "Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain".

Kumaat, Farren Evangelistha R. E. J., dan Reky S. Windah. (2019). Pengaruh Bracing Pada Bangunan Bertingkat Rangka Baja yang Berdiri di Atas Tanah Miring Terhadap Gempa. Jurnal Sipil Statik.

PENGARUH ORIENTASI KOLOM TERHADAP KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL BANGUNAN

Syafira Nurulita[1*], dan Widodo Pawirodikromo[2]
[1*] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email: 18511126@students.uii.ac.id (Corresponding author)
[2] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email: 785110201@uii.ac.id

ABSTRACT

A column is a structural element of a building that bears the load and transmits it to the ground. Column orientation influences the strength of the column in receiving the load. Column placement has an influence on torsional horizontal irregularities and may cause large internal force values. This study aims to compare several column orientations for their effects on building irregularities using SNI 1726:2019 and FEMA 751 as guidelines. The building is designed in Yogyakarta with Ms. Excel and ETABS V.18. The building model has 15 stories without shear walls with a height of 4 m on each floor. The four types of column orientation consist of Column 1 with dimensions of height (H) 1.2 m and width (B) 1 m, Column 2 with height and width 1 m, Column 3 with height 1 m and width 1.2 m, and Column 4 with height 1.1 m and width 1 m. The types of main beams and sub-beams are divided based on the direction of the building axis. The main beams in X and Y directions have a height of 0.8 m and a width of 0.4 m. The X-direction sub-beam has a height of 0.7 m and a width of 0.35 m, while the Y-direction sub-beam has a height of 0.5 m and a width of 0.25 m. Through this research, the influence of column orientation on the irregularity of the building can be seen. Three of the four column orientations analyzed were found to cause torsional irregularities.

Keywords: Column orientation, FEMA 751, Horizontal irregularity, P-delta, Story drift

A. PENDAHULUAN

Kolom adalah sebuah elemen struktural bangunan yang berfungsi sebagai penahan beban yang kemudian diteruskan ke tanah melalui pondasi. Orientasi kolom dianggap memiliki pengaruh terhadap kekuatan kolom dalam menerima beban. Orientasi kolom yang tepat pada suatu bangunan akan memberikan kontribusi yang baik, efisien, dan optimal pada kekuatan struktur bangunan. Penempatan tampang kolom memiliki pengaruh terhadap nilai inersia kolom, yang juga berbanding lurus terhadap kekakuan struktur. Kekakuan struktur sendiri berbanding terbalik terhadap nilai periode getar bangunan, sehingga apabila periode getar bangunan memiliki nilai yang besar maka simpangan bangunan juga akan menjadi lebih besar, menyebabkan besarnya simpangan antar tingkat (*drift ratio*). Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya ketidakberaturan horizontal torsional serta nilai gaya dalam besar yang dihasilkan oleh elemen struktur, sehingga dapat mempengaruhi kebutuhan tulangan. Oleh karena itu, pengaruh orientasi kolom terhadap ketidakberaturan horizontal struktur perlu dipelajari. Dalam studi ini, pengaruh orientasi kolom terhadap ketidakberaturan bangunan akan diteliti lebih lanjut.

Supit, et al. (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh orientasi sumbu kolom terhadap perilaku struktur akibat suatu pembebanan agar diperoleh orientasi struktur yang terbaik. Fokus

penelitian tersebut membahas tentang respon dinamis struktur bangunan beton bertulang bertingkat 10 dengan variasi orientasi sumbu kolom. Metode yang digunakan adalah pemodelan *ETABS V.13* dengan menghitung simpangan struktur dari model denah struktur berbentuk persegi dan persegi panjang dengan beberapa variasi orientasi sumbu kolom yang berbeda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan untuk denah berbentuk persegi, orientasi kolom terbaik adalah penampang kolom persegi. Sedangkan untuk denah berbentuk persegi panjang, orientasi kolom terbaik adalah penampang kolom yang dimensi panjang kolomnya mengikuti sumbu lemah denah struktur. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi kolom berkaitan erat dengan kekakuan struktur. Namun, karena pemodelan hanya menggunakan 10 lantai, penelitian dapat dibuat pada tinggi kolom yang lebih bervariasi, mengingat pengaruh tinggi kolom struktur pada perhitungan analisis dinamis memberikan pengaruh signifikan.

Sebuah penelitian juga telah dilakukan oleh Handayani (2018) yang membahas pengaruh orientasi penempatan tampang kolom terhadap perilaku struktur dan kebutuhan tulangan pada gedung dengan denah L. Analisis struktur dalam penelitian ini menggunakan metode pemodelan *ETABS V.13*. Penelitian ini menemukan bahwa penempatan tampang kolom harus memperhatikan besar momen inersia kolom. Penempatan arah kolom juga mempengaruhi besarnya gaya-gaya dalam yang ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur. Selain itu, penempatan kolom harus memperhatikan orientasi sumbu utama struktur terhadap denah bangunan. Penelitian ini dilakukan pada denah bangunan asimetris atau ireguler, sehingga penelitian pada denah bangunan regular bertingkat banyak dapat dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan beberapa orientasi kolom atas pengaruh-nya terhadap ketidakberaturan bangunan, baik secara vertikal maupun horizontal. Adapun pedoman (*code*) yang digunakan dalam analisis pengaruh orientasi kolom terhadap ketidakberaturan bangunan ialah SNI (Standar Nasional Indonesia) 1726:2019 dengan menggunakan prosedur analisis yang dicantumkan dalam FEMA 751.

Konfigurasi struktur memiliki peran yang besar sebagai sarana penyaluran beban bangunan dan penggunaannya ke dalam tanah. Hubungan konfigurasi struktur terhadap kinerja seismik/ketahanan gempa dipengaruhi oleh skala bangunan, tinggi bangunan, luas bangunan, proporsi bangunan, simetrisitas bangunan, distribusi dan konsentrasi beban, denah struktur bangunan, sudut bangunan, ketahanan keliling, dan redundansi bangunan (Christopher, 1982). Oleh karena itu, konfigurasi struktur memainkan peran penting dalam kinerja struktur terhadap gaya gempa. Selain itu, penyelidikan pasca-gempa telah mengarahkan pengamatan bahwa bangunan dengan konfigurasi tidak teratur lebih rentan mengalami kerusakan dibanding dengan bangunan yang memiliki konfigurasi bangunan teratur (Elnashai & Di Sarno, 2008).

Penelitian ini dapat bermanfaat bagi perencana dan praktisi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh orientasi sumbu kolom terhadap ketidakberaturan bangunan serta mengetahui orientasi sumbu kolom yang memberikan kontribusi terbaik terhadap kekuatan struktur bangunan dalam merencanakan suatu konstruksi bangunan. Selain itu, bagi peneliti selanjutnya, dapat dilakukan penelitian tentang pengaruh orientasi elemen struktur dengan menambahkan parameter kekuatan bangunan bertingkat lainnya. Penelitian ini pun dibatasi oleh struktur beton bertulang bertingkat 15 tanpa dinding geser (*shear wall*) dengan denah simetris menggunakan 4 model penampang kolom. Kolom pertama memiliki dimensi tinggi (H) 1.2 m dan lebar (B) 1 m, kolom kedua memiliki tinggi (H) dan lebar (B) 1 m, kolom ketiga dengan tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1.2 m, dan kolom keempat

dengan tinggi (H) 1.1 m dan lebar (B) 1 m. Jenis balok yang digunakan dibagi menjadi balok induk dan balok anak, yang kemudian keduanya dibagi menjadi dua jenis berdasarkan arah sumbu bangunan. Balok induk arah sumbu X (BIx) dan balok induk arah sumbu Y (BIy) memiliki dimensi tinggi (H) 0.8 m dan lebar (B) 0.4 m, dengan panjang bentang BIx sebesar 8 m dan panjang bentang BIy 6 m. Balok anak arah sumbu X (BAx) memiliki dimensi tinggi (H) 0.7 m dan lebar (B) 0.35 m dengan panjang bentang 8 m, sedangkan balok anak arah sumbu Y (BAy) memiliki dimensi tinggi (H) 0.5 m dan lebar (B) 0.25 m dengan panjang bentang 6 m. Bangunan yang dimodelkan menggunakan tanah lunak di Kota Yogyakarta. Selain itu, analisis struktur ditinjau menggunakan program *ETABS V.18*.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka judul yang diangkat dalam makalah ini adalah "Pengaruh Orientasi Kolom Terhadap Ketidakberaturan Bangunan".

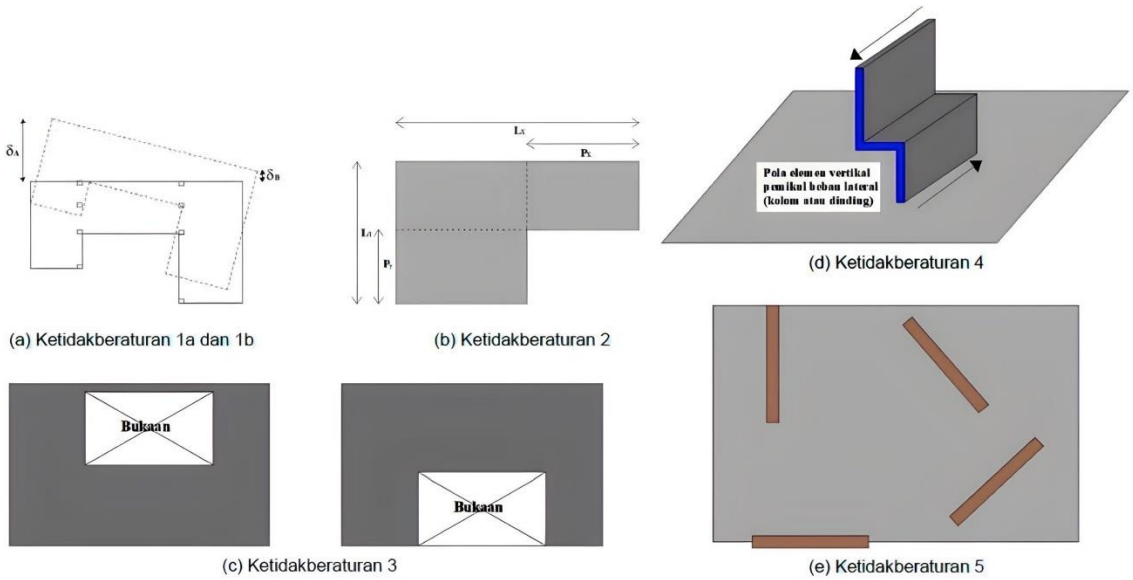
KONTROL KINERJA BERDASARKAN SNI 1726:2019

Kontrol kinerja analisis dan desain bangunan tahan gempa menurut SNI 1726:2019 meliputi ketidakberaturan horizontal dan vertikal, rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*), dan kontrol efek P-delta. Menurut FEMA 751, kontrol kinerja dikhususkan pada tahap 1, sedangkan pada tahap 2 kontrol kinerja hanya dilakukan pada *drift ratio* dan efek P-delta. Pertimbangan desain struktur seismik yang digunakan dalam studi ini diuraikan dalam beberapa tahap menggunakan metode *Equivalent Lateral Force* (ELF). Setelah menentukan data dan klasifikasi parameter situs dan gerakan tanah, koefisien, Kategori Desain Seismik (KDS), periode fundamental, hingga kekuatan seismik menurut ketentuan SNI 1726:2019, dilakukan analisis kinerja bangunan termasuk estimasi dimensi, analisis ketidakberaturan, hingga simpangan tingkat atau *story drift* dan efek P-delta. Pada tahap ini, orientasi dimensi kolom dibuat beberapa variasi sehingga dapat dianalisa pengaruhnya terhadap ketidakberaturan bangunan maupun *story drift* dan efek P-delta.

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria dalam pasal 7.3.2 SNI 1726:2019. Klasifikasi harus didasarkan pada konfigurasi struktur secara horizontal dan vertikal. Dalam analisis ini, ketidakberaturan vertikal tidak ditentukan karena denah bangunan simetris. Struktur yang memiliki satu atau lebih jenis ketidakberaturan sebagaimana tercantum dalam gambar berikut ini harus dinyatakan memiliki ketidakberaturan struktur horizontal.

Ketidakberaturan horizontal dan vertikal

Ketidakberaturan horizontal berdasarkan uraian yang diambil dari SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.



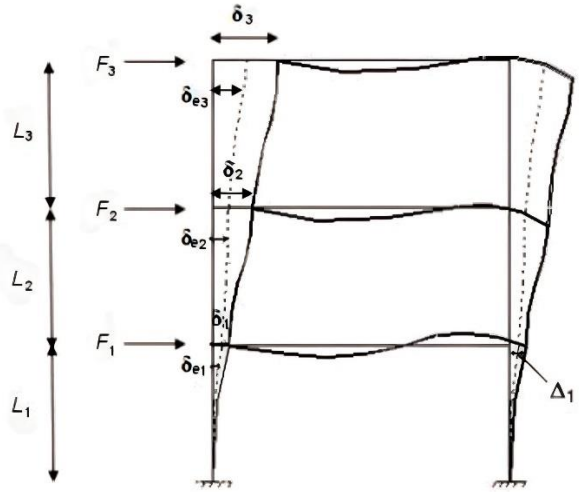
Gambar 1. Ketidakberaturan Horizontal (SNI SNI 1726:2019 Gambar 5, h.60)

Dari Gambar 1, dapat terlihat berbagai macam ketidakberaturan horizontal, termasuk ketidakberaturan torsional yang ditunjukkan pada poin (a). Pada penelitian ini, data *displacement* yang diambil sudah diberikan eksentrisitas sebesar 5% ke masing-masing arah.

Dalam SNI 1726:2019, selain ketidakberaturan horizontal diperlukan juga analisis terhadap ketidakberaturan vertikal. Namun, dikarenakan kesamaan tinggi dan ukuran kolom yang digunakan, ketidakberaturan vertikal tidak ditemukan. Oleh karena itu, penelitian ini tidak mencantumkan analisis ketidakberaturan vertikal.

Simpangan antar tingkat (story drift)

Simpangan antar tingkat berdasarkan uraian yang diambil dari SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Simpangan Antar Tingkat (SNI 1726:2019 Gambar 10, h.75)

Gambar 2 menunjukkan ilustrasi simpangan antar tingkat. Penentuan simpangan tingkat (Δ) atau *story drift* harus dihitung sebagai selisih pusat simpangan massa di atas dan di bawah kelandaian yang dipertimbangkan. Rumus yang digunakan dalam penentuan simpangan tingkat adalah sebagai berikut.

$$\delta_i = \frac{Cd \cdot \delta_{ei}}{I_E} \quad \text{..... (1)}$$

$$\Delta_i = \frac{(\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)})Cd}{I_E} \leq \Delta_a \quad \text{..... (2)}$$

$$\Delta_1 = \delta_{e1} \leq \Delta_a \quad \text{..... (3)}$$

dengan F_i = tingkat kekuatan gaya seismik desain, δ_{ei} = perpindahan elastis akibat gaya seismik desain dari tingkat kekuatan, Δ_i = simpangan tingkat, Δ_i/L_i = rasio simpangan tingkat, dan Δ_a = simpangan tingkat izin.

Kategori simpangan tingkat izin menurut SNI 1726:2019 pada jenis struktur yang digunakan dengan kategori risiko II adalah $0.020h_{sx}$, dengan h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x.

Efek P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen anggota struktural yang dihasilkan, dan pergeseran tingkat yang dihasilkan tidak perlu diperhitungkan jika koefisien stabilitas (θ) sebagaimana ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0.10:

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot Cd} \quad \text{..... (4)}$$

dengan P_x = total beban desain vertikal pada dan di atas tingkat x (kN), Δ = deviasi antar level desain, terjadi bersamaan dengan V_x (mm), dan V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan x–1 (kN).

B. METODOLOGI PENELITIAN

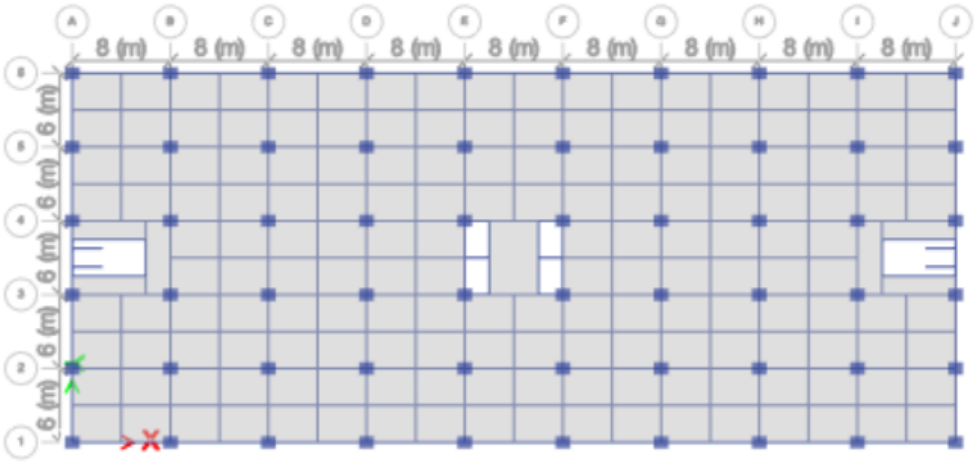
Tempat dan waktu penelitian

Pada penelitian ini model bangunan terletak di Yogyakarta di atas tanah lunak. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode komparatif, yaitu sejenis penelitian deskriptif yang ingin mencari jawaban secara mendasar tentang sebab-akibat, dengan menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya ataupun munculnya suatu fenomena tertentu (Nazir, 2005). Dalam penelitian ini digunakan alat ilmiah, numerik, dan bantuan komputer untuk menganalisa bangunan. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat lunak komputer seperti *Ms. Excel* dan *ETABS V.18*. Data yang digunakan berupa data kuantitatif, yang merupakan data berbentuk angka atau bilangan.

