



VOLUME 31
No. 1 Januari 2026

ISSN : 2807 - 9418 (Print)

ISSN : 2598 - 2257 (Online)

JURNAL

TEKNIK SIPIL

DAN ARSITEKTUR

ANALISIS KEBUTUHAN MATERIAL PADA PEKERJAAN STRUKTUR KOLOM DENGAN METODE KONVENSIONAL (Studi Kasus: SD Negeri Joglo)
Ilma Alfianarrochmah, Rendi Maysa Putra

PRODUKTIVITAS BONGKAR MUAT MODA ANGKUTAN BARANG DI PERGUDANGAN KOTA PAREPARE
Rahmat Hidayat, Hakzah Hakzah, Andi Bustan Didi

STUDI KINERJA SIMPANG JALAN PAROS MAMUJU – KALUKKU – JALAN AKSES BANDARA TAMPA PADANG
Imam Wardani, M. Nashir T, Kasmaida

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT DURIAN DAN SERBUK KACA TERHADAP KEKUATAN TEKAN BETON RINGAN
Jonathan Claudio Sitorus, Yudi Setio Prabowo

ANALISIS RENCANA ANGGARAN BIAYA PADA PROYEK PENINGKATAN SALURAN SEKUNDER IRIGASI ALEBBONG KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
Muh Yusuf Mubarak Syaifuddin, Andi Sulfanita, Andi Bustan Didi, Muh Jabir Muhammadijah

EVALUASI SKENARIO MANAJEMEN LALU LINTAS PADA U-TURN JALAN TEUKU UMAR DENGAN METODE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS
Michael, Laira Salsabila, Ayu Kamila Khanza

GENDER DISPARITIES IN WORK-RELATED TRAFFIC ACCIDENTS: ADVANCING SAFE SYSTEM STRATEGIES IN BATAM CITY
Vito Raegentsario, Yusra Aulia Sari, Andri Irfan Rifai

IDENTIFIKASI PENYEBAB TIMBULNYA LIMBAH PROYEK KONSTRUKSI DI KOTA AMBON
Syakira Evana Bintang, Felix Taihuttu, Fauzan A. Sangadji

EVALUASI PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (SMK3) (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Workshop Cikarang)
Nurkholis Hakim, Kartono Wibowo, Antonius

PERBANDINGAN UJI CBR LAPANGAN MENGGUNAKAN DCP DAN CBR LABORATORIUM PADA RUAS JALAN DALAM NEGERI HUTUMURI
Yayan Asmawan, Abraham Kalalimbong, Mansye Ronal Ayal

ANALISIS POLA RUANG DAN TIPOLOGI ARSITEKTUR MARITIM DI PESISIR PANTAI LEATO SELATAN KOTA GORONTALO
Mohammad Imran, Reinal Putalan, Didiet Haryadi Hakim, Mohamad Raihan Bahmid, Mohamad Teguh Isima

ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN CONTROLLED MODULUS COLUMN (CMC) PADA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH LUNAK
Julita Hayati, Alexander Alfredo, Arif Rahman Hakim Sitepu, Syahidus Syuhada

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PREFERENSI PEMILIHAN MODA WISATAWAN MANCANEGERA DI KAWASAN KUTA RAYA
Ngurah Putu Bayu Pinasthika Wicaksana, Yori Herwangi

PREFERENSI PRIORITAS PENGEMBANGAN RUANG PADA PERUMAHAN TIPE 21
Annisa Oktareangga Dheany, Akbar Preambudi

KOMPOSISI FASAD WISMA KILANG SEBAGAI BASIS REKONSTRUKSI ARSITEKTUR JENGKI DI BALIKPAPAN
Denny Huldiansyah, Fulkha Tajri M., Sherlia

STUDI AWAL PERMEABILITAS DAN KUAT TEKAN BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI
Hanyta Khairunnisa, Suhaimi, Ammar Fadhil, RDI Kurnia

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PANCANG TERHADAP HASIL PDA PADA PROYEK SPAM PEKANBARU-BANGKINANG
Arifin, Muhamad Yusa, Gunawan Wibisono

KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH BONGGOL JAGUNG SEBAGAI FILLER
Firzi Abi Pramanda, Nurani Hartatik, Aditya Rizkiardi, Yudi D.Prasetyo

ANALISIS STABILITAS LERENG DINDING PENAHAN TANAH MENGGUNAKAN SOFTWARE GEO5 PADA AKSES JALAN PLTMH LAMPUNG
Teguh Yuono, Dian Arumningsih, Reki Arbianto, Mutiara Kasih, Thoha Fakiq

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL JEPIT TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PORUS
Muhammad Darunrizqi, Nurani Hartatik, Yudi D. Prasetyo

PENGARUH SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI DAN ABU BONGGOL JAGUNG TERHADAP KUAT TEKAN DAN LENTUR BETON
Salma Alwi, IGN Aditya Dhiva, Megawati, Anung Sudibyo, Kukuh Prihatin

TINGKAT KEPATUHAN TENAGA KERJA KONSTRUKSI DALAM IMPLEMENTASI PELAKSANAAN K3 PADA PROYEK KONSTRUKSI DI KOTA SURAKARTA
Herman Susila, Kusdiman Joko Priyanto, Yusuf Agtiya Putra, Wisnu Hidayat

KAJIAN PENILAIAN KONDISI JEMBATAN MENGGUNAKAN PEDOMAN PEMERIKSAAN JEMBATAN 2022 DAN BRIDGE HEALTH INDEX (BHI)
Ayu Saraswati, Muhammad Fathur Aditya

PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN GFRP (STUDI KASUS: GOR BAROMBONG MAKASSAR)
Muhammad Fathur Aditya, Ayu Saraswati

INTEGRASI CITRA UDARA DAN BATIMETRI UNTUK PENYUSUNAN MODEL ELEVASI BELOKAN SUNGAI WONOKROMO
Nauval Usa Maulana, Andi Patriadi

ROLES OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ULTRASONICATION IN RELEASING ORGANIC MATTER FROM BIOLOGICAL ACTIVATED CARBON
Sri Anggreini, Ade Jaya Saputra, LQ Parulian Sanjaya

PENGARUH BEBAN GEMPA TERHADAP RESPON STRUKTUR GEDUNG TUA TERBENGKALAI (STUDI KASUS: GEDUNG KLABAT PLAZA MANADO)
Jessen Granbey Potalangi, Ficky Marcellino Oroh, Nur Fitri Ramadhani

PENILAIAN POTENSI BANJIR BANDANG MENGGUNAKAN METODE FLASH FLOOD POTENTIAL INDEX (FFPI) DENGAN MODEL KRUSDLO (STUDI KASUS: SUB DAS WAY ILAHAN, LAMPUNG)
Indri Rahmandhani Fitriana, Sahid Sahid, Riyan Hari Putra

ALOKASI AIR BAKU DAS PAKIJANGAN DI KABUPATEN BREBES
Ikhwannudin, Risdiana Cholifatul Afifah, Ibnu Toto Husodo, Agustina Wardani

ANALISIS REKAYASA LALU LINTAS SIMPANG EMPAT MANNA KAMPUS GODEAN, JALAN YOGYAKARTA - DEMAKIJO, NGESTIHARJO, KASIHAN, BANTUL
Nur Budi Susanto, Iman Haryanto, Nursyamsu Hidayat, Wiryanta, Renno Aryaradjasa, Ferrolinna Cendykia Putri, Utama Sektiaji

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TUNAS PEMBANGUNAN
SURAKARTA

JURNAL

TEKNIK SIPIL DAN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TUNAS PEMBANGUNAN SURAKARTA

Penanggungjawab	: Dr. Tri Hartanto, S.T., Msc.
Pemimpin Umum	: Teguh Yuono, S.T., M.T.
Pemimpin Redaksi	: Ir. Reki Arbianto, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
Anggota Redaksi	: Dr. Ir. Kukuh Kurniawan DS, S.T., M.Eng. Paska Wijayanti, S.T., M.Eng. RA Dinasty Purnomoasri, S.T., M.T. (Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret)
Mitra Bestari	: Dr. Ars. Avi Marlina, S.T., M.T. (Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret) Dr. T. Putri Anggi Permata S, S.T., M.T. (Fakultas Teknik Universitas PGRI Semarang)
Pelaksana Teknis	: Awaludin AMZ., A.Md. Rio Kurnia Prasetyo, S.Ds. Chery Ayu Alamanda, S.Pd. Icarisma Anindita, S.T.
Alamat Redaksi	: Jl. Walanda Maramis No.31 Surakarta 57135 Telp. (0271) 853824 - Fax. (0271) 853824

JURNAL

TEKNIK SIPIL DAN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TUNAS PEMBANGUNAN SURAKARTA

DAFTAR ISI

ANALISIS KEBUTUHAN MATERIAL PADA PEKERJAAN STRUKTUR KOLOM DENGAN METODE KONVENSIONAL (Studi Kasus: SD Negeri Joglo) Ilma Alfianarrochmah, Rendi Maysa Putra	1-7
PRODUKTIVITAS BONGKAR MUAT MODA ANGKUTAN BARANG DI PERGUDANGAN KOTA PAREPARE Rahmat Hidayat, Hakzah Hakzah, Andi Bustan Didi	8-15
STUDI KINERJA SIMPANG JALAN PAROS MAMUJU – KALUKKU – JALAN AKSES BANDARA TAMPA PADANG Imam Wardani, M. Nashir T, Kasmaida	16-24
PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT DURIAN DAN SERBUK KACA TERHADAP KEKUATAN TEKAN BETON RINGAN Jonathan Glaudio Sitorus, Yudi Setio Prabowo	25-30
ANALISIS RENCANA ANGGARAN BIAYA PADA PROYEK PENINGKATAN SALURAN SEKUNDER IRIGASI ALEBBONG KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG Muh Yusuf Mubarak Syaifuddin, Andi Sulfanita, Andi Bustan Didi, Muh Jabir Muhammadijah	31-40
EVALUASI SKENARIO MANAJEMEN LALU LINTAS PADA U-TURN JALAN TEUKU UMAR DENGAN METODE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS Michael, Laira Salsabila, Ayu Kamila Khanza	41-47
GENDER DISPARITIES IN WORK-RELATED TRAFFIC ACCIDENTS: ADVANCING SAFE SYSTEM STRATEGIES IN BATAM CITY Vito Raegentsario, Yusra Aulia Sari, Andri Irfan Rifai	48-59
IDENTIFIKASI PENYEBAB TIMBULNYA LIMBAH PROYEK KONSTRUKSI DI KOTA AMBON Syakira Evana Bintang, Felix Taihuttu, Fauzan A. Sangadji	60-66
EVALUASI PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (SMK3) (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Workshop Cikarang) Nurkholis Hakim, Kartono Wibowo, Antonius	67-76
PERBANDINGAN UJI CBR LAPANGAN MENGGUNAKAN DCP DAN CBR LABORATORIUM PADA RUAS JALAN DALAM NEGERI HUTUMURI Yayan Asmawan, Abraham Kalalimbong, Mansye Ronal Ayal	77-84
ANALISIS POLA RUANG DAN TIPOLOGI ARSITEKTUR MARITIM DI PESISIR PANTAI LEATO SELATAN KOTA GORONTALO Mohammad Imran, Reinal Putalan, Didiet Haryadi Hakim, Mohamad Raihan Bahmid, Mohamad Teguh Isima	85-95
ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN CONTROLLED MODULUS COLUMN (CMC) PADA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH LUNAK Julita Hayati, Alexander Alfredo, Arif Rahman Hakim Sitepu, Syahidus Syuhada	96-105

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PREFERENSI PEMILIHAN MODA WISATAWAN MANCANEGARA DI KAWASAN KUTA RAYA	106-113
Ngurah Putu Bayu Pinasthika Wicaksana, Yori Herwangi	
PREFERENSI PRIORITAS PENGEMBANGAN RUANG PADA PERUMAHAN TIPE 21	114-120
Annisa Oktareangga Dheany, Akbar Preambudi	
KOMPOSISI FASAD WISMA KILANG SEBAGAI BASIS REKONSTRUKSI ARSITEKTUR JENGKI DI BALIKPAPAN	121-132
Denny Huldiansyah, Fulkha Tajri M., Sherlia	
STUDI AWAL PERMEABILITAS DAN KUAT TEKAN BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI	133-143
Hanya Khairunnisa, Suhaimi, Ammar Fadhil, RDI Kurnia	
ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PANCANG TERHADAP HASIL PDA PADA PROYEK SPAM PEKANBARU–BANGKINANG	144-154
Arifin, Muhamad Yusa, Gunawan Wibisono	
KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH BONGGOL JAGUNG SEBAGAI FILLER	155-165
Firzi Abi Pramanda, Nurani Hartatik, Aditya Rizkiardi, Yudi D. Prasetyo	
ANALISIS STABILITAS LERENG DINDING PENAHAN TANAH MENGGUNAKAN SOFTWARE GEO5 PADA AKSES JALAN PLTMH LAMPUNG	166-170
Teguh Yuono, Dian Arumningsih, Reki Arbianto, Mutiara Kasih, Thoha Fakiq	
PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL JEPIT TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PORUS	171-179
Muhammad Darurrizqi, Nurani Hartatik, Yudi D. Prasetyo	
PENGARUH SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI DAN ABU BONGGOL JAGUNG TERHADAP KUAT TEKAN DAN LENTUR BETON	180-188
Salma Alwi, IGN Aditya Dhiva, Megawati, Anung Sudibyo, Kuku Prihatin	
TINGKAT KEPATUHAN TENAGA KERJA KONSTRUKSI DALAM IMPLEMENTASI PELAKSANAAN K3 PADA PROYEK KONSTRUKSI DI KOTA SURAKARTA	189-195
Herman Susila, Kusdiman Joko Priyanto, Yusuf Agtiya Putra, Wisnu Hidayat	
KAJIAN PENILAIAN KONDISI JEMBATAN MENGGUNAKAN PEDOMAN PEMERIKSAAN JEMBATAN 2022 DAN BRIDGE HEALTH INDEX (BHI)	196-204
Ayu Saraswati, Muhammad Fathur Aditya	
PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN GFRP (STUDI KASUS: GOR BAROMBONG MAKASSAR)	205-215
Muhammad Fathur Aditya, Ayu Saraswati	
INTEGRASI CITRA UDARA DAN BATIMETRI UNTUK PENYUSUNAN MODEL ELEVASI BELOKAN SUNGAI WONOKROMO	216-225
Nauval Usa Maulana, Andi Patriadi	
ROLES OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ULTRASONICATION IN RELEASING ORGANIC MATTER FROM BIOLOGICAL ACTIVATED CARBON	226-233
Sri Anggreini, Ade Jaya Saputra, LQ Parulian Sanjaya	
PENGARUH BEBAN GEMPA TERHADAP RESPON STRUKTUR GEDUNG TUA TERBENGKALAI (STUDI KASUS: GEDUNG KLABAT PLAZA MANADO)	234-244
Jessen Granbey Potalangi, Ficky Marcellino Oroh, Nur Fitri Ramadhani	

PENILAIAN POTENSI BANJIR BANDANG MENGGUNAKAN METODE FLASH FLOOD POTENTIAL INDEX (FFPI) DENGAN MODEL KRUZDLO (STUDI KASUS: SUB DAS WAY ILAHAN, LAMPUNG)	245-254
Indri Rahmandhani Fitriana, Sahid Sahid, Riyan Hari Putra	
ALOKASI AIR BAKU DAS PAKIJANGAN DI KABUPATEN BREBES	255-261
Ikhwanudin, Risdiana Cholifatul Afifah, Ibnu Toto Husodo, Agustina Wardani	
ANALISIS REKAYASA LALU LINTAS SIMPANG EMPAT MANNA KAMPUS GODEAN, JALAN YOGYAKARTA - DEMAKIJO, NGESTIHARJO, KASIHAN, BANTUL	262-270
Nur Budi Susanto, Iman Haryanto, Nursyamsu Hidayat, Wiryanta, Renno Aryaradjasa, Ferrolinna Cendykia Putri, Hutama Sektiaji	

ANALISIS KEBUTUHAN MATERIAL PADA PEKERJAAN STRUKTUR KOLOM DENGAN METODE KONVENSIONAL (Studi Kasus: SD Negeri Joglo)

*Ilma Alfianarrochmah¹, Rendi Maysa Putra²

^{1,2}Program Studi D3 Teknik Sipil, Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

^{*)}Email: ilmaalfianarrochmah@staff.uns.ac.id

Received: 18 Juli 2025 ; Revised: 10 Agustus 2025 ; Accepted: 19 Agustus 2025

ABSTRACT

In infrastructure development, it is important to plan material requirements for column structure work. Columns are important elements in bearing the loads they receive, so accurate concrete volume calculations will ensure the columns have the required strength and stability in accordance with SNI 2847:2013 standards [1]. Columns are vertical structural elements in buildings that function to withstand vertical loads and channel them to the foundation [2]. The quality of a building structure depends on the accuracy of material requirement calculations. Errors in calculations can result in significant financial and material losses. Therefore, a study will be conducted related to the analysis of column material requirement calculations for elementary school buildings. The purpose of this study is to analyze the material requirements for floors 1, 2, and 3 and to identify the implementation methods used in column work for the Joglo Elementary School Building Construction. This study applies a quantitative descriptive method. Calculation of column work volume requirements was carried out manually as a learning experience. The results of this study are the total requirement for column reinforcement on the 1st floor; 19,635.9 kg, floor 2; 17,407.6 kg, and floor 3; 17,566.8 kg. Column formwork requirements on the 1st floor; 644 m², 2nd floor; 546 m², and 3rd floor; 553 m². Column casting requirements for 1st floor; 67.30 m³, 2nd floor; 57.06 m³, and 3rd floor; 57.79 m³. The method of implementing column work in this project includes reinforcement work, formwork, casting, dismantling of formwork, and column concrete maintenance.

Keyword: structural columns, column volume, column execution method

ABSTRAK

Dalam pembangunan infrastruktur, penting dilakukan perencanaan kebutuhan material pada pekerjaan struktur kolom. Kolom merupakan elemen penting dalam menanggung beban yang diterimanya sehingga perhitungan volume beton yang tepat akan memastikan kolom memiliki kekuatan dan stabilitas yang diperlukan sesuai dengan standar SNI 2847:2013 [1]. Kolom adalah elemen struktural vertikal dalam bangunan yang berfungsi untuk menahan beban vertikal dan menyalurkannya ke fondasi [2]. Kualitas struktur bangunan tergantung pada ketepatan dalam perhitungan kebutuhan material. Kesalahan dalam perhitungan dapat mengakibatkan kerugian finansial dan material yang signifikan. Maka dari itu, akan dilakukan penelitian terkait analisis perhitungan kebutuhan material kolom pada bangunan SDN. Tujuan penelitian ini adalah analisis terkait kebutuhan material untuk lantai 1, 2, dan 3 serta mengidentifikasi metode pelaksanaan yang digunakan pada pekerjaan kolom Pembangunan Gedung SDN Joglo. Penelitian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif. Perhitungan kebutuhan volume pekerjaan kolom dilakukan secara manual sebagai pembelajaran mahasiswa kerja praktik. Hasil penelitian ini adalah total kebutuhan pembesian kolom lantai 1; 19.635,9 kg, lantai 2; 17.407,6 kg, dan lantai 3; 17.566,8 kg. Kebutuhan bekisting kolom lantai 1; 644 m², lantai 2; 546 m², dan lantai 3; 553 m². Kebutuhan pengecoran kolom lantai 1; 67,30 m³, lantai 2; 57,06 m³, dan lantai 3; 57,79 m³. Metode pelaksanaan pekerjaan kolom pada proyek ini meliputi pekerjaan pembesian, bekisting, pengecoran, pembongkaran bekisting, dan perawatan beton kolom.

Kata kunci: kolom struktur, volume kolom, metode pelaksanaan kolom

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kolom merupakan elemen penting dalam menanggung beban yang diterimanya sehingga perhitungan volume beton yang tepat akan memastikan kolom memiliki kekuatan dan stabilitas yang diperlukan sesuai dengan standar SNI 2847:2013 [1]. Kolom adalah elemen struktural vertikal dalam bangunan yang berfungsi untuk menahan beban vertikal dan menyalurkannya ke fondasi [2]. Kolom biasanya terbuat dari bahan seperti beton bertulang, baja, atau kayu dan bisa berbentuk persegi, bulat, atau bentuk lainnya. Kolom juga membantu menjaga kestabilan bangunan dengan menahan beban lateral yang disebabkan oleh angin, gempa bumi, atau beban lainnya. Kolom sering digunakan untuk membagi dan mengatur ruang dalam bangunan, baik secara struktural maupun estetik. Kolom sangat penting dalam konstruksi bangunan guna memastikan bangunan tetap kuat, stabil, dan aman untuk digunakan.

Dalam konteks pembangunan sarana dan prasarana, analisis kebutuhan material seperti pembesian, pembetonan, dan bekisting pada struktur kolom bangunan menjadi sangat penting. Pembangunan Gedung SDN merupakan salah

satu sarana pendidikan yang terdiri dari komponen struktural utama seperti balok, kolom, dan pelat lantai. Kualitas struktur bangunan sangat bergantung pada ketepatan dalam perhitungan kebutuhan material. Kesalahan dalam perhitungan dapat mengakibatkan kerugian finansial dan material yang signifikan. Perhitungan kebutuhan material yang tepat sangat krusial untuk memastikan bahwa jumlah material yang dipesan sesuai dengan kebutuhan proyek. Kesalahan dalam perhitungan dapat mengakibatkan kelebihan atau kekurangan material, yang nantinya dapat mempengaruhi biaya dan waktu pelaksanaan proyek [3]. Kelebihan material dapat menyebabkan pemborosan, sedangkan kekurangan dapat menghambat proses konstruksi. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan analisis tentang kebutuhan volume pembersian, bekisting, dan pembetonan pada pekerjaan kolom bangunan Gedung SDN Joglo.

Rumusan masalah penelitian ini adalah berapa kebutuhan material dan bagaimana metode pelaksanaan pada pekerjaan pembersian, pekerjaan pemasangan bekisting, dan pembetonan untuk lantai 1, 2, dan 3 pada Pembangunan Gedung SDN Joglo. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis terkait kebutuhan material untuk lantai 1, 2, dan 3 serta mengidentifikasi tahapan atau metode pelaksanaan yang digunakan pada pekerjaan pembersian, pemasangan bekisting, pembetonan pada Pembangunan Gedung SDN Joglo.

Tinjauan Pustaka

Pada penelitian Shodiq, dkk 2024 [2] menunjukkan bahwa pekerjaan struktur kolom tergolong aman untuk memikul beban dan metode pelaksanaan pekerjaan yang dilakukan sudah sesuai standar metode pelaksanaan pekerjaan struktur dan SNI; yang terdiri dari tahap persiapan sampai perawatan kolom. Secara umum pelaksanaan pekerjaan menunjukkan telah memenuhi persyaratan teknis dan sesuai perencanaan.

Berdasarkan hasil penelitian Rahman, dkk 2024 [3] pada perhitungan *waste* material pekerjaan penulangan, pemasangan bekisting, pengecoran pada proyek Pembangunan Menara menunjukkan hasil penelitian perhitungan *waste* material pada balok, kolom dan pelat untuk pekerjaan pembersian yaitu sebanyak 3.746,22 kg dari jumlah pembelian besi sebanyak 73.000. Untuk pekerjaan pembersian optimal pada D19 = 9.907,81 kg kemudian untuk *waste* bekisting sebesar 600 m² serta juga terdapat *waste* 37 m³ pada pengecoran kolom, balok dan pelat dari total pembelian 1.150,08.

Dari kedua tinjauan pustaka tersebut menjadi bukti bahwa penelitian terkait analisis metode perlu dipastikan pelaksanaannya dan analisis terkait kebutuhan material pada pekerjaan struktur kolom (penulangan, bekisting, dan pembetonan) perlu dilakukan guna untuk mengantisipasi timbulnya kerugian atau meminimalisir *waste* material.

Landasan Teori

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002), beton merupakan suatu campuran semen portland atau semen hidrolik, air, agregat halus (pasir), agregat kasar (split) dengan atau tanpa bahan tambahan yang dapat membentuk massa padat [4]. Beton yang menggunakan agregat alam yang dipecahkan atau tanpa dipecah dan tidak menggunakan bahan tambahan itu yang disebut dengan beton normal. Beton juga disebut sebagai suatu material yang menyerupai batu yang didapatkan melalui pembuatan suatu campuran semen, pasir, krikil dan air sampai menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan [5].

Perencanaan proyek harus memperhatikan nilai efektif dan efisien agar proyek berjalan dengan baik dan mencapai kualitas maksimal sesuai dengan yang direncanakan [6]. Pada proyek konstruksi perhitungan volume merupakan hal yang sangat penting sebab apabila salah dalam melakukan perhitungan proyek akan mengalami kerugian yang besar [7]. Berdasarkan hasil pemodelan dan analisa perhitungan yang dilakukan Laily, didapatkan adanya ketidakselarasan jumlah item material yang dihitung dibandingkan yang ada di gambar rencana oleh perencana. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, dilakukan perhitungan ulang untuk penggunaan metode konvensional pada berat material [8]. Pada penelitian perhitungan volume beton dan pembersian, menyarankan pada penelitian selanjutnya dilakukan perhitungan volume bekisting [9]. Metode yang digunakan untuk mendapatkan volume dengan melakukan *quantity take-off* pada studi kasus pembangunan bangunan X dengan metode konvensional dengan cara menghitung manual [10].

2. METODE

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif. Pengambilan data penelitian dilakukan dengan observasi lapangan. Pekerjaan kolom diawali dengan melakukan perhitungan volume secara manual (konvensional). Adapun analisis perhitungan hanya dibatasi pada material besi tulangan, bekisting, dan pembetonan. Pada Proyek Pembangunan Gedung Kerja SD Negeri Joglo terdiri dari 2 jenis kolom yaitu K1 (40 x 50 cm) dan K2 (35 x 35 cm). Data pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu:

- a. Data primer; hasil observasi lapangan dan hasil analisis perhitungan kebutuhan material pada pekerjaan kolom
- b. Data sekunder; gambar *Detail Engineering Drawing* dan dokumen perencanaan

Adapun tahapan penelitian ini yaitu:

- Mengidentifikasi data proyek berupa *Detail Engineering Drawing* dan data lapangan
- Melakukan analisis terkait implementasi pekerjaan kolom
- Melakukan analisis perhitungan kebutuhan material pada pekerjaan pembesian, bekisting, dan pembetonan kolom
- Pengolahan data dibantu perangkat lunak *Microsoft Excel 2021*
- Melakukan evaluasi penelitian dengan menarik kesimpulan dan saran.

Pembesian adalah sebuah logam pada material konstruksi yang digunakan sebagai penulangan pada beton. Untuk mengetahui volume pekerjaan struktur yaitu perhitungan berat besi tulangan dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$V = (\text{Tinggi} + \text{Overlap}) \times \text{Berat besi} \times \text{Jumlah tulangan} \times \text{Jumlah titik} \dots\dots (1)$$

Bekisting adalah cetakan beton atau alat konstruksi yang digunakan sementara dan berperan penting dalam keberhasilan pekerjaan struktur. Untuk mengetahui volume pekerjaan struktur yaitu perhitungan bekisting dapat diperoleh dengan rumus berikut [11].

$$V = \text{Keliling} \times \text{Tinggi} \times \text{Jumlah kolom} \dots\dots\dots (2)$$

Untuk mengetahui volume pekerjaan struktur yaitu perhitungan volume beton dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut [12].

$$V = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Jumlah kolom} \dots\dots\dots (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Pelaksanaan

Dalam penelitian ini dilampirkan data hasil observasi terkait metode pelaksanaan pekerjaan kolom pada Proyek Pembangunan Gedung SDN Joglo.

1. Pekerjaan pembesian kolom



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. Pekerjaan pembesian kolom

Tahapan pekerjaan pembesian kolom meliputi;

- Mempersiapkan material dan alat yang dibutuhkan; baja tulangan, alat pemotong, pengikat, dan alat pengukur.
- Memotong dan atau membengkokkan baja tulangan sesuai dengan dimensi dan spesifikasi yang telah ditentukan dalam gambar kerja.
- Merakit baja tulangan sesuai dengan desain dan spesifikasi yang telah ditentukan dalam gambar kerja dan memastikan semua sambungan tulangan menggunakan kawat pengikat dengan kuat dan rapi.
- Memasang tulangan utama (*longitudinal bars*) dan memastikan jarak antar tulangan sesuai dengan spesifikasi.
- Memasang sengkang (*stirrups*) di sekitar tulangan utama dan memastikan jarak antar sengkang sesuai dengan spesifikasi yang ada dalam gambar kerja.
- Melakukan pengukuran untuk memastikan jarak antar tulangan, panjang tulangan, dan posisi tulangan sudah sesuai dengan spesifikasi.
- Mengikat semua sambungan tulangan dengan kuat menggunakan kawat pengikat.
- Memastikan ikatan kuat agar tidak bergeser selama proses pengecoran.

2. Pekerjaan Bekisting Kolom



Sumber: Hasil Analisis, 2025
Gambar 2. Pekerjaan Bekisting Kolom

Tahapan pekerjaan bekisting kolom meliputi;

- Mempersiapkan kebutuhan material bekisting seperti kayu, plywood, paku, dan alat-alat seperti gergaji, palu, dan meteran sudah tersedia.
- Memastikan kondisi material bekisting tidak ada yang rusak atau cacat.
- Mengukur dimensi kolom sesuai dengan spesifikasi teknis.
- Memasang panel bekisting di sekitar tulangan kolom sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan. Menggunakan paku atau baut untuk mengencangkan bekisting agar kokoh dan tidak bocor. Memastikan bekisting dalam posisi tegak lurus dan sejajar dengan menggunakan alat bantu seperti *waterpass* atau unting-unting.
- Memasang pengaku (*bracing*) dan penopang (*support*) pada bekisting untuk mencegah pergeseran atau deformasi saat pengecoran. Pengaku dan penopang harus kuat dan stabil untuk menahan beban beton basah.
- Melakukan pemeriksaan akhir pada bekisting untuk memastikan tidak ada kebocoran atau ketidakrataan.

3. Pekerjaan Pengecoran Kolom



Sumber: Hasil Analisis, 2025

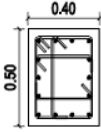
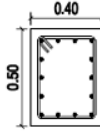
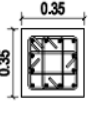
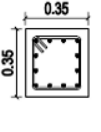
Gambar 3. Pekerjaan pengecoran kolom

Tahapan pekerjaan pengecoran kolom meliputi;

- Memastikan semua alat dan bahan seperti beton, cetakan (bekisting), vibrator, dan alat ukur telah tersedia.
- Melakukan pemeriksaan kekuatan dan kelurusan bekisting agar tidak terjadi deformasi saat pengecoran. Memastikan bekisting sudah diolesi oli bekisting untuk memudahkan pelepasan.
- Menuang beton secara bertahap dan merata ke dalam bekisting. Pengecoran dapat dibantu dengan alat vibrator untuk memastikan beton mengisi semua ruang dan tidak ada udara terperangkap.
- Meratakan permukaan beton menggunakan alat perata (*screed*) atau mistar.
- Melakukan pemeriksaan kembali kualitas pengecoran untuk memastikan tidak ada keretakan atau kekosongan dalam beton.
- Melakukan perawatan atau curing untuk menjaga kelembaban beton agar proses hidrasi berjalan dengan baik. Bisa dilakukan dengan menyiram air atau menutup dengan plastik.
- Melakukan pembongkaran bekisting setelah beton mencapai kekuatan tertentu, biasanya setelah 7 hari.
- Melakukan pemeriksaan akhir untuk memastikan kualitas beton dan ketepatan dimensi kolom sesuai spesifikasi.

Analisis Perhitungan

Pada Proyek Pembangunan Gedung Tempat Kerja SD Negeri Joglo Kota Surakarta, terdapat 2 (dua) tipe kolom utama dengan dimensi dan spesifikasi besi/baja tulangan yang berbeda. Mutu beton pada kolom utama proyek ini yaitu K300 atau 25 MPa dan nilai slump 10 ± 2 cm. Berikut detail gambar pekerjaan kolom dan spesifikasinya.

NOTASI	Kolom (K1)		Kolom (K2)	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
				
Dimensi	400 x 500	400 x 500	350 x 350	350 x 350
Tulangan Longitudinal	14 S 19	14 S 19	12 S 19	12 S 19
Tulangan Sengkan				
- Sumbu Lemah	3S10-75	2S10-100	4S10-75	2S10-100
- Sumbu Kuat	4S10-75	2S10-100	4S10-75	2S10-100
Selimut	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm

Sumber: DED

SDN Joglo

Pembangunan

Gambar 4. Detail Gambar Pekerjaan Kolom K1 DAN K2

Berikut ini merupakan contoh perhitungan berat besi tulangan pada pekerjaan kolom (Lantai 1, Lantai 2, dan Lantai 3).

$$\begin{aligned}
 \text{Volume K1 (D10)} &= (\text{Tinggi} + \text{Overlap}) \times \text{Berat besi} \times \text{Jumlah tulangan} \times \text{Jumlah titik} \\
 &= ((\text{Tinggi} + (2 \times 6D)) + (2 \times 40D)) \times (1/4 \times \pi \times D^2 \times 7850) \times n \text{ tulangan} \times n \text{ titik} \\
 &= ((4,6 + (2 \times 6 \times 0,010)) + (2 \times 40 \times 0,010)) \times (1/4 \times \pi \times 0,010^2 \times 7850) \times 14 \times 56 \\
 &= 2668,2 \text{ kg} \\
 \text{Volume K1 (D19)} &= (\text{Tinggi} + \text{Overlap}) \times \text{Berat besi} \times \text{Jumlah tulangan} \times \text{Jumlah titik} \\
 &= ((\text{Tinggi} + (2 \times 6D)) + (2 \times 40D)) \times (1/4 \times \pi \times D^2 \times 7850) \times n \text{ tulangan} \times n \text{ titik} \\
 &= ((4,6 + (2 \times 6 \times 0,019)) + (2 \times 40 \times 0,019)) \times (1/4 \times \pi \times 0,019^2 \times 7850) \times 14 \times 56 \\
 &= 11076,9 \text{ kg} \\
 \text{Volume K2 (D10)} &= (\text{Tinggi} + \text{Overlap}) \times \text{Berat besi} \times \text{Jumlah tulangan} \times \text{Jumlah titik} \\
 &= ((\text{Tinggi} + (2 \times 6D)) + (2 \times 40D)) \times (1/4 \times \pi \times D^2 \times 7850) \times n \text{ tulangan} \times n \text{ titik} \\
 &= ((4,6 + (2 \times 6 \times 0,010)) + (2 \times 40 \times 0,010)) \times (1/4 \times \pi \times 0,010^2 \times 7850) \times 12 \times 28 \\
 &= 1143,5 \text{ kg} \\
 \text{Volume K2 (D19)} &= (\text{Tinggi} + \text{Overlap}) \times \text{Berat besi} \times \text{Jumlah tulangan} \times \text{Jumlah titik} \\
 &= ((\text{Tinggi} + (2 \times 6D)) + (2 \times 40D)) \times (1/4 \times \pi \times D^2 \times 7850) \times n \text{ tulangan} \times n \text{ titik} \\
 &= ((4,6 + (2 \times 6 \times 0,019)) + (2 \times 40 \times 0,019)) \times (1/4 \times \pi \times 0,019^2 \times 7850) \times 12 \times 28 \\
 &= 4747,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan berat besi tulangan pada pekerjaan kolom dengan metode konvensional menunjukkan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis perhitungan kebutuhan tulangan pekerjaan kolom

Tipe Kolom	Diameter Tulangan	Tinggi (m)	Diameter (m)	Jumlah Tulangan	Jumlah Titik	Berat Besi (kg)
Lantai 1						
K1	D10	4,6	0,010	14	56	2668,2
	D19	4,6	0,019	14	56	11076,9
Total						13745,1
K2	D10	4,6	0,010	12	28	1143,5
	D19	4,6	0,019	12	28	4747,3
Total						5890,8
Lantai 2						
K1	D10	3,9	0,010	14	56	2329,8
	D19	3,9	0,019	14	56	9855,5
Total						12185,3
K2	D10	3,9	0,010	12	28	998,5
	D19	3,9	0,019	12	28	4223,8
Total						

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berikut merupakan contoh perhitungan volume bekisting pada pekerjaan kolom (Lantai 1, Lantai 2, dan Lantai 3).

$$\begin{aligned}\text{Volume K1} &= \text{Keliling} \times \text{Tinggi} \times \text{Jumlah kolom} \\ &= (2 \times (p + l)) \times t \times \text{Jumlah kolom} \\ &= (2 \times (0,40 + 0,50)) \times 4,6 \times 56 \\ &= 1,8 \times 4,6 \times 56 \\ &= 463,68 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume K2} &= \text{Keliling} \times \text{Tinggi} \times \text{Jumlah kolom} \\ &= (2 \times (p + l)) \times t \times \text{Jumlah kolom} \\ &= (2 \times (0,35 + 0,35)) \times 4,6 \times 28 \\ &= 1,4 \times 4,6 \times 28 \\ &= 180,32 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume bekisting pada pekerjaan kolom dengan metode konvensional menunjukkan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis perhitungan kebutuhan bekisting pekerjaan kolom

Tipe Kolom	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Jumlah Titik	Keliling (m)	Volume (m ²)
Lantai 1						
K1	0,40	0,50	4,6	56	1,8	463,68
K2	0,35	0,35	4,6	28	1,4	180,32
			Total			644
Lantai 2						
K1	0,40	0,50	3,9	56	1,8	393,12
K2	0,35	0,35	3,9	28	1,4	152,88
			Total			546
Lantai 3						
K1	0,40	0,50	3,95	56	1,8	398,16
K2	0,35	0,35	3,95	28	1,4	154,84
			Total			553

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berikut ini adalah contoh perhitungan volume beton pada pekerjaan kolom (Lantai 1, Lantai 2, dan Lantai 3).

$$\begin{aligned}\text{Volume K1} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Jumlah kolom} \\ &= 0,40 \times 0,50 \times 4,6 \times 56 \\ &= 51,52 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume K2} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Jumlah kolom} \\ &= 0,35 \times 0,35 \times 4,6 \times 28 \\ &= 15,78 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume beton pekerjaan kolom dengan metode konvensional menunjukkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis perhitungan kebutuhan pembetonan pekerjaan kolom

Tipe Kolom	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Jumlah Titik	Volume (m ³)
Lantai 1					
K1	0,40	0,50	4,6	56	51,52
K2	0,35	0,35	4,6	28	15,78
			Total		67,30
Lantai 2					
K1	0,40	0,50	3,9	56	43,68
K2	0,35	0,35	3,9	28	13,38
			Total		57,06
Lantai 3					
K1	0,40	0,50	3,95	56	44,24
K2	0,35	0,35	3,95	28	13,55
			Total		57,79

Sumber: Hasil Analisis, 2025

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan penelitian, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah didapatkan perhitungan total kebutuhan pembesian kolom lantai 1 sebesar 19.635,9 kg, lantai 2 sebesar 17.407,6 kg, dan lantai 3 sebesar 17.566,8 kg. Kebutuhan bekisting kolom lantai 1 sebesar 644 m², lantai 2 sebesar 546 m², dan lantai 3 sebesar 553 m². Kebutuhan pengecoran kolom lantai 1 sebesar 67,30 m³, lantai 2 sebesar 57,06 m³, dan lantai 3 sebesar 57,79 m³. Metode pelaksanaan pekerjaan kolom pada proyek ini meliputi pekerjaan pembesian kolom, bekisting kolom, pengecoran kolom, pembongkaran bekisting kolom, dan perawatan beton kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. 03-2847, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013*. 2013, p. 265.
- [2] M. F. Shodiq, Agus Setiawan, and Intan Mayasari, "Metode Pelaksanaan Pekerjaan Kontruksi Kolom Dalam Proyek Pembangunan Masjid-Bkms Jiipe Gresik," *J. Unisda*, vol. 04, no. 02, pp. 58–71, 2024.
- [3] M. A. Rahman, I. Aqiel, and D. A. Safitri, "Perhitungan Waste Material Pekerjaan Penulangan, Pengecoran Serta Pemasangan Bekisting Pada Proyek Pembangunan Menara 17 PWNU Jawa Timur," *Konstr. Publ. Ilmu Tek. Perenc. Tata Ruang dan Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 212–221, 2024, [Online]. Available: <https://journal.aritekin.or.id/index.php/Konstruksi/article/view/277>
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002*. 2002, p. 251.
- [5] I. C. Pratama, "Kebutuhan Volume Beton Pada Pelat Lantai Proyek Pembangunan Rumah Susun Institut Teknologi Sumatera," *J. Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–14, 2022, [Online]. Available: <http://ilmuteknik.org/index.php/ilmuteknik/article/view/94>
- [6] S. M. P. Aryadi and A. Herzanita, "Analisis Perbandingan Volume Pekerjaan Konstruksi Menggunakan Metode Bim Dan Konvensional," *Constr. Mater. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 85–92, 2024, doi: 10.32722/cmj.v6i1.4625.
- [7] Y. P. D. Tama and R. Renaningsih, "Perbandingan Perhitungan Volume dan Estimasi Biaya Beton Pile Cap RS Kasih Ibu Surakarta antara Metode Building Information Modeling (BIM) dengan Konvensional," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 2023, pp. 705–710.
- [8] F. N. Laily, H. R. Husni, and B. Bayzoni, "Perbandingan Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Revit 2019 Terhadap Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Metode Konvensional pada Pekerjaan Struktur (Studi Kasus: Gedung G Fakultas Pertanian Universitas Lampung)," *REKAYASA J. Ilm. Fak. Tek. Univ. Lampung*, vol. 25, no. 2, pp. 27–31, 2021, doi: 10.23960/rekrjits.v25i2.30.
- [9] A. Suwarni and B. Anondho, "Perbandingan Perhitungan Volume Kolom Beton Antara Building Information Modeling (Bim) Dengan Metode Konvensional," *JUTEKS J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, p. 75, 2021, doi: 10.32511/juteks.v6i2.743.
- [10] D. A. Putri, A. Herzanita, and I. Ihsani, "Analisis Perbandingan Rumus Perhitungan Quantity Take Off Menggunakan Metode BIM Dan Konvensional pada Pekerjaan Struktur (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Unit Sekolah X)," *J. Artesis*, vol. 4, no. 2, pp. 174–184, 2024.
- [11] Alfia Magfirona, T. I. K. Amar, and Abdul Aziz Muhammad Habib Failasufa, "Analisis Komparasi Quantity Take Off Pekerjaan Struktur Berdasarkan Metode Konvensional Dan Metode BIM Studi Kasus : Perencanaan Omah DW," *J. TESLINK Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 5, no. 1, pp. 60–67, 2023, doi: 10.52005/teslink.v5i2.272.
- [12] M. D. Ramadhandy, N. K. Handyani, and D. S. Dwiyanto, "Analisis Perbandingan Bill Of Quantity (BOQ) Dengan Menggunakan BIM Revit 2022 Terhadap Metode Konvensional Pada Pekerjaan Struktur Rumah Tinggal (Studi Kasus Rumah Mewah 3 Lantai Scandinavian Luxury House)," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 2023.

PRODUKTIVITAS BONGKAR MUAT MODA ANGKUTAN BARANG DI PERGUDANGAN KOTA PAREPARE

*Rahmat Hidayat¹, Hakzah Hakzah², Andi Bustan Didi³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare

^{*}Email: rh313939@gmail.com

Received: 18 Agustus 2025 ; Revised: 22 Agustus 2025 ; Accepted: 23 Agustus 2025

ABSTRACT

Transportation and logistics are crucial elements of the supply chain, particularly loading and unloading activities in warehouses in Parepare City, which face challenges such as long waiting times and limited facilities, thereby reducing productivity. This study aims to analyze warehouse characteristics, freight transport modes, and measure loading-unloading productivity. The research employed a mixed-methods approach, with primary data collected through field observations (time measurement using a stopwatch), questionnaires, and documentation, while secondary data were obtained from relevant literature. Sampling was conducted using purposive sampling with the Slovin formula at a 10% margin of error, resulting in 129 respondents. Instrument validity was tested using Pearson correlation, while reliability was assessed with Cronbach's Alpha ($\alpha > 0.60$). Data were analyzed using multiple linear regression (SPSS v.26). The findings indicate that the highest productivity was achieved at the steel material warehouse, reaching 51 pieces/minute with no waiting time, whereas commercial warehouse 1 only reached 2.841 pieces/minute with a waiting time of up to 119 minutes, mainly due to ineffective scheduling management. Regression analysis revealed that the number of goods (X1), equipment performance (X2), and loading-unloading time (X3) significantly influence productivity (Y), with the highest coefficient of determination ($R^2 = 79.5\%$) found in the steel material warehouse. In conclusion, improving productivity requires investment in modern mechanical handling equipment and the implementation of digital-based scheduling systems.

Keyword: Loading and Unloading Productivity, Freight Transportation Modes, Warehousing, Multiple Linear Regression, SPSS

ABSTRAK

Transportasi dan logistik merupakan elemen krusial dalam rantai pasok, khususnya aktivitas bongkar muat di pergudangan Kota Parepare yang menghadapi kendala waktu tunggu yang lama dan keterbatasan fasilitas, sehingga menurunkan produktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pergudangan, moda angkutan barang, serta mengukur produktivitas bongkar muat barang. Metode penelitian menggunakan pendekatan mixed-methods, dengan data primer diperoleh melalui observasi lapangan (pengukuran waktu dengan stopwatch), kuesioner, dan dokumentasi, sedangkan data sekunder diperoleh dari literatur terkait. Prosedur pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposive sampling menggunakan rumus Slovin dengan tingkat kesalahan 10%, menghasilkan 129 responden. Validitas instrumen diuji menggunakan korelasi Pearson, sedangkan reliabilitas menggunakan Cronbach's Alpha ($\alpha > 0,60$). Analisis data dilakukan menggunakan regresi linier berganda (SPSS v.26). Hasil penelitian menunjukkan produktivitas tertinggi pada gudang material baja sebesar 51 pieces/menit tanpa waktu tunggu, sedangkan gudang niaga 1 hanya mencapai 2,841 pieces/menit dengan waktu tunggu hingga 119 menit yang disebabkan oleh manajemen jadwal bongkar muat barang yang kurang efektif. Analisis regresi menunjukkan bahwa jumlah barang (X1), kinerja alat (X2), dan waktu bongkar muat (X3) berpengaruh signifikan terhadap produktivitas (Y), dengan nilai koefisien determinasi tertinggi ($R^2 = 79,5\%$) pada gudang material baja. Kesimpulannya, peningkatan produktivitas memerlukan investasi pada peralatan bongkar muat mekanis modern dan penerapan sistem penjadwalan berbasis digital.

Kata kunci: Produktivitas Bongkar Muat, Moda Angkutan Barang, Pergudangan, Regresi Linier Berganda, SPSS

1. PENDAHULUAN

Transportasi dan logistik memegang peran penting dalam menunjang kelancaran rantai pasok, tidak terkecuali di Kota Parepare. Sebagai simpul distribusi di Kawasan Timur Indonesia, aktivitas logistik di Parepare, khususnya proses bongkar muat di pergudangan, menjadi penentu utama dalam mendistribusikan berbagai komoditas, mulai dari hasil pertanian hingga produk industri [1]. Sebagai sarana pemindahan barang, transportasi tidak hanya mendukung mobilitas masyarakat tetapi juga menjadi tulang punggung distribusi logistik yang memerlukan moda angkutan efektif untuk menjamin akses yang merata [2]. Namun, efisiensi angkutan barang sangat bergantung pada kondisi infrastruktur serta tata kelola pergudangan [3].

Aktivitas bongkar muat di pergudangan Kota Parepare menghadapi tantangan serius, salah satunya adalah waktu tunggu yang lama. Kendala ini muncul akibat antrean kendaraan yang panjang [4]. Hal tersebut tidak hanya menyebabkan penumpukan barang dan peningkatan biaya operasional, tetapi juga mengganggu efisiensi secara keseluruhan dalam proses bongkar muat barang.

Produktivitas bongkar muat merupakan indikator kunci dalam menilai efisiensi proses logistik. Menurut [5], Produktivitas bongkar muat diukur berdasarkan kecepatan penanganan barang, dipengaruhi oleh jumlah barang yang dibongkar muat, kinerja peralatan, dan waktu yang dibutuhkan. Dimensi produktivitas mencakup jumlah barang yang dibongkar (output) dan jumlah barang yang di muat (input) dalam satuan waktu yang dibutuhkan, Hal ini menunjukkan efisiensi dan efektivitas dalam mencapai hasil optimal dengan sumber daya minimal [6].

Studi terdahulu oleh [7] menunjukkan bahwa peralatan bongkar muat dan waktu tunggu truk signifikan memengaruhi produktivitas. Operasional pergudangan sering terkendala oleh proses manual yang memicu antrean, sistem pencatatan ganda yang rawan kesalahan, serta keterbatasan tenaga kerja.[8].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik pergudangan dan moda angkutan barang di Kota Parepare, serta menganalisis tingkat produktivitas bongkar muat berdasarkan data observasi lapangan dan statistik (SPSS 26) berdasarkan hasil kuesioner. Secara umum, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis untuk meningkatkan produktivitas bongkar muat di berbagai pergudangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Logistik

Logistik mendukung aliran barang dari produksi hingga ke konsumen akhir, termasuk fungsi pergudangan dan transportasi[9];([10]. Sistem logistik yang efektif memungkinkan pengurangan waktu tunggu, peningkatan efisiensi bongkar muat, dan dukungan optimal terhadap kegiatan ekonomi.

Pergudangan Dan Karakteristiknya

Pergudangan berfungsi tidak hanya untuk menyimpan barang, tetapi juga mendukung distribusi dan efisiensi logistik melalui manajemen stok, fasilitas, dan teknologi seperti Warehouse Management System [11]. Gudang dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran (kecil, menengah, besar), luas bangunan, fasilitas, dan jenis barang yang disimpan[12], [13]. Karakteristik gudang berdasarkan jenis gudang, luas gudang dan fasilitas alat bongkar muat barang di gudang.

Moda Angkutan Barang Dan Karakteristiknya

Moda angkutan barang darat, khususnya truk (engkel, double, fuso, tronton), digunakan untuk mendistribusikan komoditas seperti hasil pertanian dan barang umum [14]. Efisiensi angkutan dipengaruhi oleh kondisi jalan, kapasitas truk, jenis muatan, serta biaya operasional yang meliputi bahan bakar, gaji operator, dan perawatan kendaraan [15] Adapun karakteristik truk angkutan barang dapat dibedakan berdasarkan kapasitas muatan dan jenis kendaraan.

Produktivitas Bongkar Muat Barang

Produktivitas bongkar muat menunjukkan seberapa cepat dan efisien barang dipindahkan dari truk ke gudang. Semakin banyak barang dibongkar dalam waktu singkat, semakin tinggi produktivitasnya. Ukuran produktivitas didefinisikan sebagai total keluaran per satu unit dari total input [16].

$$P = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

Dengan P = Produktivitas bongkar muat (menit), Q = Jumlah barang yang dibongkar/muat (Pieces, Sak dan karton), T = Waktu operasi bongkar muat (menit).

Waktu Tunggu Bongkar Muat

Waktu tunggu bongkar muat di pergudangan adalah selang waktu sejak truk atau kendaraan tiba dan mengajukan permohonan bongkar muat, hingga proses bongkar muat benar-benar dimulai [17].

$$WT = T_{start} - T_{arrival} \quad (2)$$

Dengan WT = Waktu tunggu bongkar muat (menit/jam), T start = Waktu proses mulai bongkar muat, T arrival = Waktu kedatangan kendaraan di lokasi gudang.

Produktivitas Kerja Alat

Alat bongkar muat di pergudangan adalah peralatan yang digunakan untuk memindahkan barang, dengan tujuan mempercepat proses bongkar muat sehingga truk tidak perlu menunggu terlalu lama [7].

$$P_a = \frac{Q}{T_a} \quad (3)$$

Dengan V = Produktivitas kerja alat (pieces/unit, Sak dan karton/menit), Q = Total volume barang yang dipindahkan (pieces/unit, Sak dan karton), T = Total waktu operasi alat (menit)

Validitas

Uji validitas digunakan untuk mengetahui valid atau tidaknya suatu kuesioner. Dihitung menggunakan rumus korelasi berikut ini:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (4)$$

Dengan n = Jumlah responden, $\sum x$ = Total semua nilai X1 dari 38 responden, $\sum y$ = Total semua nilai Y dari 38 responden, $\sum x^2$ = Jumlah kuadrat dari masing masing nilai X1, $\sum y^2$ = Jumlah kuadrat dari masing masing nilai Y, $\sum xy$ = Jumlah hasil kali antara masing masing X1 dan Y.

Reliabilitas

Reliabilitas adalah tingkat konsistensi atau stabilitas hasil pengukuran, baik dari suatu alat ukur maupun dari suatu metode penelitian, ketika dilakukan berulang kali atau dalam kondisi yang berbeda.

$$a = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_t^2} \right) \quad (5)$$

Dengan n = Jumlah sampel, k = Jumlah item = contoh 3 item (X1.1, X1.2, X1.3), $\sum \sigma_i^2$ = Jumlah varians item σ_t^2 = Varians total skor.

Analisi Regresi Linear Berganda

Adalah suatu analisis untuk mengetahui besarnya pengaruh antara independent variable dengan dependent variable secara serentak, dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (6)$$

Dengan Y = Tingkat produktivitas, a = Konstanta, b_1, b_2, b_3 = koefisiensi regresi masing masing variabel X, X1 = Jumlah barang yang di bongkar muat, X2 = Kinerja penggunaan alat bongkar muat, X3 = Waktu bongkar muat barang.

Koefisien determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) mengukur sejauh mana perubahan variabel dependen dapat dijelaskan oleh model.

$$R^2 = \frac{(b_1 \sum x_1y) + (b_2 \sum x_2y) + (b_3 \sum x_3y)}{\sum y^2} \quad (7)$$

Dengan R^2 = Koefisien determinasi (*r square*), b_1, b_2, b_3 = Koefisiensi regresi masing masing variabel X, $\sum x_1y, \sum x_2y, \sum x_3y$ = Jumlah hasil kali antara masing-masing X dan Y, $\sum y^2$ = Jumlah kuadrat dari masing masing nilai Y.

Uji F

Uji F digunakan untuk mengevaluasi secara bersamaan apakah faktor-faktor independen memiliki dampak terhadap variabel dependen.

$$F_{hitung} = \frac{R^2 / k}{(1-R^2)/(n-k-1)} \quad (8)$$

Dengan R^2 = Koefisien determinasi, k = Variabel bebas, n = Jumlah responden.

Uji T

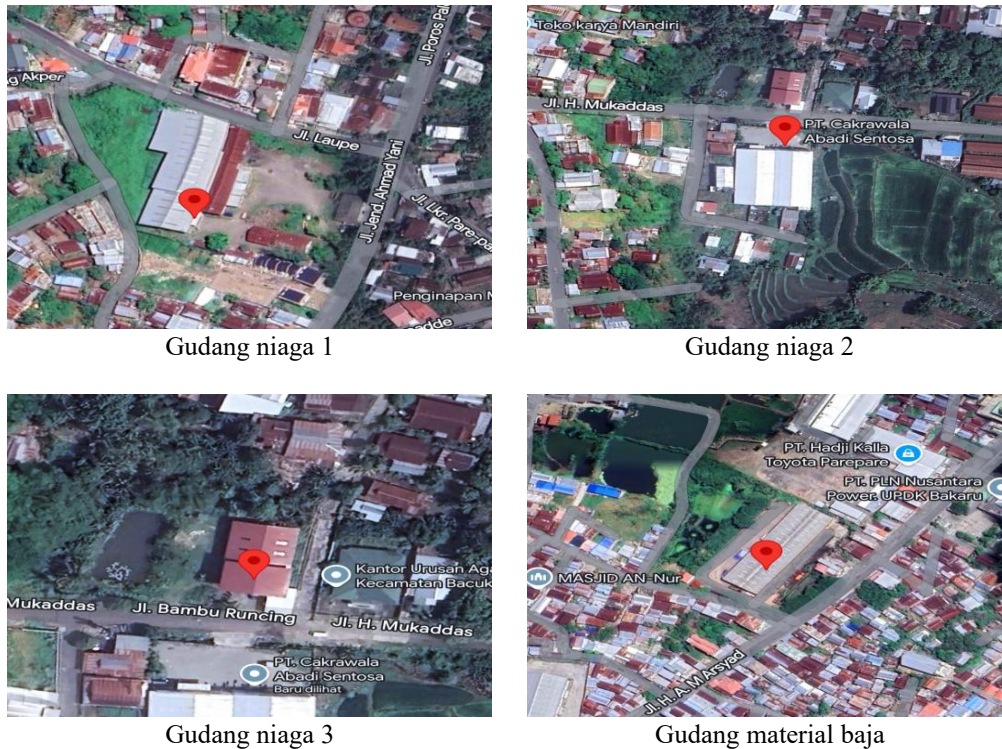
Uji t digunakan untuk mengetahui benar tidaknya hipotesis atau pernyataan peneliti.

$$t_{hitung} = \frac{b_1}{S_{b1}} \quad (9)$$

Dengan b_1 = Kofesien regresi dari variabel, S_{b1} = Standar error dari b_1 .

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di empat lokasi pergudangan yang berada di kawasan Kota Parepare, Sulawesi Selatan. Yang terdiri dari tiga gudang niaga dan satu gudang material baja. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada aktivitas bongkar muat yang cukup tinggi serta penggunaan alat bantu berupa Forklift hand pallet dan Forklift diesel counterbalance yang representatif untuk dianalisis dari segi produktivitas. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama tiga bulan, yaitu pada periode Maret hingga Mei 2025.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Penelitian ini menggunakan metode mixed-methods dengan mengombinasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Tujuan utama adalah untuk mengukur pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat secara objektif dan terukur. Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri atas jumlah barang (X1), kinerja alat bongkar muat (X2), dan waktu bongkar muat (X3), sedangkan variabel terikat adalah produktivitas (Y). Perhitungan produktivitas, kinerja alat, dan waktu bongkar muat dilakukan berdasarkan data yang diperoleh langsung dari aktivitas pergudangan.

Sampel responden ditentukan menggunakan rumus Slovin dengan tingkat kesalahan 10%, menghasilkan 129 responden total dari 4 pergudangan yang terdiri dari operator forklift, tenaga bongkar muat, dan staf logistik. Pengumpulan data melalui observasi, dokumentasi, dan kuesioner.

Analisis data dilakukan menggunakan regresi linier berganda dengan bantuan perangkat lunak SPSS versi 26. Uji validitas instrumen dilakukan melalui korelasi Pearson, sedangkan uji reliabilitas menggunakan Alpha Cronbach ($\alpha > 0,60$). Selanjutnya, analisis regresi dilengkapi dengan uji simultan (Uji F), uji parsial (Uji t), serta uji asumsi klasik yang mencakup uji normalitas, multikolinearitas, dan heteroskedastisitas. Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat. Hasil akhir penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis untuk mengoptimalkan produktivitas bongkar muat di kawasan pergudangan Kota Parepare.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden

Responden yang dilibatkan dalam penelitian ini adalah operator forklift, tenaga bongkar muat, dan staf logistik pergudangan Kota Parepare yang dipilih berdasarkan jumlah buruh yang terlibat dalam proses bongkar muat. Karakteristik responden yang digunakan dalam penelitian ini adalah diklasifikasikan berdasarkan usia, jenis kelamin, lama bekerja dan pendidikan terakhir responden. Untuk memperjelas karakteristik responden yang dimaksud, maka disajikan pada tabel responden berikut:

Tabel 1. Karakteristik Responden

Karakteristik	Kategori	Jumlah	Persentase (%)
Usia	< 20	0	0 %
	21 - 30	66	51,16 %
	31 - 40	53	41,09 %
	41 - 50	10	7,75 %
	> 50	0	0 %
Jenis kelamin	Laki-Laki	129	100 %
	Perempuan	0	0 %
Lama bekerja	< 5 tahun	111	86,05 %
	6 – 10 tahun	9	6,98 %
	11 – 15 tahun	9	6,98 %
	15 > tahun	0	0 %
Pendidikan terakhir	SD	6	4,65 %
	SMP	33	25,58 %
	SMA	90	68,77 %
	Perguruan tinggi	0	0 %

Sumber: Hasil Observasi Lapangan 2025

Karakteristik Kendaraan

Kendaraan yang dilibatkan dalam penelitian ini adalah kendaraan yang dipakai dalam proses bongkar muat di keempat pergudangan Kota Parepare. Karakteristik kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan, kapasitas muatan, kategori kapasitas muatan, jumlah total truk dari empat pergudangan yang digunakan. Untuk memperjelas karakteristik kendaraan yang dimaksud, maka disajikan pada tabel karakteristik berikut:

Tabel 2. Karakteristik Kendaraan

Karakteristik jenis kendaraan	Kapasitas muatan per unit	Kategori kapasitas muatan	Jumlah Total truk	Persentase (%)
Truk Engkel Box	2 ton	< 10 ton	8	32 %
Truk diesel engkel	5 ton	< 10 ton	3	12 %
Truk diesel double	6 ton	< 10 ton	4	16 %
Truk fuso	8 ton	< 10 ton	5	20 %
Truk tronton	20 ton	11–20 ton	5	20 %

Sumber: Hasil Observasi Lapangan 2025

Karakteristik Gudang

Gudang yang dilibatkan dalam penelitian ini adalah Gudang yang menggunakan alat bantu forklift dalam proses bongkar muat barang di Kota Parepare. Karakteristik gudang yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan jenis gudang, luas gudang, dan fasilitas alat yang digunakan oleh pihak pergudang pada saat bongkar muat barang. Untuk memperjelas karakteristik gudang yang dimaksud, maka disajikan pada tabel karakteristik gudang berikut:

Tabel 3. Karakteristik Gudang

Jenis gudang	Luas gudang	Jenis alat bantu bongkar muat
Niaga 1	> 1.000 m ²	Forklift hand pallet
Niaga 2	> 1.000 m ²	Forklift hand pallet
Niaga 3	< 500 m ²	Forklift hand pallet
Material baja	> 1.000 m ²	Forklift diesel counterbalance

Sumber: Hasil Observasi Lapangan 2025

Produktivitas Bongkar Muat

Produktivitas bongkar muat barang di pergudangan menggambarkan seberapa cepat dan efisien proses pemindahan barang dari truk ke dalam gudang atau sebaliknya. Semakin banyak barang yang dapat dibongkar dalam waktu yang lebih singkat, maka semakin tinggi tingkat produktivitasnya. Dalam penelitian ini, produktivitas bongkar muat diukur melalui dua metode: perhitungan manual berdasarkan data langsung dari aktivitas di lapangan, serta analisis statistik menggunakan SPSS berdasarkan data kuesioner. Hasil perhitungan produktivitas bongkar muat, waktu tunggu, dan produktivitas kinerja alat berdasarkan data langsung dari aktivitas di lapangan:

Gudang Niaga 1

$$\text{Produktivitas bongkar muat} = \frac{1.182.150 \text{ Pieces}}{416 \text{ menit}} = 2.841 \text{ Pieces/menit}$$

Waktu tunggu = Truk ke-4, truk tiba pukul 10:25 dan mulai bongkar muat barang pukul 11:24, sehingga waktu tunggu adalah 59 menit.

= Truk ke-6, truk tiba pukul 14:27 dan mulai bongkar muat barang pukul 15:27, sehingga waktu tunggu adalah 60 menit.

$$= 59 + 60 = 119 \text{ menit}$$

$$\text{Produktivitas kerja alat} = \frac{1.182.150 \text{ Pieces}}{297 \text{ menit}} = 3.980 \text{ Pieces/menit}$$

Gudang Niaga 2

$$\text{Produktivitas bongkar muat} = \frac{3.414 \text{ karton}}{493 \text{ menit}} = 7 \text{ karton/menit}$$

Waktu tunggu = (tidak ada waktu tunggu)

$$\text{Produktivitas kerja alat} = \frac{3.414 \text{ karton}}{493 \text{ menit}} = 7 \text{ karton/menit}$$

Gudang Niaga 3

$$\text{Produktivitas bongkar muat} = \frac{2.024 \text{ karton}}{189 \text{ menit}} = 11 \text{ karton/menit}$$

Waktu tunggu = (tidak ada waktu tunggu)

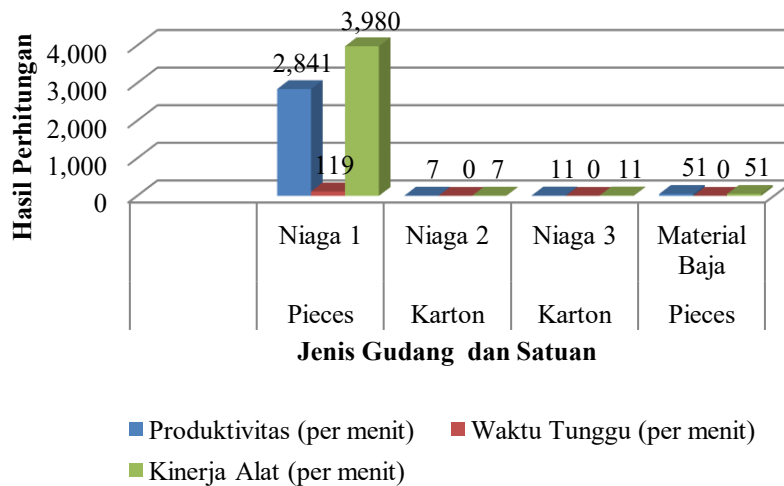
$$\text{Produktivitas kerja alat} = \frac{2.024 \text{ karton}}{189 \text{ menit}} = 11 \text{ karton/menit}$$

Gudang Material Baja

$$\text{Produktivitas bongkar muat} = \frac{15.865 \text{ Pieces}}{310 \text{ menit}} = 51 \text{ Pieces/menit}$$

Waktu tunggu = (tidak ada waktu tunggu)

$$\text{Produktivitas kerja alat} = \frac{15.865 \text{ Pieces}}{310 \text{ menit}} = 51 \text{ Pieces/menit}$$



Sumber: Microsoft excel 2025

Gambar 2. Diagram Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan dan diagram diatas terlihat perbedaan produktivitas antar gudang disebabkan oleh faktor jenis dan kapasitas alat bongkar muat, sistem penjadwalan, serta volume barang yang ditangani. Gudang material baja yang menggunakan forklift diesel counterbalance lebih unggul dibanding gudang niaga yang hanya menggunakan forklift hand pallet. Selain itu, manajemen penjadwalan berperan penting, terbukti pada gudang niaga 1 yang mengalami waktu tunggu panjang akibat penjadwalan yang kurang efektif. Faktor sumber daya manusia juga berpengaruh, mengingat mayoritas tenaga kerja berusia produktif namun dengan pengalaman kerja yang relatif singkat. Hal ini berdampak pada kecepatan dan efisiensi bongkar muat. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menekankan peran peralatan mekanis dan sistem manajemen dalam peningkatan produktivitas logistik.

Analisis Statistik SPSS versi 26

Tabel 4. Analisis statistik menggunakan SPSS berdasarkan data kuesioner

Uji SPSS	Jenis Pergudangan			
	Gudang Niaga 1	Gudang Niaga 2	Gudang Niaga 3	Gudang Material Baja
Uji Validitas (R hitung > R tabel)	Valid (semua variabel)	Valid (semua variabel)	Valid (semua variabel)	Valid (semua variabel)
Uji Reliabilitas (Cronbach's Alpha > 0,60)	Reliabel (Y: 0,619; X1: 0,664; X2: 0,779; X3: 0,878)	Reliabel (Y: 0,625; X1: 0,674; X2: 0,793; X3: 0,858)	Reliabel (Y: 0,685; X1: 0,794; X2: 0,866; X3: 0,867)	Reliabel (Y: 0,736; X1: 0,650; X2: 0,830; X3: 0,900)
Uji Normalitas (Kolmogorov-Smirnov > 0,05)	Terpenuhi (Sig. = 0,135)	Terpenuhi (Sig. = 0,200)	Terpenuhi (Sig. = 0,200)	Terpenuhi (Sig. = 0,200)
Uji Multikolinearitas (Tolerance > 0,10; VIF < 10)	Terpenuhi (Tolerance: 0,939–0,975; VIF: 1,025–1,065)	Terpenuhi (Tolerance: 0,897–0,980; VIF: 1,020–1,114)	Terpenuhi (Tolerance: 0,857–0,977; VIF: 1,024–1,167)	Terpenuhi (Tolerance: 0,759–0,981; VIF: 1,019–1,318)
Uji Heteroskedastisitas (Pola Acak)	Tidak terjadi	Tidak terjadi	Tidak terjadi	Tidak terjadi
Koefisien Determinasi (R ²)	39,50%	48,60%	50,90%	79,50%
Regresi linier berganda	Y = 23,879 + (-0,321)X1 + (-0,175)X2 + (-0,131)X3	Y = 6,173 + 0,380X1 + 0,238X2 + (-0,138)X3	Y = 14,931 + (-0,327)X1 + 0,225X2 + (-0,137)X3	Y = 18,064 + (-0,460)X1 + 0,172X2 + (-0,145)X3
Uji F (Simultan) (Sig. < 0,05)	Signifikan (Sig. = 0,001)	Signifikan (Sig. = 0,000)	Signifikan (Sig. = 0,001)	Signifikan (Sig. = 0,000)
Uji T (Parsial) (Sig. < 0,05)	Signifikan (X1, X2, X3)	Signifikan (X1, X2, X3)	Signifikan (X1, X2, X3)	Signifikan (X1, X2, X3)
Keterangan	R ² terendah. Karena masalah pada jadwal bongkar/muat.	R ² sedang. Belum optimal menjelaskan produktivitas.	R ² lumayan tinggi. tetapi masih di bawah gudang material baja.	R ² tertinggi. Model sangat baik, optimal menjelaskan produktivitas.

Sumber: Hasil Olah Data SPSS versi 26

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada empat gudang di kawasan pergudangan Kota Parepare, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Karakteristik Tenaga Kerja dan Moda Transportasi: Mayoritas tenaga kerja bongkar muat merupakan laki-laki berusia 21–40 tahun dengan pengalaman kerja <5 tahun dan latar belakang pendidikan terakhir SMA. Moda transportasi yang paling dominan digunakan adalah truk engkel dan fuso dengan kapasitas muatan < 10 ton.

Hasil data observasi produktivitas bongkar muat dengan pengambilan data langsung dari lapangan didapatkan Gudang material baja yang menggunakan forklift diesel counterbalance menunjukkan produktivitas tertinggi, yakni mencapai 51 pieces/menit, sedangkan Gudang Niaga 1, 2, dan 3 yang menggunakan Forklift hand pallet hanya mencapai 2,841 pieces/menit, 7 kanton/menit, 11 kanton/menit dengan waktu tunggu pada gudang niaga 1 hingga 119 menit akibat penjadwalan yang kurang efektif. Meskipun Gudang Niaga 1 memiliki jumlah barang yang besar, perbandingan dengan Gudang Material Baja tidak dapat disamakan karena perbedaan jenis barang yang ditangani.

Hasil analisis regresi linier berganda menunjukkan bahwa jumlah barang (X1), waktu bongkar muat (X2), dan kinerja alat bongkar muat (X3) berpengaruh signifikan terhadap produktivitas (Y), baik secara simultan maupun parsial. Nilai koefisien determinasi (R²) tertinggi diperoleh pada Gudang Material Baja yang menggunakan Forklift diesel counterbalance, yaitu sebesar 79,5%, melampaui nilai dari gudang niaga 1, 2, dan 3 yang mengandalkan Forklift hand pallet, yakni sebesar 39,50%, 48,60%, dan 50,90%. Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan Forklift diesel counterbalance, memiliki keunggulan dalam menjelaskan variabilitas produktivitas sekaligus meningkatkan kinerja bongkar muat dibandingkan dengan yang mengandalkan Forklift hand pallet.

Rekomendasi Hasil Penelitian: Untuk meningkatkan produktivitas bongkar muat, disarankan agar pelaku industri pergudangan: (1) mengoptimalkan ketersediaan serta penggunaan peralatan bongkar muat mekanis modern, seperti forklift diesel counterbalance; (2) memperbaiki sistem penjadwalan bongkar muat untuk meminimalkan waktu tunggu antrean truk, sehingga proses membongkar barang tidak bersamaan dengan truk yang akan melakukan pemuatan barang; dan (3) memberikan pelatihan teknis kepada tenaga kerja guna meningkatkan keterampilan dalam mengoperasikan peralatan yang telah disediakan oleh pihak pergudangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Hendrialdi, "Kinerja Pelayanan Jalan Pada Distribusi Angkutan Barang Di Kota Padang," *J. Sains Dan Teknol. Marit.*, vol. 20, no. 1, pp. 53–60, 2019, doi: 10.33556/jstm.v20i1.217.
- [2] A. Z. Akhmad, "Analisis Moda Transportasi Angkutan Barang Berdasarkan Distribusi Komoditi," 2024.
- [3] H. Hakzah, *Angkutan Barang Jalan Raya*. Eureka Media Aksara, 2024.
- [4] M. R. Saputra, M. Tohir, and A. Primadi, "Analisis Proses Logistik , Kinerja Karyawan dan Komunikasi yang Efektif Terhadap Kepuasan Pelanggan," *Jurnal Siber Transp. dan Logistik*, vol. 2, no. 2, pp. 49–60, 2024.
- [5] R. Setiawati, M. Caehsa, and B. Badarusman, "Utilisasi Quay Container Crane Crane Dan Produktivitas Bongkar Muat Petikemas Terhadap Effective Time Kapal Petikemas Di Terminal Operasi 3 PT Pelabuhan Tanjung Priok," *J. Manaj. Bisnis Transp. dan Logistik*, pp. 45–56, 2017.
- [6] T. D. Januarny and C. Harimurti, "Pengaruh Tata Letak Gudang Terhadap Kelancaran Pproduktivitas Bongkar Muat di Gudang PT. NCT," *J. Logistik Indones.*, vol. 5, no. 1, pp. 55–64, 2020, doi: 10.31334/logistik.v5i1.1185.
- [7] Adenanthra, Uut Dwi Karningsih, and Retno Mulatsih, "Analisis Pengaruh Peralatan Bongkar Muat, Waktu Tunggu Truck , Kinerja Operator Bongkar Muat, Dan Tenaga Kerja (TKBM) Terhadap Produktivitas Bongkar Muat Batubara Di Pelabuhan Cirebon," *J. Business, Financ. Econ.*, vol. 2, no. 2, pp. 89–96, 2021, doi: 10.32585/jbfe.v2i2.4591.
- [8] Raffi Muhammad Fauzan, "Optimalisasi Efisiensi Bongkar Muat di Gudang Boston Jaya Bandung Melalui Integrasi Sistem Konveyor dan Warehouse Management System (WMS)," *J. Ilmu Komput. dan Bisnis Ed. Mei 2025, Vol. 16, No. 1*, vol. 16, no. 1, pp. 182–192, 2025.
- [9] R. A. Kasengkang, S. Nangoy, and J. Sumarauw, "Analisis Logistik (Studi Kasus pada Pt. Remenia Satori Tepas-Kota Manado)," *J. Berk. Ilm. Efisiensi*, vol. 16, no. 01, pp. 750–759, 2016.
- [10] C. Rivera-Gonzalez, U. Ahmed, and M. J. Roorda, "The evolving landscape of urban logistics: A study of the Greater Golden Horseshoe," *J. Transp. Geogr.*, vol. 122, no. November 2024, p. 104055, 2025, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2024.104055.
- [11] A. Anđelković and M. Radosavljević, "Improving order-picking process through implementation of warehouse management system," *Strateg. Manag.*, vol. 23, no. 2, pp. 3–10, 2018, doi: 10.5937/straman1801003a.
- [12] D. Ardiyansyah and R. M. Haryadi, "Pengaruh Tata Letak Material Terhadap Produktivitas Kerja Dalam Bongkar Muat Material Pln Di Gudang Pt . Karya Langgeng Abadi (Studi Pada Pt . Karya Langgeng Abadi Di," pp. 1–14, 2023.
- [13] F. Fadhilah, R. Firdiansyah Suryawan, L. Suryaningsih, and L. Lestari, "Teori Gudang Digunakan Dalam Proses Pergudangan (Tinjauan Empat Aspek)," *J. Transp. Logistik, dan Aviasi*, vol. 1, no. 2, pp. 153–156, 2022, doi: 10.52909/jtla.v1i2.63.
- [14] U. Saputra, Hakzah, and Misbahuddin, "Analisis Sistem Transportasi Logistik (Studi Kasus: Pergudangan Kota Parepare)," *J. Karajata Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 78–85, 2024, doi: 10.31850/karajata.v4i1.3107.
- [15] H. Hakzah, M. I. Ramli, and A. I. Pawelloi, "The Characteristics Operational Cost of Freight Transport in South Sulawesi Province - Indonesia," *Sinergi*, vol. 25, no. 1, p. 81, 2021, doi: 10.22441/sinergi.2021.1.011.
- [16] N. H. N. Bhide, "MEASURING PRODUCTIVITY DURING LOADING AND UNLOADING OF GOODS USING TIME AND WORK STUDY," 2024, *SNJB'S Late Sau Kantabai Bhavarlalji Jain College of Engineering.*
- [17] Yusrifah Indahsari, M. Idrus, and A. Chairunnisa, "Analisis Produktivitas Bongkar Muat pada Pelabuhan Soekarno," *J. Penelit. Enj.*, vol. 24, no. 1, pp. 58–64, 2020, doi: 10.25042/jpe.052020.09.

STUDI KINERJA SIMPANG JALAN PAROS MAMUJU – KALUKKU – JALAN AKSES BANDARA TAMPA PADANG

*Imam Wardani¹, M. Nashir T², Kasmaida³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare

^{*)}Email: nashirt75@gmail.com

Received: 22 Agustus 2025 ; Revised: 17 Oktober 2025 ; Accepted: 1 November 2025

ABSTRACT

The significant growth in the number of vehicles in Mamuju Regency, West Sulawesi, along with the development of infrastructure such as Tampa Padang Airport and Belang-Belang Port, creates the potential for traffic congestion, especially at the intersection of Jl. Poros Mamuju-Kalukku-Jl. Tampa Padang Airport Access. This study aims to analyze the existing conditions and performance of traffic movements at the unsignalized intersection based on the Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) 2023. The method used is a quantitative approach through a seven-day traffic survey during peak hours. Data collected included traffic volume, intersection geometry, and environmental conditions around the intersection. Analysis using the Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) 2023 was conducted on the intersection capacity, and intersection performance. The results showed that the peak hour of vehicles occurred on Monday, May 19, 2025 at 07.00-08.00 a.m. The volume of vehicles was 1111 vehicles / hour or 612.6 smp / hour with a degree of saturation (Dj) 0.20, delay (T) 6.8, queue opportunities (Pa) 2-9%. And on Sunday May 25, 2025 at 10:00-11:00 am, the volume of vehicles was 638 vehicles / hour or 412 smp / hour with a degree of saturation (Dj) 0.14, delay (T) 5.9, queue opportunities (Pa) 1-6%. Performance assessment based on PKJI 2023 parameters provides an overview of the traffic service of the intersection in the level of service (LOS) B category, which means that the traffic flow conditions are good.

Keyword: intersection capacity, intersection performance, traffic, unsignalized intersection, PKJI 2023

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah kendaraan yang signifikan di Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat, seiring dengan perkembangan infrastruktur seperti Bandara Tampa Padang dan Pelabuhan Belang-Belang, menimbulkan potensi kemacetan lalu lintas, khususnya pada simpang Jl. Poros Mamuju-Kalukku-Jl. Akses Bandara Tampa Padang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting dan kinerja pergerakan lalu lintas pada simpang tak bersinyal tersebut berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui survei lalu lintas selama tujuh hari pada jam-jam sibuk. Data yang dikumpulkan mencakup volume lalu lintas, geometri simpang, serta kondisi lingkungan sekitar simpang. Analisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dilakukan terhadap kapasitas simpang, dan kinerja simpang. Hasil penelitian menunjukkan jam puncak kendaraan terjadi pada hari Senin 19 Mei 2025 pukul 07.00-08.00 wita volume kendaraan sebanyak 1111 kend/jam atau 612,6 smp/jam dengan Derajat kejenuhan (Dj) 0,20, Tundaan (T) 6,8, Peluang antrian (Pa) 2-9%. Dan pada hari Minggu 25 Mei 2025 pukul 10.00-11.00 wita, volume kendaraan sebanyak 638 kend/jam atau 412 smp/jam dengan Derajat kejenuhan (Dj) 0,14, Tundaan (T) 5,9, Peluan antrian (Pa) 1-6 %. Penilaian kinerja berdasarkan parameter PKJI 2023 memberikan gambaran tentang pelayanan lalu lintas simpang masuk kategori level of serve (LOS) B dapat diartikan kondisi arus lalu lintas baik.

Kata kunci: kapasitas simpang, kinerja simpang, lalu lintas, simpang tak bersinyal, PKJI 2023

1. PENDAHULUAN

Transportasi adalah perpindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Transportasi digunakan untuk memudahkan manusia dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Pada saat ini, sarana transportasi darat masih menjadi pilihan utama dibanding dengan sarana transportasi lainnya, karena jalan dipandang masih mempunyai keunggulan dalam hal aksesibilitas dan mobilitas [1]

Simpang adalah tempat berkelok atau bercabang dari jalan yang lurus. Simpang merupakan titik penting dalam jaringan jalan, dimana kendaraan dari berbagai arah bertemu dan harus berinteraksi untuk melanjutkan perjalanan [2]. Sebuah jalan tentunya tidak hanya dari satu arah saja melainkan terdapat satu titik pertemuan dari arah lainnya yang bisanya disebut dengan persimpangan. Persimpangan adalah suatu jalan pertemuan yang bersilangan antara dua ruang jalan maupun lebih serta kompleks berupa ruang persimpangan yang bervariasi sederhana dari beberapa ruas jalan [3].

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar keempat belas di dunia dengan luas wilayah daratan sebesar 1.904.569 km² dan jumlah penduduk sebanyak 275.344.166 jiwa yang tersebar di 38 Provinsi. Dengan wilayah daratan yang luas Indonesia membutuhkan prasarana transportasi darat yang memadai karena transportasi darat merupakan tulang punggung mobilitas dan distribusi barang dan jasa [4]

Mamuju adalah sebuah kabupaten dan juga merupakan ibu kota dari Provinsi Sulawesi Barat, dengan luas wilayah 4.979,89 km². Jumlah populasi penduduk kabupaten Mamuju sebanyak 286.699 jiwa (BPS Kab. Mamuju 2024). Menurut data BPS Provinsi Sulawesi Barat jumlah kendaraan berkisar 173.384 unit kendaraan meningkat dari tahun sebelumnya dengan jumlah kendaraan berkisar 163.405 unit kendaraan. Dari data tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan kendaraan di daerah Mamuju sebesar 6,1%. Panjang jalan di Kabupaten Mamuju dari tahun 2022 – 2024 adalah 887 km atau tidak menunjukkan perubahan.

Bandara Tampa Padang mengalami renovasi sejalan dengan peningkatan frekuensi, mencapai 600 kali pesawat datang dan berangkat setiap tahunnya. Pelabuhan Belang-Belang juga menjadi fokus pengembangan untuk terminal petikemas. Dengan tuntutan perkembangan, perkiraan pertumbuhan aktivitas di Kabupaten Mamuju menunjukkan peningkatan dari akses transportasi darat terutama untuk mengakses fasilitas Bandara Tampa Padang dan Pelabuhan Belang-Belang di bagian utara kota Mamuju. Mengacu pada kondisi tersebut diperkirakan volume kendaraan akan meningkat dan tingkat pelayanan (Level of Service) pada persimpangan ini akan mengalami penurunan.

Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam perencanaan (qJP) yang ditetapkan dari LHRT, faktor K, dan faktor jam sibuk (FJS) yang merepresentasikan fluktuasi selama jam sibuk [5]

LHRT dapat diprediksi menggunakan data survei perhitungan lalu lintas selama beberapa hari tertentu sesuai dengan pedoman survei perhitungan volume lalu lintas yang berlaku (DJBM, 1992). Misal perhitungan lalu lintas selama 7 (tujuh) hari menerus atau 40 (empat puluh) jam yang dilakukan 4 (empat) kali dalam setahun yang perlu mengacu kepada ketentuan yang berlaku [6]

2. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang merupakan metode penelitian yang banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya disertai dengan gambar, tabel, grafik, atau tampilan lainnya. Kemudian data hasil penelitian dianalisis sesuai dengan prosedur Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 [7]

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di ruas Jl Poros Mamuju – Kalukku – Jl. Akses Bandara Tampa Padang, Sulawesi Barat. Penelitian ini selama 3 (tiga) bulan, Mulai dari bulan Maret sampai bulan Mei 2025. Pengambilan data survei dilakukan selama 1 minggu, yaitu pada hari Senin 19 Mei – Minggu 25 Mei 2025.

Teknik Pengumpulan Data

a. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang berasal dari instansi yang terkait. Adapun data sekunder yang dibutuhkan adalah:

Tabel 1. Data Sekunder

No	Jenis Data	Sumber
1	Studi Literatur	PKJI 2023, Buku Maupun Dokumen Yang berhubungan dengan Penelitian
2	Data populasi Penduduk Kab. Mamuju	BPS Kab. Mamuju

b. Data Primer

Data primer didapatkan dengan cara melakukan survei di lokasi. Tujuan dari pengambilan data primer adalah untuk mendapatkan data lapangan yang diperlukan untuk analisis selanjutnya [8]

Tabel 2. Data Primer

No	Jenis Data	Sumber	Metode
1	Data lalu lintas harian rata-rata (LHR)	Observasi langsung	Survei lapangan
2	Geometrik jalan	Observasi langsung	Surver lapangan

Teknik Analisis Data

Pada penelitian ini menggunakan analisis perhitungan kapasitas dan kinerja simpang berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 [7].

a. Kapasitas Simpang (C)

Kapasitas Simpang, C, dihitung untuk total arus yang masuk dari seluruh lengan Simpang dan didefinisikan sebagai perkalian antara kapasitas dasar (C₀) dengan faktor-faktor koreksi yang memperhitungkan perbedaan kondisi lingkungan terhadap kondisi idealnya [9]. Kapasitas parkir dihitung menggunakan persamaan 1

$$C = C_0 \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{Bki} \times F_{Bka} \times F_{Rmi} \quad (1)$$

dengan C₀ = adalah kapasitas Simpang, dalam SMP/jam, F_{LP} = adalah kapasitas dasar Simpang, dalam SMP/jam, F_M = adalah faktor koreksi lebar rata-rata pendekat, F_{UK} = adalah faktor koreksi tipe median, F_{HS} = adalah faktor koreksi hambatan samping, F_{Bki} = adalah faktor koreksi rasio arus belok kiri, F_{Bka} = adalah faktor koreksi rasio arus belok kanan, F_{Rmi} = adalah faktor koreksi rasio arus dari jalan minor.

b. Derajat kejenuhan (D_j)

Derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume lalu lintas (V) dengan kapasitas jalan (C) [10]. Derajat kejenuhan dapat dihitung menggunakan persamaan 2

$$D_j = q/C \quad (2)$$

dengan D_j = adalah derajat kejenuhan, C = adalah kapasitas simpang, dalam SMP/jam, q = adalah semua arus lalu lintas kendaraan bermotor dari semua lengan simpang yang masuk ke dalam simpang dengan satuan SMP/jam.

c. Tundaan

Tundaan adalah perbedaan waktu perjalanan antara kondisi lalu lintas bebas dengan kondisi lalu lintas terhambat [11]. Tundaan dianalisis menggunakan persamaan 3.

$$T = T_{LL} + T_G \quad (3)$$

d. Peluang antrian (P_a)

Peluang antrian merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kinerja simpang tak bersinyal. Dengan mengetahui peluang antrian, para perancang dan operator lalu lintas dapat merencanakan dan mengelola lalu lintas dengan efektif [12]. Peluang antrian dapat dianalisis menggunakan persamaan 4 dan 5. Batas atas peluang :

$$P_a = 47,71 D_j - 24,68 D_j^2 + 56,47 D_j^3 \quad (4)$$

Batas bawah peluang :

$$P_a = 9,02 D_j + 20,66 D_j^2 + 10,49 D_j^3 \quad (5)$$

e. Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan simpang adalah ukuran kualitas kondisi lalu lintas yang dapat diterima oleh pengemudi kendaraan di simpang [13]. Tingkat pelayanan simpang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat Pelayanan	Tundaan (<i>det/smp</i>)	Keterangan
A	<5	Baik Sekali
B	5.1 – 15	Baik
C	15.1 – 25.1	Sedang
D	25.1 – 40	Kurang
E	40.1 – 60	Buruk
F	>60	Buruk Sekali

Sumber : PKJI 2023

3. HASIL PENELITIAN

Kondisi Volume Arus Lalu Lintas

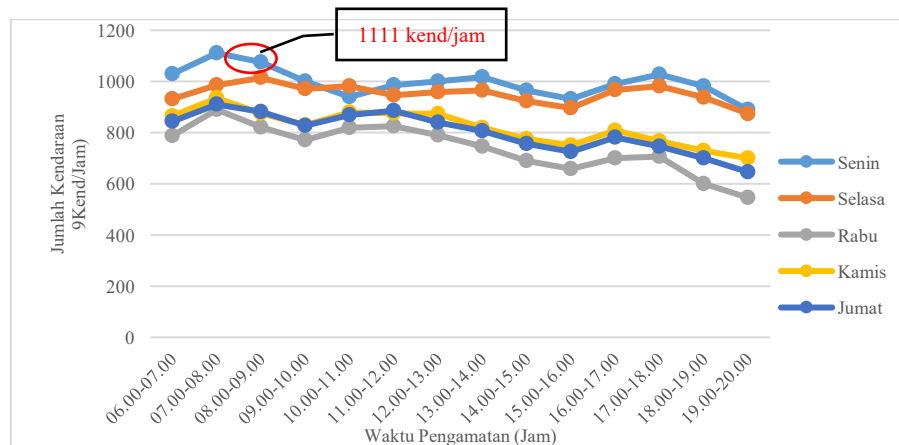
Dari hasil survei yang dilakukan selama 1 Minggu volume kendaraan pada simpang Jl.Poros Mamuju- Kalukku-Jl.Akses Bandara Tampa Padang dapat dilihat pada tabel 2 serta gambar 1 dan 2 dibawah ini:

Tabel. 2 Rekapitulasi volume lalu lintas simpang Jl.Poros Mamuju-Kalukku-Jl. Akses Bandara Tampa Padang

Waktu	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
06.00-07.00	1029	932	788	864	843	441	370
07.00-08.00	1111	986	890	935	910	494	451
08.00-09.00	1076	1014	820	875	881	610	547
09.00-10.00	1001	971	771	829	827	615	581

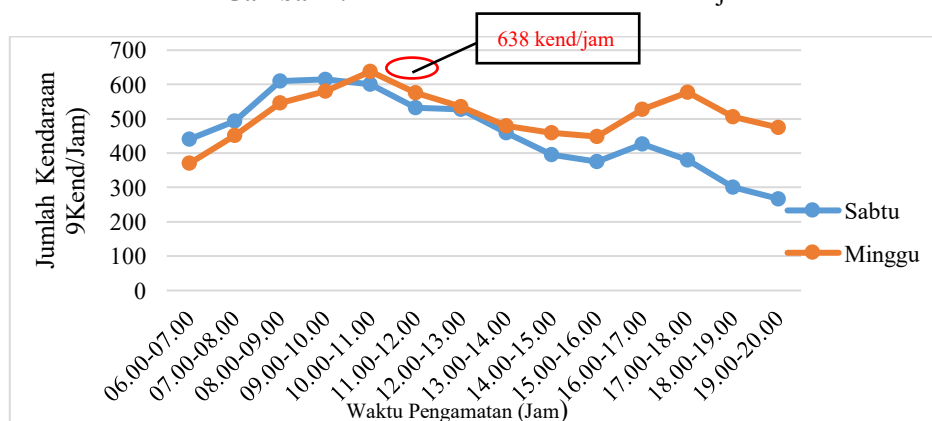
Waktu	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
10.00-11.00	940	982	819	879	870	600	638
11.00-12.00	985	946	826	876	885	533	575
12.00-13.00	1000	958	789	874	839	528	535
13.00-14.00	1017	964	747	819	807	460	479
14.00-15.00	964	923	689	775	757	395	460
15.00-16.00	932	897	659	751	726	375	448
16.00-17.00	989	966	701	808	781	426	527
17.00-18.00	1027	982	706	767	746	380	577
18.00-19.00	982	937	601	729	700	301	506
19.00-20.00	889	874	546	700	646	267	475

(Sumber: Survei LHR, 2025)



(Sumber: Analisis, 2025)

Gambar 1. Grafik Jumlah Kendaraan hari kerja



(Sumber : Analisis, 2025)

Gambar 2. Grafik Rekapitulasi Jumlah Kendaraan Pada Hari Libur

Berdasarkan tabel dan gambar diatas dapat dijelaskan bahwa jam puncak pada simpang ini terjadi pada hari Senin 19 Mei 2025 pukul 07.00-08.00 WITA dengan volume maksimum kendaraan 1111 kend/jam (mewakili hari kerja), sedangkan untuk hari libur jam puncak terjadi pada hari Minggu 25 Mei 2025 pukul 10.00 – 11.00 WITA dengan volume kendaraan maksimum 638 kend/jam. Pada hari kerja lonjakan terjadi pada jam 07.00-08.00 WITA seiring dengan jam berangkat kerja, aktivitas sekolah, aktivitas bandara, serta aktivitas logistik menuju pelabuhan Belang-Belang. Sementara untuk hari libur, jam puncak terjadi pada pada pukul 10.00 – 11.00 WITA karena peningkatan perjalanan rekreasi maupun aktivitas kebandara.

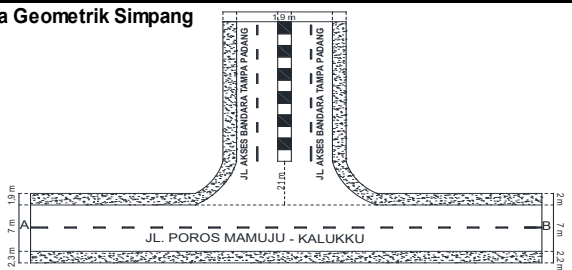
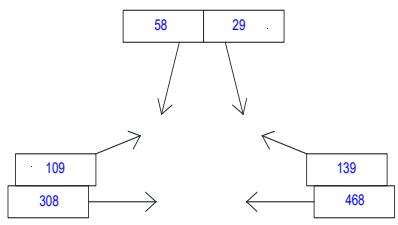
Perbedaan volume kendaraan antara hari kerja dan hari libur dipengaruhi oleh aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Maka faktor ini memperlihatkan bahwa pola lalu lintas di simpang ini dipengaruhi oleh fungsi simpang sebagai akses menuju bandara dan jalur ini merupakan jalan utama antar Kabupaten maupun Provinsi.

Analisis Simpang Tak Bersinyal

Perhitungan simpang pada Jalan Poros Mamuju-Kalukku-Jalan Akses Bandara Tampa Padang menggunakan analisis berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) Tahun 2023. Berdasarkan data volume lalu lintas yang didapatkan selama satu minggu, volume lalu lintas yang diambil untuk perhitungan kapasitas dan kinerja

simpang adalah volume lalu lintas pada hari dan jam puncak yaitu pada hari Senin tanggal 19 Mei 2025 pukul 07.00-08.00 WITA mewakili hari kerja dan hari Minggu 25 Mei 2025 pukul 10.00-11.00 WITA mewakili hari libur. Adapun analisis data volume lalu lintas pada jam puncak dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

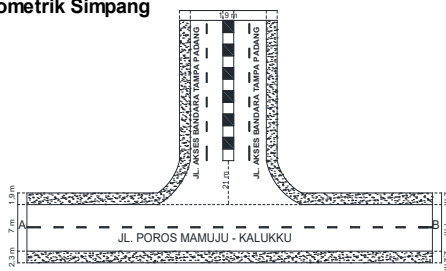
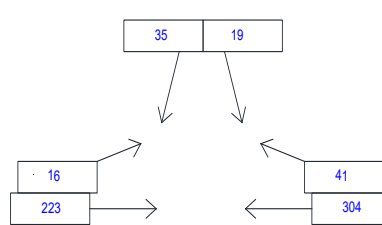
Tabel 5. Analisis data volume lalu lintas jam puncak pada hari Minggu 20 Mei 2025

SIMPANG		Hari/Tanggal : Senin / 19 Mei 2025				Ditangani oleh: Imam Wardani							
		Kota : Mamuju				Provinsi: Sulawesi Barat							
DATA MASUKAN		Jalan Mayor : Jalan Poros Mamuju - Kalukku											
- DATA GEOMETRIK		Jalan Minor : Jalan Akses Bandara Tamba Padang											
- DATA ARUS LALU LINTAS		Periode Jam Puncak : 07.00-08.00 WTA											
Data Geometrik Simpang 					Data Arus Lalu Lintas 								
Median pada Jalan utama:					Sempit		Lebar						
Komposisi lalu lintas(%):			MP =		KS =		SM =		Faktor K =				
Faktor SMP =			MP, EMP=		KS, EMP=		SM, EMP=		q_{KB} Total				
Arus lalu lintas			kend/jam	SMP/jam	kend/jam	SMP/jam	kend/jam	SMP/jam	R_B	kend/jam			
Jalan Minor dari Pendekat C	qBK _i	10	10	0	0	19	3.8	29	13.8	0.32	0		
	qLR _S												
	qBK _a	23	23	0	0	35	7	58	30	0.68	0		
	qTotal	33	33	0	0	54	10.8	87	43.8				
Total jalan Minor, q_{mi}		33	33	0	0	54	10.8	87	43.8	1.00	0		
Jalan Mayor dari Pendekat A	qBK _i	32	32	0	0	77	15.4	109	47.4	0.20	1		
	qLR _S	87	87	33	59.4	188	37.6	308	184		0		
	qBK _a												
	qTotal	119	119	33	59.4	265	53	417	231.4	0.20	1		
Jalan Mayor dari Pendekat B	qBK _i												
	qLR _S	94	94	67	120.6	307	61.4	468	276		5		
	qBK _a	42	42	0	0	97	19.4	139	61.4	0.18	0		
	qTotal	136	136	67	120.6	404	80.8	607	337.4	0.18	5		
Total jalan Mayor, q_{ma}		255	255	100	180	669	133.8	1024	568.8	0.39	6		
Total dari jalan Minor dan Mayor	qBK _i	42	42	0	0	96	19.2	138	61.2	0.10	1		
	qLR _S	181	181	100	180	495	99	776	460		5		
	qBK _a	65	65	0	0	132	26.4	197	91.4	0.15	0		
qTotal = q_{mi} + q_{ma} =		288	288	100	180	723	144.6	1111	612.6	0.25	6		
									$R_{mi} = q_{mi} / q_{TOT} =$		0.08		
									$R_{KTB} = q_{KTB} / q_{KB} =$		0.005		

(sumber : Analisis, 2025)

Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa total volume kendaraan yang melintasi simpang selama jam puncak mencapai 1111 kend/jam atau setara dengan 144,6 smp/jam . Arus lalu lintas pada jalan mayor mendominasi dengan total 1024 kend/jam atau 568,8 smp/jam. Sementara itu untuk arus lalu lintas jalan minor relatif kecil, yaitu hanya 87 kend/jam atau 108,8 smp/jam. Proporsi kendaraan berat pada simpang ini sangat rendah dengan nilai $R_{KTB} = 0,005$, sehingga tidak mempengaruhi signifikan terhadap kapasitas simpang. Rasio arus jalan minor terhadap total arus simpang (R_{mi}) sebesar 0,08 , menjelaskan bahwa beban lalu lintas mayoritas ditanggung oleh jalan utama.

Tabel 6. Analisis data volume lalu lintas jam puncak pada hari Minggu 20 Mei 2025

SIMPANG		Hari/Tanggal : Minggu/ 25 Mei 2025				Ditangani oleh: Imam Wardani											
		Kota : Mamuju				Provinsi: Sulawesi Barat											
DATA MASUKAN		Jalan Mayor : Jalan Poros Mamuju - Kalukku															
- DATA GEOMETRIK		Jalan Minor : Jalan Akses Bandara Tamba Padang															
- DATA ARUS LALU LINTAS		Periode Jam Puncak :10.00-11.00 WTA															
Data Geometrik Simpang						Data Arus Lalu Lintas											
																	
Median pada Jalan utama:				Sempit		Lebar											
Komposisi lalu lintas(%):				MP =		KS =		SM =		Faktor K =							
Faktor SMP =		MP, EMP=		1.00		KS, EMP=		1.3		SM, EMP=		0.5		q _{KB} Total		q _{KTb}	
Arus lalu lintas		kend/jam		SMP/jam		kend/jam		SMP/jam		kend/jam		SMP/jam		kend/jam		R _B	
Jalan Minor dari Pendekat C	qBK _i	5	5	0	0	14	7	19	12	0.35	1						
	qLRS																
	qBK _a	9	9	0	0	26	13	35	22	0.65	0						
	q _{Total}	14	14	0	0	40	20	54	34	1.00	1						
Total jalan Minor, q _{mi}		14	14	0	0	40	20	54	34	1.00	1						
Jalan Mayor dari Pendekat A	qBK _i	6	6	0	0	10	5	16	11	0.07	2						
	qLRS	41	41	17	22.1	165	82.5	223	145.6		1						
	qBK _a																
	q _{Total}	47	47	17	22.1	175	87.5	239	156.6	0.07	3						
Jalan Mayor dari Pendekat B	qBK _i																
	qLRS	62	62	21	27.3	221	110.5	304	199.8		2						
	qBK _a	3	3	0	0	38	19	41	22	0.10	1						
	q _{Total}	65	65	21	27.3	259	129.5	345	221.8	0.10	3						
Total jalan Mayor, q _{ma}		112	112	38	49.4	434	217	584	378.4	0.17	6						
Total dari jalan Minor dan jalan Mayor		qBK _i	11	11	0	0	24	12	35	23	0.06	3					
		qLRS	103	103	38	49.4	386	193	527	345.4		3					
		qBK _a	12	12	0	0	64	32	76	44	0.11	1					
q _{Total} = q _{mi} + q _{ma} =		126	126	38	49.4	474	237	638	412.4	0.16	7						
								R _{mi} = q _{mi} / q _{TOT} =				0.08					
								R _{KTb} = q _{KTb} / q _{KB} =				0.011					

(Sumber : Analisis, 2025)

Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa total volume kendaraan yang melintasi simpang selama jam puncak hari libur mencapai 638 kend/jam atau setara dengan 412,4 smp/jam . Arus lalu lintas pada jalan mayor mendominasi dengan total 584 kend/jam atau 378,4 smp/jam. Sementara itu untuk arus lalu lintas jalan minor relatif kecil, yaitu hanya 54kend/jam atau 34 smp/jam. Proporsi kendaraan berat pada simpang ini sangat rendah dengan nilai R_{KTb} = 0,011, sehingga tidak mempengaruhi signifikan terhadap kapasitas simpang. Rasio arus jalan minor terhadap total arus simpang (R_{mi}) sebesar 0,08 , menjelaskan bahwa beban lalu lintas mayoritas ditanggung oleh jalan utama.

Tabel 7. Analisis perhitungan simpang pada jam puncak pada hari Senin 19 Mei 2025

SIMPAN+J+A2:L38				Hari/Tanggal : Senin 19 Mei 2025				Ditangani oleh: Imam Wardani				
MENGHITUNG KAPASITAS				Kota : Mamuju				Provinsi: Sulawesi Barat				
MENGHITUNG KINERJA				Jalan Mayor : Jalan Poros Mamuju-Kalukku								
				Jalan Minor : Jalan Akses Bandara Tampa Padang								
				Periode:07.00-08.00 WITA								
1. Lebar pendekat dan Tipe simpang												
Pilihan	Jumlah	Lebar Pendekat, m							LRP	Jumlah Lajur		Tipe Simpang
	Lengan	Jalan Minor			Jalan Mayor					Jalan	Jalan	
	Simpang	L _A	L _B	L _{AB}	L _C	L _D	L _{CD}	Minor		Mayor		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		(9)	(10)	
	3	7.00	7.00	7.00	15.40	0	7.70	7.35	2	2	322	
2. Menghitung kapasitas: $C = C_0 \times F_{UP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKI} \times F_{BKA} \times F_{RMI}$												
Pilihan	Kapasitas	Kinerja lalu lintas							Kapasitas			
	dasar	Lebar Pendekat	Median Jalan	Ukuran Kota	Hambatan Samping	Belok kiri	Belok kanan	Rasio Minor				
	C ₀	rata-rata	Mayor					Total				
	SMP/jam	FLP	FM	FUK	FHS	FBKI	FBKA	FRMI				
	.(12)	.(13)	.(14)	.(15)	.(16)	.(17)	.(18)	.(19)	.(20)			
Senin 19 Mei 2025	2700	1.29	1	0.88	0.95	1	0.95	1.10	3042.8			
3. Menetapkan kinerja lalu lintas: D _J , T, dan P _A												
Pilihan	Arus lalu	Kinerja Lalu Lintas							Sasaran			
	lintas	Derajat	Tundaan	Tundaan	Tundaan	Tundaan	Tundaan	Peluang				
	total	kejenuhan	lalu lintas	lalu lintas	lalu lintas	geometrik	simpang	antrian				
	q _{tot}		simpang	jalan	jalan	simpang						
		D _J	T _{LL}	T _{LLma}	T _{LLmi}	T _G	T= T _{LL} +T _G	P _A				
	.(21)	.(22)	.(23)	.(24)	.(25)	.(26)	.(27)	.(28)	.(29)			
Senin 19 Mei 2025	612.6	0.20	3.0	2.3	12.1	3.80	6.8	2-9%				

(Sumber : Analisis, 2025)

Tabel 8. Analisis perhitungan simpang pada jam puncak pada hari Minggu 20 Mei 2025

SIMPANG				Hari/Tanggal : Minggu 25 Mei 2025				Ditangani oleh: Imam Wardani			
MENGHITUNG KAPASITAS				Kota : Mamuju				Provinsi: Sulawesi Barat			
MENGHITUNG KINERJA				Jalan Mayor : Jalan Poros Mamuju-Kalukku							
				Jalan Minor : Jalan Akses Bandara Tampa Padang							
				Periode:10.00-11.00 WITA							
1. Lebar pendekat dan Tipe simpang											
Pilihan	Jumlah	Lebar Pendekat, m						LRP	Jumlah Lajur		Tipe Simpang
	Lengan	Jalan Minor			Jalan Mayor				Jalan Minor	Jalan Mayor	
	Simpang	L _A	L _B	L _{AB}	L _C	L _D	L _{CD}				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)		(8)	(9)	
	3	7.00	7.00	7.00	15.40	0	7.70	7.35	2	2	322
2. Menghitung kapasitas: $C = C_0 \times F_{UP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKI} \times F_{BKs} \times F_{RMI}$											
Pilihan	Kapasitas dasar	Lebar Pendekat rata-rata	Median Jalan Mayor	Ukuran Kota	Hambatan Samping	Belok kiri	Belok kanan	Rasio Minor	Kapasitas C		
	C ₀							Total			
	SMP/jam	F _{LP}	FM	FUK	FHS	F _{BKI}	F _{BKa}	F _{RMI}	SMP/jam		
	(.12)	(.13)	(.14)	(.15)	(.16)	(.17)	(.18)	(.19)	(.20)		
Minggu 25 Mei 2025	2700	1.29	1.00	0.88	0.95	0.94	0.99	1.10	2980.7		
3. Menetapkan kinerja lalu lintas: D _J , T, dan P _A											
Pilihan	Arus lalu lintas	Kinerja Lalu Lintas						Sasaran			
	Derajat kejenuhan	Tundaan lalu lintas	Tundaan lalu lintas	Tundaan lalu lintas	Tundaan geometrik simpang	Peluang antrian					
	total	simpang	jalan mayor	jalan minor							
	q _{tot}										
	D _J	T _{LL}	T _{LLma}	T _{LLmi}	T _G	T= T _{LL} +T _G	P _A				
	(.21)	(.22)	(.23)	(.24)	(.25)	(.26)	(.27)		(.28)	(.29)	
Minggu 25 Mei 2025	412.4	0.14	2.4	1.8	8.6	3.55	5.9	1-6%			

(Sumber : Analisis, 2025)

Berdasarkan **tabel 7** dan **tabel 8** analisis simpang diatas, didapatkan nilai Kapasitas simpang sebesar 3042,8 smp/jam, Derajat kejenuhan (Dj) 0,20, Tundaan 6,8 det/kend, Panjang Antrian (Pa) 2-9% pada hari Senin 19 Mei 2025 (mewakili hari kerja) . Sedangkan pada hari Minggu 25 Mei 2025 (mewakili hari libur) didapatkan nilai Kapasitas simpang sebesar 2980,7 smp/jam, Derajat Kejenuhan (Dj) 0,14, Tundaan (T) 5,9, Peluang antrian (Pa) 1-6%. Dari hasil nilai tundaan sebesar 6,8 det/kend pada hari kerja, dan 5,9 det/kend pada hari libur, maka berdasarkan pada **tabel 3** dapat disimpulkan tingkat pelayanan pada simpang ini masuk kategori tingkat pelayanan jalan Level Of Service (LOS B) yang dapat diartikan kondisi arus lalu lintas baik.

Rekomendasi Teknis

Dengan didapatkannya hasil diatas, secara eksisting simpang ini masih mampu melayani arus kendaraan sehingga untuk saat ini pemasangan sinyal lalu lintas belum diperlukan, namun perlu monitoring rutin volume lalu lintas setiap tahunnya untuk memprediksi kapan kapasitas simpang mulai jenuh. Apabila 5-10 tahun kedepan terjadi lonjakan volume lalu lintas yang signifikan, maka perlu dipertimbangkan pemasangan sinyal lalu lintas atau pelebaran pendekat pada jalan minor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang tak bersinyal pada Jl. Poros Mamuju – Kalukku – Jl. Akses Bandara Tampa Padang dengan menggunakan pedoman PKJI 2023, dapat disimpulkan bahwa:

- Jam puncak pada hari kerja terjadi pada Senin, 19 Mei 2025 pukul 07.00–08.00 WITA dengan volume lalu lintas sebesar 1111 kendaraan/jam atau 612,6 smp/jam. Sedangkan pada hari libur, puncak terjadi pada Minggu, 25 Mei 2025 pukul 10.00–11.00 WITA dengan volume 638 kendaraan/jam atau 412 smp/jam.
- Nilai kinerja simpang pada hari kerja menunjukkan kapasitas simpang 3042,8 smp/jam dengan derajat kejenuhan (Dj) 0,20, tundaan rata-rata 6,8 det/kend, dan peluang antrian 2–9%. Sementara itu, pada hari libur dihasilkan kapasitas simpang 2980,7 smp/jam dengan Dj 0,14, tundaan 5,9 det/kendaraan, serta peluang antrian 1–6%.
- Berdasarkan parameter PKJI 2023, tingkat pelayanan (Level of Service/LOS) simpang ini berada pada kategori **B**, yang berarti kondisi arus lalu lintas masih dalam keadaan baik.
- Secara eksisting, simpang masih mampu melayani arus lalu lintas tanpa memerlukan pemasangan sinyal lalu lintas. Namun demikian, pemantauan berkala terhadap volume lalu lintas perlu dilakukan. Jika dalam 5–10 tahun mendatang terjadi peningkatan signifikan, maka opsi pemasangan sinyal lalu lintas atau pelebaran pendekat jalan minor perlu dipertimbangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. E. Prasetyo, A. Setiawan, and A. Pradana, “Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Berdasarkan Derajat Kejenuhan Pada Jalan Raya Mabas Hankam – Jalan Raya Setu, Jakarta Timur,” *Konstruksia*, vol. 13, no. 2, p. 135, 2022, doi: 10.24853/jk.13.2.135-145.
- [2] M. N. T, “ANALISIS KINERJA SIMPANG JALAN MENGGUNAKAN METODE PKJI (Study kasus : Simpang Jalan Baji Minasa - Nuri dan Opu Daeng Risadju - Baji Minasa Kota Makassar),” vol. xx, no. xx, pp. 1–11.
- [3] D. G. Wibowo, W. Lestari, and N. Faqih, “Analisis Kinerja Simpang 3 Tak Bersinyal Kecamatan Weleri Kabupaten Kendal,” *Teras*, vol. 11, no. 4, pp. 16–20, 2021.
- [4] M. D. Minabari, S. V Pandey, and A. L. . Rumayar, “Analisa Kinerja Simpang Tidak Bersinyal,” *J. Sipil Statik*, vol. 20, no. 82, pp. 747–758, 2022.
- [5] M. C. T. Lengkong, L. I. R. Lefrandt, and M. M. Kumaat, “Analisis Kinerja Simpang Lengan Tiga Tak Bersinyal Studi Kasus: Jl. Walanda Maramis – Jl. Sugiono,” *Tekno*, vol. 21, no. 86, pp. 1–12, 2023.
- [6] R. Ramli, K. Kasmaida, S. F. Rauf, and C. Cambe, “Simulasi Kinerja Ruas Jalan Di Barru Dengan Software Vissim (Studi Kasus: Jl. Syech Yusuf),” *J. Ilm. MITSU (Media Inf. Tek. Sipil Univ. Wiraraja)*, vol. 11, no. 2, pp. 63–72, 2023, doi: 10.24929/ft.v11i2.2187.
- [7] PKJI 2023, “Pkji,” *Pandu. Kapasitas Jalan Indones.*, p. 68, 2023.
- [8] Hariyanto, A. Suraji, and M. Cakrawala, “Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Muharto - Jl. Mayjen Sungkono – Jl. Raya Ki Ageng Gribig Kota Malang,” *Siklus J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 70–85, 2022, doi: 10.31849/siklus.v8i1.9339.
- [9] S. Sahertian, A. Maaitimu, P. T. Istia, T. Sipil, and P. N. Ambon, “Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Pada Jalan Simpang Hotel Santika Premier Kota Ambon,” *J. Agreg.*, vol. 1, no. 1, pp. 31–42, 2022.
- [10] M. Syaifullah, Y. Kadir, and F. L. Desei, “Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2023 dan Software VISSIM,” *Konstruksia*, vol. 15, no. 2, p. 147, 2024, doi: 10.24853/jk.15.2.147-163.

- [11] I. Fazlurahman, “ANALISIS KEMACETAN LALU LINTAS PADA SIMPANG BERSINYAL (Studi Kasus : Simpang Ir. H. Juanda – Raya Bogor),” *Pros. Semin. Intelekt. Muda*, vol. 1, no. 1, pp. 284–289, 2019, doi: 10.25105/psia.v1i1.5962.
- [12] B. Barat, K. Tangerang, J. Jendral, and S. Km, “ANALISIS KINERJA SIMPANG TIGA TAK BERSINYAL (Studi Kasus : Simpang Tiga Jalan Raya Serang Km 24 – Jalan Akses Tol Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Jurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa | kualitas 1,” vol. 8, no. 1, pp. 61–69, 2019.
- [13] S. Riski, M. Isya, and J. Fisaini, “ANALISIS KINERJA SIMPANG TAK BERSINYAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE PKJI 2023 (Studi Kasus: Jalan W.r. Supratman-Jalan Cut Mutia-Jalan Teungku Dianjung),” *J. Civ. Eng. Student*, vol. 6, no. 2, pp. 106–112, 2024.

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT DURIAN DAN SERBUK KACA TERHADAP KEKUATAN TEKAN BETON RINGAN

Jonathan Glaudio Sitorus¹, *Yudi Setio Prabowo²

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya, Kota Serang, Banten, Indonesia

^{*}Email: yudibabeh27@gmail.com

Received: 25 Agustus 2025 ; Revised: 3 Oktober 2025 ; Accepted: 6 Oktober 2025

ABSTRACT

Lightweight concrete is widely used in modern construction due to its low weight, but its main weakness lies in its low compressive strength. Innovation is needed to improve its mechanical properties while utilizing environmentally friendly waste. This study aims to analyze the effect of adding durian skin fiber (as a substitute for coarse aggregate) and glass shards (as a substitute for fine aggregate) on the compressive strength and workability of lightweight concrete. The method used was a laboratory experiment by creating 15x15x15 cm cube specimens. The mix variations consisted of normal concrete (control) and two modified concrete variations: Variation 1 (2% durian skin and 4% glass shards substitution) and Variation 2 (3% durian skin and 5% glass shards substitution). The results showed that the slump value of the modified concrete decreased to 9 cm from 10 cm in normal concrete, indicating reduced workability. The compressive strength test results at 7 days of age proved that normal concrete achieved an average compressive strength of 5.40 MPa. Meanwhile, the compressive strengths of Variation 1 and Variation 2 were only 3.00 MPa and 3.20 MPa, respectively. It is concluded that the addition of durian skin fiber and glass shards causes a decrease in the workability and compressive strength of lightweight concrete, although Variation 2 with a higher substitution composition showed a slightly better compressive strength value.

Keywords: *Lightweight concrete, Durian skin, Glass shards, Compressive strength, Workability.*

ABSTRAK

Beton ringan banyak digunakan dalam konstruksi karna beratnya yang ringan, namun kelemahan utamanya terletak pada kuat tekan yang rendah. Inovasi diperlukan untuk meningkatkan sifat mekaniknya sekaligus memanfaatkan limbah ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serat kulit durian (sebagai pengganti agregat kasar) dan pecahan kaca (sebagai pengganti agregat halus) terhadap kuat tekan dan workability beton ringan. Metode yang digunakan adalah eksperimental laboratorium dengan membuat benda uji kubus 15x15x15 cm. Variasi campuran terdiri dari beton normal (kontrol), serta dua variasi beton modifikasi: Variasi 1 (substitusi 2% kulit durian dan 4% pecahan kaca) dan Variasi 2 (substitusi 3% kulit durian dan 5% pecahan kaca). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai slump beton modifikasi turun menjadi 9 cm dari 10 cm pada beton normal, mengindikasikan penurunan workability. Hasil uji kuat tekan pada umur 7 hari membuktikan bahwa beton normal mencapai kuat tekan rata-rata 5,40 MPa. Sementara itu, kuat tekan pada Variasi 1 dan Variasi 2 masing-masing hanya sebesar 3,00 MPa dan 3,20 MPa. Disimpulkan bahwa penambahan serat kulit durian dan pecahan kaca menyebabkan penurunan pada workability dan kuat tekan beton ringan, meskipun Variasi 2 dengan komposisi substitusi lebih tinggi menunjukkan nilai kuat tekan yang sedikit lebih baik.

Kata kunci: Beton ringan, Kulit durian, Pecahan kaca, Kuat tekan, Workability.

1. PENDAHULUAN

Beton ringan banyak digunakan dalam konstruksi modern berkat bobotnya yang ringan, yang berdampak pada pengurangan beban mati pada struktur [1] [2]. Namun, kelemahan utamanya terletak pada kekuatan tarik dan lentur yang rendah. Oleh karena itu, inovasi material diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanik beton ringan sekaligus memanfaatkan limbah ramah lingkungan untuk mendukung prinsip konstruksi berkelanjutan. Dalam penelitian ini, kulit durian yang merupakan limbah organik berpotensi digunakan sebagai serat penguat untuk menahan mikrokretak awal, sedangkan pecahan kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus diharapkan dapat meningkatkan kepadatan dan kekuatan beton.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi material sejenis dengan hasil yang beragam. Penelitian oleh Fuad dkk. [3] dan Zulkarnain dkk. [4], menunjukkan bahwa penambahan serat kulit durian sebesar 0,5-2% dapat meningkatkan kekuatan tekan beton ringan hingga approximately 2,54%. Temuan serupa diungkapkan oleh Hulu [5] serta Nosi dkk. [6] bahwa substitusi abu kulit durian sebesar 0,5% sebagai pengganti agregat halus meningkatkan kuat tekan sebesar 1,8%. Namun, penambahan di atas 0,5% justru menurunkan kuat tekan secara signifikan hingga 26,09%, menunjukkan bahwa proporsi campuran merupakan faktor kritis.

Di sisi lain, penggunaan limbah kaca juga memberikan hasil yang variatif. [7], [8] menemukan bahwa pecahan kaca yang dihaluskan sebagai pengganti agregat halus sebesar 10-30% pada beton K-225 mencapai 75-80% dari kuat tekan rencana, dengan rekomendasi agar substitusi tidak melebihi 30%. Sebaliknya, penelitian [9], [10]

menunjukkan bahwa substitusi pecahan kaca untuk agregat kasar justru menurunkan kuat tekan pada proporsi 15-50%, di mana hanya penambahan 5% yang menunjukkan peningkatan.

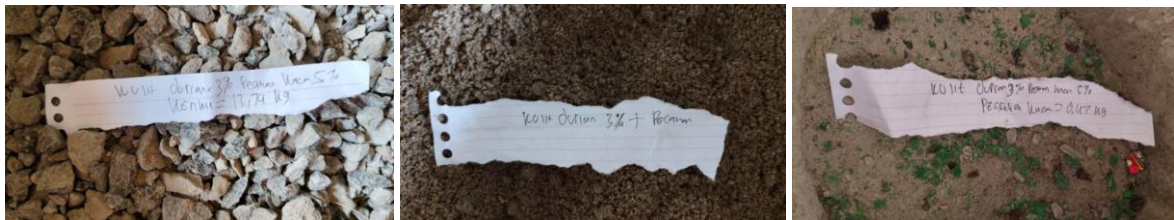
Berdasarkan tinjauan pustaka tersebut, teridentifikasi celah penelitian (*research gap*), yaitu belum ada studi yang menganalisis kombinasi serat kulit durian dan pecahan kaca dalam satu campuran beton ringan. Efek sinergis dari kedua material limbah ini terhadap sifat mekanis, khususnya kekuatan tarik dan lentur, masih belum tercapai. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis pengaruh penambahan serat kulit durian dan pecahan kaca secara individu dan kombinasi terhadap kekuatan tarik dan lentur beton ringan, dan (2) Menentukan kombinasi campuran yang paling optimal untuk menghasilkan beton ringan yang kuat dan ramah lingkungan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium untuk menganalisis pengaruh penambahan serat kulit durian dan pecahan kaca sebagai bahan substitusi parsial terhadap kuat tekan beton ringan.

Tempat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Serang Raya. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji harus memenuhi standar yang berlaku. Komponen bahan penyusun beton adalah semen Portland Tiga Roda, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air PDAM, serat kulit durian, dan pecahan kaca. Serat kulit durian diperoleh dari limbah kulit durian yang dikumpulkan dari pedagang di Kota Serang. Kulit durian tersebut dikupas untuk memisahkan bagian seratnya, lalu dicuci hingga bersih dari kotoran dan lendir. Serat kulit durian diperoleh dari limbah kulit durian yang dikumpulkan dari pedagang di Kota Serang. Kulit durian dikupas untuk memisahkan bagian seratnya, lalu dicuci hingga bersih dari kotoran dan lendir.



Gambar 1. Bahan Material

Serat kemudian dipotong secara manual menjadi ukuran seragam sekitar 2–3 cm, dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3–5 hari hingga kadar air stabil ($\pm 5-8\%$), dan disimpan dalam wadah kedap udara hingga digunakan. Bentuk akhir serat berupa serpihan tipis berukuran pendek, bukan serat lembaran utuh atau serat kontinu. Untuk memastikan konsistensi dimensi, serat yang telah dipotong disaring menggunakan ayakan ukuran 4,75 mm (saringan No. 4); hanya serat yang lolos saringan 4,75 mm namun tertahan di atas saringan 2,36 mm (No. 8) yang digunakan dalam campuran beton. Dokumentasi visual serat kulit durian—mulai dari bahan mentah hingga bentuk akhir yang digunakan—disajikan dalam Lampiran [X].

Pecahan kaca diperoleh dari limbah botol minuman bekas. Botol kaca dicuci, dikeringkan, lalu dihancurkan secara manual menjadi pecahan kasar. Selanjutnya, material tersebut dihaluskan menggunakan mesin abrasi Los Angeles selama 10–15 menit hingga mencapai gradasi agregat halus. Hasil penghancuran kemudian diayak sesuai standar agregat halus beton: lolos saringan 4,75 mm (No. 4) dan sebagian besar tertahan di atas saringan 0,15 mm (No. 100), mengikuti rentang gradasi agregat halus menurut SNI 7394:2008. Setelah pengayakan, pecahan kaca dikeringkan kembali dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air sisa. Foto material pecahan kaca sebelum dan setelah pengolahan disertakan dalam Lampiran [X].

Variabel dan Benda Uji

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah persentase substitusi serat kulit durian untuk agregat kasar dan pecahan kaca untuk agregat halus. Benda uji yang digunakan adalah kubus beton berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan mutu rencana K-175, yang setara dengan kuat tekan karakteristik sebesar 17,5 MPa pada umur 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari untuk mengevaluasi perkembangan kekuatan beton selama masa perawatan. Nilai kuat tekan yang dilaporkan dalam penelitian ini menggunakan satuan MPa, sesuai dengan standar pengujian kuat tekan beton di laboratorium. Komposisi variasi campuran yang diuji disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Variasi Campuran Benda Uji

Variasi Campuran	Pengganti Agregat Kasar (Serat Kulit Durian)	Pengganti Agregat Halus (Pecahan Kaca)
Variasi 1	2% dari volume	4% dari volume
Variasi 2	3% dari volume	5% dari volume

Sumber: Perencanaan Penelitian, 2025

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan dan pengujian beton meliputi timbangan digital, mixer beton, cetakan kubus, gelas ukur, sendok semen, ember, oven, dan mesin uji tekan (*compression machine*).

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dari preparasi material, pencampuran, pencetakan, perawatan (*curing*), hingga pengujian kuat tekan. Proporsi campuran beton didasarkan pada perhitungan untuk mencapai mutu K-175. Serat kulit durian dan pecahan kaca ditambahkan sebagai pengganti sebagian agregat sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan. Setelah dicampur merata, adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan dan dipadatkan. Benda uji kemudian direawat dalam air selama umur tertentu sebelum dilakukan pengujian kuat tekan sesuai dengan standar yang berlaku.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proporsi Campuran dan Nilai Slump

Proporsi campuran untuk setiap variasi penelitian dirancang untuk volume 1 m³ beton. Komposisi untuk beton normal (kontrol) disajikan pada Tabel 2, sedangkan komposisi untuk beton dengan bahan tambah disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Proporsi Campuran Beton Normal (Kulit Durian 0%, Pecahan Kaca 0%) per 1 m³

Material	Jenis	Berat (Kg/M ³)
Air	–	190
Semen	–	325
Agregat halus	Pasir	780
	Pecahan kaca	0
Agregat kasar	Batu pecah	1020
	Serat kulit durian	0
Total		2315

Sumber: Perhitungan berdasarkan SNI 7394:2008 untuk beton K-175 (17,5 MPa).

Tabel 3. Proporsi Campuran dengan Serat Kulit Durian 2% dan Pecahan Kaca 4% per 1 m³

Material	Jenis	Berat (Kg/M ³)	Keterangan
Air	–	190	
Semen	–	325	
Agregat halus	Pasir	749	-4% dari 780
	Pecahan kaca	31	+4% dari 780
Agregat kasar	Batu pecah	999	-2% dari 1020
	Serat kulit durian	20.5	+2% dari total agregat kasar
Total		2304.5	≈2300 kg/m ³

Catatan:

- Persentase penggantian dihitung terhadap berat agregat awal.
- Total berat tetap mendekati 2300–2400 kg/m³ (khas beton normal).

Tabel 4. Proporsi Campuran dengan Serat Kulit Durian 3% dan Pecahan Kaca 5% per 1 m³

Material	Jenis	Berat (Kg/M ³)	Keterangan
Air	–	190	
Semen	–	325	
Agregat halus	Pasir	741	-5% dari 780
	Pecahan kaca	39	+5% dari 780
Agregat kasar	Batu pecah	989	-3% dari 1020
	Serat kulit durian	30.6	+3% dari total agregat kasar
Total		2314.6	≈2315 kg/m ³

Hasil uji workability yang dilakukan dengan slump test terhadap tiga variasi campuran beton menunjukkan nilai seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Slump Test

No	Variasi	Tinggi Slump (cm)
1	Kulit durian 0%	10
2	Kulit durian 2% dan Pecahan kaca 4%	9
3	Kulit durian 3% dan Pecahan kaca 5%	9

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

**Gambar 2.** Hasil Uji Slump

Berdasarkan Tabel 5, nilai slump tertinggi diperoleh pada beton normal (kontrol) tanpa substitusi, yaitu 10 cm. Penambahan serat kulit durian dan pecahan kaca menyebabkan penurunan nilai slump menjadi 9 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan tambah tersebut mengurangi workability atau kemudahan pengerjaan adukan beton, yang diduga karena serat kulit durian menyerap lebih banyak air dan bentuk pecahan kaca yang angular mengurangi kemudahan aliran adukan.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3 hari dan 7 hari. Hasil pengujian untuk umur 3 hari disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 3 Hari (Benda uji: kubus 15×15×15 cm)

No	Variasi Campuran	Berat Benda Uji (Kg)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	0% (normal)	7.7	7.2	4.5
2	2% serat + 4% kaca	7.4	7.6	2.7
3	3% serat + 5% kaca	7.2	7.4	2.7

Pada umur 3 hari, beton normal mencapai kuat tekan rata-rata 4,85 MPa, sedangkan variasi dengan serat kulit durian dan pecahan kaca menurun menjadi 2,80 MPa (2%/4%) dan 2,70 MPa (3%/5%).

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 hari disajikan pada Tabel 7.

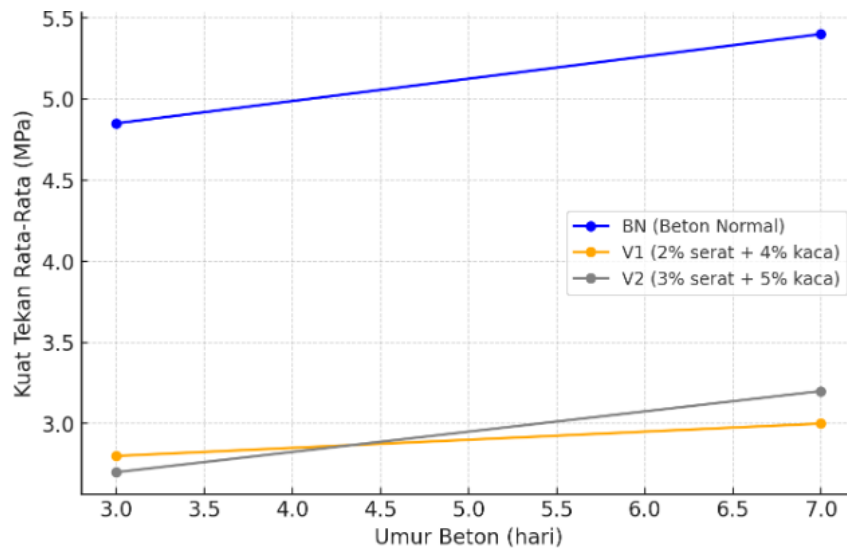
Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari (Benda uji: kubus 15×15×15 cm)

No	Variasi Campuran	Berat Benda Uji (Kg)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	0% (normal)	7.3	7.4	5.2
2	2% serat + 4% kaca	7.3	7.6	3.0
3	3% serat + 5% kaca	7.3	7.6	3.1

Pada umur 7 hari, semua variasi mengalami peningkatan kuat tekan dibanding umur 3 hari. Beton normal mencapai 5,40 MPa, sedangkan variasi 2%/4% dan 3%/5% meningkat masing-masing menjadi 3,00 MPa dan 3,20 MPa (meskipun masih di bawah beton normal).

Analisis Grafik Kuat Tekan

Hubungan antara variasi campuran dan kuat tekan rata-rata pada umur 3 dan 7 hari divisualisasikan dalam Grafik 1.



Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Gambar 3. Perkembangan Kuat Tekan Rata-Rata Beton pada Umur 3 dan 7 Hari

Berdasarkan Tabel 6, Tabel 7, dan Gambar 1, dapat dianalisis bahwa penambahan serat kulit durian dan pecahan kaca menyebabkan penurunan kuat tekan beton jika dibandingkan dengan beton normal pada kedua umur pengujian. Penurunan workability yang terlihat dari nilai slump yang lebih rendah berkorelasi dengan penurunan kuat tekan ini. Hal ini diduga karena adanya rongga udara (voids) pada antarmuka antara serat kulit durian dengan pasta semen serta bentuk pecahan kaca yang halus dan licin mengurangi ikatan dengan pasta semen. Namun, adanya tren peningkatan kuat tekan dari variasi 2%/4% ke 3%/5% pada umur 7 hari memerlukan investigasi lebih lanjut, misalnya dengan pengujian pada umur 28 hari untuk melihat perkembangan kekuatannya.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi parsial agregat dengan serat kulit durian dan pecahan kaca pada beton ringan berdampak pada penurunan workability dan kuat tekan dibandingkan beton normal. Nilai slump menurun dari 10 cm (kontrol) menjadi 9 cm pada semua variasi, mengindikasikan berkurangnya kemudahan pengerjaan adukan. Pada umur 3 dan 7 hari, kuat tekan beton dengan bahan tambah signifikan lebih rendah daripada beton kontrol. Namun, variasi dengan kadar substitusi lebih tinggi (3% serat + 5% kaca) menunjukkan sedikit peningkatan kuat tekan dibanding variasi 2% + 4%, meski tetap jauh di bawah target mutu K-175 (17,5 MPa pada umur 28 hari). Dengan demikian, dalam kondisi penelitian ini, penambahan serat kulit durian dan pecahan kaca belum mampu meningkatkan kinerja mekanis beton ringan. Optimasi proporsi, perlakuan permukaan bahan, atau pengujian pada umur 28 hari diperlukan untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah ini secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ma'sum, M. A. (2024). *Analisis Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Ringan dengan Substitusi Limbah Bata Ringan dan Styrofoam* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- [2] Adinata, R. C. P. (2024). *Pengaruh Penggunaan Baja Ringan Hollow Berisi Mortar Sebagai Pengganti Baja Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- [3] I. S. Fuad, B. Johan, dan M. Saputra, "Pengaruh Penambahan Serat Kulit Durian Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Belah pada Mutu Beton K-175," *J. DESIMINASI Teknol.*, vol. 2, no. 1, 2014, doi: 10.52333/destek.v2i1.183.
- [4] F. Z, M. Irwansyah, dan P. Handayani, "Pemanfaatan Kulit Durian Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Pembuatan Beton K-300 | JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION." Diakses: 25 Agustus 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt/article/view/6843>
- [5] O. Halawa dan W. Hulu, "Pengaruh Penambahan Abu Kulit Durian Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas F'C 20 Mpa," *J. Dunia Pendidik.*, vol. 4, no. 3, hlm. 1716–1730, Apr 2024, doi: 10.55081/juridip.v4i3.2163.
- [6] E. Tunti Nosi, S. Zuraidah, dan B. Hastono, "Pemanfaatan Limbah Pecahan Botol Kaca Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Beton." Diakses: 25 Agustus 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unitomo.ac.id/index.php/concrete/article/view/8839/4270>

- [7] Andriansyah, C. A. Saputra, dan Hidayati, “ANALISIS CAMPURAN LIMBAH BOTOL KACA SEBAGAI BAHAN TAMBAH AGREGAT HALUS KUAT TEKAN BETON MUTU K-225,” *STATIKA J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 1, hlm. 9–13, Nov 2023, doi: 10.53494/jts.v9i1.304.
- [8] F. Arsasuta dan N. Rochmah, “Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen terhadap Kuat Tekan Beton Alir,” *J. Tek. Sipil Dan Teknol. Konstr.*, vol. 10, no. 1, hlm. 12–23, Apr 2024, doi: 10.35308/jts-utu.v10i1.9475.
- [9] R. S. Utami Laku, M. Zaini, dan A. Hidayat Wajyu, “Pengaruh Penambahan Waste Glass sebagai Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton,” *ResearchGate*, Agu 2025, doi: 10.21831/inersia.v17i2.41223.
- [10] S. Hani, R. Rini, dan N. Gea, “Pengaruh Penambahan Serat Kulit Durian dengan Mutu Beton Fc’ 20 Mpa Terhadap Kuat Tekan Beton.” Diakses: 25 Agustus 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/368644208_Pengaruh_Penambahan_Serat_Kulit_Durian_dengan_Mutu_Beton_Fc'_20_Mpa_Terdapat_Kuat_Tekan_Beton

ANALISIS RENCANA ANGGARAN BIAYA PADA PROYEK PENINGKATAN SALURAN SEKUNDER IRIGASI ALEBBONG KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG

Muh Yusuf Mubarak Syaifuddin¹, Andi Sulfanita², Andi Bustan Didi³, *Muh Jabir Muhammadijah⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare

^{*)}Email: jabirdiah@gmail.com

Received: 29 Agustus 2025 ; Revised: 5 September 2025 ; Accepted: 4 November 2025

ABSTRACT

This study aims to evaluate the Budget Plan (RAB) for the improvement project of the Alebbong secondary irrigation channel located in Sidenreng Rappang Regency, South Sulawesi Province. The irrigation area covers 20 hectares and has experienced significant structural damage, including landslides along the channel, necessitating comprehensive rehabilitation to ensure the continued functionality of the irrigation system and support local agricultural productivity. The research employs a quantitative descriptive approach, utilizing field surveys, technical observations, and document analysis as the basis for budget estimation. The RAB analysis considers work volume, unit prices of materials and labor, and the use of equipment in accordance with prevailing construction standards. The total project cost is calculated at IDR 457,757,860.26, encompassing work on channels and intake structures I and II, with a total rehabilitation volume of 2,675.503 m³. The scope of work includes manual soil excavation, backfilling, K-175 grade concrete casting, stone masonry, and plastering, each analyzed in detail based on resource requirements and actual cost components. The findings underscore the importance of precision in RAB preparation, particularly in public infrastructure projects that directly impact food security and water distribution efficiency. The study recommends that budget planning processes be preceded by comprehensive technical data collection, including detailed working drawings, technical specifications, and assessments of existing conditions. Such measures are essential to enhance implementation efficiency and improve the accuracy of cost estimations in sustainable irrigation construction projects.

Keyword: Budget Plan (RAB), Irrigation, Secondary Channels, Construction, Project Budget

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada proyek peningkatan saluran sekunder Irigasi Alebbong yang berlokasi di Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah irigasi ini mencakup lahan seluas 20 hektar dan mengalami kerusakan struktural yang signifikan, seperti longsoran pada saluran, sehingga diperlukan rehabilitasi menyeluruh guna menjamin kelangsungan fungsi irigasi dan mendukung produktivitas pertanian lokal. Studi ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode survei lapangan, observasi teknis, dan analisis dokumen sebagai dasar perhitungan RAB. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan volume pekerjaan, harga satuan bahan dan tenaga kerja, serta penggunaan alat berat sesuai standar konstruksi yang berlaku. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total biaya proyek sebesar Rp457.757.860,26, mencakup pekerjaan saluran dan sadap I dan II dengan volume rehabilitasi mencapai 2.675,503 m³. Komponen pekerjaan meliputi galian tanah manual, urugan kembali, beton mutu K-175, pemasangan batu, dan plesteran, yang masing-masing dianalisis secara rinci berdasarkan kebutuhan sumber daya dan biaya aktual. Temuan ini menegaskan pentingnya akurasi dalam penyusunan RAB, terutama dalam konteks proyek infrastruktur publik yang berdampak langsung terhadap ketahanan pangan dan efisiensi distribusi air. Penelitian ini merekomendasikan agar proses perencanaan RAB didahului oleh pengumpulan data teknis yang komprehensif, termasuk gambar kerja, spesifikasi teknis, dan kajian kondisi eksisting, guna meningkatkan efisiensi pelaksanaan dan akurasi estimasi biaya dalam proyek konstruksi irigasi yang berkelanjutan.

Kata kunci: Rencana Anggaran Biaya (RAB), Irigasi, Saluran Sekunder, Konstruksi, Anggaran Proyek

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dalam dunia konstruksi di Indonesia semakin cepat, hal ini dapat diketahui dengan semakin banyaknya pembangunan yang dilaksanakan baik itu gedung, jalan, bangunan, serta proyek – proyek lainnya sesuai kebutuhan masyarakat. [1]. Dengan pembangunan tersebut maka dalam hal pelaksanaan harus dilakukan secara efisien dan efektif untuk mendapatkan hal – hal yang disyaratkan dalam proyek seperti :biaya, waktu dan mutu [2].

Pengelolaan anggaran biaya dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi, harus dirancang dan disusun sedemikian berdasarkan konsep estimasi terstruktur agar bisa menghasilkan hasil yang akurat. Dalam melakukan kegiatan tersebut perlu diketahui proses konstruksi secara menyeluruh baik jenis pekerjaan, kebutuhan alat, serta harga bahan dan upah[3]. Proyek dinyatakan berhasil apabila jumlah biaya yang dikeluarkan secara efisien, waktu pengerjaan yang tepat, dan baiknya kualitas produk yang dihasilkan. Dalam dunia konstruksi, faktor biaya adalah bahan pertimbangan yang paling utama karena jumlah investasinya yang besar serta bersifat rentan terhadap resiko kegagalan[4].

Adapun Daerah Irigasi Alebbong Kecamatan Watang Pulu Kabupaten Sidenreng Rappang memiliki areal pertanian yang luas. Luas areal pada saluran sekunder Daerah Irigasi Alebbong Kecamatan Watang Pulu Kabupaten Sidenreng Rappang yaitu 20 Ha. Dan sering terjadinya longsor pada lokasi tersebut[5], maka seringnya dilakukan perbaikan rehabilitasi saluran untuk peningkatan jaringan irigasi ini tidak dibarengi dengan adanya analisis data tentang penentuan rancangan anggaran biaya tidak optimal, sehingga terkadang penggunaan biaya melampaui batas anggaran pembangunan daerah yang telah ditetapkan[6].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung Rencana Anggaran biaya pada proyek peningkatan Saluran Sekunder Irigasi Alebbong Kabupaten Sidenreng Rappang dan membandingkan antara realisasi anggaran biaya yang dihasilkan oleh pelaksana proyek dengan rencana hasil penelitian yang akan dicapai .

2. TINJAUAN PUSTAKA

Irigasi

Irigasi dapat diartikan sebagai suatu usaha yang dilakukan untuk mendatangkan air dari sumbernya guna keperluan pertanian, mengalirkan dan membagikan air secara teratur dan setelah digunakan dapat pula dibuang kembali. Istilah pengairan yang sering pula didengar dapat diartikan sebagai usaha pemanfaatan air pada umumnya, berarti irigasi termasuk didalamnya [7] Maksud irigasi, yaitu untuk mencukupi kebutuhan air di musim kemarau bagi keperluan pertanian, seperti membasahi tanah, merabuk, mengatur suhu tanah, menghindarkan gangguan hama dalam tanah dan sebagainya [8].

Proyek

Proyek adalah kegiatan yang melibatkan berbagai sumberdaya yang terhimpun dalam suatu wadah (organisasi) tertentu dalam jangka waktu tertentu untuk melakukan kegiatan yang telah ditetapkan sebelumnya untuk mencapai sasaran tertentu. Proyek adalah suatu usaha yang bersifat sementara untuk menghasilkan suatu produk atau layanan yang unik. Dalam hal proyek sistem informasi berarti proyek tersebut berupa sistem aplikasi yang terdiri atas beberapa modul program, tetapi proyek software bervariasi cakupannya, mulai dari membangun sistem besar sampai hanya membuat program satu modul saja. Proyek normalnya melibatkan beberapa orang yang saling berhubungan aktivitasnya dan sponsor utama dari proyek biasanya tertarik dalam penggunaan sumber daya yang efektif untuk menyelesaikan proyek secara efisien dan tepat waktu.[9].

Anggaran

Ada beberapa pengertian anggaran yang didefinisikan oleh para ahli, diantaranya yang dikemukakan Herlianto (2015) “anggaran harus dapat menyajikan informasi yang jelas mengenai tujuan, sasaran, hasil, dan manfaat yang diperoleh dari suatu kegiatan. Karena pada dasarnya anggaran (budget) merupakan suatu rencana kerja yang dinyatakan secara kuantitatif dari aktivitas usaha sebuah organisasi. Untuk itu anggaran perlu mengidentifikasi sumber daya dan komitmen yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan organisasi selama periode yang dianggarkan”. [10]. Fungsi perencanaan anggaran sebagai alat perencanaan harus memperhatikan kaitan anggaran yang satu dengan anggaran yang lain. Salah satu aspek yang penting dari perencanaan menggunakan anggaran adalah perencanaan dana yang tersedia seefisien mungkin. Semua belanja membutuhkan dana (uang) dan dana adalah sumber daya yang langka, dan fungsi pelaksanaan anggaran sebagai pedoman pelaksanaan pekerjaan, artinya sebelum pekerjaan dilaksanakan terlebih dahulu mendapat persetujuan yang berwenang (terutama dalam hal keuangan) [11]

Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah estimasi biaya yang dilakukan oleh konsultan perencana, berdasarkan gambar rencana dan spesifikasi bangunan, RAB merupakan susunan dari berbagai sub biaya pembangunan maupun renovasi, setiap harga satuan kerja di dalam RAB sudah mengandung komponen-komponen biaya umumnya berdasarkan analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) yang berlaku di setiap daerah. Unsur-unsur analisa harga satuan sudah termasuk seperti biaya upah pekerjaan proyek, biaya bahan bangunan/material, biaya pemeliharaan, dan biaya antisipasi [12].

Analisa adalah rumusan untuk mendapatkan harga dan upah masing-masing bagian pekerjaan dalam bentuk satuan. Data-data yang digunakan dalam pembuatan RAB adalah gambar rencana bangunan, RKS (Rencana kerja dan syarat – syarat), volume masing – masing pekerjaan yang ada pada gambar, harga satuan dasar bahan, upah dan alat, analisa harga satuan pekerjaan, time schedule, metode pelaksanaan [13].

Berikut ini merupakan rumus analisa harga satuan bahan, upah dan alat.

$$HSB = KB \times HB \dots\dots\dots (1)$$

$$HSU = KU \times HU \dots\dots\dots (2)$$

$$HSA = KA \times HA \dots\dots\dots (3)$$

Dengan HSB = harga satuan untuk bahan, HSU = harga satuan untuk upah, HSA = harga satuan untuk alat, KB = koefisien pada bahan atau jumlah bahan yang dibutuhkan, KU = koefisien pada upah atau jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, KA = koefisien pada alat atau jumlah durasi alat yang dibutuhkan, HB = harga untuk bahan, HU = harga untuk upah, HA = harga untuk alat

Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung harga satuan pekerjaan:

$$HSP = HSB + HSA + HSU \dots\dots\dots (4)$$

Dengan HSP = harga satuan pekerjaan, HSB = harga satuan bahan-bahan, HSA = harga satuan peralatan, HSU = harga satuan tenaga/upah.

Susunan Estimate Real Of Cost berikut ini dapat dilihat dengan jelas bahwa biaya (anggaran) adalah jumlah dari masing-masing hasil perkalian volume dengan harga satuan pekerjaan yang bersangkutan. Secara umum dapat disimpulkan sebagai berikut :

$$RAB = \Sigma (VOLUME \times HARGA SATUAN PEKERJAAN) \dots\dots (5)$$

Dengan RAB = rencana anggaran biaya proyek , HSP = harga satuan pekerjaan, V = volume dari pekerjaan

3. METODE PENELITIAN

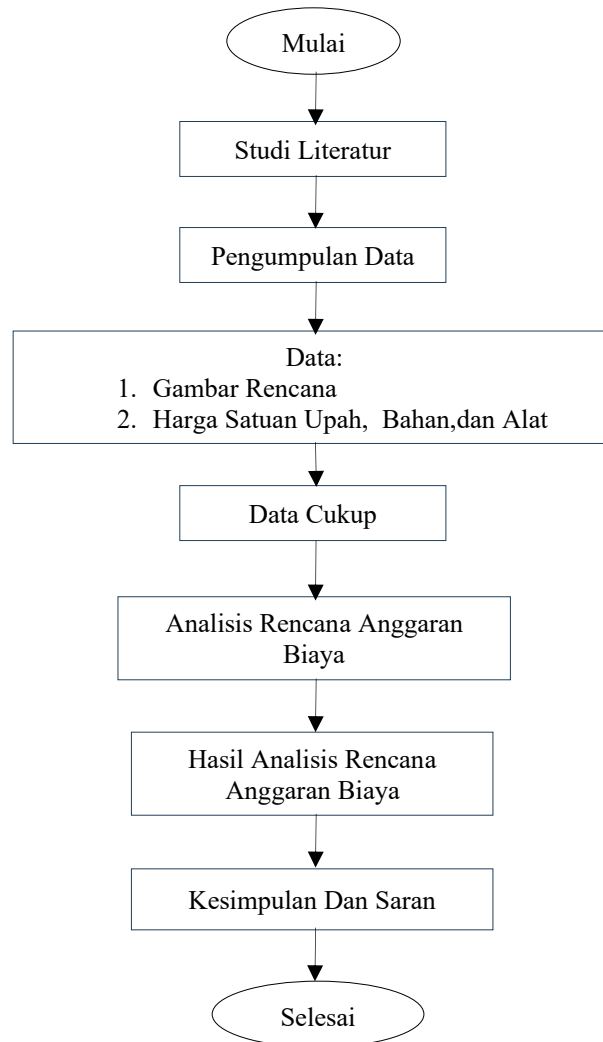
Penelitian ini menggunakan penelitian metode deskriptif, yaitu metode yang digunakan untuk memecahkan sekaligus menjawab permasalahan yang ada seperti menghitung Rencana Anggaran Biaya pada proyek. Penelitian ini dilakukan pada Pembangunan Irigasi Daerah Irigasi Alebbong Kecamatan Watang Pulu Kabupaten Sidenreng Rappang. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama tiga bulan, yaitu pada periode April hingga Juni 2025.



Gambar 1. Lokasi Saluran Irigasi Daerah Alebbong Kecamatan Watang Pulu Kabupaten Sidenreng Rappang

Penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data yaitu survey lapangan yang dilakukan untuk pengecekan lokasi penelitian yang akan ditinjau. Pengecekan ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui bagaimana keadaan lapangan dan apa saja yang diperlukan untuk melakukan penelitian. Dan studi literatur yang dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh dasar ilmu dan aturan yang akan digunakan untuk merancang langkah-langkah pengambilan dan pengolahan data. Studi literatur ini dapat berupa landasan teori, metode yang akan digunakan dalam mengolah data, serta hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dimana memiliki kaitan dan mendukung penelitian itu sendiri.

Pengambilan data primer dan sekunder kemudian dilakukan Analisis Data dengan Skema Perhitungan yaitu menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada proyek Saluran Sekunder Irigasi Alebbong Kabupaten Sidenreng Rappang.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

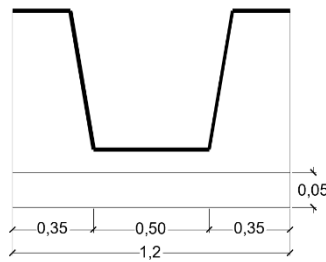
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyek Rehabilitasi Jaringan Irigasi D.I. Alebong Kec. Watang Pulu Kab. Sidrap, Sulawesi Selatan. Data umum merupakan data yang memberikan informasi umum dari suatu proyek. STA dalam konteks teknik sipil, khususnya dalam perencanaan dan konstruksi jalan, merupakan singkatan dari "Station". "Station" ini merujuk pada penanda lokasi sepanjang jalur proyek, biasanya dinyatakan dalam format kilometer dan meter.

Pada penelitian ini total panjang pekerjaan yang di kerjakan adalah 889,91 meter dimana dibagi menjadi beberapa bagian pokok pekerjaan yang akan di kerjakan seperti galian tanah manual saluran, urugan tanah kembali hasil galian, beton k-175, pasangan batu, plasteran pada pekerjaan saluran, dan galian tanah manual, urugan tanah kembali hasil galian, pasangan batu, plasteran pada pekerjaan sadap I dan II. Pada penelitian ini peniliti akan menghitung volume proyek yang akan di rehabilitasi seperti dibawah ini.

Galian Tanah Manual Saluran

Jumlah STA pada pekerjaan ini sebanyak 19 STA sesuai gambar rencana yang telah di buat dengan pembagian jarak per-STA adalah 50 meter untuk setiap titik lokasi dan di akhiri STA 18 ke STA 19 dengan jarak 39,91 meter.



Gambar 3. Penampang Galian Tanah Manual Saluran

$$a = \text{Tinggi} \times \text{lebar}$$

$$V = a \times \text{panjang}$$

STA 0+000

$$a = 0,05 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^2$$

STA 0+050

$$V = 0,06 \text{ m}^2 \times 50,00 \text{ m} = 3,00 \text{ m}^3$$

STA 0+100

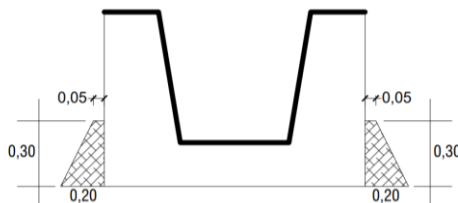
$$V = 0,06 \text{ m}^2 \times 50,00 \text{ m} = 3,00 \text{ m}^3$$

STA 0+150

$$V = 0,06 \text{ m}^2 \times 50,00 \text{ m} = 3,00 \text{ m}^3$$

Urugan Tanah Kembali Hasil Galian

Jumlah STA pada pekerjaan ini sebanyak 8 STA sesuai gambar rencana yang telah di buat dengan pembagian jarak per-STA adalah 50 meter untuk setiap titik lokasi.



Gambar 4. Penampang Urugan Taah Kembali Hasi Galian

STA 0+500

$$a = (0,05 + 0,20)/2 \times 0,30 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$b = (0,05 + 0,20)/2 \times 0,30 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$\text{Total Luasan} = 0,08 \text{ m}^2$$

STA 0+550

$$a = (0,05 + 0,20)/2 \times 0,30 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$b = (0,05 + 0,20)/2 \times 0,30 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$\text{Total Luasan} = 0,08 \text{ m}^2$$

$$V = (0,08 + 0,08)/2 \times 50,00 = 3,75 \text{ m}^3$$

Tabel 1. Analisa Harga Satuan (AHS) Pekerjaan Saluran

Uraian	Standar Pekerjaan	Biaya	Total Volume Pekerja (m ³)
PEKERJAAN SALURAN			
Galian Tanah Manual			
TENAGA			
Pekerja	0,80 OH	Rp 107.800/hari	53,39
Mandor	0,65 OH	Rp 166.400/hari	53,39
Urugan Tanah Kembali Hasil Galian			
TENAGA			
Pekerja	0,55 OH	Rp 107.800/hari	39,94
Mandor	0,50 OH	Rp 166.400/hari	39,94
Beton K-175			
TENAGA			

Uraian	Standar Pekerjaan	Biaya	Total Volume Pekerja (m ³)
Pekerja	1,05 OH	Rp 107.800 / hari	68,637
Tukang Batu	1,2 OH	Rp 125.600/hari	68,637
Kepala Tukang	1,05 OH	Rp 140.400/hari	68,637
Mandor	0,9 OH	Rp 166.400/hari	68,637
BAHAN			
Portland Semen	326 kg	Rp 1.580/kg	68,637
Pasir Beton	760 kg	Rp 116/kg	68,637
Batu Pecah	1,029 kg	Rp 120/kg	68,637
Pasangan Batu 1:4			
TENAGA			
Pekerja	8,19 OH	Rp 107.800/hari	502,836
Tukang Batu	9,17 OH	Rp 125.600/hari	502,836
Mandor	0,9 OH	Rp 166.400/hari	502,836
BAHAN			
Batu Gunung	1,2 m ³	Rp130.50	502,836
Pasir Pasang	0,6 m ³	Rp152.50	502,836
Portland Semen	163 kg	Rp 1.580/kg	502,836
Plesteran 1:3			
TENAGA			
Pekerja	28,045 OH	Rp 107.800/hari	1.963,150
Tukang Batu	32,71 OH	Rp 125.600/hari	1.963,150
Mandor	0,9 OH	Rp 166.400/hari	1.963,150
BAHAN			
Pasir Pasang	0,023 m ³	Rp162.50	1.963,150
Portland Semen	7,776 kg	Rp 1.580/kg	1.963,150

Tabel ini menyajikan rincian analisis harga satuan untuk berbagai jenis pekerjaan dalam proyek rehabilitasi saluran irigasi, khususnya pekerjaan saluran utama. Analisis mencakup tenaga kerja, bahan, dan volume pekerjaan.

Komponen Utama yang Dianalisis

- Galian Tanah Manual
 - Tenaga kerja: pekerja dan mandor
 - Volume: 53,39 m³
 - Biaya dihitung berdasarkan standar output harian dan tarif upah
- Urugan Tanah Kembali
 - Tenaga kerja: pekerja dan mandor
 - Volume: 39,94 m³
 - Biaya disesuaikan dengan produktivitas dan tarif harian
- Beton K-175
 - Tenaga kerja: pekerja, tukang batu, kepala tukang, mandor
 - Bahan: semen Portland, pasir beton, batu pecah
 - Volume: 68,637 m³
 - Biaya bahan dihitung berdasarkan kebutuhan per m³ dan harga satuan
- Pasangan Batu 1:4
 - Tenaga kerja: pekerja, tukang batu, mandor
 - Bahan: batu gunung, pasir pasang, semen
 - Volume: 502,836 m³
 - Termasuk biaya alat (molen)
- Plesteran 1:3
 - Tenaga kerja: pekerja, tukang batu, mandor
 - Bahan: pasir pasang, semen
 - Volume: 1.963,150 m³

Perhitungan RAB

Galian Tanah Manual

Pekerja

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah hari kerja} &= (\text{Total Volume (m}^3\text{)})/(\text{Standar pekerjaan (m}^3\text{/hari)}) \\
 &= (53,39 \text{ m}^3)/(0,80 \text{ (m}^3\text{/hari)}) \\
 &= 66,73 / \text{hari} \\
 &= 66,73 \approx 67 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Biaya Pekerjaan} &= \text{Jumlah hari kerja} \times \text{Biaya per hari} \\ &= 67 \times \text{Rp}107.800 \\ &= \text{Rp}7.222.600\end{aligned}$$

Mandor

$$\begin{aligned}\text{Jumlah hari kerja} &= (\text{Total Volume (m}^3\text{)})/(\text{Standar pekerjaan (m}^3\text{/hari)}) \\ &= (53,39 \text{ m}^3)/(0,65 \text{ (m}^3\text{/hari)}) \\ &= 82,13 / \text{hari} \\ &= 82,13 \approx 83 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Biaya Pekerjaan} &= \text{Jumlah hari kerja} \times \text{Biaya per hari} \\ &= 83 \times \text{Rp}166.400 \\ &= \text{Rp}13.811.200\end{aligned}$$

Beton K-175

Portland Semen

$$\begin{aligned}\text{Jumlah semen yang digunakan} &= \text{Jumlah Volume} \times \text{koefisien standar} \\ &= 68,637 \text{ m}^3 \times 326 \text{ kg} \\ &= 22.375,662 \text{ kg} \\ \text{Jumlah Biaya Semen} &= \text{Jumlah semen} \times \text{Harga satuan} \\ &= 22.375,662 \text{ kg} \times \text{Rp}1.580 \\ &= \text{Rp}35.353.545,96\end{aligned}$$

Pasir Beton

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Pasir yang digunakan} &= \text{Jumlah Volume} \times \text{koefisien standar} \\ &= 68,637 \text{ m}^3 \times 760 \text{ kg} = 52.164,12 \text{ kg} \\ \text{Jumlah Biaya Pasir} &= \text{Jumlah volume} \times \text{Harga satuan} \\ &= 52.164,12 \text{ kg} \times \text{Rp}116 \\ &= \text{Rp} 6.051.037,92\end{aligned}$$

Batu Pecah

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Batu Pecah yang digunakan} &= \text{Jumlah Volume} \times \text{koefisien standar} \\ &= 68,637 \text{ m}^3 \times 1,029 \text{ kg} \\ &= 70,627 \text{ kg} \\ \text{Jumlah Biaya Batu Pecah} &= \text{Jumlah volume} \times \text{Harga satuan} \\ &= 70,627 \text{ kg} \times \text{Rp} 120 \\ &= \text{Rp}8.475,24\end{aligned}$$

Tabel 2. Analisa Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Saluran

Uraian	Standar Pekerjaan	Biaya	Jumlah	Total biaya
PEKERJAAN SALURAN				
Galian Tanah Manual				
TENAGA				
Pekerja	0,80 OH	Rp 107.800/hari	53,39	67 hari
Mandor	0,65 OH	Rp 166.400/hari	53,39	83 hari
				Total
				Rp 21.033.800
Urugan Tanah Kembali Hasil Galian				
TENAGA				
Pekerja	0,55 OH	Rp 107.800/hari	39,94	73 hari
Mandor	0,50 OH	Rp 166.400/hari	39,94	80 hari
				Total
				Rp 21.181.400
Beton K-175				
TENAGA				
Pekerja	1,05 OH	Rp 107.800 / hari	68,637	63 hari
Tukang Batu	1,2 OH	Rp 125.600/hari	68,637	55 hari
Kepala Tukang	1,05 OH	Rp 140.400/hari	68,637	63 hari
Mandor	0,9 OH	Rp 166.400/hari	68,637	73 hari
BAHAN				
Portland Semen	326 kg	Rp 1.580/kg	68,637	21.242,812 kg
Pasir Beton	760 kg	Rp 116/kg	68,637	49.523,12 kg
Batu Pecah	1,029 kg	Rp 120/kg	68,637	67,051 kg
				Total
				Rp 77.891.859,12
Pasangan Batu 1:4				

Uraian	Standar Pekerjaan	Biaya	Jumlah	Total biaya	
TENAGA					
Pekerja	8,19 OH	Rp 107.800/hari	502,836	62 hari	Rp 6.683.600
Tukang Batu	9,17 OH	Rp 125.600/hari	502,836	55 hari	Rp 6.908.000
Mandor	0,9 OH	Rp 166.400/hari	502,836	71 hari	Rp 11.814.400
BAHAN					
Batu Gunung	1,2 m³	Rp130.50	502,836	603,403/m³	Rp 78.744.117
Pasir Pasang	0,6 m³	Rp152.50	502,836	301,702/m³	Rp 46.009.494
Portland Semen	163 kg	Rp 1.580/kg	502,836	81.962,30 kg	Rp 129.500.383
PERALATAN					
Molen					Rp 1.335.900
Total					Rp 280.995.895
Plesteran 1 : 3					
TENAGA					
Pekerja	28,045 OH	Rp 107.800/hari		70 hari	Rp 7.546.000
Tukang Batu	32,71 OH	Rp 125.600/hari		59 hari	Rp 7.410.400
Mandor	0,9 OH	Rp 166.400/hari		73 hari	Rp 12.147.200
BAHAN					
Pasir Pasang	0,0023 m³	Rp162.50		45,15245/m³	Rp 7.337.273,125
Portland Semen	7,776 kg	Rp 1.580/kg		15.265	Rp 24.119.417,952
Total					Rp 58.560.291,077
Total Keseluruhan					Rp 389.560.571,2

Tabel ini menyajikan rincian biaya aktual untuk setiap jenis pekerjaan dalam proyek rehabilitasi saluran irigasi, berdasarkan volume pekerjaan, standar output tenaga kerja, harga bahan, dan durasi kerja.