Model struktur

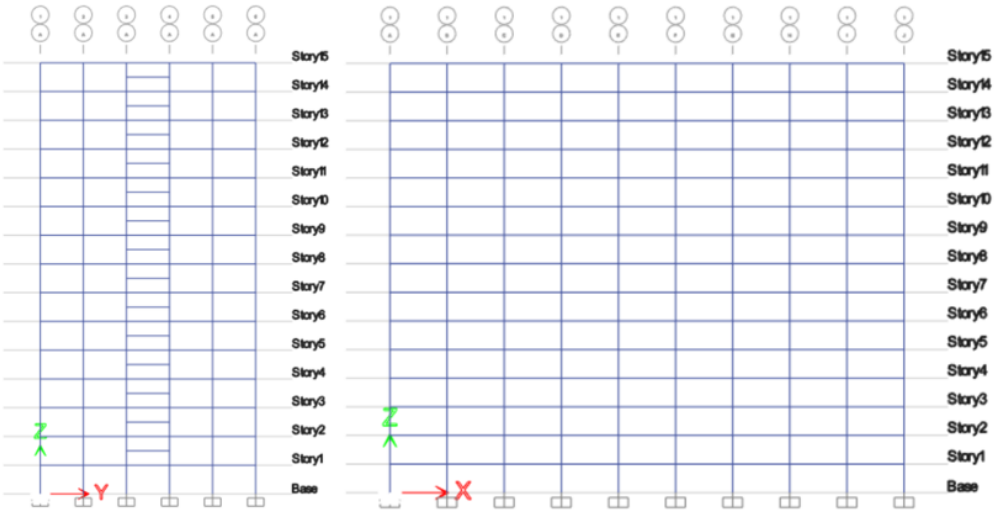
Konfigurasi struktur memiliki peran yang besar sebagai sarana penyaluran beban bangunan dan penggunaannya ke dalam tanah. Menurut Christopher (1982), hubungan konfigurasi struktur terhadap kinerja seismik/ketahanan gempa dipengaruhi oleh skala bangunan, tinggi bangunan, luas bangunan, proporsi bangunan, simetrisitas bangunan, distribusi dan konsentrasi beban, denah struktur bangunan, sudut bangunan, ketahanan keliling, dan redundansi bangunan. Oleh karena itu, konfigurasi struktur memainkan peran penting dalam kinerja struktur terhadap gaya gempa. Penyelidikan pasca-gempa telah mengarahkan pengamatan bahwa bangunan dengan konfigurasi tidak teratur lebih rentan mengalami kerusakan dibanding dengan bangunan yang memiliki konfigurasi bangunan teratur (Elnashai & Di Sarno, 2008).

Bangunan yang digunakan dalam penelitian ini dirancang sebagai bangunan 15 lantai dengan tinggi setiap lantai 4 m, yang akan terkena beban dinamis eksternal. Beban dinamis dipertimbangkan karena pengaruhnya terhadap respon struktur akan lebih besar dibanding pengaruh beban statik (Widodo, 2000). Model struktur yang digunakan dalam penelitian ini dirancang tanpa menggunakan dinding geser (*shear wall*) untuk mengurangi kompleksitas bangunan serta meminimalisir durasi penelitian.



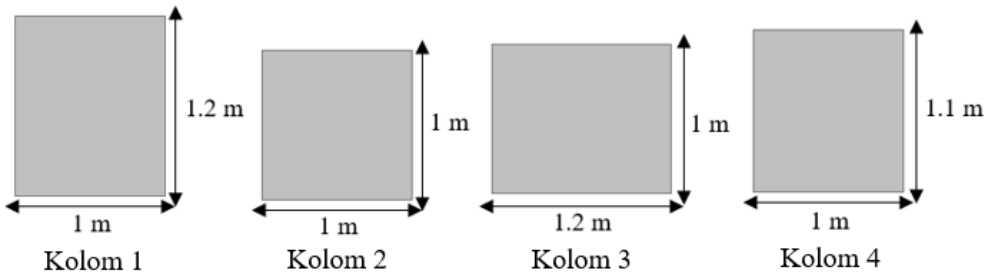
Gambar 3. Denah Bangunan

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, model struktur yang digunakan dalam perancangan memiliki denah yang simetris dengan panjang total arah sumbu X sebesar 72 m dan lebar total arah sumbu Y sebesar 30 m.



Gambar 4. Tampak Samping (Y-Z) dan Depan (X-Z) Bangunan

Gambar 4 menunjukkan tampak samping bangunan pada sumbu Y-Z serta tampak depan bangunan pada sumbu X-Z. Pada penelitian ini, digunakan empat jenis orientasi kolom yang berbeda. Kolom yang pertama memiliki dimensi tinggi (H) 1.2 m dan lebar (B) 1 m. Kolom kedua memiliki tinggi (H) dan lebar (B) 1 m, kolom ketiga dengan tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1.2 m, dan kolom keempat dengan tinggi (H) 1.1 m dan lebar (B) 1 m. Keempat dimensi ini digunakan atas dasar pertimbangan pengaruhnya terhadap ketidakberaturan bangunan. Kolom 1 dan Kolom 3 dipertimbangkan karena memiliki orientasi sumbu kolom yang berlawanan sebagai panel persegi panjang. Kolom 2 digunakan sebagai pertimbangan penggunaan kolom panel persegi, dan Kolom 4 ditujukan untuk menganalisa akibat apabila dimensi tinggi (H) Kolom 1 dikurangi.



Gambar 5. Variasi Orientasi Kolom

Dimensi keempat jenis orientasi kolom dapat dilihat pada Gambar 5. Selain dimensi kolom, pada penelitian ini digunakan dua jenis balok induk dan dua jenis balok anak. Balok induk pertama (BIx) yang digunakan pada arah sumbu X bangunan memiliki dimensi tinggi (H) 0.8 m dan lebar (B) 0.4 m, dengan panjang bentang 8 m. Balok induk kedua (BIy) yang digunakan pada arah sumbu Y bangunan memiliki dimensi tinggi (H) lebar (B) yang sama dengan BIx, namun dengan panjang bentang 6 m. Balok anak arah sumbu X (BAx) memiliki dimensi tinggi (H) 0.7 m dan lebar (B) 0.35 m, dengan panjang bentang 8 m. Sedangkan balok anak arah sumbu Y (BAy) memiliki dimensi tinggi (H) 0.5 m dan lebar (B) 0.25 m, dengan panjang bentang 6 m.

Sebuah struktur bangunan dengan semua elemennya hanya dapat dicapai setelah perencanaan ekstensif yang umumnya dibagi menjadi dua tahap perencanaan. Namun, penelitian ini hanya di-analisa menggunakan tahap pertama. Tahap ini mempertimbangkan lokasi bangunan, pendudukan bangunan, faktor kepentingan, spektrum respons, kategori desain seismik, dan metode analisis beserta parameternya. Setelah analisis struktural, sangat penting untuk memeriksa ketidakberaturan horizontal bangunan, rasio penyimpangan antar tingkat, serta efek P-delta.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketidakberaturan horizontal

Hasil analisis ketidakberaturan horizontal tipe 1 (torsional) pada keempat kolom adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Kolom 1

Lantai	Arah X						Arah Y					
	δA	δB	ΔA	ΔB	Cek		δA	δB	ΔA	ΔB	Cek	
	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status
15	144.15	153.97	4.03	4.27	1.029	Regular	114.55	171.15	2.90	4.30	1.195	Regular
14	140.12	149.71	5.23	5.57	1.031	Regular	111.66	166.85	3.97	5.90	1.196	Regular
13	134.89	144.14	6.70	7.13	1.032	Regular	107.69	160.96	5.21	7.75	1.196	Regular
12	128.19	137.01	8.16	8.70	1.032	Regular	102.48	153.21	6.40	9.53	1.197	Regular
11	120.03	128.30	9.50	10.14	1.032	Regular	96.09	143.67	7.45	11.12	1.198	Regular
10	110.53	118.16	10.67	11.38	1.032	Regular	88.63	132.55	8.35	12.47	1.198	Regular
9	99.86	106.78	11.63	12.41	1.032	Regular	80.28	120.08	9.08	13.58	1.198	Regular
8	88.23	94.38	12.38	13.21	1.032	Regular	71.20	106.50	9.66	14.44	1.199	Regular
7	75.86	81.17	12.90	13.77	1.033	Regular	61.55	92.06	10.07	15.07	1.199	Regular
6	62.96	67.41	13.17	14.06	1.033	Regular	51.47	76.99	10.33	15.46	1.199	Regular
5	49.79	53.34	13.13	14.03	1.033	Regular	41.15	61.53	10.39	15.55	1.199	Regular
4	36.66	39.32	12.63	13.50	1.034	Regular	30.76	45.98	10.17	15.22	1.199	Regular
3	24.03	25.81	11.37	12.19	1.035	Regular	20.59	30.76	9.43	14.10	1.199	Regular
2	12.66	13.62	8.81	9.47	1.036	Regular	11.16	16.66	7.64	11.40	1.198	Regular
1	3.85	4.15	3.85	4.15	1.038	Regular	3.53	5.26	3.53	5.26	1.197	Regular

Dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 1, tidak ditemukan ketidakberaturan torsional tipe 1 pada arah X maupun arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa pada orientasi kolom dengan ukuran tinggi (H) 1.2 m dan lebar (B) 1 m tidak terdapat simpangan antar tingkat maksimum di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu X maupun Y yang melebihi 1.2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

Tabel 2. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Kolom 2

Lantai	Arah X						Arah Y					
	δA	δB	ΔA	ΔB	Cek		δA	δB	ΔA	ΔB	Cek	
	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status
15	147.98	157.86	3.43	3.66	1.032	Regular	112.91	169.82	2.76	4.09	1.193	Regular
14	144.54	154.20	4.87	5.20	1.032	Regular	110.15	165.73	3.86	5.74	1.196	Regular
13	139.67	149.00	6.53	6.96	1.032	Regular	106.29	159.99	5.10	7.62	1.198	Regular
12	133.14	142.04	8.12	8.66	1.032	Regular	101.19	152.37	6.28	9.41	1.199	Regular
11	125.03	133.38	9.53	10.16	1.032	Regular	94.91	142.97	7.32	10.98	1.200	1a Irregular
10	115.50	123.22	10.73	11.44	1.032	Regular	87.59	131.99	8.20	12.31	1.201	1a Irregular
9	104.77	111.78	11.71	12.49	1.032	Regular	79.40	119.68	8.91	13.39	1.201	1a Irregular
8	93.07	99.30	12.48	13.31	1.032	Regular	70.49	106.29	9.46	14.24	1.201	1a Irregular
7	80.58	85.99	13.06	13.92	1.032	Regular	61.03	92.05	9.87	14.86	1.202	1a Irregular
6	67.53	72.07	13.42	14.32	1.032	Regular	51.16	77.19	10.13	15.26	1.202	1a Irregular
5	54.10	57.75	13.55	14.45	1.032	Regular	41.03	61.94	10.21	15.39	1.202	1a Irregular
4	40.55	43.30	13.31	14.20	1.032	Regular	30.82	46.55	10.04	15.15	1.203	1a Irregular
3	27.24	29.10	12.41	13.25	1.033	Regular	20.78	31.40	9.40	14.19	1.203	1a Irregular
2	14.83	15.85	10.12	10.81	1.033	Regular	11.38	17.20	7.73	11.68	1.204	1a Irregular
1	4.72	5.05	4.72	5.05	1.034	Regular	3.65	5.53	3.65	5.53	1.204	1a Irregular

Dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 2, tidak ditemukan ketidakberaturan torsional tipe 1 pada arah X, namun pada arah Y di lantai 1 hingga 11 ditemukan ketidakberaturan tipe 1a. Hal ini menunjukkan bahwa pada orientasi kolom dengan ukuran tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1 m terdapat simpangan antar tingkat maksimum di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu Y yang melebihi 1.2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

Tabel 3. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Kolom 3

Lantai	Arah X						Arah Y					
	δA	δB	ΔA	ΔB	Cek		δA	δB	ΔA	ΔB	Cek	
	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status
15	150.47	160.03	3.68	3.93	1.033	Regular	109.56	164.66	3.13	4.61	1.191	Regular
14	146.79	156.10	5.08	5.42	1.032	Regular	106.43	160.04	4.05	6.01	1.195	Regular
13	141.70	150.68	6.72	7.16	1.031	Regular	102.38	154.03	5.16	7.69	1.197	Regular
12	134.98	143.52	8.32	8.85	1.031	Regular	97.22	146.34	6.25	9.35	1.198	Regular
11	126.66	134.66	9.75	10.37	1.031	Regular	90.97	137.00	7.25	10.86	1.199	Regular
10	116.91	124.29	10.97	11.67	1.031	Regular	83.72	126.14	8.10	12.15	1.200	Regular
9	105.95	112.62	11.98	12.74	1.031	Regular	75.62	113.99	8.81	13.22	1.200	1a Irregular
8	93.97	99.88	12.77	13.58	1.031	Regular	66.82	100.77	9.35	14.04	1.201	1a Irregular
7	81.21	86.30	13.34	14.19	1.031	Regular	57.47	86.73	9.73	14.62	1.201	1a Irregular
6	67.86	72.11	13.70	14.57	1.031	Regular	47.74	72.11	9.93	14.94	1.202	1a Irregular
5	54.16	57.54	13.78	14.66	1.031	Regular	37.82	57.17	9.90	14.91	1.202	1a Irregular
4	40.38	42.88	13.46	14.31	1.030	Regular	27.92	42.26	9.54	14.40	1.203	1a Irregular
3	26.92	28.58	12.42	13.19	1.030	Regular	18.37	27.86	8.64	13.07	1.204	1a Irregular
2	14.50	15.39	9.96	10.57	1.030	Regular	9.73	14.79	6.75	10.25	1.206	1a Irregular
1	4.54	4.81	4.54	4.81	1.029	Regular	2.98	4.54	2.98	4.54	1.207	1a Irregular

Dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 3, tidak ditemukan ketidakberaturan torsional tipe 1 pada arah X, namun pada arah Y di lantai 1 hingga 9 ditemukan ketidakberaturan tipe 1a. Hal

ini menunjukkan bahwa pada orientasi kolom dengan ukuran tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1.2 m terdapat simpangan antar tingkat maksimum di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu Y yang melebihi 1.2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

Tabel 4. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Kolom 4

Lantai	Arah X						Arah Y					
	δA	δB	ΔA	ΔB	Cek		δA	δB	ΔA	ΔB	Cek	
	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status	mm	mm	mm	mm	Δmax/Δavg	Status
15	145.83	155.67	3.71	3.95	1.030	Regular	113.65	170.37	2.83	4.19	1.194	Regular
14	142.11	151.73	5.03	5.36	1.031	Regular	110.82	166.18	3.91	5.81	1.196	Regular
13	137.08	146.37	6.59	7.03	1.032	Regular	106.91	160.37	5.15	7.68	1.197	Regular
12	130.49	139.35	8.12	8.66	1.032	Regular	101.76	152.69	6.33	9.46	1.198	Regular
11	122.38	130.69	9.50	10.13	1.032	Regular	95.43	143.23	7.38	11.04	1.199	Regular
10	112.88	120.56	10.68	11.39	1.032	Regular	88.05	132.19	8.27	12.38	1.199	Regular
9	102.20	109.17	11.65	12.43	1.032	Regular	79.78	119.80	8.99	13.48	1.200	Regular
8	90.55	96.74	12.42	13.25	1.032	Regular	70.79	106.33	9.55	14.33	1.200	1a Irregular
7	78.13	83.49	12.97	13.84	1.032	Regular	61.24	92.00	9.97	14.96	1.200	1a Irregular
6	65.16	69.65	13.30	14.19	1.032	Regular	51.28	77.04	10.22	15.35	1.201	1a Irregular
5	51.86	55.46	13.34	14.24	1.033	Regular	41.06	61.69	10.30	15.47	1.201	1a Irregular
4	38.52	41.22	12.97	13.86	1.033	Regular	30.76	46.23	10.10	15.18	1.201	1a Irregular
3	25.55	27.36	11.88	12.71	1.034	Regular	20.66	31.05	9.41	14.14	1.201	1a Irregular
2	13.66	14.66	9.43	10.10	1.035	Regular	11.25	16.91	7.67	11.53	1.201	1a Irregular
1	4.24	4.56	4.24	4.56	1.036	Regular	3.58	5.38	3.58	5.38	1.201	1a Irregular

Dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4, tidak ditemukan ketidakberaturan torsional tipe 1 pada arah X, namun pada arah Y di lantai 1 hingga 8 ditemukan ketidakberaturan tipe 1a. Hal ini menunjukkan bahwa pada orientasi kolom dengan ukuran tinggi (H) 1.1 m dan lebar (B) 1 m terdapat simpangan antar tingkat maksimum di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu Y yang melebihi 1.2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

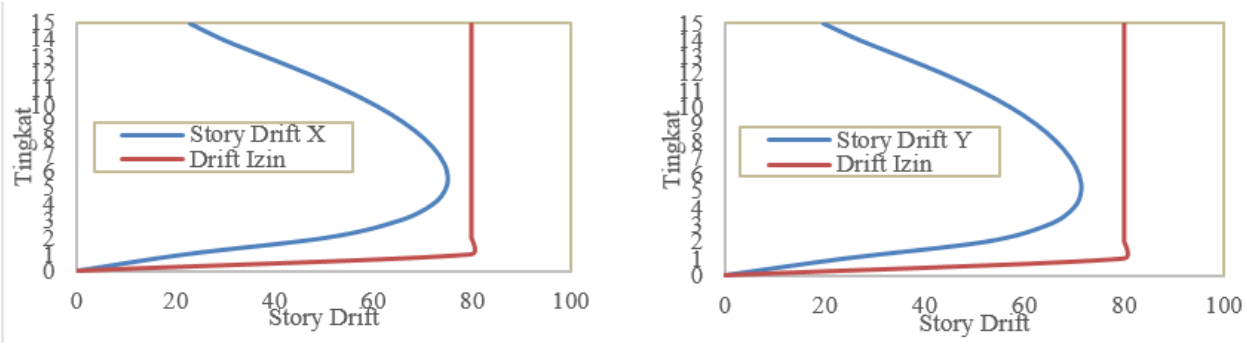
Dari seluruh hasil analisis yang ditunjukkan pada tabel-tabel di atas, ditemukan ketidakberaturan torsional 1a arah Y pada kolom 2, 3, dan 4. Hal ini membuktikan adanya pengaruh orientasi kolom terhadap ketidakberaturan horizontal tipe 1 (ketidakberaturan torsional).

Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap ketidakberaturan horizontal tipe 2 yang merupakan ketidakberaturan sudut dalam yang terjadi ketika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Pada denah bangunan yang digunakan tidak terdapat sudut dalam, sehingga ketidakberaturan horizontal tipe 2 tidak terjadi. Kemudian, dilakukan analisis terhadap ketidakberaturan horizontal tipe 3 yang merupakan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma yang terjadi ketika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. Pada denah bangunan yang digunakan, setiap lantainya hanya memiliki daerah terbuka sebesar 2.78% dari diafragma, sehingga dapat ditetapkan bahwa ketidakberaturan horizontal tipe 3 tidak terjadi. Setelah itu, dilakukan juga analisis terhadap ketidakberaturan horizontal tipe 4 yang merupakan ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus bidang yang terjadi ketika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Pada bangunan yang digunakan dalam analisis, tidak terdapat pergeseran tegak lurus bidang, sehingga dapat ditetapkan bahwa ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak terjadi. Terakhir, dilakukan analisis terhadap ketidakberaturan horizontal tipe 5 yang

merupakan ketidakberaturan sistem nonparalel yang terjadi ketika terdapat elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Pada denah bangunan yang digunakan tidak terdapat elemen vertikal yang tidak paralel, sehingga dapat ditetapkan bahwa ketidakberaturan horizontal tipe 5 tidak terjadi.

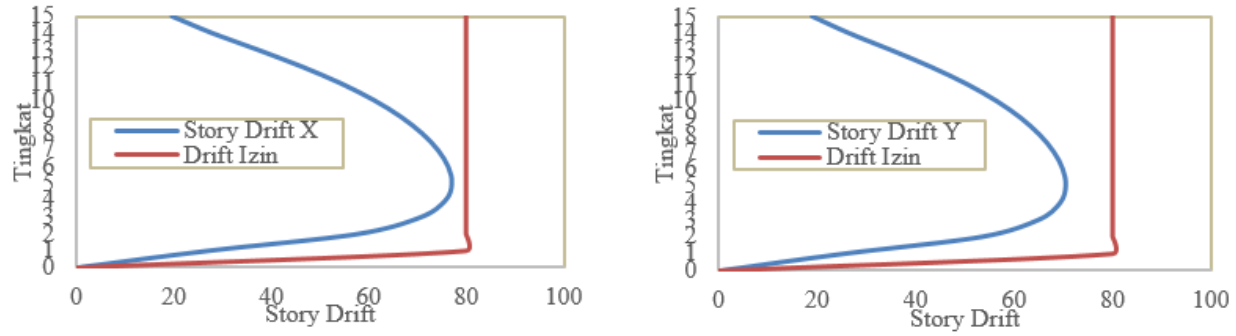
Simpangan antar tingkat (story drift)

Dari hasil analisa simpangan antar tingkat atau *story drift*, didapatkan grafik berikut dari keempat jenis kolom.



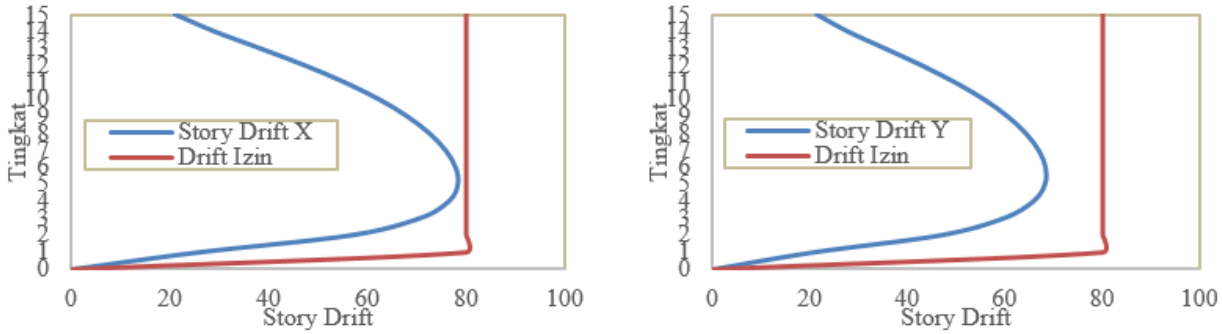
Gambar 6. Simpangan Tingkat Kolom 1 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 6, terlihat bahwa simpangan antar tingkat atau *story drift* pada pusat massa bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1.2 m dan lebar (B) 1 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa struktur bangunan dengan kolom tipe 1 pada arah X memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan arah Y.



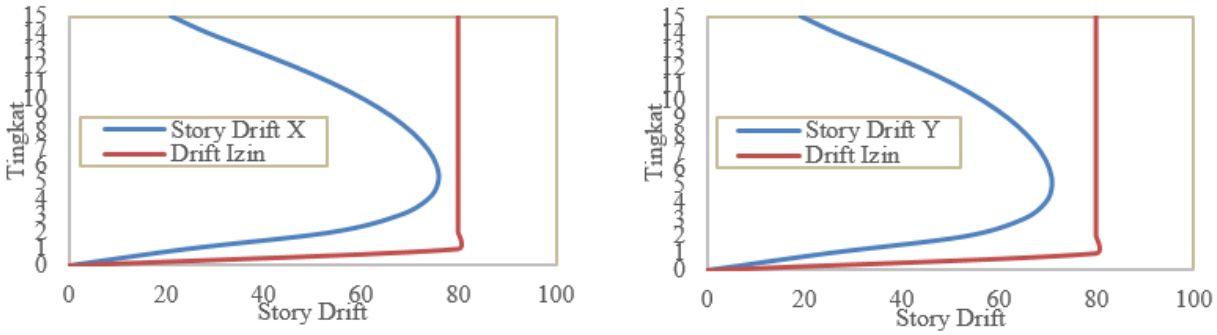
Gambar 7. Simpangan Tingkat Kolom 2 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 7, terlihat bahwa simpangan antar tingkat atau *story drift* pada pusat massa bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Seperti halnya pada kolom tipe 1, hal ini menunjukkan bahwa struktur bangunan dengan kolom tipe 2 pada arah X memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan arah Y.



Gambar 8. Simpangan Tingkat Kolom 3 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 8, terlihat bahwa simpangan antar tingkat atau *story drift* pada pusat massa bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1.2 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Seperti halnya pada kolom tipe 1 dan 2, hal ini menunjukkan bahwa struktur bangunan dengan kolom tipe 3 pada arah X memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan arah Y.

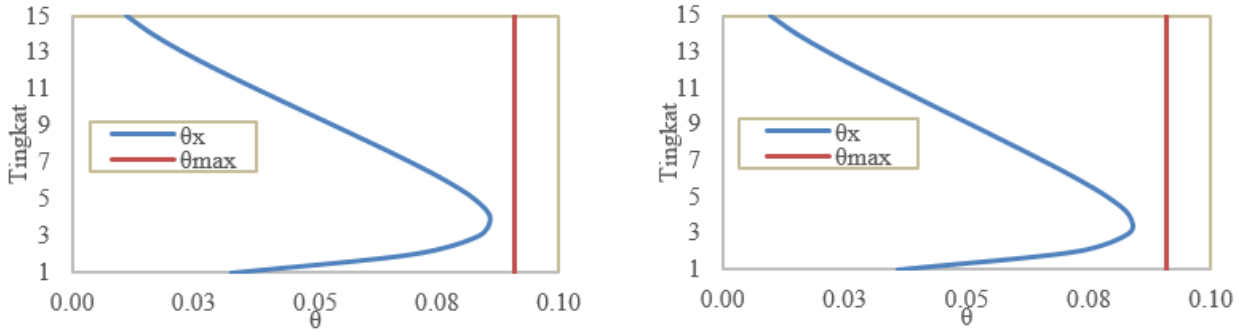


Gambar 9. Simpangan Tingkat Kolom 4 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 9, terlihat bahwa simpangan antar tingkat atau *story drift* pada pusat massa bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1.1 m dan lebar (B) 1 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Seperti halnya pada kolom tipe 1, 2, dan 3, hal ini menunjukkan bahwa struktur bangunan dengan kolom tipe 4 pada arah X memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Dari grafik yang telah disajikan pada gambar di atas, terlihat bahwa simpangan antar tingkat atau *story drift* pada pusat massa bangunan pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y pada keempat orientasi kolom. Pada grafik juga terlihat bahwa perbedaan orientasi kolom menyebabkan perbedaan besarnya simpangan antar tingkat.

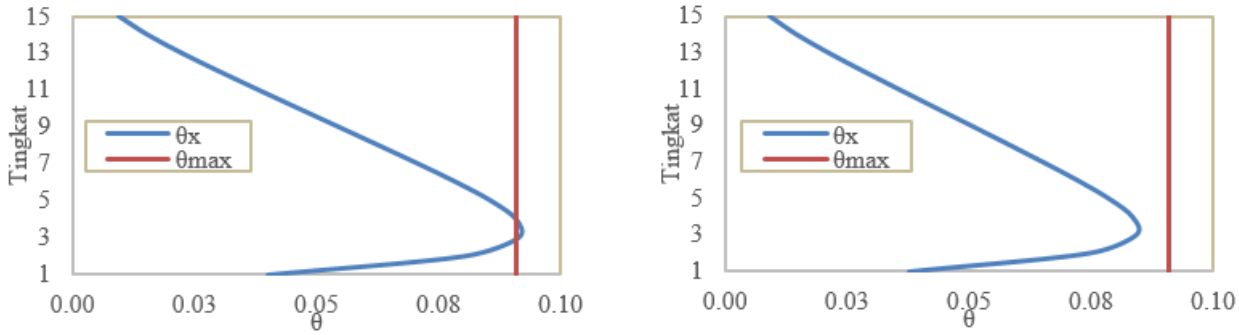
P-Delta

Dari hasil analisa pengaruh efek P-delta, didapatkan grafik berikut dari keempat jenis kolom.



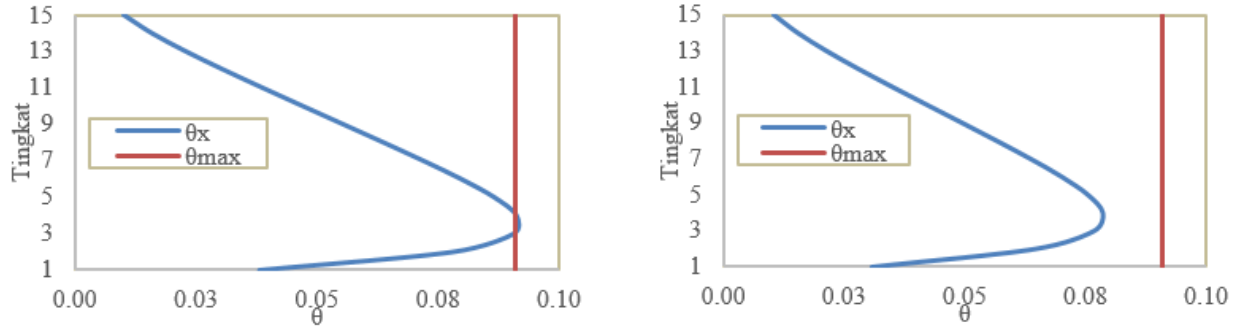
Gambar 10. P-Delta Kolom 1 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 10, terlihat bahwa pengaruh P-delta pada bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1.2 m dan lebar (B) 1 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh P-delta berbanding lurus terhadap simpangan antar tingkat maupun kekakuan.



Gambar 11. P-Delta Kolom 2 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

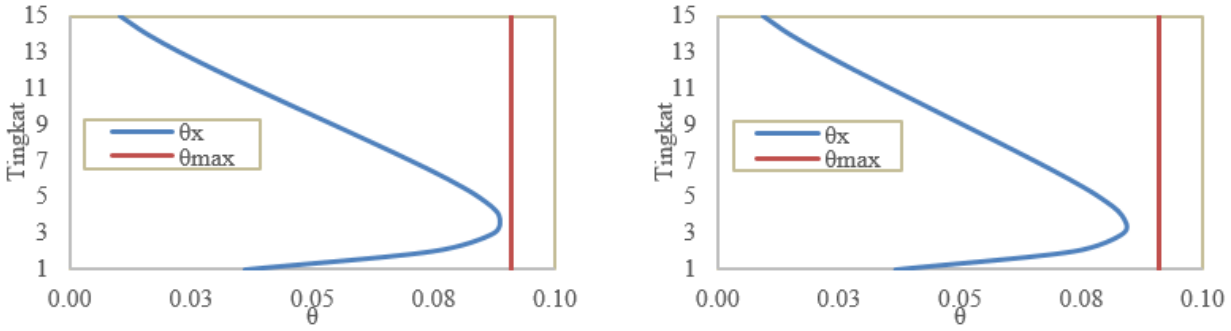
Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 11, terlihat bahwa pengaruh P-delta pada bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Grafik pengaruh P-delta pada kolom tipe 2 menunjukkan bahwa koefisien stabilitas pada tingkat 3 dan 4 melebihi batas maksimum. Seperti halnya pada kolom tipe 1, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh P-delta berbanding lurus terhadap simpangan antar tingkat maupun kekakuan.



Gambar 12. P-Delta Kolom 3 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 12, terlihat bahwa pengaruh P-delta pada bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1 m dan lebar (B) 1.2 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Grafik pengaruh P-delta pada kolom tipe 3 menunjukkan

bahwa koefisien stabilitas pada tingkat 4 melebihi batas maksimum. Seperti halnya pada kolom tipe 1 dan 2, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh P-delta berbanding lurus terhadap simpangan antar tingkat maupun kekakuan.



Gambar 13. P-Delta Kolom 4 Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Dari grafik yang telah disajikan pada Gambar 13, terlihat bahwa pengaruh P-delta pada bangunan dengan orientasi kolom yang memiliki tinggi (H) 1.1 m dan lebar (B) 1 m pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y. Seperti halnya pada kolom tipe 1, 2, dan 3, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh P-delta berbanding lurus terhadap simpangan antar tingkat maupun kekakuan. Dari grafik yang telah disajikan pada gambar di atas, terlihat bahwa pengaruh P-delta pada pada arah X lebih besar dibandingkan dengan arah Y pada keempat orientasi kolom. Pada grafik juga terlihat bahwa perbedaan orientasi kolom menyebabkan perbedaan besarnya pengaruh P-delta.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah diuraikan, walaupun denah struktur termasuk simetri terhadap dua arah, tetapi orientasi kolom memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap ada atau tidak adanya ketidakberaturan horizontal suatu bangunan, khususnya ketidakberaturan torsional. Dari empat orientasi kolom yang dianalisa, tiga diantaranya menyebabkan ketidakberaturan torsional terhadap bangunan di beberapa lantai bawah. Berhubungan dengan ketidakberaturan torsional, simpangan antar tingkat yang dianalisa pada pusat massa bangunan menunjukkan bahwa variasi orientasi kolom cukup berpengaruh terhadap besarnya simpangan, meskipun pada arah X terlihat simpangan yang lebih besar daripada arah Y. Analisis koefisien stabilitas pada analisis pengaruh P-delta juga menunjukkan pengaruh variasi orientasi kolom. Karena penelitian ini terbatas pada bangunan 15 tingkat tanpa dinding geser (*shear wall*) dan menggunakan 4 model orientasi kolom, penelitian selanjutnya dapat memvariasikan jumlah tingkat dan menambahkan dinding geser serta menggunakan model orientasi kolom yang lebih bervariasi juga.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. s.l.:Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional, 2020. SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. s.l.:Badan Standardisasi Nasional.

Christopher, A., 1982. Building Configuration Influences and Seismic Design. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.

Elnashai, A. S. & Di Sarno, L., 2008. Fundamentals of Earthquake Engineering. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2012. FEMA P-751 2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples. s.l.:FEMA.

Handayani, E. M., 2018. Pengaruh Orientasi Penempatan Tampang Kolom Terhadap Perilaku Struktur Dan Kebutuhan Tulangan Pada Gedung Dengan Denah L. Yogyakarta: s.n.

Nazir, M., 2005. Metode Penelitian. Jakarta: Ghalia Indonesia.

Supit, N. W. A., Sumajouw, M. D. J., Tamboto, W. J. & Dapas, S. O., 2013. Respon Dinamin Struktur Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Dengan Variasi Orientasi Sumbu Kolom. Jurnal Sipil Statik, 1(11), pp. 696-704.

Wantalangie, R. O. F., Pangouw, J. D. & Windah, R. S., 2016. Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012 Dengan Variasi Jumlah Tingkat. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.8, pp. 471-480.

Widodo, 2000. Respons Dinamik Struktur Elastik. Yogyakarta: UII Press.

ANALISIS KETAHANAN BETON DENGAN PEMAKAIAN *FLY ASH* LOLOS SARINGAN 400 TERHADAP PERENDAMAN ASAM SULFAT

Rasyid Priambodho[1*], Mochamad Solikin[2]
[1*]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57169, Jawa Tengah, Indonesia
Email: rasyidpriambodho@gmail.com (Corresponding author)
[2] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57169, Jawa Tengah, Indonesia
Email: msolikin@ums.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah abu terbang *fly ash* pada penelitian ini bertujuan untuk mengolah limbah ini sebagai substitusi semen. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Makalah ini membahas pengaruh penambahan *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan sebanyak 20% dari berat semen yang ditinjau dari nilai kuat tekan dan absorbsi pada umur 30 dan 60 hari pada lingkungan sulfat. Dalam pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sedangkan dalam pengujian absorbsi menggunakan benda uji dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang dibagi 3 bagian. Hasil pengujian kuat tekan beton normal sebesar 7,78%, beton dengan substitusi *fly ash* sebesar 7,67% dan beton dengan substitusi *fly ash* yang dihaluskan sebesar 8,02%. Hasil ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya beton dengan *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan yang dapat meningkatkan kuat tekan lebih dari beton normal. Untuk hasil pengujian absorbsi beton normal sebesar 8,48%, beton dengan *fly ash* sebesar 8,42%, sedangkan beton dengan *fly ash* yang dihaluskan sebesar 6,53%. Penyerapan paling kecil nilainya pada sampel FAH dengan tambahan *fly ash* yang dihaluskan memiliki nilai absorbsi sebesar 6,53%. Dengan hasil tersebut penambahan *fly ash* 20% tidak mempengaruhi kuat tekan akan tetapi untuk pengujian absorbsi sangat berpengaruh jika berada di lingkungan sulfat.

Kata kunci: absorbsi, *fly ash*, *fly ash* lolos saringan 400, kuat tekan.

A. PENDAHULUAN

Beton ialah material yang sering dipergunakan dalam bidang konstruksi, salah satu alasan pemilihan beton sebagai material konstruksi karena bahannya yang tidak sulit dibentuk menjadi barang yang diperlukan, daya tahan yang panjang dan mudah dirawat secara sederhana dan murah. Pemilihan material sangat menentukan kualitas beton yang dihasilkan. Pemilihan material itu selain dengan menentukan komposisi campuran yang benar, juga membuat ide lainnya, misalnya menambahkan bahan tertentu agar dapat melengkapi keperluan konstruksi khususnya pada lingkungan tertentu.

Dikarenakan produksi beton di Indonesia rata-rata menggunakan semen sebagai bahan campuran karena ketahanan dan durabilitas dari semen itu sendiri, tetapi produksi semen yang berlebihan akan menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Dampak lingkungan yang disebabkan oleh Industri semen yaitu berupa limbah gas dan limbah partikel. Sementara itu pembelian semen nasional hingga Juni 2021 mengalami peningkatan sebesar 7.3%. hal tersebut berawal dari pembelian produk kemasan yang meningkat 10% sampai bulan Juni 2021, namun pembelian produk curah cenderung mengalami penurunan sehingga terjadinya peningkatan pada porsi pembelian produk kemasan yang mencapai 79% sampai pada bulan Juni 2021 (PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, 2021)

Beton banyak digunakan karena memiliki daya tahan (durability) yang baik. Terdapat beberapa unsur yang menjadi penyebab menurunnya daya tahan beton, seperti sulfat yang menyerang beton yang ada di bawah tanah atau ion klorida yang menyerang beton saat berada di air laut (Louis & Hardjito, 2004). Lingkungan yang memiliki kandungan kimia asam dengan perlahan dapat mengikis beton dimulai dari tepi beton dan partikel-partikel beton tersebut akan terlepas menyebabkan beton keropos (Waworuntu, 2019). Dari pernyataan Louis & Hardjito, (2004) dan Waworuntu, (2019) maka inovasi yang dilakukan adalah menambahkan bahan campur *Fly ash* untuk mengurangi produksi semen di Indonesia.