Komponen Pekerjaan yang Dianalisis

- Galian Tanah Manual
 - Volume: 53,39 m³
 - Tenaga kerja: 67 hari (pekerja), 83 hari (mandor)
 - Total biaya: Rp21.033.800
- Urugan Tanah Kembali
 - Volume: 39,94 m³
 - Tenaga kerja: 73 hari (pekerja), 80 hari (mandor)
 - Total biaya: Rp21.181.400
- Beton K-175
 - Volume: 68,637 m³
 - Tenaga kerja: pekerja, tukang batu, kepala tukang, mandor
 - Bahan: semen, pasir beton, batu pecah
 - Total biaya: Rp77.891.859,12
- Pasangan Batu 1:4
 - Volume: 502,836 m³
 - Tenaga kerja: pekerja, tukang batu, mandor
 - Bahan: batu gunung, pasir pasang, semen
 - Peralatan: molen
 - Total biaya: Rp280.995.895
- Plesteran 1:3
 - Volume: 1.963,150 m³
 - Tenaga kerja: pekerja, tukang batu, mandor
 - Bahan: pasir pasang, semen
 - Total biaya: Rp58.560.291,08

Total Biaya Pekerjaan Saluran

Seluruh komponen pekerjaan saluran menghasilkan total biaya sebesar **Rp389.560.571,20**, yang merupakan bagian terbesar dari keseluruhan RAB proyek.

Tabel 3. Analisa Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Sadap 1 dan 2

Uraian	Standar Pekerjaan	Biaya	Jumlah	Total biaya
SADAP 1 DAN 2				
Galian Tanah Manual				
TENAGA				
Pekerja	0,105 OH	Rp 107.800/hari	3,38	33 hari
Mandor	0,096 OH	Rp 166.400/hari	3,38	35 hari
			Total	Rp 9.381.400
Urugan Tanah Kembali Hasil Galian				
TENAGA				
Pekerja	0,024 OH	Rp 107.800/hari	0,73	31 hari
Mandor	0,022 OH	Rp 166.400/hari	0,73	34 hari
			Total	Rp 8.999.400
Pasangan Batu 1:4				
TENAGA				
Pekerja	0,167 OH	Rp 107.800/hari	5,520	34 hari
Tukang Batu	0,172 OH	Rp 125.600/hari	5,520	33 hari
Mandor	0,145 OH	Rp 166.400/hari	5,520	39 hari
BAHAN				
Batu Gunung		Rp130.50	5,520	Rp864.43
Pasir Pasang		Rp152.50	5,520	Rp505.08
Portland Semen	163 kg	Rp 1.580/kg	5,520	899,76 kg
PERALATAN				
Molen				Rp 16.440,768
			Total	Rp 33.531.500,8

Tabel ini menyajikan rincian biaya untuk pekerjaan rehabilitasi pada bagian Sadap I dan II dari saluran irigasi. Komponen yang dianalisis meliputi tenaga kerja, bahan bangunan, dan peralatan, dengan volume pekerjaan yang relatif kecil dibandingkan pekerjaan saluran utama.

Komponen Utama:

1. Galian Tanah Manual
 - Pekerja & Mandor: Total biaya Rp 9.381.400
2. Urugan Tanah Kembali
 - Pekerja & Mandor: Total biaya Rp 8.999.400
3. Pasangan Batu 1:4
 - Tenaga kerja & bahan (batu gunung, pasir pasang, semen): Total biaya Rp 33.531.500,8
4. Plesteran 1:3
 - Tenaga kerja & bahan: Total biaya Rp 16.284.988,26

Total Biaya Pekerjaan Sadap 1 dan 2: **Rp 68.197.289,06**

- Biaya terbesar berasal dari pekerjaan pasangan batu dan plesteran, terutama karena kebutuhan bahan seperti semen dan batu gunung.
- Perhitungan dilakukan berdasarkan standar pekerjaan (OH/hari), volume pekerjaan (m³), dan harga satuan bahan serta upah tenaga kerja.
- Tabel ini menjadi bagian dari total RAB proyek sebesar **Rp 457.757.860,26**, yang mencakup pekerjaan saluran utama dan sadap.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk proyek rehabilitasi saluran sekunder irigasi di Daerah Irigasi Alebbong, Kabupaten Sidenreng Rappang. Hasil perhitungan menunjukkan total RAB sebesar Rp 457.757.860,26, mencakup pekerjaan saluran utama dan Sadap I & II dengan volume rehabilitasi 2.675,503 m³. Penelitian ini menekankan pentingnya: Perencanaan anggaran yang efisien dan akurat; Penggunaan data lapangan dan gambar teknis yang lengkap; Analisis harga satuan pekerjaan berdasarkan standar local. Penelitian ini memperkuat temuan dari studi sebelumnya seperti: Anggraini & Melloukey (2023) yang membandingkan metode precast dan konvensional dalam RAB saluran irigasi, menyoroti efisiensi biaya dan waktu. Aziz (2023) dan Saroinsong et al. (2022) yang juga menekankan pentingnya analisis RAB dalam proyek irigasi untuk menghindari pembengkakan biaya. Irianto & Mohamad (2014) yang menunjukkan bahwa rehabilitasi saluran tanpa perencanaan anggaran yang matang sering kali melampaui batas anggaran daerah. Penelitian ini tidak hanya memberikan angka RAB yang rinci, tetapi juga menggarisbawahi bahwa keberhasilan proyek irigasi sangat bergantung pada akurasi perencanaan biaya. Dengan membandingkan hasilnya dengan studi terdahulu, penulis

menegaskan bahwa pendekatan berbasis data dan analisis teknis adalah kunci efisiensi anggaran dalam proyek konstruksi irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbarullah. M. (2020). Analisis Pembangunan Saluran Irigasi Terhadap Peningkatan Produktivitas Dan Pendapatan Petani Padidi Desa Banyu Urip Kecamatan Tanjung Lago Kabupaten Banyuasin. Skripsi Teknik Sipil : Universitas Sriwijaya.
- [2] Andrian. C. (2021). Estimasi Biaya Pembangunan Saluran Drainase Dengan Cost Significant Model Di Kota Sukabumi. Skripsi Teknik Sipil : Universitas Nusa Putra Sukabumi
- [3] Anggraini K.N, Melloukey A (2023). Analisis Perbandingan Rencana Anggaran Biaya Saluran Irigasi Metode Precast Dan Metode Konvensional. Jurnal Teknik Sipil: Universitas Medan Area.
- [4] Aziz. A. (2023). Perhitungan Rencana Anggaran Biaya pekerjaan Struktur Dan Rekontruksi Saluran Induk Daerah Irigasi Pasirmalang. Skripsi Teknik Sipil : Universitas Nusa Putra
- [5] Febriantika N A . Analisis Kelayakan Ekonomi Pada Saluran Irigasi Dam Induk (DI) Polagan Kecamatan Galis Kabupaten Pamekasan. Jurnal Teknik Sipil: Universitas Negeri Surabaya.
- [6] Fitri N L . Perencanaan Saluran Sekunder Irigasi Batang Tingkarang Kecamatan Rao Kabupaten Pasaman. Jurnal Teknik Sipil: Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
- [7] Hakim M S. (2022) . Analisis Rencana Anggaran Biaya Pelaksanaan Pembangunan Koperasi TKBM Pelabuhan Belawan. Skripsi Teknik Sipil: Universitas Medan Area.
- [8] Irianto D, mohamad S (2014). Perencanaan Anggaran Biaya Saluran Sekunder Rehabilitasi Di Waduk Sumengko Kabupaten Gresik. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, Vol 1 Nomor 1/rekat/14 (2014), 20-42. Universitas Negeri Surabaya.
- [9] Nurrochmad F. (2007). Analisis Kinerja Jaringan Irigasi. Jurnal Teknik Sipil : Universitas Gajah Mada.
- [10] Rismayanti. (2018). Analisis Anggaran Dan Realisasi Biaya Proyek Pada PT Bumi Indo Graha Makassar. Skripsi : Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [11] Sadayu. A. (2023). Perencanaan Dan Perhitungan Rencana Anggaran Biaya Saluran Irigasi Desa Pulau Kemiling Kecamatan Kisam Ilir Kabupaten Oku Selatan. Skripsi Teknik Sipil : Universitas Batu Raja.
- [12] Saroinsong, M.F.Ch, Revo L.I, Febrina P.Y.S. (2022). Analisis Rencana Anggaran Biaya Pada Proyek Rehabilitasi Jaringan Irigasi Di Tompaso Baru Minahasa Selatan. Jurnal Teknik Sipil, TEKNO-Volume 20 Nomor 81-Agustus 2022 : Universitas Sam Ratulangi.

EVALUASI SKENARIO MANAJEMEN LALU LINTAS PADA U-TURN JALAN TEUKU UMAR DENGAN METODE *ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*

Michael¹, Laura Salsabila^{1}, Ayu Kamila Khanza²

^{1,2}Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

^{*)}Email: michael@si.itera.ac.id

Received: 26 September 2025 ; Revised: 7 November 2025 ; Accepted: 18 November 2025

ABSTRACT

Jalan Teuku Umar is main road segment in Bandar Lampung city that has a crucial role to support the mobility and economic activity. However, high traffic volume and U-Turn existence can contribute to traffic jam which may decrease the performance of the traffic. This study aims to evaluate the traffic management scenarios, which can be applied on Jalan Teuku Umar, using Analytic Hierarchy Process method. The evaluation can be a consideration for policy making in traffic management. Furthermore, the scenarios that is evaluated in this study are U-Turn closing, U-Turn N-S and S-N relocating to 30 m to north and 40 m to south, respectively, and U-Turn S-N relocating 195 m to north. Those scenarios are compiled from the latest study using microsimulation approach. The study is conducted using 6 (six) criteria, which consist of traffic performance, cost, comfort, saety, environment impact and social impact. The survey involves several experts to respond the questionnaire. The results show that traffic performance is dominant criteria and the third scenario, which relocating U-Turn S-N 195 m to north, is chosen as the most appropriate management scenario for the U-Turn. The study is expected to be a reference for local government to formulate the policy related traffic management, hence the traffic system becomes more effective, efficient and sustainable.

Keyword: Traffic management, U-Turn, Traffic Jam, AHP, Policy Making

ABSTRAK

Jalan Teuku Umar merupakan salah satu ruas jalan utama di Kota Bandar Lampung yang memiliki peran penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan aktivitas ekonomi. Namun, tingginya volume kendaraan serta keberadaan *U-Turn* yang tidak optimal menyebabkan kemacetan dan menurunnya kinerja lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi skenario manajemen lalu lintas pada ruas Jalan Teuku Umar dengan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) guna menentukan alternatif solusi yang paling efektif. Penelitian ini merupakan pengembangan dari studi terdahulu yang menggunakan perangkat lunak mikrosimulasi lalu lintas PTV VISSIM dan menghasilkan tiga skenario manajemen lalu lintas, yaitu penutupan seluruh *U-Turn*, merelokasi *U-Turn* U-S dan S-U masing-masing sejauh 30 meter ke utara dan 40 meter ke selatan, serta relokasi *U-Turn* S-U sejauh 195 meter ke utara. Evaluasi dilakukan berdasarkan enam kriteria, yaitu kinerja lalu lintas, biaya, kenyamanan, keselamatan, dampak lingkungan, dan dampak sosial, dengan melibatkan para ahli sebagai responden kuesioner AHP. Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja lalu lintas merupakan kriteria paling dominan, dan skenario ketiga yaitu relokasi *U-Turn* S-U sejauh 195 meter ke utara terpilih sebagai alternatif terbaik dengan bobot tertinggi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan manajemen lalu lintas jalan yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

Kata kunci: Manajemen Lalu Lintas, U-Turn, Kemacetan, AHP, Pengambilan Kebijakan

1. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh berbagai kota di Indonesia. Kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Medan, hingga kota berkembang seperti Bandar Lampung, tidak luput dari masalah ini. Pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, peningkatan kepemilikan kendaraan pribadi, serta tata guna lahan yang tidak terintegrasi dengan sistem transportasi menjadi faktor penyebab yang memperburuk kondisi lalu lintas. Kemacetan tidak hanya berdampak pada efisiensi pergerakan orang dan barang tetapi juga membawa konsekuensi ekonomi, sosial, hingga lingkungan yang signifikan [1].

Di Kota Bandar Lampung, salah satu titik kemacetan yang cukup krusial terjadi di sepanjang ruas Jalan Teuku Umar. Ruas jalan ini merupakan salah satu koridor strategis yang menghubungkan berbagai pusat aktivitas seperti kawasan perdagangan, pusat perbelanjaan, rumah sakit, sekolah, perkantoran, hingga permukiman padat penduduk. Oleh karena itu, tidak mengherankan jika volume kendaraan yang melewati jalan ini sangat tinggi, terutama pada jam-jam sibuk. Namun demikian, tingginya intensitas lalu lintas tidak diimbangi dengan penataan fasilitas jalan yang optimal, terutama dalam hal penempatan fasilitas putar balik (*U-Turn*).

Fasilitas *U-Turn* dirancang untuk memudahkan kendaraan berbalik arah tanpa harus memutar jauh atau menggunakan simpang bersinyal. Namun dalam penerapannya, keberadaan *U-Turn* yang tidak ditempatkan secara strategis justru menjadi salah satu pemicu utama kemacetan [2]. Kendaraan yang berbalik arah harus melambat,

berhenti, dan kemudian memotong arus lalu lintas dari arah berlawanan. Situasi ini menciptakan titik konflik yang dapat memperlambat arus utama, memperpanjang antrian, bahkan meningkatkan risiko kecelakaan.

Jalan Perkotaan

Dalam konteks pembangunan infrastruktur transportasi, jalan memiliki peran strategis sebagai penggerak utama mobilitas manusia dan barang. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, disebutkan bahwa jalan merupakan bagian integral dari sistem transportasi nasional yang memiliki kontribusi penting dalam menunjang pembangunan di berbagai sektor, termasuk ekonomi, sosial, budaya, dan lingkungan. Fungsi jalan tidak hanya sebagai sarana transportasi, tetapi juga sebagai instrumen pengembangan wilayah yang dapat mendorong pertumbuhan yang merata antar daerah serta memperkokoh kesatuan nasional dan pertahanan negara.

Klasifikasi jalan dalam sistem jaringan transportasi di Indonesia dibedakan berdasarkan fungsi dan status. Berdasarkan fungsi jalan dibagi menjadi tiga kategori utama yaitu jalan arteri, jalan kolektor, dan jalan lokal. Masing-masing memiliki karakteristik, peran, dan tingkat pelayanan yang berbeda, yang berpengaruh terhadap pola perencanaan dan manajemen lalu lintas.

Ruas Jalan Teuku Umar sebagai lokasi studi memiliki karakteristik jalan arteri perkotaan, mengingat fungsinya sebagai penghubung utama antar zona komersial dan pusat kegiatan masyarakat. Oleh karena itu, penataan lalu lintas pada ruas ini harus mempertimbangkan prinsip-prinsip rekayasa jalan arteri, termasuk pembatasan akses, pengaturan simpang, dan evaluasi fasilitas *U-Turn* secara ketat. Penerapan skenario manajemen lalu lintas pada jenis jalan arteri harus dilakukan dengan pendekatan berbasis data dan evaluasi multikriteria, agar tidak menurunkan kinerja jaringan transportasi secara keseluruhan.

Kebutuhan Evaluasi Multikriteria

Berbagai upaya penataan lalu lintas telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan kemacetan, salah satunya dengan pendekatan teknis melalui mikrosimulasi lalu lintas. Penggunaan perangkat lunak seperti *PTV VISSIM* telah membantu dalam memodelkan kondisi eksisting dan merancang berbagai skenario perbaikan. Simulasi ini memberikan gambaran kuantitatif terkait dampak dari masing-masing skenario terhadap indikator teknis seperti kecepatan kendaraan, panjang antrian, dan waktu tundaan [3]

Mikrosimulasi lalu lintas merupakan metode berbasis komputer yang digunakan untuk memodelkan perilaku kendaraan secara individu dalam sistem lalu lintas. Salah satu perangkat lunak yang umum digunakan adalah *PTV VISSIM*, yang mampu menggambarkan kondisi lapangan secara realistis, termasuk pada ruas jalan dengan simpang bersinyal maupun tanpa sinyal, serta integrasi dengan transportasi umum [4]. Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan dengan merujuk pada hasil mikrosimulasi sebelumnya yang menguji dampak keberadaan dan pengaturan *U-Turn* terhadap kinerja jalan, sebagai dasar untuk menentukan prioritas skenario perbaikan yang paling efektif. Penentuan skenario perbaikan jaringan paling efektif didasarkan pada kinerja ruas yang ditandai dengan penurunan tundaan dan panjang antrian hasil simulasi *VISSIM*; biaya yang ditandai dengan perubahan geometrik jalan pada skenario perbaikan, serta kriteria kualitatif dampak lingkungan dan sosial yang minim, ditambah dengan aspek keselamatan dan kenyamanan yang optimum.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Salah satu metode yang relevan dan sering digunakan dalam pengambilan keputusan multikriteria adalah *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP merupakan metode yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1980 yang memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan perbandingan berpasangan dari berbagai kriteria dan alternatif yang tersedia [5]. Dalam penelitian ini, AHP digunakan untuk mengevaluasi efektivitas skenario manajemen lalu lintas pada ruas Jalan Teuku Umar. Penilaian dilakukan berdasarkan alternatif yang telah ditentukan sebelumnya dan didukung oleh hasil simulasi lalu lintas menggunakan perangkat lunak *VISSIM*, yang telah digunakan oleh peneliti terdahulu untuk mengkaji pengaruh fasilitas *U-Turn* terhadap kinerja lalu lintas.

Secara umum, AHP menyusun masalah kompleks ke dalam struktur hierarki yang terdiri dari beberapa tingkatan yaitu tujuan utama pada tingkat teratas, diikuti oleh kriteria atau faktor penilaian, dan alternatif solusi pada tingkat paling bawah. Proses ini diawali dengan penyusunan kuesioner perbandingan berpasangan antar elemen, yang diisi oleh para ahli transportasi. Penilaian dilakukan menggunakan skala Saaty, yang memuat preferensi numerik untuk membandingkan tingkat kepentingan antar kriteria.

Konsistensi jawaban responden menjadi aspek penting dalam AHP. Oleh karena itu, perhitungan *Consistency Ratio* (CR) digunakan untuk memastikan bahwa penilaian yang diberikan logis dan tidak saling bertentangan. Nilai $CR \leq 0,1$ menunjukkan bahwa jawaban dinilai konsisten. Jika penilaian tidak konsisten, misalnya ketika responden menyatakan bahwa A lebih penting dari B, B lebih penting dari C, tetapi C lebih penting dari A, maka penilaian tersebut perlu ditinjau ulang karena tidak memenuhi prinsip logika transitif.

Dalam konteks evaluasi skenario manajemen lalu lintas, AHP memungkinkan pembuat kebijakan untuk membandingkan berbagai alternatif berdasarkan kriteria-kriteria yang relevan dan penting. Dengan demikian, metode ini sangat berguna untuk mendukung pengambilan keputusan yang kompleks dalam penentuan skenario manajemen lalu lintas yang paling layak diterapkan.

Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) memiliki beberapa prinsip dasar yang menjadi pedoman dalam menyelesaikan permasalahan pengambilan keputusan secara bertahap dan terstruktur. Prinsip-prinsip tersebut meliputi dekomposisi, penilaian komparatif, sintesis prioritas, dan konsistensi logis. Dengan mengikuti prinsip-prinsip ini, metode AHP dapat memberikan hasil pengambilan keputusan yang sistematis, transparan, dan berbasis pertimbangan rasional.

2. METODE

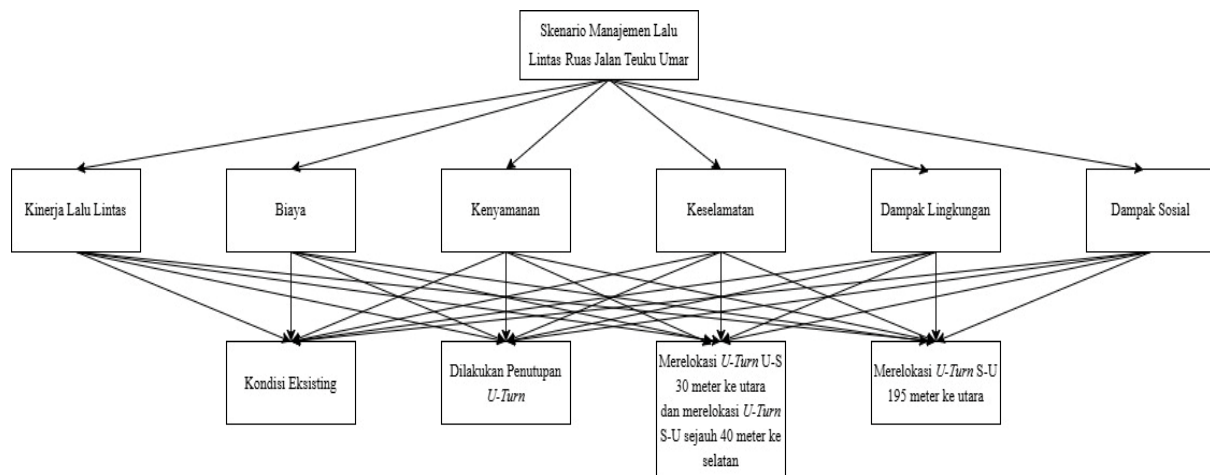
Penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan antara analisis mikrosimulasi lalu lintas dan metode pengambilan keputusan multikriteria. Proses penelitian diawali dengan studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder, pemodelan kondisi lalu lintas eksisting dan usulan skenario menggunakan perangkat lunak *PTV VISSIM*, serta evaluasi skenario melalui metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Penentuan Sampel

Pemilihan responden dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode *expert sampling*, yaitu dengan melibatkan pihak-pihak yang memiliki kompetensi di bidang transportasi dan infrastruktur jalan. Responden yang dipilih berasal dari kalangan akademisi, praktisi teknik sipil, serta pejabat instansi pemerintah yang memahami karakteristik jalan dan kriteria evaluasi lalu lintas. Dalam metode AHP, disarankan melibatkan antara 5 hingga 30 orang ahli untuk memperoleh hasil yang representatif dan menjaga konsistensi penilaian, dengan *Consistency Ratio* (CR) $\leq 0,1$ sebagai batas toleransi [6]. Jumlah responden yang terlalu sedikit dapat membatasi variasi perspektif, sementara jumlah yang terlalu banyak justru berpotensi menyulitkan proses analisis tanpa memberikan peningkatan yang berarti terhadap kualitas data [7]. Melalui pendekatan ini, proses evaluasi diharapkan menjadi lebih tepat sasaran dan mencerminkan kebutuhan nyata di lapangan.

Tahapan AHP

Permasalahan utama didefinisikan sebagai kemacetan, konflik arus kendaraan, dan penurunan keselamatan. Tujuannya adalah menentukan skenario manajemen lalu lintas yang paling efektif. Struktur hierarki disusun dalam tiga tingkat: tujuan, kriteria (kinerja lalu lintas, biaya, kenyamanan, keselamatan, dampak lingkungan dan sosial), serta alternatif skenario perbaikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur hirarki

Responden melakukan penilaian antar kriteria dan alternatif menggunakan skala Saaty (1–9), yang disusun dalam bentuk matriks perbandingan berpasangan dan matriks resiprokal. Kemudian dilakukan perhitungan *geometric mean* dan *eigen vector* untuk memperoleh bobot prioritas dari tiap kriteria.

$$G = \sqrt[n]{X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_n} \quad (1)$$

Keterangan: G = *Geometric Mean*, X1, X2, X3, ..., Xn = Penilaian ke 1, 2, 3, ..., n, n = Jumlah banyaknya responden

Nilai bobot prioritas dihitung melalui proses normalisasi matriks, yaitu dengan membagi setiap elemen dalam matriks dengan total nilai pada kolom masing-masing. Setelah itu, jumlah dari setiap baris dihitung dan dirata-

ratakan untuk memperoleh bobot akhir dari tiap elemen. Proses ini menghasilkan nilai prioritas relatif yang merepresentasikan tingkat kepentingan setiap alternatif atau kriteria dalam struktur AHP.

$$\begin{bmatrix} 1 & -3 & 3 \\ 3 & -5 & 3 \\ 6 & -6 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/2 \\ 1/2 \\ 1 \end{bmatrix} = 4 \begin{bmatrix} 1/2 \\ 1/2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -3 & 3 \\ 3 & -5 & 3 \\ 6 & -6 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = -2 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A eigenvalue eigenvector

$$\begin{bmatrix} 1 & -3 & 3 \\ 3 & -5 & 3 \\ 6 & -6 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = -2 \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Penilaian prioritas relatif, kemudian diuji dengan menggunakan rasio konsistensi CR untuk memastikan konsistensi logis. Nilai $CR \leq 0,1$ menandakan bahwa penilaian dapat diterima. Perhitungan CI dilakukan menggunakan nilai eigen maksimum (λ_{maks}) dan ukuran matriks (n), sedangkan RI (Indeks Random) mengacu pada nilai Tabel 1 yang ditetapkan oleh Saaty.

$$\lambda_{maks} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{Hasil Matriks Setiap Baris Awal}}{\text{Bobot Prioritas}} \quad (2)$$

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Keterangan: CI = Konsistensi Indeks, λ_{maks} = Nilai Eigen Maksimum, n = Ukuran Matriks

Tabel 1. Nilai Indeks Random (RI)

Ukuran Matriks	Indeks Random
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,49
10	1,51

Sumber: Saaty, 2008

Setelah diperoleh nilai CI dan RI maka kita dapat mencari nilai CR dengan menggunakan Persamaan 4. Jika nilai CR memenuhi, maka analisis dilanjutkan dengan menghitung nilai akhir scenario sesuai Persamaan 5.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Keterangan: CR = Konsistensi Rasio, CI = Konsistensi Indeks, RI = Konsistensi Random Indeks

$$M = [(X1 \times Y1) + (X2 \times Y2) + (X3 \times Y3) + \dots + (Xn \times Yn)] \quad (5)$$

Keterangan: M = Nilai akhir skenario manajemen lalu lintas ruas jalan terbaik, X1, X2, X3, ..., Xn = Bobot skenario manajemen lalu lintas pada setiap kriteria, Y1, Y2, Y3, ..., Yn = Bobot dari masing-masing kriteria

Melalui proses ini, AHP menyediakan pendekatan sistematis dan terukur untuk merangkum berbagai penilaian menjadi keputusan yang objektif. Hasil akhir diharapkan menjadi dasar pemilihan strategi manajemen lalu lintas yang paling sesuai untuk mengatasi permasalahan kemacetan di ruas jalan yang dikaji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi dilakukan berdasarkan enam kriteria utama yang telah ditentukan yaitu kinerja lalu lintas, biaya, kenyamanan, keselamatan, dampak lingkungan dan sosial. Data penilaian diperoleh dari responden ahli melalui kuesioner perbandingan berpasangan kemudian diolah untuk menghasilkan bobot prioritas setiap kriteria dan alternatif skenario.

Tabel 2. Nilai *Geometric Mean*

KRITERIA	RESPONDEN														KRITERIA	GEO
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	B	MEAN
A	6,0000	4,0000	4,0000	3,0000	3,0000	9,0000	5,0000	2,0000	2,0000	4,0000	7,0000	8,0000	0,2000	0,3333	B	2,8491
A	7,0000	0,3333	6,0000	0,3333	0,2500	3,0000	6,0000	0,5000	6,0000	0,3333	4,0000	4,0000	0,2000	0,2000	C	1,2039
A	5,0000	0,3333	0,2500	0,5000	0,5000	2,0000	6,0000	0,5000	6,0000	0,5000	2,0000	6,0000	0,2000	0,2000	D	0,9925
A	6,0000	2,0000	2,0000	2,0000	1,0000	8,0000	7,0000	4,0000	8,0000	2,0000	3,0000	2,0000	3,0000	0,3333	E	2,6888
A	7,0000	2,0000	2,0000	2,0000	1,0000	8,0000	7,0000	4,0000	8,0000	2,0000	3,0000	3,0000	4,0000	0,2500	F	2,7984
B	2,0000	0,2500	0,2500	0,1667	0,1429	0,5000	0,3333	0,3333	0,3333	0,2000	1,0000	0,5000	1,0000	0,2000	C	0,3754
B	2,0000	0,1667	0,1250	0,1111	0,1667	0,5000	0,3333	0,2500	0,5000	0,2000	0,5000	0,5000	1,0000	0,2000	D	0,3271
B	5,0000	0,5000	0,5000	0,3333	0,5000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	0,3333	0,5000	1,0000	7,0000	0,3333	E	0,8781
B	5,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	0,3333	1,0000	1,0000	7,0000	0,3333	F	0,9498
C	2,0000	0,5000	0,2500	0,5000	2,0000	2,0000	1,0000	0,2000	2,0000	1,0000	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000	D	0,8241
C	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	5,0000	3,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	7,0000	2,0000	E	2,4038
C	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	5,0000	3,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	7,0000	1,0000	F	2,2877
D	3,0000	2,0000	5,0000	2,0000	2,0000	5,0000	5,0000	3,0000	2,0000	1,0000	2,0000	2,0000	7,0000	2,0000	E	2,6842
D	3,0000	2,0000	5,0000	2,0000	2,0000	5,0000	5,0000	3,0000	2,0000	1,0000	2,0000	2,0000	7,0000	1,0000	F	2,5546
E	3,0000	1,0000	0,5000	2,0000	1,0000	1,0000	0,5000	1,0000	2,0000	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	F	1,0000

Berdasarkan nilai *geometric mean* hasil jawaban responden, dihasilkanlah matriks perbandingan berpasangan antar-kriteria yang disajikan pada Tabel 3 dan dinormalisasi menjadi matriks pada Tabel 4.

Tabel 3. Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria

Kriteria Matriks	A	B	C	D	E	F
A	1,0000	2,8491	1,2039	0,9925	2,6888	2,7984
B	0,3510	1,0000	0,3754	0,3271	0,8781	0,9498
C	0,8306	2,6641	1,0000	0,8241	2,4038	2,2877
D	1,0076	3,0569	1,2134	1,0000	2,6842	2,5546
E	0,3719	1,1388	0,4160	0,3725	1,0000	1,0000
F	0,3573	1,0529	0,4371	0,3915	1,0000	1,0000
Jumlah	3,9184	11,7618	4,6458	3,9078	10,6549	10,5904

Keterangan: A = Kinerja Lalu Lintas, B = Biaya, C = Kenyamanan, D = Keselamatan, E = Dampak Lingkungan, dan F = Dampak Sosial

Tabel 4. Matriks Normalisasi

Kriteria Matriks	A	B	C	D	E	F	Jumlah	Bobot
A	0,2552	0,2422	0,2591	0,2540	0,2524	0,2642	1,5279	0,25453
B	0,0896	0,0850	0,0808	0,0837	0,0824	0,0897	0,5114	0,08520
C	0,2120	0,2265	0,2152	0,2109	0,2256	0,2160	1,3069	0,21771
D	0,2571	0,2599	0,2612	0,2559	0,2519	0,2412	1,5281	0,25454
E	0,0949	0,0968	0,0895	0,0953	0,0939	0,0944	0,5651	0,09415
F	0,0912	0,0895	0,0941	0,1002	0,0939	0,0944	0,5635	0,09388
Jumlah	1	1	1	1	1	1	1	1

Keterangan: A = Kinerja Lalu Lintas, B = Biaya, C = Kenyamanan, D = Keselamatan, E = Dampak Lingkungan, dan F = Dampak Sosial

Tabel 5. Bobot Prioritas Kriteria

Kriteria Matriks	Jumlah	Bobot Prioritas	Bobot Prioritas (%)
Kinerja Lalu Lintas	1,5272	0,25453	25,453%
Biaya	0,5112	0,08520	8,520%
Kenyamanan	1,3062	0,21771	21,771%
Keselamatan	1,5273	0,25454	25,454%
Dampak Lingkungan	0,5649	0,09415	9,415%
Dampak Sosial	0,5633	0,09388	9,388%

Tabel 5 menjelaskan bahwa kriteria dengan bobot prioritas tertinggi adalah keselamatan, diikuti dengan kinerja lalu lintas yang memiliki bobot kepentingan yang hampir sama dengan kriteria keselamatan. Kemudian di posisi ketiga adalah kriteria kenyamanan dengan bobot 21,771%. Sedangkan untuk peringkat selanjutnya, secara berurutan, adalah dampak lingkungan, sosial, dan biaya. Kajian ini menunjukkan kecenderungan yang berbeda bahwa biaya bukan menjadi salah satu kriteria utama dalam pengambilan kebijakan di bidang infrastruktur transportasi, seperti pada pemilihan prioritas pengembangan jaringan transportasi [8] [9] [10].

Setelah diperoleh nilai bobot prioritas maka diharuskan mencari nilai CR atau konsistensi rasio. Untuk mengukur tingkat konsistensi logis dari penilaian responden dalam matriks perbandingan berpasangan berdasarkan nilai *consistency index* (CI) dan indeks random (1,24 untuk ukuran matriks 6 kriteria) [5]. Nilai CR digunakan untuk

memastikan bahwa preferensi yang diberikan tidak bertentangan secara matematis. Jika nilai $CR \leq 0,1$, maka penilaian dianggap konsisten dan dapat digunakan.

$$\lambda_{maks} = \frac{1}{6} \left(\frac{1,5279}{0,25453} + \frac{0,5114}{0,0852} + \frac{1,3069}{0,21771} + \frac{1,5281}{0,25454} + \frac{0,5651}{0,09415} + \frac{0,5635}{0,09388} \right)$$

$$\lambda_{maks} = 6,0027$$

$$CI = \frac{6,0027 - 6}{6 - 1} = 0,000537$$

$$CR = \frac{0,000537}{1,24} = 0,000433 < 0,1$$

Penilaian dilanjutkan pada pemilihan prioritas alternatif skenario yang disajikan pada Tabel 6 dan 7, sehingga diperoleh bahwa alternatif dilakukannya penutupan *U-Turn* merupakan alternatif yang paling tepat untuk diterapkan dengan nilai bobot prioritas sebesar 37%. Rekomendasi kebijakan, yang didasarkan pada bobot prioritas tertinggi analisis AHP, sejalan dengan simulasi mikrosimulasi pada ruas Jalan Teuku Umar Bandar Lampung dengan adanya penurunan panjang antrean sebesar 99,99%. Hal ini dikonfirmasi pada beberapa kajian yang menyatakan bahwa keberadaan *U-Turn* dapat mengakibatkan perlambatan kecepatan lalu lintas, sebab untuk melakukan manuver putar balik setiap kendaraan butuh waktu 5-35 detik [11]. Sehingga, rekonfigurasi dan pengurangan (peniadaan) *U-Turn* mampu berkontribusi dalam peningkatan kinerja ruas jalan, yang ditandai dengan dengan penurunan nilai tundaan perjalanan rata-rata dan peningkatan kecepatan rata-rata perjalanan pada suatu ruas jalan [12]. Ini merupakan implikasi dari bahwa keberadaan *U-Turn* mengakibatkan peningkatan keberadaan titik-titik konflik antara pergerakan utama ruas jalan dengan arus manuver putar balik [13].

Tabel 6. Proporsi Alternatif terhadap masing-masing kriteria

Skenario	A	B	C	D	E	F
Kondisi eksisting.	0,1538	0,2853	0,1740	0,2030	0,2396	0,2627
Dilakukan Penutupan <i>U-Turn</i> .	0,4449	0,2906	0,3022	0,3916	0,3565	0,3077
Merelokasi <i>U-Turn</i> U-S 30 m ke utara dan merelokasi <i>U-Turn</i> S-U sejauh 40 m ke Selatan.	0,1374	0,1497	0,1942	0,1563	0,1751	0,1754
Merelokasi <i>U-Turn</i> S-U 195 m ke utara.	0,2639	0,2744	0,3296	0,2491	0,2288	0,2542

Keterangan: A = Kinerja Lalu Lintas, B = Biaya, C = Kenyamanan, D = Keselamatan, E = Dampak Lingkungan, dan F = Dampak Sosial

Tabel 7. Bobot Prioritas Alternatif Skenario

Tingkat Prioritas	Skenario	Bobot	Bobot (%)
1	Dilakukan Penutupan <i>U-Turn</i>	0,3659	37%
2	Merelokasi <i>U-Turn</i> S-U 195 m ke utara	0,2711	27%
3	Kondisi eksisting	0,2002	20%
4	Merelokasi <i>U-Turn</i> U-S 30 m ke utara dan merelokasi <i>U-Turn</i> S-U sejauh 40 m ke selatan	0,1627	16%

4. KESIMPULAN

Evaluasi skenario manajemen lalu lintas pada ruas Jalan Teuku Umar menggunakan metode AHP dilakukan melalui penyusunan hierarki, perbandingan berpasangan, dan perhitungan bobot prioritas berdasarkan enam kriteria. Berdasarkan hasil analisis, tiga kriteria utama, keselamatan, kinerja lalu lintas, dan kenyamanan, menjadi faktor penentu pemilihan skenario pengaturan *U-Turn* jalan perkotaan khususnya pada Jalan Teuka Umar Bandar Lampung berdasarkan penilaian ahli (*expert choice*). Dari tiga kriteria utama tersebut, penutupan seluruh *U-Turn* dipilih sebagai skenario terbaik dengan bobot tertinggi (37%) dengan nilai $CR < 0,1$ pada seluruh penilaian menunjukkan konsistensi responden, dan mendukung rekomendasi keputusan yang kuat, rasional, serta tepat sasaran. Temuan ini sejalan dengan hasil simulasi teknis yang menunjukkan penurunan antrean hingga 99,99% dan peningkatan kecepatan kendaraan. Namun, penutupan *U-Turn* dapat membatasi aksesibilitas pergerakan, khususnya pada jalan perkotaan seperti Jalan Teuku Umar. Nilai $CR < 0,1$ pada seluruh penilaian menunjukkan konsistensi responden, dan mendukung rekomendasi keputusan yang kuat, rasional, serta tepat sasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. I. Dharmawan and H. P. Setiawan, "Analisis Biaya Kemacetan Akibat Adanya Putar Balik (U-Turn) di Kota Bandar Lampung," *Jurnal Rekayasa, Teknologi, Dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 106-112, 2017.

- [2] D. Dodi, E. Erny and N. Neswita, "Analisa Kinerja U-Turn Di Ruas Jalan Sudirman Air Molek Kecamatan Pasir Penyau," *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 1, 2024.
- [3] A. Wadu, L. Dumin and P. G. Nahak, "Penanganan Kemacetan Lalu Lintas Yang Ditimbulkan Akibat Pergerakan Putar Balik (U-Turn) Pada Jalan Perkotaan," *Borneo Engineering: Jurna Teknik Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 187-196, 2024.
- [4] C. N. Azka, R. Hidayat and A. Fajri, "Mikro-Simulasi Prasarana U-Turn Menggunakan Software VISSIM pada Ruas Jalan Teuku Nyak Arief Kota Banda Aceh," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 8, no. 1, p. 11766, 2025.
- [5] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, Pennsylvania: McGraw-Hill, 1980.
- [6] P. Melillo and L. Pecchia, "What is the Appropriate Sample Size to Run Analytic Hierarchy Process in a Survey-Based Research?," in *The International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, London, 2016.
- [7] N. R. Timisela, M. Masyhuri and D. H. Darwanto, "Development strategy of sago local food agroindustry using analytical hierarchy process method," *Agraris Journal of Agribusiness and Rural Development Research*, vol. 7, no. 1, pp. 36-52, 2021.
- [8] M. Michael, R. A. Ekaputra and S. Rahma, "Pengembangan Prioritas Pembangunan Koridor Kemiling-Tanggamus Provinsi Lampung," *Jurnal Infrastruktur*, vol. 7, no. 1, pp. 51-59, 2021.
- [9] D. F. Rifai, R. A. Ekaputra and S. Rahma, "Analisis Multi Kriteria Dalam Pengembangan Jalan Lintas Barat Sumatera (Studi Kasus: Kecamatan Talang Padang, Provinsi Lampung)," *Journal of Infrastructure Planning and Design*, vol. 1, no. 1, pp. 14-20, 2021.
- [10] D. Y. Jumas, V. Ariani, E. Rita, S. Sesmiwati and A. Rozaan, "Optimasi Pemeliharaan Jalan: Model Pengambilan Keputusan Multi-Kriteria untuk Prioritas di Kabupaten Pasaman, Sumatera Barat," *Jurnal Teknik Sipil: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 31, no. 3, pp. 327-334, 2024.
- [11] T. Rosdiyani and N. P. Artiwi, "Evaluasi penerapan manajemen rekayasa lalu lintas putaran balik arah (U-Turn) (Studi kasus: Jalan Lingkar Selatan Km. 1 Kota Cilegon, Banten)," *TEKNIKA: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 16, no. 2, pp. 215-222, 2020.
- [12] M. Munir, I. M. A. Hermawan and D. Prakosa, "Rekonfigurasi Fasilitas Putar Balik (U-Turn) Berbasis Analisis Kinerja Lalu Lintas di Koridor Jalan Borobudur dan Jalan Soekarno-Hatta Kota Malang," *Jurnal Penelitian Sekolah Tinggi Transportasi Darat*, pp. 1-10, 2025.
- [13] G. Gautama, F. H. Jaya and D. Meriska, "Analisis Pengaruh U-Turn Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas," *Jurnal Teknik Sains*, vol. 6, no. 2, 2021.

GENDER DISPARITIES IN WORK-RELATED TRAFFIC ACCIDENTS: ADVANCING SAFE SYSTEM STRATEGIES IN BATAM CITY

Vito Raegentsario¹, *Yusra Aulia Sari², Andri Irfan Rifai³

^{1,2,3}Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Internasional Batam, Batam

^{*)}Email : yusra@uib.ac.id

Received: 4 Oktober 2025 ; Revised: 4 November 2025 ; Accepted: 17 November 2025

ABSTRACT

Work-related traffic accidents represent a significant public health and economic issue in rapidly urbanising areas like Batam City, Indonesia. As a major industrial and trade hub, Batam experiences high volumes of commuter traffic, exacerbating road safety challenges. Despite this, a critical gap exists in current research and policy where gender-specific vulnerabilities—including differences in risk perception, vehicle choice, and travel patterns—are often overlooked. This study aims to fill this gap by investigating these nuanced gender disparities in work-related traffic accidents in Batam. Furthermore, it seeks to propose actionable strategies for systematically integrating gender considerations into the established Safe System framework, thereby providing evidence-based recommendations for stakeholders. A quantitative research design was employed, utilising a structured questionnaire distributed via Google Forms to a cohort of 498 randomly sampled workers in Batam City. The collected data were analysed using descriptive statistics and simple linear regression in SPSS. The analysis specifically examined the relationship between positive safety perceptions and experiences (BTHD) and workers perceived vulnerability and wariness (BTHC) during their commute. The results revealed a statistically significant positive relationship ($B = 0.626, p < .001$). Counter-intuitively, this indicates that as respondents' positive safety perceptions increased, their self-reported level of wariness and alertness also rose. This key finding suggests that a sense of safety among Batam's workforce is not a passive state leading to complacency but is actively constructed upon a state of heightened awareness. The study concludes that achieving the goal of zero fatalities requires the Safe System approach to evolve beyond physical infrastructure to incorporate these complex psychological drivers and gender-specific factors. These findings offer policymakers critical insights for developing more inclusive, equitable, and effective road safety interventions.

Keyword: Gender Disparities, Work Traffic Accidents, Safety System Approach, Risk Perception.

1. INTRODUCTION

Traffic accidents constitute a significant public health crisis worldwide, resulting in millions of injuries and fatalities each year. According to the World Health Organization (WHO), road traffic injuries are the eighth leading cause of death globally, with an estimated 1.35 million lives lost annually as of 2016 [1]. The burden of these injuries is disproportionately borne by low- and middle-income countries, where 93% of road traffic fatalities occur [1]. The increasing prevalence of motor vehicles, coupled with inadequate road infrastructure and enforcement of traffic regulations, exacerbates the risk of accidents. As urbanization accelerates, particularly in rapidly developing regions, the need for effective road safety interventions becomes increasingly urgent. The mitigation of traffic accidents is contingent upon a clear analysis of their root causes and the development of targeted safety measures.

In Batam City, Indonesia, the rapid pace of industrialization and urbanization has resulted in a significant increase in traffic volumes, thereby heightening the risk of accidents [2]. The city's burgeoning economy has attracted a diverse workforce, resulting in a complex interplay of transportation needs and challenges. As Batam continues to develop, the existing infrastructure may struggle to accommodate the growing demands of both commercial and personal transportation. This scenario is further complicated by the limited availability of safe and efficient public transport options, which can lead to increased reliance on private vehicles and, consequently, a higher likelihood of traffic incidents. Addressing these challenges requires a multifaceted approach that considers the unique characteristics of Batam's urban landscape and the specific needs of its residents.

Gender disparities in traffic accidents represent a critical area of study that warrants further exploration. Research indicates that men are more frequently involved in severe traffic accidents, primarily due to their higher engagement in high-risk occupations such as driving and construction [3]. Conversely, women may face unique vulnerabilities, including limited access to safe transportation options and the dual burden of work and caregiving responsibilities [3]. These gendered perspectives are essential for developing effective road safety strategies, particularly in work-related contexts where the risks may differ significantly between genders [3]. A gender-sensitive approach to road safety can enhance the effectiveness of interventions and ensure that the specific needs of all demographic groups are met [4].

However, while these general gender differences are established, there is a significant gap in understanding how they manifest in the specific context of a rapidly industrializing Southeast Asian city like Batam. Furthermore, it

remains unclear how these nuanced, local dynamics can be practically integrated into the Safe System framework, which is often criticized for overlooking such gender-specific factors [5]. This study, therefore, aims to address this gap by examining these factors within Batam's unique workforce to propose more inclusive safety strategies.

The Safe System approach has emerged as a leading framework for addressing road safety challenges by aiming to minimize the risk of severe injuries or fatalities [6]. However, its implementation often neglects the specific needs of diverse demographic groups, including gender differences [6]. Integrating gender considerations into road safety strategies can lead to more equitable outcomes, particularly in diverse workforces such as that found in Batam City, where many women are employed in sectors like manufacturing and services, which may expose them to unique traffic-related risks [6]. The effectiveness of the Safe System framework can be significantly enhanced by recognizing and addressing these gender-specific vulnerabilities.

This study aims to fill this gap by investigating gender disparities in work-related traffic accidents in Batam City. By analyzing the complex relationship between workers' risk perceptions, past experiences, and their demographic profiles, this research seeks to propose concrete strategies for incorporating gender considerations into the Safe System framework. The findings will provide valuable insights for policymakers and urban planners, ultimately advancing the goal of reducing traffic fatalities in Batam and similar urban contexts. The findings will provide valuable insights for policymakers, urban planners, and safety advocates, ultimately advancing the goal of reducing traffic fatalities and serious injuries in Batam and similar urban contexts [7].

Work-Related Accidents

The examination of gender disparities in work-related traffic accidents is a critical area of study that sheds light on both the demographic trends and the underlying contributing factors to such incidents. Research indicates that male individuals are disproportionately represented in traffic fatalities, with studies showing that up to 75% of traffic-related deaths involve males, while only 25% are females [8]. This discrepancy is not isolated to one region; similar trends have been observed internationally, indicating a global pattern in which gender plays a significant role in traffic accident dynamics [8][9]. Furthermore, risk factors such as age have also been found to correlate with these disparities, as younger males are statistically more likely to be involved in serious traffic accidents [10] [11].

In assessing the socio-economic implications of traffic accidents, it becomes evident that such incidents impose significant societal costs beyond immediate medical expenses. For instance, the repercussions of traffic accidents extend to productivity losses within families, as individuals may need time off work to care for injured family members or due to their own incapacitation [12]. This economic burden is compounded by the existing gender disparities, as research has shown that male drivers often engage more frequently in risky driving behaviors, which increases their likelihood of suffering severe injuries or fatalities [9]. Moreover, studies have linked occupational characteristics, such as the demanding nature of job demands for public school teachers, to increased susceptibility to accidents while commuting to or from work, further entrenching gender disparities in this area [13].

The role of psychosocial factors in traffic accidents cannot be understated, especially when examining gender differences. Research highlights how driving is not only a physical task but also a complex psychomotor function that requires coordination of cognitive and sensory systems [14]. Differences in emotional and psychological responses to driving conditions between genders can significantly affect driving safety; for instance, males may exhibit a higher propensity for aggression on the road compared to females [15] [16]. These findings advocate for targeted interventions that consider gender-specific vulnerabilities to enhance traffic safety in urban contexts.

Moreover, the intersection of socioeconomic factors, such as the dynamics of employment and access to transportation, further compounds the gender disparities evident in work-related traffic accidents. Research evaluations have found that young drivers, who often face significant pressure in the workplace combined with less experience behind the wheel are more likely to prioritize speed over safety, thereby increasing their risk of accidents [10]. Additionally, the implications of occupational stress on driving performance underscore the vital need for comprehensive workplace safety programs that address both mental health and safe commuting practices, particularly in male-dominated industries [17].

In addressing these gender disparities, it is crucial to develop multifaceted strategies that reflect both empirical evidence and the specific context of the locality. Implementing sustainable transport policies, educational campaigns on safe driving, and support systems for occupational health can help mitigate the disparities observed in work-related traffic accidents [18]. The integration of predictive analytics and community-focused interventions will be vital in tailoring effective responses that accommodate the unique demographic and socioeconomic landscape, thus advancing safer systems for all road users, regardless of gender.

Gender Disparities in Traffic Accidents

The investigation into gender disparities in traffic accidents reveals significant insights into the behavioral tendencies and outcomes associated with male and female drivers. Studies consistently illustrate that men are more likely to engage in high-risk driving behaviors, which correlates with a higher incidence of accidents. Research indicates that male drivers frequently prioritize speed over safety, while female drivers typically demonstrate a more cautious approach to driving [19]. Furthermore, the analysis of risk perception reveals that males perceive themselves as less vulnerable to crash-related injuries, contributing to a range of reckless driving behaviors [20]. This gender-specific attitude towards risk impacts driving safety and has broader implications for public health and road safety strategies.

The consequences of these behaviors are reflected in patterns of injury severity across genders. Females tend to be less frequently involved in serious traffic violations and may experience lighter injuries in the event of accidents [21]. A study exploring the relationship between gender and accident outcomes found that while males account for a higher percentage of traffic fatalities, women often sustain injuries that are more frequently associated with non-fatal outcomes [22]. This dichotomy in accident outcomes consider these gender differences, potentially leading to a more effective allocation of resources aimed at reducing traffic injuries and fatalities.

The role of education and awareness in addressing these gender disparities cannot be overstated. Enhanced road safety education initiatives can significantly influence driving behaviors, particularly among young male drivers who exhibit a propensity for risk-taking [19]. By fostering an appreciation for road safety through tailored educational programs, there is potential to mitigate dangerous behaviors and improve traffic outcomes for both genders. Furthermore, studies indicate that increasing traffic safety knowledge among males can lead to a reduction in risky behaviors, such as road driving behaviors [23]. Continued research into effective educational strategies is essential to fostering safer driving cultures that accommodate gender differences.

Lastly, the significance of psychosocial factors in understanding gender disparities in traffic incidents is an emerging area of interest. Research has identified that women often display more prosocial behaviors in traffic situations, such as providing emotional support at accident scenes, reflecting broader social norms and expectations regarding gender roles [24]. Conversely, men may exhibit behaviors that prioritize physical interventions in crisis situations. Recognizing these distinctions in social behavior could inform the development of gender-sensitive road safety campaigns accounting for varying approaches to driving and crisis interactions, ultimately enhancing community responses to road safety challenges [25].

In conclusion, the interplay of gender, risk perception, and behavioral tendencies affects traffic accident dynamics. A nuanced understanding of these factors that address disparities in traffic safety and contribute to building safer driving environments. Future research should continue to explore these dimensions, particularly how educational initiatives and psychosocial considerations can be integrated into comprehensive road safety strategies aimed at reducing the incidence and severity of traffic accidents across genders.

Safe System Approach

Gender disparities in work-related traffic accidents in Batam City require an understanding of the Safe System approach, a framework that emphasizes shared responsibility among all road system users and stakeholders. The Safe System philosophy aims to prevent fatalities and serious injuries by addressing the underlying design and management of traffic systems [26]. Gender considerations are often overlooked in traffic safety policies, resulting in disparate impacts of traffic crashes on male and female workers in occupational settings [25]. In Batam City, a systematic integration of gender perspectives within the Safe System approach could enhance the effectiveness of traffic safety interventions.

The Safe System approach. It advocates for a proactive strategy that aims to effectively manage risks associated with road traffic by implementing comprehensive safety measures across all aspects of road transport [27]. Recent evaluations emphasize the need to incorporate gender analysis into traffic safety strategies to ensure equitable protection for all users [28]. This is particularly relevant in work-related scenarios, where specific occupational groups may face unique risks based on gender-related factors [25]. Advocacy for gender-sensitive data collection and analysis is critical in informing policies that can mitigate the disproportionate impact of traffic accidents on women and men, thereby fostering inclusive safety measures [27].

The introduction of innovative methodologies and technologies, such as real-time traffic management systems, can also play a crucial role in enhancing road safety for all, particularly in urban environments like Batam [29]. Implementing practices such as variable speed limits and route optimization can contribute to safer travel experiences for workers, aligning with the objectives of the Safe System paradigm [29]. Attention should be given to how these smart systems can incorporate gender-specific patterns of travel and risk exposure that characterize work-related journeys [28]. Through the adoption of evidence-based interventions guided by a gender-responsive

Safe System approach, the potential for reducing traffic-related injuries and deaths in Batam City can be significantly improved.

In conclusion, advancing Safe System strategies within the context of gender disparities in work-related traffic accidents necessitates a holistic and inclusive approach. Leveraging data-driven insights and stakeholder collaboration can facilitate the identification of key safety interventions tailored to the specific needs of diverse gender groups [27]. Stakeholders in Batam City can enhance the resilience of transport systems by emphasizing safety as a shared responsibility among all users, ultimately working toward the overarching goal of zero fatalities in work-related traffic incidents [26].

Research Questions

1. What are the key demographic characteristics and work-related travel patterns of male and female workers in Batam City?
2. How do positive safety perceptions predict perceived vulnerability and wariness among this workforce?
3. Based on these findings, what concrete strategies can be proposed for incorporating psychological factors and gender-specific considerations into the Safe System framework?

2. METHOD

Case Study Context and Selection

In examining gender disparities in work-related traffic accidents in Batam City, this study will utilize a case study approach to offer an in-depth understanding of the specific context underlying these incidents. Batam City, a vibrant industrial hub with a high density of work-force related transportation needs, serves as an ideal setting for this topic. The city's unique characteristics, including varying socio-economic backgrounds and diverse occupational demands, make it a pertinent case for exploring how gender dynamics influence traffic safety outcomes [30]. Selecting this location is critical for isolating the contributing factors to gender-specific differences in accident involvement among workers, particularly in an urban environment where traffic conditions can be complex and variable.

To facilitate a comprehensive analysis, a purposive sampling method will be employed to select respondents who fit specific criteria reflective of the target population. The aim is to gather insights from a diverse array of occupational categories, including both male and female workers, whose roles demand regular commuting or driving as part of their job functions. By focusing on this demographic, the study aims to and whether such gaps can be attributed to distinct behavioral or environmental factors [31]. This selected approach will enable the study to pivot between qualitative insights drawn from respondents' personal narratives and quantitative patterns observable from the statistical data collected.

Furthermore, data collection will be conducted through structured questionnaires disseminated via Google Forms, resulting in a total of 399 respondents. This online dissemination strategy was selected for its efficiency in reaching a geographically dispersed sample and for streamlining the data collection process. By employing simple random sampling techniques, the study will ensure that every segment of the working population has an equal opportunity to participate. The target population comprised workers from diverse occupational sectors in Batam City who commute regularly as part of their employment. This choice of sampling enhanced generalizability of the findings, which is crucial for deriving meaningful conclusions that can inform policy interventions in traffic safety. The outcomes of this case study will provide empirical evidence necessary to advocate for targeted safety measures that address gender disparities, ultimately contributing to the overarching goal of improved roadway safety for all workers in Batam City.

Research Design

This research will employ a quantitative research design to investigate gender disparities in work-related traffic accidents in Batam City. The target population was specifically defined to include workers from diverse occupational sectors within Batam City who regularly commute as a necessary part of their employment. To ensure a representative sample from Batam's total population (est. 1-2 million), a minimum sample size of 399 respondents was calculated using Slovin's formula ($e=0.05$). Respondents were selected through simple random sampling, and a total of 498 valid responses were ultimately collected. Data were gathered using a structured questionnaire disseminated via Google Forms, which focused on essential variables including demographic information, driving behaviors, personal experiences with traffic incidents, and road safety perceptions. By capturing these dimensions, the study aims to elucidate the nuanced interplay between gender and traffic safety outcomes.

Once the data is collected, it will be analyzed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). The primary analytic approach will be regression analysis, which will allow for a systematic examination of the

relationships between the identified variables, including gender, age, occupation, and driving frequency. This analytical strategy is particularly suited for exploring how these factors influence the likelihood of involvement in traffic accidents. Furthermore, regression analysis facilitates the control of potential confounding variables, thereby enhancing the robustness of the study's conclusions regarding gender-specific risk factors in traffic incidents.

In addition to regression analysis, descriptive statistics will be utilized to summarize and interpret the data collected from the respondents. This will provide insights into the demographic distribution of the sample and the prevalence of reported traffic accidents among different gender groups. Such statistical representations are essential for establishing a clear context of work-related traffic accidents in Batam City, supporting effective communication of the study's findings to various stakeholders, including policymakers and urban planners. The design and analysis framework emphasizes the importance of rigorous data collection and analytical techniques to yield reliable and insightful outcomes pertinent to traffic safety.

By employing both descriptive and inferential statistical methods within a well-structured research design, this study aims to uncover meaningful insights into the gender disparities observed in work-related traffic accidents. Ultimately, the findings will contribute to the development of targeted interventions aimed at improving road safety for all workers in Ba-tam City, informed by empirical evidence and sound statistical analysis.

Analysis

In this study, a quantitative research methodology will be employed to analyze gender disparities in work-related traffic accidents in Batam City, utilizing regression analysis through SPSS software. A structured questionnaire, created using Google Forms, will be administered to collect data from a sample of 399 respondents selected through random sampling methods. This approach ensures that the sample accurately represents the broader population, minimizing biases and enhancing the validity of the findings. The questionnaire will focus on demographic information, driving behavior, perceived safety, and experience with work-related traffic incidents, which are critical factors in understanding gender differences in accident involvement.

The data collected will then be processed using SPSS, which enables robust statistical analyses to identify relationships between the variables under study. Specifically, regression analysis will be utilized to explore how various predictors, such as gender, age, occupation, and driving frequency, influence the likelihood of involvement in traffic accidents. This analytical method is particularly effective in assessing the strength and direction of these relationships, while also allowing for the control of potential confounding variables. By examining these interactions quantitatively, this study aims to traffic safety outcomes in an occupational context.

Table 1. Examples of survey transcription with keywords and categories

Respondent ID	Survey transcription (keywords highlighted)	Code Categories
BTHC1	(I feel) unsafe if <u>women/teenager/children drive a motorcycle</u>	Bold : perceived safety
BTHC2	(I feel) wary, especially <u>at night</u> when (the alleyway) get <u>crowded</u> <u>with motorcycles</u> , (I) have to be accompanied and become dependent to be mobile	<i>Italic</i> : past experience <u>Underline</u> : reasons for perceived safety
BTHC3	(I feel) wary but <i>so far</i> there is no problem, (I) just warned those that are <u>driving too fast</u>	
BTHC4	(I) feel wary but <i>so far</i> is safe	
BTHD1	<i>Never experienced</i> any problems	
BTHD2	Although there were <i>bad cases</i> , but <i>so far</i> the area is quite <u>peaceful</u>	
BTHD3	Feeling safe because lots of <u>people around</u>	
BTHD4	Because there is a <u>dedicated sidewalk</u> , lots of <u>people in the</u> <u>surrounding area</u>	

(Source: Researcher, 2025)

Moreover, the findings from the regression analysis will provide evidence to support policy recommendations and interventions aimed at reducing traffic accidents among different gender groups in Batam City. The use of quantitative data enables a more precise understanding of the risk factors associated with work-related traffic incidents, thereby fostering targeted strategies for improving road safety. This methodological framework aligns with contemporary trends in transportation safety research, which increasingly emphasizes the importance of quantitative analyses in developing effective safety interventions tailored to specific context-related characteristics.

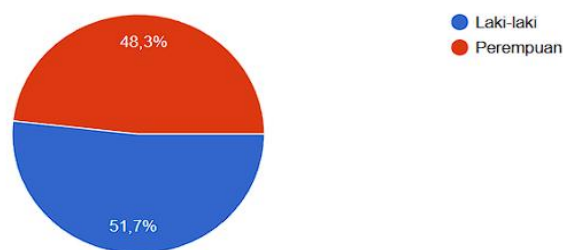
In summary, the deployment of a quantitative research methodology featuring regression analysis facilitated by SPSS will provide a robust framework for examining gender disparities in work-related traffic accidents. The resulting insights will not only enrich the academic discourse surrounding traffic safety but also contribute to the design of inclusive policies aimed at enhancing the safety and well-being of all workers in Batam City.

3. RESULTS

The subsequent chapter presenting the findings derived from the data collected for this study. The research employed a quantitative approach, gathering data from 498 respondents in Batam City through a structured questionnaire. The analysis delineate the demographic and travel characteristics of the sample. This is followed by the inferential statistical analysis, which aims to address the research questions.

Respondent Demographics and Work-Related Transportation Characteristics

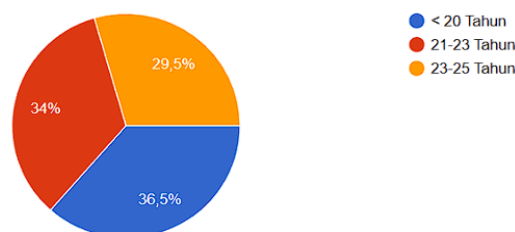
The demographic profile of the respondents and their work-related travel patterns were analyzed to provide a foundational context for the study. The key characteristics of the sample are detailed below.



(Source: Researcher, 2025)

Figure 1. Gender Distribution

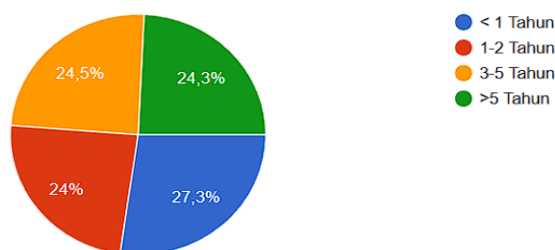
The distribution of the 498 respondents is presented by gender, age, and work experience. A primary characteristic of the sample is its balanced gender distribution, a critical feature for the validity of this study. As illustrated in Figure 1, the sample was composed of 51.7% male participants ($n = 257$) and 48.3% female participants ($n = 241$) (see Figure 1). This near-equal representation is a significant methodological strength, particularly for a study with a primary objective of investigating gender disparities in work-related traffic accidents. By ensuring a comparable number of respondents from both genders, this composition provides a robust and unbiased foundation for the subsequent comparative analysis of key variables such as risk perception and driving behaviors. This balance allows for a more reliable statistical examination of the differences in experiences between men and women, thereby strengthening the validity of any conclusions drawn regarding gender-specific factors within the Safe System framework.



(Source: Researcher, 2025)

Figure 2. Age Distribution

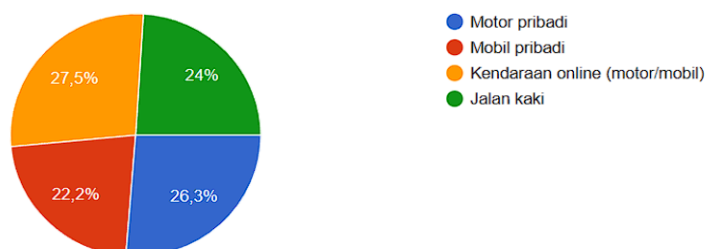
The age distribution of the sample reveals a significant concentration of young adults, a key demographic for traffic safety research. As demonstrated in Figure 2, the demographic with the highest percentage was individuals below the age of 20, constituting 36.5% ($n \approx 182$), followed closely by those aged 21-23 years at 34.0% ($n \approx 169$), and respondents aged 23-25 years at 29.5% ($n \approx 147$). This demographic concentration is highly relevant, as young adults are widely recognized in traffic safety literature as a high-risk group for road accidents. This heightened vulnerability is often attributed to a combination of factors including limited driving experience, still-developing cognitive functions related to risk assessment, and a greater propensity for risk-taking behaviors. Given that this young demographic likely represents a substantial portion of the workforce in a rapidly industrializing city like Batam, this sample composition provides a critical opportunity for a focused analysis of the perceptions and behaviors of the population most vulnerable to work-related traffic incidents.



(Source: Researcher, 2025)

Figure 3. Working Experience

In addition to gender and age, the sample demonstrated a remarkably balanced distribution across various levels of work experience, as illustrated in Figure 3. The respondents were almost equally divided among four tenure levels: those with less than one year of experience constituted 27.3% ($n \approx 136$) of the sample, while those with 1-2 years of experience (24.0%) ($n \approx 120$), those with 3-5 years of experience (24.5%) ($n \approx 122$), and seasoned employees with more than five years of experience accounted for 24.3% ($n \approx 121$). This equitable representation across career stages is a significant methodological strength. It enables the analysis to move beyond static demographic traits and explore the dynamic nature of risk perception and commuting behaviors as a worker gains more experience in the workforce. For instance, it allows for a nuanced comparison between the potential overconfidence or heightened caution of novices and the potentially habituated risk perceptions of veteran employees. This diversity enriches the dataset, providing a valuable opportunity to investigate how the interplay of experience, age, and gender may shape a worker's overall vulnerability to traffic incidents in Batam



(Source: Researcher, 2025)

Figure 4. Primary Mode of Transportation for Work-Related Travel

Respondents reported using a variety of transportation modes for their work-related journeys, revealing a complex urban mobility landscape as detailed in Figure 4. Significantly, the most prevalent modes were online transportation, such as app-based services (27.5%), and private motorcycles (26.3%). When combined, these two categories account for more than half (53.8%) of all commutes, indicating a heavy reliance on two-wheeled transportation. This dependence on motorcycles a vehicle type consistently associated with higher vulnerability and accident severity is a key finding that underscores the direct relevance of this sample to the study of traffic safety. This transportation pattern likely reflects the urban characteristics of Batam City, where rapid industrialization and population growth may outpace the development of comprehensive public transport options. This risk profile is further emphasized by the comparatively lower usage of private cars (22.2%) and a significant portion of respondents commuting by walking (24.0%), reinforcing that the predominant risk exposure for this demographic is linked to more vulnerable road user modes. Ultimately, this finding is critical as it establishes the specific daily risk exposures faced by the majority of Batam's workforce, providing an essential context for analyzing their subsequent safety perceptions and gender-specific travel experiences.

Respondents reported using a variety of transportation modes for work-related journeys. As demonstrated in Figure 4, the most prevalent mode was online transportation (e.g., app-based motorcycle or car services), reported by 27.5% of participants. The utilisation of private motorcycles emerged as the second most prevalent mode, accounting for 26.3% of all journeys. A significant proportion of respondents commuted by walking (24.0%), while 22.2% used a private car. This diverse modal split highlights the intricate transportation landscape experienced by workers in Batam City.

Inferential Analysis

A questionnaire item is considered valid if its calculated r-value (r-calculated) is greater than the critical r-value (r-table) [32]. The validity test for this study was conducted using SPSS, and items are declared valid if their r-calculated value exceeds 0.088. This r-table value was obtained from the r-distribution table based on the degrees

of freedom (df), which is calculated as $df = n - 2$. The complete results of the validity test are presented in the following table.

Table 2. Validity Test Results

Variable	r-calculated	r-table	Status
BTHC1	0.439	0.088	Valid
BTHC2	0.403	0.088	Valid
BTHC3	0.376	0.088	Valid
BTHC4	0.442	0.088	Valid
BTHD1	0.636	0.088	Valid
BTHD2	0.628	0.088	Valid
BTHD3	0.632	0.088	Valid
BTHD4	0.611	0.088	Valid

(Source: Researcher, 2025)

According to Table 2, the validity test results show that all items for each variable are declared valid because their respective r-calculated values are greater than the r-table value of 0.088.

Following the validity analysis, each variable that was declared valid then underwent reliability testing to assess internal consistency. The results are presented in the following table.

Table 3. Reliability Test Results

Variable	N of Items	Cronbach's Alpha	Status
BTHC	4	0.705	Reliable
BTHD	4	0.718	Reliable

(Source: Researcher, 2025)

The reliability test results, as presented in Table 3, indicate that all variables are reliable, as each possesses a Cronbach's alpha value exceeding 0.7

Table 4. Summary of Simple Linear Regression Analysis for BTHD Predicting BTHC (N=498)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta				Tolerance	VIF
1	Constant	1.596	.149			10.707	<.001		
	BTHD	.626	.035	.626		17.896	<.001	1.000	1.000

Note. $R^2 = .392$, Adjusted $R^2 = .391$. $F(1, 496) = 320.264$, $p < .001$.

(Source: Researcher, 2025)

A simple linear regression analysis was conducted to assess the extent to which BTHD (the predictor variable) could predict BTHC (the dependent variable). Prior to the analysis, an evaluation of the assumptions for linear regression was performed. The Durbin-Watson statistic was found to be 1.792, which is within the acceptable range, thus suggesting the absence of significant first-order autocorrelation in the residuals. The normal P-P plot of regression standardized residuals indicated that the data was approximately normally distributed, and the scatterplot of residuals showed that the assumptions of linearity and homoscedasticity were met. Additionally, multicollinearity was not a concern, as the Variance Inflation Factor (VIF) was 1.000.

The results of the regression analysis are presented in Table 1. The overall model was found to be statistically significant, $F(1, 496) = 320.264$, $p < .001$, and accounted for 39.2% of the variance in BTHC ($R^2 = .392$).

The analysis revealed that BTHD was a statistically significant positive predictor of BTHC ($B = 0.626$, $p < .001$). This indicates that for each one-unit increase in the BTHD score, the BTHC score is predicted to increase by 0.626 units. The model's intercept was also statistically significant ($B = 1.596$, $p < .001$).

4. DISCUSSION & CONCLUSION

Presented in the preceding chapter. The study provides an interpretation of the results, discusses their connection to existing literature and the Safe System framework, and outlines the implications of the study. Finally, the text acknowledges the limitations of the research and offers recommendations for future investigation before drawing an overall conclusion.

Summary of Key Findings

The objective of this study was to investigate gender disparities in work-related traffic accidents within Batam City and to propose strategies for integrating gender considerations into the Safe System framework. The

descriptive analysis revealed that the research sample primarily consists of young adult workers who utilise a diverse range of transportation modes for their work-related journeys. Specifically, these results refer to the demographic data presented in the preceding chapter, which showed that the entire respondent pool was under the age of 25, with the largest single group being those under 20 years old (36.5%). The finding on transportation modes refers to the data in Figure 4, which highlighted the workforce's significant reliance on high-vulnerability, two-wheeled transport over half of the respondents (53.8%) reported using either online transportation (27.5%) or private motorcycles (26.3%) for their commute. Collectively, these descriptive findings establish that the study's sample is a young, mobile, and highly exposed workforce, providing the critical context for the main inferential findings on risk perception.

The principal inferential finding is that there is a statistically significant positive relationship between all BTHD variables (BTHD1, BTHD2, BTHD3, and BTHD4) (representing positive safety perceptions and past experiences) and all BTHC variables (BTHC1, BTHC2, BTHC3, and BTHC4) (representing perceived vulnerability and wariness). This result, counterintuitively, indicates that as respondents' perception of a safe environment or their positive past experiences increase, their self-reported level of wariness and vulnerability also tends to increase. This finding, which is complex in nature, challenges simplistic assumptions about risk perception and forms the central point of this discussion.

Interpretation of Findings

The most significant and thought-provoking outcome of this study is the positive correlation between BTHD (positive safety perceptions) and BTHC (perceived wariness), as statistically established in the regression analysis detailed in Table 2. This finding prompts a critical inquiry: what factors might contribute to an elevated sense of wariness despite heightened perceptions of safety or favourable past experiences? Several interpretations can be advanced. Several interpretations can be proposed.

The present relationship may be explained by the "Heightened Awareness Hypothesis." This hypothesis posits that for the demographic studied primarily young workers who are highly reliant on vulnerable transportation modes like motorcycles (as shown in Figure 4). It has been demonstrated that individuals who possess strong positive safety perceptions (e.g., recognising safe infrastructure such as dedicated sidewalks, as noted in BTHD4) may not be complacent. Conversely, individuals who can identify elements of a safe system may possess a more developed awareness of residual and unpredictable risks in Batam's complex traffic environment. This heightened awareness could lead to increased vigilance and caution (as indicated by a higher BTHC score), explaining the positive predictive relationship identified in our regression model ($B = 0.626$, $p < .001$). Consequently, their sense of security cannot be attributed to a state of passive ignorance; rather, it is an active condition characterised by heightened cognitive alertness.

Secondly, the finding can be interpreted through a gendered lens, which is a central theme of this research. The balanced gender composition of our sample (Figure 1) provides a solid basis for this consideration. Existing literature suggests that women often face unique transport-related vulnerabilities. It is therefore conceivable that even when female respondents in our study perceive their environment as objectively safe (a high BTHD score), a persistent and necessary level of wariness (a high BTHC score) remains as a protective strategy shaped by societal experience. This interpretation aligns with the research by [33], which highlights how gender and safety perceptions shape mobility in Southeast Asia. This underlying vigilance may persist as a constant, regardless of external safety factors, thus contributing to the positive correlation observed in Table 2.

Secondly, the finding may be interpreted through a gendered lens, which is a central theme of this research. existing literature, women frequently encounter specific vulnerabilities regarding transportation. It is conceivable that even when female respondents perceive their environment as objectively safe (high BTHD), a persistent and necessary level of wariness (high BTHC) remains as a protective strategy shaped by societal experience. This finding is consistent with the research conducted by [33], which highlights the role of gender and safety perceptions in shaping mobility patterns in Southeast Asia. This underlying vigilance may persist even in the presence of ameliorating external safety factors.

Comparative Discussion

This positive correlation between positive safety perceptions (BTHD) and perceived wariness (BTHC) provides a critical nuance when compared to studies from similar urban contexts in Southeast Asia. For instance, in Surabaya, Indonesia, and Kuala Lumpur, Malaysia, highlighted that female commuters adopt numerous protective strategies (a form of wariness) in direct response to perceived safety risks, such as avoiding travel after dark or preferring app-based ride-hailing services [33]. While our findings align with the high prevalence of such strategies (given that online transportation was the most-used mode in our sample), they also present a significant divergence. This aligns with existing research [33], along with much of the literature, links perceived danger (low safety) to heightened wariness. Our Batam data, conversely, reveals that positive safety perceptions (high BTHD) also

significantly predict heightened wariness (high BTHC). This comparison suggests that for the young workforce in Batam, 'wariness' is not merely a reactive strategy employed in the face of perceived danger, but is rather a baseline, active cognitive state consistent with our "Heightened Awareness Hypothesis". This active vigilance, remaining alert despite a safe environment challenges traditional risk-compensation models and highlights a complex psychological dynamic likely shaped by Batam's specific demographic and high-vulnerability modal mix.

Connection to Existing Literature and the Safe System Approach

The findings of this study contribute to the extant literature in several ways. Whilst a substantial body of research suggests that males are more predisposed to high-risk behaviours and perceive themselves as less vulnerable, the present study provides a more nuanced perspective from a mixed gender working population in Batam. The findings of this study suggest that, within this demographic, a perception of safety does not necessarily negate a sense of wariness, thus complicating the direct link between risk perception and behaviour.

This research directly addresses the gap identified by [5] and [25], who argue that the Safe System approach often overlooks the specific needs and differences of diverse demographic groups, including those related to gender. The findings of this study provide substantial support for this critique. To achieve the overarching objective of zero fatalities, the Safe System framework must evolve beyond physical infrastructure and traffic management systems to encompass the complex psychological and perceptual landscape of its users. The study validates the call for gender-sensitive data collection and analysis to inform more equitable and effective safety measures.

Implications of The Research

Practical Implications: This research carries significant practical implications for policymakers and urban planners in Batam City. It is suggested that enhancing physical infrastructure alone, while undoubtedly essential, may be inadequate to modify user perceptions of vulnerability. It is imperative that road safety campaigns are developed with a focus on cultivating positive behaviours, such as situational awareness, rather than merely issuing warnings against specific unsafe acts. Furthermore, interventions must acknowledge that even when citizens feel their environment is safe, a protective level of wariness exists and should be understood, rather than dismissed.

Theoretical Implications: The present study contributes to the existing body of literature on traffic safety by challenging the simplistic inverse relationship between feelings of safety and feelings of wariness. The present study provides empirical evidence from a rapidly urbanising Indonesian city that gendered perceptions of safety are a critical and complex component of traffic safety dynamics. This reinforces the need for more nuanced theoretical models.

Limitations and Future Research

The findings of this study should be considered in light of its limitations. Firstly, the cross-sectional research design identifies a predictive relationship; however, it is unable to prove causality. Secondly, the reliance on self-reported data from a questionnaire is subject to potential recall and social desirability biases. Finally, the study is context-specific to the young, working population of Batam City, and its findings may not be generalisable to other demographic groups or different urban settings.

In light of the study's limitations, several avenues for future research are recommended to build upon these findings. It is recommended that future research employ a qualitative methodology, such as in-depth interviews, to explore the nuanced reasoning behind the positive correlation between safety perceptions and wariness. Moreover, a longitudinal study would be of immense value in tracking the evolution of workers' perceptions and experiences over time, thereby providing insights into the stability of these safety attitudes. Finally, to enhance the generalizability of the findings, comparative studies between Batam and other cities with differing socio-economic and traffic characteristics would offer a broader understanding of how these complex perceptual dynamics manifest in various urban contexts.

5. CONCLUSION

The present study investigated gender disparities in work-related traffic accidents in Batam City, unveiling a complex and significant positive relationship between positive safety perceptions (BTHD) and perceived vulnerability (BTHC). This key finding emphasises the importance of incorporating psychological and gender-specific factors into the Safe System approach. To build upon these results, future research is recommended to delve deeper into the underlying reasons for this correlation, potentially through qualitative methodologies such as in-depth interviews. Furthermore, longitudinal studies are suggested to track the evolution of these perceptions over time, while comparative studies with other cities would enhance the generalizability of the findings. Ultimately, by expanding the focus beyond a single emphasis on physical infrastructure to a more comprehensive understanding of the intricate reality experienced by all road users, policymakers in Batam can formulate more

effective, inclusive, and ultimately safer transportation systems for the city's entire workforce, thereby advancing the objective of eliminating traffic-related fatalities and serious injuries.

REFERENCES

- [1] B. Corben, S. Peiris, and S. Mishra, "The Importance of Adopting a Safe System Approach—Translation of Principles into Practical Solutions," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/su14052559.
- [2] D. Prastio, Y. A. Sari, and M. Pamadi, "Evaluasi Kinerja Simpang Panbil Terhadap Tingkat Pelayanan Lalu Lintas (Studi Kasus Simpang Panbil - Batam)," *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 3, no. 1, pp. 60–69, Jun. 2022, doi: 10.37253/jcep.v3i1.1317.
- [3] T. Fosdick, D. Campsall, M. Kamran, and S. Scott, "Creating a Cultural Maturity Model to Assess Safe System Readiness Within Road Safety Organisations," *Journal of Road Safety*, vol. 35, no. 1, pp. 52–64, 2024, doi: 10.33492/JRS-D-24-1-2125507.
- [4] M. Kraut and I. V. Koglbauer, "STPA-based analysis of the process involved in enforcing road safety in Austria," Jun. 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/safety7020034.
- [5] M. H. Shakil, "Environmental, social and governance performance and financial risk: Moderating role of ESG controversies and board gender diversity," *Resources Policy*, vol. 72, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.resourpol.2021.102144.
- [6] M. Isradi, E. Hasdian, R. H. Ariyapijati, A. Nurmahdi, S. Syafwandi, and A. I. Rifai, "Keselamatan Lalu Lintas dan Pentingnya Kepatuhan Terhadap Kecepatan di Jalan Raya Bagi Masyarakat Indonesia di Pulau Pinang, Malaysia," *I-Com: Indonesian Community Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 1006–1017, Jun. 2025, doi: 10.70609/i-com.v5i2.7434.
- [7] N. Deretić, D. Stanimirović, M. Al Awadh, N. Vujanović, and A. Djukić, "SARIMA Modelling Approach for Forecasting of Traffic Accidents," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 8, Apr. 2022, doi: 10.3390/su14084403.
- [8] M. T. Ghaneian *et al.*, "An Epidemiological Survey on Factors Related to Traffic Accidents in Yazd City, Center of Iran (2016-2018)," *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, vol. 10, no. 4, pp. 231–238, Sep. 2021, doi: 10.52547/johe.10.4.231.
- [9] T. ŘEZNIČEK and V. KOVÁČ, "THE IMPACT OF DEMOGRAPHIC FACTORS ON THE TRAFFIC ACCIDENT RATE IN CZECH REPUBLIC," *Transport Problems*, vol. 20, no. 2, pp. 5–17, Jun. 2025, doi: 10.20858/tp.2025.20.2.01.
- [10] T. Agrawal, S. K. Sinha, and N. Agrawal, "Retrospective Evaluation of Determinants of Road Traffic Injuries at a Naval Station," *Indian J Community Health*, vol. 33, no. 1, pp. 205–211, Mar. 2021, doi: 10.47203/IJCH.2021.v33i01.030.
- [11] H. Abuzaid, R. Almashhour, and G. Abu-Lebdeh, "Driving towards Sustainability: A Neural Network-Based Prediction of the Traffic-Related Effects on Road Users in the UAE," *Sustainability*, vol. 16, no. 3, p. 1092, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16031092.
- [12] C. Papic *et al.*, "Factors associated with long term work incapacity following a non-catastrophic road traffic injury: analysis of a two-year prospective cohort study," *BMC Public Health*, vol. 22, no. 1, p. 1498, Aug. 2022, doi: 10.1186/s12889-022-13884-5.
- [13] V. J. Delgado-Fernández, M. del C. Rey-Merchán, A. López-Arquillos, and S. D. Choi, "Occupational Traffic Accidents among Teachers in Spain," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 9, p. 5175, Apr. 2022, doi: 10.3390/ijerph19095175.
- [14] M. Amoadu, E. W. Ansah, and J. O. Sarfo, "Psychosocial work factors, road traffic accidents and risky driving behaviours in low-and middle-income countries: A scoping review," *IATSS Research*, vol. 47, no. 2, pp. 240–250, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.iatssr.2023.03.005.
- [15] F. Balada, A. Aluja, Ó. García, N. Aymamí, and L. F. García, "Gender Differences in Prefrontal Cortex Response to Negative Emotional Stimuli in Drivers," *Brain Sci*, vol. 14, no. 9, p. 884, Aug. 2024, doi: 10.3390/brainsci14090884.
- [16] P. Cordellieri, L. Piccardi, M. Giancola, A. M. Giannini, and R. Nori, "On the Road Safety: Gender Differences in Risk-Taking Driving Behaviors Among Seniors Aged 65 and Older," *Geriatrics*, vol. 9, no. 5, p. 136, Oct. 2024, doi: 10.3390/geriatrics9050136.
- [17] D. A. J. Salvagioni *et al.*, "Prospective association between burnout and road traffic accidents in teachers," *Stress and Health*, vol. 36, no. 5, pp. 629–638, Dec. 2020, doi: 10.1002/smi.2958.
- [18] R. Činčikaitė and I. Meidutė-Kavaliauskienė, "STUDY OF THE INFLUENCE OF SUSTAINABLE TRANSPORT ON TRAFFIC INCIDENTS," *Business, Management and Economics Engineering*, vol. 21, no. 02, pp. 237–247, Oct. 2023, doi: 10.3846/bmee.2023.19678.