Fly ash yaitu limbah industri batu bara yang berbentuk abu terbang yang tidak dimanfaatkan dengan sempurna, dan tidak menutup kemungkinan menyebabkan permasalahan lingkungan. Maka dari itu, harus diupayakan memanfaatkan limbah abu terbang dalam penelitian ini sebagai bahan tambah pada pembuatan beton, yaitu pengurangan jumlah penggunaan semen dalam bahan campuran beton dengan tidak menurunkan kualitas beton serta meningkatkan sifat beton kedap air. Bahan mineral pembantu secara umum bersifat pozzolanik yakni munculnya reaksi apabila dilepaskannya kapur bebas pada semen dalam prosesi hidrasi dan menciptakan senyawa dengan sifat mengikat pada temperatur normal dengan terdapatnya air. Partikel abu-abu terbang batu bara sejenis sub bituminous berukuran 0,01mm hingga 0,015mm, luas permukaan 1-2m2/g, bentuk partikel *mostly spherical*, yakni kebanyakan memiliki bentuk bola yang dapat memunculkan kelecek-kan yang sesuai (Setiawati, 2018). Fly ash digolongkan menjadi tiga kelas berdasarkan kandungan kimia yang ada pada *fly ash* tersebut yaitu kelas F, *fly ash* kelas C, *fly ash* kelas N SNI 2460-2014, 2014. Komponen utama *fly ash* batu bara adalah *silica* (SiO_2), *alumina* (Al_2O_3), *kalsium* (CaO); dan magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah sedikit. Dari kandungan yang terdapat pada *fly ash* tersebut diharapkan mampu menahan dari serangan zat kimia seperti asam sulfat. Hal tersebut kemungkinan dapat menyebabkan meningkatnya kekuatan dan daya tahan beton. *Fly ash* sebagai *admixture* banyak dipergunakan karena terbukti dapat memperbaiki karakteristik beton basah ataupun beton keras (Sear, 2010).

Terdapat beberapa macam asam yang menyebabkan kerusakan pada beton, salah satunya ialah asam sulfat (H2SO4) yang sangat peka pada beton. Zuquan dkk, (2007) mendefinisikan asam sulfat sebagai senyawa kimia yang tercipta secara alami di permukaan dan air tanah, asam sulfat ini juga senyawa yang mudah ditemukan di lingkungan sekitar karena tingginya sifat agresifnya daripada asam-asam lain. Bahan-bahan mineral yang melarut pada air tanah mengandung kation, di antaranya kalsium, magnesium, mangan, besi dan anion sulfat, karbontiroksida serta biokarbonat (Susana, 2003) Sulfat juga menjadi suatu anion yang paling banyak terdapat pada air (Erviana dkk 2019). Secara umum, beton mempunyai perlindungan tingkat tinggi terhadap korosi. Beton dengan rendahnya unsur air semen dan dirawat dengan tepat akan mempunyai rendahnya permeabilitas yang akan menurunkan penetrasi faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya korosi, seperi oksigen (O2), ion klorida (Cl-), karbondioksida (CO2), ion sulfat (SO42-), air (H20) dan lain-lain. Tingginya kualitas beton akan mempengaruhi rendahnya permeabilitas. Dengan demikian, tereksposnya ke lingkungan korosif akan menurun (Siregar & Atur, 2006)

Kehalusan *fly ash* akan memperbaiki sifat-sifat fisik dan mekanik beton baik pada beton segar maupun beton keras dan mempunyai tingkat durabilitas yang semakin baik (Dhole dkk 2009). Kuat tekan mortar yang dibuat dengan menggunakan *fly ash* yang dihaluskan lebih tinggi dibandingkan yang dibuat dengan menggunakan *fly ash* yang tidak dihaluskan (Chindaprasirt dkk 2004)

Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Chindaprasirt dkk 2004) dengan judul "*Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar*" dengan campuran mortar yang terdiri dari semen, pasir, air dan *fly ash* yang dihaluskan dengan cara pengayakan dan dengan menggunakan separator udara menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan *fly ash* tanpa proses penghalusan. Maka dari penelitian tersebut penulis melakukan modifikasi terhadap metode penghalusan *fly ash* dengan menggunakan saringan No.400.

B. METODE

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil. Masalah penelitian ini dibatasi hanya untuk mengetahui pengaruh tambahan *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan pada beton normal. Yang ditinjau dari kuat tekan dan absorbsi di lingkungan asam sulfat. Makalah ini membahas mengenai pengaruh substitusi *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan sebesar 20% dari penggunaan semen. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan metode rancangan campuran beton adalah SNI 03-2834-2000, 2000. Pelaksanaan penelitian terbagi menjadi sejumlah tahapan yaitu dimulai dengan persiapan alat dan material, kemudian pemeriksaan material agar sesuai spesifikasi yang disyaratkan, setelah itu perencanaan campuran dan pembuatan benda uji beton, kemudian pengujian benda uji, dilanjutkan dianalisis dan pembahasan penelitian yang dapat diketahui hasil setelah itu diambil kesimpulan dan saran.

Bahan – bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Solusi Bangun Beton yang berada di Yogyakarta berupa agregat halus, semen OPC, dan *fly ash*, sedangkan untuk agregat kasar berasal dari PT. Panca Beton yang berada di Ngasem. Sebelum *fly ash* dipergunakan, dilakukan pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium PT. Solusi Bangun Indonesia yang berada di Bogor. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kandungan kimia *fly ash*

Bahan Uji	Parameter Uji	Metode Uji	Hasil Uji
Fly ash dari PT. Solusi Bangun Beton	% berat SiO_2	CGL 1201 bag. 13	46,0 %
	% berat AL_2O_3		17,7 %
	% berat Fe_2O_3		13,87 %
	% berat CaO		5,5 %

Sumber : Laboratorium PT. Solusi Bangun Indonesia

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa *fly ash* dari PT. Solusi Bangun Beton memiliki kandungan SiO2 + AL2O3 + Fe2O3 sebesar 77,58 %. Menurut SNI 2460-2014, 2014 *fly ash* yang digunakan termasuk ke dalam *fly ash* kelas F sebab mengandung SiO2 + AL2O3 + Fe2O3 > 70 %. Selain *fly ash* semua material yang akan digunakan seperti agregat kasar dengan ukuran 4 cm, agregat halus, dan semen sudah dilakukan pengujian kualitas bahan yang hasilnya memenuhi spesifikasi sehingga dapat dipergunakan pada campuran beton. Perhitungan campuran beton disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan perencanaan campuran beton

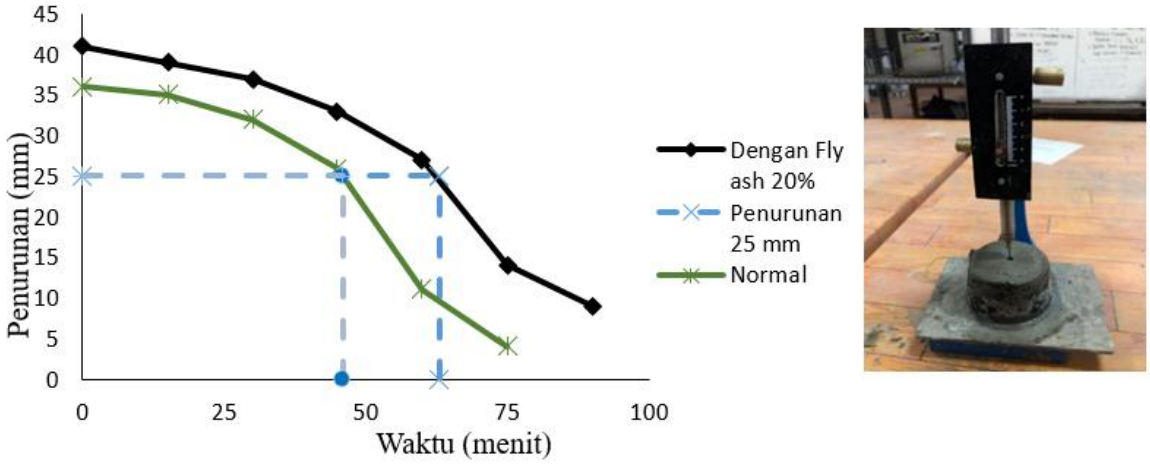
No.	Jenis Sample	f'c (MPa)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (lt)
1	N	25	456	-	621	1058	205
2	BFA	25	364	91	621	1058	205
3	FAH	25	364	91	621	1058	205

Perencanaan benda uji pada Tabel 2 diatas merupakan perencanaan yang dimanfaatkan pada pembuatan benda uji. Silinder dengan berdiameter 15 cm x tinggi 30 cm sejumlah 18 silinder digunakan untuk benda uji dengan pengujian kuat tekan, silinder berukuran diameter 10 cm x tinggi 20 cm dan sejumlah 18 silinder untuk benda uji dengan pengujian absorbsi. Sebelum dilakukan pengujian absorbsi benda uji dipotong menjadi 3 bagian. Pengujian benda uji dilakukan setelah benda uji beton di *curing* di air normal selama 28 hari kemudian baru direndam di asam sulfat dengan umur 30 hari dan 60 hari dengan kandungan asam sulfat 2% dari volume air pada kolam.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ikatan awal semen

Uji ini bertujuan untuk mengetahui nilai waktu ikat awal yang terjadi. Pada pengujian ini bahan pengikat dicampurkan menjadi satu kesatuan benda uji yaitu semen dan *fly ash*. Pengujian ikatan awal semen dilakukan sesuai dengan SNI 03-6827-2002, 2002. Hasil uji ini disajikan dalam Gambar 1.

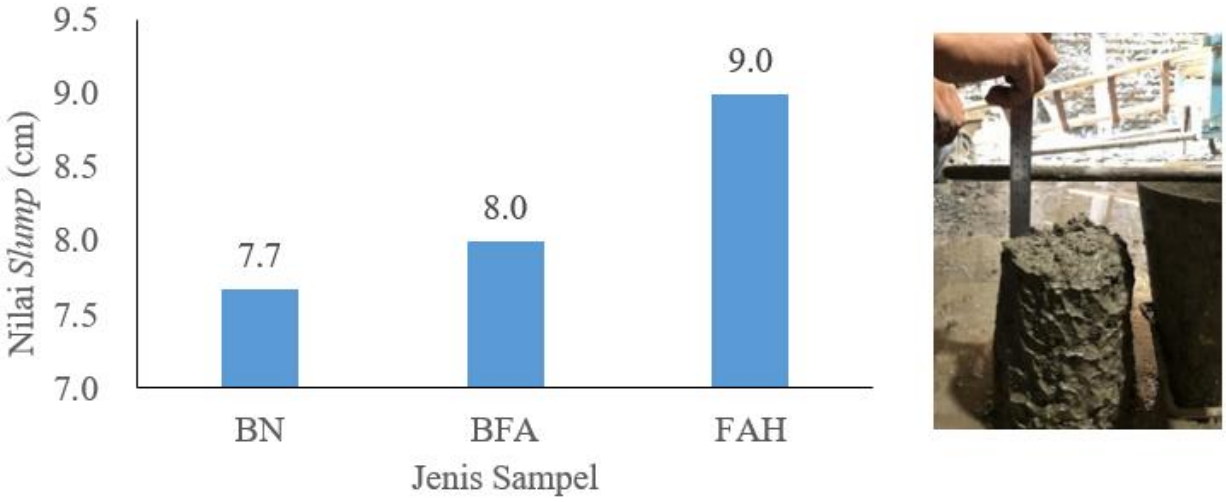


Gambar 1. Hsil pengujian ikatan awal semen

Dari Gambar 1. diketahui bahwa perubahan sifat dari cair menjadi padat. Pada pasta normal terjadi pada interval waktu 46 menit sedangkan pasta *fly ash* 20% pada interval waktu 63 menit. Sehingga pasta normal menjadi perubahan cair ke padat yang tercepat. Hal tersebut karena *fly ash* yang memiliki sidat pozolan memerlukan waktu lebih lama untuk melakukan reaksi. Hasil ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh dkk (2020), Handayani dkk (2022) dan Ujianto dkk (2020) dalam penelitian yang dilakukan yaitu dengan menambahkan *fly ash* menghasilkan bahwa semakin banyak *fly ash* ditambahkan pada campuran beton dapat memperlambat waktu ikat awal semen. Penelitian lain yang dilakukan oleh Nochaiya dkk (2010) yaitu dengan menambahkan *silica fume* dan *fly ash* memperoleh hasil bahwa dengan *fly ash* yang ditambahkan dapat memperlambat waktu ikat awal semen, sementara dengan penambahan silica fume dapat mempercepat waktu ikat semen jika dibandingkan dengan tanpa *silica fume*.

Pengujian slump test

Uji ini bertujuan untuk mengetahui workability dan kekentalan pada adukan beton sebelum dituang ke dalam bekisting beton. Kekentalan adukan beton bisa dilihat dari uji *slump* dengan kerucut *abrams* yang berdiameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm. Pengujian ini sesuai dengan SNI 1972 : 2008. Hasil pengujian ini disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 2. Hasil pengujian *slump* beton

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 3. uji *slump* pada beton mendapatkan hasil bahwa terjadi peningkatan meskipun kecil. Peningkatan terbesar diperoleh dari sampel FAH yaitu beton dengan penambahan *fly ash* yang dihaluskan dengan nilai peningkatan sebesar 14,5% daripada dengan beton normal namun untuk nilai peningkatan beton *fly ash* tidak dihaluskan dibandingkan dengan beton normal yaitu hanya mengalami peningkatan sebesar 3,75% peningkatan sangat kecil. Peningkatan *slump* test disebabkan karena *fly ash* berbentuk butir-butir halus dan bulat yang mengakibatkan adanya gesekan di setiap butirnya serta menjadi lebih mudah dalam *workability* yang tinggi (Nabiilah dkk , 2016) Hal tersebut berbanding lurus pada penelitian yang dilakukan oleh Atiş & Karahan, (2009) dengan substitusi *fly ash* 15%, (Lianasari, 2017) dengan substitusi *fly ash* 50% pada BFA dapat diketahui bahwa peningkatan pengaruh penggunaan *fly ash* bisa mencapai 5,5% dan 15% dan Trinugroho & Ningrum, (2021) dengan substitusi *fly ash* maka semakin tinggi kadar abu layang maka tingginya tingkat nilai *slump*. Hal tersebut dikarenakan kadar air yang memengaruhi campuran ini yang diperoleh dari berat abu layang yang digunakan di setiap variasi. Sedangkan dibandingkan dengan penelitian dari Solikin dkk (2021) dan Solikin dkk (2022) dengan substitusi *fly ash* 50% didapatkan hasil bahwa kehalusan *fly ash* tidak memengaruhi nilai *slump* yang didapatkan hal ini dikarenakan pada penelitian tersebut terdapat pengurangan pemakaian air pada saat pembuatan beton.

Pengujian berat isi beton

Uji berat isi beton dilaksanakan di saat beton segar sudah dimasukkan cetakan. Uji berat isi beton ini dilakukan sesuai dengan SNI 03-1973-1990, 1990 dengan rumus ini ;

$$D = (W)/V \quad (1)$$

dengan D = berat isi beton (kg/m3), W = berat benda uji (kg), V = isi takaran (liter)

Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Isi Beton

No.	Sampel	Umur Sulfat	Berat Beton (kg)			Rata-Rata	Berat Jenis (Kg/m³)
1.	BN	30	12,425	12,135	12,200	12,253	2311,950
		60	12,725	11,790	12,745	11,753	2217,610
2.	BFA	30	12,450	12,530	12,070	12,350	2330,188
		60	12,350	12,240	12,300	12,297	2320,126
3.	FAH	30	12,400	12,470	12,540	12,470	2352,830
		60	12,405	12,175	12,435	12,338	2327,987

Keterangan :

BN : Beton Normal

BFA : Beton Fly Ash

FAH : Beton Fly Ash Halus



Gambar 3. Pengujian Berat isi beton

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3. menunjukkan bahwa hasil dari uji berat isi beton didapatkan hasil berat isi paling rendah diperoleh sampel BN, sedangkan berat isi paling tinggi diperoleh sampel FAH atau dengan penambahan *fly ash* yang dihaluskan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan *fly ash* dapat menambah berat isi pada beton pada lingkungan sulfat. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Simatupang dkk, 2016) penambahan *fly ash* menjadikan beton lebih ringan dikarenakan berat jenis *fly ash* lebih kecil dari berat semen yaitu masing-masing sebesar 2800 kg/m³ dan 3150 kg/m³. Namun beton dengan substitusi *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan dapat meningkatkan berat isi beton dibandingkan dengan beton normal pada perlakuan yang berada diperendaman asam sulfat. Hal tersebut sejalan dengan penelitian dari De Belie dkk (1997) yaitu dengan penambahan *fly ash* dapat mengurangi kerusakan sampel beton pada perendaman sulfat.

Pengujian kuat tekan beton

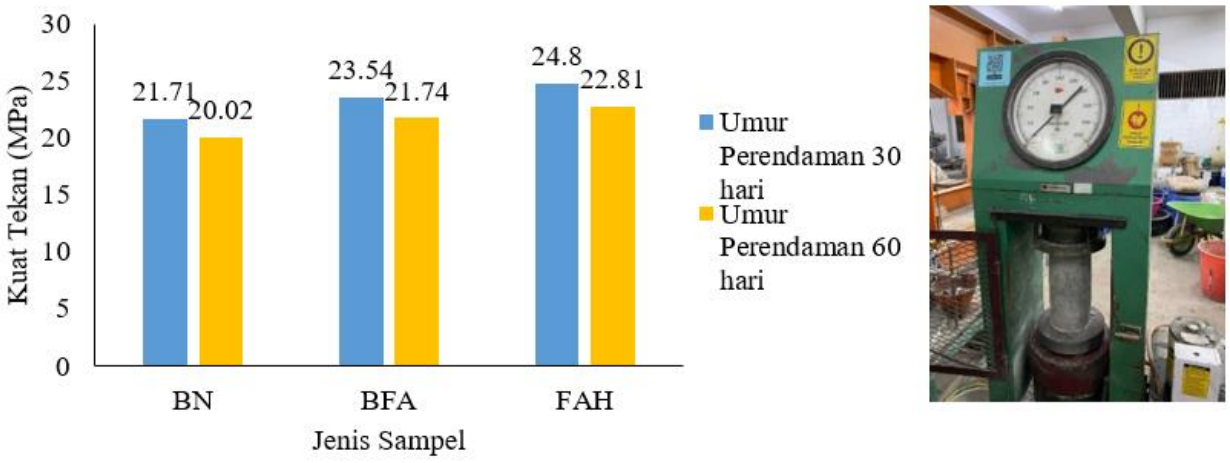
Uji kuat tekan beton dilakukan dengan cara beban maksimum pada benda uji silinder hingga runtuh. Pengujian ini dilaksanakan pada benda uji beton silinder setelah dilakukan perendaman dalam kurun waktu 28 hari di air normal lalu direndam dengan sulfat selama 30 hari dan 60 hari.