- [19] N. A. A. binti Mohmood Nor, N. N. binti Mohd Suhaimi, N. K. binti Ismail, and N. F. S. binti Isarudin Shah, "Protecting the Future: How Road Safety Knowledge Can Prevent Risky Behaviours among Adolescents in Malaysia," *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, vol. 13, no. 1, Feb. 2024, doi: 10.6007/ijarped/v13-i1/20168.
- [20] P. Penmetsa and S. S. Pulugurtha, "Peer-reviewed papers Original Road Safety Research Risk Perceptions of Crash Related Traffic Rule Violations."
- [21] A. Hailemariam, E. Adanu, S. A. Churchill, and R. Smyth, "Gender Gaps in the Severity of Road Traffic Accidents," 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/340271201>
- [22] S. S. Granieri *et al.*, "Motorcycle-related trauma: effects of age and site of injuries on mortality. A single-center, retrospective study.," *World Journal of Emergency Surgery*, vol. 15, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.1186/s13017-020-00297-1.
- [23] S. Useche, F. Alonso, L. Montoro, and L. Garrigós, "More aware, more protected: A cross-sectional study on road safety skills predicting the use of passive safety elements among Spanish teenagers," *BMJ Open*, vol. 9, no. 11, Nov. 2019, doi: 10.1136/bmjopen-2019-035007.
- [24] C. Okafor, G. Obeta, and O. Nnamchi, "Prosocial Behaviour Towards Victims of Road Accidents: Examining Personality, Gender and Traumatic Experience," *Asian Journal of Humanities and Social Studies*, vol. 12, no. 1, Feb. 2024, doi: 10.24203/ajhss.v12i1.7213.
- [25] J. A. Cox, G. J. M. Read, G. L. Butler, and P. M. Salmon, "Examining gender differences in gig worker safety," *Hum Factors Ergon Manuf*, vol. 34, no. 1, pp. 3–15, Jan. 2024, doi: 10.1002/hfm.21007.
- [26] M. Khayesi, "Vision Zero in the United Nations," in *The Vision Zero Handbook*, Cham: Springer International Publishing, 2023, pp. 637–646. doi: 10.1007/978-3-030-76505-7_23.
- [27] M. N. Khan and S. Das, "Advancing traffic safety through the safe system approach: A systematic review," *Accid Anal Prev*, vol. 199, p. 107518, May 2024, doi: 10.1016/j.aap.2024.107518.
- [28] M. A. Javid, N. Ali, M. Abdullah, and R. C. P. Wong, "Enhancing social acceptance of women's mobility for equitable transport: Behavioural theories driven approach," *J Public Trans*, vol. 26, p. 100109, 2024, doi: 10.1016/j.jpubtr.2024.100109.
- [29] M. Eskandari Torbaghan, M. Sasidharan, L. Reardon, and L. C. W. Muchanga-Hvelplund, "Understanding the potential of emerging digital technologies for improving road safety," *Accid Anal Prev*, vol. 166, p. 106543, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.aap.2021.106543.
- [30] A. L. P. Freitas, M. T. S. Silva Filho, and D. A. de Assis, "An analysis of gender differences and perception of influential criteria for the quality of urban bus transportation: Evidence from Brazil," *J Public Trans*, vol. 25, p. 100050, 2023, doi: 10.1016/j.jpubtr.2023.100050.
- [31] M. (Melrose) Pan and A. Ryan, "Segmenting the target audience for transportation demand management programs: An investigation between mode shift and individual characteristics," *Int J Sustain Transp*, vol. 18, no. 1, pp. 62–83, Jan. 2024, doi: 10.1080/15568318.2023.2201941.
- [32] R. S. Putri, S. Astiti, and R. N. S. Amriza, "Analisis Kepuasan Konsumen Terhadap Kualitas Pelayanan E-Commerce Jd.Id Menggunakan Metode E-Servqual," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 6, no. 2, p. 1207, Apr. 2022, doi: 10.30865/mib.v6i2.3893.
- [33] I. Hidayati, W. Tan, and C. Yamu, "How gender differences and perceptions of safety shape urban mobility in Southeast Asia," *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*, vol. 73, pp. 155–173, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.trf.2020.06.014.

IDENTIFIKASI PENYEBAB TIMBULNYA LIMBAH PROYEK KONSTRUKSI DI KOTA AMBON

*Syakira Evana Bintang¹, Felix Taihuttu², Fauzan A. Sangadji³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Kota Ambon

^{*)}Email: sykrbintang@gmail.com

Received: 4 Oktober 2025 ; Revised: 3 November 2025 ; Accepted: 16 November 2025

ABSTRACT

Construction waste is a common issue faced in development projects, primarily due to inefficient material usage, technical errors, and lack of supervision. In Ambon City, the increase in construction activities has not always been accompanied by proper waste management. This study aims to identify the most dominant types of construction waste and analyze the main factors causing the generation of such waste from the perspective of stakeholders, namely contractors, consultants, and government agencies. The method used is a descriptive quantitative approach through a two-stage questionnaire distribution. The first stage was conducted to determine the most dominant type of waste, while the second stage measured the intensity of the factors causing waste generation based on project phases: planning, procurement, and implementation. A total of 77 respondents were involved in this study. Data analysis techniques included validity tests, reliability tests, as well as mean analysis and ranking using the SPSS program. The results show that ceramic tiles are the most dominant type of waste. The main contributing factor is the large number of unusable ceramic tile cuts due to mismatched room dimensions, followed by incomplete working drawings and careless material handling. Waste management strategies derived from respondent feedback have been validated by experts and deemed feasible for on-site implementation.

Keyword: Ambon, Ceramic, Factors Causing of Waste Construction, Waste Construction

ABSTRAK

Limbah konstruksi merupakan permasalahan yang sering dihadapi dalam proyek pembangunan, terutama akibat penggunaan material yang tidak efisien, kesalahan teknis, dan kurangnya pengawasan. Di Kota Ambon, peningkatan aktivitas pembangunan tidak selalu diiringi dengan pengelolaan limbah yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis limbah konstruksi yang paling dominan serta menganalisis faktor penyebab utama timbulnya limbah tersebut berdasarkan sudut pandang *stakeholder*, yaitu kontraktor, konsultan, dan instansi pemerintah. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif melalui penyebaran kuesioner dua tahap. Tahap pertama dilakukan untuk mengetahui jenis limbah yang paling dominan, sedangkan tahap kedua mengukur intensitas faktor penyebab timbulnya limbah berdasarkan tahapan proyek: perencanaan, pengadaan, dan pelaksanaan. Sebanyak 77 responden dilibatkan dalam penelitian ini. Teknik analisis data meliputi uji validitas, uji reliabilitas, serta analisis rata-rata (*mean*) dan pemeringkatan menggunakan bantuan program SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keramik merupakan jenis limbah paling dominan. Faktor penyebab utama berasal dari banyaknya potongan keramik yang tidak dapat digunakan akibat ketidaksesuaian ukuran ruang, diikuti dengan gambar kerja yang tidak lengkap dan penanganan material yang kurang hati-hati. Strategi penanganan limbah yang diperoleh dari tanggapan responden telah divalidasi oleh ahli dan dinyatakan layak untuk diterapkan di lapangan.

Kata kunci: Ambon, Faktor Penyebab Limbah, Limbah Konstruksi, Keramik

1. PENDAHULUAN

Pelaksanaan proyek konstruksi memang mendukung pembangunan, namun juga tidak terlepas dari dampak negatifnya. Salah satu dampak tersebut adalah limbah konstruksi, yaitu sisa material yang tidak terpakai, rusak, atau terbuang dalam proses pembangunan. Seiring bertambahnya jumlah proyek, volume limbah yang dihasilkan juga semakin besar. Limbah ini pada dasarnya muncul dari ketidakefisienan pengelolaan proyek, seperti perencanaan yang tidak matang, kesalahan pengadaan material, dan pelaksanaan kerja yang tidak terkontrol. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis penyebab timbulnya limbah berdasarkan setiap tahapan proyek perencanaan, pengadaan, dan pelaksanaan karena setiap fase berpotensi menghasilkan limbah jika tidak dikelola dengan tepat [1].

Kapasitas penanganan limbah konstruksi di Indonesia masih sangat rendah. Faktor pemicu utamanya adalah minimnya kesadaran dan pemahaman dari pihak-pihak terkait mengenai faktor pemicu timbulnya limbah serta metode pengelolaannya. Dampaknya, limbah konstruksi kerap tidak dikelola dengan menerapkan prinsip *reduce*, *reuse*, dan *recycle*, sehingga menimbulkan beban tambahan bagi infrastruktur pengelolaan limbah (Ayu et al., 2019).

Lonjakan aktivitas konstruksi di Kota Ambon, yang ditunjukkan oleh data BPS (2024) dengan PDRB yang naik dari Rp 746.252,09 juta (2019) menjadi Rp 919.125,78 juta (2023), memicu masalah limbah yang kian membesar [3]. Akar masalahnya kompleks; selain faktor kuantitas proyek, limbah juga diakibatkan oleh inefisiensi dalam

perencanaan, pengadaan material, dan dinamika perubahan desain. Akibatnya, banyak material yang masih memiliki nilai guna akhirnya menjadi sampah.

Penelitian oleh [4] mengidentifikasi sejumlah indikator penyebab timbulnya waste material dalam proyek bangunan gedung, di antaranya kesalahan dalam dokumen kontrak, pembelian material yang tidak sesuai spesifikasi, penyimpanan yang tidak benar, perencanaan yang tidak sempurna, kesalahan dalam pemotongan material, kurangnya pengetahuan tentang pencampuran material basah, serta buruknya pengontrolan material di lapangan. Penanganan terhadap waste material dilakukan melalui komunikasi yang baik, pengaturan letak material, pelatihan pekerja, penyediaan area pemotongan, upcycle, dan pengontrolan jumlah material yang dikirim. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa faktor dominan penyebab dan penanganan waste material berada dalam kategori perencanaan, pelaksanaan, dan penanganan.

Stakeholder seperti kontraktor, konsultan, dan instansi pemerintah memiliki peran penting dalam setiap tahapan proyek, dan keputusan mereka sangat memengaruhi efisiensi penggunaan material. Oleh karena itu, penting dilakukan identifikasi terhadap faktor-faktor penyebab timbulnya limbah konstruksi berdasarkan tahapan proyek—perencanaan, pengadaan, dan pelaksanaan—serta sudut pandang para *stakeholder*. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap penyebab utama timbulnya limbah konstruksi di Kota Ambon, sebagai dasar dalam merumuskan strategi pengelolaan limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Proyek Konstruksi

Menurut Dipohusodo (1996) dalam [5], proyek konstruksi adalah kegiatan pembangunan yang berfokus pada pendirian infrastruktur, yang secara umum melibatkan pekerjaan utama di bidang teknik sipil dan arsitektur. Proyek konstruksi merupakan kegiatan yang kompleks dan melibatkan berbagai aspek manajerial serta teknis. Menurut [6], keberhasilan proyek konstruksi sangat dipengaruhi oleh penerapan manajemen proyek, khususnya dalam pengelolaan sumber daya manusia yang efektif. Sementara itu, [7] menyoroti bahwa keterlambatan proyek sering kali disebabkan oleh faktor eksternal seperti pandemi, akses lokasi yang sulit, dan rendahnya disiplin tenaga kerja.

Limbah Konstruksi

Limbah konstruksi merupakan sisa material yang tidak dapat langsung digunakan kembali tanpa perlakuan khusus, dan umumnya dihasilkan dari proses pembangunan, perbaikan, maupun pembongkaran. Limbah ini dapat berupa beton, kayu, besi, plastik, keramik, dan material lainnya yang rusak, tidak terpakai, atau berlebih. Jika tidak dikelola secara tepat, limbah konstruksi dapat menurunkan efisiensi proyek dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan [8].

Jenis limbah konstruksi dapat diklasifikasikan menjadi dua bentuk utama: *direct waste* dan *indirect waste*. *Direct waste* adalah limbah yang tampak secara fisik di lapangan, seperti kerusakan akibat pemotongan, penyimpanan yang buruk, atau kesalahan penggunaan alat. Sementara itu, *indirect waste* merujuk pada pemborosan biaya akibat penggunaan material yang melebihi perencanaan, meskipun tidak terlihat secara fisik [9]. Limbah juga dapat dikategorikan berdasarkan sifatnya, seperti limbah yang dapat didaur ulang, limbah berbahaya, dan limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir. Menurut EPA, pengelompokan limbah konstruksi dipengaruhi oleh tipe struktur, ukuran bangunan, dan jenis aktivitas konstruksi.

Faktor penyebab timbulnya limbah konstruksi sangat beragam. (Ayu et al., 2019) mengidentifikasi penyebab seperti sisa pemotongan material, kualitas material yang rendah, kesalahan pekerja, tidak adanya sistem manajemen limbah, alat yang tidak berfungsi, serta pengaruh cuaca dan kondisi penyimpanan. [8] menambahkan bahwa konsumsi sumber daya yang berlebihan, kerusakan saat pengiriman, vandalisme, dan pekerjaan ulang juga menjadi penyebab utama. Sementara itu, [11] mengelompokkan sumber limbah ke dalam enam kategori: desain, pengadaan, penanganan, pelaksanaan, residual, dan faktor lainnya.

Secara umum, faktor-faktor penyebab timbulnya limbah konstruksi dapat dikelompokkan menjadi enam aspek utama: manusia (kurangnya keterampilan dan pengalaman), manajemen (perencanaan dan koordinasi yang buruk), desain dan dokumentasi (spesifikasi tidak jelas dan revisi lambat), material (mutu rendah dan penanganan yang salah), pelaksanaan (metode kerja tidak efektif dan peralatan tidak layak), serta faktor eksternal seperti kondisi lapangan dan cuaca. Pemahaman terhadap jenis dan sumber limbah ini menjadi dasar penting dalam merumuskan strategi pengelolaan limbah konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan desain survei untuk mengidentifikasi penyebab timbulnya limbah konstruksi dari berbagai *stakeholder* di Kota Ambon, dengan lokasi fokus pada proyek konstruksi gedung dan pelaksanaan pengumpulan data selama lima bulan (Desember 2024–April 2025). Populasi penelitian

mencakup kontraktor, konsultan, dan instansi pemerintah yang terlibat dalam proyek konstruksi tahun 2021–2024, dengan sampel sebanyak 70 responden yang dipilih secara *purposive* berdasarkan pengalaman dan jabatan teknis. Data primer dikumpulkan melalui wawancara dan kuesioner berskala *Likert*, sementara data sekunder diperoleh dari literatur dan laporan proyek. Penyebaran kuesioner dilakukan dalam dua tahap: tahap pertama untuk mengidentifikasi jenis limbah konstruksi yang paling dominan, dan tahap kedua untuk mengukur faktor-faktor penyebab timbulnya limbah berdasarkan hasil identifikasi sebelumnya. Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas (faktor penyebab timbulnya limbah berdasarkan perencanaan, pengadaan, pelaksanaan) dan variabel terikat (tingkat timbulnya limbah konstruksi), yang diukur melalui dua tahap kuesioner tersebut. Instrumen diuji validitasnya oleh tiga ahli berpengalaman di bidang pengelolaan limbah konstruksi. Analisis data dilakukan dengan statistik deskriptif, uji validitas dan reliabilitas, analisis rata-rata, serta pemeringkatan faktor dominan, dan seluruh proses penelitian meliputi persiapan instrumen, pengumpulan dan pengolahan data, analisis, hingga pelaporan hasil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden Kuesioner Tahap 1

Karakteristik responden kuesioner tahap pertama pada Tabel 1 mencakup aspek jenis kelamin, usia, pendidikan terakhir, *stakeholder*, dan pengalaman kerja. Mayoritas responden adalah laki-laki, berusia antara 30–49 tahun, dan memiliki latar belakang pendidikan S1. Mereka berasal dari kontraktor, instansi pemerintah, dan konsultan, dengan pengalaman kerja terbanyak pada rentang 1–20 tahun. Data ini menunjukkan bahwa responden memiliki kompetensi dan keterlibatan langsung dalam proyek konstruksi gedung di Kota Ambon.

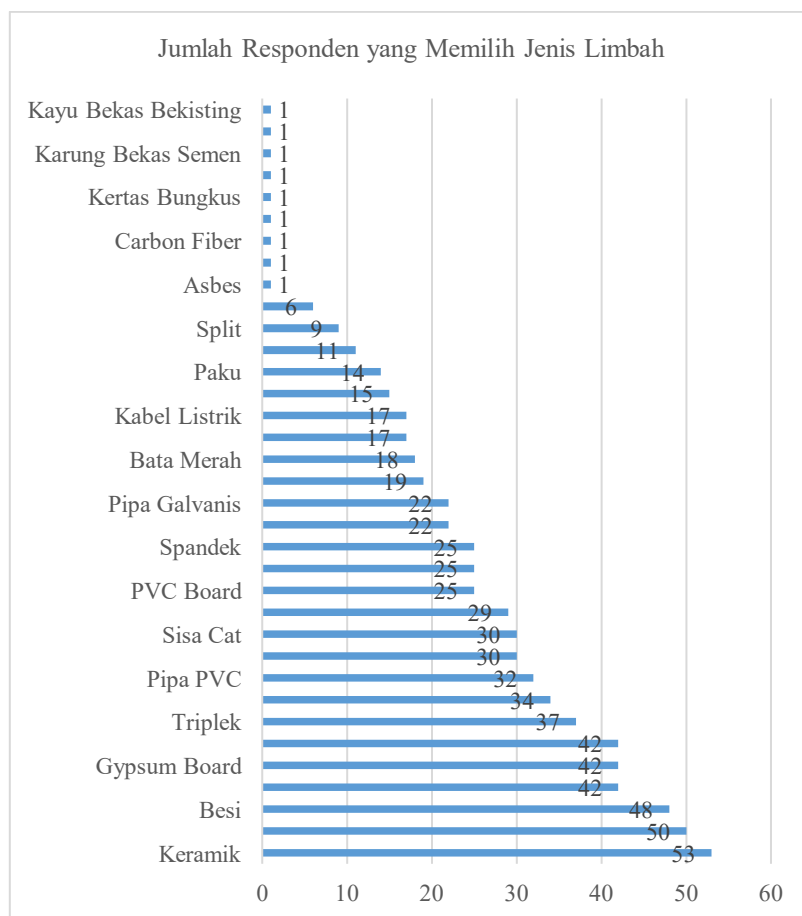
Tabel 1. Karakteristik responden kuesioner tahap 1

Kategori	Jumlah Responden	Persentase (%)
Jenis Kelamin		
Laki-laki	65	84
Perempuan	12	16
Usia		
20-29 tahun	10	13
30-39 tahun	30	39
40-49 tahun	28	36
50-59 tahun	8	11
60-70 tahun	1	1
Pendidikan Terakhir		
D3	14	18
D4	1	1
S1	55	72
S2	7	9
Stakeholder		
Kontraktor	31	40
Instansi Pemerintah	24	31
Konsultan	22	29
Pengalaman Kerja		
1-10 tahun	44	57
11-20 tahun	25	32
21-30 tahun	7	9
31-40 tahun	1	1

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Hasil Analisis Kuesioner Tahap 1 (Identifikasi Jenis Limbah)

Untuk mengetahui jenis limbah konstruksi yang paling dominan dalam proyek gedung di Kota Ambon, kuesioner tahap pertama disebarkan kepada responden yang memiliki pengalaman langsung di lapangan. Setiap responden diminta memilih satu jenis material yang menurut mereka paling sering menjadi limbah selama pelaksanaan proyek. Hasil rekapitulasi ditampilkan dalam bentuk grafik untuk menunjukkan frekuensi pilihan terhadap masing-masing jenis material. Dari data yang terkumpul, keramik menjadi jenis limbah yang paling banyak dipilih oleh 53 responden, menunjukkan bahwa material ini memiliki tingkat pemborosan paling tinggi dan berisiko besar menghasilkan limbah dalam proses konstruksi. Temuan ini menjadi fokus utama untuk tahap kedua penelitian, yang akan menganalisis faktor-faktor penyebab timbulnya limbah keramik secara lebih mendalam.



Gambar 1. Grafik jenis limbah yang timbul dari terbanyak sampai sedikit

Karakteristik Responden Kuesioner Tahap 2

Karakteristik responden kuesioner tahap pertama pada Tabel 1 mencakup aspek jenis kelamin, usia, pendidikan terakhir, *stakeholder*, dan pengalaman kerja. Mayoritas responden adalah laki-laki, berusia antara 30–49 tahun, dan memiliki latar belakang pendidikan S1. Mereka berasal dari kontraktor, instansi pemerintah, dan konsultan, dengan pengalaman kerja terbanyak pada rentang 1–20 tahun. Data ini menunjukkan bahwa responden memiliki kompetensi dan keterlibatan langsung dalam proyek konstruksi gedung di Kota Ambon.

Tabel 2. Karakteristik responden kuesioner tahap 2

Kategori	Jumlah Responden	Persentase (%)
Jenis Kelamin		
Laki-laki	68	88
Perempuan	9	12
Usia		
20-29 tahun	8	10
30-39 tahun	30	39
40-49 tahun	30	39
50-59 tahun	8	10
60-70 tahun	1	1
Pendidikan Terakhir		
D3	12	16
S1	58	75
S2	6	8
S3	1	1
Stakeholder		
Kontraktor	31	40
Instansi Pemerintah	25	32
Konsultan	21	27
Pengalaman Kerja		
1-10 tahun	43	56

Kategori	Jumlah Responden	Persentase (%)
11-20 tahun	25	32
21-30 tahun	8	10
31-40 tahun	1	1

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Uji Validitas

Uji validitas dilakukan untuk memastikan bahwa setiap butir pernyataan dalam kuesioner mampu mengukur secara tepat variabel yang diteliti, yaitu faktor-faktor penyebab timbulnya limbah keramik dalam proyek konstruksi gedung. Pengujian dilakukan menggunakan analisis korelasi *Pearson Product Moment* dengan jumlah responden sebanyak 77 orang. Berdasarkan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), nilai r-tabel yang digunakan adalah sebesar 0,1888. Hasil pengolahan data melalui SPSS menunjukkan bahwa seluruh *item* pernyataan memiliki nilai r-hitung lebih besar dari r-tabel, sehingga seluruh butir dinyatakan valid dan layak digunakan dalam analisis lanjutan. Rincian hasil uji validitas disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji validitas

Kode	R Hitung	R Tabel	N	Keterangan
X1-1	0,389	0,1888	77	Valid
X1-2	0,628	0,1888	77	Valid
X1-3	0,619	0,1888	77	Valid
X1-4	0,682	0,1888	77	Valid
X1-5	0,737	0,1888	77	Valid
X1-6	0,654	0,1888	77	Valid
X2-1	0,752	0,1888	77	Valid
X2-2	0,718	0,1888	77	Valid
X2-3	0,635	0,1888	77	Valid
X2-4	0,548	0,1888	77	Valid
X2-5	0,562	0,1888	77	Valid
X2-6	0,701	0,1888	77	Valid
X2-7	0,798	0,1888	77	Valid
X3-1	0,676	0,1888	77	Valid
X3-2	0,772	0,1888	77	Valid
X3-3	0,670	0,1888	77	Valid
X3-4	0,736	0,1888	77	Valid
X3-5	0,691	0,1888	77	Valid
X3-6	0,485	0,1888	77	Valid
X3-7	0,461	0,1888	77	Valid

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Uji Reliabilitas

Nilai *Cronbach's Alpha* untuk seluruh butir pernyataan pada kuesioner tahap kedua adalah 0,859. Angka ini berada jauh di atas batas minimum 0,60, menunjukkan bahwa instrumen memiliki konsistensi internal yang sangat baik. Dengan jumlah responden sebanyak 77 orang dan total 20 *item* pernyataan, kuesioner dinyatakan reliabel dan dapat digunakan secara konsisten untuk mengukur persepsi responden terhadap faktor-faktor penyebab timbulnya limbah keramik dalam proyek konstruksi gedung.

Tabel 4. Ringkasan kasus uji reliabilitas

Case Processing Summary			
Cases		N	%
	Valid	77	100
	Pengecualian	0	0
	Total	77	100

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Tabel 5. Hasil uji reliabilitas instrumen penelitian

<i>Cronbach's Alpha</i>	<i>N of Items</i>
0,859	20

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Analisis Rata-Rata Faktor Penyebab Limbah Keramik

Analisis dilakukan terhadap 20 pernyataan yang mewakili faktor penyebab timbulnya limbah keramik pada proyek konstruksi gedung, yang terbagi ke dalam tiga tahapan: perencanaan (X1), pengadaan (X2), dan pelaksanaan (X3). Pengukuran dilakukan menggunakan skala *Likert* 1–5, di mana skor yang lebih tinggi menunjukkan frekuensi kejadian yang lebih sering. Nilai rata-rata dihitung dari seluruh tanggapan responden untuk masing-masing

pernyataan. Pernyataan faktor penyebab dengan nilai tertinggi adalah X3-3, yaitu potongan keramik tidak dapat digunakan akibat pemotongan yang tidak efisien, dengan skor 3,1039. Faktor-faktor lain yang juga memiliki nilai rata-rata tinggi meliputi X1-2, X2-4, X3-2, dan X2-3, yang menunjukkan kontribusi signifikan terhadap timbulnya limbah keramik.

Tabel 6. Nilai rata-rata faktor penyebab timbulnya limbah keramik

Kode	Tahapan	Faktor	Rata-rata
X1-1	Perencanaan	Spesifikasi Kontrak Tidak Sesuai Kebutuhan Lapangan	2,3506
X1-2	Perencanaan	Gambar Kerja Tidak Menunjukkan Ukuran dan Pola Pemasangan	2,8442
X1-3	Perencanaan	Perubahan Desain Setelah Pemesanan Keramik	2,5455
X1-4	Perencanaan	Koordinasi Dimensi Keramik Tidak Sesuai Area Pemasangan	2,2078
X1-5	Perencanaan	Analisis Kebutuhan Material Tidak Mempertimbangkan Tipe Ruang	2,3377
X1-6	Perencanaan	Pemilihan Keramik Tidak Mempertimbangkan Ketahanan	2,0000
X2-1	Pengadaan	Material Tidak Sesuai Standar	1,7273
X2-2	Pengadaan	<i>Supplier</i> Mengirimkan Tipe Keramik Berbeda	1,7403
X2-3	Pengadaan	Kelebihan/Kekurangan Material Akibat Salah Perhitungan	2,6104
X2-4	Pengadaan	Keramik Rusak Karena Pengemasan Tidak Benar	2,8052
X2-5	Pengadaan	Pemesanan Dalam jumlah Besar Menyebabkan Sisa Material	2,4156
X2-6	Pengadaan	Perubahan <i>Vendor</i> Menyebabkan Perbedaan Spesifikasi	2,1039
X2-7	Pengadaan	Keterlambatan Pengiriman Menyebabkan Penggantian Jenis Keramik	2,0649
X3-1	Pelaksanaan	Penyimpanan Material Tidak Benar	2,5325
X3-2	Pelaksanaan	Penanganan Keramik Kurang Hati-hati	2,7403
X3-3	Pelaksanaan	Potongan Keramik Tidak Dapat Digunakan karena Pemotongan Tidak Efisien	3,1039
X3-4	Pelaksanaan	Kesalahan dalam Pemasangan Keramik	2,3766
X3-5	Pelaksanaan	Peralatan Pemotong Tidak Berfungsi Dengan Baik	1,7662
X3-6	Pelaksanaan	Kehilangan Akibat Pencurian Keramik	2,3896
X3-7	Pelaksanaan	Cuaca Buruk Menyebabkan Pemasangan Ulang	1,9351

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Pemeringkatan Faktor Penyebab Limbah Keramik

Setelah dilakukan perhitungan rata-rata, seluruh faktor disusun berdasarkan urutan nilai dari yang tertinggi hingga terendah. Faktor X3-3 menempati peringkat pertama, menunjukkan bahwa pemotongan keramik yang tidak efisien merupakan penyebab paling dominan menurut persepsi responden. Lima faktor teratas berasal dari berbagai tahapan proyek, namun sebagian besar berada pada tahap pelaksanaan. Sementara itu, faktor X2-1 dan X2-2 berada di peringkat terbawah, menunjukkan kontribusi yang relatif rendah terhadap timbulnya limbah. Pemeringkatan ini memberikan gambaran prioritas dalam pengendalian limbah keramik di lapangan.

Tabel 7. Pemeringkatan faktor penyebab timbulnya limbah keramik

Peringkat	Kode	Faktor	Rata-rata
1	X3-3	Potongan Keramik Tidak Dapat Digunakan Karena Pemotongan Tidak Efisien	3,1039
2	X1-2	Gambar Kerja Tidak Menunjukkan Ukuran dan Pola Pemasangan	2,8442
3	X2-4	Keramik Rusak karena Pengemasan Tidak Benar	2,8052
4	X3-2	Penanganan Keramik Kurang Hati-hati	2,7403
5	X2-3	Kelebihan/Kekurangan Material Akibat Salah Perhitungan	2,6104
6	X1-3	Perubahan Desain Setelah Pemesanan Keramik	2,5455
7	X3-1	Penyimpanan Material Tidak Benar	2,5325
8	X2-5	Pemesanan Dalam jumlah Besar Menyebabkan Sisa Material	2,4156
9	X3-6	Kehilangan Akibat Pencurian Keramik	2,3896
10	X3-4	Kesalahan dalam Pemasangan Keramik	2,3766
11	X1-1	Spesifikasi Kontrak Tidak Sesuai Kebutuhan Lapangan	2,3506
12	X1-5	Analisis Kebutuhan Material Tidak Mempertimbangkan Tipe Ruang	2,3377
13	X1-4	Koordinasi Dimensi Keramik Tidak Sesuai Area Pemasangan	2,2078
14	X2-6	Perubahan <i>Vendor</i> Menyebabkan Perbedaan Spesifikasi	2,1039
15	X2-7	Keterlambatan Pengiriman Menyebabkan Penggantian Jenis Keramik	2,0649
16	X1-6	Pemilihan Keramik Tidak Mempertimbangkan Ketahanan	2,0000
17	X3-7	Cuaca Buruk Menyebabkan Pemasangan Ulang	1,9351
18	X3-5	Peralatan Pemotong Tidak Berfungsi Dengan Baik	1,7662
19	X2-2	<i>Supplier</i> Mengirimkan Tipe Keramik Berbeda	1,7403
20	X2-1	Material Tidak Sesuai Standar	1,7273

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, berikut kesimpulan yang dapat ditarik:

1. Limbah keramik merupakan jenis limbah konstruksi yang paling dominan di Kota Ambon.
2. Faktor utama penyebab timbulnya limbah keramik berasal dari tahap pelaksanaan, khususnya pada pernyataan “banyaknya potongan keramik yang tidak bisa digunakan akibat pemotongan tidak efisien.” Selain itu, pada tahap perencanaan, penyebab utamanya adalah “detail gambar kerja yang tidak lengkap atau rumit.” Sementara pada tahap pengadaan, faktor yang paling berkontribusi adalah “keramik pecah karena tidak dikemas dengan benar saat pengiriman” serta “salah perhitungan volume material.”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Miln Bruantama and D. Pontan, “IDENTIFIKASI WASTE MATERIAL DAN FAKTOR PENYEBAB TIMBULNYA PADA PROYEK KONSTRUKSI IDENTIFICATION OF WASTE MATERIAL FACTORS IN BUILDING CONSTRUCTION PROJECTS,” *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*, vol. 01, no. Vol. 01, No. 02, Juli-Desember 2023: 396-401, pp. 396–401, Feb. 2024, doi: 10.25105/jrltb.v1i2.17993.
- [2] I. Ayu, R. Widhiawati, N. Yudha Astana, N. Luh, and A. Indrayani, “KAJIAN PENGELOLAAN LIMBAH KONSTRUKSI PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG DI BALI,” *JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL-A SCIENTIFIC JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, vol. 23, pp. 55–61, Jan. 2019.
- [3] BPS Kota Ambon, *KOTA AMBON DALAM ANGKA 2024*, vol. 24. Ambon: BPS Kota Ambon, 2024.
- [4] S. A. K. A. Uda, W. Nuswantoro, and P. O. Lestari, “IDENTIFIKASI PENANGANAN WASTE MATERIAL BERDASARKAN PANDANGAN KONTRAKTOR DAN KONSULTAN KOTA PALANGKA RAYA,” *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, vol. 21, no. 1, pp. 15–25, Jun. 2022, doi: 10.35760/dk.2022.v21i1.6150.
- [5] N. Apni and V. Happy Puspasari, “FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB CONSTRUCTION WASTE PADA PROYEK KONSTRUKSI DI KOTA PALANGKA RAYA,” *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, vol. 3, no. 1, pp. 31–42, 2019.
- [6] S. Stringer, J. Jusmidah, M. Fikri, and N. Nurhidayah, “Analisis Persepsi Penerapan Manajemen Proyek Terhadap Keberhasilan Suatu Proyek Konstruksi,” *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, vol. 25, no. 1, pp. 185–195, Apr. 2025, doi: 10.35965/eco.v25i1.5869.
- [7] Sahrial, Irwan, and Suranto, “Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keterlambatan Proyek Peningkatan Jalan Rel Kereta Api Medan-Binjai,” *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur (JITAS)*, vol. 1, no. 1, pp. 13–24, 2022, doi: 10.31289/jitas.v1i1.1209.
- [8] D. N. Susanto and M. K. Rohman, “Penerapan Manajemen Pengelolaan Limbah Konstruksi Dalam Mewujudkan Green Construction,” *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 2023.
- [9] Hermawan and A. C. Wibowo, “PENGELOLAAN LIMBAH KONSTRUKSI PADA PROYEK PEMBANGUNAN MASJID ANNUR PEGUNDONGANPEJAWARAN, BANJARNEGARA,” *Journal of Economics, Business, and Engineering (JEBE)*, vol. 5, no. 1, pp. 160–166, 2023.
- [10] U. D. Rachman and A. T. Tenriajeng, “ANALISIS PENGARUH FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB SISA MATERIAL TERHADAP PERSENTASE SISA MATERIAL,” *TEKNIKA*, pp. 75–80, 2019.

EVALUASI PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (SMK3) (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Workshop Cikarang)

*Nurkholis Hakim¹, Kartono Wibowo², Antonius³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

*)Email: hakimcholis@gmail.com

Received: 15 Oktober 2025 ; Revised: 22 Oktober 2025 ; Accepted: 29 Oktober 2025

ABSTRACT

Occupational safety and health are crucial aspects in the implementation of construction projects, especially large-scale projects such as the construction of the Workshop Building in Cikarang. Workplace accidents that still frequently occur on-site highlight the importance of evaluating the implementation of the Occupational Safety and Health Management System (OSHMS). This study aims to measure the level of OSHMS implementation, identify the barriers to its implementation, and evaluate the strategies used to overcome these barriers. The method used in this study is descriptive evaluative with a quantitative approach, where data was collected through the distribution of questionnaires to 80 respondents consisting of workers and project management teams. The research instruments were tested using validity and reliability tests, and the results were analyzed using mean calculations and the Relative Importance Index (RII). Data was processed using SPSS software. The research results indicate that the level of SMK3 implementation is in the "Very Good" category, with the highest average score of 4.7 and an RSI of 0.94 on the indicator of understanding and implementation of safety procedures. The obstacles faced were categorized as "Less Hindering," with the lowest average score of 1.89 and an RSI of 0.38 related to management commitment to SMK3. Meanwhile, strengthening strategies such as safety briefings and SOP evaluations were categorized as "Very Effective," with the highest average score of 4.63 and an IKR of 0.925. The conclusion of this study is that the implementation of SMK3 in this project has been optimal, with minimal obstacles and effective control strategies.

Keywords: SMK3, Construction Project, SMK3 Implementation, Relative Importance Index, SPSS, K3 Evaluation

ABSTRAK

Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan aspek krusial dalam pelaksanaan proyek konstruksi, terutama pada proyek berskala besar seperti pembangunan Gedung Workshop di Cikarang. Kecelakaan kerja yang masih sering terjadi di lapangan menunjukkan pentingnya evaluasi terhadap penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat penerapan SMK3, mengidentifikasi hambatan pelaksanaannya, serta mengevaluasi strategi yang digunakan untuk mengatasi hambatan tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif, di mana data diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada 80 responden yang terdiri dari pekerja dan tim manajemen proyek. Instrumen penelitian diuji menggunakan uji validitas dan reliabilitas, dan hasilnya dianalisis menggunakan perhitungan rata-rata (*mean*) dan Indeks Kepentingan Relatif (IKR). Data diolah menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat penerapan SMK3 berada dalam kategori "Sangat Baik", dengan nilai rata-rata tertinggi 4,7 dan IKR sebesar 0,94 pada indikator pemahaman dan pelaksanaan prosedur keselamatan kerja. Hambatan yang dihadapi tergolong "Kurang Menghambat", dengan nilai rata-rata terendah 1,89 dan IKR sebesar 0,38 terkait komitmen manajemen terhadap SMK3. Sementara itu, strategi penguatan seperti briefing keselamatan dan evaluasi SOP tergolong "Sangat Efektif", dengan nilai rata-rata tertinggi 4,63 dan IKR sebesar 0,925. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penerapan SMK3 pada proyek ini telah berjalan optimal, dengan hambatan yang minimal dan strategi pengendalian yang efektif.

Kata kunci: SMK3, Proyek Konstruksi, Penerapan SMK3, Indeks Kepentingan Relatif, SPSS, Evaluasi K3

1. PENDAHULUAN

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan salah satu aspek fundamental dalam pelaksanaan kegiatan konstruksi yang berisiko tinggi terhadap kecelakaan kerja. Sektor konstruksi secara global dikenal sebagai salah satu sektor dengan tingkat kecelakaan kerja yang tinggi akibat kondisi kerja yang kompleks, keterlibatan banyak tenaga kerja, serta penggunaan peralatan berat dan bahan berbahaya [1]. Hal ini diperkuat oleh temuan yang menyatakan bahwa proyek konstruksi memiliki tingkat kecelakaan kerja lebih tinggi dibanding sektor industri lainnya [2]. Oleh karena itu, penerapan manajemen K3 yang sistematis menjadi keharusan untuk menekan potensi risiko kerja di lapangan.

Proyek pembangunan gedung workshop di kawasan industri Cikarang merupakan proyek dengan tingkat aktivitas yang padat, melibatkan banyak pekerja dan alat berat, sehingga memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan kerja. Dalam proyek seperti ini, penerapan SMK3 sangat krusial untuk memastikan kelangsungan kegiatan tanpa gangguan kecelakaan kerja [3]. Namun, belum banyak penelitian yang secara khusus mengevaluasi implementasi

SMK3 di proyek-proyek konstruksi di kawasan industri Cikarang, terutama yang menggunakan pendekatan berbasis data lapangan melalui kuesioner dan observasi langsung [4].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat penerapan SMK3, mengidentifikasi berbagai hambatan yang muncul selama pelaksanaan SMK3, dan menganalisis upaya dan strategi yang diterapkan oleh pihak manajemen proyek dalam mengatasi hambatan, serta meningkatkan efektivitas penerapan SMK3 pada proyek pembangunan gedung workshop di Cikarang. Melalui pendekatan kuesioner dan analisis risiko, penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi sejauh mana implementasi SMK3 dijalankan serta menemukan kendala-kendala yang dihadapi dalam pelaksanaannya [5]. Hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi bagi perbaikan sistem manajemen K3 di proyek-proyek konstruksi sejenis, sekaligus mendukung pencapaian target zero accident yang diharapkan oleh semua pihak terkait.

2. LANDASAN TEORI

Proyek Konstruksi

Dalam menjalankan suatu proyek konstruksi, perlu adanya perencanaan menyeluruh, pengendalian yang efektif, pelaksanaan yang cermat, serta optimalisasi proyek sesuai kebutuhan. Berbagai faktor seperti kualitas dan kuantitas sumber daya, ketersediaan material, kondisi alam, letak geografis, dan faktor-faktor lainnya memengaruhi kondisi pelaksanaan proyek. Namun, biaya proyek menjadi faktor utama yang krusial. Kendala dalam proyek dapat berdampak pada jalannya proyek tersebut, kegagalan pelaksanaan proyek berarti kegagalan mencapai tujuan yang diinginkan serta pemborosan waktu dan biaya. Penggunaan sumber daya yang efektif dan efisien penting dalam mencapai kesuksesan proyek. Oleh karena itu, langkah-langkah perbaikan perlu diambil untuk memastikan proyek berjalan sesuai rencana[6].

Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Menurut American Society of Safety Engineers, keselamatan kerja adalah bidang yang bertujuan untuk mencegah segala bentuk kecelakaan yang terkait dengan lingkungan dan situasi kerja [7]. Keselamatan kerja adalah sarana dan upaya pencegahan kecelakaan kerja [8].

Komisi Gabungan ILO/WHO pada tahun 1953 mendefinisikan kesehatan kerja sebagai upaya untuk menjaga dan meningkatkan kesehatan fisik, mental, dan kesejahteraan sosial pekerja [7]. Menurut Suma'mur, kesehatan kerja adalah cabang ilmu kesehatan yang bertujuan memberikan derajat kesehatan tertinggi bagi pekerja melalui upaya preventif dan kuratif terhadap penyakit yang disebabkan oleh pekerjaan dan lingkungan kerja [9] [10].

Kecelakaan Kerja

Kecelakaan kerja merupakan suatu insiden yang bisa menyebabkan cedera, kematian, kerugian finansial, dan juga waktu. Agar dapat dicegah, penting untuk memahami konsep dan teori terkait dari berbagai sudut pandang, termasuk pandangan mengenai kecelakaan kerja menurut standar OHSAS. Karena kecelakaan adalah sesuatu yang tidak diharapkan di tempat kerja, karena bisa mengakibatkan korban jiwa, cedera, dan kerugian lainnya, maka penting bagi setiap pekerja dan staf K3 untuk mengimplementasikan prinsip dan teori kecelakaan kerja [11].

Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK)

Keselamatan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) menurut International Labour Organization (ILO) adalah bagian penting yang bertujuan untuk meningkatkan derajat tertinggi kesejahteraan fisik, psikis, dan sosial para pekerja dalam berbagai pekerjaan. Meliputi pencegahan gangguan kesehatan akibat pekerjaan, perlindungan dari risiko kesehatan, serta memastikan bahwa pekerja ditempatkan dan dipelihara dalam kondisi kerja yang sesuai dengan kondisi fisik dan mental mereka, serta menciptakan harmoni di antara mereka dalam melaksanakan tugas.

Sutrisno menyatakan bahwa keselamatan kerja merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mendukung pekerja agar terhindar dari kecelakaan kerja. Sementara itu, menurut Wirawan, kesehatan kerja diterapkan berdasarkan ilmu kesehatan di bidang ketenagakerjaan untuk mencegah penyakit akibat kerja dan menjaga kesehatan pekerja demi meningkatkan performa mereka dalam Perusahaan.

Manajemen Risiko

Dalam manajemen risiko K3, komunikasi, konsultasi, serta penetapan konteks risiko menjadi faktor penting dalam menentukan bagaimana risiko tersebut akan dikelola. Selain itu, manajemen risiko K3 tidak hanya relevan di sektor manufaktur, tetapi juga di sektor lain seperti sektor keuangan, dengan tujuan utama untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman dan meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan yang merugikan perusahaan [12].

Peran SPSS dalam Statistik Penelitian

Sebagai salah satu perangkat lunak statistik paling andal, SPSS digunakan oleh banyak lembaga penelitian terkemuka di dunia untuk memaksimalkan hasil penelitian mereka, termasuk melalui analisis data survei dan eksplorasi teks. Program ini menyediakan berbagai fungsi statistik dasar seperti analisis frekuensi, tabulasi silang, serta statistik bivariat. Selain itu, fitur *Text Analytics for Surveys* memungkinkan pengolahan data survei dengan pertanyaan terbuka, membantu administrator survei menemukan wawasan berharga dari tanggapan yang diterima.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berbentuk deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk menggambarkan tingkat penerapan SMK3, mengidentifikasi hambatan di lapangan, serta mengevaluasi strategi yang dilakukan untuk mengatasinya. Metode kuantitatif dipilih karena menggunakan data kuesioner berskala Likert yang dianalisis secara numerik guna menilai efektivitas penerapan dan penanganan hambatan SMK3.

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan gedung workshop yang berlokasi di Kawasan Jababeka, Jl. East Boulevard No.3 Blok E, Kelurahan Jatireja, Kecamatan Cikarang Timur, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Dalam upaya mencapai tujuan yang telah dirumuskan, penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian langkah yang tersusun secara sistematis antara lain:

1. Penyusunan Instrumen Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh individu yang terlibat secara aktif dalam proyek pembangunan gedung workshop tersebut. Jumlah populasi yang tercatat sebanyak 80 orang. Karena jumlah populasi masih tergolong kecil dan dapat dijangkau sepenuhnya, maka penelitian ini menggunakan metode sensus, yaitu seluruh anggota populasi dijadikan sebagai sampel. Definisi operasional untuk menjelaskan konsep-konsep utama dalam penelitian ini agar dapat diukur secara konkret dan konsisten melalui instrumen kuesioner.

Tabel 1. Definisi Operasional

Variabel	Definisi Operasional	Indikator	Skala Pengukuran
Penerapan SMK3	Tingkat pelaksanaan SMK3 di proyek konstruksi sesuai dengan standar PP No. 50 Tahun 2012.	- Kebijakan K3 - Perencanaan K3 - Pelaksanaan dan pemantauan - Evaluasi dan tindakan perbaikan	Skala Likert
Hambatan Penerapan SMK3	Faktor-faktor yang menghambat atau mengurangi efektivitas penerapan SMK3 di lapangan proyek.	- Kurangnya pelatihan - Ketidaksiplinan pekerja - Keterbatasan alat keselamatan - Kurangnya pengawasan	Skala Likert
Upaya dan Strategi Pengendalian	Langkah-langkah yang dilakukan oleh manajemen proyek dalam mengatasi hambatan penerapan SMK3 dan meningkatkan efektivitas implementasinya.	- Peningkatan sosialisasi dan pelatihan - Pengaturan aturan disiplin - Penguatan sistem pelaporan	Skala Likert

2. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner kepada responden yang terdiri dari manajer proyek, tim K3, pengawas lapangan, dan pekerja yang terlibat langsung dalam proyek gedung workshop di Cikarang. Instrumen kuesioner disusun berdasarkan indikator dari SMK3 yang merujuk pada Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012.

Tabel 2. Pengumpulan Data

Jenis Data	Sumber Data	Metode Pengumpulan	Instrumen	Tujuan
Data Primer	Seluruh personel proyek (80 orang)	Survei langsung	Kuesioner (skala Likert 5 poin)	Menilai tingkat penerapan SMK3, mengidentifikasi hambatan, dan strategi penanggulangan
Data Pendukung	Dokumentasi proyek	Studi dokumentasi	Dokumen proyek terkait SMK3 (SOP, laporan safety meeting, dll.)	Mendukung validitas data primer dan memperkuat hasil evaluasi

3. Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil kuesioner diolah secara kuantitatif menggunakan tabulasi frekuensi dan skoring skala Likert untuk menilai tingkat penerapan SMK3, mengidentifikasi hambatan utama, serta mengevaluasi efektivitas upaya penanganan yang dilakukan. Pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif deskriptif, dengan bantuan perangkat lunak IBM SPSS Statistics sebagai alat utama dalam proses pengolahan dan analisis data. Tahapan analisis dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu pengujian instrumen (validitas dan reliabilitas), perhitungan indeks kepentingan relatif, serta klasifikasi penilaian berdasarkan kategori interpretative.

a. Uji Validitas

Uji validitas digunakan untuk mengetahui sejauh mana butir-butir pertanyaan dalam kuesioner mampu mengukur konstruk yang dimaksud secara tepat dan akurat. Pengujian dilakukan dengan menghitung korelasi antara skor item dan total skor variabel menggunakan metode Pearson Product Moment.

$$r = \frac{N(XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N(\sum X^2) - (\sum X)^2][N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

Dimana: r = Koefisien korelasi, n = Jumlah responden, X = Skor item, Y = Skor total variabel

Kuesioner dianggap valid jika nilai signifikansi < 0,05 dan nilai korelasi r lebih besar dari nilai kritis rtabel.

b. Uji Reliabilitas

Setelah instrumen terbukti valid, langkah berikutnya adalah menguji tingkat konsistensi internal antar butir pertanyaan dalam variabel. Uji reliabilitas dilakukan dengan menggunakan rumus Alpha Cronbach, yang dihitung otomatis melalui SPSS.

$$r = \left[\frac{K}{(K-1)} \right] \left[1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_t^2} \right]$$

Dimana: α = Koefisien reliabilitas, k = Jumlah item pertanyaan, σ_i^2 = Varians tiap item, σ_t^2 = Varians total skor

Instrumen dikatakan reliabel apabila nilai Alpha Cronbach $\geq 0,6$, dan semakin mendekati 1 menunjukkan keandalan yang semakin tinggi.

c. Analisis Indeks Kepentingan Relatif (IKR)

Setelah data valid dan reliabel, penilaian dilakukan berdasarkan tingkat kepentingan relatif setiap indikator menggunakan pendekatan Indeks Kepentingan Relatif (IKR). IKR digunakan untuk menentukan bobot prioritas dari setiap indikator berdasarkan skor rata-rata responden.

$$\text{Bobot} = \frac{\text{Jumlah Penelitian Kuesioner}}{\text{Jumlah Responden}}$$

$$\text{IKR} = \frac{\text{Bobot}}{\text{Faktor pertanyaan}}$$

IKR digunakan untuk mengurutkan tingkat kepentingan tiap faktor, serta dijadikan dasar dalam menentukan fokus evaluasi dan rekomendasi.

d. Tingkat penerapan SMK3 pada proyek pembangunan gedung workshop di Kawasan Jababeka, Cikarang

Menggunakan Skala Likert 1–5 untuk menilai persepsi responden terhadap indikator penerapan SMK3. Data diolah menggunakan SPSS untuk menghasilkan nilai rata-rata (*mean*) dari setiap indikator, kemudian dikelompokkan ke dalam kategori tertentu sesuai klasifikasi yang telah dimodifikasi.

e. Hambatan yang dihadapi dalam pelaksanaan SMK3 di proyek tersebut

Menggunakan pertanyaan tertutup dengan skala Likert terkait faktor penghambat pelaksanaan SMK3. Pengolahan data dilakukan dengan menghitung nilai *mean* per indikator hambatan menggunakan SPSS, kemudian dikelompokkan ke dalam kategori tertentu sesuai klasifikasi yang telah dimodifikasi. Berikut merupakan nilai *mean* berdasarkan interpretasinya.

f. Strategi yang diterapkan untuk mengatasi hambatan SMK3 dan sejauh mana strategi tersebut efektif

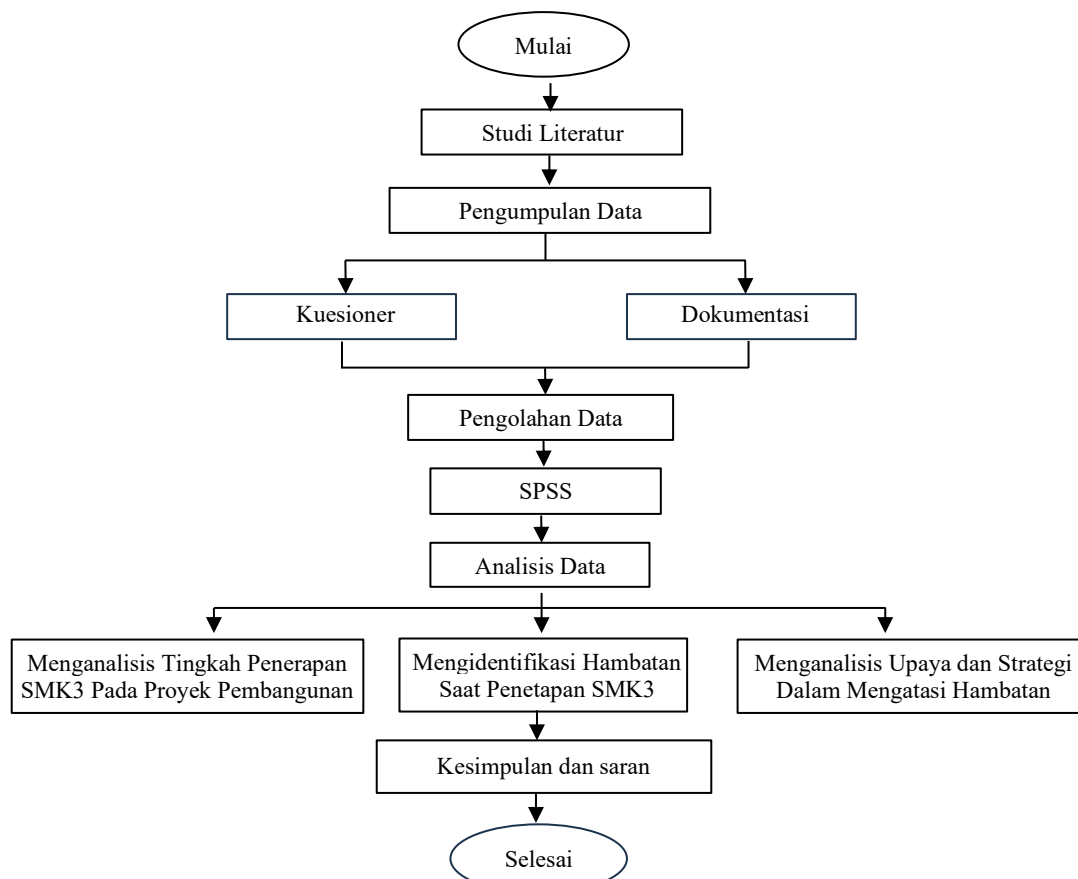
Menggunakan kuesioner Likert untuk mengevaluasi efektivitas strategi mitigasi (contoh: pelatihan, safety talk, SOP baru). Data diolah dengan menghitung nilai *mean* per indikator menggunakan SPSS, kemudian dikelompokkan ke dalam kategori tertentu sesuai klasifikasi yang telah dimodifikasi. Berikut merupakan nilai *mean* berdasarkan interpretasinya.

Tabel 3. Interpretasi Penilaian SMK3

Nilai <i>Mean</i> (X)	Tingkat Penerapan	Tingkat Risiko/ Hambatan	Efektivitas Strategi Untuk Mengatasi Hambatan
$4,50 \leq X \leq 5,00$	Sangat Baik	Sangat Menghambat / Sangat Tinggi Risikonya	Sangat Efektif / Rutin Dilaksanakan
$3,50 \leq X < 4,50$	Baik	Menghambat / Tinggi	Efektif / Dilaksanakan
$2,50 \leq X < 3,50$	Cukup	Ragu – ragu / Sedang	Netral / Ragu – ragu
$1,50 \leq X < 2,50$	Kurang	Kurang Menghambat / Rendah	Tidak Efektif / Tidak Dilaksanakan
$1,00 \leq X < 1,50$	Sangat Kurang	Tidak Menghambat / Tidak Ada Resiko	Tidak Pernah Ditinjau / Belum Ada Upaya

(Sumber: Fadhlullah & Raharja, 2023 [13])

Langkah-langkah analisis pada penelitian ini disajikan secara rinci pada gambar diagram alir di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. PEMBAHASAN

Karakteristik Responden Penelitian

Karakteristik responden yang ditelaah pada bagian ini menunjukkan keterpenuhan terhadap kriteria. Analisis ini menyajikan profil responden yang telah diseleksi berdasarkan kesesuaian dengan syarat-syarat yang ditentukan antara lain karakteristik data responden berdasarkan usia, jenis kelamin, pengalaman bekerja, pendidikan terakhir, dan posisi bekerja.

Berdasarkan data pengalaman kerja responden, distribusi posisi menunjukkan bahwa 11,25% responden berasal dari divisi HSE, 8,75% menjabat sebagai site manager, 25% berperan sebagai supervisor lapangan, dan 55% merupakan pekerja lapangan. Temuan ini menunjukkan bahwa mayoritas responden berasal dari kelompok pekerja lapangan, yang merepresentasikan dominasi tenaga operasional dalam proyek Gedung Workshop Cikarang.

Dengan mengacu pada kriteria yang telah ditetapkan yaitu karyawan yang terlibat langsung dalam kegiatan K3 terdapat seluruh 80 responden memenuhi persyaratan dan layak dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini.

Hasil Tabulasi Kuesioner

Sebanyak 80 responden memenuhi kriteria untuk dianalisis dalam uji validitas, reliabilitas, dan perhitungan Indeks Kepentingan Relatif (IKR). Seluruh data tanggapan telah ditabulasi secara sistematis. Masing-masing variabel dalam kuesioner menggunakan skala penilaian yang disesuaikan dengan karakteristik indikator, guna memastikan keakuratan hasil analisis. Berdasarkan rekapitulasi hasil, sebagian besar responden memberikan skor tertinggi (skala 5), yang mengindikasikan penilaian sangat positif terhadap penerapan standar tersebut.

Uji Validitas Data Perhitungan Manual

Uji validitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana setiap item pertanyaan dalam kuesioner mampu mengukur variabel yang dimaksud secara akurat. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai R hitung dengan R tabel.

Pengujian validitas dilakukan terhadap butir pertanyaan pertama (kode X1.1) yang mengacu pada aspek implementasi SMK3, analisisnya sebagai berikut.

$$R_{hitung} = \frac{N(XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N(\sum X^2) - (\sum X)^2][N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

$$R_{hitung} = \frac{80(11957) - (365)(2599)}{\sqrt{[80(1697) - (365)^2][80(85183) - (2599)^2]}}$$

$$R_{hitung} = \frac{956560 - 948635}{\sqrt{2535 \times 59839}}$$

$$R_{hitung} = \frac{7925}{12316,324} = 0,643$$

Jadi kuesioner dikatakan valid jika $R_{hitung} (0,6430) > R_{tabel} (0,220)$, sehingga pertanyaan kode X1.1 valid.

Uji Validitas Data Perhitungan SPSS

Berikut ini salah satu output dari hasil analisis dari variabel 1 terkait implementasi SMK3, yang diperoleh melalui proses pengolahan data menggunakan *software* SPSS (*Statistical Program for Social Science*).

		P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	Total
P01	Pearson Correlation	1	.409**	.430**	.370**	.443**	.424**	.426**	.643**
	Sig. (2-tailed)		<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	N	80	80	80	80	80	80	80	80
P02	Pearson Correlation	.409**	1	.748**	.713**	.713**	.661**	.599**	.855**
	Sig. (2-tailed)	<.001		<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	N	80	80	80	80	80	80	80	80
P03	Pearson Correlation	.430**	.748**	1	.703**	.750**	.510**	.675**	.849**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001		<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	N	80	80	80	80	80	80	80	80
P04	Pearson Correlation	.370**	.713**	.703**	1	.581**	.530**	.758**	.824**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001		<.001	<.001	<.001	<.001
	N	80	80	80	80	80	80	80	80
P05	Pearson Correlation	.443**	.713**	.750**	.581**	1	.653**	.588**	.839**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001		<.001	<.001	<.001
	N	80	80	80	80	80	80	80	80
P06	Pearson Correlation	.424**	.661**	.510**	.530**	.653**	1	.562**	.776**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001		<.001	<.001
	N	80	80	80	80	80	80	80	80
P07	Pearson Correlation	.426**	.599**	.675**	.758**	.588**	.562**	1	.822**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001		<.001
	N	80	80	80	80	80	80	80	80
Total	Pearson Correlation	.643**	.855**	.849**	.824**	.839**	.776**	.822**	1
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	
	N	80	80	80	80	80	80	80	80

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Gambar 3. Ouput SPSS Variasi 1

Hasil analisis data yang diperoleh melalui pengolahan menggunakan perangkat lunak SPSS sebagai berikut.

1. Hasil Pengujian Validitas Variabel 1: implementasi SMK3

Terdapat 7 butir pernyataan yang dianalisis, dan seluruhnya menunjukkan nilai valid, sehingga layak digunakan sebagai instrumen dalam kuesioner penelitian. Nilai R Tabel sebesar 0,220 digunakan sebagai batas minimum untuk menentukan validitas item. Seluruh nilai R Hitung dari pertanyaan 1 hingga 7 berada di atas nilai tersebut, dengan rentang antara 0,643 hingga 0,855. Nilai tertinggi terdapat pada pertanyaan ke-2 (0,855), diikuti oleh pertanyaan ke-3 (0,849) dan ke-5 (0,839). Sementara itu, nilai terendah terdapat pada pertanyaan ke-1 (0,643), namun tetap memenuhi kriteria validitas.

2. Hasil Pengujian Validitas Variabel 2: Hambatan dalam Penerapan SMK3

Terdapat 5 butir pernyataan yang dianalisis, dan seluruhnya menunjukkan nilai valid, sehingga layak digunakan sebagai instrumen dalam kuesioner penelitian. Nilai tertinggi terdapat pada pertanyaan ke-3 (0,891), diikuti oleh pertanyaan ke-5 (0,883) dan ke-4 (0,882). Sementara itu, nilai terendah terdapat pada pertanyaan ke-2 (0,852), namun tetap memenuhi kriteria validitas.

3. Hasil uji validitas variabel 3 tentang Strategi Hambatan pelaksanaan SMK3

Terdapat 5 butir pernyataan yang dianalisis, dan seluruhnya menunjukkan nilai valid. Nilai tertinggi terdapat pada pertanyaan ke-2 (0,898), diikuti oleh pertanyaan ke-4 (0,897) dan ke-3 (0,853). Sementara itu, nilai terendah terdapat pada pertanyaan ke-2 (0,731), namun tetap memenuhi kriteria validitas.

Uji Reliabilitas Perhitungan Manual

Tujuan dari uji reliabilitas dalam penelitian adalah untuk menilai sejauh mana alat ukur, seperti kuesioner, mampu memberikan hasil yang konsisten dalam pengukuran berulang. Instrumen dikatakan memiliki reliabilitas yang baik apabila respon yang diberikan oleh partisipan menunjukkan keseragaman dalam menjawab berbagai item yang sejenis. Salah satu teknik yang umum digunakan dalam pengujian reliabilitas adalah metode Cronbach's Alpha, dengan kriteria penilaian sebagai berikut:

1. Instrumen dinilai reliabel apabila nilai Cronbach's Alpha melebihi angka 0,60.
2. Sebaliknya, jika nilai tersebut berada di bawah 0,60, maka instrumen dianggap tidak reliabel.

Jumlah nilai varian tiap pertanyaan yaitu:

$$\sum \sigma^2 = 0,39 + 0,26 + 0,23 + 0,29 + 0,29 + 0,30 + 0,31 = 2,11$$

Nilai total varian:

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n} = \frac{85183 - \frac{(2599)^2}{80}}{80} = 9,34$$

Perhitungan Reliabilitas

$$r = \left[\frac{K}{(K-1)} \right] \left[1 - \frac{\sum \sigma^2}{\sigma^2} \right] = \left[\frac{7}{(7-1)} \right] \left[1 - \frac{2,11}{9,34} \right] = 0,903$$

Hasil uji reliabilitas yang diperoleh melalui perhitungan manual untuk variabel 1 (X1) menunjukkan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,903. Nilai ini lebih tinggi dari batas minimum 0,60, sehingga instrumen kuesioner dinyatakan reliabel dan layak digunakan untuk mengukur variabel secara konsisten.

Uji Reliabilitas Perhitungan SPSS

Hasil perhitungan uji reliabilitas menggunakan SPSS dapat dilihat sebagai berikut.

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
.903	7

Gambar 4. Output Reliabilitas dengan SPSS

Tabel 4. Hasil perhitungan Reliabilitas Tiap Variabel

Variabel	Nilai Cronbach Alpha	Keterangan
Implementasi SMK3	0,903	Reliabel
Hambatan dalam Penerapan SMK3	0,922	Reliabel
Strategi Mengatasi Hambatan pelaksanaan SMK3	0,877	Reliabel

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa nilai Cronbach's Alpha dari masing-masing instrumen pada seluruh variabel penelitian memiliki nilai lebih besar dari 0,60. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa instrumen yang digunakan memiliki konsistensi internal yang memadai. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa seluruh item dalam kuesioner tergolong reliabel, sehingga layak digunakan untuk analisis lebih lanjut dalam penelitian ini.

Indeks Kepuasan Responden (IKR) Perhitungan Manual

Setelah seluruh kuesioner diisi oleh responden, data yang terkumpul kemudian diolah untuk menilai implementasi SMK3 pada proyek pembangunan Gedung Workshop Cikarang. Proses analisis dilakukan dengan cara menghitung skor rata-rata Indeks Kepuasan Responden (IKR), di mana setiap pertanyaan dalam kuesioner telah diberi pembobotan sesuai tingkat kepentingannya.

$$\begin{aligned} - \text{Bobot } X1.1 &= \frac{\text{Jumlah Penelitian Kuesioner}}{\text{Jumlah Responden}} = \frac{365}{80} = 4,56 \\ - \text{Bobot } X1.2 &= \frac{\text{Jumlah Penelitian Kuesioner}}{\text{Jumlah Responden}} = \frac{376}{80} = 4,70 \\ - \text{Bobot } X1.3 &= \frac{\text{Jumlah Penelitian Kuesioner}}{\text{Jumlah Responden}} = \frac{376}{80} = 4,70 \end{aligned}$$

Setelah data Variabel 1 direkap, melakukan penghitungan nilai rata-rata guna mengklasifikasikan data ke dalam kategori yang telah tercantum. Setiap variabel dianalisis lebih lanjut untuk menentukan tingkat kategorinya sesuai dengan klasifikasi. Hasil penilaian menunjukkan bahwa:

- Indikator X1.1 berada dalam kategori "Sangat Baik"
- Indikator X1.2 masuk dalam kategori "Sangat Baik"
- Indikator X1.3 juga tergolong dalam kategori "Sangat Baik"

Analisis IKR untuk menyusun tingkat prioritas berdasarkan urutan dari kategori tertinggi hingga terendah sesuai dengan isi tabel tersebut. Langkah selanjutnya dalam proses analisis adalah menghitung indeks tingkat kepentingan relatif menggunakan rumus yang telah ditetapkan.

$$\begin{aligned} \text{IKR X1.1} &= \frac{\text{Bobot}}{\text{Faktor pertanyaan}} = \frac{4,56}{5} = 0,91 \\ \text{RII X1.2} &= \frac{\text{Bobot}}{\text{Faktor pertanyaan}} = \frac{4,70}{5} = 0,94 \\ \text{RII X1.3} &= \frac{\text{Bobot}}{\text{Faktor pertanyaan}} = \frac{4,70}{5} = 0,94 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, penerapan SMK3 pada proyek pembangunan Gedung Workshop Cikarang telah berjalan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Nilai Indeks Kinerja yang diperoleh mencerminkan bahwa upaya pengelolaan K3 telah diimplementasikan secara optimal dan memenuhi standar yang ditetapkan.

Indeks Kesesuaian Responden (IKR) Perhitungan SPSS

Perhitungan melalui perangkat lunak SPSS (*Statistical Program for Social Science*) dilakukan berdasarkan rumus bobot indikator dan indeks kepentingan relatif (IKR) sebagai acuan utama dalam proses analisis.

Tabel 5. Penilaian IKR untuk Variabel 1

No	Pertanyaan	Kode	Mean	Kategori	IKR
1	Saya telah mengikuti pelatihan terkait keselamatan kerja di proyek.	X1.1	4,56	Sangat Baik	0,91
2	APD yang dibutuhkan tersedia lengkap dan selalu digunakan saat bekerja.	X1.2	4,70	Sangat Baik	0,94
3	Proyek memiliki prosedur kerja standar tertulis untuk semua aktivitas konstruksi.	X1.3	4,70	Sangat Baik	0,94
4	Terdapat rambu-rambu keselamatan yang dipasang dengan jelas di lokasi proyek.	X1.4	4,66	Sangat Baik	0,93
5	Briefing keselamatan dilakukan secara rutin sebelum pekerjaan dimulai.	X1.5	4,66	Sangat Baik	0,93
6	Pengawasan terhadap penerapan K3 dilakukan oleh personel khusus atau manajemen proyek.	X1.6	4,63	Sangat Baik	0,93
7	Audit keselamatan dilakukan secara berkala oleh tim internal proyek.	X1.7	4,58	Sangat Baik	0,92

Mengacu pada data dalam Tabel 5, sebagian besar prosedur keselamatan kerja telah dijalankan secara konsisten, mencerminkan tingkat kepatuhan yang tinggi terhadap standar SMK3. Urutan pertanyaan berikut disusun berdasarkan intensitas pelaksanaannya, dari yang paling sering diterapkan hingga yang relatif lebih rendah, dengan klasifikasi kategori mulai dari "sangat baik" hingga "baik":

1. Pertanyaan nomor 1 dan 2 menunjukkan nilai rata-rata sebesar 4,7, yang mencerminkan bahwa kedua prosedur tersebut diimplementasikan dalam kategori "sangat baik". Dengan perolehan IKR sebesar 0,94, kedua item ini menempati posisi teratas (peringkat ke-1) dalam hal tingkat penerapan di lapangan.
2. Pertanyaan nomor 3, 4, dan 5 masing-masing memperoleh rata-rata skor 4,66, juga dikategorikan sebagai "sangat baik". Nilai IKR yang tercatat sebesar 0,93 menempatkan ketiga prosedur ini pada peringkat ke-2 dalam hal frekuensi pelaksanaan.
3. Pertanyaan nomor 7 mencatat rata-rata penilaian sebesar 4,58, yang tergolong ke dalam klasifikasi "sangat baik". Dengan nilai IKR 0,92, prosedur ini berada di peringkat ke-3 dari segi implementasi.
4. Pertanyaan nomor 1 memperoleh rata-rata 4,56, yang juga masuk kategori "sangat baik". Nilai IKR sebesar 0,91 menjadikan prosedur ini berada di peringkat ke-4 berdasarkan tingkat penerapan di lapangan.

Tabel 6. Penilaian IKR untuk Variabel 2

No	Pertanyaan	Kode	Mean	Kategori	IKR
1	Pihak manajemen tidak sepenuhnya mendukung pelaksanaan program K3.	X2.1	1,89	Kurang Menghambat	0,38
2	Sosialisasi mengenai keselamatan kerja masih jarang dilakukan di lapangan.	X2.2	2,15	Kurang Menghambat	0,43
3	Banyak pekerja yang masih mengabaikan aturan keselamatan saat bekerja.	X2.3	2,28	Kurang Menghambat	0,46
4	Kegiatan K3 seperti pelatihan, pengadaan APD, atau audit sering terkendala biaya.	X2.4	2,46	Kurang Menghambat	0,49
5	Tidak ada sanksi yang tegas terhadap pelanggaran prosedur keselamatan kerja.	X2.5	2,26	Kurang Menghambat	0,45

Berdasarkan Tabel 6, sebagian besar faktor penghambat dalam implementasi SMK3 pada proyek ini berada pada kategori "kurang menghambat" atau bahkan tidak menjadi hambatan yang signifikan. Dengan kata lain, kendala-kendala tersebut tidak terlalu memengaruhi proses penerapan SMK3 di lapangan. Berikut ini adalah urutan hambatan berdasarkan tingkat pengaruhnya, dari yang paling rendah hingga yang sedikit lebih terasa dampaknya:

1. Pernyataan nomor 4 memperoleh rata-rata skor 2,46, yang menunjukkan bahwa aspek biaya bukanlah kendala utama dalam pelaksanaan SMK3. Dengan IKR sebesar 0,49, faktor ini menempati peringkat pertama sebagai hambatan dengan pengaruh paling rendah dalam implementasi SMK3.
2. Pernyataan nomor 3 menghasilkan rata-rata nilai 2,28, yang mengindikasikan bahwa tingkat kesadaran pekerja terhadap pentingnya K3 sudah tergolong tinggi, sehingga tidak menjadi penghambat yang berarti. IKR yang diperoleh sebesar 0,46, menjadikan poin ini berada pada peringkat kedua.
3. Pernyataan nomor 5 mencatat nilai rata-rata 2,26, mencerminkan bahwa mekanisme pemberian sanksi atas pelanggaran K3 dinilai cukup tegas, dan bukan termasuk hambatan utama. Dengan IKR sebesar 0,45, hambatan ini berada di peringkat ketiga.
4. Pernyataan nomor 2 menunjukkan skor rata-rata 2,15, yang berarti kegiatan sosialisasi SMK3 sudah berjalan cukup baik dan tidak menjadi halangan berarti. IKR sebesar 0,43 menempatkan aspek ini di peringkat keempat.
5. Pernyataan nomor 1 memperoleh rata-rata skor 1,89, yang menandakan bahwa dukungan dan komitmen manajemen terhadap pelaksanaan SMK3 sudah kuat. Dengan nilai IKR 0,38, faktor ini menjadi hambatan paling rendah (peringkat kelima) dalam daftar ini.

Tabel 7. Penilaian IKR untuk Variabel 3

No	Pertanyaan	Kode	Mean	Kategori	IKR
1	Manajemen rutin melaksanakan safety talk untuk mengingatkan pentingnya K3.	X3.1	4,63	Sangat Efektif	0,925
2	Simulasi tanggap darurat atau pelatihan keselamatan dilakukan secara terjadwal.	X3.2	4,51	Sangat Efektif	0,903
3	SOP keselamatan dievaluasi dan diperbarui sesuai kondisi proyek.	X3.3	4,56	Sangat Efektif	0,913
4	Pelanggaran terhadap prosedur K3 dikenai sanksi secara tegas dan konsisten.	X3.4	4,53	Sangat Efektif	0,905
5	Terdapat apresiasi atau insentif bagi pekerja yang disiplin dalam penerapan K3.	X3.5	4,50	Sangat Efektif	0,900

Merujuk pada Tabel 7, mayoritas strategi yang diterapkan untuk mengatasi hambatan dalam pelaksanaan SMK3 tergolong dalam kategori “sangat efektif”. Artinya, pendekatan-pendekatan yang digunakan telah mampu meminimalkan kendala dalam penerapan SMK3 secara optimal. Uraian berikut menampilkan strategi-strategi tersebut berdasarkan tingkat efektivitasnya:

1. Strategi yang tertuang pada pernyataan nomor 1, memperoleh rata-rata skor tertinggi sebesar 4,63, mengindikasikan bahwa pelaksanaan safety talk secara rutin terbukti sangat berhasil dalam mendukung penerapan SMK3. Dengan IKR sebesar 0,925, strategi ini menduduki peringkat pertama dalam hal efektivitas penanganan hambatan SMK3.
2. Pernyataan nomor 3 memperoleh nilai rata-rata sebesar 4,56, yang menunjukkan bahwa evaluasi dan pembaruan rutin terhadap SOP keselamatan kerja merupakan langkah strategis yang mampu memperkuat implementasi SMK3. IKR sebesar 0,913 menempatkan strategi ini pada posisi kedua.
3. Strategi yang diungkap pernyataan nomor 4, dengan rata-rata skor 4,53, mencerminkan bahwa pemberlakuan sanksi secara tegas terhadap pelanggaran K3 sangat efektif dalam menciptakan budaya kerja yang patuh terhadap prosedur keselamatan. IKR yang dicatat sebesar 0,905, menempatkannya pada peringkat ketiga.
4. Berdasarkan pernyataan nomor 2, strategi berupa pelaksanaan simulasi serta pelatihan K3 secara berkala memperoleh rata-rata skor 4,51. Strategi ini dinilai berdampak positif dalam meningkatkan kesiapsiagaan tenaga kerja, dengan IKR sebesar 0,903 yang menempatkannya di peringkat keempat.
5. Strategi yang tercantum pada pernyataan nomor 5 mencatat rata-rata skor 4,50, yang berarti bahwa pemberian insentif kepada pekerja yang mematuhi aturan K3 juga dianggap efektif dalam mengatasi kendala pelaksanaan SMK3. Dengan IKR sebesar 0,900, strategi ini menempati peringkat kelima, namun tetap berada dalam kategori “sangat efektif”.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai penerapan SMK3 pada proyek pembangunan Gedung Workshop di Cikarang, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1. Penilaian terhadap variabel penerapan SMK3 menghasilkan nilai rata-rata sebesar 4,7 dari skala 5, dengan Indeks Kepentingan Relatif (IKR) tertinggi sebesar 0,94 pada indikator pemahaman dan pelaksanaan prosedur keselamatan kerja. Semua indikator dalam variabel ini masuk dalam kategori “Sangat Baik”, yang mengindikasikan bahwa penerapan SMK3 telah dilakukan dengan sangat optimal dan sesuai dengan standar ISO 45001:2018.
2. Berdasarkan hasil analisis, hambatan paling ringan ditemukan pada indikator keterbatasan biaya K3 dengan nilai rata-rata sebesar 2,46 dan IKR sebesar 0,49, yang dikategorikan sebagai “Kurang Menghambat”. Seluruh lima indikator hambatan memiliki nilai rata-rata di bawah 2,5, menunjukkan bahwa secara umum proyek tidak mengalami kendala signifikan dalam implementasi SMK3.
3. Strategi pelaksanaan SMK3 memperoleh penilaian yang sangat positif dari responden. Indikator strategi berupa safety talk rutin mencatat nilai rata-rata sebesar 4,63 dengan IKR 0,925, disusul oleh evaluasi SOP (rata-rata

4,56, IDR 0,913). Kelima indikator strategi memiliki rata-rata di atas 4,5 dan termasuk dalam kategori “Sangat Efektif”, yang menandakan bahwa pendekatan yang diambil oleh manajemen proyek berhasil mengatasi hambatan dengan optimal dan mendukung penerapan SMK3 secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. : Najwa, H. Hasibuan, R. A. Hasibuan, S. D. Siregar, and A. Hasibuan, “PERAN DIGITALISASI DALAM MONITORING KESELAMATAN KERJA DI PROYEK KONTRUKSI BESAR,” *JURNAL MEDIA AKADEMIK (JMA)*, vol. 3, no. 6, pp. 3031–5220, Jun. 2025, doi: 10.62281.
- [2] H. Lingard and S. Rowlinson, *Occupational Health and Safety in Construction Project Management*. 2015.
- [3] S. Kaelan, B. P. K. Bintoro, and R. E. Nugroho, *Analysis of the Factors Causing Delay in Completion of Light Rail Transit (LRT) Project on Cawang-East Bekasi*. Academia Edu, 2020.
- [4] M. L. M. Astari and I. M. Suidarna, “Implementasi Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (SMK3) pada PT ANTAM Tbk,” *Jurnal Penelitian Manajemen*, 2022.
- [5] L. Fitriana and A. S. Wahyuningsih, “Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) di PT. Ahmadaris,” *Journal of Public Health is Nationally Accredited*, 2017.
- [6] F. Y. Wohon, F. Y. , M. R. J. M. Wohon, and P. Pratas, “Analisa Pengaruh Percepatan Durasi Pada Biaya Proyek Menggunakan Program Microsoft Project 2013 (Studi Kasus: Pembangunan Gereja GMIM Syaloom Karombasan),” *Jurnal Teknik Sipil*, 2015.
- [7] L. M. Kurniawidjaja, *Filosofi dan konsep dasar kesehatan kerja serta perkembangannya dalam praktik*. Kesmas, 2007.
- [8] B. Silalahi and R. B. Silalahi, *Manajemen keselamatan dan kesehatan kerja*. Jakarta: PT. Pustaka Binaman Pressindo, 1995.
- [9] A. M. S. Budiono, R. M. S. Jusuf, and A. Pusparini, *Bunga rampai Hiperkes &KK: Higiene perusahaan, ergonomi, kesehatan kerja dan keselamatan kerja*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2016.
- [10] R. Hasibuan, *Bahan ajar administrasi dan kebijakan kesehatan*. 2020.
- [11] Bagaskara, “Konsep dan Teori Kecelakaan Kerja Menurut Para Ahli,” <http://mutucertification.com>.
- [12] S. Ramli, *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja OHSAS 18001*, vol. Edisi Kedua. Jakarta: Dian Agung, 2010.
- [13] F. Moniaga and V. Rompis, “Analisa sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja (smk3) proyek konstruksi menggunakan metode hazard identification and risk assessmen,” *Jurnal Ilmiah Realtech*, 2019.

PERBANDINGAN UJI CBR LAPANGAN MENGGUNAKAN DCP DAN CBR LABORATORIUM PADA RUAS JALAN DALAM NEGERI HUTUMURI

*Yayan Asmawan¹, Abraham Kalalimbong², Mansye Ronal Ayal³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon

*) Email: yanasmawan@gmail.com

Received: 15 Oktober 2025 ; Revised: 7 November 2025 ; Accepted: 11 November 2025

ABSTRACT

The strength of the subsoil plays a very important role in the planning of road pavement structures. If the soil strength is insufficient, the road pavement may experience damage. Therefore, a soil investigation is necessary to identify the characteristics and bearing capacity of the soil. One method for measuring the soil's bearing capacity is through the calculation of the CBR (California Bearing Ratio) value. This study aims to examine the soil characteristics and compare the CBR values obtained from field measurements using a DCP (Dynamic Cone Penetrometer) with those obtained from laboratory testing. Based on the AASHTO classification, the soil in the road section in Hutumuri is classified as A-2-4, A-2-5, and A-2-7. The results of this study show that the lowest ratio between laboratory CBR and field CBR is 1:1.13 at point 3, while the highest ratio is 1:1.19 at point 1. Based on the obtained ratio, it appears that to determine the CBR value without conducting laboratory CBR testing, one can use a multiplier of 1.13 to 1.19 times the field CBR value obtained from the DCP test.

Keyword: California Bearing Ratio; Dynamic Cone Penetrometer; Bearing capacity; Soil

ABSTRAK

Kekuatan tanah dasar memiliki peran yang sangat penting dalam perencanaan struktur perkerasan jalan. Jika kekuatan tanah tidak mencukupi, perkerasan jalan dapat mengalami kerusakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu penyelidikan tanah untuk mengidentifikasi karakteristik dan kapasitas daya dukung tanah. Salah satu metode mengukur kemampuan dukung tanah adalah melalui perhitungan nilai CBR (California Bearing Ratio). Penelitian ini bertujuan mengkaji karakteristik tanah serta membandingkan nilai CBR hasil pengukuran lapangan menggunakan alat DCP dengan nilai CBR yang dihasilkan melalui pengujian laboratorium. Berlandaskan klasifikasi AASHTO, tanah pada ruas jalan di Hutumuri tergolong dalam kategori A-2-4, A-2-5, dan A-2-7. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai rasio antara CBR laboratorium dan CBR lapangan terendah yaitu 1 : 1,13 pada titik 3 dan nilai tertinggi yaitu 1 : 1,19 pada titik 1. Berlandaskan nilai rasio yang didapatkan terlihat bahwa untuk penentuan nilai CBR tanpa harus melakukan pengujian CBR di laboratorium, dapat menggunakan 1,13 hingga dengan 1,19 kali nilai CBR lapangan hasil uji DCP.

Kata kunci: California Bearing Ratio; Dynamic Cone Penetrometer; Daya dukung; Tanah

1. PENDAHULUAN

[4] menjelaskan bahwa tanah merupakan campuran agregat mineral padat yang tidak terikat secara kimia, bahan organik yang mengalami dekomposisi dalam wujud partikel padat, serta fluida dan gas yang mengisi ruang antar partikel. Dalam konteks konstruksi, terutama pada proyek pembangunan jalan, kekuatan tanah dasar memiliki peranan krusial dalam desain struktur perkerasan jalan. Jika kekuatan tanah tidak memadai, kerusakan pada perkerasan jalan dapat terjadi.

Kondisi tanah eksisting berlandaskan temuan pengamatan di lapangan pada ruas jalan dalam negeri Hutumuri diketahui bahwa, pada saat hujan tanah mudah menyerap air sehingga tanah menjadi sangat lunak, hal ini dikhawatirkan dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan tanah. Sedangkan pada musim kemarau, tanah mengalami penyusutan dan bersifat keras serta mengalami keretakan pada permukaannya. Kondisi tanah seperti ini dikhawatirkan dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan yang akan dibangun di atasnya [11]. Oleh karena itu, diperlukan suatu proses penyelidikan tanah lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dan daya dukung tanah sebagai masukan untuk desain selanjutnya seperti desain perkerasan. Untuk mengukur daya dukung tanah, salah satu metodenya adalah dengan menghitung nilai CBR (California Bearing Ratio), yang dapat dilakukan lewat pengujian laboratorium maupun dengan alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) secara langsung di lapangan.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik tanah serta membandingkan nilai CBR yang diperoleh melalui uji alat DCP di lapangan dengan hasil uji CBR di laboratorium. Penelitian terkait karakteristik tanah dan perbandingan antara CBR yang diukur di lapangan dengan DCP dan CBR yang diuji di laboratorium telah dilakukan sebelumnya, memberikan dasar yang relevan untuk penelitian ini. Sebagai contoh, [1] mengkaji perbandingan nilai CBR lapangan hasil uji DCP dengan nilai CBR laboratorium pada proyek tol Cinere-Jagorawi

seksi III dan tol Serpong-Balaraja seksi A1. Hasil penelitian mereka menunjukkan perbedaan nilai CBR lapangan yang diperoleh dari uji DCP dengan nilai CBR laboratorium, dengan perbandingan sebesar 0,316% pada tol Cinere-Jagorawi dan 6,421% pada tol Serpong-Balaraja. Selain itu, [7] dalam jurnalnya mengenai identifikasi karakteristik tanah di ruas jalan Laha – Negeri Lima, Pulau Ambon, menemukan bahwa tanah di daerah tersebut berlandaskan klasifikasi AASHTO termasuk dalam kelompok A-2-4 dan A-2-6, yang terdiri dari kerikil dan pasir berlanau atau berlempung, dengan nilai CBR antara 1,64% hingga 3,28%. Penelitian oleh [12] mengkaji korelasi antara nilai CBR laboratorium dan pengukuran DCP pada tanah yang dipadatkan di jalan desa Semisir, Kabupaten Kotabaru. Hasilnya, sekitar 80% perhitungan CBR di laboratorium dan lapangan menunjukkan nilai yang hampir sama di ruas jalan tersebut.

2. METODE PENELITIAN

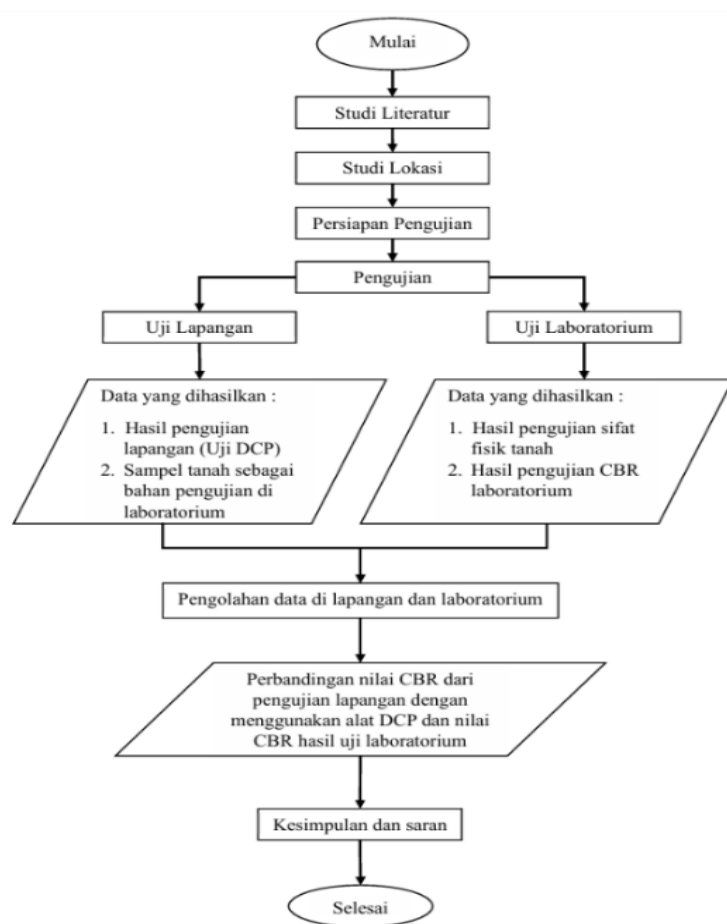
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk pengujian lapangan dilakukan pada 5 titik di lokasi ruas jalan dalam negeri Hutumuri, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon dengan koordinat pada titik 1 yaitu 3°41'48"S 128°16'45"E, titik 2 yaitu 3°41'46"S 128°16'48"E, titik 3 yaitu 3°41'44"S 128°16'51"E, titik 4 yaitu 3°41'43"S 128°16'54"E, dan titik 5 yaitu 3°41'42"S 128°16'57"E. Selanjutnya pengujian laboratorium dilakukan di kantor UPTD laboratorium pengujian bahan dan peralatan berat dinas PUPR provinsi Maluku dengan menggunakan sampel tanah dari lokasi penelitian yakni pada ruas jalan dalam negeri Hutumuri, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon.

Teknik Pengumpulan Data

Data di lapangan dikumpulkan melalui metode uji CBR lapangan dengan prosedur pengujian DCP (Dynamic Cone Penetrometer) di 5 (lima) titik pada ruas penanganan jalan dalam negeri hutumuri STA 0+500, STA 0+600, STA 0+700, STA 0+800, dan STA 0+900 Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel pada 5 (lima) titik tersebut untuk dilakukan pengujian CBR di laboratorium. Tanah yang diambil sebagai sampel merupakan sampel tanah yang terganggu (disturbed).

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik tanah mencakup analisis kadar air, berat volume, berat jenis, analisis saringan, dan batas konsistensi. Hasil dari pengujian ini terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji sifat fisik tanah

Titik	Kadar Air (W)	Berat Volume (γ)	Berat Jenis (Gs)	Analisa saringan, lolos #200	Batas Cair (LL)	Batas Plastis (PL)	Indeks Plastisitas (IP)
	%	gr/cm ³	%	%	%	%	%
1	35,942	1,628	2,290	17,2	36,54	28,25	8,29
2	43,35	1,668	2,427	15,4	44,63	29,31	15,33
3	33,238	1,824	2,459	20,6	26,49	21,14	5,34
4	29,575	1,746	2,333	16,6	38,67	30,06	8,61
5	24,37	1,596	2,183	15,2	50,17	41,49	8,68

Klasifikasi Tanah

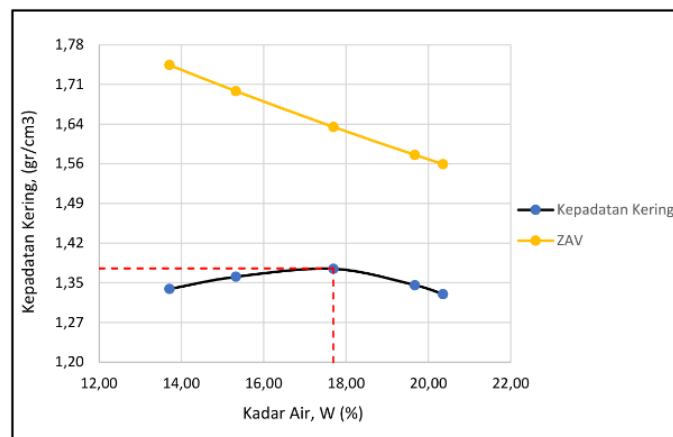
Berlandaskan pengujian sifat fisik tanah yang tercantum pada Tabel 1, tanah dapat diklasifikasikan menggunakan metode AASHTO dan USCS. Klasifikasi tanah di setiap titik lokasi terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil klasifikasi tanah

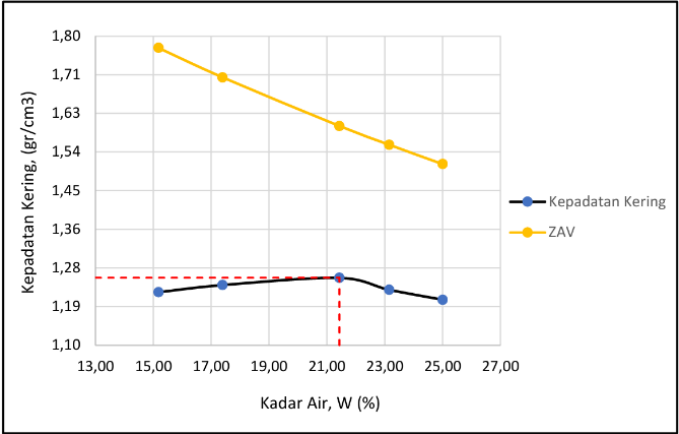
Titik	Klasifikasi sistem <i>AASHTO</i>	Klasifikasi sistem <i>USCS</i>
1	(A-2-4), kerikil atau pasir yang berlanau atau berlempung	SM, pasir berlanau, campuran pasir-lanau
2	(A-2-7), kerikil atau pasir yang berlanau atau berlempung	SM, pasir berlanau, campuran pasir-lanau
3	(A-2-4), kerikil atau pasir yang berlanau atau berlempung	(SM, SC), pasir berlanau, pasir berlempung
4	(A-2-4), kerikil atau pasir yang berlanau atau berlempung	SM, pasir berlanau, campuran pasir-lanau
5	(A-2-5), kerikil atau pasir yang berlanau atau berlempung	SM, pasir berlanau, campuran pasir-lanau

Pengujian Pemadatan Standar

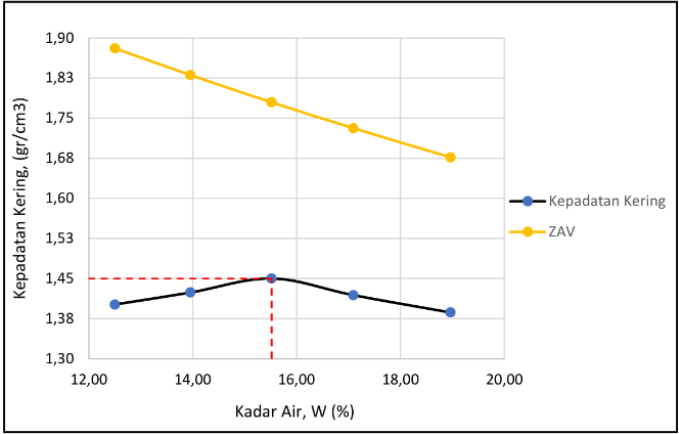
Uji pemadatan tanah dilakukan untuk menentukan nilai kepadatan maksimum atau berat volume kering tanah pada lima titik pengambilan sampel. Hasil dari uji pemadatan tanah berlandaskan standar Proctor terlihat pada gambar 2 hingga gambar 6.



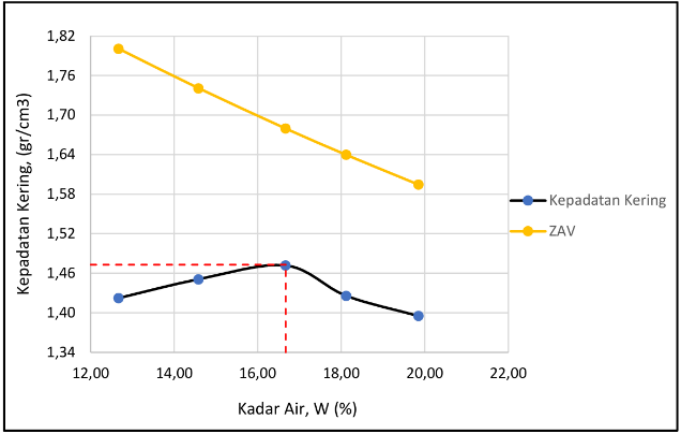
Gambar 2. Hasil uji pemadatan titik 1



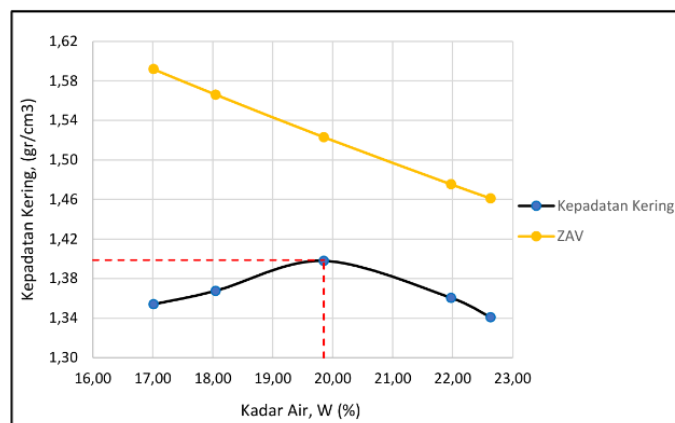
Gambar 3. Hasil uji pemadatan titik 2



Gambar 4. Hasil uji pemadatan titik 3



Gambar 5. Hasil uji pemadatan titik 4



Gambar 6. Hasil uji pemadatan titik 5

Dari gambar 2 hingga gambar 6 diatas, nilai kadar air optimum dan berat volume kering maksimum pada lima titik pengambilan sampel terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji pemadatan standar

Uraian	Berat Volume Kering Maksimum, (gr/cm ³)	Kadar Air Optimum, (%)	Berat Jenis (Gs)
Titik 1	1,37	17,69	2,29
Titik 2	1,25	21,43	2,42
Titik 3	1,45	15,52	2,45
Titik 4	1,47	16,67	2,33
Titik 5	1,40	19,85	2,18

Pengujian CBR Lapangan Menggunakan DCP

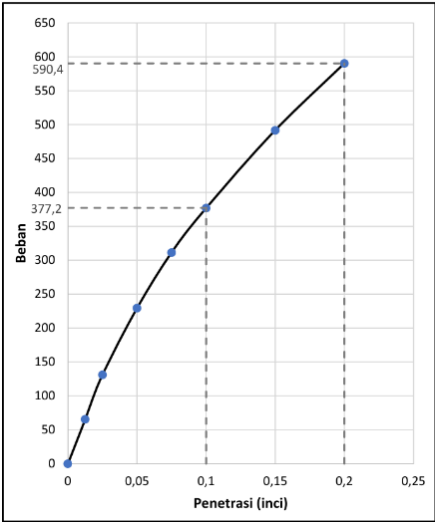
Pengujian dilakukan di 5 titik pada ruas jalan dalam negeri Hutumuri, kecamatan Leitumur Selatan, kota Ambon. Pengujian DCP berlandaskan surat edaran menteri Pekerjaan Umum No. 04/SE/M/2010. Temuan uji DCP dapat terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji CBR lapangan menggunakan DCP

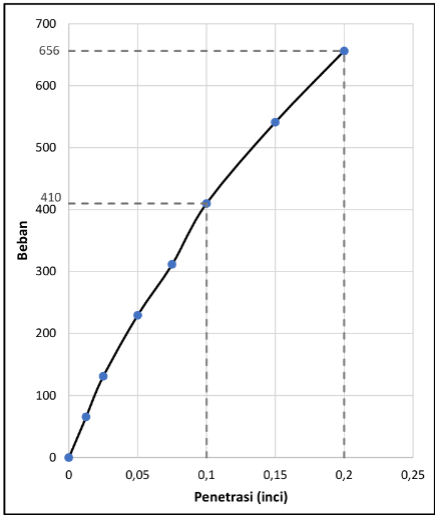
Uraian	DCP (cm/tumbukan)	CBR Lapangan (%)
Titik 1	1,89	10,99
Titik 2	1,70	12,38
Titik 3	2,33	8,68
Titik 4	2,04	10,08
Titik 5	1,73	12,14

Pengujian CBR Laboratorium

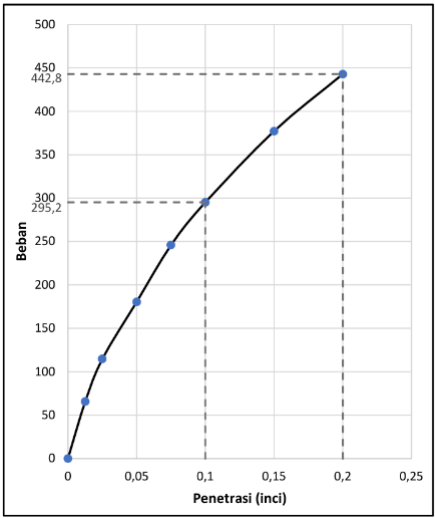
Temuan uji CBR laboratorium pada 5 titik pengambilan sampel pada ruas jalan dalam negeri Hutumuri diperlihatkan pada gambar 7 hingga gambar 11.



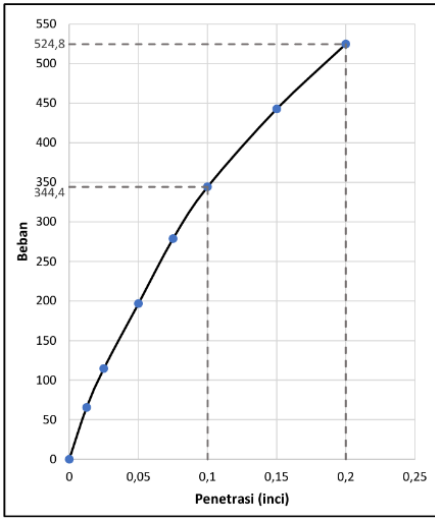
Gambar 7. Hasil uji CBR laboratorium pada titik 1



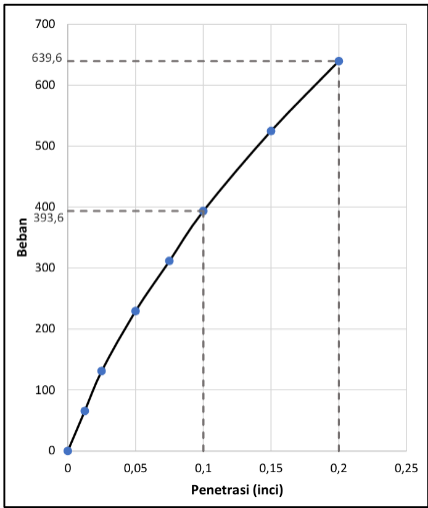
Gambar 8. Hasil uji CBR laboratorium pada titik 2



Gambar 9. Hasil uji CBR laboratorium pada titik 3



Gambar 10. Hasil uji CBR laboratorium pada titik 4



Gambar 11. Hasil uji CBR laboratorium pada titik 5

Dari gambar 2 hingga gambar 6 di atas, nilai CBR laboratorium pada 5 titik pengambilan sampel terlihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji CBR laboratorium

Uraian	CBR 0,1"	CBR 0,2"	Nilai CBR
Titik 1	12,57	13,12	13,12
Titik 2	13,67	14,58	14,58
Titik 3	9,84	9,84	9,84
Titik 4	11,48	11,66	11,66
Titik 5	13,12	14,21	14,21

Rasio Nilai CBR Laboratorium dan CBR Lapangan

Hasil perhitungan rasio antara nilai CBR laboratorium dan nilai CBR lapangan hasil uji DCP di ruas jalan dalam negeri Hutumuri pada titik 1, titik 2, titik 3, titik 4, dan titik 5 terlihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan rasio CBR

Uraian	CBR Laboratorium	CBR Lapangan	Rasio
Titik 1	13,12	10,99	1 : 1,19
Titik 2	14,58	12,38	1 : 1,18
Titik 3	9,84	8,68	1 : 1,13
Titik 4	11,66	10,08	1 : 1,16
Titik 5	14,21	12,14	1 : 1,17

Berlandaskan tabel rekapitulasi hasil perhitungan rasio CBR di atas, diketahui bahwa untuk penentuan nilai CBR tanpa harus melakukan pengujian CBR di laboratorium, harus menggunakan 1,13 hingga 1,19 kali nilai CBR lapangan hasil uji DCP.

4. KESIMPULAN

Berlandaskan temuan yang dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Uji karakteristik tanah yang dilakukan pada lima sampel yang diambil di ruas jalan dalam negeri Hutumuri, Kecamatan Leitumir Selatan, Kota Ambon menunjukkan bahwa menurut klasifikasi AASHTO, kelima titik tersebut termasuk dalam kategori material kerikil atau pasir dengan kandungan lempung atau lanau, yang umumnya dinilai sebagai dasar dengan kualitas sangat baik hingga baik. Berlandaskan sistem klasifikasi USCS, titik 1, 2, 4, dan 5 tergolong dalam kelompok SM (pasir berlanau), sementara titik 3 masuk dalam kelompok SM-SC (pasir berlanau dan berlempung).
2. Nilai CBR laboratorium pada titik 1 tercatat sebesar 13,12%, titik 2 sebesar 14,58%, titik 3 sebesar 9,84%, titik 4 sebesar 11,66%, dan titik 5 sebesar 14,21%. Sementara itu, hasil uji CBR lapangan dengan metode DCP menunjukkan nilai pada titik 1 sebesar 10,99%, titik 2 sebesar 12,38%, titik 3 sebesar 8,68%, titik 4 sebesar 10,08%, dan titik 5 sebesar 12,14%.
3. Perbandingan antara nilai CBR laboratorium dan CBR lapangan berlandaskan uji DCP menunjukkan rasio berikut: pada titik 1, CBR laboratorium 1,19 kali lebih besar dari nilai CBR lapangan, pada titik 2 rasio tersebut adalah 1,18 kali, pada titik 3 adalah 1,13 kali, pada titik 4 adalah 1,16 kali, dan pada titik 5 adalah 1,17 kali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arsy, N. D., & Istiatun, I. (2022, September). Perbandingan Nilai CBR Lapangan Hasil Uji DCP Dengan Nilai CBR Laboratorium (Studi Kasus Pada Proyek Tol Cinere–Jagorawi Seksi III Dan Tol Serpong–Balaraja Seksi A1). In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil* (Vol. 2, pp. 16-24).
- [2] Budi, G.S. 2011. "Pengujian Tanah Di Laboratorium Penjelasan dan Panduan". Graha Ilmu. Yogyakarta.
- [3] Darwis, F., & Mulya, E. R. (2022). Analisis Daya Dukung Tanah Dasar Berdasarkan Uji CBR Laboratorium Dan Uji CBR Lapangan Pada Ruas Jalan Kampus Unipas Morotai. *Journal Of Science and Engineering*, 5(1), 41-48.
- [4] Das, Braja. M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid I. Erlangga. Jakarta.
- [5] Erny, E. (2022). Analisis Korelasi Tahanan Konus Dengan Nilai CBR Laboratorium dan CBR Hasil Uji DCP Studi Kasus Indragiri Hulu dan Pekanbaru. *Jurnal Syntax Admiration*, 3(3), 490-505.
- [6] Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I. Dalam: Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, p. 1.
- [7] Jumbri, I., Kalalimbong, A., & Ayal, M. R. (2025). Identifikasi Karakteristik Tanah Pada Ruas Jalan Laha–Negeri Lima Pulau Ambon. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 240-245.

- [8] Kartika, A., & Sirega, C. A. (2020). Analisis nilai CBR rencana dengan metode uji DCP (Dynamic Cone Penetration) dan metode uji CBR laboratorium (rendaman) pada proyek jalan tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan (Cisumdawu) fase 2. In Prosiding SoBAT (Seminar Sosial Politik, Bisnis, Akuntansi dan Teknik) Universitas Sangga Buana YPKP (pp. 44-60). LPPM Universitas Sangga Buana YPKP.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum, Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Rasio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2010.
- [10] Meisaroh, M., Sulistio, R., & Kusumah, H. (2022, December). Perbandingan Uji California Bearing Ratio (CBR) Lapangan dan Laboratorium pada Jalan Masuk Masjid Yayasan Cinta Dakwah. In SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan) (Vol. 4, pp. 418-423).
- [11] Nelson, J. D., & Miller, D. J. (1992). Expansive soils: Problems and practice in foundation and pavement engineering. New York, NY: John Wiley & Sons.
- [12] Permatasari, S. (2021). Hubungan Nilai CBR Laboratorium Dan DCP Pada Tanah Yang Dipadatkan Pada Ruas Jalan Desa Semisir Kabupaten Kotabaru. TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil, 10(2), 133-138.

ANALISIS POLA RUANG DAN TIPOLOGI ARSITEKTUR MARITIM DI PESISIR PANTAI LEATO SELATAN KOTA GORONTALO

***Mohammad Imran¹, Reinal Putalan², Didiet Haryadi Hakim³, Mohamad Raihan Bahmid⁴, Mohamad Teguh Isima⁵**

^{1,3,4,5}Program Studi Arsitektur Bangunan Gedung, Program Vokasi, Universitas Negeri Gorontalo, Kota Gorontalo,

²Program Studi Agribisnis Perikanan, Program Vokasi, Universitas Negeri Gorontalo, Kota Gorontalo

*) Email: imransains02ars@gmail.com

Received: 30 Oktober 2025 ; Revised: 31 Oktober 2025 ; Accepted: 1 November 2025

ABSTRACT

Coastal areas are strategic regions that reflect the interaction between humans and the maritime environment. In Leato Selatan Village, Gorontalo City, there is a coastal community settlement with distinctive spatial characteristics and architectural forms as a result of adaptation to local geographical and cultural conditions. This study aims to analyze the spatial patterns of the settlement and the maritime architectural typology in the area. The method used in this study is a descriptive qualitative approach with data collection techniques through field observations, in-depth interviews, visual documentation, and literature studies. The analysis was conducted on the spatial arrangement, building orientation, and architectural elements that reflect adaptation to the coastal environment. The results of this study identified the spatial patterns in South Leato Village as coastal fishing settlements and classified the maritime architectural typology that reflects local wisdom and socio-ecological factors in South Leato Village.

Keyword: *Spatial Patterns; Typology; Maritime Architecture; Coastal Settlements; Adaptation.*

ABSTRAK

Wilayah pesisir merupakan kawasan strategis yang mencerminkan interaksi antara manusia dan lingkungan maritim. Di Kelurahan Leato Selatan, Kota Gorontalo, terdapat permukiman masyarakat pesisir yang memiliki karakteristik ruang dan bentuk arsitektur yang khas sebagai hasil adaptasi terhadap kondisi geografis dan budaya lokal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola ruang permukiman serta tipologi arsitektur maritim yang ada di kawasan tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kualitatif deskriptif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi lapangan, wawancara mendalam, dokumentasi visual, dan studi literatur. Analisis dilakukan terhadap susunan ruang, orientasi bangunan, serta elemen-elemen arsitektural yang mencerminkan adaptasi terhadap lingkungan pesisir. Hasil penelitian ini ialah teridentifikasinya pola tata ruang yang ada di Kelurahan Leato Selatan sebagai pola permukiman nelayan pesisir pantai dan klasifikasi tipologi arsitektur maritim yang mencerminkan kearifan lokal serta faktor sosial-ekologis yang ada di Kelurahan Leato Selatan.

Kata kunci: *Pola Ruang; Tipologi; Arsitektur Maritim; Permukiman Pesisir; Adaptasi.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia disebut sebagai Negara Maritim, hal ini terlihat secara geografis merupakan sebuah negara kepulauan[1] dengan 2/3 luas lautan lebih besar daripada daratan, memiliki luas perairan mencapai 3,25 juta km² atau sekitar 63% wilayah Indonesia. Selain itu Indonesia juga memiliki 17.500 pulau besar dan pulau kecil dengan panjang garis pantai ± 81.000 km, sehingga Indonesia seringkali disebut juga sebagai negara daerah pesisir atau Negara Bahari. Wilayah pesisir memiliki peran penting dalam membentuk identitas budaya, sosial, dan ekonomi masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Selain itu, pesisir pantai merupakan daerah yang sangat menarik untuk ditata dan diolah menjadi suatu kawasan area terbuka atau eksplorasi waterfront city[2], namun pesisir pantai ini menjadi daya tarik tersendiri oleh para nelayan untuk mendirikan bangunan hunian/permukiman dengan tujuan agar dekat dengan tempat mencari nafkah mereka.

Permukiman secara yuridis (menurut Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2011 tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman) merupakan bagian dari lingkungan hidup di luar kawasan lindung baik berupa kawasan perkotaan maupun perdesaan yang berfungsi sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat kegiatan yang mendukung perikehidupan dan penghidupan. Perspektif penataan terhadap permukiman yang ada di pesisir pantai masih bersifat sektoral, yang mana setiap sektor dilaksanakan tanpa mengingat sektor terkait lainnya[3]. Permukiman yang ada sepanjang pesisir pantai memiliki ciri khas dan keunikan karakteristiknya, sistem sosial dan budaya masyarakat setempat terbentuk kental dan menjadi aspek yang berpengaruh terhadap karakteristik kawasan tersebut. Beberapa contoh karakter tersebut yakni pemanfaatan ruang bersama dan karakteristik visual rumah masyarakat setempat. Permukiman pesisir dikenal sebagai daerah yang memiliki perkembangan yang dinamis dan

cepat karena posisinya yang berada di perbatasan perairan dan daratan[4], hal ini menjadi salah satu pendorong tingginya tingkat migrasi para pendatang dari berbagai wilayah lain.

Kota Gorontalo sebagai salah satu kota yang terletak di Kawasan Teluk Tomini di Semenanjung Utara Pulau Sulawesi, salah satu daerah yang berada di pesisir pantai tersebut ialah Kelurahan Leato Selatan. Wilayah yang mempunyai posisi strategis ini, terletak di perairan Teluk Tomini dan dilalui jalur jalan Nasional lintas Selatan yang menghubungkan Provinsi Gorontalo dan Provinsi Sulawesi Utara serta berbatasan langsung dengan Taman Nasional Bogani Nani Wartabone[5]. Salah satu wilayah pesisir yang memiliki potensi besar namun belum banyak dikaji secara mendalam adalah Kelurahan Leato Selatan Kecamatan Dumbo Raya Kota Gorontalo. Sebagai kawasan yang berada di tepian laut, masyarakat di wilayah ini telah mengembangkan pola hunian dan arsitektur yang secara alami beradaptasi dengan kondisi lingkungan maritim[6], sehingga dibutuhkan kondisi kelayak hunian bagi suatu permukiman/human settlements yang memberikan kenyamanan, keamanan, kesehatan dan kemudahan akses kepada masyarakat[7]. Namun demikian, perkembangan modernisasi dan tekanan terhadap lahan pesisir sering kali menyebabkan terjadinya perubahan fungsi ruang dan tipologi arsitektur yang tidak selalu sesuai dengan karakter lokal.

Pola ruang dan tipologi arsitektur maritim mencerminkan bagaimana masyarakat pesisir membentuk tata ruang hunian, penggunaan lahan, serta bentuk dan struktur bangunan berdasarkan pengetahuan lokal, kebutuhan sosial-ekonomi, dan kondisi geografis[9]. Kajian terhadap pola ruang dan tipologi arsitektur maritim di Leato Selatan menjadi penting untuk mendokumentasikan pengetahuan arsitektural lokal, menjaga identitas kawasan, serta sebagai dasar perencanaan dan pengembangan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, diajukan suatu proposal penelitian dengan judul “*Analisis Pola Ruang dan Tipologi Arsitektur Maritim di Pesisir Pantai Leato Selatan Kota Gorontalo*”. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola ruang dan tipologi arsitektur maritim yang berkembang di wilayah pesisir Leato Selatan. Dengan demikian, akan dilakukan identifikasi karakteristik fisik kawasan dan juga sosial budaya masyarakatnya sebagai langkah awal kajian dengan menggunakan beberapa teori[10]. Olehnya Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Bagaimana karakteristik pola ruang permukiman masyarakat pesisir di Leato Selatan? (2) Bagaimana tipologi arsitektur maritim yang diterapkan di pesisir Leato Selatan?

2. STATE OF THE ART

Penelitian terdahulu mengenai hunian/permukiman pesisir di Gorontalo dilihat pada bentuk tabel berikut ini :

Tabel 1. Penelitian Terdahulu Mengenai Permukiman Pesisir di Gorontalo

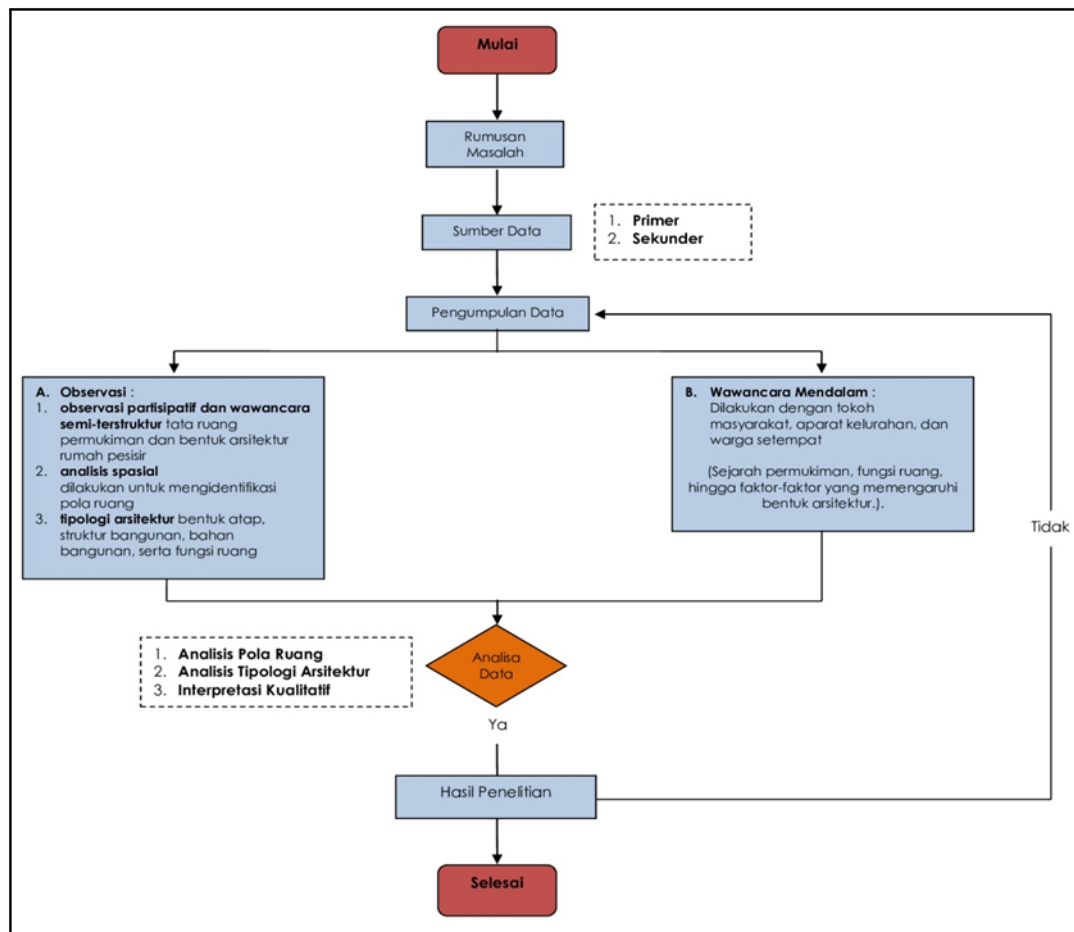
Judul Penelitian&Tahun	Tujuan Penelitian	Metodologi		Hasil Penelitian
		Subjek& Metode Penelitian	Teknik Pengambilan Data	
Karakteristik Hunian Masyarakat Pesisir Studi Kasus : Permukiman Tepi Pantai Desa Botutonuo, Kabupaten Bone Bolango[2]. (2018)	Mengidentifikasi jenis dan karakter bangunan; Penataan pola Permukiman hunian masyarakat.	Subjek : Pesisir pantai Desa Botutonuo. Metode: Campuran	Karakteristik hunian pesisir diteliti Berdasarkan fisik bangunan dan perilaku masyarakat, sedangkan hasil Pengukuran Panas lingkungan, kecepatan angin dan material serap panas pada bangunan diolah dengan menggunakan Microsoft Excell.	Kondisi ekologipesisir Desa Botutonuo harus menjadi pertimbangan utama dalam pengembangan permukiman masyarakat pesisir saat sekaran g dan pada masa yang akan datang.
Konsep Perencanaan Perumahan Nelayan di Pantai Pohnuato Pendekatan Pada Arsitektur Vernacular[8]. (2019)	Mendapatkan konsep perencanaan kawasan yang tepat bagi perumahan nelayan khususnya pada facade bangunan.	Subjek : Perumahan nelayan desa pohnuato timur. Metode : Kualitatif	Kebutuhan perencanaan perumahan nelayan dipantai pohnuato ini berdasarkan pada kebutuhan terhadap nelayan.	Penataan Permukiman Nelayan Harus di Perhatikan Karakter Fisik permukiman nelayan dengan karakter bangunan vernakular suatu daerah.
Synergy of Improving The Quality of Self-Help Homes on Environmental Sanitation in The Coastal Coast of Leato Selatan Village[6].(2020)	Mendorong prakarsa dan usaha masyarakat agar memiliki kemampuan dalam merencanakan, melaksanakan, dan mengawasi Pembangunan rumah sendiri secara mandiri.	Subjek : 20 rumah masyarakat Kelurahan Leato Selatan. Metode : Kualitatif	Pendataan/ survey langsung RTLH sebanyak 20 rumah warga.	Program BSPS tahun 2020 salah satunya Kelurahan Leato Selatan kebagian kuota sebanyak 20 rumah warga calon penerima bantuan.

Sumber: AnalisisPeneliti, 2025

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada: (1) Fokus penelitian Pola Ruang dan Tipologi Arsitektur Maritim. (2) Integrasi antara Teknik observasi partisipatif dan wawancara semi-terstruktur dengan analisis spasial.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif. Peneliti memahami konteks ruang dan bentuk bangunan berdasarkan pengalaman serta interaksi masyarakat pesisir dengan lingkungannya. Jenis penelitian ini bersifat eksploratif dan interpretatif. *Flow Chart*/Diagram Alir penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 1. Diagram alir (*flow chart*) Penelitian

4. HASIL & PEMBAHASAN

a. Tahapan & Capaian Riset Pola Ruang dan Tipologi Arsitektur Maritim

- 1) Rancangan & Perizinan (Selesai)
 - a) Output : proposal riset, rencana kerja mingguan, lembar persetujuan, surat pengantar ke kelurahan/RT.
 - b) Capaian : akses lapangan disetujui; daftar informan kunci (nelayan, pengusaha ikan, pengrajin perahu, RT/RW) terverifikasi.
- 2) Pengumpulan Data Lapangan dibagi menjadi 3 Segmen (Selesai)
 - a) Observasi partisipatif : pengukuran fisik rumah, tipologi arsitektur maritim, perawatan perahu, aktivitas rumah tangga di pangkalan perahu.
 - b) Wawancara semi-terstruktur : 18 informan (diambil berdasarkan kesamaan karakteristik pola ruang dan tipologi bangunan pesisir);
 - c) Topik : Aspek Tata Ruang Permukiman, Aspek Arsitektur Rumah Pesisir, Tata Ruang Permukiman, Fungsi Ruang & Aktivitas Pesisir, Tipologi & Elemen Arsitektur Rumah, Adaptasi terhadap Lingkungan Pesisir, Nilai Sosial-Budaya.



Gambar 1. Dokumentasi Segmen 1



Gambar 2. Dokumentasi Segmen 2



Gambar 3. Dokumentasi Segmen 3

3) Pengolahan & Analisis (Selesai)

- a) Transkripsi & coding awal (tematik) : mobilitas laut-darat, ekonomi perikanan, adaptasi iklim/pasang, relasi ruang sakral-profesional.
- b) Analisis spasial awal : digitasi zona aktivitas, jalur sirkulasi, kepadatan bangunan, set-back terhadap garis pasang.
- c) Tipologi arsitektur: klasifikasi awal 4 tipe bangunan maritim + 2 sub tipe.

b. Data & Hasil Analisa

1) Ringkasan Data Terkumpul

Tabel 1. Ringkasan Data

Kategori	Jumlah / Cakupan	Catatan
Informan (wawancara)	18 orang	10 nelayan, 8 ibu rumah tangga, yang terdiri dari 8 RT dan 4 RW
Sesiobservasi	6 hari	Terbagimenjadi 3 segmen
Titik GPS aktivitas	18 titik	Rumah Masyarakat
Foto berlokasi (geotag)	90 foto	diberi kode aktivitas & kondisi cuaca
Sketsapartisipatif	3 lembar	batas kampung, jalurtradisional, area rawanabrasi
Citra dasar/digitasi	4 set layer	shoreline, sebaranpermukimannelayan, kepadatanbangunan, set-back

No	Nama	Umur	Pekerjaan	Status rumah	Lama tinggal (th)	Pola ruang	Kerapatan & Jarak	Orientasi bangunan
1	Emi S. Nuri	71	Nelayan	Milik sendiri	29	Linear mengikuti partakulian; kerapatan rapat	Rapat n/a	Menghadap laut
2	Rolan Pakaya	21	Nelayan	Milik pribadi	10	Menyebar; kerapatan sedang	Sedang 7 m	Menghadap gunung
3	Melani Kaba	33	Ibu rumah tangga	Milik orang tua	33	Menyebar; kerapatan sedang	Sedang 3 m	n/a (kasin kilim)
4	Neneng Jansa'a	42	Nelayan	Milik sendiri	10	Menyebar; kerapatan sedang	Sedang 4 m	Menghadap jalan
5	Pipon Ali	44	Ibu rumah tangga	Milik orang tua	44	Kluster; kerapatan sedang	Sedang 1 m	Menghadap laut & jalan
6	Rina Kaba	58	Ibu rumah tangga	Milik sendiri	58	Menyebar; kerapatan sedang	Sedang 2,5 m	Menghadap jalan
7	Teti Yunus	48	Nelayan	Milik orang tua	29	Kluster; kerapatan rapat	Rapat 1 m	Menghadap jalan
8	Uten Kaba	42	Nelayan	Milik sendiri	7	Menyebar; kerapatan rapat	Rapat 0,3 m	Menghadap rumah (arah lain)

Ruang bersama	Sirkulasi (jenis lebar)	Fungsi pejalan di rumah	Tipologi (atap, panggung)	Pondasi dinding	Ketinggian lantai (cm)	Utilitas (D/A/S/P)	Perubahan 5-10 th	Akuran lokal
Demaga kecil; jalan setapak	Pejalan motor; perahu 1	Penyimpanan perahu/alat	Pelana; tidak panggung	Batu kali; bata/beton	20,0	Drainase; Air Sanitasi; Penerangan	Ada jembatan penghubung akses jalan	Ada aturan jarak
Jalan setapak	Pejalan motor 2	Penyimpanan alat; menjerum	Limasan; tidak panggung	Batu kali; bata/beton	20,0	Air Sanitasi; Penerangan	Jalan lebih baik	Ada aturan jarak & ketinggian
Jalan setapak	Pejalan motor 2,5	Penyimpanan perahu/alat; tempat menyimpan ikan	Limasan; tidak panggung	Batu kali; bata/beton	20,0	Drainase; Air Sanitasi; Penerangan	Renovasi atap seng	Tidak ada
Lapangan; jalan setapak	Pejalan motor 2	Penyimpanan peralatan melaut	Limasan; tidak panggung; derah L	Batu kali; bata/beton	60,0	Drainase; Air Sanitasi; Penerangan	Rumah patah – bata/bata	Pondasi depan lebih tinggi 60 cm (buntar)
Jalan setapak	Pejalan motor 2,5	Penyimpanan alat melaut	Pelana; tidak panggung	Batu kali; bata/beton		Drainase; Air Sanitasi; Penerangan	Selam ada	Tidak ada
Jalan setapak	Pejalan motor 2,5	Tidak ada	Limasan; tidak panggung	Batu kali; bata/beton	20,0	Drainase; Air Sanitasi; Penerangan	Renovasi 30,20 (uang tamu & atap)	Tidak ada
Demaga kecil; jalan setapak	Pejalan motor; perahu 2	Perbaikan jaring (alat di perahu)	Limasan (obsevasi) / pelana (narakis) tidak panggung	Batu kali; bata/beton	15,0	Drainase; Air Sanitasi; Penerangan	Perubahan tanggul jalan jembatan	Tidak ada
Jalan setapak	Pejalan motor 2,5	Penyimpanan alat melaut	Pelana; tidak panggung	Batu kali; bata/beton	100,0	Drainase; Air Sanitasi; Penerangan	Selam ada jalan paving	Tidak ada

Gambar 4. Analisa Data pada Rumah di Segmen 1

No	Nama	Umur	Pekerjaan	Status rumah	Lama tinggal (th)	Pola ruang	Kerapatan & Jarak	Orientasi bangunan
1	Abas Rida	63	Nelayan	Milik pribadi	20	Menyebar	Sedang 2,5 m	Menghadap laut
2	Nuvis Ibrahim	58	Nelayan	Milik orang tua	31	Linear	Rapat 1,5 m	Menghadap jalan
3	Rianto Latif	49	TGSM Pelabuhan Gorontalo	Milik sendiri	26	Linear	Sedang 1 m	Menghadap jalan
4	Sirun Adam	62	Nelayan	Milik sendiri	38	Linear; menyebar	Rapat 1 m	Menghadap jalan
5	Suganto Djafar	50	Nelayan	Milik pribadi	25	Menyebar	Rapat 1 m	Menghadap laut

Ruang bersama	Struktur (jenis lebar)	Fungsi peisir di rumah	Tipologi (atap panggung)	Pondasi dinding	Ketinggian lantai (cm)	Utilitas (D/A/S/P)	Perubahan 5-10 th	Aturan lokal
Jalan setapak	Pegalan motor 1.0	Penyimpanan perahu/alat	Pelana tidak panggung	Batu kali bata/beton (cat)	50	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Jalan paving (akses)	Tidak ada
Jalan setapak (akses warga)	Pegalan motor 2.5	Tempat bertemu	Pelana tidak panggung	Batu kali bata/beton (cat)	50	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Belum ada	Tidak ada
Jalan setapak (akses warga)	Pegalan motor 1.5	Perbaikan jaring penyimpanan alat	Limasan tidak panggung	Batu kali bata/beton (cat)	30	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Pernambihan teras (lantai plester)	Tidak ada
Jalan setapak (akses masyarakat)	Pegalan motor 2.0	Perbaikan jaring penyimpanan alat	Limasan/kombinasi tidak panggung	Batu kali bata/beton (cat)	30	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Renovasi rumah tua	Tidak ada
Jalan setapak	Pegalan 2.5	Penyimpanan perahu/alat	Limasan tidak panggung	Batu kali bata/beton (cat)	20	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Ada (tidak dinikmati)	Tidak ada

Gambar 5. Analisa Data pada Rumah di Segmen 2

No	Nama	Umur	Pekerjaan	Status rumah	Lama tinggal (th)	Pola ruang	Kepadatan & Jarak	Orientasi bangunan
1	Hadja Minto	74	Ibu rumah tangga	Milik sendiri	35	Menyebar	Ranggang n/la	Menghadap jalan
2	Sri Kulukum	38	Ibu rumah tangga	Milik sendiri	8	Menyebar	Sedang 2.5 m	Menghadap jalan (arah luar rumah)
3	Swinidina	31	Ibu rumah tangga	Milik orang tua	31	Linear	Rapat 1.5 m	Menghadap jalan
4	Yati Lukum	35	Ibu rumah tangga	Milik sendiri	10	Menyebar	Sedang 2.0 m	Menghadap jalan
5	Yusran Harun	43	Nelayan	Milik sendiri	43	Linear	Rapat 1.5 m	Menghadap jalan

Ruang bersama	Struktur (jenis lebar)	Fungsi peisir di rumah	Tipologi (atap panggung)	Pondasi dinding	Ketinggian lantai (cm)	Utilitas (D/A/S/P)	Perubahan 5-10 th	Aturan lokal
Jalan setapak	Pegalan motor 3	Tidak ada	Limasan tidak panggung	Batu kali bata/beton	20	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Tidak ada	Tidak ada
Jalan setapak	Pegalan motor n/la	Perbaikan jaring	Limasan tidak panggung	Batu kali bata/beton	20	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Renovasi atap (karat angin kuat)	Tidak ada
Jalan setapak	Pegalan motor 2.0	Tidak ada	Pelana tidak panggung	Batu kali bata/beton	60	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Belum ada	Tidak ada
Jalan setapak	Pegalan motor 2.5	Perbaikan jaring	Pelana tidak panggung	Batu kali bata/beton	20	Air Sanitasi Penerangan (drainase tidak tercatat)	Renovasi dapur (dari panggung ke pondasi tinggi)	Tidak ada
Jalan setapak	Pegalan motor 2.0	Tidak ada	Pelana tidak panggung	Batu kali bata/beton	60	Drainase Air Sanitasi Penerangan	Renovasi (2000) ke rumah modern 2024	Tidak ada

Gambar 6. Analisa Data pada Rumah di Segmen 3

c. Tipologi Arsitektur Maritim (klasifikasi awal)

1) Rumah Panggung Pesisir (T1):

a) Ciri : struktur kayu/panggung, kolong adaptif (simpanan jaring/peralatan), serambi lepas untuk menjemur.

b) Variasi : T1a (atap pelana), T1b (atap limasanringan).

2) Bangsal Perahu & Galangan Kecil (T2) :

a) Ciri : atap bentang sederhana, bukaan lebar tanpa dinding permanen, lantai tanah/pasir padat.

3) Rumah BiasaPesisir (T3) :

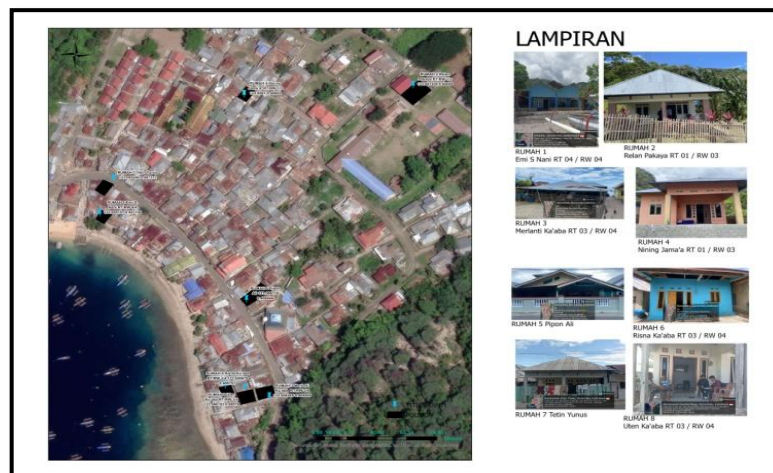
a) Ciri : struktur beton, serambi lepas untuk menjemur.

b) Variasi : T3a (atap pelana), T3b (atap limasanringan).

Temuan tipologi kunci : hubungan langsung tipe T1–T2 dan T3–T2 di “koridor produksi” (rumah → bangsal → tambat). Jarak rata-rata rumah ke titik tambat utama ~60–120 m (jalan setapak + akses pasir)[11].

d. Pola Ruang & Struktur Spasial

- 1) Zonasi fungsional berlapis :
 - a) L1 (litoral/garis air) : tambat perahu, ruang bersih-kotor bertemu (pembongkaran ikan vs bilas peralatan).
 - b) L2 (transisi pasir-permukiman) : bangsal perahu, jemur jaring, perbaikan; ruang fleksibel tergantung pasang.
 - c) L3 (permukiman) : rumah panggung, rumah beton, warung, musholakecil, sirkulasipejalan/paving blok, pasir.
 - 2) Sirkulasi utama : 3 jalur masuk perahu; 2 koridor darat ke titik pelelangan.
 - 3) Ruang komunal : tepi dermaga kecil (sore), halaman bangsal (pagi) → titik informasi & aktivitas masyarakat.
 - 4) Isu kerentanan: penyempitan set-back di 2 segmen ($\pm 10\text{--}15$ m dari pasang purnama), genangan saat gelombang tinggi; material ringan memudahkan pemulihan namun rentan angin.
- e. Analisis Kuantitatif Spasial (awal)
- 1) Segmen 1 (Zona Tepi Laut & Jalur Akses Utama)



Gambar 7. Peta Pemanfaatan Pola Ruang dan Tipologi Arsitektur Permukiman Pesisir Pantai Leato Selatan (Segmen 1)

- a) Pola Ruang
 - Permukiman sangat rapat, membentuk klaster linear mengikuti jalan tepipantai; jarakbangunan–jalan umumnya sangat minim ($\approx 0\text{--}2$ m) sehingga fasad rumah sekaligusberfungsiisebagai batas ruang publik.
 - Aktivitas pesisir (perahutambat, akses ke air) berada sangat dekat dengan permukiman; tepipantaimenjadi ruang bersama untuk bongkar muat, berkumpul, dan kegiatanekonomikecil.
 - Gang sempit menghubungkan deret rumah ke garis air; ruang terbuka yang ada bersifat sisa (kantong kecil) dan dipakai untuk parkir motor/aktivitas harian.
 - b) Tipologi Arsitektur
 - Dominan rumah dinding pasangan bata/beton dengan atap seng/pelana, teras memanjang di depan (fungsi semi-komunal).
 - Banyak rumah memiliki perkerasan halaman tipis atau teras sebagai transisi kering–basah (adaptasi dari percikan air/banjir rob ringan).
 - Ornamen sederhana; pagar rendah sering hadir sebagai penanda privat tanpa memutus interaksi jalan.
 - Beberapa unit menunjukkan fungsi campuran (rumah–toko/warung) di fasad depan, menegaskan kedekatan dengan ekonomi maritim.
 - c) Implikasi
 - Konektivitas ke laut sangat baik, namun kerentanan terhadap genangan/abrasi dan kebakaran permukiman tinggi akibat kerapatan dan bahan atap seng
- 2) Segmen 2 (Zona Permukiman Dalam dengan Kantong Terbuka)



Gambar 8. Peta Pemanfaatan Pola Ruang dan Tipologi Arsitektur Permukiman Pesisir Pantai Leato Selatan (Segmen 2)

a) Pola Ruang

- Masih padat, tetapi muncul kantong ruang terbuka (lapak/pekarangan) di tengah blok yang berperan sebagai *buffer* sekaligus tempat aktivitas domestik (jemur, kerja ringan).
- Orientasi rumah beragam: tidak semua menghadap jalan utama; beberapa memanfaatkan gang internal sehingga membentuk pola “grid organik”.
- Setback depan sedikit lebih lega ($\approx 1-3$ m) dibanding segmen 1, memungkinkan parkir motor/teras aktif.

b) Tipologi Arsitektur

- Varian fasad lebih beragam: teras beratap, pilar sederhana, ventilasi roster, dan warna-warna terang (biru/hijau).
- Struktur tetap didominasi non-panggung (pondasi batu/beton rendah) dengan lantai dinaikkan tipis untuk mengatasi rembesan air.
- Beberapa rumah menunjukkan perluasan bertahap (tambah teras/kanopi), menandakan pertumbuhan inkremental sesuai kebutuhan keluarga.

c) Implikasi

- Kehadiran kantong terbuka meningkatkan resiliensi (ruang kumpul/evakuasi lokal), namun akses pemadam & sirkulasi masih terbatas oleh lebar gang.

3) Segmen 3 (Zona Tepi Lereng/Vegetasi & Jalur Kolektor Sekunder)

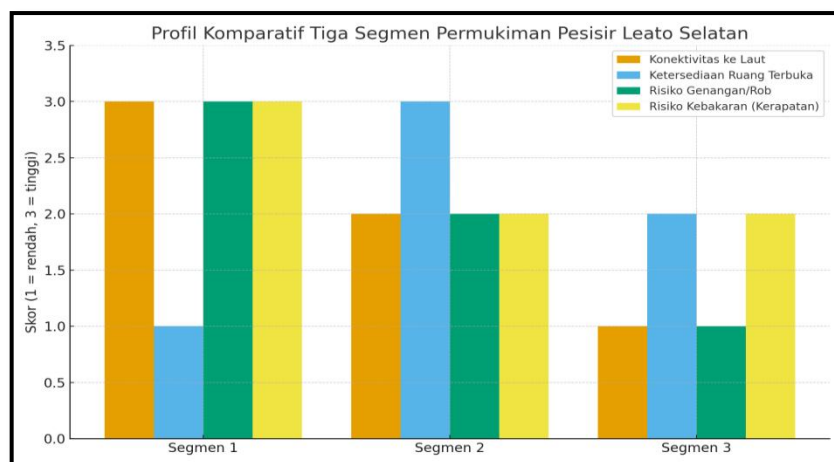


Gambar 9. Peta Pemanfaatan Pola Ruang dan Tipologi Arsitektur Permukiman Pesisir Pantai Leato Selatan (Segmen 3)

- a) Pola Ruang
- Deret bangunan mengikuti jalur jalan sekunder di kaki lereng/vegetasi; pola linear dengan sela lebih jelas dibanding segmen 1–2.
 - Ruang antarbangunan sedikit lebih lebar; terdapat bidang lahan yang berfungsi sebagai *buffer alami* (pepohonan/semak) di sisi belakang.
 - Akses ke laut *tidak selangsung* segmen 1; aktivitas maritim lebih berupa pendukung (penyimpanan peralatan, hunian pekerja).
- b) Tipologi Arsitektur
- Massa bangunan cenderung memanjang melintang jalan, beberapa dengan kanopi besar untuk area duduk/berteduh.
 - Bahan tetap bata/beton + atap seng, namun ada contoh bukaan lebar (teras/serambi) untuk ventilasi silang—adaptasi terhadap panas/lembap.
 - Ketinggian lantai relatif konstan (non-panggung), mengandalkan drainase jalan dan kemiringan tapak.
- c) Implikasi
- Posisi sedikit menjauh dari garis air member risiko banjir/rob lebih rendah, namun perlu perhatian pada stabilitas lereng dan drainasedarihulu ke hilir permukiman
- 4) Ringkasan Lintas Segmen
- Koridor evakuasi & lebar gang: standar minimum lebar gang dan penanda jalur menuju titik kumpul di kantong terbuka (segmen 2 & 3) serta tepi pantai aman (segmen 1).
 - Mitigasi air & panas: talang–drainase mikro, perkerasan berpori, penambahan vegetasi rindang; dorong ventilasi silang dan atap reflektif.
 - Manajemen risiko kebakaran: jarak antarbangunan minimum saat renovasi, hydrant komunal, dan material penutup atap yang lebih tahan api bila memungkinkan.
 - Pelestarian karakter maritim: pertahankan teras aktif di fasad sebagai ruang sosial, sediakan ruang tambat/perawatan perahu yang tertata agar tidak mengganggu sirkulasi.

Tabel 2. Analisa Pola Ruang dan Tipologi Arsitektur

Segmen	Pola Ruang	Tipologi Arsitektur
Segmen 1 – Tepi Laut & Akses Utama	Klaster linear sangat rapat mengikuti jalan tepi pantai; gang sempit ke garis air; ruang bersama di tepi pantai; ruang terbuka sisa.	Rumah bata/beton non-panggung, atap seng/pelana; teras memanjang semi-komunal; fungsi campuran rumah–toko.
Segmen 2 – Dalam Blok & Kantong Terbuka	Padat dengan kantong ruang terbuka di tengah blok; orientasi beragam membentuk grid organik; setback 1–3 m.	Fasad beragam (teras beratap, pilar, roster); pondasi rendah, lantai dinaikkan tipis; perluasan inkremental.
Segmen 3 – Tepi Lereng & Jalan Sekunder	Linear dengan sela mengikuti jalan sekunder; buffer vegetasi/lereng di belakang; akses ke laut tidak langsung.	Massa memanjang sejajar jalan; bukaan lebar/serambi; non-panggung dengan andalan drainase jalan.

**Gambar 10.** Grafik Komparatif Permukiman Pesisir Pantai Leato Selatan

f. Integrasi Teknik : Observasi Partisipatif + Wawancara Semi-Terstruktur + Analisis Spasial

1) Alur Integrasi

- Observasi partisipatif → memetakan ritme aktivitas harian/musiman dan mengidentifikasi “momen kritis” ruang (pola ruang permukiman nelayan).
- Wawancara semi-terstruktur → memvalidasi makna ruang & keputusan desain (mengapa orientasi rumah menghadap pantai/membelakangi pantai, orientasi bangsal ke angin dominan, pembagian ruang bersih/kotor).
- Analisis spasial (GIS) → mengkuantifikasi jarak, kepadatan, set-back, serta jalur sirkulasi; menguji hipotesis dari (1) & (2).

g. Matriks Integrasi

Tabel 3. Matriks Integrasi

Pertanyaan Riset	Bukti Observasi	Narasi Wawancara	Indikator Spasial	Kesimpulan Sementara
Bagaimana koridor produksi terbentuk?	Arus orang & barang pagi/sore	“Bangsal harus dekat tambat”	Jarak rumah–tambat 60–120 m; lebar koridor 6–8 m	Koridor produksi L1–L2 stabil, perlu penguatan set-back
Apa logika tinggipanggung?	Kolong dipakai simpan jaring	“Aman dari pasang & banjir”	Elevasi lantai relatif +0,8–1,2 m dari pasang biasa	Tipologi T1 adaptif; standar elevasi bisa dirumuskan
Di mana ruang komunal efektif?	Kerumunan sore di dermaga	“Tempat bagi hasil & info cuaca”	Titik kepadatan & durasi > 30 menit	Perlu ruang teduh multifungsi dekat dermaga

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pola ruang dan tipologi arsitektur maritim di Kelurahan Leato Selatan merupakan bentuk nyata dari adaptasi masyarakat pesisir terhadap kondisi geografis, sosial, dan ekonomi yang khas. Permukiman di wilayah ini berkembang mengikuti karakter alami garis pantai dengan struktur spasial yang membentuk zonasi fungsional berlapis, mulai dari zona litoral sebagai area aktivitas perikanan hingga zona permukiman dan area vegetasi di bagian dalam.

Tipologi arsitektur yang teridentifikasi memperlihatkan variasi yang konsisten dengan fungsi dan posisi spasialnya. Rumah panggung pesisir menjadi bentuk dominan yang menunjukkan kearifan lokal dalam menghadapi ancaman banjir dan pasang laut, sementara rumah beton non-panggung muncul sebagai hasil modernisasi dan peningkatan ekonomi masyarakat. Elemen-elemen arsitektural seperti kolong rumah, serambi terbuka, serta orientasi bangunan terhadap arah angin dan laut menegaskan adanya kesadaran ekologis dan fungsionalitas ruang yang tinggi. Keterpaduan antara tipologi bangunan dan pola ruang memperlihatkan sistem permukiman yang adaptif, efisien, dan berakar kuat pada tradisi maritim.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pelestarian pengetahuan arsitektur lokal dalam perencanaan kawasan pesisir. Nilai-nilai kearifan lokal yang tercermin dalam struktur ruang dan bentuk arsitektur maritim perlu dijadikan dasar dalam kebijakan pembangunan yang berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini membuka peluang bagi kajian lanjutan yang mengintegrasikan pendekatan spasial, sosial, dan lingkungan dalam merancang strategi mitigasi terhadap risiko abrasi, perubahan iklim, dan tekanan urbanisasi di kawasan pesisir Gorontalo. Dengan demikian, pelestarian arsitektur maritim tidak hanya mempertahankan identitas budaya, tetapi juga menjadi strategi adaptif dalam menghadapi tantangan ekologis dan sosial ekonomi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurnia, M.P., & Samarinda, J.S.K.G.K. Pemerintah Daerah dan Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia (Hambatan dan Tantangan) Local Government and Indonesia as Global Maritime Fulcrum (Obstacles and Challenges). 2022
- [2] Soukotta, D., & Bagulu, A. Karakteristik Hunian Masyarakat Pesisir Studi Kasus : Permukiman Tepi Pantai Desa Botutonuo Kabupaten Bone Bolango. RADIALJ Perad Sains, Rekayasa dan Teknol 2018:167–80. <https://doi.org/10.37971/radial.v6i2.176>.
- [3] Mohammad Imran; Devie Indriyani Moha; Doly Herling Tiagas. Partisipatif Desain Kawasan Permukiman Pesisir Masyarakat Nelayan Kelurahan Leato Selatan. RADIALJ Perad Sains, Rekayasa dan Teknol 2023:55–64. <https://doi.org/10.37971/radial.v11i1.332>.
- [4] Aguspriyanti C. D., Wilarso. A. S., Ariansyach. H. B. Analisis Tipologi Arsitektur Permukiman Pesisir Kampung Tua Belian. Comb - Conf Manag Business, Innov Educ Soc Sci 2021:1805–14.

- [5] Salim, A. R., Purnaweni, H., & Hidayat, W. Kajian Pemanfaatan Ruang Kawasan Pesisir Kabupaten Bone Bolango Yang Berwawasan Lingkungan (Studi Kasus Desa Botubarani Dan Desa Huangobotu). *Jilmu Lingkung* 2011:39–46.<https://doi.org/10.14710/jil.9.1.39-46>.
- [6] Imran M, Faisal, Mustaking. Synergy of Improving The Quality of Self-Help Homes on Environmental Sanitation in The Coastal Coast of Leato Selatan Village 2020:129–36.
- [7] Hamka. Tipomorfologi Kawasan Permukiman Nelayan Pesisir Pantai Pelabuhan Bajoe Kab. Bone. *Spectra* 2017;XV:41–52.
- [8] MiahN. Konsep Perencanaan Perumahan Nelayan di Pantai Pohuwato Pendekatan pada Arsitektur Vernacular. *LOSARI J Arsitektur, Kota dan Permukiman* 2019:77–82.
<https://doi.org/10.33096/losari.v4i2.74>.
- [9] Imran M, Shamin N, As'adiyah R.B. Pemanfaatan paving blok sebagai bahan reduksi panas lingkungan. *ARTEKSJ TekArsit* 2020:421–30.<https://doi.org/10.30822/arteks.v5i3.564>.
- [10] Julianty, I. P. Perancangan RTH Bantaran Sungai Kecamatan Dumbo Raya dengan Pendekatan Arsitektur Semiotika. *RADIALJ Perad Sains, Rekayasa dan Teknol* 2019:62–73.
<https://doi.org/10.37971/radial.v7i1.184>.
- [11] Mohammad Imran; Nur Oktavin Idris; Andi Yusuf. Pengukuran Infrastruktur Drainase Permukiman di Kelurahan Leato Utara untuk Mendukung Sanitasi Lingkungan yang Layak. *J Pengabdian Masyarakat* 2024:85–92. <https://doi.org/10.37606/j-pmas.v3i3.226>

ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN CONTROLLED MODULUS COLUMN (CMC) PADA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH LUNAK

*Julita Hayati¹, Alexander Alfredo², Arif Rahman Hakim Sitepu³, Syahidus Syuhada⁴
^{1,2,3,4}Fakultas Teknologi Infratraktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan
*Email: julita.hayati@si.itera.ac.id

Received: 31 Oktober 2025 ; Revised: 7 November 2025 ; Accepted: 11 November 2025

ABSTRACT

The construction of a structure on soft soil has the potential for structural failure. This phenomenon occurs because the low bearing capacity of soft soil is accompanied by high compressibility, resulting in large settlements and low stability. This problem needs to be solved by soil improvement. In the Indrapura–Kisaran STA 112 + 500 Toll Road Construction Project, soil will be filled more than the ground's bearing capacity. Therefore, a soil improvement method using a Controlled Modulus Column (CMC) is necessary. The analysis method used in this study uses analytical methods and the finite element method (FEM). The analysis was performed by comparing the bearing capacity and settlement in conditions without improvement (preloading) and with improvement using CMC. The installation of CMC with a spacing of 1 meter, a diameter of 0.42 meters, an LTP thickness of 1 meter, and a concrete quality of 16.41 MPa showed an increase in soil bearing capacity of 30%. The rise in ground bearing capacity also affected soil compressibility, resulting in a reduction of up to 68% in soil settlement. Therefore, installing CMC on soft soil effectively increases bearing capacity and reduces settlement. Ground stability is improved, with the safety factor rising to 2.11.

Keyword: bearing capacity, Controlled Modulus Column (CMC), settlement, soft soil, soil improvement

ABSTRAK

Pembangunan suatu konstruksi pada tanah dasar dengan konsistensi yang lunak memiliki potensi kegagalan struktur yang besar. Hal ini terjadi karena daya dukung yang rendah pada tanah lunak disertai dengan kompresibilitas yang tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya penurunan yang besar dan stabilitas tanah yang rendah. Permasalahan tersebut perlu diatasi dengan melakukan perbaikan tanah. Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indrapura – Kisaran STA 112+500 akan dilakukan penimbunan tanah yang menyebabkan melampauinya kapasitas daya dukung tanah dasar. Oleh sebab itu perlu dilakukan metode perbaikan tanah dengan menggunakan *Controlled Modulus Column* (CMC). Metode analisis yang digunakan dalam penelitian kali ini menggunakan metode analitik dan finite element method (FEM). Analisis dilakukan dengan membandingkan daya dukung dan penurunan pada kondisi tanpa perbaikan (preloading) dan dengan perbaikan menggunakan *Controlled Modulus Column* (CMC). Pemasangan *Controlled Modulus Column* (CMC) dengan spasi 1 meter, diameter 0,42 meter, tebal LTP 1 meter dan mutu beton 16,41 Mpa menunjukkan adanya peningkatan daya dukung tanah 30%. Meningkatnya daya dukung tanah dasar juga mempengaruhi kompresibilitas tanah dimana penurunan tanah dasar mengalami reduksi hingga 68%. Oleh karena itu pemasangan *Controlled Modulus Column* (CMC) pada tanah lunak efektif untuk meningkatkan daya dukung dan mereduksi penurunan. Stabilitas tanah dasar mengalami peningkatan dimana faktor keamanan meningkat menjadi sebesar 2,11.

Kata kunci: *Controlled Modulus Column* (CMC), daya dukung tanah, penurunan, perbaikan tanah, tanah lunak

1. PENDAHULUAN

Tanah digunakan sebagai material konstruksi dan sebagai pondasi untuk mendukung hampir semua struktur. Hal ini menjadikan tanah sebagai komponen yang sangat diperlukan dalam industri konstruksi. Oleh karena itu, sangat penting dalam desain rekayasa geoteknik [1]. Tanah merupakan material yang secara signifikan memengaruhi stabilitas struktur bangunan, perkerasan jalan raya, terowongan, dan bendungan. Namun, tidak semua tanah dapat digunakan secara langsung dalam konstruksi. Beberapa tanah memiliki daya dukung yang rendah, menunjukkan deformasi atau penurunan yang signifikan, dan memiliki kadar air yang tinggi, yang mempengaruhi konsistensi tanah [2].

Tanah lunak merupakan salah satu jenis tanah dengan daya dukung yang rendah, dan ketika dibebani dapat mengalami penurunan yang besar. Tanah lunak menimbulkan masalah serius pada proyek konstruksi karena sifat kompresibilitasnya yang tinggi dan kuat gesernya yang rendah, sehingga menyebabkan penurunan berlebihan dan ketidakstabilan struktural [3]. Struktur yang dibangun di atas tanah lunak dapat mengalami ketidakstabilan, seperti keruntuhan. Ketidakstabilan ini dapat terjadi sebelum struktur dibangun, atau bahkan setelah struktur selesai dibangun seperti jalan, akibat perubahan lingkungan atau pengaruh alam, sehingga struktur tersebut rentan mengalami kerusakan. Jika kondisi ini tidak diperbaiki maka diperlukan perbaikan berkelanjutan dengan biaya besar [4].

Kondisi tersebut dapat diperbaiki dengan melakukan perbaikan tanah. Perbaikan tanah yang dipilih berdasarkan permasalahan yang terjadi pada tanah lunak. Untuk permasalahan daya dukung rendah, penggunaan inklusi kaku dapat meningkatkan kekakuan secara signifikan dan cepat jika dibandingkan dengan metode konsolidasi. Penggunaan inklusi kaku juga terbukti efektif mereduksi penurunan pada tanah lunak. Inklusi kaku merupakan teknik perbaikan tanah yang memiliki keunggulan signifikan dibandingkan pondasi dalam, karena dapat memberikan kontrol penurunan yang dibutuhkan dan mempertahankan dukungan pondasi dangkal pada struktur. Inklusi kaku dikenal dengan berbagai nama seperti *Controlled Modulus Columns* (CMC), *pile supported earth platforms*, kolom grouting jet, atau perkuatan kolom tanah, yang merupakan elemen vertikal yang diinklusi ke dalam lapisan tanah dengan daya dukung rendah dan/atau kompresibilitas tinggi, hingga ke lapisan yang kuat. Karena kekakuannya yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah di sekitarnya, inklusi kaku ini menopang sebagian beban yang bekerja di permukaan tanah. Oleh karena itu, beban yang ditanggung oleh tanah lunak dapat dikurangi hingga mencapai tingkat daya dukung dan penurunan tanah yang dapat diterima. Beberapa penelitian telah menyelidiki pengaruh inklusi kaku untuk memperbaiki tanah lunak [5].

Selain efektif untuk memperbaiki tanah, inklusi kaku atau *Controlled Modulus Column* (CMC) cocok digunakan pada berbagai jenis tanah seperti pasir lepas, tanah lunak, lanau, tanah organik, dan tanah gambut, dengan kedalaman yang biasanya digunakan antara 10 – 20 meter. [6] CMC dapat dipasang dengan cepat dengan kontrol waktu yang cepat tanpa ada kerusakan, getaran, keruntuhan lubang dan biaya mobilisasi yang relatif murah. Proses Pengerjaan CMC memiliki waktu yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan *Stone Column* Berdasarkan (Rizal, 2018), waktu pemasangan 600 – 1400 tiang CMC adalah 10 jam pengerjaan. Waktu yang cepat menjadi salah satu kelebihan metode ini. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh pemasangan CMC terhadap daya dukung dan penurunan tanah lunak pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indrapura - Kisaran STA 112+500 dimana terdapat lapisan lempung lunak hingga kedalaman 17-meter dan timbunan setinggi 8 meter. Penelitian ini bertujuan mengukur dan menganalisis tingkat pengaruh CMC terhadap kenaikan daya dukung dan reduksi penurunan tanah.

2. METODE

Pengumpulan Data

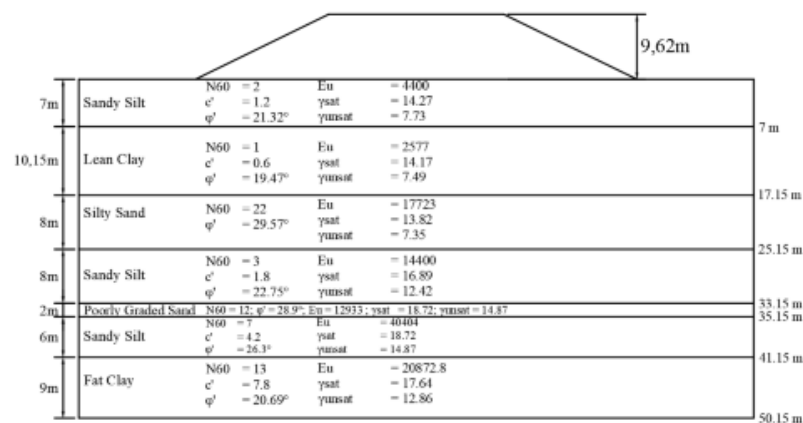
Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indrapura – Kisaran STA 112+500. Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Indrapura – Kisaran berada pada koordinat 3.122301° Lintang Utara dan 99.467708° Bujur Timur. Data sekunder yang digunakan berupa data penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis kondisi tanah tanpa perbaikan dan dengan adanya perbaikan menggunakan *Controlled Modulus Column* (CMC) dengan dimensi CMC ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi *Controlled Modulus Column* (CMC)

Parameter	Simbol	Ukuran	Satuan
Diameter	d	0,42	m
Jarak (CTC)	De	1	m
Luas tiang	Ap	0,318	m ²
Keliling	Up	1,319	m
Panjang	L	17	m
Telal LTP	h	1	m

Analisis yang dilakukan seperti daya dukung, penurunan dan faktor keamanan stabilitas lereng timbunan. Analisis dilakukan berdasarkan data penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium pada BH 5 diperoleh pelapisan tanah (Gambar 1) dan interpretasi data tanah. Interpretasi data tanah dilakukan untuk menentukan parameter tanah desain yang digunakan dalam analisis dikarenakan adanya keterbatasan pada data yang tersedia sehingga memerlukan adanya korelasi empiris. Korelasi juga dapat digunakan untuk membandingkan nilai-nilai yang ditentukan dari uji laboratorium dan in situ [7].

Berdasarkan data tanah, posisi muka air tanah berada di kedalaman 0,47 m di bawah permukaan tanah sehingga memiliki potensi konsolidasi pada lapisan tanah lempung. Elevasi tanah eksisting berada dibawah elevasi rencana sehingga terdapat penimbunan sebesar 8,03 m. Untuk mengakomodir beban kenadaraan dan tebal perkerasan maka timbunan ekuivalen diberikan setinggi 1,59 m. Material tanah timbunan ditunjukkan pada Tabel 2.



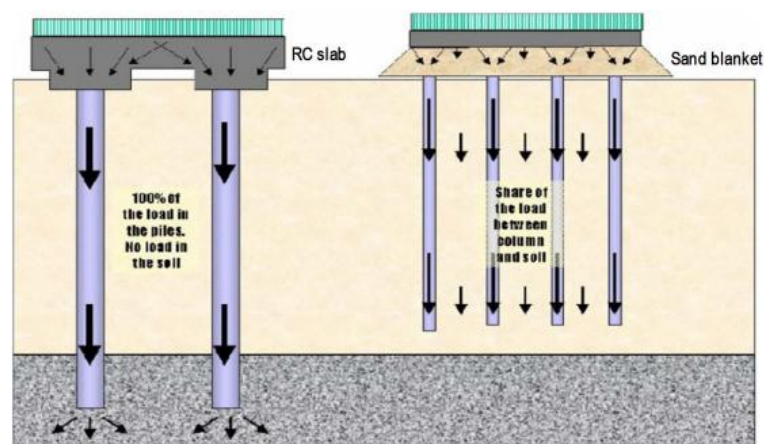
Gambar 1. Stratifikasi Tanah dan Parameter Tanah Dasar STA 112+500

Tabel 2. Data Parameter Tanah Timbunan

Parameter	Satuan	Timbunan
Kondisi		<i>Drained</i>
Model		MC
Material tanah		Timbunan
Berat isi jenuh	γ_{sat} (kN/m³)	17,51
Berat isi	γ_{unsat} (kN/m³)	17,26
Kohesi	c' (kpa)	13
Sudut geser	ϕ (°)	35
Angka poisson	ν	0,3
E	(kN/m²)	14000
Permeabilitas horizontal	kh (m/hari)	0,000864
Permeabilitas vertikal	kv (m/hari)	0,000864

Metode Analisis

Controlled modulus column (CMC) merupakan perbaikan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi penurunan tanah pada elemen struktur untuk memperkuat tanah dibawah fondasi bangunan. Secara mekanisme transfer beban, CMC berbeda dengan tiang pancang. [8] menunjukkan bahwa pada CMC terdapat lapisan Load Transfer Beban (LTP) yang berfungsi menyalurkan beban diatasnya ke permukaan CMC dan tanah disekitar CMC sedangkan pada tiang pancang beban sepenuhnya tersalurkan pada tiang. Hal ini menyebabkan terjadi penurunan pada tanah disekitar CMC dan membuat friksi negatif pada sepanjang selimut tiang CMC (Gambar 2).