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan SNI 1974-2011, 2011 dengan rumus sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{.....} \quad (2)$$

dengan P = beban maksimum (N), A = luas penampang benda uji (mm2), f'c = kuat tekan benda uji (N/m2)

Hasil uji kuat tekan beton disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 4. Hasil pengujian kuat tekan beton

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 6. uji kuat tekan beton pada lingkungan asam sulfat terjadi peningkatan ketahanan beton yang kecil. Hal ini ditunjukkan persentase penurunan beton *fly ash* sebesar 7,67% dan beton *fly ash* yang dihaluskan 8,02% terhadap perbandingan umur perendaman 30 hari dan 60 hari pada asam sulfat. Sedangkan untuk beton normal sebesar 7,78%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sultan dkk (2021) yaitu dengan menambahkan *fly ash* sebanyak 20% dari substitusi semen dan perendaman sulfat sebanyak 2% dari volume air pada kolam didapatkan hasil dengan perbandingan umur perendaman 30 hari dan 60 hari oleh variasi *fly ash* 20% dapat menurunkan kuat tekan sebesar 24,84%. Sedangkan beton normal dengan perbandingan umur perendaman 30 dan 60 hari dapat menurunkan kuat tekan sebesar 7,68%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Gopalakrishnan & Chinnaraju, 2019 dengan penambahan *fly ash* memiliki ketahanan lebih baik dari pada beton tanpa *fly ash* karena mengandung struktur polimer silikat alumina yang saling terikat, yang lebih stabil dari pada gel kalsium silikat terhidrasi setelah serangan sulfat. Penelitian yang dilakukan oleh Sunarsih, (2017) melakukan penelitian dengan menambahkan abu terbang sebanyak 0%, 20%, 30%, dan 40% didapatkan hasil penurunan pada masing-masing beton sebesar 5%, 3,5%, 1,5%, dan 1%. Pada beton normal atau beton abu terbang kuat tekan menurun sesudah dilakukan perendaman asam sulfat 2%. Persentase turunnya kuat tekan beton berbeda dengan persentase tambahan abu terbang. Besarnya persentase abu terbang memengaruhi kecilnya persentase penurunan kuat tekan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Limbachiya dkk (2012) yaitu dengan penambahan *fly ash* sebesar 30% dan RCA (0%, 30%, 50%, dan 100%) didapatkan hasil yaitu penggunaan *fly ash* dalam beton RCA dapat meningkatkan secara signifikan ketahanan pada masuknya klorida dan ketahanan pada erosi sulfat hal tersebut disebabkan efek ukuran *fly ash* yang halus bertindak sebagai pozzolan atau mengisi rongga pada beton, menghasilkan peningkatan kuat tekan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Yazici & Arel (2012) melakukan penelitian dengan penambahan *fly ash* dengan tingkat kehalusan tertinggi digunakan

pada tingkat 5%, 10% dan 15% kadar optimum penambahan *fly ash* di antara 5%-15% bisa menambah kuat tekan 3% hingga 16% lebih tinggi daripada beton normal. Penelitian lain yang dilakukan oleh Solikin dkk (2022) melakukan penelitian dengan menggunakan *fly ash* lolos saringan 200 meningkat sebanyak 3,5%, sementara *fly ash* lolos saringan 400 meningkat sebanyak 2,7%. Penelitian lain yang dilakukan oleh Chindaprasirt dkk (2004) melakukan penelitian dengan menggunakan substitusi *fly ash* halus sebesar 40% dari penggunaan semen yang direndam pada asam sulfat 5% dengan umur perendaman 28 hari. Didapatkan hasil kuat tekan OPC sebesar 48,5 MPa, OFA sebesar 30,5 MPa, F200 sebesar 38,5 MPa, F325 sebesar 42 MPa, dan FF sebesar 53,5 MPa. Peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada FF yaitu 10% abu terbang bagian halus yang diperoleh dari udara pemisah.

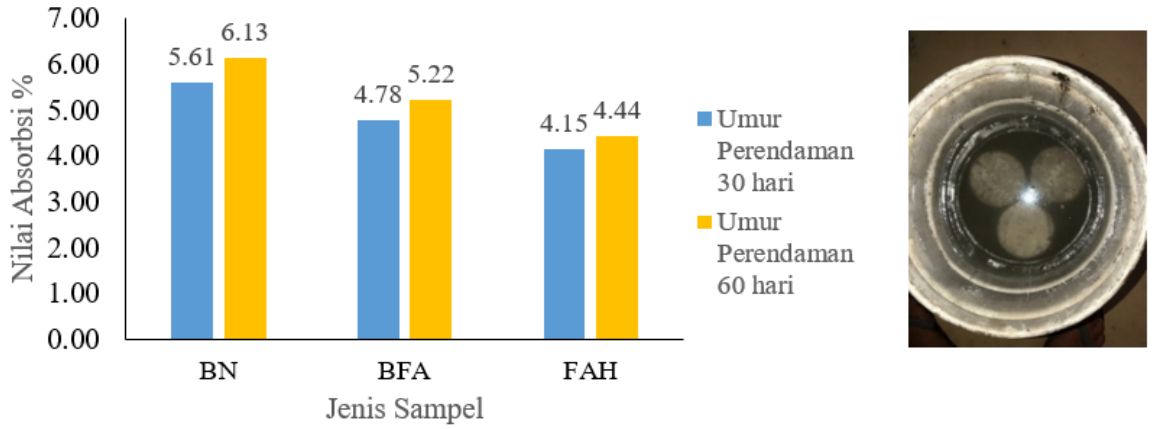
Dari pernyataan di atas bisa diambil kesimpulan bahwasannya penelitian dari Gopalakrishnan & Chinnaraju (2019), Limbachiya dkk (2012), dan Sunarsih, (2017) yang menambahkan *fly ash* pada lingkungan sulfat bisa menaikkan ketahanan beton karena mengandung kandungan silika yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan semen. Pada penelitian yang dilakukan oleh Yazici & Arel, (2012) didapatkan hasil bahwa kehalusan *fly ash* juga memengaruhi kuat tekan beton dikarenakan *fly ash* yang lebih halus membuat pasta semen yang mengeras lebih padat, sehingga kontribusinya terhadap kekuatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan *fly ash* yang tidak dihaluskan. Selain itu, fakta bahwa pada *fly ash* mengandung partikel yang sangat halus dapat meningkatkan kekompakkan beton dan menyebabkan pengisian ruang. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sultan dkk (2021) dengan penambahan *fly ash* bisa mengurangi kuat tekan yang besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini kurang sesuai dengan penelitian sebelumnya akan tetapi lebih baik daripada penelitian yang dilakukan oleh Sultan dkk (2021) karena persentase penurunan beton *fly ash* sebesar 7,67%, dan beton normal sebesar 7,78%. dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sultan dkk (2021) dengan persentase penurunan beton *fly ash* sebesar 24,84% dan beton normal sebesar 7,68% yang dibandingkan berdasarkan umur perendaman 30 hari dan 60 hari pada perendaman asam sulfat. Penelitian lain yang dilakukan oleh Solikin dkk (2022) di air normal didapatkan hasil bahwa dengan penambahan *fly ash* yang dihaluskan tidak memengaruhi signifikan pada kuat tekan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Chindaprasirt dkk (2004) menunjukkan hasil bahwa kehalusan *fly ash* yang direndam di asam sulfat dengan metode yang diperoleh dari udara pemisah lebih baik jika dibandingkan dengan metode pengayakan. Hal ini menandakan bahwa metode pengayakan mendapatkan hasil yang kurang maksimal.

Pengujian absorbsi beton

Pengujian absorbsi atau penyerapan dilakukan dengan memanfaatkan benda uji yang memiliki bentuk silinder dan berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm dibagi 3 bagian. Uji ini dilaksanakan pada benda uji beton silinder setelah direndam selama 28 hari di air normal kemudian direndam dengan sulfat selama 30 hari dan 60 hari. Pengujian absorbsi dilakukan sesuai dengan SNI 03-6433-2016 dengan rumus di bawah ini :

$$\% = [((B-A))/A] \times 100 \quad (3)$$

dengan A = massa contoh uji kering – oven di udara (g), B = massa contoh uji kering – permukaan di udara setelah perendaman (g).



Gambar 5. Hasil pengujian absorbsi beton

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 8. uji absorbsi didapatkan hasil bahwa terjadi peningkatan meskipun kecil. Peningkatan absorbsi yang terjadi pada beton normal sebesar 8,48%, sedangkan dengan penambahan *fly ash* sebesar 8,42% dan *fly ash* yang dihaluskan sebesar 6,53%. Dari hasil tersebut beton dengan penambahan *fly ash* yang dihaluskan dapat mengurangi penyerapan air. Hal ini dikarenakan semakin lama benda uji bereaksi dengan sulfat maka semen akan terkikis dan menyebabkan pori-pori pada beton sehingga penyerapan air semakin tinggi. Pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian dari Maryoto, (2009) yaitu dengan penambahan *calcium stearate* dan *fly ash* didapatkan hasil penggunaan *calcium stearate* dan *fly ash* menurunkan nilai absorbsi pada beton hal tersebut karena pori-pori pada beton dapat dilapisi oleh *calcium stearate* dan *fly ash* yang lebih lembut dari semen. Penelitian lain yang dilakukan oleh Veda Samhitha dkk (2019) dengan penambahan *fly ash* pada beton mempunyai kemampuan penyerapan air yang lebih sedikit karena struktur mikronya yang padat dan interkonektivitas pori-pori yang berkurang. Penelitian lain yang dilakukan oleh Lam dkk 2018 dengan menggunakan 3 buah sampel didapatkan hasil beton tanpa *fly ash* penyerapan air sebesar 4,31% , 4,88%, dan 5,36% sedangkan beton dengan substitusi *fly ash* 20% dari semen mengakibatkan penurunan daya serap air masing-masing sebesar 4,15%, 4,67%, dan 4,67%. Hal ini menandakan dengan penambahan *fly ash* dapat menurunkan daya serap air pada beton. Pada penelitian yang dilakukan oleh Naganathan dkk (2013) melibatkan empat tingkat penggantian *fly ash* menjadi semen sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40%. Didapatkan hasil bahwa meningkatnya kehalusan *fly ash* dapat mengurangi penyerapan hingga 15%.

Dari pernyataan diatas bisa diambil kesimpulan bahwasannya penelitian ini senada dengan penelitian dari Maryoto (2009), Lam dkk (2018), dan Veda Samhitha dkk (2019) dengan substitusi *fly ash* yang di rendam di air normal dapat menurunkan nilai absorpsi atau penyerapan air pada beton yang signifikan. Penelitian lanjutan dengan substitusi kehalusan *fly ash* dilakukan oleh Naganathan dkk (2013) yaitu dengan substitusi kehalusan *fly ash* yang direndam di air normal didapatkan hasil bahwa kehalusan *fly ash* dapat menurunkan nilai penyerapan air hal ini dikarenakan semakin halus *fly ash* yang digunakan maka dapat menutup rongga-rongga pada beton sehingga beton semakin rapat.

D. KESIMPULAN

Pada penelitian tentang pengaruh substitusi *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan sebesar 20% sebagai campuran semen terhadap kuat tekan dan absorbsi atau penyerapan air berada pada lingkungan asam sulfat dapat diambil kesimpulan bahwa penggantian sebagian *fly ash* dapat mempengaruhi waktu ikat awal semen pada beton, waktu ikat yang terjadi lebih lama jika dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*. Hasil ikatan awal semen dengan substitusi *fly ash* sebesar 63 menit sementara ikatan awal semen tanpa *fly ash* sebesar 46 menit. Dengan adanya substitusi *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan dapat meningkatkan kelecekkan pada beton sehingga terjadi peningkatan *slump* jika dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*. Substitusi *fly ash* dan *fly ash* yang dihaluskan dapat meningkatkan berat isi beton dibandingkan beton normal pada perlakuan yang berada diperendaman asam sulfat. Hasil pengujian kuat tekan beton pada lingkungan asam sulfat dapat disimpulkan bahwa beton dengan penambahan *fly ash* mempengaruhi kuat tekan beton ketika direndam pada larutan asam sulfat dibandingkan dengan beton normal karena *fly ash* mengandung struktur polimer silikat alumina yang saling terikat dan juga sebagai sifat *pozzolan* dapat meningkatkan ketahanan permukaan beton terhadap erosi sulfat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, PT. Solusi Bangun Beton di Yogyakarta yang telah memberikan bahan material untuk penelitian dan semua pihak yang sudah berkontribusi pada penelitian ini mulai dari tahap awal sampai akhir sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Atiş, C. D., & Karahan, O. (2009). Properties of steel fiber reinforced fly ash concrete. Construction and Building Materials, 23(1), 392–399. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.002

Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S., & Sirivivatnanon, V. (2004). Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar. Cement and Concrete Research, 34(7), 1087–1092. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.021

De Belie, N., Debruyckere, M., Van Nieuwenburg, D., & De Blaere, B. (1997). Attack of concrete floors in pig houses by feed acids: Influence of fly ash addition and cement-bound surface layers. Journal of Agricultural and Engineering Research, 68(2), 101–108. https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0185

Dhole, R. D., Thomas, M. D. A., Folliard, K. J., & Drimalas, T. (2009). Effect of fly ash composition on the sulfate resistance of concrete. Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering, 3(August), 1549–1558.

Erviana, D., Budaya, A. W., Hariani, S., Winda, A., & Sari, L. Y. (2019). Analisis Kualitatif Kandungan Sulfat dalam Aliran Air dan Air Danau di Kawasan Jakabaring Sport City Palembang. ALKIMIA : Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan, 2(2), 1–4. https://doi.org/10.19109/alkimia.v2i2.2986

Gopalakrishnan, R., & Chinnaraju, K. (2019). Konstruksi dan Bahan Bangunan terak / abu terbang terhadap lingkungan sulfat. Construction and Building Materials, 204, 70–83.

Handayani, N. K., Darmawan, B., Listyo, F., & Nugroho, A. (2022). PENGARUH SUBSTITUSI STEEL SLAG TERHADAP SIFAT MEKANIK HIGH VOLUME FLY ASH-SELF COMPACTING CONCRETE PADA VARIASI KONSENTRASI PERENDAMAN KLORIDA. Simposium Nasional RAPI XXI, Gambar 1, 171–176.

Lam, N., Le, D., & Jaritngam, S. (2018). Konstruksi dan Bahan Bangunan dengan roller yang mengandung agregat terak tungku busur listrik dan abu terbang. Construction and Building Materials, 191, 912–922.

Lianasari, E. (2017). Pengaruh Kadar Fly ash Terhadap Kinerja Beton HVFA. Konferensi Nasional Teknik Sipil, 11, 26–27. https://www.researchgate.net/publication/340502792

Limbachiya, M., Meddah, M. S., & Ouchagour, Y. (2012). Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. Construction and Building Materials, 27(1), 439–449. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.023

Louis, Y. M., & Hardjito, D. (2004). Menggunakan Metode Perawatan Steam Curing Dengan Coating Larutan Alkali Dan Pasta Geopolimer. Universitas Kristen Petra, 1–8.

Maryoto, A. (2009). Penurunan Nilai Absorbsi Dan Abrasi Beton Dengan Penambahan Calcium Stearate Dan Fly ash. Media Teknik Sipil, 4(1), 15–19.

Muhammad Ujianto, Fnadi Ahmad Dhia Ul Haq, Budi Setiawan, Y. N. (2020). PENGARUH PERBANDINGAN KADAR SOLID LARUTAN ABU TERBANG (FLY ASH) TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER DENGAN AKTIFATOR NaOH dan Na2SiO3. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2020, 390–396.

Nabiilah, M. (2016). ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI FLY ASH TERHADAP KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENAMBAHAN KAPUR TOHOR. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2022 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, 116–123.

Naganathan, S., Teknik, J., & Jordan, S. (2013). Pengaruh Kehalusan Fly ash Terhadap Kinerja Mortar Semen. Jurnal Teknik Sipil Jordan, 326–331.

Nochaiya, T., Wongkeo, W., & Chaipanich, A. (2010). Utilization of fly ash with silica fume and properties of Portland cement-fly ash-silica fume concrete. FUEL, 89(3), 768–774. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.003

Pratiwi, W. D., Triwulan, Ekaputri, J. J., & Fansuri, H. (2020). Combination of precipitated-calcium carbonate substitution and dilute-alkali fly ash treatment in a very high-volume fly ash cement paste. Construction and Building Materials, 234, 117273. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117273

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. (2021). Presentasi Kinerja Perusahaan PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Public Expose Live. Semen Indonesia Group.

Regina M.Waworuntu. (2019). EVALUASI CAMPURAN BETON POZZOLAN LOKAL PADA LINGKUNGAN KOROSIF. Program Studi D-Iv Konstruksi Bangunan Gedung.

Sear, L. (2010). The use of fly ash in concrete. Concrete (London), 44(5), 60–61.

Setiawati, M. (2018). Fly ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. Seminar Nasional Sains dan Teknologi, 17, 1–8. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556

Simatupang, P. H., Sir, T. M. W., Kurniaty, A. S., High, B., & Fly, V. (2016). Pengaruh Substitusi Parsial Semen Dengan Abu Terbang. Jurnal Teknik Sipil, V(2), 139–148.

Siregar, & Atur, P. N. (2006). Laju Korosi Tulangan pada Mutu Beton yang Berbeda. Jurnal SMARTek, 4(2), 67 – 76.

SNI 03-1973-1990. (1990). METODE PENGUJIAN BERAT ISI BETON. In Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

SNI 03-2834-2000. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. In Badan Standar Nasional Indonesia.

SNI 03-6433. (2016). SNI 03-6433-2016 absorbsi beton. In Badan Standar Nasional.

SNI 03-6827-2002. (2002). METODE PENGUJIAN IKAT AWAL SEMEN PORTLAND DENGAN MENGGUNAKAN ALAT VICAT UNTUK PEKERJAAN SIPIL.

SNI 1972 : 2008. (2008). SNI 1972 : 2008 Cara Uji Slump Beton. In Badan Standar Nasional.

SNI 1974-2011. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. In Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

SNI 2460-2014. (2014). Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozolan for use in concrete. In SNI 2460-2014.

Solikin, M., Ihsan, I. N., Setiawan, B., & Nurchasanah, Y. (2021). Analisis Kehalusan Fly ash Sebagai Bahan Substitusi Semen Ash Mutu Normal. Prosiding CEEDRiMS, 157–163.

Solikin, M., Setiawan, B., Nurchasanah, Y., & Prayogi, S. (2022). Analisis Penetrasi Ion Klorida Pada Beton High Volume Fly ash Mutu Tinggi Dengan Variasi Tingkat Kehalusan Fly ash. Teras Jurnal, 12(2), 425. https://doi.org/10.29103/tj.v12i2.749

Sultan, M. A., Imran, I., & Faujan, M. (2021). Pengaruh Rendaman Asam Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Fly ash. Teras Jurnal, 11(1), 61. https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.367

Sunarsih, E. S. (2017). Tinjauan Penambahan Aditif Mineral Abu Terbang Terhadap Ketahanan Beton Pada Lingkungan Agresi Sulfat. Indonesian Journal Of Civil Engineering Education, 1(2), 1–12. https://doi.org/10.20961/ijcee.v1i2.19986

Susana. (2003). Air Sebagai Sumber Kehidupan. Oseana, XXVIII(3), 17–25.