Gambar 2. Mekanisme transfer beban antara tiang pancang dan CMC [8]

1. Daya Dukung *Controlled Modulus Column* (CMC)

Inklusi kaku (CMC) menerapkan konsep dengan asumsi stabilitas kolom dihasilkan tanpa adanya tahanan lateral dari tanah disekitarnya [9]. Berdasarkan [10], daya dukung CMC dipengaruhi oleh daya dukung tiang

tunggal dan daya dukung tanah yang berada diantara CMC serta jarak antar CMC. Daya dukung tiang tunggal diperhitungkan dengan persamaan berikut

$$R_a = \left(U_p \sum_{i=1}^n \alpha \times c_u \right) + (9 \times c_u \times A_p) \quad (1)$$

dimana R_a = daya dukung vertikal tiang tunggal (kN), U_p = keliling tiang (m), α = faktor adhesi, c_u = kohesi undrained (kN/m²), A_p = luas tiang (m²).

Daya dukung tanah asli diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$q_u = c \times N_c \quad (2)$$

dimana $q_u = f_{sk}$ = daya dukung tanah asli (kN/m²), c = kohesi tanah (kN/m²), N_c = faktor daya dukung.

Jarak pemasangan CMC akan mempengaruhi besarnya area pengganti tanah. Area penggantian tanah dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$m = \frac{\pi r^2}{d_e^2} \quad (3)$$

dimana m = area penggantian tanah (%), r = jari-jari tiang (m), d_e = jarak antar tiang (m).

Daya dukung tanah dengan perkuatan CMC dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$f_{spk} = m \times \frac{R_a}{A_p} + \beta (1 - m) f_{sk} \quad (4)$$

dimana f_{spk} = daya dukung tiang CMC (kN), β = koefisien reduksi antara kapasitas daya dukung dengan tiang (0,85).

Tabel 3. Nilai C_{max} dan koefisien K_1

Kondisi	Metode Pelaksanaan	C_{max} (MPa)	K_1
1	Inklusi yang dibor dengan ekstraksi tanah	35	1,3
2	Inklusi yang dibor menggunakan auger berongga dengan ekstraksi tanah	30	1,4
3	Inklusi gerudi menggunakan auger berongga dengan perpindahan tanah	35	1,3
4	Inklusi baik yang digerakkan oleh getaran atau dilemparkan di tempatnya	35	1,3
5	Penggabungan pengikat dengan tanah (kolom tanah yang dirawat, nat jet, dll.)	(*)	(**)

Sumber: ASIRI National Project, 2012

Tabel 4. Koefisien K_2

Kondisi	Metode Pelaksanaan	K_2
1	Rasio Diameter CMC terhadap Panjang CMC Kurang dari 1/20	1,05
2	CMC yang dimensi terkecilnya kurang dari 0,60 m	1,3 - (d/2)
3	Gabungan dari dua kondisi diatas	1,35 - (d/2)

Sumber: ASIRI National Project, 2012

Proses pemasangan CMC melibatkan penetrasi auger ke dalam tanah dengan torsi dan dorongan yang diberikan oleh rig pengeboran, diikuti dengan injeksi *grout* melalui batang berongga sambil mengangkat alat tersebut. *Grout* yang digunakan merupakan beton dengan mutu minimum yang diatur pada [9] sebagai berikut:

$$f_{cd} = \text{Min} \left(\alpha_{cc} K_3 \frac{f_{ck}^*}{\gamma_c}; \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}; \alpha_{cc} \frac{C_{max}}{\gamma_c} \right) \quad (5)$$

$$f_{ck}^* = (C_{max}; f_{ck}) \frac{1}{K_1 K_2} \quad (6)$$

dimana $\alpha_{cc} = 1$ (diperkuat dengan tulangan baja), 0,8 (tidak diperkuat dengan tulangan baja), γ_c = koefisien parsial dengan nilai sama dengan 1,5, f_{ck}^* = nilai kuat tekan beton karakteristik pada CMC, C_{max} = mutu maksimal CMC berdasarkan metode pelaksanaan (Tabel 3), d = diameter CMC (m), K_1 = koefisien berdasarkan metode pelaksanaan (Tabel 3), K_2 = koefisien berdasarkan diameter CMC (Tabel 4), K_3 = koefisien berdasarkan Tabel 5.

Tabel 5. Koefisien K_3

K_3	Tanpa tes	Dengan uji refleksi atau impedansi (a)	Dengan tes kualitas	Dengan daya dukung beban	Dengan uji kontrol yang diperkuat
Domain 1 (CMC digunakan untuk stabilitas)	-	0,75	-	1,2	1,4
Domain 2 (CMC tidak digunakan untuk stabilitas)	0,65	0,85	1,4	1,5	1,7

Sumber: ASIRI National Project, 2012

2. Penurunan Tanah

Penurunan tanah lunak yang diperkuat dengan CMC lebih rendah dari tanah lunak tanpa perkuatan. Hal ini disebabkan karena kolom menopang beban lebih besar dari tanah dengan rata-rata rasio *stress concentration* dari kolom dan tanah sekitar 5 pada *rigid plate* dan 2 pada *flexible plate* [11]. Penurunan tanah setelah dilakukan perbaikan tanah dengan *Controlled Modulus Column* (CMC) dapat diperhitungkan menggunakan persamaan dari [12] sebagai berikut:

$$S = \psi_{sp} \left[\sum_{i=1}^{n_1} \frac{P_o}{\xi E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_i) + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{P_o}{\xi E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_i) \right] \quad (7)$$

$$\xi = \frac{f_{spk}}{f_{sk}} \quad (8)$$

$$E_{spi} = \xi \times E_{si} \quad (9)$$

dimana S = penurunan tanah yang diperkuat dengan CMC, ψ_{sp} = koefisien perkiraan penurunan aktual berkisar antara 0,2 – 1,0, n_1 = jumlah lapisan tanah disekitar tiang, n_2 = jumlah lapisan tanah di kedalaman perkiraan terjadinya penurunan aktual, P_o = tekanan overburden ujung bawah tiang (kN/m^2), ξ = koefisien peningkatan modulus kompresibilitas tanah lapisan komposit, E_{spi} = modulus kompresibilitas tanah komposit dari lapisan tanah i (kN/m^2), E_{si} = modulus kompresibilitas dari lapisan tanah i (kN/m^2), z_i = selisih kedalaman antara permukaan bawah tiang dan lapisan tanah i (m), z_{i-1} = selisih kedalaman antara permukaan bawah tiang dan lapisan tanah ($i-1$), $\bar{\alpha}_i$ = rata-rata koefisien tegangan tambahan antara permukaan bawah tiang dan permukaan bawah lapisan tanah i , $\bar{\alpha}_{i-1}$ = rata-rata koefisien tegangan tambahan antara permukaan bawah tiang dan permukaan bawah lapisan tanah ($i-1$).

Berdasarkan [10], koefisien perkiraan penurunan aktual ditentukan berdasarkan nilai modulus kompresibilitas tanah ($\bar{E}_s$) disepanjang kolom tertanam (Tabel 6). Tegangan yang bekerja pada permukaan tanah akan terdistribusi pada lapisan tanah dibawah permukaan. Besar tegangan dilapisan tanah akan dipengaruhi oleh kedalaman dan koefisien tegangan tambahan [10]. Ekuivalensi modulus kompresibilitas dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{spi}}} \quad (10)$$

dimana $\bar{E}_s$ = ekuivalensi modulus kompresibilitas dengan deformasi (kN/m^2),

Tabel 6. Koefisien perkiraan penurunan aktual

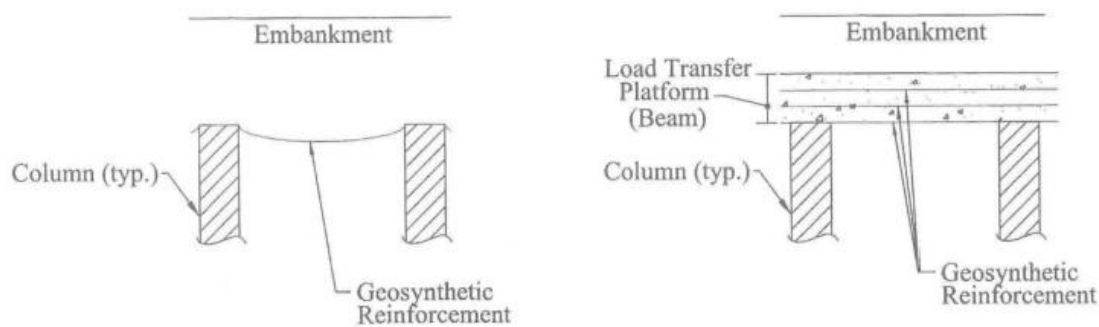
E_s (MPa)	2,5	4,0	7,0	15,0	20
ψ_{sp}	1,1	1,0	0,7	0,4	0,2

Sumber: ASIRI National Project, 2012

3. Load Transfer Platform (LTP)

Load Transfer Platform terdiri dari lapisan granular yang dihamparkan dan dapat diperkuat dengan geogrid yang berfungsi untuk mendistribusikan beban pada CMC dan tanah diantaranya agar beda penurunan yang terjadi tidak signifikan [13]. LTP dapat berupa lapisan granular yang padat, lapisan tanah yang diperkuat dengan hydraulic binder, lapisan tanah yang diperkuat dengan geosintetik [9]. Lapisan granular padat memiliki modulus kekakuan yang tinggi sedangkan tanah yang distabilisasi perlu memperhatikan kekakuan yang dihasilkan untuk menghindari terjadinya retak pada LTP. Penggunaan LTP dapat membuat jarak antar kolom (CMC) menjadi lebih besar namun penggunaan LTP tidak disarankan jika kolom terlalu rapat [14].

LTP memiliki 2 metode desain yaitu *catenary* atau *beam* dengan mekanisme transfer beban yang berbeda (Gambar 3). Terdapat 3 metode untuk mendesain LTP menggunakan metode desain *catenary* yaitu British Standar (BS 8006), Metode Swedish dan Metode German dengan menerapkan asumsi bahwa *soil arch* terbentuk pada timbunan, perkuatan mengalami pergerakan selama dibebani dan digunakan satu lapis perkuatan berupa geosintetik. Untuk metode desain *beam* dapat digunakan Metode Collin yang beberapa asumsi yaitu perkuatan yang digunakan minimal 3 lapis, jarak antara lapis perkuatan berkisar antara 20 – 45 cm, tebal LTP $\geq 1,5$ kali dari jarak sisi ke sisi antar kolom, dan *soil arch* sepenuhnya terbentuk pada lapisan LTP. Metode desain *catenary* umumnya membutuhkan perkuatan dengan kekuatan lebih dibandingkan dengan perkuatan pada metode desain *beam* untuk kondisi desain yang sama. Selain itu, pada metode desain *beam* memungkinkan jarak antar kolom yang lebih besar dari metode desain *catenary*.



Gambar 3. Mekanisme transfer beban a) metode catenary b) metode beam [15]

Berdasarkan Metode Swedish, tinggi soil arching dipengaruhi oleh jarak bersih kolom (jarak sisi ke sisi kolom) yang dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut:

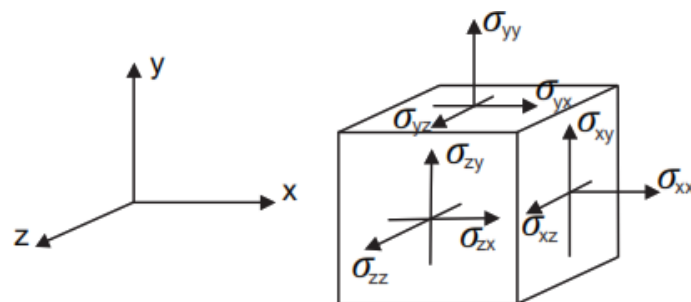
$$h = \frac{(s - d)}{2 \tan 15^\circ} \quad (11)$$

Dimana h = tinggi soil arching (m), s = jarak tengah ke tengah kolom (m), d = diameter kolom (m).

Tebal LTP harus mampu mengakomodir *soil arching* yang terbentuk untuk memaksimalkan distribusi beban antara kolom dan tanah. Selain jarak, tebal LTP dipengaruhi oleh kuat geser material yang digunakan. Untuk material granular harus berupa timbunan pilihan dengan sudut gesek efektif $\geq 35^\circ$ [14]. Ketebalan LTP umumnya berkisar antara 40 hingga 80 cm [9]. [16] melakukan eksperimen *centrifuges* sehingga diketahui tebal kritis LTP adalah 2/3 dari jarak bersih kolom.

Metode Elemen Hingga

Ada dua cara untuk memodelkan keadaan lapangan: *plane strain* dan *axisimetry*. Dalam analisis *plane strain*, gaya terhitung yang dihasilkan dari perpindahan yang ditentukan merupakan gaya per satuan panjang dalam arah keluar bidang yaitu arah z (Gambar 4) sedangkan dalam analisis *axisimetry*, gaya terhitung (Gaya-X, Gaya-Y) adalah gaya yang bekerja pada batas lingkaran yang membentuk sudut 1 radian. Dalam analisis *axisimetry* luaran yang dihasilkan disajikan per satuan lebar dan bukan per radian sedangkan dalam analisis *plane strain*, σ_{zz} adalah tegangan keluar bidang. Dalam analisis *axisimetry*, x merupakan koordinat radial, y merupakan koordinat aksial, dan z merupakan arah tangensial. Dalam hal ini, σ_{xx} merupakan tegangan radial dan σ_{zz} merupakan tegangan melingkar [17].



Gambar 4. Koordinat sistem dan indikasi komponene tegangan positif [17]

Dalam penelitian ini digunakan analisis *plane strain* dalam permodelan elemen hingga. CMC dimodelkan dengan *embeded beam row*. Model ini dipilih karena *embeded beam row* dapat memodelkan kekakuan aksial kolom dan kekakuan lentur kolom sehingga memungkinkan luaran gaya dalam pada kolom. Jarak antar tiang juga dapat dimodelkan sehingga dapat hasil permodelan dapat mengakomodir area yang tidak dipasang kolom. Kolom didesain sebagai kolom beton dengan berat volum 24 kN/m³ dan terpasang sepanjang lapisan tanah lunak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kondisi Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 1, lapisan tanah lunak dengan konsistensi sangat lunak terdapat pada kedalaman 0 hingga 17 m. Dengan kondisi tingginya elevasi tanah rencana menyebabkan dibutuhkan penimbunan sebesar 8,03 m sehingga tanah dasar harus memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban timbunan. Selain itu, untuk mengakomodir beban kenadaraan dan tebal perkerasan yang berada diatas tanah timbunan maka timbunan

ekuivalen diberikan setinggi 1,59 m. Total tinggi timbunan sebesar 9,62 m maka beban yang perlu ditopang oleh tanah sebesar 166,05 kN/m². Dengan daya dukung tanah asli yaitu sebesar 61,68 kN/m², maka tanah dasar tidak mampu menopang beban yang bekerja di atasnya. Daya dukung tanah yang tersedia hanya mampu untuk menahan timbunan setinggi 2,5 m.

Tabel 7. Rekapitulasi timbunan bertahap

Tahap ke-	Hcr (m)	H Timbunan ke- (m)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	ΔS_u (kN/m ²)	S_u (kN/m ²)	qult (kN/m ²)
Tahap 1	2,5	2,5	43,15	11,65	23,65	121,56
Tahap 2	5	2,5	43,15	11,65	35,30	181,45
Tahap 3	8	3	51,78	13,98	49,28	253,31
Tahap 4	9,62	1,62	27,96	7,55	56,83	292,11

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan penimbunan bertahap untuk meningkatkan daya dukung dan kuat geser tanah agar mampu menopang beban yang bekerja di atasnya. Namun proses ini memerlukan waktu yang lama karena kenaikan kuat geser dihasilkan dari proses konsolidasi primer akibat beban yang diterapkan. Beban yang diberikan menyebabkan adanya kenaikan tegangan pada tanah yang memicu terjadinya proses konsolidasi. Dengan asumsi proses konsolidasi mencapai 90%. Kenaikan kuat geser tanah berkisar antara 20% hingga 30% dari 90% tegangan yang diberikan pada tanah [18]. Untuk mencapai timbunan rencana diperlukan 4 tahapan penimbunan. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan yang telah dilakukan (Tabel 7).

Tabel 8. Rekapitulasi penurunan konsolidasi

Kedalaman (m)	Sc1 (m)	Sc2 (m)	Sc3 (m)	Sc4 (m)
0-3	0,039	0,165	0,273	0,316
3-7	0,025	0,040	0,051	0,056
7-17,15	0,058	0,099	0,138	0,283
25,15-33,15	0,015	0,028	0,041	0,048
35,15-41,15	0,006	0,012	0,019	0,022
41,15-50,15	0,006	0,057	0,121	0,154
Total	0,15	0,401	0,643	0,879

Selain daya dukung yang rendah, tanah lunak umumnya memiliki kompresibilitas yang tinggi sehingga memiliki potensi pemampatan/penurunan yang besar. Besarnya penurunan total yang dihasilkan dalam analisis ini terdiri dari penurunan konsolidasi (Sc) dan penurunan elastik/segera (Se). Untuk menganalisis besarnya penurunan dalam penelitian ini menggunakan metode analitik dan metode elemen hingga. Rekapitulasi penurunan konsolidasi dan penurunan elastik timbunan bertahap ditunjukkan pada Tabel 8 dan Tabel 9. Penurunan total setiap tahap penimbunan ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 9. Rekapitulasi penurunan elastik/segera

Kedalaman (m)	Sc1 (m)	Sc2 (m)	Sc3 (m)	Sc4 (m)
0-3	0,001	0,002	0,002	0,003
3-7	0,001	0,003	0,005	0,005
7-17,15	0,012	0,025	0,039	0,047
17,15-25,15	0,004	0,008	0,013	0,016
25,15-33,15	0,002	0,004	0,007	0,008
33,15-35,15	0,008	0,015	0,024	0,029
35,15-41,15	0,000	0,000	0,000	0,000
41,15-50,15	0,000	0,003	0,005	0,006
Total	0,028	0,060	0,096	0,115

Tabel 10. Rekapitulasi penurunan total

Kedalaman (m)	Sc1 (m)	Sc2 (m)	Sc3 (m)	Sc4 (m)
0-3	0,040	0,167	0,275	0,319
3-7	0,027	0,042	0,056	0,062
7-17,15	0,070	0,124	0,177	0,330
17,15-25,15	0,004	0,008	0,013	0,016
25,15-33,15	0,017	0,032	0,048	0,056
33,15-35,15	0,008	0,015	0,024	0,029
35,15-41,15	0,007	0,013	0,019	0,022
41,15-50,15	0,006	0,060	0,126	0,160
Total	0,178	0,461	0,739	0,994

Besarnya penurunan total yang didapatkan dengan metode analitik sebesar 0,994 meter. Sedangkan dalam metode elemen hingga didapatkan besarnya penurunan akibat beban timbunan sebesar 0,830 meter. Terdapat perbedaan antara perhitungan analitik dan elemen hingga yang dapat disebabkan karena perhitungan analitik pada jenis tanah lempung (*clay*) memperhitungkan nilai modulus elastisitas tanah, sedangkan pada elemen hingga tidak memperhitungkan hal tersebut. Pada tanah pasir (*sand*) pada perhitungan menggunakan elemen hingga untuk menghitung penurunan elastik menggunakan modulus elastisitas, sedangkan pada perhitungan manual menggunakan nilai SPT. Namun secara umum akibat beban yang diberikan terjadi penurunan yang besar sehingga perlu adanya perbaikan tanah untuk mereduksi penurunan dan meningkatkan daya dukung tanah asli.

Analisis Daya Dukung dengan Perkuatan CMC

Penggunaan CMC dapat mereduksi waktu pelaksanaan karena penambahan kolom beton pada tanah lunak mampu meningkatkan daya dukung tanah. Selain itu, tidak perlu waktu tunggu untuk mendisipasi tegangan air pori berlebih. CMC lebih ekonomis dibandingkan penggantian tanah khususnya pada kondisi muka air tanah dekat dengan permukaan [14]. Berdasarkan [9], CMC harus memiliki mutu minimum yang dipengaruhi oleh metode pemasangan, rasio diameter terhadap panjang CMC dan fungsi CMC. Dengan panjang dan diameter CMC pada penelitian ini dihasilkan mutu beton minimum sebesar 16,41 Mpa dengan modulus elastisitas sebesar 14988,54 Mpa.

Tabel 11. Rekapitulasi daya dukung pada kedalaman pemasangan CMC

Kedalaman (m)	Q _{tip} (kPa)	Q _{skin} (kPa)	R _a (kPa)	f _{sk} (kPa)	f _{spk} (kPa)
0-3	14,96	38,93	41,66	61,68	81,52
3-7	14,96	62,29	103,95	61,68	143,81
7-17,15	7,48	80,31	182,90	30,84	202,83

Besarnya daya dukung tanah yang diperkuat CMC dipengaruhi oleh beberapa faktor. Secara umum faktor yang memengaruhi daya dukung tanah yang diperkuat CMC yaitu diameter, jarak, kedalaman tiang dan kekuatan tanah. Tabel 11 merupakan hasil daya dukung dengan perkuatan CMC. Daya dukung dengan perkuatan meningkat sekitar minimum 30% dari daya dukung tanah asli. Peningkatan daya dukung mencapai lebih dari 500% pada kedalaman CMC yang lebih dalam dikarenakan kenaikan daya dukung kolom yang signifikan akibat pertambahan panjang CMC.

Analisis Penurunan Tanah dengan Perkuatan CMC

Penurunan tanah dengan *Controlled Modulus Column* (CMC) dapat dipengaruhi oleh koefisien peningkatan modulus kompresibilitas tanah saat adanya tiang CMC. Koefisien peningkatan modulus didasari oleh rasio antara daya dukung dengan perkuatan CMC dan daya dukung tanah asli. Kenaikan daya dukung tanah dengan perkuatan CMC menyebabkan adanya peningkatan modulus elastisitas tanah sehingga mempengaruhi besarnya penurunan tanah. Penurunan tanah pada lapisan tanah yang diperkuat dengan CMC menggunakan modulus elastisitas ekuivalen sebesar 7,55 Mpa sehingga besar koefisien perkiraan penurunan aktual sebesar 0,58. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan CMC menyebabkan penurunan yang terjadi mengalami reduksi >40% dari kondisi tanpa adanya perkuatan. Selain dipengaruhi oleh modulus elastisitas, koefisien tegangan tambahan mempengaruhi besarnya tegangan tambahan yang bekerja pada lapisan lunak. Maksimum koefisien tegangan berdasarkan [10] sebesar 0,25 dan semakin dalam koefisien akan mengalami reduksi. Besarnya penurunan akibat penimbunan setinggi 9,62 m ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi penurunan dengan perkuatan CMC

Kedalaman (m)	S ₁ (m)	S ₂ (m)	S _t (m)
0,5	0,00357	0,00000	0,00206
3	0,01783	0,00000	0,01029
7	0,04820	0,03096	0,04569
17	0,04156	0,02445	0,03810
Total			0,0961

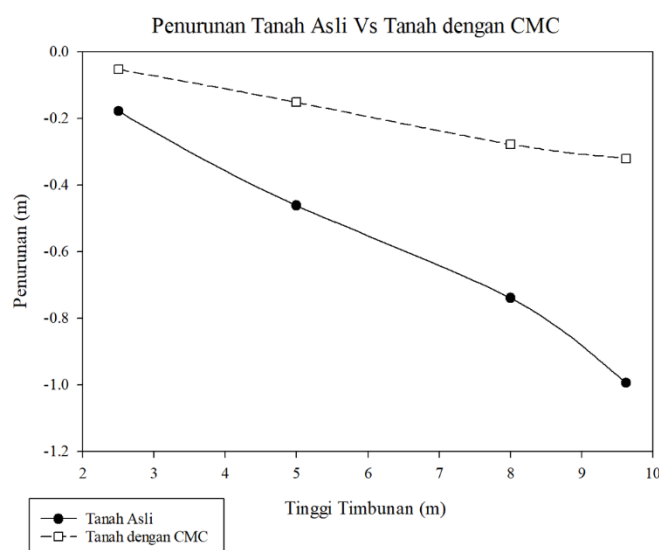
Total penurunan tanah disepanjang tiang dengan menggunakan CMC yaitu 0,0961 meter. Berdasarkan kondisi tanah di lapangan terdapat lapisan yang berpotensi mengalami konsolidasi pada kedalaman dibawah pemasangan CMC sehingga penurunan total ada penurunan yang terjadi disepanjang CMC dan di bawah CMC. Berikut merupakan hasil rekapitulasi penurunan konsolidasi tanah dibawah CMC berdasarkan hasil penurunan konsolidasi tanah asli. Penurunan yang dihasilkan dengan adanya perkuatan CMC sebesar 0,3196 m berdasarkan perhitungan dengan metode analitik.

Tabel 13. Rekapitulasi penurunan dengan perkuatan CMC

Kedalaman (m)	H (m)	OCR	S _c (m)
17,15-25,15	8	1,96	0,0000
25,15-33,15	8	0,66	0,0475
33,15-35,15	2	0,66	0,0000
35,15-41,15	6	0,72	0,0219
41,15-50,15	9	1,21	0,1540
Total			0,0961

Pada analisis menggunakan metode elemen hingga, penurunan total yang dihasilkan akibat pemasangan CMC sebesar 0,256 m. Terdapat perbedaan antara perhitungan analitik dan dengan menggunakan metode elemen hingga yaitu dikarenakan pada metode analitik penurunan kolom dan tanah dianggap seragam sedangkan pada metode elemen hingga penurunan tanah dan kolom berbeda. Selain itu perhitungan analitik penurunan tanah dipengaruhi oleh modulus kompresibilitas tanah komposit. Rendahnya modulus komposit menyebabkan nilai koefisien perkiraan penurunan ψ_{sp} yang dihasilkan cukup besar.

Jika dibandingkan dengan penurunan tanpa perkuatan CMC, pemasangan CMC mampu mereduksi penurunan sebesar 68% (Gambar 5). Hal ini dikarenakan transfer beban timbunan tidak langsung diterima oleh tanah dasar melainkan ditahan oleh LTP dan diteruskan sebagian besar ke kolom-kolom CMC sehingga meningkatkan kekuatan dan mereduksi penurunan [13]. Pada perkuatan CMC, distribusi beban lebih banyak ditransfer pada kolom daripada tanah sehingga penurunan yang terjadi pada tanah menjadi berkurang [19].

**Gambar 5.** Perbandingan penuruna tanah asli dan tanah dengan perkuatan CMC

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, tanah dasar merupakan tanah dengan daya dukung rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Secara daya dukung, tanah tidak mampu untuk menahan beban timbunan sehingga memerlukan penimbunan bertahap untuk meningkatkan daya dukung tanah melalui proses konsolidasi. Namun proses ini memerlukan waktu yang lama dan penurunan yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan penurunan pada jalan. Oleh karena itu pemasangan CMC diperlukan untuk meningkatkan daya dukung dan mereduksi penurunan tanah. Pemasangan CMC dengan diameter 0,42 m dan jarak 1 m pada lapisan tanah lunak sedalam 17 m efektif untuk menaikkan daya dukung sebesar 30% hingga 500%. CMC juga efektif dalam mereduksi penurunan tanah sebesar 68% karena beban timbunan tidak sepenuhnya didistribusikan pada tanah namun lebih besar terdistribusi pada CMC. Hal ini menyebabkan penurunan yang dihasilkan lebih rendah dari kondisi tanpa perkuatan dimana kolom memiliki kekakuan lebih tinggi sehingga penurunan yang dihasilkan lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Mir and S. H. Reddy, "Mechanical Behaviour of Nano-material (Al₂O₃) Stabilized Soft Soil," *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, vol. 34, no. 3, pp. 636–643, Mar. 2021, doi: 10.5829/ije.2021.34.03c.07.

- [2] M. H. Zulkafli, M. N. Noorasyikin, and L. F. Roslan, "Stabilization of soft soil with rice husk and coconut fibre," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1755-1315/1347/1/012058.
- [3] L. B. Fasugba and G. M. Ayininuola, "Characterization of Soft Soil Properties and Settlement Behavior," Jul. 31, 2025. doi: 10.21203/rs.3.rs-7029464/v1.
- [4] Y. Zaika, A. Rachmansyah, and Harimurti, "Geotechnical behaviour of soft soil in East Java, Indonesia," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 615, no. 1, p. 012043, Oct. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/615/1/012043.
- [5] F. Bouabdallah, K. Goudjil, and M. Salah, "The Effect of Rigid Inclusions on the Dynamic Response of Highway Embankment," 2023. [Online]. Available: www.etasr.com
- [6] J. Han, *Principles and Practices of Ground Improvement*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [7] J. Ameratunga, N. Sivakugan, and B. M. Das, "Developments in Geotechnical Engineering Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/13410>
- [8] K. Yee, R. A. Setiawan, and O. Bechet, "Controlled Modulus Columns (CMC): A New Trend in Ground Improvement and Potential Applications to Indonesian Soils," in *ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels*, Belgium, 2012, pp. 287–300.
- [9] ASIRI National Project, *Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements*, 1st ed. French: Presses des Ponts, 2012.
- [10] S. R. Housing, *Ministry of Construction of the People's Republic of China*. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.
- [11] L. Miao, F. Wang, Y. Zhang, and C. Zhang, "Experimental Study on Controlled Modulus Column Methods," in *Proceedings of the Us-China Workshop on Ground Improvement Techno*, Lincoln: University of Nebraska, 2009, pp. 112–119.
- [12] S. R. Housing, *National Standart of The People's Republic Of China GB 50007-2011 Code for Design of Building Foundation*. Beijing: China Architecture and Building Press, 2011.
- [13] Z. Gusnadi, I. Handiman, and dan Fitriana Sarifah, "Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN CONTROLLED MODULUS COLUMNS (CMC) PADA KONSTRUKSI TIMBUNAN JALAN".
- [14] NYSDOT, *Geotechnical Design Manual Chapter 14 Ground Improvement Technology*. 2013.
- [15] V. Elias, J. Welsh, J. Warren, R. Lukas, J. G. Collin, and R. R. Berg, *Ground Improvement Methods*, vol. I and II. US Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, 2006.
- [16] G. Baudouin, L. Thorel, and G. Raut, *Physical Modelling in Geotechnics, Two Volume Set*, 1st ed. CRC Press, 2010.
- [17] Plaxis, "Plaxis 2D 2024.2 Reference Manual 2D," 2024.
- [18] C. C. Ladd, *Settlement Analysis for Cohesive Soils*. Research Report R71-2, Soils Publication 272: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1971.

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PREFERENSI PEMILIHAN MODA WISATAWAN MANCANEGARA DI KAWASAN KUTA RAYA

*Ngurah Putu Bayu Pinasthika Wicaksana¹, Yori Herwangi²

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*) Email: ngurahputubayupinasthikawicaksana@mail.ugm.ac.id

Received: 4 November 2025 ; Revised: 10 November 2025 ; Accepted: 16 November 2025

ABSTRACT

Kuta Raya is one of Bali's main tourist destinations, characterized by high mobility among international tourists and various transportation mode options. This study aims to analyze the factors related to international tourists' preferences in choosing transportation modes in the Kuta Raya area. Data were collected through questionnaires distributed to 134 international tourists visiting Kuta, Seminyak, and Legian. The analysis employed the Crosstab method with the Chi-Square (χ^2) test to identify statistical relationships between tourist characteristics, travel factors, and mode choice. The results indicate that driving license ownership (SIM A), frequency of visit, transportation cost, and parking cost have a significant relationship ($p < 0.05$) with tourists' mode choice. Meanwhile, variables such as gender, age, income, and comfort show no significant relationship. These findings suggest that cost-related aspects and travel experience are the main considerations influencing international tourists' transportation mode preferences in the Kuta Raya area.

Keyword: mode choice, international tourists, Crosstab, Chi-Square, tourism transportation

ABSTRAK

Kawasan Kuta Raya merupakan salah satu destinasi wisata utama di Bali yang memiliki intensitas pergerakan wisatawan mancanegara yang tinggi dengan berbagai pilihan moda transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang berhubungan dengan preferensi pemilihan moda transportasi oleh wisatawan mancanegara di Kawasan Kuta Raya. Data penelitian diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada 134 wisatawan mancanegara yang berkunjung ke wilayah Kuta, Seminyak, dan Legian. Analisis dilakukan menggunakan metode *Crosstab* dengan uji Chi-Square (χ^2) untuk mengetahui hubungan antara karakteristik wisatawan dan faktor perjalanan terhadap pemilihan moda transportasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa variabel kepemilikan SIM A, frekuensi berkunjung, biaya transportasi, dan biaya parkir memiliki hubungan yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap pemilihan moda transportasi. Sementara itu, variabel lain seperti jenis kelamin, usia, penghasilan, dan kenyamanan tidak menunjukkan hubungan yang berarti. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor biaya dan pengalaman perjalanan menjadi pertimbangan utama wisatawan mancanegara dalam menentukan pilihan moda transportasi selama berwisata di Kawasan Kuta Raya.

Kata kunci: pemilihan moda, wisatawan mancanegara, *Crosstab*, Chi-Square, transportasi pariwisata

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan elemen vital dalam mendukung aktivitas manusia, terutama dalam menunjang pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Transportasi berfungsi sebagai sarana untuk memindahkan orang dan barang dari satu lokasi ke lokasi lain melalui berbagai moda kendaraan [2]. Dalam konteks pembangunan wilayah, sistem transportasi menjadi bagian mendasar dari infrastruktur yang berperan penting terhadap perkembangan perkotaan. Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi, kebutuhan terhadap mobilitas yang efisien juga meningkat [1]. Dalam industri pariwisata, transportasi memiliki peran strategis karena berfungsi sebagai penghubung utama antara wisatawan dengan destinasi wisata. Sebagai industri yang terintegrasi, pariwisata mencakup berbagai komponen pendukung seperti akomodasi, perantara perjalanan, perbankan, dan transportasi [3]. Aksesibilitas yang baik tidak hanya bergantung pada infrastruktur fisik, tetapi juga mencakup aspek keandalan, kenyamanan, dan keberlanjutan layanan transportasi bagi wisatawan [4].

Provinsi Bali sebagai destinasi wisata utama di Indonesia memiliki kontribusi besar terhadap sektor pariwisata nasional, namun perkembangan pariwisatanya menunjukkan ketimpangan antara Bali bagian selatan dan utara. Bali Selatan meliputi Kabupaten Badung, Kota Denpasar, dan sebagian Kabupaten Gianyar mengalami pertumbuhan pariwisata yang sangat pesat dibandingkan wilayah lainnya [5]. Jumlah wisatawan yang berkunjung pada tahun 2023 mencapai 15,15 juta orang, terdiri atas 5,23 juta wisatawan mancanegara dan 9,92 juta wisatawan domestik, dengan lebih dari 70% aktivitas wisata terkonsentrasi di kawasan Bali Selatan, khususnya di Kawasan Kuta Raya [6]. Konsentrasi wisatawan yang tinggi menyebabkan tekanan besar terhadap sistem transportasi di kawasan tersebut. Peningkatan kendaraan pribadi, baik roda dua maupun roda empat, tidak diimbangi dengan pengembangan transportasi publik yang memadai. Pada tahun 2023 tercatat 885.934 unit sepeda motor dan 128.816 unit mobil penumpang di Kabupaten Badung, meningkat sebesar 6,59% dibandingkan tahun sebelumnya

[7]. Sementara itu, moda transportasi publik seperti Bus Trans Metro Dewata masih memiliki keterbatasan jangkauan dan frekuensi layanan, sehingga wisatawan lebih memilih kendaraan pribadi atau transportasi daring.

Transportasi online kini menjadi moda yang banyak digunakan oleh wisatawan mancanegara di Bali Selatan karena dinilai lebih fleksibel, mudah diakses melalui aplikasi digital, dan menawarkan kenyamanan serta efisiensi waktu dalam perjalanan. Namun, keputusan wisatawan untuk menggunakan transportasi online tidak terlepas dari berbagai faktor seperti biaya perjalanan, waktu tunggu, persepsi keamanan, kemudahan serta pengalaman sebelumnya selama berada di destinasi wisata. Fenomena meningkatnya penggunaan transportasi daring tersebut perlu dikaji lebih lanjut guna memahami faktor-faktor yang memengaruhi preferensi wisatawan terhadap moda tersebut, sehingga hasilnya dapat menjadi masukan bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam pengembangan sistem transportasi yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan bagi sektor pariwisata Bali ke depan.

Pemilihan Moda Transportasi

Model perencanaan transportasi empat tahap menempatkan pemilihan moda (*mode choice*) sebagai elemen penting dalam efisiensi sistem transportasi [1]. Faktor yang memengaruhi pemilihan moda dibagi menjadi:

1. Karakteristik pelaku perjalanan (usia, pendapatan, kepemilikan kendaraan, dan SIM);
2. Karakteristik perjalanan (tujuan, jarak, waktu, dan durasi);
3. Karakteristik fasilitas transportasi seperti waktu tempuh, biaya, kenyamanan, dan keamanan [11].

Selain itu, sikap (*attitude*) dan nilai personal seperti kenyamanan, otonomi, dan konformitas juga berpengaruh terhadap keputusan moda [12].

Karakteristik Wisatawan

Wisatawan didefinisikan sebagai individu yang melakukan perjalanan sementara secara sukarela dari tempat tinggalnya [8]. Faktor yang memengaruhi mobilitas wisatawan meliputi pendapatan, waktu luang, kesehatan, lokasi, dan faktor sosial-budaya. Karakteristik wisatawan dapat dikategorikan berdasarkan pola perjalanan, durasi tinggal, serta motivasi berwisata [9]. Sementara itu, pengeluaran, tipe perjalanan, dan ukuran kelompok turut menentukan perilaku mobilitas [10].

Pemilihan Moda oleh Wisatawan

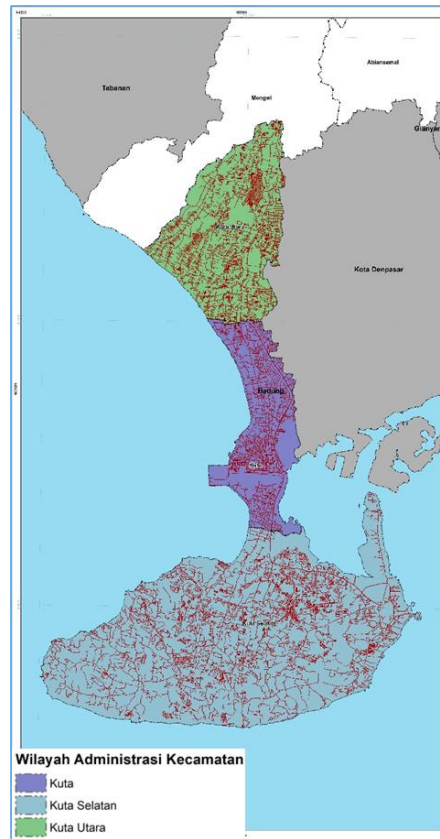
Transportasi merupakan elemen penentu aksesibilitas destinasi wisata [13]. Faktor yang memengaruhi wisatawan dalam memilih moda meliputi kenyamanan, efisiensi waktu, kemudahan akses, keamanan, serta kesadaran lingkungan [14]. Selain itu, usia, pendapatan, jumlah keluarga, durasi tinggal, dan kebijakan transportasi juga memengaruhi pemilihan moda [15][16].

Metode Pengumpulan Data Preferensi

Metode *Revealed Preference* (RP) digunakan untuk menganalisis perilaku pilihan aktual responden berdasarkan kondisi nyata [17]. Data RP mencerminkan keputusan yang benar-benar diambil, sehingga cocok untuk memprediksi perilaku jangka pendek. Namun, metode ini terbatas pada alternatif dan atribut moda yang sudah ada, sehingga kurang fleksibel dalam memproyeksikan perubahan perilaku pada situasi baru [18].

2. METODE

Penelitian dilakukan di Kawasan Kuta Raya, meliputi Kecamatan Kuta, Kuta Utara, dan Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Kawasan ini dipilih karena merupakan pusat aktivitas wisatawan domestik dengan intensitas lalu lintas yang tinggi dan menjadi lokasi perencanaan koridor MRT Bali [22].



Gambar 2. Lingkup Lokasi Penelitian

Pengumpulan Data

Populasi dalam penelitian ini mencakup wisatawan mancanegara dan domestik yang melakukan perjalanan wisata ke Kawasan Kuta Raya, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Data jumlah kunjungan wisatawan mancanegara mencapai 5.273.258 orang, sedangkan wisatawan domestik sebanyak 9.877.911 orang, dengan total populasi sebesar 15.151.169 orang [6].

Karena keterbatasan waktu, biaya, dan tenaga, penelitian ini menggunakan teknik *proportional purposive sampling*. Pengambilan sampel harus dilakukan agar sampel benar-benar mewakili karakteristik populasi [19]. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 134 orang wisatawan yang pernah berkunjung ke Kawasan Kuta Raya. Jumlah tersebut sesuai dengan pernyataan [20] yang menyatakan bahwa dalam analisis faktor, jumlah sampel dalam analisis faktor tidak kurang dari 50 dan sebaiknya berjumlah 100 atau lebih.

Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner daring menggunakan Google Form, yang diakses melalui Quick Response (QR) code untuk memudahkan partisipasi responden. Pendekatan daring ini dipilih untuk memperluas jangkauan responden sekaligus memudahkan proses pengisian data oleh wisatawan.

Penelitian ini menggunakan tiga kelompok variabel independen yang memengaruhi pemilihan moda transportasi sebagai variabel dependen, yaitu karakteristik pelaku perjalanan (usia, jenis kelamin, pekerjaan, struktur rumah tangga, jumlah grup dalam tur, dan kepemilikan SIM), karakteristik perjalanan (pengeluaran, waktu, durasi, dan jarak perjalanan), serta karakteristik fasilitas transportasi (waktu dan biaya perjalanan, kenyamanan, kemudahan, dan keamanan).

Analisis Crosstab

Analisis *Crosstab* digunakan untuk menampilkan hubungan antara dua variabel berbeda dalam bentuk tabel silang, di mana variabel bebas disajikan pada baris dan variabel terikat pada kolom. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui keterkaitan secara statistik antara variabel bebas dengan pemilihan moda transportasi. Uji *Chi-Square* digunakan sebagai alat uji statistik untuk menentukan ada atau tidaknya hubungan antara kedua variabel tersebut [21]. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

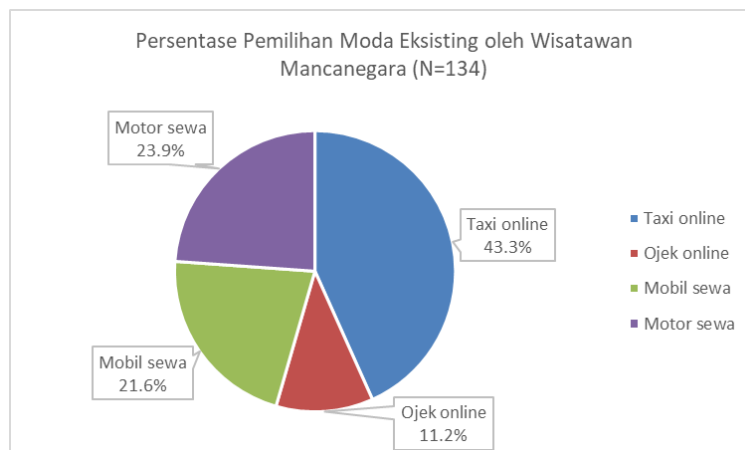
H₀: Tidak terdapat hubungan antara variabel bebas dengan pemilihan moda.

H₁: Terdapat hubungan antara variabel bebas dengan pemilihan moda.

Keputusan diambil dengan menolak H₀ apabila nilai signifikansi lebih kecil dari tingkat kepercayaan $\alpha = 0,05$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

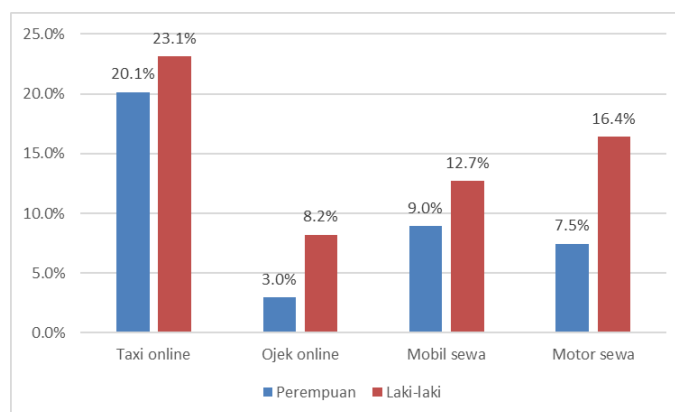
Berdasarkan hasil kuisioner terhadap 134 wisatawan mancanegara yang berkunjung ke Kawasan Kuta Raya, Bali, moda transportasi yang paling banyak digunakan adalah taksi online dengan persentase 43,3% dari total responden. Posisi kedua ditempati oleh motor sewa sebesar 23,9%, diikuti oleh mobil sewa sebesar 21,6%. Sementara itu, ojek online menjadi moda transportasi yang paling sedikit digunakan, yakni hanya 11,2%.



Gambar 3. Pemilihan Moda Eksisting oleh Wisatawan Mancanegara

Pemilihan Moda Berdasarkan Karakteristik Wisatawan

Berdasarkan hasil kuisioner terlihat adanya perbedaan preferensi moda transportasi antara wisatawan laki-laki dan perempuan. Moda transportasi yang paling banyak digunakan oleh kedua kelompok adalah taksi online, dengan persentase 23,1% pada laki-laki dan 20,1% pada perempuan. Pilihan berikutnya bagi wisatawan laki-laki adalah motor sewa (16,4%) dan mobil sewa (12,7%), sedangkan pada wisatawan perempuan urutan keduanya adalah mobil sewa (9,0%) dan motor sewa (7,5%). Penggunaan ojek online relatif rendah pada kedua kelompok, yaitu 8,2% pada laki-laki dan hanya 3,0% pada perempuan.



Gambar 4. Pemilihan Moda berdasarkan Jenis Kelamin

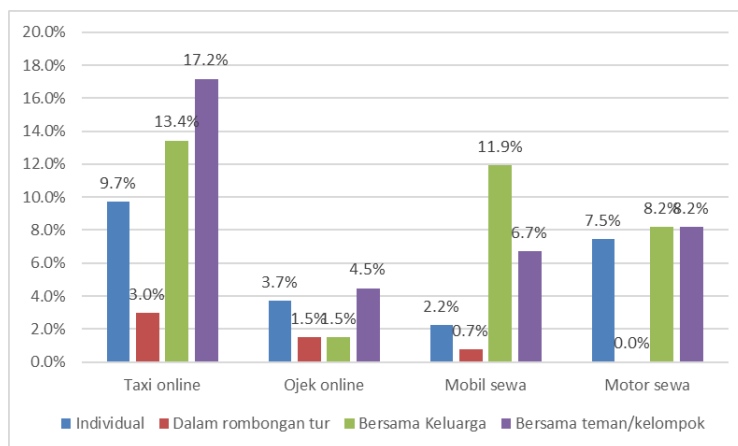
Jika dilihat berdasarkan penghasilan wisatawan, Pada kelompok penghasilan di bawah Rp 40.000.000, moda yang paling banyak digunakan adalah taksi online (6,7%), diikuti motor sewa (2,2%) dan ojek online (1,5%), sementara mobil sewa tidak digunakan sama sekali. Kelompok berpenghasilan Rp 40.000.001–Rp 60.000.000 memiliki pilihan moda yang lebih beragam, dengan mobil sewa sebagai moda dominan (7,5%), disusul taksi online (6,7%), motor sewa (5,2%), dan ojek online (3,0%). Kelompok berpenghasilan Rp 60.000.001–Rp 80.000.000 menjadi yang paling dominan secara jumlah responden (44,8%), dengan taksi online sebagai pilihan utama (17,2%), diikuti motor sewa (12,7%), mobil sewa (9,7%), dan ojek online (5,2%). Sementara itu, pada kelompok berpenghasilan Rp 80.000.001–Rp 100.000.000, moda yang paling banyak digunakan adalah taksi online (10,4%), kemudian motor sewa (3,7%), mobil sewa (3,0%), dan ojek online (0,7%). Terakhir, pada kelompok berpenghasilan di atas Rp 100.000.000 yang merupakan kelompok terkecil (4,5% responden), moda yang digunakan meliputi taksi online (2,2%), mobil sewa (1,5%), dan ojek online (0,7%), sedangkan motor sewa tidak digunakan sama sekali.

Tabel 1. Pemilihan Moda berdasarkan Penghasilan

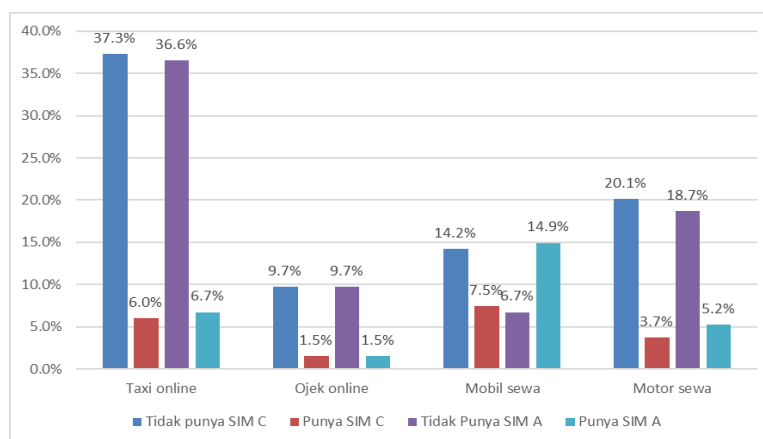
Penghasilan Wisatawan (Rp./Bln)	Kendaraan yang Digunakan saat Berwisata				Total
	Taxi online	Ojek online	Mobil sewa	Motor sewa	
< Rp 40.000.000	6.7%	1.5%	0.0%	2.2%	10.4%
Rp 40.000.001 – Rp 60.000.000	6.7%	3.0%	7.5%	5.2%	22.4%
Rp 60.000.001 – Rp 80.000.000	17.2%	5.2%	9.7%	12.7%	44.8%
Rp 80.000.001 – Rp 100.000.000	10.4%	0.7%	3.0%	3.7%	17.9%
> Rp 100.000.000	2.2%	0.7%	1.5%	0.0%	4.5%
Total	43.3%	11.2%	21.6%	23.9%	100.0%

Sumber: Penulis TA, 2025

Berdasarkan tipologi wisatawan, wisatawan yang bepergian bersama teman/kelompok paling banyak memilih taksi online (17,2%), diikuti motor sewa (8,2%) dan mobil sewa (6,7%). Pola serupa terlihat pada wisatawan yang bepergian bersama keluarga, di mana taksi online juga menjadi pilihan utama (13,4%), disusul mobil sewa (11,9%) dan motor sewa (8,2%). Wisatawan yang pergi secara individu memiliki preferensi yang lebih tersebar, dengan moda terbanyak digunakan adalah taksi online (9,7%), motor sewa (7,5%), dan ojek online (3,7%). Sementara itu, wisatawan yang bepergian dalam rombongan tur cenderung lebih sedikit menggunakan moda transportasi eksisting, dengan pilihan tertinggi adalah taksi online (3,0%) dan mobil sewa (0,7%).

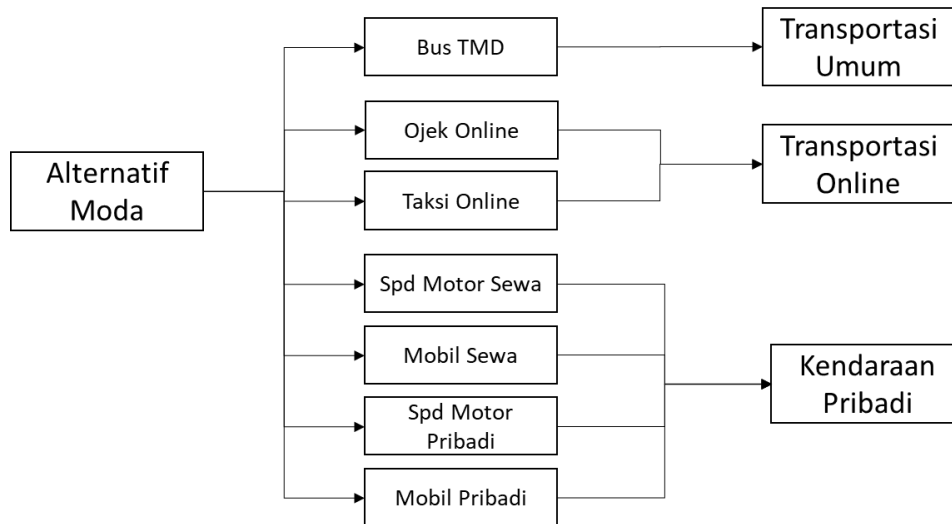
**Gambar 5.** Pemilihan Moda berdasarkan Tipologi Wisatawan

Berdasarkan kepemilikan Surat Izin Mengemudi (SIM), wisatawan mancanegara yang tidak memiliki SIM untuk sepeda motor (SIM C) sangat dominan memilih taksi online (37,3%) sebagai moda utama, diikuti motor sewa (20,1%) dan mobil sewa (14,2%). Pola serupa juga terlihat pada wisatawan yang tidak memiliki SIM untuk mobil (SIM A), di mana taksi online menjadi pilihan tertinggi (36,6%) disusul motor sewa (18,7%). Sementara itu, wisatawan yang memiliki SIM C cenderung lebih sedikit memilih moda berbasis motor dibandingkan kelompok tanpa SIM C. Pilihan utama mereka tetap taksi online (6,0%), diikuti mobil sewa (7,5%) dan motor sewa (3,7%). Sebaliknya, wisatawan yang memiliki SIM A memiliki pola yang lebih beragam, dengan mobil sewa menjadi pilihan tertinggi (14,9%), diikuti taksi online (6,7%) dan motor sewa (5,2%).

**Gambar 6.** Pemilihan Moda berdasarkan Kepemilikan Surat Izin Mengemudi

Faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Moda Wisatawan Mancanegara

Dalam memodelkan preferensi moda perjalanan, dilakukan dengan analisis Multiple Regresi Logistik. Pemilihan moda yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 7 (tujuh) alternatif moda yang meliputi Bus Trans Metro Dewata (TMD), taksi online, ojek online, mobil sewa, sepeda motor sewa, mobil pribadi, dan sepeda motor pribadi. 8 alternatif yang tersedia tersebut dikelompokkan kembali berdasarkan kesamaan karakteristiknya guna menghindari terjadinya *Sparse Category* atau *Low Cell Count* yang dapat menyebabkan estimasi koefisien tidak stabil atau bahkan tidak bisa dihitung. Struktur alternatif pemilihan moda dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar sebagai berikut.



Gambar 7. Struktur Alternatif Pemilihan Moda

Tabel 2. Hasil Analisis *Crosstab*

No	Variabel	Pearson Chi-Square	Asymp. Sig. (2-sided)	Keputusan
1	Jenis kelamin	3,193	0,363	Ho diterima
2	Usia	67,860	0,315	Ho diterima
3	Status	9,612	0,142	Ho diterima
4	Pekerjaan	—	—	Tidak dapat dihitung (variabel konstan)
5	Penghasilan	3,672	0,721	Ho diterima
6	Tipologi wisatawan	13,815	0,129	Ho diterima
7	Kepemilikan SIM C	6,164	0,104	Ho diterima
8	Kepemilikan SIM A	30,574	0,000	Ho ditolak
9	Frekuensi berkunjung	21,760	0,010	Ho ditolak
10	Pengeluaran berwisata	3,259	0,776	Ho diterima
11	Durasi berwisata	8,812	0,184	Ho diterima
12	Waktu mulai berwisata	14,046	0,522	Ho diterima
13	Estimasi jarak tempuh	5,927	0,431	Ho diterima
14	Waktu mengakses objek wisata	3,920	0,270	Ho diterima
15	Waktu tunggu transportasi	9,593	0,143	Ho diterima
16	Biaya transportasi	17,410	0,043	Ho ditolak
17	Ketersediaan parkir	3,364	0,339	Ho diterima
18	Biaya parkir	119,564	0,000	Ho ditolak
19	Kenyamanan	4,119	0,661	Ho diterima
20	Kemudahan	11,039	0,087	Ho diterima
21	Keamanan	2,648	0,449	Ho diterima
22	Keselamatan	2,358	0,501	Ho diterima
23	Ketepatan waktu	4,719	0,580	Ho diterima

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil analisis Crosstab diketahui terdapat beberapa variabel bebas yang secara statistik menunjukkan hubungan signifikan dengan pemilihan moda transportasi wisatawan di Kawasan Kuta Raya. Variabel-variabel tersebut meliputi Kepemilikan SIM A ($p = 0,000$), Frekuensi berkunjung ($p = 0,010$), Biaya transportasi ($p =$

0,043), dan Biaya parkir ($p = 0,000$). Keempat variabel tersebut memiliki nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 sehingga secara statistik dinyatakan berhubungan dengan pilihan moda kendaraan yang digunakan oleh wisatawan. Sementara itu, variabel lainnya seperti jenis kelamin, usia, status, penghasilan, tipologi wisatawan, kepemilikan SIM C, pengeluaran berwisata, durasi berwisata, waktu mulai berwisata, estimasi jarak tempuh, waktu mengakses objek wisata, waktu tunggu transportasi, ketersediaan parkir, kenyamanan, kemudahan, keamanan, keselamatan, dan ketepatan waktu tidak menunjukkan hubungan yang signifikan ($p > 0,05$), sehingga tidak berpengaruh secara langsung terhadap pemilihan moda transportasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap 134 responden wisatawan mancanegara di Kawasan Kuta Raya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik pemilihan moda transportasi wisatawan mancanegara di Kawasan Kuta Raya menunjukkan bahwa moda yang paling banyak digunakan adalah taksi online dengan persentase sebesar 43,3%, diikuti oleh motor sewa (23,9%), mobil sewa (21,6%), dan ojek online (11,2%). Hal ini menunjukkan bahwa wisatawan cenderung memilih moda yang fleksibel, mudah diakses, serta efisien dalam waktu dan biaya perjalanan.
2. Hasil analisis Crosstab dengan uji Chi-Square (χ^2) menunjukkan bahwa terdapat empat variabel yang berpengaruh signifikan terhadap pemilihan moda transportasi wisatawan mancanegara, yaitu kepemilikan SIM A ($p = 0,000$), frekuensi berkunjung ($p = 0,010$), biaya transportasi ($p = 0,043$), dan biaya parkir ($p = 0,000$). Sementara itu, variabel lain seperti jenis kelamin, usia, penghasilan, kenyamanan, kemudahan, dan keamanan tidak menunjukkan hubungan yang signifikan.
3. Secara keseluruhan, faktor biaya dan pengalaman perjalanan menjadi pertimbangan utama wisatawan dalam menentukan moda transportasi selama berwisata di Kawasan Kuta Raya. Temuan ini menunjukkan bahwa wisatawan lebih sensitif terhadap efisiensi ekonomi serta kenyamanan mobilitas selama berada di destinasi.
4. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan untuk mengembangkan sistem transportasi pariwisata yang lebih efisien, terjangkau, dan berkelanjutan, melalui peningkatan integrasi antara transportasi publik dan layanan transportasi daring di kawasan wisata Kuta Raya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [2] Suwardjoko, B. (2002). *Dasar-dasar Transportasi dan Aplikasinya dalam Pembangunan Wilayah*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [3] Lumsdon, L. (2000). *Transport and Tourism: The Travel, Tourism and Leisure Industries*. Thomson Learning, London.
- [4] Lohmann, G., & Pearce, D. G. (2012). *Tourism and Transport: Modes, Networks and Flows*. Channel View Publications, Bristol.
- [5] Saraswati, N. P. & Santosa, H. (2021). "Analisis Ketimpangan Perkembangan Pariwisata Bali Utara dan Selatan." *Jurnal Pariwisata dan Destinasi*, Vol. 9, No. 2, pp. 145–156.
- [6] Badan Pusat Statistik Provinsi Bali. (2024). *Bali Dalam Angka 2024*. BPS Provinsi Bali, Denpasar.
- [7] Badan Pusat Statistik Kabupaten Badung. (2024). *Kabupaten Badung Dalam Angka 2024*. BPS Kabupaten Badung, Badung.
- [8] Hall, C. M. (2017). *Tourism Planning and Policy*. Routledge, New York.
- [9] Becken, S., Simmons, D. G., & Frampton, C. (2003). "Segmenting Tourists by their Travel Pattern for Insights into Energy Use in Transport and Accommodation." *Journal of Travel Research*, Vol. 42, No. 1, pp. 48–56.
- [10] Crossley, J., & Lee, C. K. (1994). "The Role of Socioeconomic Factors in Tourist Mobility." *Annals of Tourism Research*, Vol. 21, No. 3, pp. 550–567.
- [11] Ortúzar, J. D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). John Wiley & Sons, Chichester.
- [12] Stark, J., & Hössinger, R. (2018). "Exploring Attitudes and Personal Values Influencing Mode Choice Behaviour." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 118, pp. 730–748.
- [13] Nugroho, S. P., Sutomo, D., & Wirawan, A. (2020). "Peran Transportasi dalam Meningkatkan Aksesibilitas Destinasi Wisata di Indonesia." *Jurnal Transportasi dan Pariwisata*, Vol. 7, No. 1, pp. 45–56.
- [14] Firdaus, R., Hidayat, M., & Sari, D. (2018). "Pengaruh Kenyamanan, Efisiensi Waktu, dan Keamanan terhadap Pemilihan Moda Transportasi Wisatawan." *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, Vol. 20, No. 3, pp. 201–210.
- [15] Rochman, M., Kusuma, N., & Bursa, I. (2020). "Analisis Faktor Sosial Ekonomi terhadap Pemilihan Moda Wisatawan di Bali." *Jurnal Rekayasa Transportasi*, Vol. 6, No. 2, pp. 87–96.

- [16] Bursa, I., & Rahmadani, T. (2022). "Socioeconomic Determinants of Tourist Mode Choice in Island Destinations." *International Journal of Tourism Research*, Vol. 24, No. 4, pp. 567–579.
- [17] Louviere, J. J., Hensher, D. A., & Swait, J. D. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [18] Train, K. (2002). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [19] Arikunto, S. (2010). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Rineka Cipta, Jakarta.
- [20] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2009). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). Pearson Education, Upper Saddle River.
- [21] Wahyono, T. (2009). *Statistik Terapan untuk Penelitian Sosial dan Ekonomi*. Andi Offset, Yogyakarta.
- [22] Pemerintah Provinsi Bali. (2023). *Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Bali Tahun 2023–2043 (RTRW Provinsi Bali)*. Pemerintah Provinsi Bali, Denpasar.

PREFERENSI PRIORITAS PENGEMBANGAN RUANG PADA PERUMAHAN TIPE 21

*Annisa Oktareangga Dheany¹, Akbar Preambudi²

¹Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta,

²Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta

^{*)}Email: oktareangga@gmail.com

Received: 8 November 2025 ; Revised: 17 November 2025 ; Accepted: 20 November 2025

ABSTRACT

Type-21 houses are among the most popular forms of housing for low-income communities due to their affordability and the support of government subsidy programs. However, the limited building area encourages occupants to undertake spatial transformations to meet functional needs and accommodate the dynamics of domestic activities. This study aims to identify the preferences and priorities of spatial development in Type-21 housing as a basis for understanding residents' adaptive spatial patterns. Data were collected through questionnaires, interviews, and field observations involving 24 Type-21 houses located in four residential areas in Magelang. Samples were selected purposively, focusing on privately owned houses that had undergone renovation. The analysis was conducted by assigning scores to the sequence of space priorities based on interview results and observations of layout changes at each renovation stage. The findings reveal that the top three space priorities are the living room, master bedroom, and main bathroom, which represent the basic functions originally provided by developers. However, the kitchen emerged as an additional primary need, considered essential by all respondents. Subsequent priorities include the terrace, additional bedrooms, and laundry areas, which develop according to the economic capacity and family size of each household. These results indicate that spatial development in small-scale housing occurs progressively and adaptively, strongly influenced by domestic needs, socioeconomic conditions, and the socio-cultural context of the occupants.

Keyword: Preferences, Space Priorities, Type-21 Housing

ABSTRAK

Rumah tipe 21 merupakan salah satu bentuk hunian yang cukup banyak diminati oleh masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) karena keterjangkauan harga dan dukungan program subsidi pemerintah. Namun, keterbatasan luas bangunan menyebabkan penghuni melakukan pengembangan ruang (spatial transformation) untuk menyesuaikan dengan kebutuhan fungsional dan dinamika aktivitas domestik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi preferensi dan prioritas pengembangan ruang pada perumahan tipe 21 sebagai dasar dalam memahami pola adaptasi spasial penghuni. Metode pengumpulan data melalui kuesioner, wawancara, dan observasi lapangan terhadap 24 sampel rumah tipe 21 di empat kawasan perumahan di Magelang. Pemilihan sampel dilakukan secara purposive dengan kriteria rumah milik pribadi yang telah mengalami renovasi. Analisis dilakukan dengan pemberian skor pada urutan prioritas ruang berdasarkan hasil wawancara dan identifikasi perubahan layout setiap tahap renovasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa urutan prioritas ruang dimulai dari ruang tamu, ruang tidur utama, dan kamar mandi/WC sebagai kebutuhan dasar yang telah disediakan oleh pengembang. Namun, dapur muncul sebagai prioritas utama tambahan yang dianggap sangat penting oleh seluruh responden. Selanjutnya, ruang teras, kamar tidur tambahan, dan area cuci menjadi prioritas berikutnya yang berkembang sesuai kondisi ekonomi dan jumlah anggota keluarga. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan ruang pada rumah tipe kecil berlangsung bertahap, adaptif, dan sangat dipengaruhi oleh kebutuhan domestik serta konteks sosial-budaya penghuni.

Kata kunci: Preferensi, Prioritas Ruang, Perumahan Tipe 21

1. PENDAHULUAN

Rumah tapak tipe 21 dengan luas bangunan yang relatif terbatas menuntut terjadinya proses pengembangan ruang (spatial transformation) oleh penghuninya untuk mencapai konfigurasi spasial yang lebih fungsional dan sesuai dengan kebutuhan aktivitas domestik. Tipe rumah berukuran kecil ini banyak diminati, khususnya oleh kelompok Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR) yang memperoleh bantuan pembiayaan atau subsidi perumahan dari pemerintah. Pada umumnya, unit-unit rumah yang dibangun atau disubsidi oleh pemerintah belum mampu menyediakan kapasitas ruang yang memadai untuk menampung seluruh fungsi rumah tangga, sehingga penghuni cenderung melakukan adaptasi spasial berupa perluasan fisik bangunan atau penambahan ruang (ekstensi) sebagai respon terhadap keterbatasan tersebut [1].

Secara umum, rumah tapak tipe 21 dirancang dengan komposisi ruang dasar yang terdiri atas satu unit kamar tidur, satu ruang serbaguna, serta satu unit kamar mandi/WC. Tipologi perumahan ini pada awalnya dikenal dengan istilah *rumah inti tumbuh* (*core house*), yaitu konsep hunian yang dirancang dengan struktur dan tata ruang minimal sebagai dasar untuk memungkinkan pengembangan ruang lebih lanjut sesuai kebutuhan dan kemampuan penghuni. Konsep *core house* memiliki karakteristik fleksibilitas dalam pengembangan ruang melalui sistem kerangka struktural modular yang dirancang untuk memungkinkan proses perluasan secara bertahap [2].

Pengulangan modul struktural tersebut berfungsi sebagai panduan dalam perencanaan dan pelaksanaan ekspansi bangunan, sehingga arah dan pola pertumbuhan rumah dapat berlangsung teratur serta tetap terintegrasi dengan struktur awal.

Preferensi Ruang

Preferensi ruang dalam konteks hunian dapat dipahami sebagai manifestasi kecenderungan individu maupun kelompok dalam menentukan, mengatur, serta memberikan makna terhadap ruang tempat tinggalnya. Konsep ini tidak semata-mata berlandaskan pertimbangan fungsional, melainkan juga dipengaruhi oleh faktor sosial, budaya, dan psikologis yang melekat pada karakter penghuni. Bentuk serta tatanan ruang hunian merupakan hasil interaksi yang kompleks antara budaya, perilaku, dan konteks lingkungan fisik [3]. Oleh karena itu, hunian tidak hanya berperan sebagai wadah aktivitas dan tempat berlindung, tetapi juga sebagai representasi nilai-nilai budaya, simbol identitas, serta refleksi dari gaya hidup penghuninya.

Faktor-faktor yang membentuk preferensi ruang dapat dikategorikan ke dalam beberapa aspek utama. Pertama, faktor sosial dan budaya menentukan bagaimana masyarakat mengatur ruang privat dan publik dalam rumahnya. Nilai-nilai budaya berpengaruh terhadap pola interaksi antar anggota keluarga dan tingkat privasi yang diinginkan [4]. Kedua, faktor lingkungan dan iklim turut memengaruhi keputusan arsitektural, seperti orientasi bangunan, sistem ventilasi, serta penggunaan material yang sesuai konteks lokal [5]. Ketiga, faktor psikologis berkaitan dengan persepsi penghuni terhadap kenyamanan, keamanan, serta keterikatan emosional terhadap tempat tinggalnya. Keterikatan terhadap tempat (*place-identity*) merupakan bagian penting dari proses sosialisasi individu terhadap lingkungan fisiknya [6]. Keempat, faktor ekonomi dan teknologi juga mempengaruhi bentuk preferensi ruang, terutama dalam konteks masyarakat urban yang menuntut efisiensi dan fleksibilitas ruang [1].

Preferensi ruang juga dipengaruhi oleh kondisi sosial, ekonomi, dan generasi. Persepsi terhadap tata letak dan representasi denah ruang mempengaruhi tingkat ketertarikan calon penghuni terhadap unit apartemen [7]. Sementara itu, penelitian di Bandung mengungkapkan adanya perbedaan signifikan antar generasi (X, Y, dan Z) dalam menentukan atribut hunian yang dianggap ideal, di mana generasi muda lebih menekankan fleksibilitas ruang dan efisiensi area [8]. Temuan serupa di Tiongkok memperlihatkan bahwa preferensi tata ruang sangat dipengaruhi oleh gaya hidup urban, keterjangkauan, serta persepsi terhadap privasi antar-ruang [9].

Bentuk preferensi ruang dapat tercermin dalam beberapa aspek, seperti tata letak ruang (*layout*), tingkat privasi, estetika, simbolisme, serta fleksibilitas fungsi ruang. Misalnya, keluarga yang memiliki intensitas interaksi tinggi cenderung menempatkan ruang keluarga di area pusat rumah agar mudah diakses semua anggota. Sementara itu, pada masyarakat dengan nilai privasi tinggi, ruang tidur dan ruang pribadi ditempatkan lebih terpisah. Masyarakat modern kini lebih menyukai ruang-ruang yang fleksibel dan dapat beradaptasi terhadap perubahan kebutuhan penghuni [10].

Pemahaman terhadap teori preferensi ruang memiliki implikasi penting dalam praktik perancangan arsitektur. Arsitek perlu memahami bahwa setiap rancangan hunian harus mampu mengakomodasi kebutuhan fungsional sekaligus nilai-nilai sosial dan emosional penghuninya. Rumah yang dirancang dengan mempertimbangkan preferensi ruang akan lebih mampu menumbuhkan *sense of place* dan *sense of belonging* [11], sehingga menghasilkan lingkungan hunian yang tidak hanya nyaman secara fisik, tetapi juga bermakna secara psikologis dan kultural.

Dalam konteks desain arsitektur, hasil-hasil tersebut memperkuat pentingnya penerapan prinsip fleksibilitas spasial, zonasi adaptif antara area publik dan privat, serta integrasi ruang yang dapat berfungsi ganda untuk menyesuaikan perubahan kebutuhan penghuni. Kesenjangan persepsi antara arsitek dan penghuni terhadap kualitas tata ruang menunjukkan perlunya pendekatan partisipatif dalam proses perancangan [12]. Dengan demikian, teori preferensi ruang pada hunian dapat menjadi dasar dalam menciptakan lingkungan domestik yang tidak hanya efisien secara fungsi, tetapi juga mendukung kesejahteraan psikologis dan sosial penghuninya.

Prioritas Ruang

Preferensi dan prioritas ruang pada hunian semakin dipandang sebagai hasil interaksi antara kebutuhan fungsional sehari-hari, kondisi kesehatan-lingkungan pasca-pandemi, dan perubahan gaya hidup urban, sehingga penghuni kini memprioritaskan ruang yang menyediakan fleksibilitas fungsi (mis. area kerja/domestik yang dapat diubah), kualitas lingkungan dalam (ventilasi dan pencahayaan), serta akses ke ruang hijau dan komunal untuk kesejahteraan sosial-psikologis [9] [12] [13]. Studi survei kontekstual menunjukkan pergeseran nyata menuju preferensi hunian bertipe *landed* atau dengan denah yang mendukung aktivitas rumah-kerja, terutama pada periode pandemi, yang menegaskan bahwa prioritas ruang dipengaruhi oleh faktor situasional (kesehatan dan pekerjaan) serta oleh kondisi demografis dan pasar lokal [14] [15]. Selain itu, riset yang membandingkan penilaian penghuni dan perancang menyoroti bahwa atribut spasial seperti keterkaitan antar-ruang, tingkat privasi, dan kemampuan adaptasi tata letak adalah prioritas utama bagi penghuni, sedangkan perancang sering menilai aspek fungsional

dan ekonomi secara berbeda, sehingga diperlukan pendekatan partisipatif untuk menyelaraskan prioritas desain dengan kebutuhan pengguna akhir [8] [16]. Prioritas ruang pada hunian sebagai kerangka konseptual bagi praktik perancangan arsitektural menuntut integrasi prinsip fleksibilitas spasial, kualitas lingkungan dalam, dan penyediaan ruang bersama yang mendukung kesejahteraan, sekaligus mempertimbangkan variasi preferensi lintas generasi dan konteks lokal agar hunian tetap relevan dan tahan terhadap perubahan kondisi sosial-ekonomi [9] [13] [14].

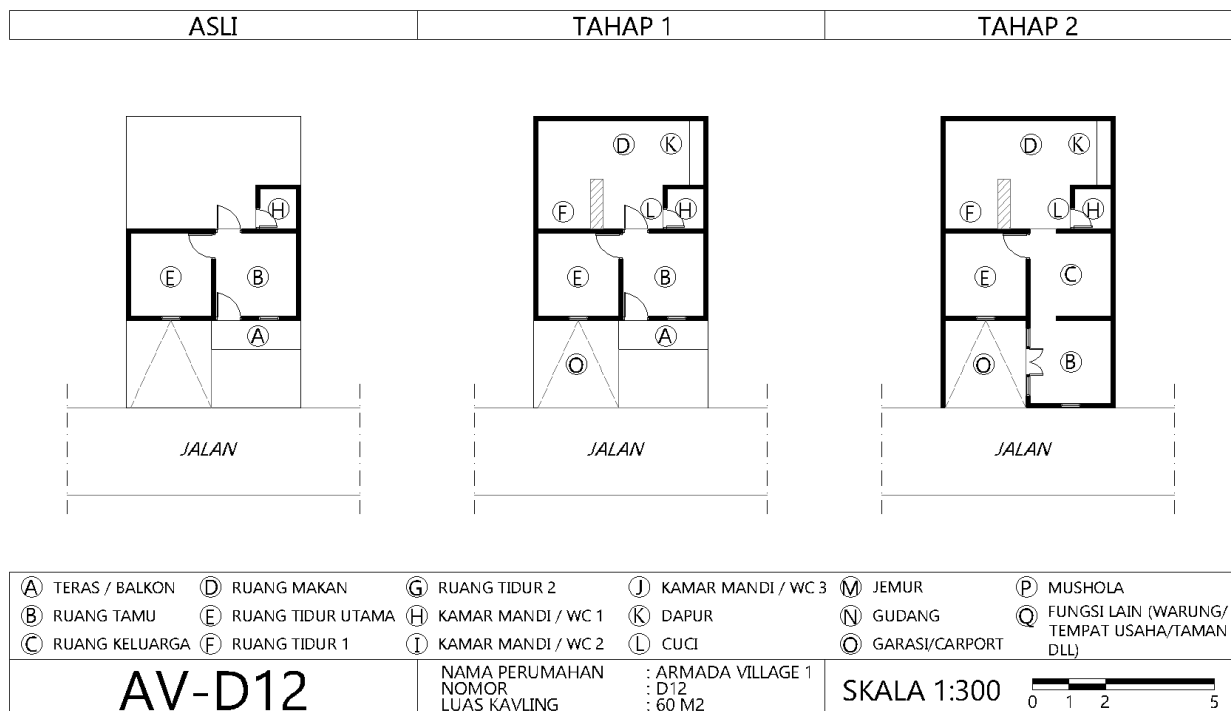
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengidentifikasi 24 sampel rumah tipe 21 yang tersebar pada empat perumahan di Magelang, yaitu Perumahan Armada Village 1 Danurejo Mertoyudan, Perumahan Bumi Prayudan Permai Prajenan Mertoyudan, Perumahan Citra Asri Madyocondro Secang, dan Perumahan Griya Asri II Ngabean Secang. Metode yang digunakan dalam pengambilan data menggunakan kuesioner, wawancara, dan observasi pada sampel dengan kriteria purposive sampling. Beberapa kriteria yang digunakan antara lain merupakan rumah dengan tipe 21, pernah mengalami renovasi, kepemilikan pribadi atau bukan sewa, responden merupakan pemilik pertama atau bukan pemilik pertama namun membeli rumah asli (tanpa renovasi pemilik sebelumnya).

Kejelasan proses perubahan ruang dapat diamati secara lebih akurat apabila perubahan tersebut dilakukan oleh pemilik yang sama. Oleh karena itu, pemilihan sampel responden difokuskan pada penghuni yang menempati rumah milik sendiri, bukan penyewa. Responden yang diutamakan adalah pemilik pertama atau pemilik berikutnya yang telah membeli unit rumah sebelum dilakukan renovasi, dengan tujuan untuk memastikan bahwa proses perubahan spasial yang diamati merupakan hasil intervensi dari individu atau keluarga yang sama sejak awal kepemilikan.

Penelitian ini mengidentifikasi preferensi urutan prioritas ruang masing-masing sampel, baik berdasarkan keinginan penghuni dari hasil wawancara maupun berdasarkan perkembangan layout rumah tiap tahap renovasi dari hasil identifikasi.

Analisis ini dimulai dengan memberikan nilai (*scoring*) kepada setiap ranking urutan prioritas ruang pada tiap sampel sesuai dengan jumlah ruang yang terdapat pada sampel tersebut. Misalkan sampel saat ini memiliki jumlah ruang sebanyak 15 ruang maka, urutan pertama bernilai 15 poin, urutan kedua bernilai 14 poin, urutan ketiga bernilai 13 poin, ..., urutan ke-15 bernilai 1 poin. Dari perankingan ini kemudian dilakukan akumulasi jumlah skor dari semua sampel. Hasil akumulasi skor kemudian digeneralisasi menjadi simpulan prioritas ruang yang ada pada perumahan tipe 21.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 1. Contoh Layout Pengembangan Rumah Tipe 21

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Prioritas Ruang

Analisis perubahan konfigurasi ruang dalam bentuk prioritas ruang dilakukan dengan mengidentifikasi urutan prioritas ruang dari masing-masing sampel. Urutan prioritas ruang diambil baik berdasarkan keinginan penghuni melalui hasil wawancara maupun berdasarkan hasil identifikasi perkembangan layout rumah pada tiap tahap renovasi melalui observasi lapangan. Prioritas ruang yang dicatat kemudian ditambahkan dengan prioritas ruang yang belum ada, namun telah direncanakan atau diinginkan oleh pemilik rumah. Identifikasi prioritas ruang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Urutan Prioritas Penambahan Ruang

NAMA RUANG	KODE RUANG	URUTAN PRIORITAS RUANG KE-																	
		ARMADA VILLAGE 1						BUMI PRAYUDAN PERMAI						CITRA ASRI					
		AV-D2	AV-D8	AV-D12	AV-D22	AV-D29	AV-D30	BP-W3	BP-W4	BP-W5	BP-W6	BP-Y5	BP-Y9	CA-E7	CA-E10	CA-G9	CA-G10	CA-H2	CA-H6
TERAS	A		4				10	4	4	4	4		4	4	4		4	4	4
RUANG TAMU	B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RUANG KELUARGA	C	6	6	9	8	7	5	6	6	6	11	5		6	8		8	9	6
RUANG MAKAN	D		7	5	5	8		10	7	7	9	6		7					
RUANG TIDUR UTAMA	E	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
RUANG TIDUR 1	F	7	8	6	6	11	9	7	8	8	5	7		9	7	5	6	6	8
RUANG TIDUR 2	G		13	10	11	12		11	9		12	8		10	10		10		9
KAMAR MANDI / WC 1	H	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
KAMAR MANDI / WC 2	I							8	10		13			11			10		
KAMAR MANDI / WC 3	J							12	11										
DAPUR	K	4	5	4	4	4	4	5	5	5	8	4	5	5	5	4	5	5	5
CUCI	L	5	9	7	7	5	6	13		9	6	9	6		6	6	7	7	12
JEMUR	M		10		12	9	7	14		10	14	10		12				10	
GUDANG	N									11	10					7		11	
GARASI / CARPORT	O	8	11	8	9	6	8	9			7	11	7	8	9	8	9	8	7
MUSHOLA	P													13				13	
FUNGSI LAIN	Q	9	12		10	10	11		12	12		12	8	14		9		11	
JUMLAH RUANG YANG ADA DI SETIAP SAMPEL		9	12	9	10	10	8	14	12	12	14	12	8	14	9	9	9	11	13
JUMLAH RUANG YANG INGIN DITAMBAHKAN		0	1	1	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
TOTAL RUANG DALAM URUTAN PRIORITAS		9	13	10	12	12	11	14	12	12	14	12	8	14	10	9	10	11	13
KETERANGAN :		Urutan prioritas ruang yang telah ada berdasarkan hasil wawancara & pengamatan lapangan																	
		Urutan prioritas ruang yang ingin ditambahkan (direncanakan) berdasarkan hasil wawancara																	

Sumber: Penulis, 2025

Urutan prioritas ruang pada Tabel 1 kemudian dikonversikan ke dalam bentuk skor dengan ketentuan peringkat 1 mendapat skor tertinggi sebanyak 17 (sesuai banyaknya ruang yang ada di dalam sampel, yaitu 17 ruang) dan peringkat terakhir (peringkat 17) mendapat skor terendah sebanyak 1. Jumlah skor setiap ruang dijadikan dasar urutan prioritas ruang (lihat Tabel 2).

Tabel 2. Urutan Prioritas Ruang

NAMA RUANG	KODE RUANG	URUTAN PRIORITAS RUANG KE-																					JUMLAH SKOR / RUANG	% SKOR	URUTAN PERING- KAT PRIORITAS			
		ARMADA VILLAGE 1						BUMI PRAYUDAN PERMAI						CITRA ASRI					GRIYA ASRI II									
		AV-D2	AV-D8	AV-D12	AV-D22	AV-D29	AV-D30	BP-W3	BP-W4	BP-W5	BP-W6	BP-Y5	BP-Y9	CA-E7	CA-E10	CA-G9	CA-G10	CA-H2	CA-H6	GA-B23	GA-C7	GA-D7				GA-D12	GA-E1	GA-E2
TERAS	A		14				8	14	14	14	14		14	14		14	14	14	14	14	14	14	14	14	246	17%	5	
RUANG TAMU	B		17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	408	29%	1	
RUANG KELUARGA	C		12	12	9	10	11	13	12	12	12	7	13		12	10		10	9	12		7	7		12	214	15%	8
RUANG MAKAN	D			11	13	13	10		8	11	11	9	12		11						12	12		11	7	163	12%	10
RUANG TIDUR UTAMA	E		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	384	27%	2	
RUANG TIDUR 1	F		11	10	12	12	7	9	11	10	10	13	11		9	11	13	12	12	10	11	11	12	9	11	245	17%	6
RUANG TIDUR 2	G			5	8	7	6		7	9		6	10		8	8		8		9	10	6	11	4	6	128	9%	11
KAMAR MANDI / WC 1	H		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	360	25%	3
KAMAR MANDI / WC 2	I							10	8			5			7				8		9	9	10	6	9	81	6%	14
KAMAR MANDI / WC 3	J							6	7													5				18	1%	16
DAPUR	K		14	13	14	14	14	14	13	13	13	10	14	13	13	13	14	13	13	13	13	13	13	13	13	316	22%	4
CUCI	L		13	9	11	11	13	12	5			9	12	9	12		12	12	11	11	6	8	10	9	10	226	16%	7
JEMUR	M			8		6	9	11	4			8	4	8		6				8	6		6		5	89	6%	13
GUDANG	N											7	8				11			7	5	4	8	8	8	76	5%	15
GARASI / CARPORT	O		10	7	10	9	12	10	9			11	7	11	10	9	10	9	10	11		8			7	183	13%	9
MUSHOLA	P														5					5		3			3	16	1%	17
FUNGSI LAIN	Q		9	6		8	8	7		6	6		6	10	4		9		7	2	4		7	5		104	7%	12
TOTAL SKOR																									1415	100%		
KETERANGAN :			Skor prioritas ruang yang telah ada (data berdasarkan urutan prioritas hasil wawancara & pengamatan lapangan)																									
			Skor prioritas ruang yang ingin ditambahkan/direncanakan (data berdasarkan urutan prioritas hasil wawancara)																									

KETERANGAN :

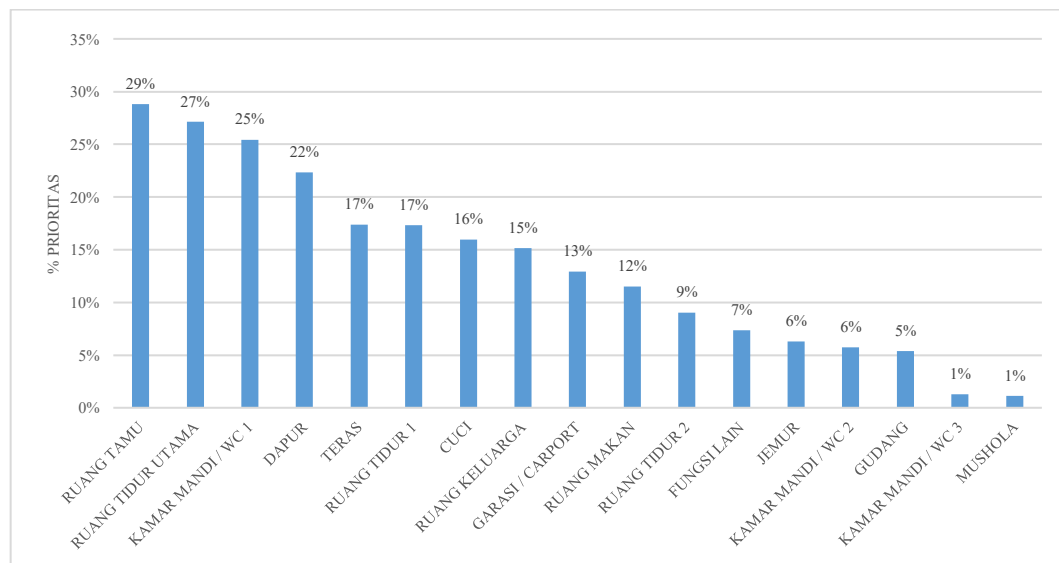
Skor prioritas ruang yang telah ada (data berdasarkan urutan prioritas hasil wawancara & pengamatan lapangan)

Skor prioritas ruang yang ingin ditambahkan/direncanakan (data berdasarkan urutan prioritas hasil wawancara)

Sumber: Penulis, 2025

Skema Prioritas Ruang

Pada penelitian ini, peneliti menganalisis dan mengidentifikasi pengembangan atau perubahan ruang perumahan tipe 21 dalam bentuk kecenderungan pola prioritas kebutuhan ruang berdasarkan keinginan penghuni melalui hasil wawancara maupun berdasarkan hasil identifikasi perkembangan layout rumah tiap tahap renovasi melalui observasi lapangan. Dari analisis tersebut, dihasilkan urutan prioritas ruang sebagai berikut: (1) ruang tamu; (2) ruang tidur utama; (3) kamar mandi/WC 1; (4) dapur; (5) teras; (6) ruang tidur 1; (7) cuci; (8) ruang keluarga; (9) garasi/carport; (10) ruang makan; (11) ruang tidur 2; (12) fungsi lain; (13) jemur; (14) kamar mandi/WC 2; (15) gudang; (16) kamar mandi/WC3; dan (17) mushola. Urutan prioritas ruang dapat dilihat pada bagan Gambar 2.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 2. Diagram Urutan Prioritas Pengembangan Ruang

Tiga ruang dengan urutan prioritas pertama adalah ruang tamu, ruang tidur utama, dan kamar mandi/WC 1 (*main bathroom*), yang sudah disediakan oleh pengembang pada layout awal rumah. Hal ini terlihat dari pemilik rumah yang tetap mempertahankan ketiga ruang ini apa adanya, atau bahkan meningkatkannya dengan

melakukan beberapa perubahan ruang, baik movement (perpindahan), addition (penambahan), maupun dimensional (ukuran). Namun, pada dasarnya ketiga fungsi ruang ini tetap menempati prioritas terdepan. Ruang tamu memiliki prioritas nomor satu karena semua pemilik rumah (mayoritas Suku Jawa) sangat mementingkan adanya ruang yang digunakan untuk menerima tamu. Keberadaan ruang ini selalu dapat ditemui pada setiap sampel, baik pada posisi asli, bergeser ke depan, maupun diperbesar atau diperkecil ukurannya.

Prioritas ruang selanjutnya adalah penambahan ruang dapur. Hal ini dikarenakan tidak disediakannya dapur pada layout rumah asli oleh pengembang, sedangkan persepsi seluruh pemilik rumah yang merupakan orang asli Indonesia (mayoritas Suku Jawa) menganggap adanya dapur merupakan prioritas pokok yang harus ada dalam sebuah hunian.

Teras menempati prioritas setelah adanya dapur. Teras sendiri merupakan ruang yang telah disediakan oleh pengembang pada layout awal rumah. Banyak pemilik rumah yang masih menganggap teras ini penting sehingga tetap mempertahankan keberadaannya, bahkan memperluas, menambah atau meningkatkan kualitas teras miliknya. Akan tetapi, tidak semua pemilik rumah menganggap teras sebagai prioritas ruang lagi, sehingga beberapa di antaranya justru menjadikan teras sebagai fungsi lain, bahkan membongkarkannya pada tahap renovasi yang dilakukan.

Ruang tidur tambahan pertama (ruang tidur 1) menempati prioritas keenam. Penambahan ini dilatarbelakangi kebutuhan pemilik rumah yang memiliki anak, sehingga membutuhkan kamar tidur tambahan. Dari 24 sampel diteliti, hanya satu rumah yang tidak memiliki ruang tidur tambahan, yaitu sampel BP-Y9. Pemilik dari sampel ini tidak menambahkan kamar tidur, namun memperluas kamar tidur utama dengan alasan sudah terbiasa tidur bersama anak tunggalnya meskipun sang anak sudah dewasa.

Prioritas berikutnya ditempati oleh ruang cuci. Ruang cuci disini dianggap penting keberadaannya untuk kehidupan sehari-hari. Bentuk dari ruang cuci pada beberapa sampel berupa ruang khusus yang terpisah, beberapa lainnya menyatu dengan fungsi lain, hanya zona nya saja yang terpisah secara imajiner. Sebanyak 22 sampel mencuci dengan mesin cuci, sehingga tidak memerlukan ruang yang lebar. Dua sampel lain tidak memiliki ruang cuci dan mencuci menggunakan tangan di kamar mandi.

Selanjutnya, prioritas ruang dari perumahan tipe 21 adalah ruang keluarga. Dari 24 sampel diteliti, 20 sampel diantaranya memiliki ruang keluarga sebagai prioritas penting, sedangkan empat diantaranya tidak menganggap ruang keluarga sebagai prioritas sehingga tidak memiliki ruang keluarga. Keempat sampel ini biasa berkumpul dengan keluarga di kamar tidur, ruang tamu, atau ruang makan. Secara umum, keberadaan ruang keluarga dianggap penting oleh pemilik rumah sebagai tempat berkumpul bersama anggota keluarga, namun keterbatasan lahan yang ada membuat beberapa pemilik rumah beradaptasi dengan menggantikan fungsi berkumpul pada ruang keluarga menjadi pada ruang lain.

Prioritas berikutnya ditempati garasi/carport kemudian ruang makan. garasi/carport dipandang lebih penting daripada ruang makan karena semua sampel memiliki kendaraan bermotor, baik roda dua maupun roda empat yang harus disimpan, terutama pada malam hari. Dari semua sampel yang diteliti, hanya empat sampel yang tidak memiliki garasi/carport sehingga mereka menaruh kendaraan mereka (kendaraan roda 2) di depan rumah pada siang hari dan di ruang tamu pada malam hari. Sementara itu, keberadaan ruang makan hanya dianggap penting oleh 15 sampel. Itupun hanya sebagian kecil yang menggunakannya untuk kegiatan makan sehari-hari. Pada umumnya pemilik rumah menggunakan ruang makan ketika menjamu tamu atau sekedar untuk menata makanan yang siap untuk dimakan. Kegiatan makan sebagian besar sampel dilakukan pada ruang bersama seperti ruang keluarga dan ruang tamu.

Prioritas berikutnya ditempati ruang tidur 2, dan fungsi lain. Seperti halnya ruang tidur 1, penambahan ruang tidur 2 dilatarbelakangi kebutuhan pemilik rumah yang memiliki beberapa anak, sehingga membutuhkan kamar tidur tambahan bagi anak-anaknya. Terdapat 10 sampel yang memiliki ruang tidur 2 dan tujuh sampel yang menginginkan penambahan kamar tidur 2 setelah dana mencukupi. Sementara itu, tujuh sampel lain merasa sudah cukup dengan kamar tidur yang ada sehingga tidak ingin menambahkannya lagi. Berikutnya, beberapa sampel memprioritaskan penambahan fungsi lain, sebagian untuk fungsi usaha, yaitu membuka warung, sebagian lain untuk fungsi hobi seperti memelihara ikan, unggas, atau merawat taman.

Prioritas terakhir ditempati ruang jemur, kamar mandi/WC 2, gudang, kamar mandi/WC3, dan mushola. Ruang-ruang ini dianggap sebagai fungsi tambahan yang tidak menempati prioritas utama. Untuk ruang jemur, 13 sampel tidak memilikinya, dua diantaranya ingin memilikinya pada prioritas pembangunan selanjutnya. Diantara sampel ini menjemur cucian mereka tidak pada tempat khusus, seperti pada balkon dan depan rumah. Kamar mandi/WC 2, gudang, kamar mandi/WC3 merupakan ruang-ruang tersier yang akan ditambahkan pemilik ruang pada prioritas terakhir. Sementara itu, mushola menempati prioritas paling terakhir karena dari semua sampel tidak semuanya

beragama Islam dan diantara yang beragama Islam pun banyak yang memiih untuk sholat di masjid, mushola, atau kamar tidur.

Pengembangan ruang yang terjadi pada perumahan tipe 21 pada umumnya terjadi secara bertahap. Tahapan terjadinya pengembangan tersebut berdasarkan pada tingkat prioritas ruang yang ditentukan berdasarkan perubahan kebutuhan ruang pada setiap tahap renovasi.

4. KESIMPULAN

Pengembangan atau perubahan ruang yang terjadi pada perumahan tipe 21 terjadi secara bertahap. Tahapan pengembangan tersebut berdasarkan urutan prioritas ruang yang diperoleh dari hasil wawancara dan observasi perkembangan layout konfigurasi spasial rumah. Urutan prioritas ruang pada perumahan tipe 21 tersebut adalah sebagai berikut: (1) ruang tamu; (2) ruang tidur utama; (3) kamar mandi/WC 1; (4) dapur; (5) teras; (6) ruang tidur 1; (7) cuci; (8) ruang keluarga; (9) garasi/carport; (10) ruang makan; (11) ruang tidur 2; (12) fungsi lain; (13) jemur; (14) kamar mandi/WC 2; (15) gudang; (16) kamar mandi/WC3; dan (17) mushola. Tiga ruang dengan urutan prioritas pertama adalah ruang tamu, ruang tidur utama, dan kamar mandi/WC 1, yang sudah disediakan oleh pengembang pada layout awal rumah. Hal ini menunjukkan bahwa sesungguhnya, pengembang telah menyediakan kebutuhan dasar bagi penghuni. Namun demikian, terdapat satu buah kebutuhan dasar yang merupakan prioritas kebutuhan ruang nomer empat, yaitu dapur yang belum disediakan oleh pengembang, sehingga pemilik rumah harus menambahkannya bahkan sebelum rumah mulai dihuni. Prioritas kebutuhan ruang selanjutnya berkembang secara natural sesuai dengan kebutuhan masing-masing pemilik rumah, jumlah anggota keluarga, dan yang paling mendasar adalah perkembangan perekonomian pemilik rumah. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan ruang pada rumah tipe kecil berlangsung bertahap, adaptif, dan sangat dipengaruhi oleh kebutuhan domestik serta konteks sosial-budaya penghuni.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. G. Tipple, "Housing extensions as sustainable development," *Habitat International*, vol. 23, no. 1, pp. 13–33, 1999.
- [2] Ikaputra, "Core house: A structural expandability for living. Study case of Yogyakarta post-earthquake 2006," *DIMENSI (Jurnal Teknik Arsitektur)*, vol. 36, no. 1, pp. 1–10, 2008.
- [3] A. Rapoport, *House Form and Culture*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1969.
- [4] R. J. Lawrence, *Housing, Dwellings and Homes: Design Theory, Research and Practice*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1987.
- [5] A. Rapoport, *The Meaning of the Built Environment: A Nonverbal Communication Approach*. Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1982.
- [6] H. M. Proshansky, A. K. Fabian, and R. Kaminoff, "Place-identity: Physical world socialization of the self," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 3, no. 1, pp. 57–83, 1983.
- [7] J. Baker, "The effects of floor plan representations on preferences for apartments," *Journal of Housing*, vol. 48, no. 2, pp. 115–129, 2023.
- [8] D. Suryaningsih, R. Hidayat, and D. Yuliana, "Housing attribute preferences in Bandung City: A comparison between Generation X, Y, and Z," *Dimensi Arsitektur*, vol. 51, no. 1, pp. 45–60, 2024.
- [9] Y. Chen, X. Li, and T. Zhang, "Exploring the unit spatial layout preference for urban multi-unit residential buildings: A survey in Beijing, China," *Sustainability*, vol. 15, no. 15, p. 12013, 2023.
- [10] A. Leaman and B. Bordass, "Assessing building performance in use: The probe occupant surveys and their implications," *Building Research & Information*, vol. 29, no. 2, pp. 129–143, 2001.
- [11] E. Relph, *Place and Placelessness*. London, UK: Pion Limited, 1976.
- [12] A. Stankowska, "The third wave of COVID-19 versus the residential preferences for access to nature," *Sustainability*, vol. 14, no. 5, p. 2780, 2022.
- [13] S. Jagannath, "Flexibility of the home and residents' psychological wellbeing," *Journal of Environmental Psychology*, 2024.
- [14] A. Gamal, "Housing preference shifting during COVID-19 pandemic in Indonesia," *Smart City Journal / Scholar UI*, 2023.
- [15] A. Bedi and R. A. Rahadi, "A study of post-pandemic millennial housing preferences," in *Proc. Int. Conf. Innovation in Planning*, 2024.
- [16] I. Brkanić Mihić, B. Bojanić Obad Šćitaroci, and M. Obad Šćitaroci, "Residents' and architects' perceptions of apartments: Ranking spatial characteristics and housing quality assessment," *Buildings*, vol. 14, no. 3, p. 510, 2024.

KOMPOSISI FASAD WISMA KILANG SEBAGAI BASIS REKONSTRUKSI ARSITEKTUR JENGKI DI BALIKPAPAN

*Denny Huldiansyah¹, Fulkha Tajri M.², Sherlia³

¹Center for Sustainable Creative City of Borneo, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

²Center for Sustainable Creative City of Borneo, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

³Center for Sustainable Creative City of Borneo, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

^{*)} Email: denny.huldiansyah@lecturer.itk.ac.id

Received: 9 November 2025 ; Revised: 18 November 2025 ; Accepted: 20 November 2025

ABSTRACT

Jengki architecture represents a modern architectural style that flourished in Indonesia during the 1950s and 1960s. One of its remaining examples is Wisma Kilang, located at Pantai Kilang Mandiri, Balikpapan. This building serves as a silent witness to the city's visual transformation over time and once stood out for its distinctive form that shaped the architectural trends of its era. However, modernization has brought significant alterations to the building, primarily driven by contemporary functional demands and owner preferences. The façade, in particular, has undergone substantial changes in its components, materials, and overall composition, posing a potential threat to the continuity of Jengki architectural identity. This study aims to identify façade components and analyze their compositional characteristics to understand the phenomena of consistency and transformation. A qualitative-descriptive method with a rationalistic paradigm was applied in field data collection. Data were analyzed through morphological visual analysis and triangulation. The research examined six Wisma Kilang buildings, focusing on roof structures, fences, columns, and openings. Findings indicate several façades have changed, especially in doors, windows, and canopy roofs, due to renovation and functional adaptation. Nevertheless, two buildings maintain a consistent façade composition, which may serve as a preliminary reference for reconstructive and preservation efforts of historical buildings within the façade context in the future.

Keyword: Composition, Facade, Jengki Architecture, Wisma Kilang, Balikpapan

ABSTRAK

Arsitektur jengki merupakan gaya arsitektur modern yang berkembang di Indonesia pada periode tahun 1950 hingga 1960. Salah satu peninggalan arsitektur jengki ini adalah Wisma Kilang yang terletak di Pantai Kilang Mandiri, Balikpapan. Bangunan ini merupakan saksi bisu dinamika perubahan visual kota Balikpapan dari masa ke masa yang masih eksis hingga saat ini. Eksistensi bangunan ini pernah berjaya di masa lalu dikarenakan keunikan bentuk yang turut mewarnai tren arsitektur di kala itu. Memasuki era modernisasi, arsitektur Wisma Kilang telah mengalami perubahan yang sangat signifikan demi memenuhi tuntutan fungsi kekinian dan keinginan pemilik semata. Salah satu komponen yang paling banyak berubah ada fasad, baik komponennya, materialnya hingga ke komposisi fasadnya. Hal ini tentunya akan menjadi ancaman terhadap keberlangsungan arsitektur jengki yang diprediksi akan terus memudar sedikit demi sedikit. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen fasad serta menganalisis komposisi fasad secara komprehensif dalam melihat fenomena konsistensi dan perubahan fasad. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif-deskriptif dengan pendekatan paradigma rasionalistik dalam pengambilan data di lapangan. Data dan informasi kemudian dianalisis dengan menggunakan analisis visual morfologi serta triangulasi data. Obyek penelitian ini adalah enam Wisma Kilang dengan elemen-elemen yang diamati berfokus pada atap, pagar, kolom dan bukaan bangunan. Penelitian ini mengungkapkan bahwa terdapat beberapa fasad wisma yang mengalami perubahan, khususnya pada pintu, jendela dan atap kanopi akibat renovasi serta perubahan fungsi. Selain itu, terdapat dua wisma yang memiliki komposisi yang konsisten dari wisma lainnya. Konsistensi komposisi inilah yang akan dijadikan referensi dan pedoman awal rekonstruktif dalam melestarikan bangunan bersejarah dalam lingkup fasad di masa depan.

Kata kunci: Komposisi, Fasad, Arsitektur Jengki, Wisma Kilang, Balikpapan

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 1950 hingga 1960 muncul sebuah gaya atau langgam baru pada arsitektur Indonesia dengan karakteristik bentuk yang berbeda dengan perkembangan arsitektur lainnya, seperti arsitektur kolonial, arsitektur indis maupun arsitektur tradisional setempat, yang kemudian dikenal sebagai arsitektur jengki [1]–[8]. Arsitektur jengki merupakan arsitektur modern di Indonesia yang tumbuh berkembang pesat pada periode tersebut sebagai penanda lahirnya semangat nasionalisme, penolakan terhadap gaya kolonialisme, gerakan modernism, serta bentuk pencarian identitas dan jati diri arsitektur Indonesia pasca kemerdekaan di masa tersebut [1]–[11]. Arsitektur jengki lahir dari pergerakan modernisme di Indonesia pada masa orde lama yang didasari pada pemberontakan ideologis arsitek-arsitek Indonesia terhadap langgam neokolonialisme dan kapitalisme [4], [10]. Gaya arsitektur jengki memperlihatkan teknik penggabungan massa-massa geometris secara ekspresif, dengan pengolahan bidang yang tidak simetris, garis-garis lengkung, jauh dari kesan kaku, serta pemberian wujud atap yang berbeda-beda [3]–[5]. Selain itu, arsitektur jengki secara spesifik juga memiliki ciri-ciri yang menonjol, di antaranya atap pelana

kemiringan 35 derajat dengan bentuk tidak menyatu di salah satu sisinya sebagai Sirkulasi udara; dinding depan yang miring; memiliki roster; memiliki beranda; bentuk dasar fasad yang miring dengan denah persegi; serta kombinasi bahan finishing fasad meliputi batu alam [1], [11]. Selain itu, beberapa ciri-ciri lainnya adalah bangunan menggunakan konstruksi beton; memiliki atap datar dari beton; penggunaan kaca yang lebar dalam jumlah besar; serta penggunaan warna putih yang dominan [7]. Keunikan karakter inilah yang menjadikan arsitektur jengki sebagai desain dengan nilai-nilai estetis pasca kemerdekaan yang belum pernah ada pada desain-desain tradisional Indonesia [8]. Arsitektur jengki pada masa kini mulai terancam punah dikarenakan renovasi yang dilakukan pemilik dengan mengganti gaya arsitektur aslinya, mengingat hingga saat ini arsitektur ini di beberapa tempat belum dikategorikan sebagai arsitektur *heritage* dan sangat memungkinkan terjadinya perubahan dan akhirnya langgam ini akan mudah dan menghilang [3]. Banyak bangunan seperti ini mengalami penurunan secara signifikan dalam penggunaannya, bahkan dapat dikatakan sudah hampir tidak ada yang menggunakan gaya tersebut [6].

Arsitektur jengki telah membawa perkembangan yang pesat pasca kemerdekaan hingga membentuk visual arsitektur suatu kota, salah satunya adalah Balikpapan. Kota Balikpapan memiliki satu kawasan yang terdiri dari 6 (enam) bangunan dengan fungsi sebagai penginapan dan desain yang erat kaitannya dengan arsitektur jengki, yaitu Wisma Kilang Balikpapan. Wisma ini didirikan pada tahun 1960-an di kawasan Pantai Kilang Mandiri dan menjadi daya tarik visual kota sekaligus saksi bisu dinamika perkembangan kota yang terus berubah dari masa ke masa. Arsitektur jengki di Balikpapan bertransformasi melalui pengaruh lingkungan dan iklim dengan bentuk atap miring, ventilasi yang baik, fasad yang ekspos, ekspresif, tidak simetris, dan penggunaan material yang sesuai dengan iklim setempat [12]. Arsitektur ini tengah diambang kepunahan akibat modernisasi melalui renovasi mayor yang dilakukan oleh pemilik wisma. Kegiatan ini menjadi ancaman bagi keberlanjutan Wisma Kilang sebagai representasi arsitektur jengki yang masih tersisa di Balikpapan. Saat ini keenam Wisma Kilang masih beroperasi sebagai penginapan komersial yang mendukung fasilitas wisata di kawasan Pantai Kilang Mandiri Balikpapan.

Fasad merupakan tampilan visual bangunan yang akan dilihat pertama kali pada suatu arsitektur utuh dan menjadi hal pertama yang diapresiasi dan cerminan tata ruang dalam suatu bangunan [13]. Fasad merupakan tampilan visual suatu bangunan yang mencerminkan suatu karakteristik atau langgam tertentu. Karakter bangunan dapat tercermin dalam wujud fasad bangunan [14]. Fasad merupakan indikator dari karakteristik bangunan yang umumnya dilihat dari beberapa elemen arsitekturnya, seperti atap, pintu, jendela, ventilasi dan ornamentasi dinding [7], [15]. Komposisi fasad menjadi tampilan yang mencerminkan citra, ekspresi seluruh bagian bangunan, jiwa bangunan, mengungkap arti fungsi dan tingkat kemajuan kebudayaan, serta sebagai bukti sejarah pada masa bangunan tersebut dibangun [16]. Komposisi fasad tentunya lebih mempertimbangkan kebutuhan-kebutuhan fungsional seperti pintu, jendela, tekstur, bahan yang digunakan, pelindung matahari, atap, serta hal-hal yang menyangkut struktur [16].

Dinamika urban yang tinggi dan jejak sejarah modernitas saat ini yang cenderung kuat membuat eksistensi arsitektur jengki semakin terpinggirkan. Fasad merupakan komponen yang paling banyak mengalami perubahan yang signifikan dari masa ke masa, baik dari segi elemen arsitektur hingga komposisinya. Fasad pada bangunan Wisma Kilang juga telah mengalami berbagai macam perubahan dalam berbagai aspek, seperti perubahan material, perubahan komposisi, hingga perubahan bentuk elemen-elemen pembentuk fasadnya. Hal ini tentunya akan memunculkan permasalahan yang krusial mengenai identitas dan keaslian bangunan Wisma Kilang sebagai peninggalan arsitektur langgam jengki yang masih tersisa. Komposisi fasad pada Wisma Kilang juga memperlihatkan proses perubahan yang mulai memudahkan komposisi asli dari bangunan sejak pertama kali berdiri. Transformasi yang dilakukan semata-mata ditujukan demi menunjang modernisasi dan fungsi kekinian tanpa memperhatikan nilai sejarah yang tercipta di dalamnya. Minimnya dokumentasi dan studi mendalam mengenai aspek komposisi fasad menyebabkan hilangnya pemahaman terhadap struktur estetika, proporsi, serta elemen desain yang membentuk identitas dari arsitektur tersebut. Padahal, fasad merupakan elemen visual yang paling signifikan dalam mengkomunikasikan nilai estetika dan karakter lokalitas suatu gaya arsitektur. Perlu dilakukan identifikasi mengenai komposisi fasad melalui pendekatan studi morfologi dalam rangka melihat kontinuitas dan perubahan yang terjadi pada Wisma Kilang di masa kini.

Penelitian-penelitian terdahulu telah berupaya untuk menggali karakter arsitektur jengki di Wisma Kilang seperti yang dilakukan oleh Putra (2015) dalam mengidentifikasi elemen-elemen arsitektur keseluruhan Wisma Kilang meliputi keberadaan elemen unik yang terlihat dari bentuk atap, bentuk dinding, ada atau tidaknya beranda, bentuk kusen yang dimodifikasi, penggunaan roster, serta elemen dekoratif pendukung bangunan [17]. Selain itu, terdapat penelitian yang dilakukan oleh Huldiansyah et.al (2025) dalam mengidentifikasi Wisma Kilang dengan berfokus pada elemen bukaan pada bangunan, meliputi pintu, jendela dan ventilasi melalui pendekatan tipologi dan konsistensinya [12]. Beberapa penelitian lainnya juga telah dilakukan dengan fokus arsitektur jengki tetapi berbeda fokus penelitian, di antaranya yang berfokus pada tipologi fasad [15], [16], [18]–[21], berfokus pada elemen-elemen arsitektur jengki di Kota Blitar [22], serta yang membahas mengenai elemen-elemen arsitektur

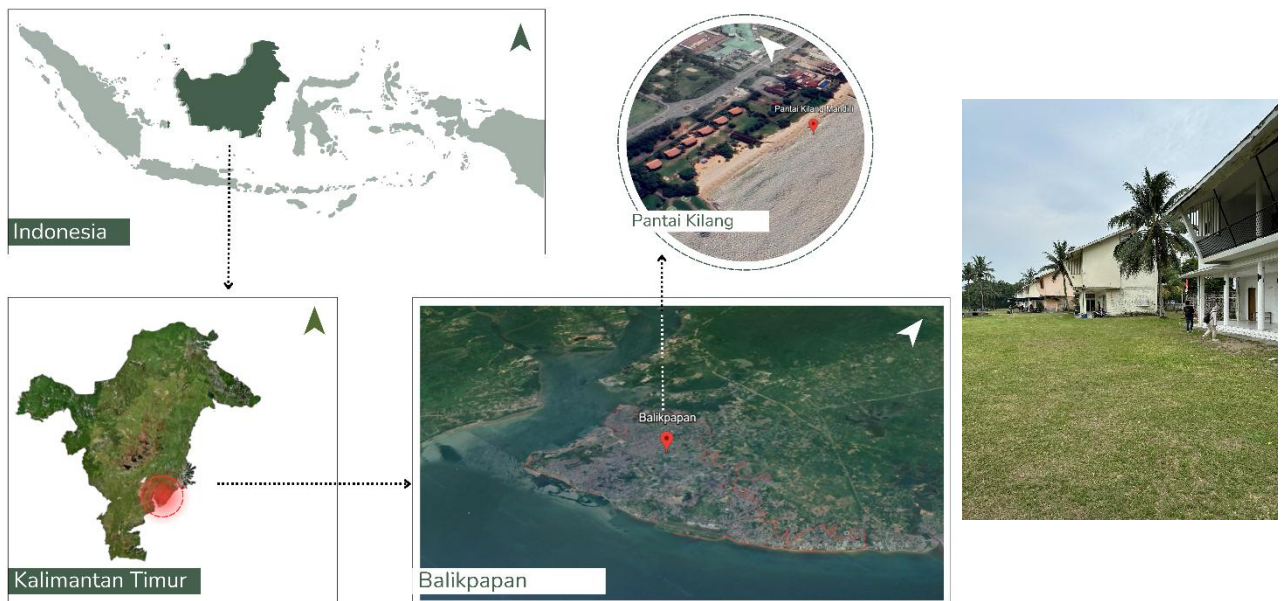
jengki di Sragen [13]. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa belum adanya penelitian yang secara spesifik mengkaji komposisi fasad pada arsitektur jengki di Balikpapan.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat serta menggali secara komprehensif komposisi fasad bangunan Wisma Kilang sebagai representasi arsitektur jengki yang masih bertahan di Balikpapan. Hal ini adalah langkah awal dalam rekonstruksi pengetahuan dan pemahaman komposisi fasad arsitektur jengki di Balikpapan, yang diharapkan dapat berkontribusi terhadap pelestarian warisan arsitektur di Balikpapan dan membangun kesadaran pemangku kepentingan akan pentingnya mempertahankan bangunan bersejarah. Melalui kegiatan ini diharapkan dapat memberikan gambaran identifikasi pola komposisi fasad yang khas di Wisma Kilang Balikpapan, sehingga hasil penelitian dapat diimplementasikan sebagai referensi dalam menyusun kebijakan prinsip-prinsip rekonstruktif sebagai acuan dalam konservasi, revitalisasi, maupun reinterpretasi desain arsitektur jengki dan juga memperkuat kesadaran historis dan estetis akan nilai-nilai arsitektur modern lokal sebagai bagian dari identitas Kota Balikpapan serta potensi kepariwisataan berbasis nostalgia historis di masa depan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif-deskriptif dengan paradigma rasionalistik dalam pengambilan data dan informasi di lapangan. Pendekatan ini menekankan pada proses yang sistematis, valid, berdasarkan fakta empiris, analisis yang mendalam dan komprehensif, serta pembahasan yang didukung dengan teori-teori yang relevan [23]. Proses pengambilan data dilakukan melalui studi literatur, observasi lapangan dengan melihat elemen-elemen fasad Wisma Kilang, dokumentasi detil arsitektur fasad, dan wawancara dengan pihak pengelola. Elemen-elemen pengamatan fasad bangunan terdiri dari pintu, lantai, jendela, pagar pembatas, atap, penanda dan ornamen, sedangkan komposisi fasad bangunan meliputi geometri, simetri, ritme, kontras, skala dan proporsi [27]. Penelitian ini menggunakan metode sinkronik dalam historiografi arsitektur yang berfokus pada perubahan pada satu masa tertentu. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan analisis visual morfologi dengan melihat wujud atau bentuk dari fasad dan analisis triangulasi melalui validasi data dari berbagai sumber primer dan sekunder dalam menggali komposisi fasad dan dinamika perubahan yang terjadi [23], [24].

Penelitian ini berlokasi di Wisma Kilang yang terletak di Pantai Kilang Mandiri, Jalan Jenderal Sudirman, Prapatan, Balikpapan Selatan. Pantai ini merupakan salah satu destinasi wisata masyarakat di tengah kota dengan beragam fasilitas yang menyuguhkan keindahan pantai dan sekitarnya. Pantai ini beroperasi setiap hari mulai pukul 07.00 – 22.00 WITA. Salah satu atraksi menariknya adalah Wisma Kilang yang kini difungsikan sebagai penginapan komersial yang beroperasi 24 jam dan mendukung fasilitas wisata di Pantai Kilang Mandiri.



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 8. Lokasi penelitian yang berada di Pantai Kilang, Balikpapan

Obyek penelitian ini adalah Wisma Kilang yang berjumlah 6 (enam) bangunan terbentang dari barat hingga timur kawasan Pantai Kilang Mandiri. Keunikan dari wisma ini adalah gaya desain arsitekturnya yang merepresentasikan arsitektur jengki dan satu-satunya bangunan jengki yang masih bertahan hingga saat ini. Selain itu, kondisi

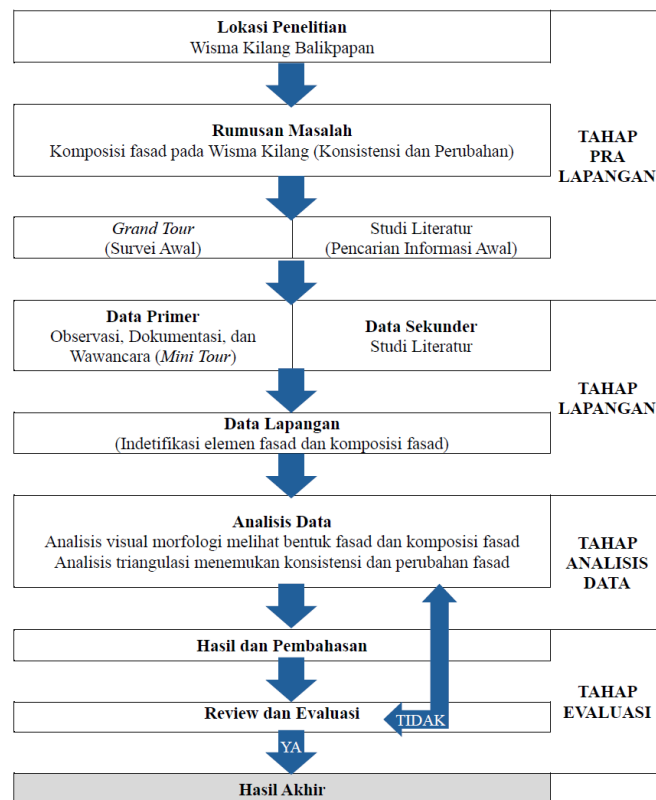
eksisting wisma yang mulai mengalami perubahan yang signifikan dan bahkan mengubah struktur komposisi bangunan, khususnya komposisi fasad akibat dari tuntutan fungsi kekinian dan peningkatan suasana pariwisata di lingkungan sekitar. Komposisi fasad menjadi penting untuk diteliti karena ini merupakan langkah awal dalam mengidentifikasi wujud awal dari Wisma Kilang di masa lalu. Elemen-elemen fasad yang akan dilihat pada penelitian ini sebagai obyek amatan adalah atap, kolom, pagar, serta bukaan bangunan (pintu, jendela dan ventilasi), termasuk komposisi dari seluruh elemen tersebut sebagai pembentuk fasad Wisma Kilang. Dalam upaya mempermudah analisis, obyek Wisma Kilang diberikan kode RJ (Rumah Jengki) sebagai penanda antara satu bangunan dengan bangunan lainnya. Pengkodean ini kemudian diberikan pada setiap wisma, sehingga diperoleh kode RJ 1, RJ 2, RJ 3, RJ 4, RJ 5 dan RJ 6. Wisma dengan koden RJ 1 terletak di sisi paling barat dan diurutkan ke arah timur hingga berakhir di RJ 6 yang terletak di sisi paling timur kawasan.



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 9. Objek penelitian (Wisma Kilang), posisi dan pengkodean

Penelitian ini dilakukan dalam 4 (empat) tahapan, yang meliputi tahap pra lapangan, tahap lapangan, tahap analisis data dan tahap evaluasi. Tahap pra lapangan dilakukan dengan merumuskan masalah yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, kemudian melakukan survei awal hingga studi literatur untuk menentukan instrumen penelitian. Tahap lapangan dilakukan melalui pengumpulan data primer (observasi, dokumentasi dan wawancara) serta data sekunder (studi literatur) sebagai bahan untuk mengoleksi data lapangan secara empiris. Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi fasad, melihat pola komposisi fasad, serta menentukan konsistensi dan perubahan komposisi fasad. Tahap evaluasi dilakukan untuk mengecek kembali hasil analisis yang dilakukan untuk memperoleh kebenaran data di lapangan.

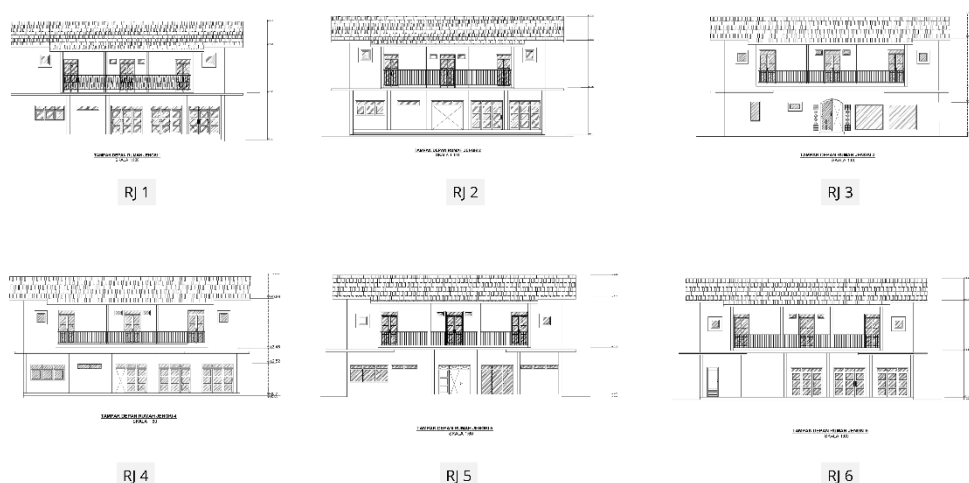


Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 10. Alur penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

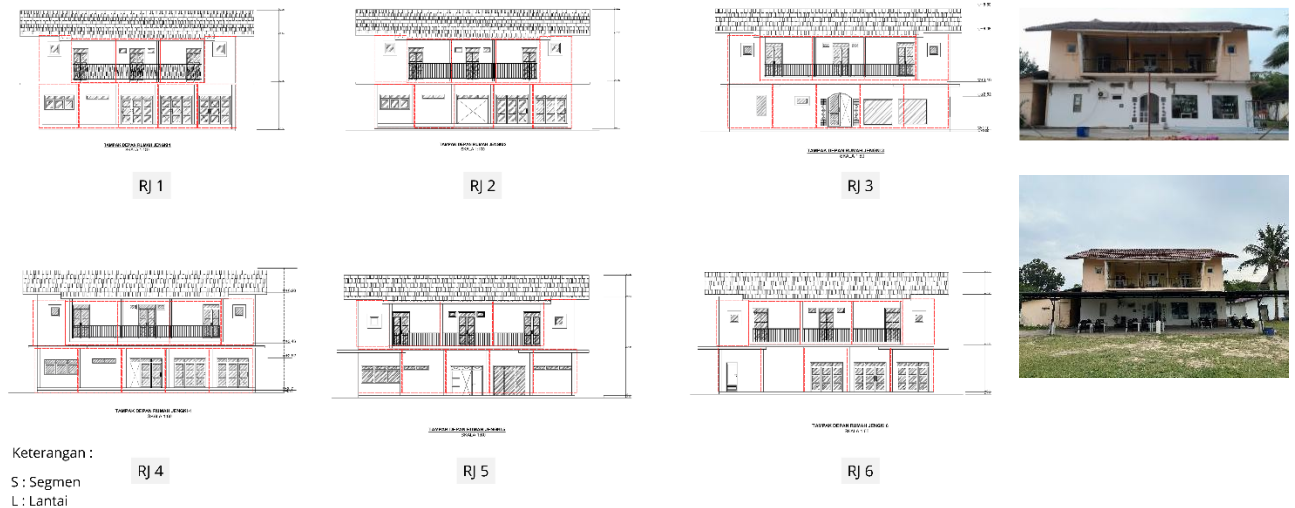
Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, terlihat bahwa Wisma Kilang memiliki desain yang seragam antara satu dengan yang lainnya. Hampir seluruh elemen-elemennya memiliki kesamaan mulai dari komposisi massa hingga komposisi fasadnya. Secara umum, Wisma Kilang memiliki karakteristik yang meliputi: (1) atap pelana yang tidak menyatu dengan salah satu sisinya lebih tinggi; (2) dinding miring pada fasad depan; (3) memiliki kanopi; (4) memiliki dua lantai dengan fungsi lantai satu sebagai area mutlifungsi dan lantai dua sebagai area penginapan; dan (5) memiliki teras. Dalam pembahasan ini, untuk melihat komposisi fasad Wisma Kilang, akan dibagi ke dalam 3 (tiga) fokus amatan, di antaranya komposisi vertikal, komposisi horizontal dan komposisi bukaan.



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 11. Gambar detail eksisting Wisma Kilang

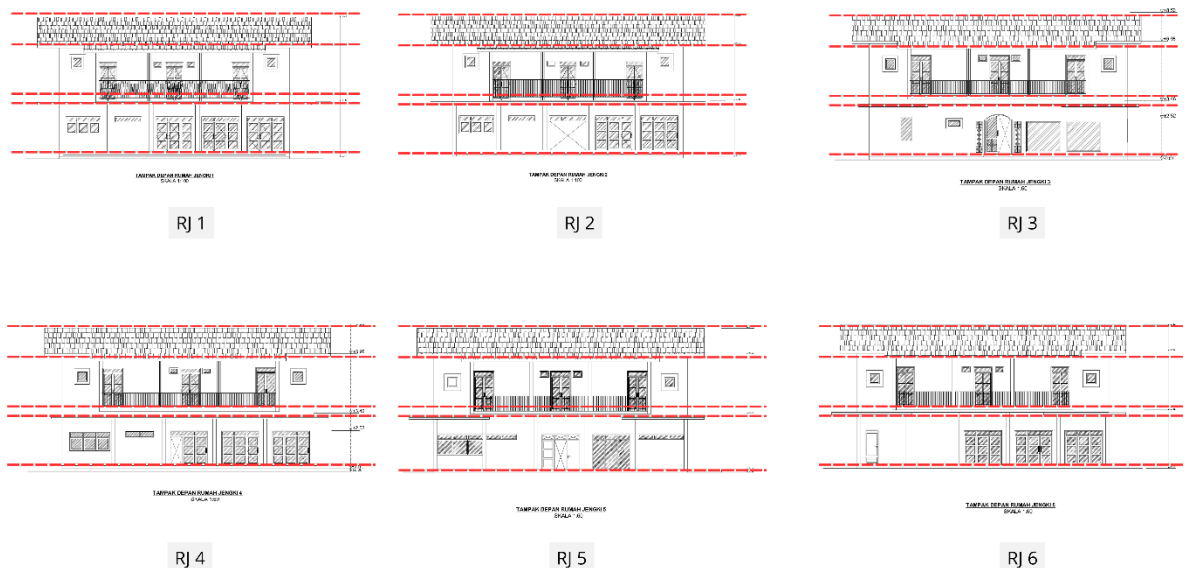
Komposisi vertikal pada Wisma Kilang terdiri dari dinding dan kolom. Lantai 1 terdiri dari 6 kolom dengan 2 kolom persegi ditempatkan di ujung bangunan dan 4 kolom silinder di tengah bangunan, sedangkan lantai 2 terdiri dari 2 kolom silinder di tengah serta adanya dinding miring yang mengapit di sisi kiri dan kanannya. Komposisi ini ditemukan pada seluruh wisma, kecuali pada wisma RJ 3. Pada kasus RJ 3 komposisi vertikal pada lantai 1 telah mengalami perubahan yang signifikan di mana kolom penopang kanopi dihilangkan dengan alasan perombakan area tersebut untuk dijadikan sebagai teras cafe dengan memerlebar kanopi serta mengganti materialnya dengan baja ringan.



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 12. Analisis komposisi morfologi vertikal Wisma Kilang (kiri) dan dokumentasi wisma RJ 3 yang telah mengalami perubahan

Komposisi horizontal pada Wisma Kilang terdiri dari teras lantai 1, atap kanopi, pagar pembatas (lantai 2), teras lantai 2 dan atap. Komposisi ini ditemukan pada seluruh wisma dengan bentuk dan desain yang sama, serupa dan tidak mengalami perubahan. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa komposisi ini sudah terbentuk sejak bangunan ini pertama kali didirikan.

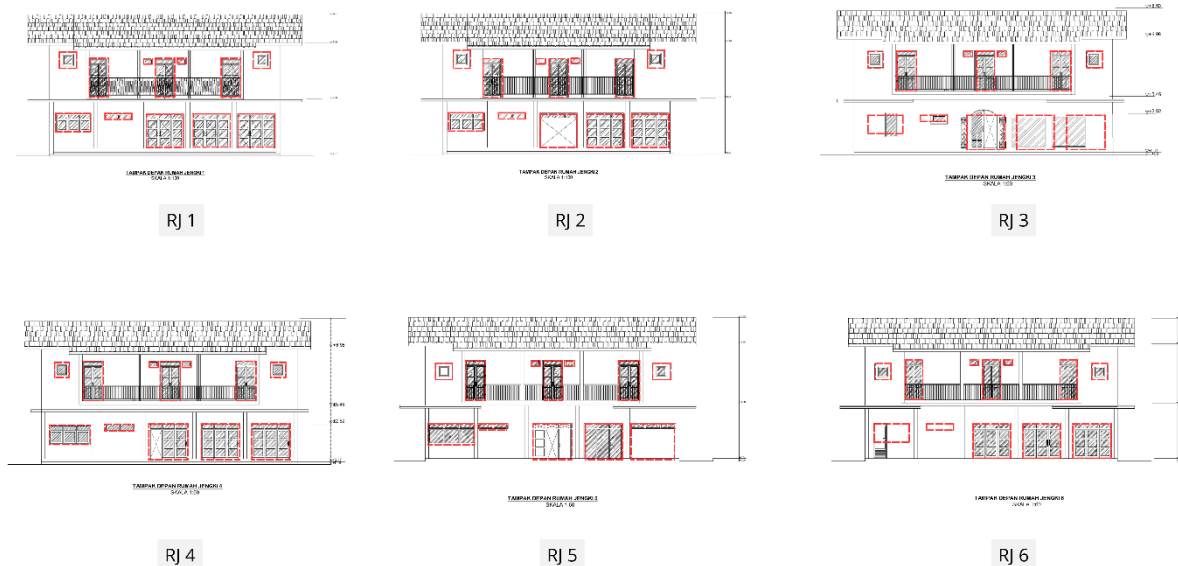


Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 13. Analisis komposisi morfologi vertikal Wisma Kilang

Komposisi bukaan pada Wisma Kilang dilihat dari tata letak pintu, jendela dan ventilasi dengan bentuk yang beragam dan terdapat beberapa kesamaan bentuk pada bagian tertentu. Berdasarkan pengamatan dan hasil analisis, bahwa komposisi bukaan pada fasad bangunan wisma cenderung menerapkan prinsip irama dan repetisi. Komposisi yang terus berulang dan ditata dengan permainan dimensi geometris yang beragam menciptakan

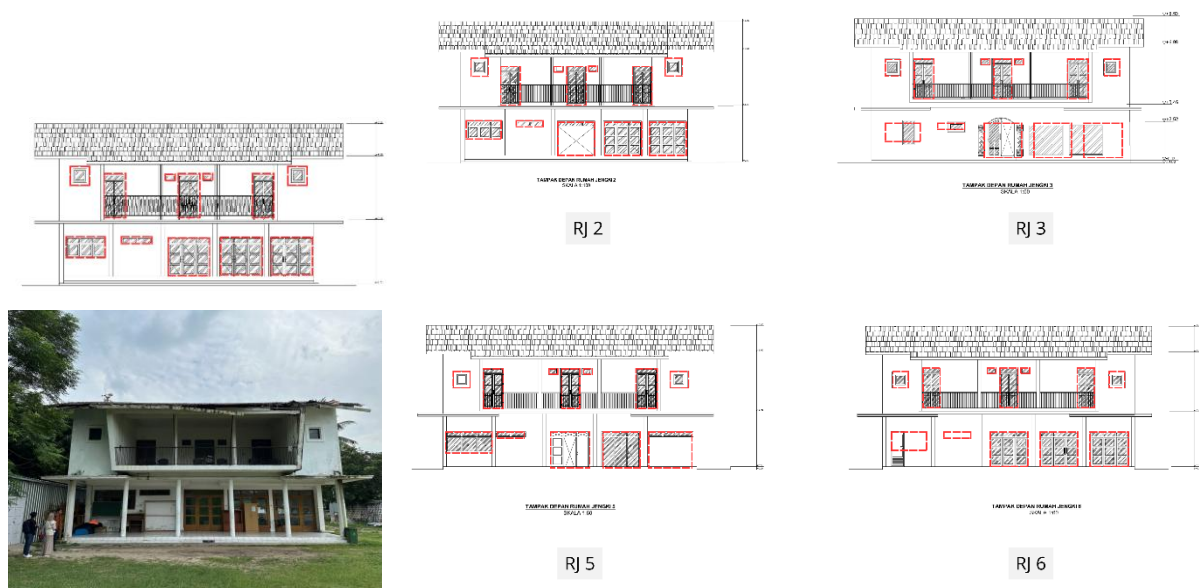
tampilan visual yang unik, bergaya bebas, dan teratur. Selain itu, pada penerapannya prinsip simetris dan asimetris sangat melekat pada komposisinya. Terlihat pada lantai satu cenderung ditata dengan prinsip asimetris tetapi masih proporsional dan nyaman untuk dipandang. Pada lantai dua terlihat komposisi yang repetitif dan berirama serta mengarah ke simetris. Berdasarkan temuan tersebut, ini mengartikan bahwa komposisi ini menjadi karakteristik yang kuat dalam mewujudkan imej Arsitektur Jengki pada bangunan wisma yang diaplikasi secara bebas, baik tata letak maupun elemen yang dikombinasikan. Fasad yang acak dan cenderung asimetris juga merupakan salah satu dari ciri-ciri arsitektur langgam Jengki yang pernah diciptakan.



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 14. Analisis morfologi komposisi bukaan Wisma Kilang

Hasil analisis memperlihatkan bahwa komposisi bukaan umum pada wisma kilang jika diurutkan dari sisi kiri ke kanan adalah sebagai berikut: (1) Lantai satu terdiri dari jendela-ventilasi-pintu-jendela-jendela (J-V-P-J-J) dan (2) Lantai dua terdiri dari ventilasi-pintu-ventilasi-pintu-ventilasi-pintu-ventilasi (V-P-V-P-V-P-V). Hasil juga memperlihatkan bahwa seluruh komposisi bukaan pada lantai 2 cenderung sama dan konsisten, sedangkan pada lantai 1 yang cukup banyak mengalami perubahan, baik tata letaknya maupun bentuk bukaannya. Perbedaan itu terlihat pada RJ 2, RJ 3, RJ 5 dan RJ 6. Perubahan mayor terlihat dengan jelas pada RJ 3 di mana seluruh lantai 1 direnovasi besar oleh pemilik sebagai penunjang dari tampilan visual bangunan yang difungsikan sebagai cafe. Perubahan ini terlihat pada perubahan komposisi, bentuk hingga material bukaannya. Perubahan minor terlihat pada RJ 2, RJ 5 dan RJ 6 di mana cenderung mengalami perubahan pada bentuk bukaan seperti penjabolan pintu utama pada lantai satu RJ 2, hilangnya jendela di sisi paling kanan wisma pada lantai satu RJ 5 dan perubahan jendela menjadi pintu di sisi paling kiri serta hilangnya ventilasi pada lantai satu RJ 6.



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 15. Komposisi bukaan dominan pada wisma (kiri) dan komposisi bukaan yang mengalami perubahan pada wisma amatan (kanan)

Tabel 8. Matriks analisis konsistensi dan perubahan pada Wisma Kilang dari aspek komposisi fasadnya

Wisma Kilang	Komposisi Vertikal	Komposisi Horizontal	Komposisi Bukaan Lantai 1	Komposisi Bukaan Lantai 2	Keterangan
RJ 1	●	●	●	●	Wisma ini cenderung konsisten pada setiap elemen komposisi fasadnya Wisma ini mengalami perubahan minor pada bukaan pintu lantai 1 yang dijemol dan mengubah komposisi bukaannya secara minor
RJ 2	●	●	○	●	Wisma ini mengalami perubahan yang paling mayor dan signifikan, khususnya pada lantai 1 yang dirombak elemen-elemen fasadnya untuk menunjang konsep fungsi barunya sebagai cafe. Hal ini terlihat pada bentuk kanopi, hilangnya teras, hilangnya kolom lantai satu, perubahan pola bukaan dan perubahan material bukaan. Hal ini mengubah secara mayor tampilan dan komposisi fasadnya
RJ 3	○	●	○	●	Wisma ini cenderung konsisten pada setiap elemen komposisi fasadnya Wisma ini mengalami perubahan minor pada bukaan pintu lantai 1 yang dijemol dan hilangnya jendela pada sisi paling kanan wisma. Hal ini membuat komposisi bukaannya berubah secara minor
RJ 4	●	●	●	●	Wisma ini mengalami perubahan minor pada bukaan berupa perubahan jendela menjadi pintu pada sisi paling kiri bangunan serta membuat komposisi bukaannya berubah sedang
RJ 5	●	●	○	●	
RJ 6	●	●	○	●	

Keterangan: ● Konsisten ○ Berubah

Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Merangkum dari data dan hasil analisis di atas dapat dibahas bahwa obyek amatan Wisma Kilang ini (1) memiliki kecenderungan kesamaan pada komposisi horizontal dan komposisi bukaan lantai dua; dan (2) perbedaan

komposisi lebih cenderung terlihat pada komposisi bukaan lantai satu di mana banyak terjadi perubahan yang menonjol secara minor melalui perubahan material dan pergantian elemen, hingga secara mayor melalui perombakan besar-besaran untuk menunjang fungsi baru. Dinamika fasad inilah yang menjadi cerminan wujud karakter suatu bangunan [14]. Perubahan demi perubahan yang terjadi di wisma ini pada umumnya adalah perubahan skala kecil atau minor dengan melakukan perubahan material semata [9].



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 16. Wisma RJ 3 yang telah mengalami perubahan besar dan perubahan fungsi

Analisis lebih lanjut mengarahkan pada konsistensi (*core*) dan perubahan (*periphery*) yang terjadi pada keenam wisma yang diamati. Hasil analisis memperlihatkan bahwa tipe RJ 1 dan RJ 4 merupakan sampel wisma yang memiliki hampir seluruh kelengkapan analisis komposisi. Elaborasi ini kemudian mengarahkan pada suatu temuan empiris bahwa kedua tipe ini mengindikasikan wujud konsep awal arsitektur Wisma Kilang dengan langgam jengki sejak pertama kali dibangun. Elemen bukaan, atap, kolom, kanopi, hingga komposisinya menjadi elemen yang konsisten dan tidak mengalami perubahan signifikan seperti tipe-tipe lainnya (*core*). Wisma ini memperlihatkan beberapa karakter arsitektur jengki pada bagian fasad, seperti dinding yang miring, atap patah dengan salah sisi yang lebih tinggi, konstruksi beton, penggunaan warna putih yang dominan, penggunaan kaca sebagai material bukaan seperti beberapa karakter arsitektur jengki yang ditemukan di Indonesia [1], [7], [11], [25].



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 17. Wisma Kilang RJ 1 dan RJ 4 yang memiliki konsistensi komposisi dan terindikasi sebagai model awal wisma sejak pertama kali dibangun

Kesamaan komposisi yang terjadi memunculkan prinsip konsistensi yang dipegang dan mengindikasikan bahwa keseragaman pola ini menjadi kemungkinan cikal bakal desain awal Wisma Kilang sejak dibangun tahun 1950-an. Pertimbangan kondisi iklim juga mempengaruhi bentuk fasad dan fungsi bangunan wisma [26]. Konsistensi ini menjadi wujud kemiripan bentuk dasar pada arsitektur jengki secara umumnya [9]. Selain itu, perbedaan atau perubahan yang terjadi pada umumnya dikarenakan beberapa faktor di antaranya renovasi dari pemilik akibat kerusakan cuaca, usia, manusia, hingga penyesuaian dengan kondisi saat ini, kebutuhan ekonomi dan fungsionalitas serta penguatan konsep modernitas. Faktor cuaca sebagai faktor fisik dan usia bangunan sebagai faktor non fisik menjadi pemicu perubahan komposisi fasad dalam upaya menjaga agar tetap terawat dan tahan lama [15], [26]. Faktor perubahan dengan intensitas dominan didasari pada alih kepemilikan dan alih profesi yang terus menyesuaikan dengan kebutuhan masa kini serta kebutuhan ruang dan selera yang baru [9], [15]. Kepemilikan sangat mempengaruhi konsistensi dan perubahan pada fasad wisma karena menjadi kewenangan

pemilik bangunan dalam mengatur serta menata bangunannya sesuai dengan apa yang diinginkan atau dikehendaki. Hal ini lah yang banyak mengubah tampilan dan komposisi fasadnya tanpa memperhatikan sejarah pembangunannya di masa lalu dan pelestariannya di masa kini.

Melihat perubahan yang terjadi, maka hasil penelitian ini kemudian mengarahkan untuk menjadi langkah awal pelestarian bangunan cagar budaya. Eksistensi bangunan ini menjadi saksi sejarah perkembangan kota Balikpapan dari masa ke masa. Langkah awal pelestarian dapat dilakukan dengan mengenali fasad bangunan [18]. Komposisi yang telah teridentifikasi dan dianalisis ini kemudian dijadikan sebagai referensi awal dalam rekonstruksi komposisi fasad dengan melihat komposisi yang konsisten di antara obyek yang diamati. Hasil analisis yang telah dilakukan menjadi RJ 1 dan RJ 4 sebagai landasan dalam merekonstruksi komposisi fasad dalam bentuk model sederhana. Model dibuat dengan memperhatikan elemen-elemen fasad yang konsisten, seperti bentuk atap, bentuk kanopi, bentuk pagar, bentuk bukaan, perletakan kolom hingga komposisi bukaan. Penggunaan warna cerah menjad salah satu karakter yang dikuatkan karena pada umumnya arsitektur jengki identik dengan warna cerah pada setiap desainnya. Komposisi (*layout*) dipertahankan sesuai dengan desain aslinya termasuk desain bukaan (pintu, jendela dan ventilasi), mempertahankan material kayu dan kaca, serta mempertahankan ornamentasi yang telah ada. Keunikan arsitektur jengki dengan karakter khasnya terlihat pada komposisi bukaan yang bebas (simetris hingga asimetris) sebagai bentuk ekspresi modernitas kala itu yang diwujudkan dengan prinsip komposisi bukaan yang simetris pada lantai dua dan asimetris pada lantai satu. Dinding miring dipertahankan sebagai karakter kuat dari jengki yang cenderung tidak geometris. Mempertahankan teras depan dengan atap kanopi sebagai bentuk khas dari beberapa arsitektur jengki yang ada di Indonesia pada umumnya. Keunikan lainnya adalah wisma ini menampilkan kesan minimalis, minim ornamentasi dan hanya memainkan pola pada bentuk pintu dan jendela saja. Model ini berfokus pada elemen fasad dan komposisinya sebagai langkah awal menciptakan panduan untuk pelestarian bangunan dan kemudian untuk ke depannya akan dilanjutkan dengan elemen-elemen arsitektur lainnya agar tercipta satu diorama wisma yang holistik.



Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Gambar 18. Model rekonstruksi perkiraan awal fasad dan bangunan Wisma Kilang berdasarkan hasil analisis

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa meskipun Wisma Kilang memperlihatkan transformasi fasad yang dinamis akibat faktor-faktor seperti cuaca, usia bangunan, kepemilikan dan perubahan fungsi, terdapat elemen-elemen komposisi fasad yang secara konsisten cenderung bertahan. Tendensi konsistensi ini terlihat pada wisma RJ 1 dan RJ 4, meliputi komposisi vertikal (kolom dan dinding), komposisi horizontal (atap, teras lantai dua dan kanopi) dan komposisi bukaan (pintu, jendela dan ventilasi). Kemiripan dan konsistensi komposisi yang bertahan ini, khususnya pada RJ 1 dan RJ 4, dijadikan sebagai landasan awal yang kuat guna merancang konsep rekonstruksi fasad Wisma Kilang. Rekonstruksi dibuat dalam model konsep sederhana yang memberikan gambaran mengenai wujud awal Wisma Kilang saat dibangun pertama kali. Ini merupakan langkah awal dalam pelaksanaan pelestarian yang rekonstruktif terhadap satu-satunya bangunan bersejarah di Balikpapan agar tetap asri dan berkelanjutan yang

dimulai dari tahap fasadnya. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan referensi bagi para pemangku kepentingan (*stakeholders*) dalam menyusun kebijakan prinsip-prinsip rekonstruktif sebagai acuan dalam konservasi, revitalisasi, maupun reinterpretasi desain arsitektur jengki dan juga memperkuat kesadaran historis dan estetis akan nilai-nilai arsitektur modern lokal sebagai bagian dari identitas Kota Balikpapan serta potensi kepariwisataan berbasis nostalgia historis di masa depan. Penelitian ini diharapkan akan terus berlanjut terutama dalam menganalisis lebih mendalam mengenai komponen-komponen arsitektur lainnya sebagai referensi penelitian selanjutnya yang bisa terintegrasi dalam mengungkap wujud asli bangunan ini di masa lalu sebagai representasi arsitektur jengki Indonesia.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Kalimantan atas dukungan kepada penulis dan tim berupa pendanaan kegiatan penelitian, sehingga kegiatan ini dapat berjalan sesuai dengan rencana dan harapan. Penelitian ini diharapkan mampu berkontribusi terhadap pengembangan keilmuan di bidang arsitektur, khususnya pada ilmu konservasi dan pelestarian bangunan cagar budaya dan bersejarah di Balikpapan dan sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Y. Putri, R. F. Muhammad, N. Agyanata, R. Shevadita, and A. P. Agustiananda, "Reminiscing Yankee Architecture through Some Case Studies in Indonesia," *Sakapari* 6, pp. 336–345, 2020, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/43423>.
- [2] C. Andriani and J. Roosandriantini, "Estetika Arsitektur Jengki pada Bangunan Rumah Tinggal," *J. Linears*, vol. 6, no. 2, pp. 96–105, 2023, doi: <https://doi.org/10.26618/j-linears.v6i2.9597>.
- [3] O. E. Hapsari, T. Arsitektur, and A. Jengki, "Project Based Learning Sebagai Metode Pembelajaran Arsitektur Pada Mata Kuliah Teori Arsitektur Jengki," *Vitr. J. Arsit. Bangunan dan Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 163–170, 2021.
- [4] I. N. Andriyana and S. P. N. Primadewi, "Tipologi Gaya Arsitektur Pada Bangunan Pertokoan Pasca Kemerdekaan Di Kota Denpasar," *Pros. Semin. Nas. Desain dan Arsit.*, vol. 3, pp. 424–431, 2020, [Online]. Available: <https://eprosiding.idbbali.ac.id/index.php/senada/article/view/288>.
- [5] L. Ngkuri, S. B. Amri, Halim, and Ilham, "Tipologi Atap Rumah pada Arsitektur Jengki Dalam Bahasa Indonesia," *Garis-Jurnal Mhs. Jur. Arsit.*, vol. 9, no. 1, pp. 133–140, 2024.
- [6] M. N. Aini and T. Angelia, "Kajian Kesesuaian Antara Arsitektur Modern Kolonial Dan Modern Di Indonesia (Studi Kasus : Rumah Jengki Surabaya dan Rumah Miring Jakarta)," *Wastu J. Wacana Sains Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 1858–4756, 2021.
- [7] E. T. Hanni and S. Chandra, "Identifikasi Adaptasi Gaya Arsitektur Kolonial Pada Bangunan Gedung Rektorat Universitas Catur Insan Cendekia Cirebon," *J. Arsit. STTC*, vol. 15, no. 02, pp. 30–35, 2023.
- [8] F. Mutaqin, D. W. Junaidy, and A. Wibisono, "Indeks Visual Furnitur Dan Arsitektur Jengki Berbasis Data Preseden Arsitektur," *Tesa Arsit.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–16, 2022, doi: [10.24167/tesa.v20i1.4173](https://doi.org/10.24167/tesa.v20i1.4173).
- [9] I. Setyabudi, Antariks, and A. M. Nugroho, "Tipologi dan Morfologi Arsitektur Rumah Jengki di Kota Malang dan Lwang," *Arsit. e-Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 32–46, 2012.
- [10] G. Pamungkas, O. C. Priyanto, and D. Febriyantoko, "Analisa Pengaruh Bentuk Konstruksi dan Struktur Arsitektur Terhadap Interior Rumah Jengki," *LINTAS RUANG J. Pengetah. dan Peranc. Desain Inter.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–12, 2021, doi: [10.24821/lintas.v9i2.6720](https://doi.org/10.24821/lintas.v9i2.6720).
- [11] J. A. Poernama and J. Roosandriantini, "Penyandingan Arsitektur Jengki dengan Prinsip Form Follow Function," *Mintakat J. Arsit.*, vol. 24, no. 2, pp. 1–15, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jam/article/view/9163>.
- [12] D. Huldiansyah, O. Febrianty, and S. Sherlia, "Identifikasi Bukaan Pada Fasad Bangunan Wisma Kilang Balikpapan , Indonesia," *MARKA (Media Arsit. dan Kota) J. Ilm. Penelit.*, vol. 8, no. 2, pp. 117–132, 2025, doi: [10.33510/marka](https://doi.org/10.33510/marka).
- [13] N. A. Jannah and A. F. Priyatmono, "Identifikasi Tipologi Fasad Rumah di Jalan Karanganyar, Dungus, Sragen Mengenai Aspek Arsitektur Vernakular," *Semin. Ilm. Arsit.*, vol. 8686, pp. 238–243, 2020, [Online]. Available: <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/12068>.
- [14] M. A. F. Nurtantyo, "Tipologi Pintu Dan Jendela Pada Fasad Rumah Di Kampung Biru Arema Kelurahan Kiduldalem," *Local Wisdom J. Ilm. Kaji. Kearifan Lokal*, vol. 10, no. 2, pp. 91–110, 2018, doi: [10.26905/lw.v10i2.2681](https://doi.org/10.26905/lw.v10i2.2681).
- [15] B. Aninditatama, Antariksa, and S. Utami, "The Typology of Colonial Building Façade in Jalan Hasanudin, Batu City," *Int. Res. J. Adv. Eng. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 203–207, 2020.
- [16] K. M. Sihotang, P. D. Naibaho, and E. R. Aritonang, "Tipologi Fasad Rumah Adat Batak Toba," *ALUR J. Arsit.*, vol. 2, no. 2, pp. 13–21, 2019, doi: [10.54367/alur.v2i2.529](https://doi.org/10.54367/alur.v2i2.529).
- [17] H. M. Adham Putra, "Elemen-Elemen Arsitektur Jengki Pada Eksterior Bangunan Indis Wisma Kilang

- Balikpapan,” *J. Kreat. Desain Prod. Ind. dan Arsit.*, vol. 3, no. 1, p. 8, 2020, doi: 10.46964/jkdpia.v3i1.92.
- [18] Z. D. Al Farisa, H. Santosa, and J. Ernawati, “Karakteristik Tipologi Fasad Bangunan Kolonial Di Kota Blitar,” *JAMBURA J. Archit.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–8, 2024, doi: 10.37905/jjoa.v5i2.22958.
- [19] D. Anggraini and D. H. Rahmi, “Karakteristik fasad bangunan Indis di kawasan jalan Prawitotaman Yogyakarta,” *ARTEKS J. Tek. Arsit.*, vol. 4, no. 1, pp. 45–56, 2019, doi: 10.30822/arteks.v4i1.78.
- [20] N. A. Jordan, Sherlia, and T. R. Dewi, “Figure-Ground Mapping: Studi Tipologi-Morfologi Ruang Terbangun Kota Balikpapan,” *SPECTA J. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 524–532, 2023, doi: 10.35718/specta.v7i2.862.
- [21] G. I. U. Rangkyut and D. T. Widyastuti, “Tipologi Arsitektur Fasad Bangunan Pecinan Melayu Kasus: Jalan Perniagaan Kampung Cina Melayu Bagansiapiapi, Rokan Hilir, Riau,” *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 2, no. 1, 2019, doi: 10.32734/ee.v2i1.413.
- [22] Antariksa, H. Santosa, J. Ernawati, and Z. D. Al Farisa, “Facade Identification of Colonial Buildings in Blitar, Indonesia,” *Int. Conf. Eng. Constr. Renew. Energy, Adv. Mater. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. February, pp. 1–8, 2022.
- [23] D. Huldiansyah and T. Y. W. Subroto, “Konsistensi ruang pangimaman, liwan, dan pawestren di Masjid Pathok Negara Ad-Darojat Babadan, Bantul, Yogyakarta (1970-2019),” *ARTEKS J. Tek. Arsit.*, vol. 5, no. 2, pp. 173–184, 2020, doi: 10.30822/arteks.v5i2.248.
- [24] G. I. U. Rangkyut and D. T. Widyastuti, “Architectural Typology of the Malay Chinatown Facade (Case: Perniagaan Street of Malay Chinese Village Bagansiapiapi, Rokan Hilir, Riau),” *Int. J. Archit. Urban.*, vol. 03, no. 01, pp. 95–110, 2019.
- [25] F. Mutaqin, D. W. Junaidy, and A. Wibisono, “Indeks Visual Furnitur dan Arsitektur Jengki Berbasis Data Preseden Arsitektur (Visual Index of Jengki Architecture and Furniture Based on Architectural Precedent Data),” *Tesa Arsit.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–16, 2022.
- [26] Munawwarah, C. Dewi, and Zahriah, “Karakteristik Tipologi Fasad Rumah Tinggal Bergaya Arsitektur Kolonial Belanda di Kawasan Blok Bengkel Kota Sigli,” *NALARs J. Arsit.*, vol. 23, no. 2, pp. 95–106, 2024.
- [27] F. D. K. Ching (2015). *Architecture: Form, Space and Order – Fourth Edition*. New Jersey: Wiley

STUDI AWAL PERMEABILITAS DAN KUAT TEKAN BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI

Hanyta Khairunnisa¹, Suhaimi², *Ammar Fadhil³, RDI Kurnia⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Almuslim, Bireuen, Aceh, Indonesia

^{*)} Email : ammarfadhil@umuslim.ac.id

Received: 12 November 2025 ; Revised: 17 November 2025 ; Accepted: 19 November 2025

ABSTRACT

The increasing generation of industrial waste and the growing demand for sustainable construction materials have driven the development of pervious concrete as an environmentally friendly pavement material. Pervious concrete possesses high drainage capability, effectively reducing surface runoff and enhancing groundwater infiltration. This study evaluates the effect of High-Density Polyethylene (HDPE) waste as a partial replacement for coarse aggregate on the compressive strength, density, porosity, and permeability of pervious concrete using split and gravel aggregates at a water–cement ratio (w/c) of 0.40. HDPE was incorporated at 0%, 5%, 10%, and 15% by weight of coarse aggregate, and testing was conducted at 28 days. The results show that compressive strength decreased from 16.75 MPa to 10.32 MPa for gravel and from 18.92 MPa to 15.41 MPa for split aggregate. Density declined from approximately 2100 kg/m³ to about 1850 kg/m³ with increasing HDPE content. Conversely, porosity increased from 30–32% to 37–38%, while permeability rose from approximately 29–35 mm/s to 44–46 mm/s. A strong correlation ($R^2 > 0.80$) was found between porosity and permeability, indicating that hydraulic performance is predominantly governed by the interconnected pore structure induced by HDPE modification. Overall, a 5% HDPE substitution achieved the best balance between structural strength and drainage performance without significant strength loss, supporting the implementation of green infrastructure principles in sustainable pavement systems, whereas HDPE contents above 10% were mechanically inefficient.

Keywords: Porous concrete, HDPE, compressive strength, porosity, permeability

ABSTRAK

Peningkatan timbunan limbah industri serta kebutuhan material konstruksi yang berkelanjutan telah mendorong pengembangan beton berpori sebagai material perkerasan yang ramah lingkungan. Beton berpori memiliki kemampuan drainase yang tinggi sehingga mampu mengurangi limpasan permukaan dan mendukung infiltrasi air tanah. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh limbah High Density Polyethylene (HDPE) sebagai substitusi parsial agregat kasar terhadap kuat tekan, densitas, porositas, dan permeabilitas beton berpori dengan menggunakan agregat split dan kerikil pada rasio air–semen (w/c) 0,40. Variasi HDPE digunakan sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat agregat kasar, dan pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan menurun dari 16,75 MPa menjadi 10,32 MPa untuk kerikil dan dari 18,92 MPa menjadi 15,41 MPa untuk split. Densitas turun dari ± 2100 kg/m³ menjadi ± 1850 kg/m³ seiring bertambahnya HDPE. Sebaliknya, porositas meningkat dari 30–32% menjadi 37–38% dan permeabilitas meningkat dari ± 29 –35 mm/s menjadi ± 44 –46 mm/s. Korelasi yang sangat kuat ($R^2 > 0,80$) ditemukan antara porositas dan permeabilitas, yang menunjukkan bahwa kinerja hidrolis terutama dikendalikan oleh struktur rongga terbuka akibat modifikasi HDPE. Secara keseluruhan, kadar HDPE sebesar 5% memiliki keseimbangan terbaik antara kekuatan struktural dan kinerja drainase tanpa menurunkan kekuatan secara signifikan, sekaligus mendukung penerapan konsep infrastruktur hijau (green infrastructure) dalam sistem perkerasan berkelanjutan sedangkan kadar >10% menjadi tidak efisien secara mekanis.

Kata kunci: Beton berpori, HDPE, kuat tekan, porositas, permeabilitas

1. PENDAHULUAN

Beton berpori merupakan salah satu material konstruksi inovatif yang dirancang untuk memiliki tingkat permeabilitas tinggi sekaligus kemampuan drainase yang baik. Material ini banyak diaplikasikan pada area parkir, trotoar, jalan lingkungan, hingga ruang terbuka hijau, karena kemampuannya dalam mengurangi limpasan air hujan dan meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah [1]. Keunggulan tersebut menjadikan beton berpori relevan dengan konsep pembangunan infrastruktur berkelanjutan yang mendukung pengendalian banjir, konservasi air tanah, serta penerapan *green construction* [2]/[3]. Meskipun memiliki kelebihan pada aspek hidrologis, beton berpori masih menghadapi kelemahan pada sifat mekanis, terutama kuat tekan yang relatif lebih rendah dibandingkan beton konvensional [4]. Kondisi ini membatasi penggunaannya pada aplikasi struktural dengan beban tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi melalui pemanfaatan material alternatif yang mampu meningkatkan performa beton berpori tanpa mengurangi sifat permeabilitasnya [5]/[6].

Salah satu pendekatan yang banyak diteliti adalah pemanfaatan limbah industri sebagai substitusi agregat [7]. Limbah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki potensi besar karena ketersediaannya yang

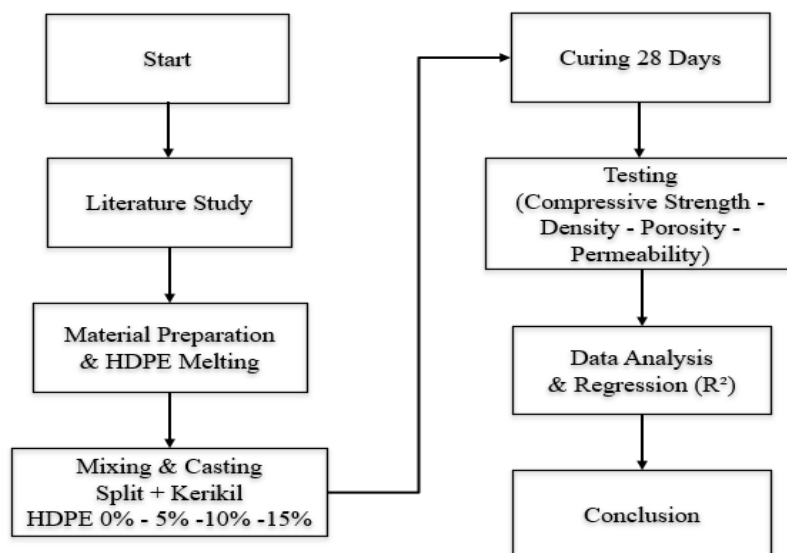
melimpah, sulit terurai secara alami dan berdampak negatif terhadap lingkungan bila tidak dikelola dengan baik [8]. Pemanfaatan HDPE dalam campuran beton berpori diharapkan dapat memberikan dua manfaat sekaligus, yaitu mengurangi pencemaran lingkungan serta menghasilkan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan [9]. Jenis dan bentuk agregat memegang peran penting dalam menentukan sifat fisik dan mekanik beton pori. Agregat split umumnya memiliki bentuk lebih kasar dan bersudut tajam, yang meningkatkan ikatan antarpartikel serta menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Sebaliknya, agregat kerikil alami memiliki permukaan lebih halus dan bentuk bulat, yang dapat meningkatkan konektivitas pori dan permeabilitas tetapi menurunkan kekuatan tekan. Variasi bentuk agregat dapat mengubah densitas beton pori hingga 12%, sementara melaporkan bahwa peningkatan kekasaran agregat dapat memperbaiki *interfacial transition zone* antara pasta semen dan agregat [10].

Keterkaitan parameter kuat tekan, densitas, porositas, dan permeabilitas saling berkaitan erat dalam menentukan performa beton pori. Hubungan antara porositas dan kuat tekan bersifat negatif eksponensial, sedangkan hubungan antara porositas dan permeabilitas bersifat positif linier [11]. Kenaikan porositas meningkatkan jumlah dan ukuran saluran air, sehingga menaikkan permeabilitas namun melemahkan struktur mekanik beton. Penelitian juga menegaskan bahwa rasio air semen (FAS), bentuk agregat dan distribusi ukuran partikel sangat memengaruhi kedua sifat tersebut [12].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik pada beton berpori dapat memengaruhi distribusi pori, kekuatan mekanis, serta permeabilitasnya [13]. Namun demikian, belum banyak kajian yang secara komprehensif menilai pengaruh variasi kadar substitusi HDPE terhadap hubungan kuat tekan (f'_c) dengan permeabilitas beton berpori, baik dengan agregat kerikil maupun split. Analisis kuantitatif seperti regresi linear diperlukan untuk mengetahui sejauh mana substitusi HDPE memengaruhi tren penurunan kekuatan mekanis serta konsistensinya [14]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar HDPE (0%, 5%, 10%, dan 15%) terhadap sifat mekanik dan hidrolis beton pori, dengan membandingkan dua jenis agregat, yaitu split dan kerikil, pada rasio airsemen (FAS) 0,40. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara kuat tekan (f'_c), porositas, dan permeabilitas serta menentukan kadar optimum HDPE yang mampu mempertahankan keseimbangan antara kekuatan dan kemampuan drainase. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menjelaskan perubahan perilaku mekanis–hidrolis akibat modifikasi agregat dengan limbah HDPE [15], [16].