Trinugroho, S., & Ningrum, R. S. (2021). Kuat tekan optimal beton geopolimer pada variasi perbandingan bahan dan waktu pencampuran. Jurnal Fisika: Seri Konferens. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012054

Veda Samhitha, K., Srinivasa Reddy, V., Seshagiri Rao, M. V., & Shrihari, S. (2019). Performance evaluation of high-strength high-volume fly ash concrete. International Journal of Recent Technology and Engineering, 8(3), 5990–5994. https://doi.org/10.35940/ijrte.C5928.-098319

Yazici, Ş., & Arel, H. Ş. (2012). Effects of fly ash fineness on the mechanical properties of concrete. Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences, 37(3), 389–403. https://doi.org/10.1007/s12046-012-0083-3

Zuquan, J., Wei, S., Yunsheng, Z., Jinyang, J., & Jianzhong, L. (2007). Interaction between sulfate and chloride solution attack of concretes with and without fly ash. Cement and Concrete Research, 37(8), 1223–1232. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.016.

PENERAPAN SIKLUS ANALISIS DAN DESAIN BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA 2D DAN 3D METODE FEMA P-751

Raditya Firdaus[1*] dan Widodo Pawirodikromo[2]

1*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km. 14,5 Sleman, Yogyakarta
Email: 17511155@students.uii.ac.id (Corresponding author)
2 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km. 14,5 Sleman, Yogyakarta
Email: 785110201@uii.ac.id

ABSTRACT

Building structure planning is closely connected to the analysis and design process, which must follow applicable codes, such as FEMA P-751, a code of procedure for structural analysis and design. Building modeling can be done in two ways, either 3D or 2D. Previous studies on 3D and 2D analysis and design have limitations in the code used, methods of structural analysis, and only apply one cycle of the analysis and design process. Therefore, this research was conducted to explore the analysis and design method of FEMA P-751 on 3D and 2D buildings by applying multiple cycles. This research aims to determine the differences in performance checks (drift ratio and P-Delta effects) and internal forces that occur. The research method includes determining element dimensions, performing performance checks on cycle 1 (S1) stage 1 and stage 2, designing cycle 1 (S1) elements, remodeling using new dimensions, and performing performance checks on cycle 2 (S2) stage 1 and stage 2. The research results indicate that the deflection performance of the 3D model in each cycle is greater than that of the 2D model, with cycle 1 (S1) having more significant deflection than cycle 2 (S2). Furthermore, the beam moment that occurs in cycle 1 (S1) is higher than that of cycle 2 (S2) with a difference ranging from 3% to 18%. Based on these results, applying cycles to the analysis and design process can result in more efficient and cost-effective outcomes.

Keywords: Analysis and Design, Drift Ratio, FEMA P-751, P-Delta, Two and Three Dimensions (2D & 3D)

A. PENDAHULUAN

Pada umumnya untuk mendesain bangunan gedung bertingkat, bangunan akan dimodelkan langsung dengan tampak 3 dimensi (3D). Selain agar mempermudah dalam membayangkan bentuk geometri bangunannya, dengan dimodelkan secara 3D juga akan mempermudah engineer dalam menganalisis gaya yang terjadi setelah diberikan beban. Sementara itu, dalam memodelkan bangunan secara 3D tidak dapat dilakukan secara singkat, namun membutuhkan waktu yang cukup lama. Jika dibandingkan dengan model 2D yang akan dianalisis perpotongan bangunan, maka analisis dengan model 2D akan ini membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat. Maka dari itu analisis struktur secara 2D dapat menjadi alternatif pengganti dari 3D. Di lain sisi, dengan memodelkan secara 2D belum tentu dapat mewakili kondisi nyata yang terjadi sesungguhnya, tidak seperti pada analisis 3D.

Dalam mendesain juga haruslah sesuai dengan pedoman (code) yang telah berlaku. Di Indonesia sendiri sudah cukup banyak pedoman (code) yang membahas terkait desain bangunan gedung bertingkat, di antaranya yaitu: (Standar Nasional Indonesia) SNI 2847- (2019) yang membahas tentang persyaratan beton struktur untuk bangunan, SNI 1726-(2019) yang membahas

tentang desain tahan gempa struktur bangunan, atau SNI 1727-(2020) yang membahas tentang beban minimum bangunan. Meskipun begitu code itu pun masih dapat mengalami perubahan, seperti pada SNI 1726, pada sebelum tahun 2002 belum mengatur perihal ketidakberaturan struktur hingga pada tahun 2012, SNI 1726 pun mulai menambahkan perihal ketidak beraturan struktur dalam analisis 3D. Terdapat penelitian yang membahas hal ini, yaitu Cornelis dkk. (2014) menyebutkan bahwa perbedaan antara SNI 1726-(2002) dengan SNI 1726-(2012) juga terletak pada simpangan antar tingkat, gaya geser dasar, serta beban gempa pada ekuivalen statik dan pada respons spektrum. Salah satu hasil yang didapat yaitu gaya gempa yang diestimasikan sesuai dengan pedoman SNI 1726-(2012) tidak selalu lebih besar daripada gaya gempa yang diestimasikan berdasarkan SNI 1726-(2002). Perbedaan tersebut bergantung pada percepatan respon spektral di lokasi bangunannya. Hal yang perlu diperhatikan dalam analisis dan desain struktur yaitu biasanya proses analisis dan desain tidak dilakukan secara siklus/berulang tetapi hanya dilakukan dalam satu kali proses saja.

Pribadi & Setiawan (2006) telah melakukan penelitian desain struktur gedung bertingkat asimetris yang dianalisis secara 2D dan 3D. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan respons struktur (gaya aksial) dari bangunan model 2D dan 3D serta perbedaan kebutuhan luas tulangan. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa selisih perbandingan gaya aksial kolom hasil analisis 2D bernilai lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil analisis 3D. Sementara itu, hasil perbandingan kebutuhan luas tulangan menunjukkan bahwa selisih antara kebutuhan luas tulangan antara 2D dan 3D bernilai kurang dari 1%. Pada penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu menggunakan code lama, belum memperhitungkan ketidakberaturan struktur pada analisis 3D, serta pembebanan gempa hanya menggunakan ekuivalen statik saja.

Hermawan & Putra (2007) juga telah meneliti redesain struktur rangka baja yang dianalisis secara 2D dan 3D. Tujuan dilakukannya penelitian untuk membandingkan momen-momen dan gaya-gaya dari analisis struktur serta berat struktur desain antara model 2D dan 3D. Dari penelitian ini didapatkan bahwa momen balok pada 2D bernilai lebih besar dari 3D, dengan rasio momen balok 2D/3D berkisar antara 1,04 hingga 1,16. Sementara itu, hasil berat struktur desain 2D bernilai lebih berat jika dibandingkan dengan analisis 3D, dengan rasio perbedaan 2D/3D berkisar antara 1,02 hingga 1,10. Pada penelitian ini juga memiliki keterbatasan yaitu masih menggunakan code yang lama, pembebanan gempa hanya menggunakan ekuivalen statik, dan belum memperhitungkan ketidak beraturan struktur.

Widyarini dkk. (2013) juga telah melakukan studi analisis gedung bertingkat pada Hotel Holiday Inn Express secara 2D dan 3D. Tujuan dari studi ini salah satunya yaitu untuk membandingkan momen-momen dan gaya-gaya hasil analisis 2D dan 3D, membandingkan kekurangan serta kelebihan analisis 2D dan 3D, dan membandingkan momen kapasitasnya. Di antara hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa momen hasil analisis struktur 2D lebih besar dibandingkan dengan analisis 3D, namun dengan perbedaan yang relatif kecil yaitu ± 7%, lalu kelebihan dan kekurangan dari sisi proses running analysis yaitu pada analisis 2D lebih cepat ± 2 detik dibandingkan pada analisis 3D. Pada penelitian memiliki keterbatasan yaitu menggunakan code yang lama serta masih belum memperhitungkan ketidakberaturan.

Pada penelitian-penelitian yang disebutkan sebelumnya masihlah perlu untuk dikembangkan terkait perbedaan desain jika menggunakan analisis struktur 2D dengan 3D dengan menggunakan

code yang baru. Namun, jika analisis dan desain ini hanya menggunakan code SNI saja masihlah belum cukup, karena SNI sendiri belum mencantumkan prosedur analisis struktur yang tepat. Sementara itu, saat ini sudah terdapat code yang menjelaskan analisis struktur secara prosedural yaitu FEMA P-751-(2012). Sehingga dengan menggabungkan antara SNI sebagai batasan dan FEMA P-751 sebagai prosedur analisis dan desain struktur, maka akan dapat menyempurnakan proses analisis dan desain yang dilakukan seorang peneliti.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dilakukan proses analisis dan desain secara siklus yang dalam hal ini disajikan dalam bentuk penelitian yang merupakan perbandingan analisis dan desain struktur 2D & 3D dengan menggunakan SNI terbaru serta juga menggunakan code FEMA 751. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan simpangan antar tingkat, efek P-Delta, dan gaya-gaya dalam (momen dan gaya geser) akibat penerapan siklus analisis dan desain struktur secara 2D dan 3D dengan berdasar pada code FEMA P-751.

Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini yakni: lokasi desain gedung direncana-kan pada daerah Bantul, desain bangunan bertingkat 12 lantai dengan struktur beton bertulang, pemodelan akan menggunakan software ETABS, beban angin tidak diterapkan, beban hidup diterapkan setengahnya, dan perhitungan desain akan dilakukan dengan 2 kali siklus.

Distribusi Gaya Horizontal Antar Tingkat

Penerapan beban gempa ekuivalen statik yaitu dengan mendistribusikan beban secara horizontal pada masing-masing tingkat. Dalam penelitian Widodo (2017) menyebutkan bahwa gaya horizontal ini bekerja pada pusat massa serta bersifat statik, sehingga besar dan tempatnya bersifat tetap. Sementar itu, gaya horizontal ini merepresentasikan efek beban dinamik yang sesungguhnya terjadi, sehingga gaya ini bersifat ekuivalen. Maka dari itu, gaya horizontal ini dapat disebut dengan gaya ekuivalen statik. Perlu diperhatikan bahwa pada 2D gaya horizontal antar tingkat ini tidak dapat diletakkan pada pusat massa, namun diletakkan pada tepi struktur. Karena adanya perbedaan gaya geser dasar seismik antara analisis 2D dan 3D, gaya seismik lateral, Fx, yang terjadi pada setiap tingkat harus ditentukan berdasarkan pasal 7.8.3 dari SNI 1726 tahun 2019 sebagai berikut:

$F_{x2D} = C_{vx} \cdot V_{2D}$ ..... (1)

$F_{x3D} = C_{vx} \cdot V_{3D}$ ..... (2)

Di mana

$C_{vx} = W_h x \sum_{ki=1}^{n} W_i h_i^k$ ..... (3)

Keterangan : C_{vx} dan V secara urut adalah Faktor distribusi vertikal dan Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (KN), sedangkan Wi dan Wx adalah Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x. Sementara itu, h_i dan h_x adalah tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m). Terakhir k adalah eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai :untuk struktur dengan $T \leq 0{,}5$ detik , k = 1; untuk struktur dengan $T \geq 2{,}5$ detik , k = 2; dan untuk struktur dengan $0{,}5 < T < 2{,}5$ detik , k = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2. nilai k pada FEMA P-751 disebutkan dapat menggunakan rumus seperti pada berikut ini:

$k = 0{,}75 + 0{,}5T$ ..... (4)

Gaya Geser Tingkat

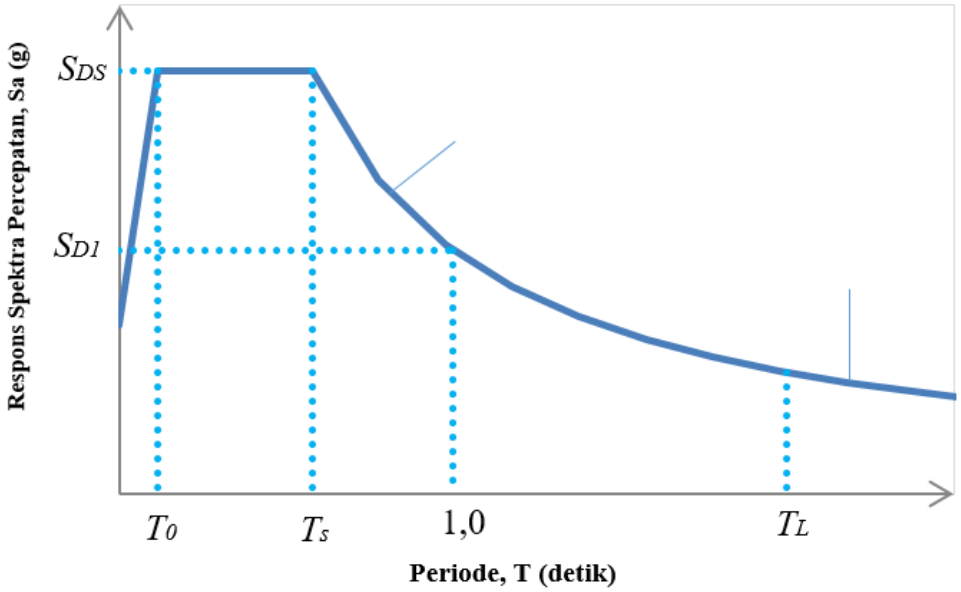
Penentuan gaya geser pada setiap tingkat untuk keperluan desain, perlu mengacu pada pasal 7.8.4 dari SNI 1726-(2019) berikut ini.

$V_x = \sum_{i=1}^{n} F_i$ ..... (5)

Di mana : F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke - i (KN).

Respons Spektrum

Dalam buku yang ditulis oleh Widodo (2012), menyebutkan bahwa respons spektrum adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai respons maksimum terhadap periode getar struktur, dengan mempertimbangkan tingkat redaman, derajat kebebasan tunggal, dan beban gempa spesifik yang diberikan. Kurva respons spektrum yang didapatkan harus dikembangkan dan menggunakan acuan pada Gambar 3 serta mengikuti ketentuan sesuai SNI 1726-2019 pasal 6.4.



Gambar 3. Spektrum Respons Desain
(**sumber:** SNI 1726-2019 Gambar 3)

Penskalaan Gaya Respon Spektrum dari Analisis Ekuivalen Statik

Penskalaan gaya respons spektrum dilakukan ketika analisis struktur memasuki tahap ke 2. SNI 1726 tahun 2019 menyatakan bahwa jika kombinasi respons dari gaya geser dasar hasil analisis spektrum (Vt) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode analisis ekuivalen statik, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/Vt.

Analisis Struktur Tahap 1 : Checking Kinerja

Analisis struktur tahap 1 ini dilakukan hanya untuk cek kinerja yang terjadi pada struktur dengan sesuai kombinasi beban yang ada pada FEMA P-751. Cek kinerja yang dilakukan mencakup ketidakberaturan struktur (3D), simpangan antar tingkat (3D dan 2D), dan Efek P-Delta (3D dan 2D). Sementara itu, pada tahap 1 ini kombinasi beban yang diterapkan hanya 1D + 0,5L + 1E dengan D = Beban Mati, L = Beban Hidup, dan E = Beban Gempa Ekuivalen Statik. Setelah peng-

ecekan semua kinerja struktur dinyatakan aman, maka dapat dilanjutkan pada analisis struktur tahap 2.

Analisis Struktur Tahap 2 : Checking Kinerja Final dan Desain Elemen

Analisis Struktur tahap 2 masih akan dilakukan cek kinerja untuk final check sekaligus akan digunakan sebagai desain elemen struktur. Cek kinerja pada tahap 2 ini akan berbeda dengan pada tahap 1 yaitu hanya berupa simpangan antar tingkat dan efek P-Delta saja. Untuk kombinasi beban yang diterapkan sesuai dengan yang telah dijelaskan oleh Bambang (2013) pada seminar HAKI yaitu dengan menambahkan pengaruh efek gempa vertikal sebagaimana berikut (1,2+0,2SDs)D + 1,0 ρ Qe + 0,5 L dan (0,9-0,2SDs)D + 1,0 ρ Qe. Total kombinasi pembebanan tahap ini mencapai 32 kombinasi, karena juga memperhitungkan adanya orthogonal. Pada tahap ini akan mulai diterapkan beban gempa respons spektrum. Gaya-gaya batang yang merupakan produk antara gaya dalam menggunakan metode respon spektrum dapat diperoleh dengan dikali faktor skala atau dapat juga dilakukan analisis ulang. Faktor skala dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Scale\ Factor = \frac{g + Ie}{R} \quad \ldots\ldots (6)$$

Pada analisis struktur untuk desain ini, terdapat beberapa parameter tambahan yang harus dimasukkan ke dalam model struktur, serta penggunaan skala gaya dalam analisis respon spektrum. Oleh karena itu, tahap kedua dari analisis struktur dilakukan untuk tujuan verifikasi desain. Setelah dilakukan analisis struktur, kinerja struktur akan diperiksa lagi, termasuk pengecekan kinerja simpangan antar tingkat, dan efek P delta.

Simpangan Antar Tingkat

Menurut SNI 1726-2019, ada 2 kondisi yang digunakan dalam perhitungan simpangan, yaitu:

1. Tidak terjadi ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b atau ketidakberaturan torsi
   Jika tidak terjadi hal yang demikian, maka perhitungan simpangan dilakukan dengan mengurangi defleksi terbesar pada pusat massa antar tingkat. Namun, jika pusat massa tidak berada dalam satu garis lurus vertikal, maka diizinkan melakukan perhitungan pada dasar tingkat dengan memproyeksikan secara vertikal. Perhitungan defleksi pada pusat massa tingkat ke – x dapat dihitung dengan persamaan:

   $$\delta x = \frac{Cd\ \delta_{xe}}{I_e} \quad \ldots\ldots (7)$$

   Di mana δx , δxe, Cd dan Ie berturut-turut adalah Simpangan di tingkat -x, Simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik, Faktor pembesaran simpangan lateral, Faktor keutamaan gempa.
2. Terjadi ketidakberaturan torsi
   Apabila struktur yang memiliki kategori desain seismsik C, D, E, atau F memiliki ketidak-beraturan torsi, maka simpangan dihitung pada satu sisi struktur secara vertikal sejajar. Pada kondisi ini perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

   $$\Delta = \frac{(\delta ei - \delta ei - 1) \times Cd}{Ie} \leq \Delta a \quad \ldots\ldots (8)$$

   Di mana Δ, Δa dan δei - δei-1 berturut-turut adalah Simpangan antar tingkat, Simpangan antar tingkat izin, Defleksi elastik tingkat atas dengan tingkat di bawahnya.

Efek P-Delta

Efek P-Delta tidak akan berdampak apabila koefisien stabilitas (θ) memiliki nilai yang sama atau kurang dari 0,1. Koefisien Stabilitas (θ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\theta = \frac{Px \, \Delta \, Ie}{Vx \, hsx \, Ca} \quad \text{..... (9)}$$

Di mana Px ,Δ, dan Ie berturut-turut adalah beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); simpangan antar tingkat desain (mm), dan faktor keutamaan gempa. Sedangkan Vx, hsx dan Cd berturut-turut adalah gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan x – 1 (kN), tinggi tingkat di bawah tingkat - x (mm), dan faktor pembesaran defleksi.

Sementara itu, terdapat batas maksimal dari koefisien stabilitas. Koefisien stabilitas maksimal (θ_{maks}) ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\theta maks = \frac{0{,}5}{\beta \, Ca} \quad \text{..... (10)}$$

Di mana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat dan *x* – 1, terdapat syarat dalam pengambilan nilai β yang disesuaikan pasal 7.8.7. SNI 1726-2019.

B. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian dan Pedoman yang Dipakai

Lokasi dilakukannya penelitian ini direncanakan berada di kota Bantul dengan berjenis tanah sedang (SD). Pedoman-pedoman yang digunakan yaitu: FEMA P-751-(2012) sebagai pedoman prosedur analisis struktur, SNI 2847-(2019) sebagai pedoman desain elemen struktur beton bertulang, SNI 1726-(2019) sebagai desain struktur tahan gempa, SNI 1727-(2020) sebagai pedoman beban, dan SNI 2052-(2017) sebagai pedoman tulangan baja.

Penentuan Dimensi Elemen

Sebelum memodelkan dan menganalisis struktur maka diperlukan untuk mengestimasi ukuran awal dari sebuah elemen. Balok Induk umumnya memiliki h sebesar 1/12 dari panjang baloknya, sedangkan b sebesar 1/2 dari tingginya. Dari hal tersebut didapatkan bahwa ukuran balok yang digunakan sebagai estimasi awal yaitu B1 (L = 9 m, maka h =0,75 m dan b = 0,4 m). Kemudian pada ukuran kolom dapat diestimasi dengan rumus berikut:

$$Ag = \frac{Pu}{0{,}3 \; x \; f'c} \quad \text{..... (11)}$$

Di mana Ag = Luas Penampang Kolom, Pu = Gaya Tekan Ultimate, dan F'c = Kuat Tekan Beton. Nilai pembagi 0,3 digunakan untuk menghindari tulangan geser kolom yang berlebihan, maka nilai kolom aksial load ratio ini tidak perlu lebih besar dari 0,3 (SNI 2847-2019). Maka dari persamaan sebelumnya, didapatkan *Hkolom* = *Bkolom* = 100 cm = 1000 mm. Lalu Estimasi tebal plat lantai yang digunakan yaitu sebesar H_{pelat} = *150 mm* sedangkan pada atap sebesar H_{pelat} = *100 mm.* Pada penelitian ini dimensi balok dan kolom akan dianggap sama, namun tulangan dibedakan antara 2D dan 3D. Kemudian, dari serangkaian kegiatan desain maka didapatkan bahwa dimensi elemen-elemen struktur yang baru yaitu:

1. Balok

Pada tahap desain balok didapatkan bahwa dimensi balok seperti yang tertera pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Desain Balok

Kode	Estimasi		Desain					
	B1 (Seluruh Tingkat)		B1 (Atap)		B2 (1,9 s.d 11)		B1 (2 s.d 8)	
	h	b	h	b	h	b	h	b
(m)	0,75	0,4	0,6	0,3	0,75	0,35	0,75	0,35

2. Kolom

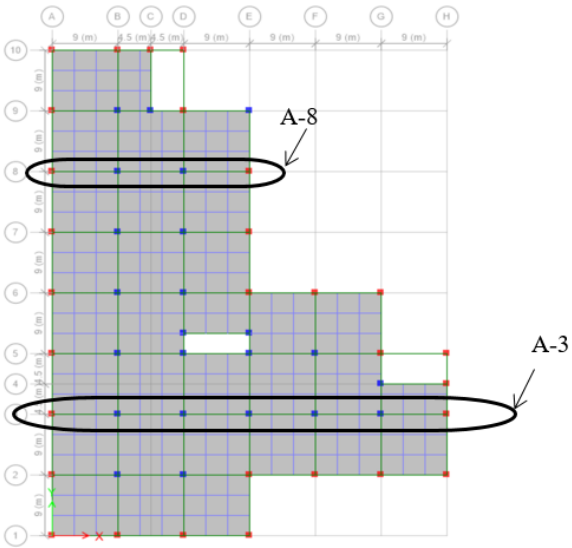
Hasil dari desain kolom didapatkan dimensi kolom sebagaimana yang terlihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Desain Kolom

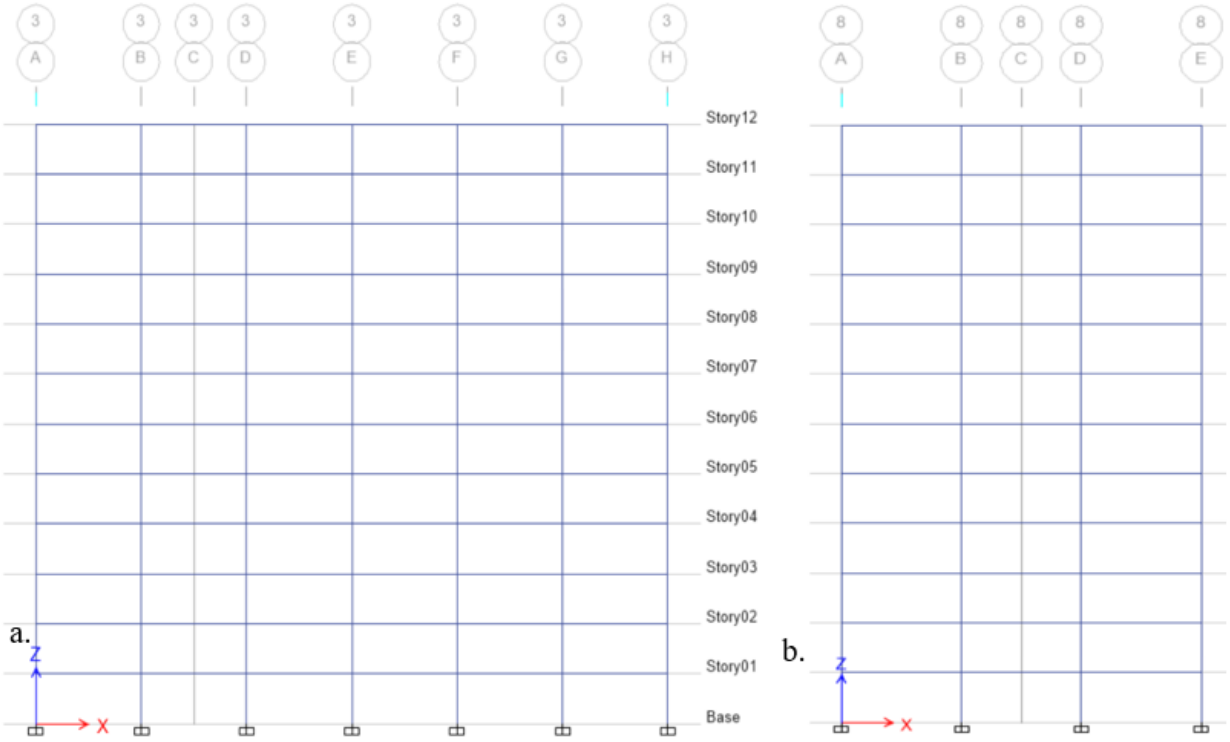
Kode	Estimasi	Desain	
	K1	K Luar	K Dalam
	B=H	B=H	B=H
(m)	1	0.85	0.95

Data, Model Struktur dan Pembebanan

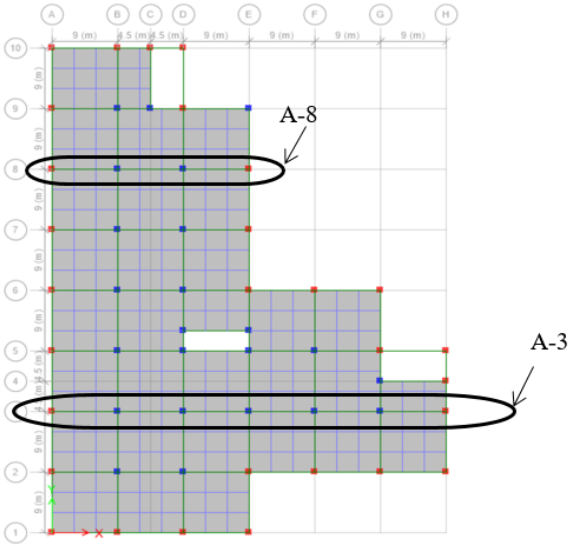
Data struktur yang digunakan dalam penelitian analisis dan desain ini yaitu: mutu beton (*f'c*) yang digunakan sebesar 35 MPa, sedangkan mutu baja sesuai dengan SNI 2052-(2017) dengan tulangan pokok sebesar 420 MPa, dan mutu baja tulangan sengkang sebesar 300 MPa. Beban untuk analisis dan desain struktur mengacu pada SNI 1727-(2020) dan SNI 1726-(2019) yaitu mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Kemudian, bangunan diperuntukkan sebagai gedung perkantoran. Model bangunan yang didesain bertingkat 12 lantai dengan tampak bangunan terlihat pada



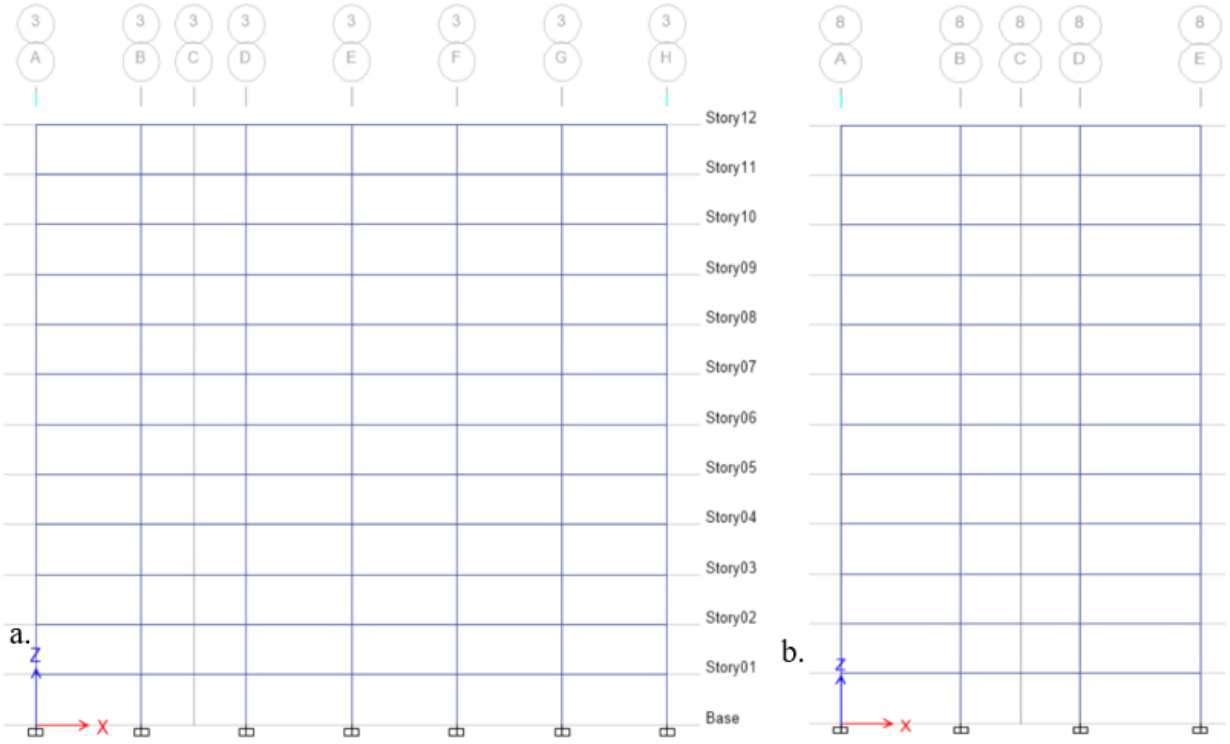
Gambar 4 dan



Gambar 5.



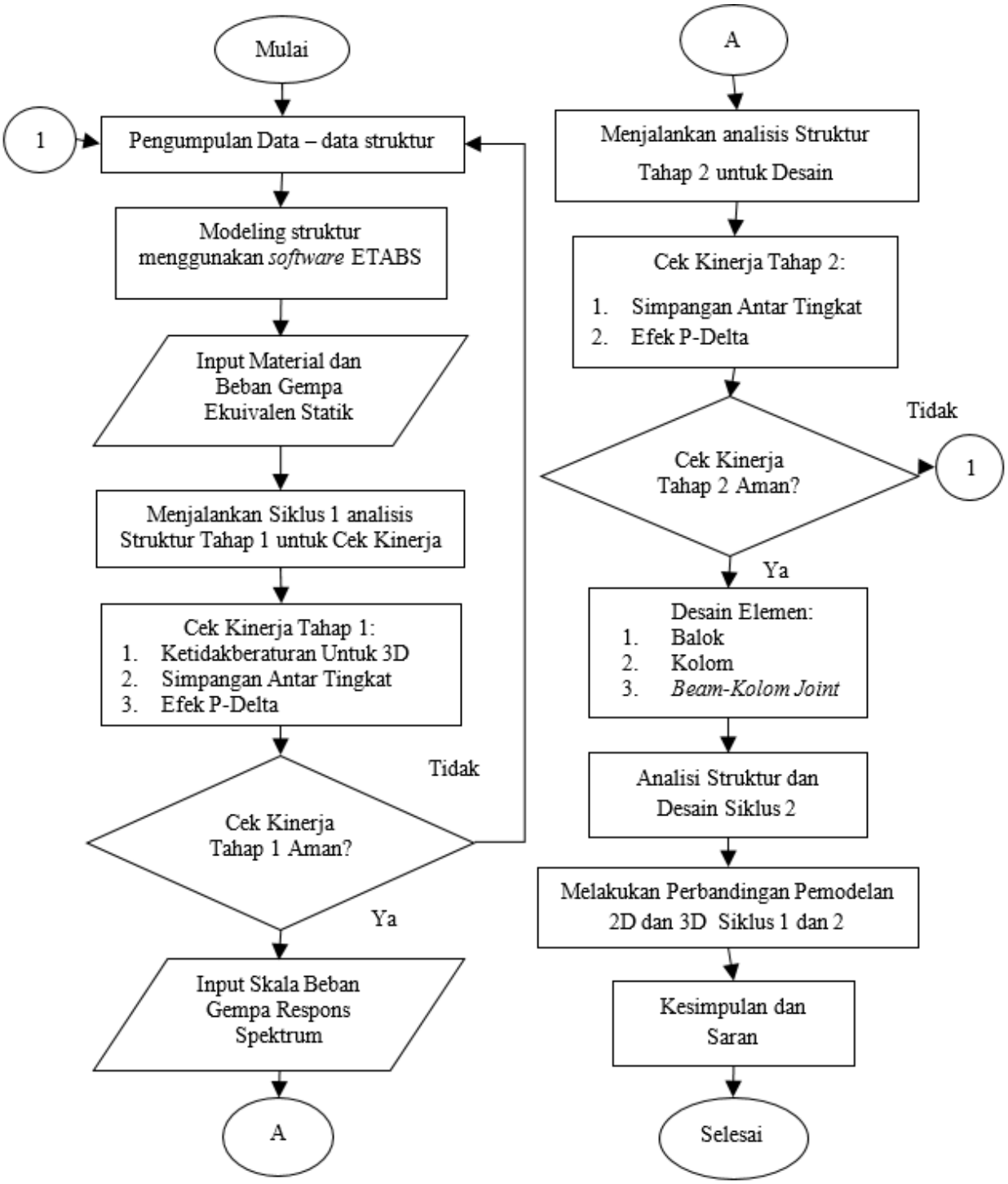
Gambar 4. Model 3D Tampak Atas



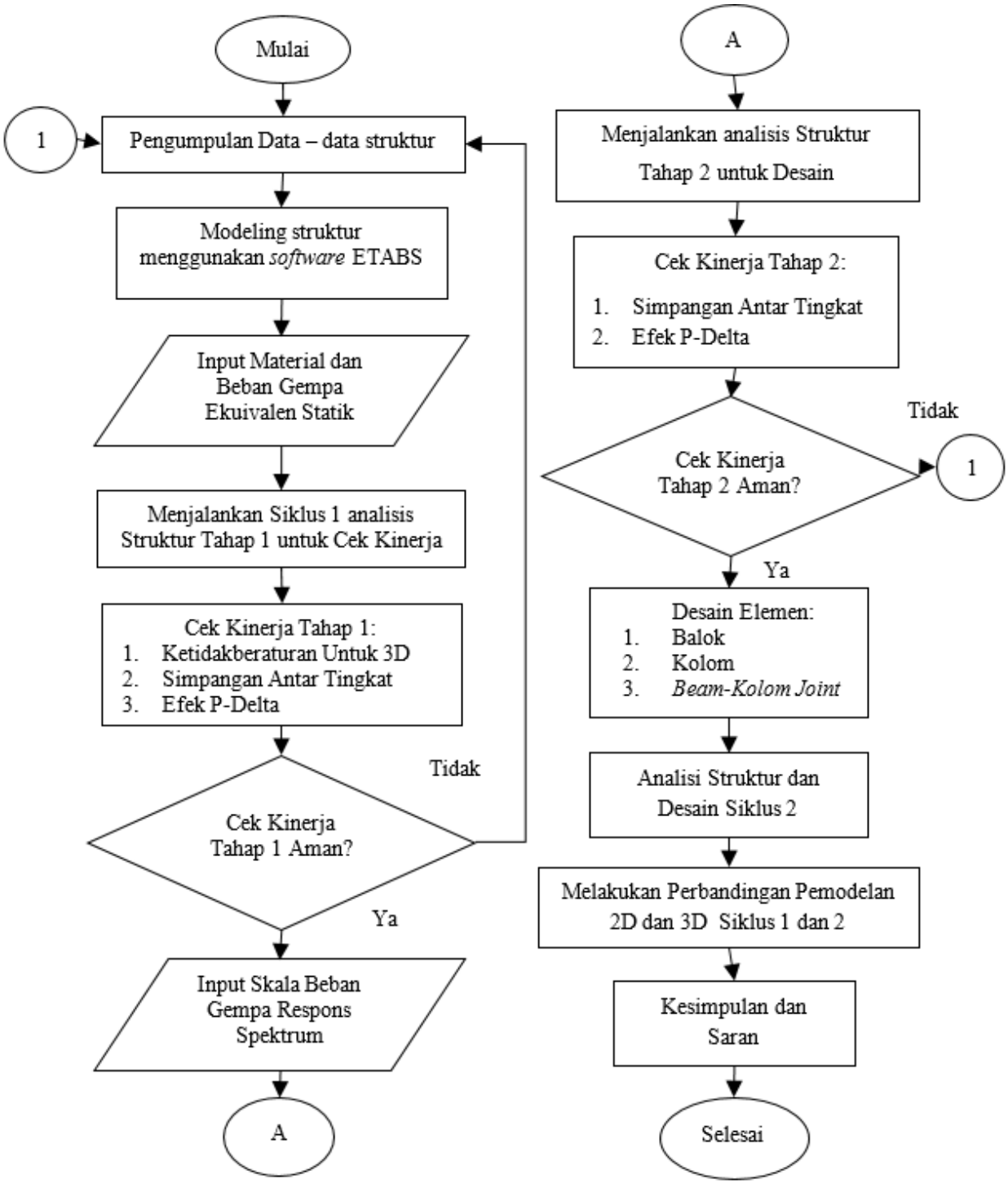
Gambar 5 Model 2D pada A-3 (a.) dan A-8 (b.)

Bagan Alir Penelitian

Bagan Alir penelitian yang diterapkan pada penelitian ini yaitu : Pengumpulan data-data struktur, pemodelan struktur, menganalisis struktur tahap 1, Mengecek kinerja struktur pada analisis struktur tahap 1, menganalisis struktur tahap 2, mengecek kinerja struktur tahap 2, mendesain elemen struktur, mengulang analisis struktur tahap 1 dan 2 pada siklus 2 dan membandingkan data-data hasil analisis dan desain struktur. Tahap-tahapan sebelumnya dapat dipetakan dalam bentuk *flowchart* yang terlihat pada .



Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6 *Flowchart* penelitian

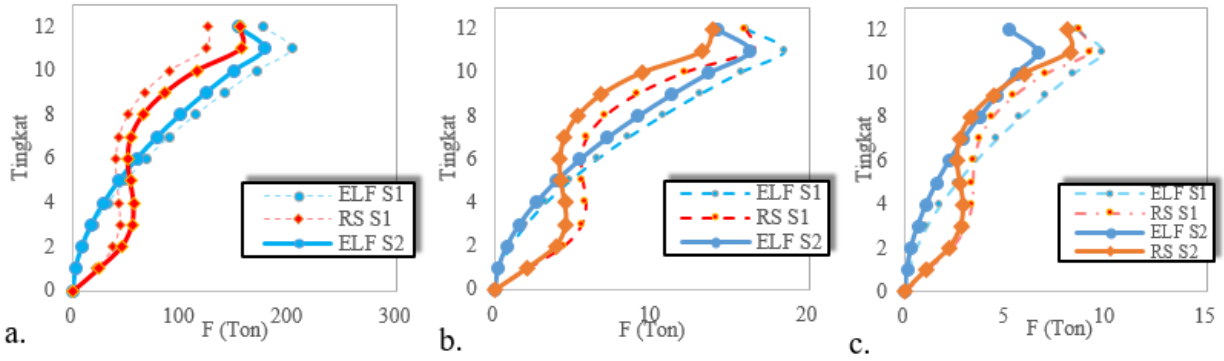
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Cek Kinerja Analisis Struktur

1. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat dilakukan setelah pengecekan ketidakberaturan struktur. Pada perhitungan ketidakberaturan struktur pada model 3D didapatkan bahwa tidak terjadi ketidakberaturan

struktur baik pada arah x maupun arah y. Maka pada model 3D pengecekan simpangan dilakukan pada titik pusat massa bangunan. Sedangkan pada model 2D akan diambil pada tepi bangunan. Hasil dari pengecekan simpangan dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



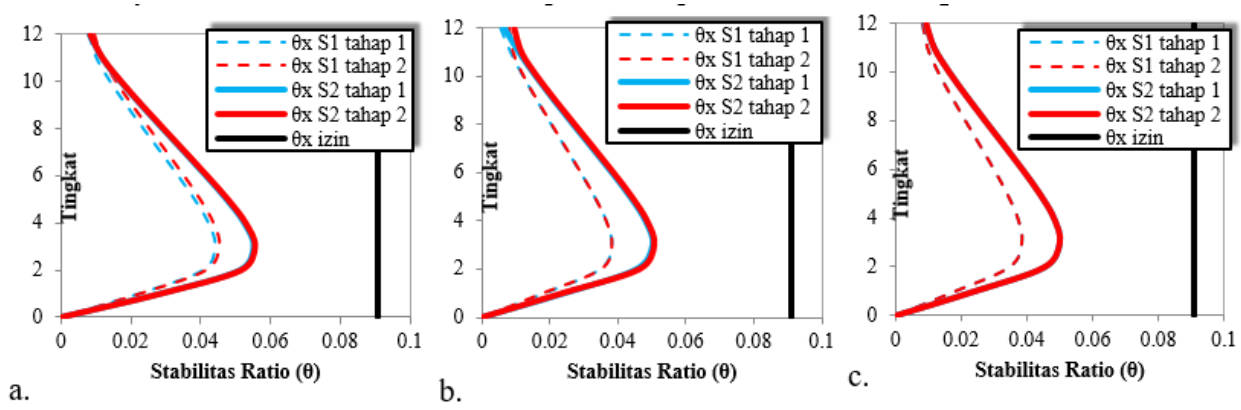
Gambar 7 Simpangan Antar Tingkat 3D (a.), 2D A-3 (b.), dan 2D A-8 (c.)

Siklus 1 (S1) pada analisis struktur yaitu ketika model struktur dianalisis menggunakan ukuran estimasi awal, sedangkan siklus 2 (S2) yaitu ketika model struktur dianalisis menggunakan data desain dari hasil analisis struktur siklus 1. Dari pemeriksaan di atas dapat diketahui bahwa ketiga model dalam cek simpangan yang terjadi masih di bawah batas izin simpangan, sehingga dinyatakan aman. Pada model 3D Gambar 7 a.) terlihat bahwa analisis struktur tahap 2 simpangan yang terjadi lebih besar dibanding pada tahap 1, dikarenakan kombinasi beban mati yang diterapkan lebih besar pada tahap 2. Selain hal itu, antara siklus 1 dan siklus 2 simpangan yang lebih besar terjadi pada siklus 2 yang mana struktur lebih mendekati batas izin simpangan. Perbedaan selisih antara siklus 1 dengan siklus 2 pada Gambar 7 a.) berkisar antara 12% hingga 26%, pada Gambar 7 b.) berkisar antara 9% hingga 18%, sedangkan pada Gambar 7 c.) berkisar antara 7% hingga 16%. Apabila dibandingkan antara simpangan 3D dengan 2D pada masing-masing siklusnya, maka didapatkan bahwa simpangan 3D memiliki simpangan yang lebih besar dibandingkan pada 2D dengan selisih perbedaan rata-rata pada siklus 1 (S1) yaitu 10% sedangkan pada siklus 2 (S2) yaitu 28%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Pribadi & Setiawan (2006), dengan beban gempa hanya menggunakan ekuivalen statik, serupa dengan penelitian ini namun pada siklus 1 (S1), menunjukkan hasil yang serupa yaitu pada analisis 3D memiliki simpangan yang lebih besar dari analisis 2D. Selain hal itu, terdapat kemiripan lain yaitu simpangan terbesar terjadi pada sekitar tingkat 4 hingga 6.

2. Efek P-Delta

Efek P-Delta pada ketiga model ini dipengaruhi oleh data simpangan yang telah didapat sebelumnya. Hasil dari cek efek P-Delta dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut.



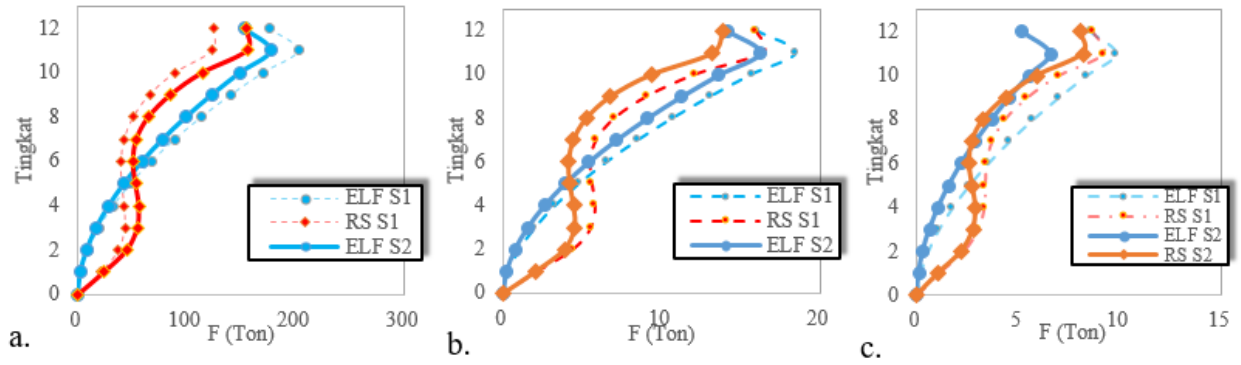
Gambar 8 P-Delta Model 3D (a.), 2D A-3 (b.), dan 2D A-8 (c.)

Berdasarkan Gambar 8 di atas dapat diketahui bahwa ketiga model memiliki nilai koefisien stabilitas di bawah nilai maksimal. Selain itu, model 3D dan 2D pada siklus 1 memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan siklus 2 (S2). Jika dibandingkan antara model 3D dan 2D maka tidak terlihat perbedaan yang signifikan dengan nilai berkisar antara 5% hingga 20%.

Gaya–Gaya Pada Struktur

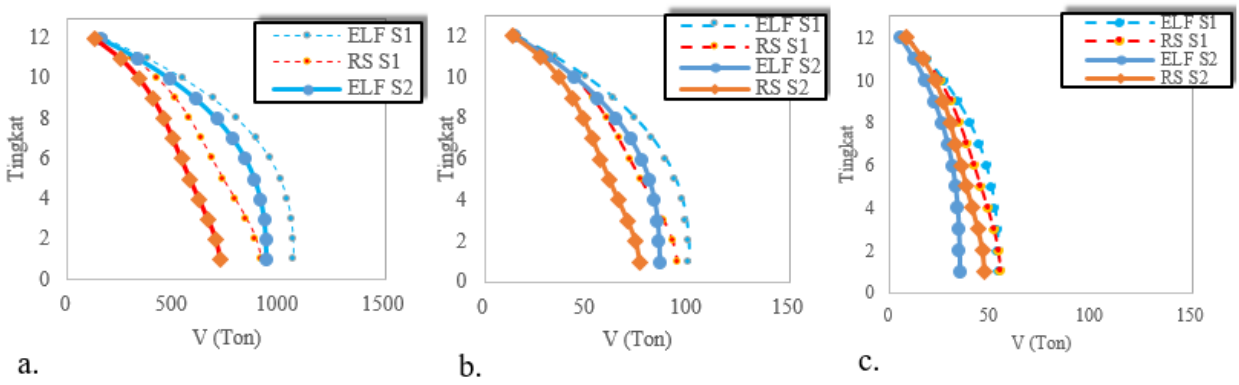
1. Gaya Antar Tingkat dan Gaya Geser Tingkat

Pada perhitungan ini akan dibandingkan antara gaya akibat beban gempa ekuivalen statik dengan gempa respons spektrum. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 9 Gaya Antar Tingkat 3D (a.), 2D A-3 (b.), dan 2D A-8 (c.)

Dari ketiga gambar terlihat bahwa pada gaya ekuivalen statik (ELF) gaya antar tingkat siklus 2 (S2) lebih kecil dibanding pada siklus 1 (S1). Sedangkan, pada respons spektrum (RS) model 3D Gambar 9 a.)pada siklus ke 2 lebih besar dibanding siklus 1, berbeda dengan pada model 2D (A-3) Gambar 9 b.) dan 2D (A-8) Gambar 9 c.) pada siklus ke 2 lebih kecil dibandingkan dengan siklus 1.

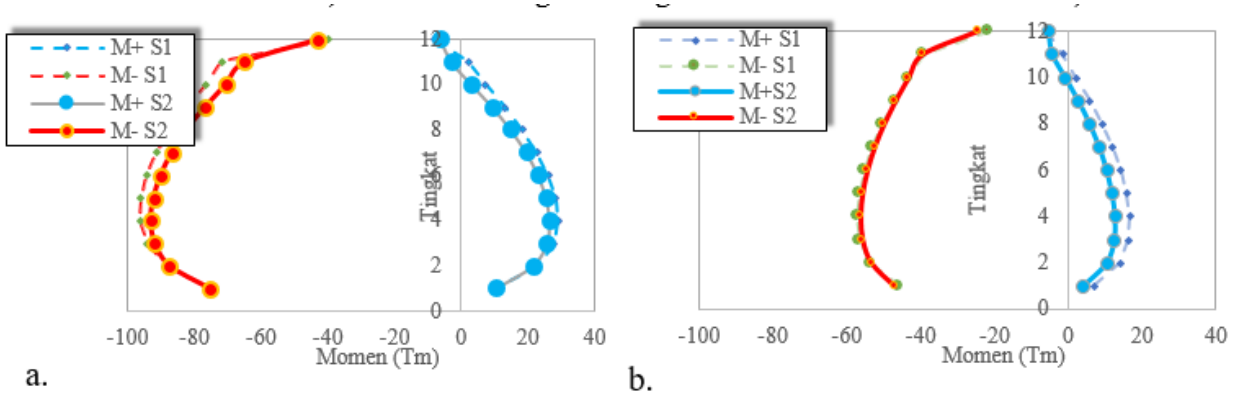


Gambar 10 Gaya Geser Tingkat 3D (a.), 2D A-3 (b.), dan 2D A-8 (c.)

Hal yang sama dengan gaya antar tingkat juga terjadi pada gaya geser, di mana seluruh model mengalami penurunan gaya geser pada siklus 2 (S2). Selain itu, dapat terlihat bahwa gaya geser dari beban gempa respons spektrum pada model 3D Gambar 10 a.) dan model 2D A-3 Gambar 10 b.) lebih kecil dibandingkan dengan beban gempa ekuivalen statik, berbeda dengan pada model 2D A-8 yang mana beban gempa ekuivalen statik lebih rendah dibandingkan dengan pada beban gempa respon spektrum. Hal ini disebabkan karena pada model 2D A-8, 2D A-3, serta 3D berturut-turut memiliki berat paling rendah dari 2D A-8 hingga paling berat pada 3D , maka itu berbanding lurus dengan beban gempa ekuivalen statik.

2. Momen Balok

Perbandingan momen ultimate balok Mu+ dan Mu- pada model 3D yang diambil harus sesuai dengan potongan pada model 2D. Dalam hal ini, akan diambil contoh pada potongan A-3 saja yaitu model 3D A-3 Gambar 11 a.) akan dibandingkan dengan model 2D A-3 Gambar 11 b.).



Gambar 11 Mu+ dan Mu- Balok Model 3D A-3 (a.) dan 2D A-3 (b.)

Dari Gambar 11 a.) terlihat bahwa pada model 3D A-3 terjadi momen yang lebih besar dibanding dengan model 2D A-3 Gambar 11 b.), di mana ukuran balok sama antara 3D dan 2D namun tulangan yang berbeda.. Pada penerapan siklus terlihat bahwa pada siklus 1 (S1) pada Gambar 11 terjadi momen yang lebih besar jika dibandingkan dengan siklus 2 (S2), hal ini disebabkan karena ukuran balok pada siklus 2 (S2) yang lebih kecil menjadikan berat struktur menurun, sehingga berkonsekuensi pada momen struktur. Pada model 3D A-3 dan 2D A-3 Gambar 11 Momen negatif puncak berada pada tingkat 4 dengan nilai berturut-turut 92,6 Tm dan 56,16 Tm.

Pada penelitian Hermawan & Putra (2007) momen balok yang dihasilkan dari analisis 2D bernilai lebih besar dari analisis 3D dengan rasio 2D/3D rata-rata yaitu 1,28. Hal ini, berbeda dengan yang terjadi pada penelitian ini, yang mana perbandingan momen balok menunjukkan bahwa hasil analisis 3D lebih besar dari 2D dengan rasio rata-rata yaitu 0,69. Perbedaan ini terjadi karena pada analisis struktur tahap 2 model 3D menerapkan adanya eksentrisitas tambahan, sedangkan pada model 2D tidak diterapkan, sehingga momen-momen dan gaya-gaya yang terjadi begitu juga simpangan pada model 3D akan lebih besar dari 2D. Sementara lain, pada penelitian yang dilakukan oleh Hermawan & Putra (2007) tidak menerapkan eksentrisitas tambahan, sehingga momen-momen dan gaya-gaya pada analisis 2D lebih besar dari 3D.

D. KESIMPULAN

Simpangan yang terjadi pada model 3D tiap siklusnya masih lebih besar dibandingkan dengan model 2D. Pada efek P-Delta model 3D dan 2D tidak memiliki perbedaan yang signifikan, baik pada siklus 1 (S1) maupun pada siklus 2 (S2). Gaya antar tingkat pada model 3D memperlihatkan bahwa beban gempa ekuivalen statik siklus 2 mengalami penurunan, berbeda dengan beban gempa respons spektrum pada siklus 2 cenderung mengalami peningkatan. Apabila momen dibandingkan terhadap siklusnya maka Mu+ memiliki perbedaan siklus 2 lebih kecil dibandingkan dengan siklus 1 dengan nilai selisih 3% hingga 18%. Jika momen dibandingkan antar model, maka model 3D lebih besar dibandingkan dengan model 2D baik pada A-3 maupun A-8, dengan nilai selisih antara 17% hingga 27%. Pada penelitian yang dilakukan ini hanya menggunakan 2 siklus proses analisis dan desain, maka dari itu agar mendapatkan hasil yang lebih akurat bisa menambahkan jumlah siklus serta dapat juga menambahkan beban angin.

DAFTAR PUSTAKA

Budiono, B. (2013). "Konsep SNI Gempa 1726-2012" (Issue Sosialisasi SNI 1726-2012). Seminar HAKI 2011.

Cornelis, R., Bunganaem, W., & Tay, B. U. (2014). "Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat, Gaya Geser Dasar, Perpindahan Tingkat, dan Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Berdasarkan Peraturan Gempa SNI 1726-2002 Dan SNI 1726-2012".

FEMA P-751. (2012). "2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples" (Issue September). National Institute of Building Science.

Hermawan, A., & Putra, S. (2007). "Desain Portal Tribun Stadion Sleman Memakai Baja dengan Analisis Struktur Portal Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D)".

Pribadi, W., & Setiawan, H. K. (2006). "Perbandingan Respon Struktur Analisis Dua Dimensi dan Tiga Dimensi Serta Implikasi Desain Pada Gedung Asimetris".

SNI 1726. (2002). "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung". Badan Standardisasi Nasional.

SNI 1726. (2012). "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung". Badan Standardisasi Nasional.

SNI 1726. (2019). "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung". Badan Standardisasi Nasional.

SNI 1727. (2020). "Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain" (Issue 8). Badan Standardisasi Nasional.

SNI 2052. (2017). "Baja Tulangan Beton". Badan Standardisasi Nasional.

SNI 2847. (2019). "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung". Badan Standardisasi Nasional.

Widodo. (2012). "Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan". Pustaka Pelajar.

Widodo. (2017). "Analisis Dinamik Struktur". Pustaka Pelajar.

Widyarini, G., Pithaloka, L. D., Sukamta, & Sabdono, P. (2013). "Studi Komparasi Antara Analisis Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D) Pada Struktur Gedung Bertingkat 14 Studi Kasus Hotel Holiday Inn Express Semarang".

KOMDA 3
BMPTTSSI

CEEDRiMS

Civil Engineering, Environmental and Disaster Risk Management Symposium

BHIRAWA

Build Better with InnovAction

WIKA REKAYASA KONSTRUKSI

UNS PRESS
publishing & printing

IKAPI
IKATAN PENERBIT INDONESIA

appti

ISBN 978-602-397-901-1