2. METODE PENELITIAN

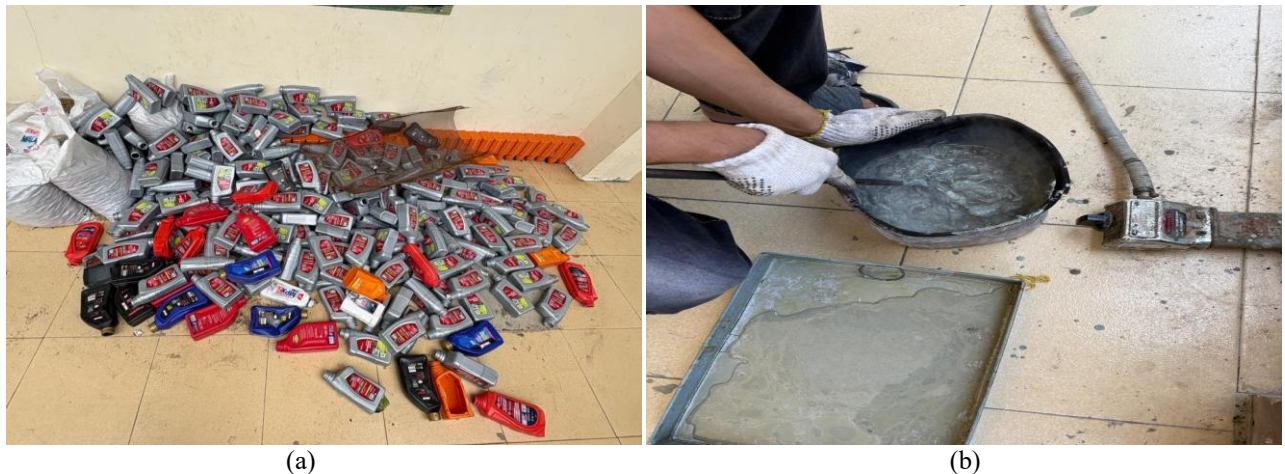
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur, Program Studi Teknik Sipil Universitas Almuslim. Tujuan utama penelitian adalah untuk menganalisis pengaruh variasi kadar limbah plastik High-Density Polyethylene (HDPE) terhadap sifat mekanik dan hidrolis beton pori dengan dua jenis agregat, yaitu split dan kerikil, pada rasio air-semen (FAS) sebesar 0,40. Variasi kadar HDPE yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat agregat kasar. Penelitian difokuskan pada pengujian kuat tekan (f'_c), porositas, dan permeabilitas, serta analisis hubungan antarvariabel menggunakan pendekatan regresi linear untuk menentukan tren pengaruh HDPE terhadap kinerja beton pori dan gambar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland tipe I merek Gresik dengan berat jenis $3,15 \text{ g/cm}^3$, agregat kasar jenis split dan kerikil alami yang lolos saringan 19 mm dan tertahan saringan 9,5 mm, serta air bersih yang memenuhi ketentuan SNI 03-2847-2019 tentang persyaratan air untuk beton. Selain itu, bahan tambahan yang digunakan adalah limbah botol oli bekas berbahan High-Density Polyethylene (HDPE) yang berfungsi sebagai pengganti sebagian agregat kasar [17]. Limbah HDPE diolah terlebih dahulu sebelum digunakan dalam campuran beton. Tahapan pengolahan dilakukan melalui metode peleburan (*melting process*). Botol HDPE dicuci menggunakan larutan deterjen untuk menghilangkan sisa oli dan kotoran, kemudian dikeringkan hingga bebas air. Setelah bersih, botol dipotong menjadi potongan kecil berukuran $\pm 1-3 \text{ cm}^2$ dan dimasukkan ke dalam wadah logam tahan panas. Proses peleburan dilakukan pada suhu $160-180^\circ\text{C}$ hingga plastik meleleh sempurna tanpa mengalami degradasi termal. Lelehan HDPE kemudian dituangkan ke dalam cetakan logam berbentuk balok kecil (ukuran 5–10 mm) dan didiamkan hingga mengeras kembali pada suhu ruang. Setelah padat, hasil cetakan dipotong menjadi ukuran agregat kasar yang seragam dan disimpan dalam wadah tertutup pada kondisi kering, dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Limbah botol oli berbahan HDPE sebagai bahan substitusi agregat kasar (a), proses peleburan HDPE hingga mencapai kondisi cair sebelum dilakukan pencetakan menjadi agregat HDPE (b).

Agregat HDPE hasil peleburan memiliki tekstur keras, permukaan licin, dan sifat hidrofobik, sehingga mampu berfungsi sebagai pengganti parsial agregat split atau kerikil dalam campuran beton pori. Sifat ringan dan tidak menyerap air dari HDPE berpotensi menurunkan berat jenis beton dan meningkatkan konektivitas pori, seperti ditampilkan pada Gambar 3. Proses penelitian ini juga menggunakan beberapa peralatan utama seperti timbangan digital presisi ($\pm 0,01 \text{ g}$) untuk menimbang bahan, mesin pengaduk beton (*mixer drum*) untuk memastikan homogenitas campuran, cetakan silinder $\text{Ø}10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ untuk pembuatan benda uji, serta *Compression Testing Machine* (CTM) untuk pengujian kuat tekan. Selain itu, digunakan oven pengering, permeameter tipe *Falling Head*, alat ukur air, dan peralatan bantu laboratorium seperti ember, saringan, serta wadah logam tahan panas untuk proses peleburan HDPE. Seluruh material dan alat uji dikondisikan pada suhu ruang $25-27^\circ\text{C}$ guna menjaga kestabilan kadar air dan berat jenis sebelum proses pencampuran beton. Kondisi lingkungan yang terkontrol ini bertujuan untuk meminimalkan variasi hasil uji akibat pengaruh suhu dan kelembaban, sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah [18].



Gambar 3. Hasil pencetakan dan pemotongan HDPE yang telah mengalami proses peleburan (a), serta pecahan agregat HDPE yang digunakan sebagai substitusi agregat kasar pada campuran beton berpori (b).

Metode Pengujian Sifat Fisis Agregat

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat agar memenuhi spesifikasi beton pori, yaitu lolos saringan 19 mm dan tertahan saringan 9,5 mm. Berat jenis dan penyerapan air diukur untuk mengetahui densitas agregat serta kemampuan menyerap air yang memengaruhi kebutuhan air dalam campuran. Berat isi agregat dihitung untuk menentukan proporsi campuran volumetrik beton. Sedangkan kadar lumpur dan kadar air diuji untuk memastikan kebersihan agregat dari partikel halus yang dapat mengganggu ikatan antara pasta semen dan agregat. Mengacu pada standar SNI 03-1969-2016 dan SNI 03-4804-1998. Parameter yang diuji meliputi analisis saringan (gradasi), berat jenis dan penyerapan air, berat isi agregat (bulk density), serta kadar lumpur dan kadar air [19].

Metode Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pori dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan maksimum hingga mengalami keruntuhan. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari menggunakan Mesin Uji Tekan (*Compression Testing Machine*) berkapasitas 1000 kN, sesuai dengan ketentuan SNI 1974:2011 – Cara Uji Kuat Tekan Beton Silinder. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang telah melalui proses perawatan (*curing*) selama 28 hari dalam kondisi lembab. Sebelum pengujian, permukaan benda uji dibersihkan dan diratakan agar distribusi beban merata saat ditekan. Setiap benda uji diletakkan secara tegak lurus pada plat bawah mesin, kemudian beban diberikan secara bertahap dengan laju penambahan beban konstan hingga benda



uji hancur, dapat dilihat pada Gambar 4 [20].

(Sumber: Peneliti, 2025)

Gambar 4 . Compression Testing Machine (CTM)

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana: f'_c adalah kuat tekan beton (MPa), P adalah beban maksimum yang diterima benda uji (N), dan A adalah luas penampang silinder (mm^2).

Metode Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui volume rongga udara yang terbentuk di dalam beton pori, yang berperan penting dalam menentukan kemampuan drainase dan permeabilitas beton. Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan ASTM C642-13 – Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Benda uji berbentuk silinder ($\text{Ø}10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) yang telah mencapai umur 28 hari dikeringkan dalam oven pada suhu $105 \pm 5^\circ\text{C}$ hingga beratnya konstan, kemudian didinginkan dan ditimbang sebagai berat kering (W_1). Selanjutnya, benda uji direndam dalam air selama 24 jam hingga mencapai kondisi jenuh, lalu ditimbang kembali dalam kondisi jenuh permukaan kering (W_2) dan dalam air (W_3) [21].

$$\text{Porositas}(\%) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_2 - W_3)} \times 100 \quad (2)$$

dengan: W_1 = berat benda uji dalam kondisi kering oven (g), W_2 = berat benda uji dalam kondisi jenuh permukaan kering (SSD) (g) dan W_3 = berat benda uji dalam kondisi terendam air (g)

Metode Pengujian Permeabilitas Beton Pori

Pengujian permeabilitas beton pori dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam mengalirkan air melalui pori-pori yang saling terhubung. Pengujian ini menggunakan alat Falling Head Permeameter, mengacu pada ASTM C1701/C1701M-17a – Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. Benda uji berbentuk silinder ($\varnothing 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) yang telah mencapai umur 28 hari ditempatkan secara vertikal pada alat permeameter. Proses pengujian dilakukan dengan mengalirkan air dari tabung ukur bergradasi tertentu ke permukaan beton, dan waktu aliran air yang menembus benda uji dicatat dengan stopwatch [22].

$$k = \frac{aL}{At} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (3)$$

di mana: k = koefisien permeabilitas (mm/s), a = luas penampang pipa air (mm²), L = tinggi benda uji (mm), A = luas penampang beton (mm²), t = waktu aliran air (s), h_1 dan h_2 = tinggi muka air awal dan akhir (mm).

Rancangan Benda Uji

Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan volume 0,0053 m³. Setiap variasi campuran dibuat tiga sampel ulangan. Total 72 Benda uji serta dilakukan perawatan dengan cara perendaman dalam air selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian mekanis [21]. Menentukan rancangan campuran menggunakan metode ACI untuk beton berpori dengan FAS 0.40. Menentukan variasi substitusi HDPE sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat agregat kasar. Membagi campuran berdasarkan jenis agregat (kerikil dan split) dengan komposisi material untuk tiap variasi dihitung berdasarkan volume total benda uji dan ditampilkan pada Tabel 1. Seluruh benda uji diuji pada umur 28 hari untuk parameter kuat tekan, densitas, porositas, dan permeabilitas menggunakan CTM, pengukuran massa-volume, metode void content, dan Falling Head Permeameter [22].

Tabel.1 Rekapitulasi Komposisi Campuran Beton Berpori FAS 0,40 Variasi HDPE (per benda uji)

Variasi HDPE	Air (kg)	Semen (kg)	Agregat Kerikil (kg)	Agregat Split (kg)	HDPE (kg)
0%	8,91	22,27	83,09	83,09	0
5%	8,91	22,27	78,94	78,94	4,15
10%	7,92	19,8	74,78	74,78	8,31
15%	7,92	19,8	70,63	70,63	12,46



(Sumber: Peneliti,

2025)

Gambar 5. Benda uji beton berpori bentuk silinder dan benda uji setelah berumur 28 hari

Analisa Data

Data hasil pengujian berat, kuat tekan, densitas, porositas, dan permeabilitas beton berpori dengan substitusi limbah HDPE dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan regresi polinomial orde dua. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh peningkatan kadar HDPE terhadap perubahan sifat fisis dan mekanik beton,

serta hubungan antarparameter seperti densitas–kuat tekan, porositas–kuat tekan, dan porositas–permeabilitas pada masing-masing jenis agregat, yaitu kerikil dan split. Nilai koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengevaluasi tingkat keeratan hubungan antarvariabel. Regresi polinomial digunakan karena pola data menunjukkan tren non-linier akibat pengaruh kombinasi perubahan massa jenis, distribusi rongga, dan tingkat ikatan antarpartikel. Berdasarkan hasil analisis, kadar HDPE optimum ditentukan dari keseimbangan antara kekuatan struktural (kuat tekan dan densitas) dengan kinerja drainase (porositas dan permeabilitas) [23], [24].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 2. Agregat yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu kerikil alami dan split hasil pemecah batu, yang keduanya memenuhi standar kualitas agregat kasar untuk beton menurut SNI 03-2461-2002 [25].

Tabel 2. Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat Kerikil dan Split

Jenis Pemeriksaan	Agregat Kerikil	Agregat Split
Analisis Saringan (FM)	7,716	6,603
Berat Volume (kg/l)	1,593	1,569
Berat Jenis SSD	2,656	2,636
Berat Jenis Kering (OD)	2,603	2,579
Penyerapan Air (%)	2,029	2,221

(Sumber: Peneliti, 2025)

Hasil pemeriksaan pada tabel 2 menunjukkan bahwa agregat kerikil memiliki modulus kehalusan (FM) sebesar 7,716 yang menandakan gradasi lebih kasar dibandingkan agregat split dengan FM 6,603. Berat volume kerikil sebesar 1,593 kg/l sedikit lebih tinggi dibanding split yaitu 1,569 kg/l, sehingga kerikil lebih padat. Berat jenis SSD kerikil 2,656 juga lebih tinggi dibanding split 2,636, yang berarti kerikil lebih memberikan kontribusi terhadap kepadatan beton. Namun, split memiliki penyerapan air sedikit lebih besar 2,221% dibanding kerikil 2,029%, yang menandakan split lebih porous. Secara keseluruhan, kedua agregat memenuhi syarat sebagai agregat kasar dalam campuran beton berpori, dengan perbedaan karakteristik yang dapat mempengaruhi performa kuat tekan dengan substitusi HDPE.

Pengujian Beton Berpori Agregat Kerikil dan Split dengan Substitusi Limbah HDPE

Rekapitulasi hasil nilai rata-rata pengujian yang disajikan pada Tabel 3, penambahan limbah plastik HDPE ke dalam campuran beton berpori menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap sifat fisis dan mekanik material. Peningkatan kadar HDPE menyebabkan penurunan berat dan densitas, serta peningkatan porositas dan permeabilitas. Pada agregat kerikil, berat turun dari 12,203 kg menjadi 11,483 kg dan densitas dari 2054,7 kg/m³ menjadi 1997,0 kg/m³, sedangkan pada split dari 10,943 kg menjadi 9,952 kg dan densitas dari 2064,7 kg/m³ menjadi 2010,0 kg/m³. Nilai kuat tekan juga menurun seiring bertambahnya kadar HDPE. Beton kerikil mengalami penurunan dari 16,728 MPa menjadi 10,139 MPa ($\approx 39\%$), sedangkan beton split dari 18,999 MPa menjadi 15,376 MPa ($\approx 19\%$). Agregat split menghasilkan kekuatan lebih tinggi karena bentuknya yang bersudut meningkatkan interlocking dan ikatan dengan pasta semen, sedangkan kerikil yang lebih bulat cenderung membentuk zona kontak lemah.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Beton Berpori Agregat Kerikil dan Split dengan Substitusi Limbah HDPE

Kode	Substitusi HDPE	FAS	Berat (kg)	Kuat Tekan (MPa)	Densitas (Kg/m ³)	Porositas (%)	Permeabilitas (mm/s)
Kerikil	0%	0,40	12,203	16,728	2054,70	33,547	40,100
Kerikil	5%	0,40	11,534	15,865	2030,30	33,033	34,400
Kerikil	10%	0,40	11,521	14,239	2007,70	33,900	35,633
Kerikil	15%	0,40	11,483	10,139	1997,02	34,533	36,900
Split	0%	0,40	10,943	18,999	2064,67	33,947	35,900
Split	5%	0,40	10,874	18,171	2028,33	34,833	40,867
Split	10%	0,40	10,437	16,684	2023,33	35,800	41,667
Split	15%	0,40	9,952	15,376	2010,01	35,667	44,233

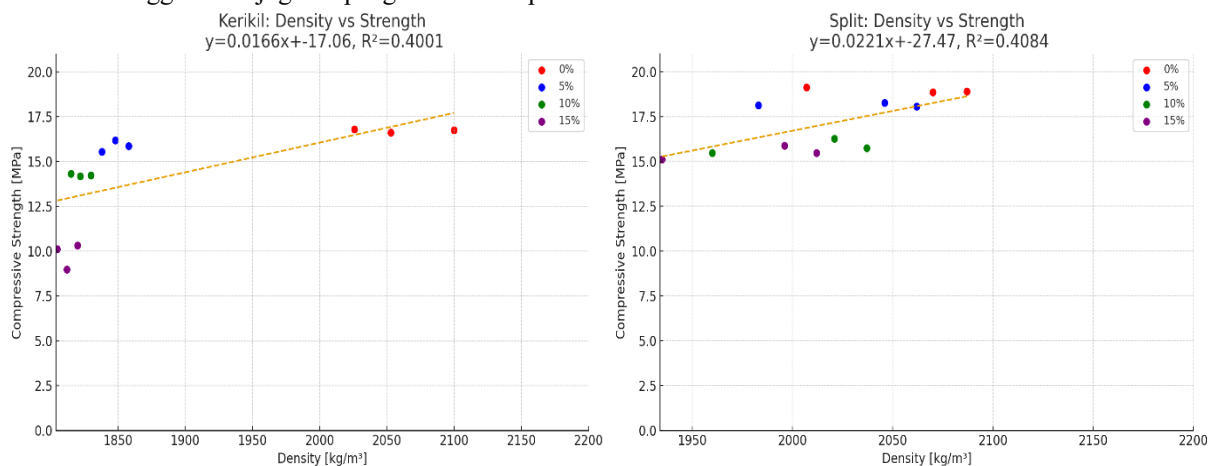
(Sumber: Peneliti, 2025)

Sebaliknya, porositas dan permeabilitas meningkat pada kedua sistem. Kenaikan ini menunjukkan bertambahnya volume rongga terbuka akibat partikel HDPE yang bersifat ringan dan tidak reaktif. Kondisi tersebut memperbaiki kemampuan drainase tetapi menurunkan kekuatan struktural. Secara keseluruhan, beton berpori dengan agregat split memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan dan permeabilitas. Substitusi HDPE optimum

direkomendasikan $\leq 5\%$, karena pada kadar ini beton masih mempertahankan kuat tekan di atas 15 MPa dengan densitas stabil serta kinerja hidrolik yang baik.

Hubungan Antara Kuat Tekan dan Densitas

Hasil hubungan antara densitas dan kuat tekan beton berpori dengan substitusi limbah HDPE ditunjukkan pada Gambar 1 menunjukkan bahwa peningkatan kadar HDPE mengakibatkan penurunan kuat tekan beton berpori untuk kedua jenis agregat (split dan kerikil). Penurunan ini berkaitan erat dengan nilai densitas beton, di mana campuran dengan densitas lebih rendah cenderung menghasilkan kuat tekan yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan adanya hubungan positif antara densitas dan kuat tekan, di mana semakin padat struktur beton, semakin besar pula kemampuan material dalam menahan beban tekan. Pada beton berpori dengan agregat kerikil, hubungan kuat tekan densitas mengikuti tren linier dengan kontribusi sedang ($R^2 \approx 0,4001$). Rentang densitas 1850–2050 kg/m^3 meningkatkan kuat tekan dari sekitar 10 MPa menjadi ± 17 MPa. Meskipun hubungan ini positif, penyebaran data yang cukup lebar mengindikasikan bahwa faktor lain seperti bentuk butiran kerikil yang membulat (rounded) dan distribusi rongga udara juga berpengaruh terhadap kekuatan beton.



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 1. Hubungan antara Kuat Tekan dan Densitas Beton Berpori dengan (FAS 0,40)

Agregat split menunjukkan hubungan yang sedikit lebih kuat ($R^2 \approx 0,4084$) rentang densitas 1950–2100 kg/m^3 , kuat tekan beton berpori dengan agregat split dapat meningkat dari 10 MPa menjadi hampir 19 MPa, karena bentuk butirannya yang bersudut tajam memberikan interlocking lebih baik dibandingkan kerikil yang berbentuk bulat. Kondisi ini menghasilkan bidang kontak yang lebih luas dan ikatan antarpartikel yang lebih kuat sehingga kuat tekan meningkat lebih signifikan.

Secara mekanistik, penambahan HDPE menyebabkan turunnya densitas dan kuat tekan karena sifat fisik kimia HDPE yang berbeda dengan agregat mineral. HDPE memiliki densitas jauh lebih rendah dan permukaan hidrofobik yang tidak mampu membentuk ikatan kuat dengan pasta semen. Kondisi ini menciptakan rongga mikro di sekitar partikel HDPE (*microvoid zone*), mengurangi volume padat yang efektif, serta menurunkan luas bidang penyalur tegangan ketika beton menerima beban. Hasil ini sejalan dengan teori struktur beton berpori yang menyatakan bahwa densitas berbanding lurus dengan kemampuan beton menahan beban, di mana semakin padat strukturnya, maka semakin tinggi nilai kuat tekan yang diperoleh [26].

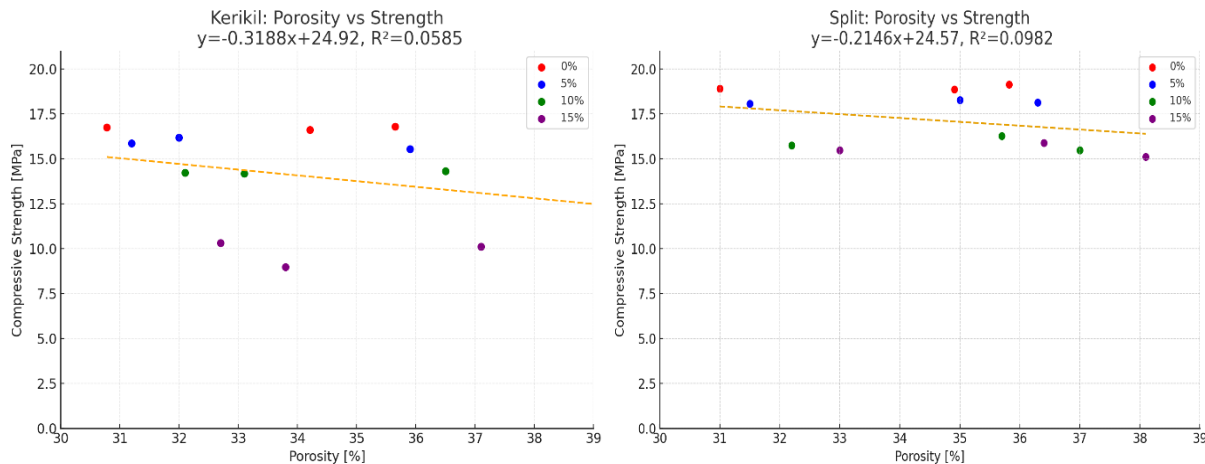
Hubungan Antara Kuat Tekan dan Porositas

Hubungan antara porositas dan kuat tekan beton berpori dengan substitusi limbah HDPE pada dua jenis agregat, yaitu split dan kerikil, menunjukkan pola yang konsisten, yaitu hubungan negatif. Peningkatan porositas menyebabkan penurunan kuat tekan, yang mengindikasikan bahwa semakin besar volume rongga udara di dalam beton, semakin rendah kemampuan material dalam menahan beban tekan. Kondisi ini sejalan dengan konsep dasar beton berpori, di mana rongga udara yang tinggi mengurangi integritas struktural dan luas bidang kontak antarpartikel.

Pada beton berpori dengan agregat split, persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = -0,2146x + 24,57$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,0982$. Nilai R^2 yang rendah menunjukkan bahwa variasi kuat tekan tidak sepenuhnya dijelaskan oleh porositas, kemungkinan akibat distribusi rongga yang tidak merata dan perbedaan bentuk agregat. Walaupun demikian, tren umum tetap menunjukkan penurunan kuat tekan dari sekitar 19 MPa menjadi 15 MPa seiring peningkatan porositas dari 31% menjadi 38%. Penurunan ini terjadi karena bertambahnya

volume void yang tidak terisi pasta semen, sehingga berkurang luas bidang kontak antarbutir yang diperlukan untuk mentransfer tegangan.

Untuk beton berpori dengan agregat kerikil, diperoleh persamaan regresi $y = -0,3188x + 24,92$ dengan $R^2 = 0,0585$, yang lebih rendah dibandingkan agregat split. Nilai R^2 yang kecil mencerminkan bahwa pengaruh porositas terhadap kuat tekan pada beton kerikil lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, terutama bentuk agregat kerikil yang bulat. Bentuk ini menyebabkan interlocking yang kurang baik dan menghasilkan struktur internal yang kurang stabil. Peningkatan porositas dari 31% menjadi 37% menurunkan kuat tekan dari sekitar 17 MPa menjadi ± 10 MPa, yang menunjukkan bahwa performa mekanik beton kerikil lebih sensitif terhadap perubahan porositas dibandingkan beton split, dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 2. Hubungan antara Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous dengan Agregat Split (FAS 0,40)

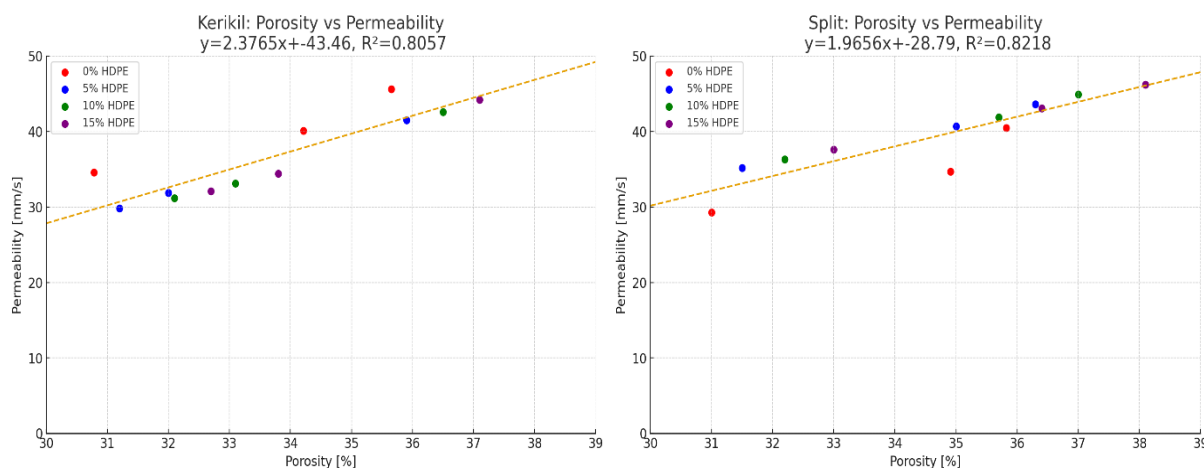
Secara keseluruhan, hubungan negatif antara porositas dan kuat tekan pada kedua jenis agregat mengonfirmasi bahwa porositas merupakan parameter destruktif bagi kinerja mekanik beton berpori. Rongga udara yang berlebihan melemahkan matriks dan mengurangi kualitas ikatan antarpartikel agregat dengan pasta semen. Meskipun demikian, beton dengan agregat split tetap menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi pada tingkat porositas yang sama dibandingkan agregat kerikil, sehingga agregat split lebih direkomendasikan untuk menghasilkan beton berpori yang mampu menjaga keseimbangan antara kekuatan mekanik dan kemampuan drainase.

Secara mikrostruktural, penambahan HDPE berkontribusi pada peningkatan porositas karena HDPE memiliki adhesi rendah terhadap pasta semen. Permukaan HDPE yang hidrofobik menciptakan zona rongga mikro (microvoid) di sekitar partikel HDPE. Rongga-rongga ini dapat saling terhubung dan berperan sebagai jalur penurunan kapasitas tekan, sehingga kuat tekan menurun secara bertahap seiring meningkatnya kadar HDPE. Hasil ini konsisten dengan berbagai studi sebelumnya yang menyatakan bahwa porositas merupakan indikator penting dalam menentukan perilaku mekanik beton berpori [27].

Hubungan Antara Permeabilitas dan Porositas

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan positif yang kuat antara porositas dan permeabilitas beton berpori pada kedua jenis agregat, yaitu kerikil dan split. Peningkatan nilai porositas diikuti oleh meningkatnya kemampuan beton dalam meloloskan air, yang mengindikasikan bahwa sistem pori yang semakin terbuka berperan langsung terhadap peningkatan laju infiltrasi. Pada beton berpori dengan agregat kerikil, hubungan porositas–permeabilitas mengikuti persamaan regresi $y = 2,3765x + 43,46$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,8057$. Nilai R^2 yang tinggi ini menunjukkan bahwa sebesar 80,57% variasi permeabilitas dapat dijelaskan oleh perubahan porositas. Peningkatan porositas dari 31% menjadi 37% meningkatkan nilai permeabilitas dari sekitar 30 mm/s menjadi hampir 47 mm/s. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan HDPE menghasilkan jaringan pori yang lebih saling terhubung (*interconnected void*), sehingga air dapat mengalir lebih cepat melalui tubuh beton.

Pada beton berpori dengan agregat split, diperoleh persamaan regresi $y = 1,9656x + 28,79$ dengan $R^2 = 0,8218$, yang bahkan menunjukkan korelasi lebih kuat. Peningkatan porositas dari 31% menjadi 38% meningkatkan permeabilitas dari ± 30 mm/s menjadi ± 46 mm/s. Gradien yang lebih rendah dibandingkan kerikil menunjukkan bahwa peningkatan permeabilitas pada beton split terjadi lebih stabil dan tidak sefluktuatif beton kerikil. Hal ini disebabkan oleh bentuk agregat split yang bersudut (*angular*), sehingga menciptakan distribusi rongga yang lebih seragam dan ikatan antarpartikel yang lebih baik, dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 3. Hubungan antara Kuat Tekan dan Porositas Beton Pori dengan Agregat Split dan Kerikil (FAS 0,40)

Secara mekanik, peningkatan permeabilitas pada campuran mengandung HDPE dipengaruhi oleh sifat fisik HDPE yang tidak menyerap air dan memiliki permukaan yang licin serta hidrofobik. Karakteristik ini menghambat pembasahan permukaan partikel oleh pasta semen dan menyebabkan terbentuknya rongga mikro di sekitar HDPE. Rongga tersebut kemudian terhubung membentuk jalur aliran yang lebih kontinyu, sehingga secara signifikan meningkatkan permeabilitas beton berpori. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa penambahan HDPE memberikan dampak positif terhadap aspek hidrolis beton berpori dengan meningkatkan konektivitas antarvoid dan melancarkan aliran air. Namun demikian, peningkatan permeabilitas yang terlalu tinggi perlu dikontrol karena berpotensi menurunkan kekuatan mekanik secara signifikan. Oleh sebab itu, kadar HDPE optimum diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara kemampuan drainase dan performa struktural beton berpori. Secara ilmiah, hubungan ini konsisten dengan model aliran pada beton berpori, di mana permeabilitas dipengaruhi dominan oleh ukuran pori efektif dan konektivitas rongga [28].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis hubungan densitas-kekuatan, porositas-kekuatan, dan porositas-permeabilitas, dapat disimpulkan bahwa substitusi limbah HDPE memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja mekanis dan hidraulik beton berpori. Peningkatan kandungan HDPE secara konsisten menurunkan densitas dan kuat tekan. Untuk campuran kerikil, kuat tekan menurun dari 16,75 MPa (0% HDPE) menjadi 10,32 MPa (15% HDPE), sementara campuran split menurun dari 18,92 MPa menjadi 15,41 MPa pada rentang substitusi yang sama. Densitas juga menurun dari sekitar $\pm 2100 \text{ kg/m}^3$ menjadi $\pm 1850 \text{ kg/m}^3$ seiring dengan peningkatan kandungan HDPE. Sebaliknya, penambahan HDPE meningkatkan porositas dan permeabilitas, di mana porositas meningkat dari 30–32% (0% HDPE) menjadi 37–38% (15% HDPE) dan permeabilitas meningkat dari 29–35 mm/detik menjadi 44–46 mm/detik.

Hubungan porositas-permeabilitas menghasilkan korelasi yang sangat kuat ($R^2 > 0,80$), yang menunjukkan bahwa kinerja hidraulik beton berpori sangat dipengaruhi oleh pembentukan struktur rongga terbuka dan saling terhubung yang dihasilkan oleh modifikasi HDPE. Secara keseluruhan, kandungan HDPE yang paling seimbang dengan mempertimbangkan kinerja menahan beban dan fungsi drainase ditemukan pada maksimum sekitar $\pm 5\%$. Tingkat substitusi di atas 10% cenderung menjadi tidak efektif secara mekanis untuk aplikasi yang tetap memerlukan persyaratan kuat tekan minimum. Dengan demikian, pemanfaatan HDPE pada kadar $\leq 5\%$ direkomendasikan untuk aplikasi perkerasan berpori seperti trotoar, jalur pejalan kaki, dan area parkir berdaya dukung rendah. Penelitian lanjutan disarankan mencakup analisis mikrostruktur (SEM/EDX) dan uji ketahanan jangka panjang terhadap siklus basah–kering serta *freeze–thaw*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Ahmad *et al.*, “A Step towards Sustainable Concrete with Substitution of Plastic Waste in Concrete: Overview on Mechanical, Durability and Microstructure Analysis,” *Crystals (Basel)*, vol. 12, no. 7, p. 944, Jul. 2022, doi: 10.3390/cryst12070944.
- [2] R. Pal and P. Pratim Sarkar, “Developing a model of porous concrete-filled rigid pavement,” *Mater Today Proc*, May 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2023.05.333.

- [3] W. Zhou, C. Lu, Z. Yu, and J. Mo, "Mechanical properties and pore structure characterization of crumb rubber concrete using equal size replacement method," *Journal of Building Engineering*, vol. 102, May 2025, doi: 10.1016/J.JOBE.2025.112026.
- [4] R. S. Wibowo, "Effect of compaction temperature variations on the characteristics of marshall Asphalt Concrete-Wearing Course [AC-WC] using modified asphalt (asphalt Pertamina pen 60/70 with addition of 1.5% styrofoam)," *astonjadro*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.32832/astonjadro.v12i1.8277.
- [5] F. A. Sari, İ. Öztürk, T. Gönen, and M. Emiroğlu, "Evaluation of waste metallic powder as fine aggregate replacement in Roller compacted concrete: Impact on physical and mechanical properties," *Constr Build Mater*, vol. 468, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.140386.
- [6] A. Kishore, H. S. Chore, and R. Gupta, "Investigation of durability properties of grouted concrete pavement as alternative pavement for low traffic roads," *Mater Today Proc*, vol. 93, pp. 223–226, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2023.07.174.
- [7] RDI Kurnia, Suhaimi Suhaimi, Romaynoor Ismy, and Mukhlis Mukhlis, "Pengaruh Variasi Kombinasi Agregat Campuran Terhadap Gradasi dan Kuat Tekan Beton K-250," *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, 2024.
- [8] H. B. Tran and V. T. A. Phan, "Potential usage of fly ash and nano silica in high-strength concrete: Laboratory experiment and application in rigid pavement," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 20, p. e02856, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.CSCM.2024.E02856.
- [9] Muh. Thahir Azikin, Siti Nurjanah Ahmad, Ridwan Syah Nuhun, Sulha, and Muammar Makmur, "Inovasi Teknologi Concrete Paving Block Untuk Mengatasi Kerusakan Jalan Lingkungan Di Kelurahan Anduonohu Kota Kendari," *STABILITA Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 7, no. 3, Nov. 2019.
- [10] L. A. Mathew and G. Joseph, "Natural Rubber Latex Modified High Performance Concrete," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Nov. 2024, doi: 10.1007/S40996-024-01656-7.
- [11] C. Zheng *et al.*, "Review of porous vegetation eco-concrete (PVEC) technology: From engineering requirements to material design," *Compos B Eng*, vol. 279, p. 111442, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2024.111442.
- [12] Z. Kos, S. Kroviakov, V. Kryzhanovskiy, and A. Crnoja, "Influence of fibres and hardening accelerator on concrete for rigid pavements," *Magazine of Concrete Research*, vol. 75, no. 17, pp. 865–873, Apr. 2023, doi: 10.1680/JMACR.22.00181.
- [13] Z. Shen, Y. Zhang, G. Zhou, and Z. Wu, "Essential characteristics of rigid concrete airport pavements under cyclic traffic loading revealed from a thermodynamic perspective," *Constr Build Mater*, vol. 411, p. 134283, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.134283.
- [14] M. I. Salama, A. Elayat, M. Reda, and G. Elsamak, "Influence of concrete type on rigid pavement behavior under static loads," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 9, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1007/S41062-023-01316-1.
- [15] J. B. Niyomukiza, A. Eisazadeh, and S. Tangtermsirikul, "Synergistic effect of calcined clay and fly ash on the performance of porous vegetation concrete," *Constr Build Mater*, vol. 458, no. August 2024, p. 139749, 2025, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2024.139749.
- [16] P. Luo, L. Liu, S. Wang, B. Ren, B. He, and D. Nover, "Influence assessment of new Inner Tube Porous Brick with absorbent concrete on urban floods control," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01236.
- [17] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 03-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung," in *Badan Standarisasi Nasional*, 2019.
- [18] D. Ariyanti, N. A. Sasongko, M. H. Fansuri, E. L. Fitriana, R. A. Nugroho, and S. A. Pratiwi, "Retrofitting of concrete for rigid pavement using bacterial: A meta-analysis," *Science of The Total Environment*, vol. 902, p. 166019, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2023.166019.
- [19] R. Ardiansyah and R. Respati, "Perbandingan Jenis-Jenis Agregat Kasar Batu Merak, Batu Hampangan Dan Batu Banjar Untuk Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal K-250," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*, vol. 4, no. 2, pp. 144–152, Jun. 2022, doi: 10.36277/transukma.v4i2.136.
- [20] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 1974-2011: Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," 2011, Jakarta.
- [21] C. Li, Q. Ren, X. Qian, H. Zhao, and Z. Jiang, "Synergistic load-bearing performance of inflated membrane-concrete composite structure for pavement," *Constr Build Mater*, vol. 462, p. 139978, Feb. 2025, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.139978.
- [22] Widodo Kushartomo, Seehan Kuo, and Bramantyo Dipo Harsono, "Aplikasi Teknologi Reactive Powder Concrete Untuk Mengatasi Genangan Air Di Perumahan Banjar Wijaya Tangerang," *Jurnal Bakti Masyarakat Indonesia*, vol. 5, no. 2, Sep. 2022, doi: 10.24912/jbmi.v5i2.20242.

- [23] Z. Zhang *et al.*, “The Influence of Fly Ash and Slag on the Mechanical Properties of Geopolymer Concrete,” *Buildings*, vol. 14, no. 9, p. 2720, Aug. 2024, doi: 10.3390/BUILDINGS14092720.
- [24] X. Zhang *et al.*, “Research on physical properties and plant adaptability of polyurethane modified cement based planting concrete,” *Constr Build Mater*, vol. 466, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.140222.
- [25] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 03-2461-2002: Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural,” Jakarta, 2002.
- [26] B. Cui, A. Luo, X. Zhang, and P. Huang, “Research Development and Key Issues of Pervious Concrete: A Review,” *Buildings*, vol. 14, no. 11, p. 3419, Oct. 2024, doi: 10.3390/buildings14113419.
- [27] T. Mulyono and Anisah, “Properties of pervious concrete with various types and sizes of aggregate,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 276, p. 01025, Mar. 2019, doi: 10.1051/matecconf/201927601025.
- [28] S. Sathvik *et al.*, “Enhancing urban sustainability: a study on lightweight and pervious concrete incorporating recycled plastic,” *Discover Sustainability*, vol. 5, no. 1, p. 421, Nov. 2024, doi: 10.1007/s43621-024-00644-1.

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PANCANG TERHADAP HASIL PDA PADA PROYEK SPAM PEKANBARU–BANGKINANG

*Arifin¹, Muhamad Yusa², Gunawan Wibisono³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau

*) Email: arifin8019@grad.unri.ac.id

Received: 13 November 2025 ; Revised: 14 November 2025 ; Accepted: 17 November 2025

ABSTRACT

The drinking water supply system (SPAM) is an infrastructure facility designed to provide clean and safe drinking water that complies with established health standards. In this project, the construction structures utilize pile and bored pile foundations, which serve as essential structural elements for supporting and transferring loads from the columns to the underlying hard soil layer. A properly designed foundation ensures the stability and durability of the entire structure. This study aims to analyze and determine the foundation bearing capacity using several analytical approaches, including the Meyerhof, Reese & Wright, and Luciano Decourt methods. Settlement analysis is also conducted using the Fellenius and Vesic methods. The research was carried out in Kampar Regency, Riau Province, Indonesia. The data used in this analysis consist of Standard Penetration Test (SPT) results and Pile Driving Analyzer (PDA) test data obtained from field observations. The results show that the bearing capacities obtained using the Meyerhof, Reese & Wright, Luciano Decourt, and PDA methods are 103 tons, 176 tons, 353 tons, and 204 tons, respectively. Meanwhile, the settlement values are 10.7 mm using the Fellenius method, 16.05 mm using the Vesic method, and 14.5 mm based on PDA measurements.

Keyword: bearing capacity, drink water supply system, pile foundation, settlement

ABSTRAK

Sistem penyediaan air minum (SPAM) merupakan fasilitas infrastruktur yang dirancang untuk menyediakan air minum yang bersih dan aman sesuai dengan standar kesehatan yang berlaku. Pada proyek ini, bangunan konstruksi menggunakan pondasi tiang pancang dan bored pile, yang berfungsi sebagai elemen struktural penting untuk menopang dan menyalurkan beban dari kolom ke lapisan tanah keras di bawahnya. Pondasi yang dirancang dengan tepat akan memastikan stabilitas dan daya tahan keseluruhan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan daya dukung pondasi dengan menggunakan beberapa pendekatan analitis, yaitu metode Meyerhof, Reese & Wright, dan Luciano Decourt. Analisis penurunan (settlement) juga dilakukan dengan menggunakan metode Fellenius dan Vesic. Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, Indonesia. Data yang digunakan dalam analisis ini terdiri atas hasil Standard Penetration Test (SPT) dan hasil uji Pile Driving Analyzer (PDA) yang diperoleh dari observasi lapangan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya dukung pondasi yang diperoleh dari metode Meyerhof, Reese & Wright, Luciano Decourt, dan PDA masing-masing adalah 103 ton, 176 ton, 353 ton, dan 204 ton. Sementara itu, nilai penurunan yang dihasilkan adalah 10,7 mm berdasarkan metode Fellenius, 16,05 mm berdasarkan metode Vesic, dan 14,5 mm berdasarkan pengukuran PDA.

Kata kunci: daya dukung, sistem penyediaan air minum, pondasi tiang, penurunan

1. PENDAHULUAN

Upaya untuk meningkatkan ketersediaan air bersih yang memenuhi standar kesehatan telah mendorong Pemerintah Provinsi Riau untuk membangun satu unit Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Pekanbaru–Kampar yang mampu memproduksi 1.000 liter air per detik untuk melayani sekitar 102.000 sambungan rumah. Proyek ini berlokasi di Desa Kualu, Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Bangunan utama dalam proyek tersebut menggunakan fondasi berupa tiang pancang dan bored pile. Fondasi merupakan bagian penting dari struktur bangunan bawah yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah keras [1].

Fondasi tiang pancang (*pile foundation*) berperan menerima serta menyalurkan beban ke lapisan tanah penunjang di kedalaman tertentu [2]. Berdasarkan mekanisme penyaluran bebannya, terdapat dua tipe utama yaitu *end bearing pile* dan *friction pile*. Pada *end bearing pile* sebagian besar daya dukung berasal dari perlawanan tanah keras di ujung tiang, sehingga beban struktur dipindahkan langsung ke lapisan keras [3]. Sementara itu pada *friction pile*, daya dukung terutama dihasilkan oleh gesekan antara permukaan tiang dan tanah di sekitarnya sehingga kemampuan fondasi dalam menahan beban sangat bergantung pada gaya gesek tersebut [4].

Daya dukung tanah sendiri didefinisikan sebagai kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang berada di atasnya [5]. Perancangan yang kurang tepat dapat menyebabkan tekanan berlebihan pada lapisan tanah bawah yang berpotensi menimbulkan penurunan (*settlement*) besar. Dalam perancangan fondasi dikenal dua parameter penting, yaitu daya dukung izin (*allowable bearing capacity*) dan daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*). Daya dukung izin menunjukkan intensitas beban maksimum yang dapat ditanggung tanpa menimbulkan

penurunan berlebih, sedangkan daya dukung ultimit adalah beban maksimum yang dapat ditahan tanah sebelum terjadi kegagalan geser.

Berbagai metode analitis telah dikembangkan untuk memperkirakan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang di antaranya metode Meyerhoff (1976), Reese & Wright (1977), dan Luciano Decourt (1996) untuk analisis daya dukung serta metode Fellenius (1999) dan Vesic (1977) untuk analisis penurunan. Di sisi lain, evaluasi lapangan dapat dilakukan menggunakan uji Pile Driving Analyzer (PDA) yang mampu memberikan gambaran langsung mengenai perilaku dinamis tiang terhadap beban aktual.

Namun demikian, belum banyak penelitian yang membandingkan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan menggunakan metode analitis dengan hasil uji PDA secara langsung pada proyek SPAM di wilayah Riau. Kondisi tanah di daerah ini memiliki karakteristik geoteknik yang khas sehingga hasil perbandingan antara analisis teoritis dan data lapangan menjadi penting untuk menilai keandalan perencanaan fondasi.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan dan membandingkan daya dukung serta penurunan fondasi tiang pancang menggunakan beberapa metode analitis (Meyerhoff, Reese & Wright, Luciano Decourt, Fellenius, dan Vesic) dengan hasil uji PDA di lapangan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap validasi perencanaan fondasi tiang pancang pada proyek infrastruktur penyediaan air minum di wilayah Riau serta menjadi referensi bagi perencanaan fondasi pada proyek sejenis di masa mendatang.

2. METODE

Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang tersusun secara sistematis. Tahap pertama adalah identifikasi masalah, yang dilakukan untuk menentukan isu utama terkait analisis daya dukung dan penurunan fondasi pada proyek sistem penyediaan air minum. Tahap berikutnya adalah studi literatur, yang bertujuan mengkaji teori-teori, standar, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan analisis fondasi, baik dari aspek daya dukung maupun penurunan. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data, yang meliputi data Standard Penetration Test (SPT) dan hasil uji Pile Driving Analyzer (PDA) yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan.

Tahap selanjutnya adalah analisis daya dukung fondasi yang dilakukan menggunakan beberapa metode empiris, yaitu metode Meyerhof, Reese & Wright, dan Luciano Decourt. Setiap metode digunakan untuk memperoleh nilai daya dukung ultimit dan menentukan estimasi variasi hasil berdasarkan pendekatan teoritis masing-masing. Pada tahap terakhir, dilakukan analisis penurunan fondasi dengan menerapkan metode Fellenius (1999) dan Vesic (1986) untuk menghitung besar penurunan yang mungkin terjadi berdasarkan data tanah dan karakteristik tiang. Keseluruhan tahapan tersebut dilakukan untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai performa fondasi tiang pada lokasi penelitian.

Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan terhadap daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang yang dipakai pada bangunan proyek SPAM Pekanbaru – Bangkinang tersebut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Titik Pengujian investigasi tanah

Sebelum dilakukan analisis terhadap perhitungan fondasi, dilakukan pengumpulan data-data yang pendukung dari penelitian ini. Daya yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari instansi terkait yang berkaitan dengan penelitian ini. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Data penyelidikan tanah yaitu data pengujian SPT (*Standard Penetration Test*)
Pengujian SPT ini menghasilkan data data jenis tanah tiap lapisan tanah dan jumlah nilai NSPT dari tumbukan *hammer*. Data yang akan digunakan dalam perhitungan daya dukung dan penurunan tiang pancang diambil dari hasil uji SPT terdekat dengan lokasi Uji *Pile Driving Analyzer* yaitu berada pada BH 3. Nilai-nilai NSPT tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Nilai-nilai NSPT pada BH 3

Kedalaman	N-SPT	Jenis Tanah
2	2	lempung very soft
4	2	lempung very soft
6	6	pasir loose
8	14	pasir medium
10	17	pasir medium
12	44	pasir dense
14	50	pasir dense
16	52	pasir dense
18	18	pasir medium
20	38	lempung hard
22	16	lempung very stiff
24	17	lempung very stiff
26	14	lempung stiff
28	32	lempung hard
30	60	lempung hard

Sumber: PT PP (Persero), 2023

- b. Data hasil uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)
Uji PDA merupakan suatu metode pengujian secara dinamik untuk mengukur kapasitas ultimate aksial tekan tiang, penurunan akhir, keutuhan tiang, dan energi yang berasal dari tumbukan *hammer* yang dilakukan pada pondasi dalam [6]. Pengujian PDA juga dapat membantu dalam merencanakan serta memastikan apakah pondasi tersebut optimal untuk digunakan sebagai struktur yang kuat dan aman untuk beban struktur di atasnya. PDA Test bertujuan untuk mengetahui daya dukung aksial tiang, keutuhan / integritas tiang dan efisiensi energi yang ditransfer. Berdasarkan pengujian dilapangan uji PDA terdapat dilokasi BH 3 dengan hasil uji PDA seperti dibawah ini.

Tabel 2. Data Tiang dan *Hammer*

Data Tiang dan <i>Hammer</i>	
Nomor tiang	GSF-P259
Tanggal uji	06/11/21
Jenis	Spunpile
Diameter tiang(mm)	400
Total panjang tiang(m)	16
Panjang tiang tertanam(m)	15
Jenis <i>hammer</i>	<i>Drop hammer</i>
Berat <i>hammer</i> (ton)	3,5
HASIL CAPWAP	
Daya dukung tiang(ton)	204.0
Tahanan gesek(ton)	189.5
Tahanan ujung(ton)	14.5
Penurunan(mm)	14.5

Sumber: PT PP(Persero), 2023

Analisis Data

Analisis data ini menggunakan beberapa rumus-rumus persamaan untuk menghitung daya dukung maupun penurunan. Daya dukung menggunakan persamaan meyerhoff, reese & wright dan luciano decourt seperti dalam pemaparan dibawah ini.

- a. Meyerhoff (1976)
Daya dukung ujung tiang untuk tanah non kohesif yaitu:

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \quad (1)$$

Dimana: N_b = Nilai SPT rata-rata pada elevasi fondasi, N_1 = Nilai SPT 4D dari ujung tiang kebawah tiang, N_2 = Nilai SPT 8D dari ujung tiang keatas tiang, A_p = Luas Penampang Tiang (m^2)

Daya dukung selimut tiang padah tanah non kohesif

$$Q_s = 0.2 \times NSPT \times A_s \quad (2)$$

Dimana: N_{spt} = nilai spt rata-rata sepanjang tiang, A_s = Luas Selimut Tiang (m^2)

Sementara pada tanah kohesif daya dukung ujung tiang yaitu:

$$Q_p = \alpha \times C_u \times P \times L_i \quad (3)$$

Dimana: α = Faktor adhesi Reese & Wright (1977) menyarankan faktor adhesi = 0.55, C_u = Kohesi tanah (ton/m^2), P = Keliling tiang (m), L_i = Tebal lapisan tanah (m)

Daya dukung selimut tiang untuk tanah kohesif:

$$Q_s = 9 \times C_u \times A_p \quad (4)$$

$$C_u = NSPT \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (5)$$

Dimana: C_u = *Undrained shear strength* atau kohesi (kN), A_p = Luas Penampang Tiang (m^2)

Daya dukung ultimit merupakan hasil total daya dukung ujung tiang dan selimut tiang

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (6)$$

Dimana: Q_p = daya dukung ujung tiang(ton), Q_s = daya dukung selimut tiang(ton)

b. Reese & Wright (1977)

Metode reese & wright dalam menentukan daya dukung sama halnya seperti pada metode sebelumnya dengan menghitung daya dukung ujung tiang dan selimut tiang. daya dukung ujung tiang dalam metode reese & wright dapat dilihat dibawah ini.

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (7)$$

Dimana: q_p = tahanan ujung tiang (ton/m^2), A_p = luas penampang tiang (m^2)

Menentukan tahanan ujung (q_p) pada tanah kohesif adalah

$$q_p = 9 \times C_u \quad (8)$$

$$C_u = \text{Undrained shear strength atau kohesi (ton/m}^2\text{)}$$

$$= \frac{2}{3} \times N_{spt}$$

Sementara tahanan ujung (q_p) pada tanah non kohesif reese & wright (1977) mengajukan hubungan antara korelasi q_p dan NSPT.

$$\text{Dimana: } NSPT < 60 \text{ maka } q_p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{0.3048^2} \times N_{spt} \times A_p \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

$$NSPT > 60 \text{ maka } q_p = \frac{40}{0.3048^2} \times A_p \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

Daya dukung selimut tiang adalah.

$$Q_s = f_s \times L \times P \quad (9)$$

nilai f_s pada tanah kohesif

$$f_s = \alpha \times C_u \quad (10)$$

Dimana: α = faktor adhesi, reese & wright (1977) menyarankan faktor adhesi (α) = 0.55, C_u = kohesi tanah (ton/m^2), L = tebal lapisan (m^2), P = keliling penampang tiang (m^2)

nilai f_s pada tanah non kohesif

untuk $N < 53$ maka $f_s = 0.32 N_{spt}$

Daya dukung ultimit :

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (11)$$

Dimana : Q_p = daya dukung ujung tiang(ton), Q_s = daya dukung selimut tiang(ton)

c. Luciano Decourt (1999)

Metode ini dapat digunakan pada semua jenis tanah. Besarnya daya dukung tiang ultimit (Q_u) dapat ditinjau dari Persamaan berikut.

$$Q_u = [\alpha \times (N_p \times K) \times A_p] + [\beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1\right) \times A_p] \quad (12)$$

Dimana: Q_u = Daya dukung ultimit tiang, A_p = Luas ujung penampang tiang, N_p = Nilai rata-rata dari SPT mulai 4D di bawah ujung tiang hingga 4D di atas ujung tiang, K = Koefisien tanah yang tergantung pada jenis tanah, α = Koefisien dasar tiang, β = Koefisien selimut tiang, A_p = Luas selimut tiang, N_s = Nilai SPT rata-rata pada lapisan tanah sepanjang tiang yang ditinjau.

Pada metode Luciano Decourt nilai koefisien tanah dibutuhkan dimana nilai koefisien ini tergantung dari jenis tanah yang digunakan. Nilai-nilai koefisien tanah yang digunakan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Nilai Koefisien K Jenis Tanah (Decourt.L, 1996)

Jenis Tanah	Nilai Koefisien (t/m ²)
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir	40

Sumber: Afriyanto A, (2023)

Nilai-nilai koefisien α atau dasar tiang yang digunakan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Nilai-nilai koefisien α (Decourt.L, 1996)

Soil	Driven Pile	Bored Pile	Bored pile (bentonite pile)	Continou hallow auger	Root pile	Inject Piles (hight pressure)
Clay	1	0.8	0.85	0.3	0.85	1
Intermedia to soil	1	0.6	0.6	0.3	0.6	1
Sand	1	0.5	0.5	0.3	0.5	1

Sumber: Afriyanto A, (2023)

Koefisien β atau selimut tiang yang digunakan dalam persamaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Nilai-nilai koefisien β

Soil	Driven Pile	Bored Pile	Bored pile (bentonite pile)	Continou hallow auger	Root pile	Inject Piles (hight pressure)
Clay	1	0.8	0.85	0.3	0.85	1
Intermedia to soil	1	0.6	0.6	0.3	0.6	1
Sand	1	0.5	0.5	0.3	0.5	1

Sumber: Afriyanto A, (2023)

Sementara dalam perhitungan penurunan fondasi menggunakan persamaan fellenius dan vesic dengan refereni beban dari Qult yang paling mendekati uji PDA seperti dibawah ini.

a. Fellenius

Penurunan metode fellenius didasarkan pada hubungan beban dan penurunan[7]. Hubungan beban dan penurunan akibat tahanan unit ujung tiang

$$\frac{(q'_t)_m}{q'_t} = \left(\frac{\delta}{\delta_u}\right)^g \quad (13)$$

Hubungan beban dan penurunan akibat hambatan lekat.

$$\frac{(f_s)_m}{f_s} = \left(\frac{\delta}{\delta_u}\right)^h \leq 1 \quad (14)$$

Tekanan elastik fondasi tiang:

$$\delta_e = \frac{PZ_c}{AE} \quad (15)$$

Dimana: q'_t = perlawanan ujung, $(q'_t)_m$ = mobilisasi perlawanan ujung, f_s = tahanan selimut, $(f_s)_m$ = mobilisasi tahanan selimut, $g = 0.5$ (lempung) – 1 (pasir) $h = 0.02 - 0.5$, e = penurunan elastik akibat tekanan fondasi, P = beban dibawah setiap fondasi, Z_c = kedalaman ke pusat tahanan tanah (0,75D), A = luas penampang fondasi, E = modulus elastisitas fondasi.

b. Vesic

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (16)$$

Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s)L}{A_p \cdot E_p} \quad (17)$$

Penurunan dari ujung tiang

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{D \cdot qp} \quad (18)$$

Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

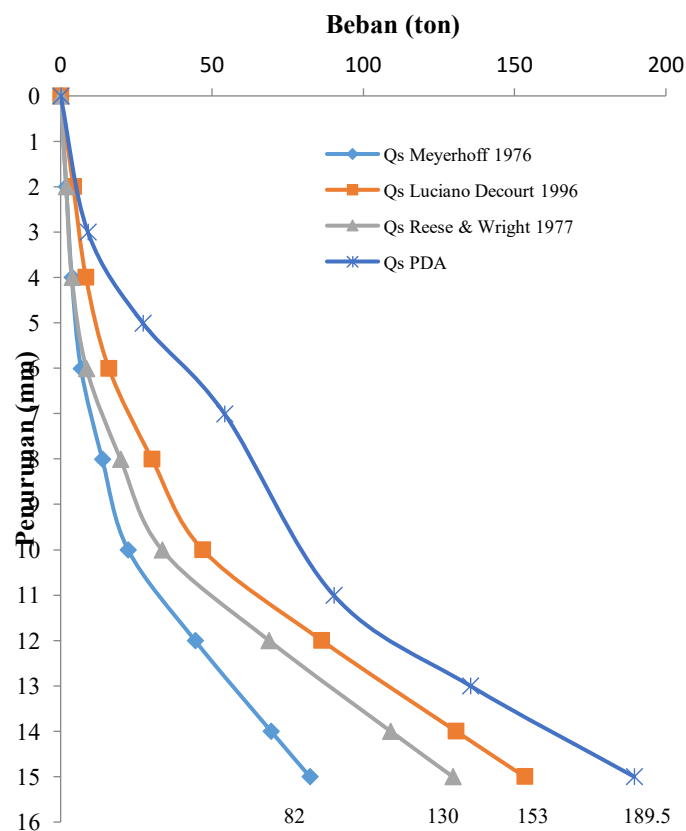
$$S_{ps} = \left(\frac{Q_p}{P \cdot L} \right) \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (19)$$

3. HASIL DAN DISKUSI

Analisis Daya Dukung Selimut Tiang

Daya dukung selimut tiang, juga dikenal sebagai *skin friction*, adalah kemampuan tiang pancang untuk menahan beban struktural melalui perlawanan gesekan yang terjadi antara permukaan tiang dengan tanah di sekitarnya. Dalam penelitian ini hasil daya dukung selimut tiang dapat dilihat pada grafik berikut.



Sumber : Data Penelitian (2025)

Gambar 19. Grafik Daya Dukung Selimut Tiang

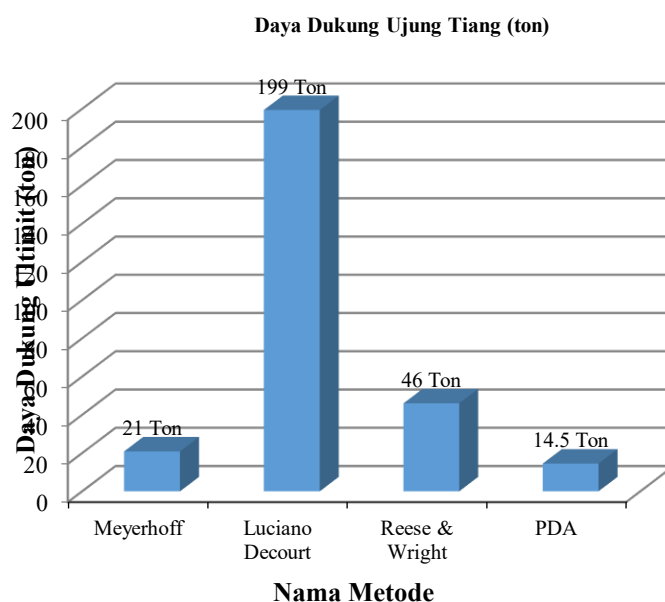
Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa daya dukung selimut tiang pada kedalaman diujung tiang atau kedalaman 15 m metode Luciano Decourt memiliki hasil paling mendekati hasil PDA dengan Qs Luciano Decourt sebesar 158 ton dan Qs PDA 189.5 ton kemudian diikuti Qs Reese & Wright 130 ton, Qs Elemen Hingga dan Qs meyerhoff 82 ton.

Daya dukung selimut tiang dalam metode Meyerhoff 1976 terjadi peningkatan seiring penambahan kedalaman, semakin dalam pondasi tiang maka daya dukung selimut semakin besar. Hasil daya dukung selimut yang dihasilkan dalam metode reese & wright memperlihatkan pada kedalaman 0 sampai 5 m cenderung meningkat secara bertahap namun pada kedalaman 6 sampai 10 m meningkat lebih tinggi dan selanjutnya meningkat drastis dari kedalaman 10 sampai 15 m. peningkatan signifikan dikedalaman 10 m dipengaruhi jenis tanah pasir dari medium pada kedalaman 6 sampai 10 m dan pasir *dense* kedalaman 10 sampai 15 m ditandai nilai NSPT yang meningkat. Metode luciano decourt juga menunjukkan hasil yang serupa dimana daya dukung selimut juga bertambah dengan bertambahnya kedalaman, namun pada kedalaman 15 m hasil metode luciano decourt lebih besar dari elemen hingga dimana hasil daya dukung selimut metode luciano decourt lebih mendekati dengan hasil PDA diantara metode lainnya. Penelitian serupa juga dihasilkan yang menunjukkan daya dukung selimut tiang terus meningkat seiring bertambahnya kedalaman dari 0 sampai 30 m dan semakin padat tanah nilai NSPT juga meningkat sehingga daya dukung selimut juga bertambah [8].

Beban yang dipikul fondasi mengalami distribusi beban-beban dari konstruksi di atasnya yang dapat dilakukan dengan menggunakan gesekan antara tiang dan tanah maupun dengan tahanan ujung dari tiang tersebut [9]. Distribusi beban pada selimut tiang yang dihasilkan metode meyerhoff sebesar 80 % sehingga pada metode ini 80 % dari beban ditahan oleh selimut tiang, sementara dalam metode reese and wright distribusi beban selimut tiang sebesar 74 % sehingga dalam metode ini beban yang ditahan dominan ditahan oleh selimut tiang, namun pada metode luciano decourt memiliki perbedaan jauh dari metode meyerhoff dan reese and wright yaitu beban yang ditahan oleh selimut tiang sebesar 60 % sehingga pada metode ini beban yang ditahan hanya 60 % pada selimut tiang. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan [10],[11] yang menunjukkan bahwa peningkatan kedalaman dan densitas tanah berpengaruh signifikan terhadap peningkatan daya dukung selimut tiang. Namun, perbedaan kecil terhadap hasil uji PDA juga ditemukan dalam penelitian [12], [13], yang mengaitkan variasi tersebut dengan heterogenitas lapisan tanah dan kesalahan interpretasi nilai energi pada uji PDA.

Daya Dukung Ujung Tiang

Daya dukung ujung pada tiang pancang adalah kemampuan ujung tiang untuk menahan beban yang diberikan oleh bangunan atau struktur di atasnya. Daya dukung ujung ini sangat dipengaruhi oleh sifat tanah di bawah ujung tiang, misalnya kekuatan dan jenis tanah. Dalam penelitian ini hasil daya dukung ujung tiang disajikan pada nilai ujung tiang yaitu pada kedalaman 15 m dapat dilihat pada grafik berikut:



Sumber : Data Penelitian (2025)

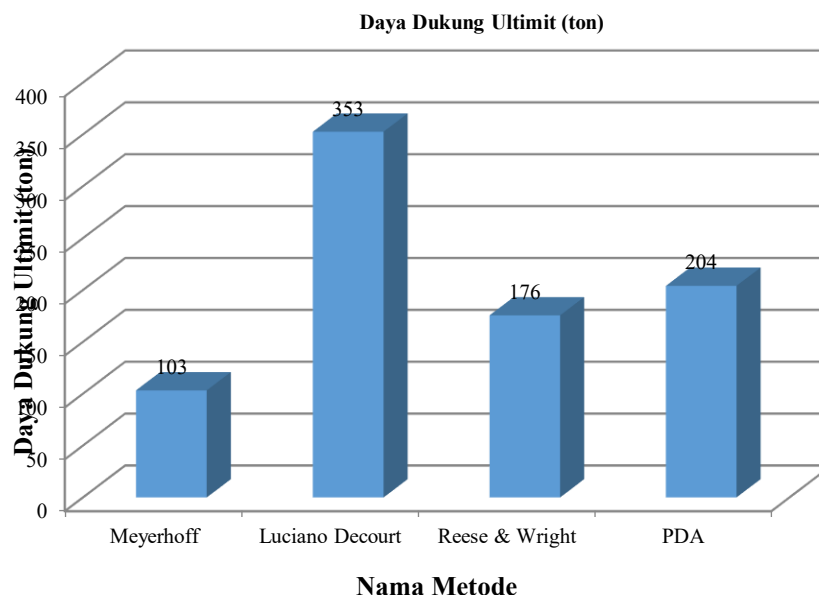
Gambar 20 Daya Dukung Ujung Tiang

Daya dukung ujung tiang dalam metode Meyerhoff (1976) sebesar 21 ton, Luciano Decourt 199 ton, Reese & Wright 46 ton dan PDA 14,5 ton. Besar daya dukung ujung tiang dari semua metode tersebut dapat dilihat bahwa metode luciano decourt memiliki nilai yang lebih besar dari yang lain sebesar 199 ton. Distribusi beban pada ujung tiang dalam metode meyerhoff sebesar 20 % sehingga pada metode ini dominan beban ditahan oleh selimut tiang tetapi juga ditahan oleh ujung tiang yakni 20 %, sementara dalam metode luciano decourt distribusi beban pada ujung tiang sebesar 57 % sehingga dalam metode ini beban yang ditahan sedikit didominasi oleh ujung tiang, pada

metode reese & wright distribusi beban yang ditahan pada ujung tiang decourt sebesar 26% dan dari semua metode dalam metode meyerhoff memiliki nilai distribusi beban yang lebih kecil dan mendekati hasil uji PDA yaitu 7 % PDA dan meyerhoff 20%. Berdasarkan pemaparan distribusi beban maka pada pondasi tiang pancang cenderung lebih banyak dipikul oleh tahanan selimut tiang, hal ini dapat dilihat distribusi beban maupun daya dukung selimut tiang cenderung lebih besar dan distribusi beban lebih didominasi pada daya dukung selimut tiang. Hal serupa juga diperlihatkan oleh penelitian sebelumnya pada tiang pancang dengan metode meyerhoff dan reese & wright di tanah dominan kohesif menghasilkan dengan metode meyerhoff distribusi beban pada selimut tiang 60% dan ujung tiang 40 % sementara metode reese & wright distribusi beban selimut tiang 94% dan ujung tiang 6 % [12]. Nilai daya dukung ujung yang tinggi pada metode Luciano Decourt juga pernah dilaporkan dalam penelitian [14], [15] mana metode berbasis nilai rata-rata NSPT 4D menghasilkan estimasi berlebih pada tanah pasir padat. Kondisi serupa terjadi dalam studi [16] yang menegaskan bahwa pemilihan pendekatan empiris harus mempertimbangkan kondisi geoteknik lokal agar hasil tidak bias terhadap parameter N-SPT yang ekstrem. Hasil serupa juga dilaporkan oleh [17] yang menemukan bahwa diameter tiang dan variasi densitas tanah memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan kapasitas ujung tiang, sementara metode berbasis korelasi NSPT perlu disesuaikan dengan kondisi tanah lokal agar hasilnya tidak berlebih.

Analisis Daya Dukung Ultimit

Daya dukung ultimit tiang adalah kemampuan maksimal tiang untuk menahan beban sebelum terjadi kegagalan struktural atau penurunan yang berlebihan. Daya dukung ultimit ini terdiri dari dua komponen utama: tahanan ujung (Q_b) dan tahanan gesek (Q_s), daya dukung ultimit dihasilkan dari penjumlahan daya dukung selimut dan daya dukung ujung tiang [13]. Daya dukung yang disajikan berikut merupakan daya dukung ultimit yang terjadi pada kedalaman tiang maksimum yaitu kedalaman 15 m.



Sumber : Data Penelitian (2025)

Gambar 21. Daya Dukung Ultimit

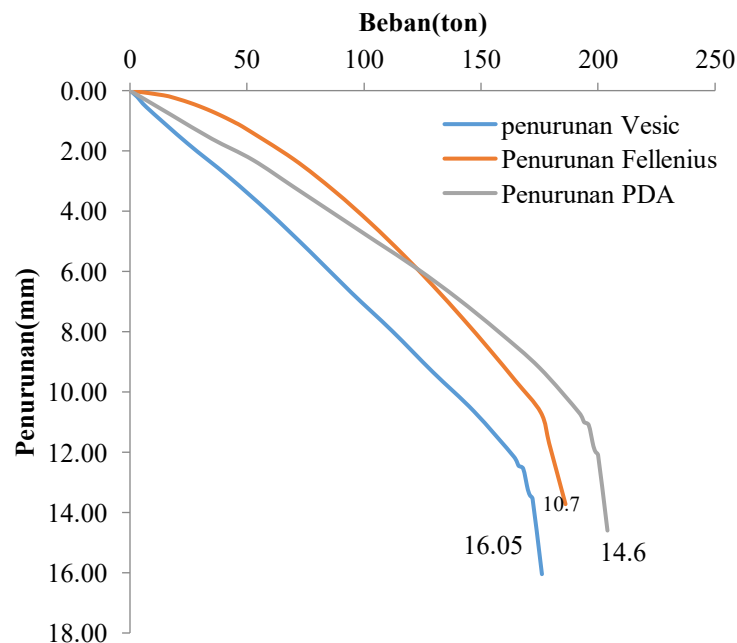
Daya dukung ultimit metode analisis menggunakan 3 persamaan dihitung sepanjang kedalaman tiang yaitu 15 m dalam hasil perhitungan seperti pada gambar diatas dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan dengan hasil uji lapangan berupa uji *pile driving analyzer* (PDA) hasil perhitungan metode reese & wright merupakan metode yang paling mendekati dengan uji PDA sebesar 176 ton dan hasil uji PDA 204 ton, kemudian daya dukung ultimit terendah terdapat dalam metode meyerhoff.

Metode luciano decourt terlihat lebih besar dari uji PDA yaitu luciano decourt 353 ton sementara PDA 204 ton, hal ini disebabkan nilai daya dukung ujung tiang yang besar dalam metode luciano decourt ini disebabkan dalam perhitungan daya dukung ujung menggunakan nilai N_p (rata-rata NSPT 4D diatas tiang dan 4D dibawah tiang) yang besar. Penelitian sebelumnya menggunakan nilai N_p atau rata-rata NSPT 4D diatas tiang dan 4D dibawah tiang [8]. Namun, dalam penelitian lainnya nilai N_p digunakan nilai N rata-rata sepanjang tiang tertanam [18], sehingga nilai N_p lebih rendah dari rata-rata NSPT 4D diatas tiang dan 4D dibawah tiang. Pemaparan daya dukung ujung tiang dalam metode luciano decourt menemukan kelemahan pada penggunaan nilai N_p yang kurang cocok

pada nilai-nilai NSPT yang besar dan saling berdekatan sehingga dapat menghasilkan nilai N_p yang besar lalu akan membuat jumlah daya dukung ujung tiang tersebut juga tinggi. Temuan bahwa metode Reese & Wright paling mendekati hasil uji PDA konsisten dengan penelitian [19], [20] yang menyatakan bahwa korelasi antara parameter gesekan tanah dengan kapasitas ultimit lebih realistis dibandingkan metode lain. Selain itu, studi terbaru oleh [21] juga menekankan pentingnya mempertimbangkan perilaku reologi tanah pada pendekatan perhitungan kapasitas ultimit agar hasil lebih akurat terhadap kondisi aktual lapangan. Selain itu, penelitian terbaru oleh [22] menunjukkan bahwa validasi hasil metode empiris dengan data lapangan seperti PDA memberikan tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan metode teoritis murni, terutama pada proyek dengan variasi kondisi tanah yang signifikan di lapangan tropis.

Analisis Penurunan Tiang

Perhitungan ini digunakan nilai daya dukung ultimit metode analisis yang paling mendekati hasil uji PDA yaitu dari metode reese & wright (1977) sebesar 176 Ton. Hasil beban dan penurunan dari fellenius dan vesic yang dibandingkan dengan PDA dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Sumber: Data Penelitian 2025

Gambar 22. Beban vs Penurunan

Hubungan beban-penurunan pada grafik diatas memperlihatkan respon terhadap beban yang bertahap. Semakin besar beban yang bekerja penurunan juga semakin besar, metode fellenius memperlihatkan zona elastis terjadi pada beban yang bekerja sampai 120 ton, fase transisi zona elastis ke plastis terjadi pada garis yang mulai melengkung yaitu dari beban 120 sampai 155 ton, sementara beban dari 160 Ton keatas merupakan zona yang mulai mendekati kapasitas dukung ultimit dan memasuki zona keruntuhan. Kapasitas dukung ultimit dapat dilihat dari garis potongan berada pada beban 176 Ton dimana beban itu terjadi penurunan sebesar 10.7 mm atau 1.07 cm. Sehingga penurunan dalam metode hubungan beban-penurunan oleh fellenius, (1999) sebesar 10.7 mm atau 1.07 cm. Sementara dalam metode vesic penurunan sebesar 16.05 mm atau 1.605 cm. Kedua metode analisis tersebut memiliki hasil penurunan yang tidak jauh berbeda dengan hasil uji PDA. Perbedaan hasil antara metode Fellenius, Vesic, dan uji PDA menunjukkan adanya variasi elastisitas tanah terhadap beban vertikal. Penelitian [23] dan [24] menunjukkan bahwa metode analitik cenderung memberikan hasil konservatif dibandingkan pendekatan numerik dan data lapangan. Selain itu, hasil ini mendukung pandangan bahwa metode empiris perlu dikombinasikan dengan analisis numerik atau model kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi prediksi penurunan [10], [16]. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian [25] yang menunjukkan bahwa kombinasi antara hasil PDA dan model elemen hingga mampu menghasilkan prediksi penurunan tiang dengan deviasi kurang dari 10% terhadap hasil lapangan aktual.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat temuan-temuan internasional bahwa uji PDA dapat menjadi alat verifikasi efektif untuk memvalidasi hasil perhitungan empiris daya dukung dan penurunan tiang pancang [10], [12], [21]. Dengan demikian, penerapan pendekatan kombinasi antara metode analitik dan uji lapangan direkomendasikan untuk meningkatkan keandalan desain fondasi pada proyek infrastruktur besar di Indonesia.

Hasil penelitian ini juga relevan dengan temuan [26] yang menekankan pentingnya pengujian dinamis seperti PDA dalam memastikan keandalan desain fondasi di wilayah tropis dengan kondisi tanah jenuh air, seperti Riau. Penerapan pendekatan ini terbukti meningkatkan efisiensi desain hingga 15% dibandingkan metode statis konvensional.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan antara perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode teoritis dan hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada proyek SPAM Kabupaten Kampar, diperoleh beberapa kesimpulan penting. Nilai daya dukung selimut tiang (Q_s) dari metode Meyerhoff, Reese & Wright, dan Luciano Decourt menunjukkan pola kurva yang relatif serupa, namun dengan hasil yang lebih rendah dibandingkan uji PDA. Pada kedalaman ujung tiang, diperoleh nilai Meyerhoff sebesar 82 ton, Reese & Wright 130 ton, dan Luciano Decourt 153 ton, sedangkan hasil uji PDA mencapai 189,5 ton. Metode Luciano Decourt menghasilkan nilai paling mendekati hasil pengujian di lapangan. Untuk daya dukung ujung tiang (Q_p), metode Meyerhoff memberikan hasil sebesar 21 ton, Reese & Wright 46 ton, dan Luciano Decourt 199 ton, semuanya lebih tinggi daripada hasil PDA sebesar 14,5 ton. Sementara itu, untuk daya dukung ultimit (Q_{ult}), metode Meyerhoff menghasilkan 103 ton, Reese & Wright 176 ton, dan Luciano Decourt 353 ton, dengan metode Reese & Wright paling mendekati hasil uji PDA sebesar 204 ton. Nilai daya dukung yang tinggi pada metode Luciano Decourt disebabkan oleh penggunaan nilai rata-rata NSPT (N_p) empat kali diameter di atas dan di bawah ujung tiang, yang pada kondisi tanah dengan nilai NSPT besar dan berdekatan dapat menghasilkan nilai daya dukung ujung yang berlebihan. Hal ini menunjukkan bahwa metode Luciano Decourt kurang sesuai untuk tanah dengan kepadatan tinggi atau variasi NSPT yang kecil. Dari analisis penurunan (*settlement*), metode Fellenius memberikan hasil penurunan yang lebih rendah (10,7 mm) dibandingkan PDA (14,5 mm), sedangkan metode Vesic memberikan hasil yang lebih besar (16,05 mm). Hasil ini menunjukkan bahwa metode Fellenius bersifat lebih konservatif, sedangkan Vesic lebih mendekati kondisi aktual di lapangan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa metode Reese & Wright memberikan hasil perhitungan daya dukung paling mendekati hasil uji PDA, sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan fondasi tiang pancang pada kondisi geoteknik serupa. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan ilmu geoteknik, khususnya dalam validasi metode perhitungan daya dukung tiang, serta memiliki manfaat praktis untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi desain fondasi pada proyek infrastruktur penyediaan air minum di wilayah Riau dan daerah lain dengan karakteristik tanah sejenis. Selain itu, perbedaan hasil uji PDA yang cukup signifikan dibandingkan metode teoritis juga sejalan dengan temuan berbagai penelitian lain yang menunjukkan bahwa kapasitas tiang hasil pengujian dinamis biasanya lebih rendah dibandingkan hasil perhitungan analitis akibat pengaruh redaman tanah, kehilangan energi hammer, dan variasi densitas tanah lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. J. Lopian, F. J. Manoppo, J. H. Ticoh, P. Studi, T. Sipil, and U. S. Ratulangi, "Studi Perbandingan Desain Fondasi Rakit Dengan Fondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi," vol. 20, pp. 1179–1187, 2022.
- [2] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi II*, Edisi 5. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [3] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi I*, Edisi 4. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [4] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi II*, Edisi 4. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [5] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi II*, Ed 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.
- [6] D. Haryadi, W. A. Prakoso, D. Teknik, S. Fakultas, and T. Universitas, "Analisa Statistik Hasil Uji Kapasitas Metode Dinamis (Pda Test) Pada Pondasi Tiang Pancang," 2017.
- [7] B. H. Fellenius, "Basics of Foundation Design, Electronic Edition," *www.Fellenius.net*, 2025.
- [8] K. Fahmi, "Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Dengan Metode Mayerhoff, Luciano Decourt, Reese And Wright, Dan Elemen Hingga (Plaxis)," Universitas Islam Sultan Agung, 2022.
- [9] M. N. Danipra Setiyo, Suhendra, "Analisa Daya Dukung Tanah untuk Pondasi Tiang Pancang pada Rencana Pembangunan Komplek Pendidikan Islam Al Azhar 57 Jambi," *J. Civronlit Unbari*, vol. 4, no. 2, pp. 80–92, 2019, doi: 10.33087/civronlit.v4i2.54.
- [10] H. Moayed, M. Mosallanezhad, and R. Nazir, "Evaluation Of Maintained Load Test (Mlt) And Pile Driving Analyzer (PDA)," *SOIL Mech.*, vol. 54, no. 3, pp. 9–13, 2017, doi: 10.1007/s11204-017-9449-1.
- [11] J. Kaupien and S. Higher, "Research Of Bearing Capacity Of Pile Pressed Foundations Methodology For

- Calculating The Bearing Capacity Of The Pile,” vol. 111, no. 5, pp. 111–116, 2024.
- [12] A. Prativi, P. Dewi, N. Sutra, and W. T. Adi, “A Comparison of Individual Bored Pile Bearing Capacity Using the Results of Standard Penetration Test (SPT) and Pile Driving Analysis (PDA) Test of the Railway Bridge Foundation,” vol. 1, no. 2, pp. 14–23, 2022.
 - [13] C. S. Rozeli, “Analysis Of The Carrying Capacity Of The Pile Foundation Compared To Jacking System & Pile Driving Analyzer (PDA) Test (Case Study of Building Construction Projects in the District of,” *IJTI (International J. Transp. Infrastructure)*, vol. 03, no. 02, 2020.
 - [14] A. A. Ningsih, A. A. Setiawan, U. P. Jaya, and U. P. Jaya, “Comparison of Elastic Settlement of Pile Foundations Using Analytical Methods and Finite Element Methods,” *J. Komposit J. Ilmu-ilmu Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 145–149, 2023, doi: 10.32832/komposit.v7i2.13757.
 - [15] T. Sebastian and D. Akbar, “Analysis of Foundation Bearing Capacity Using Reese & Wright (1977) and Skempton (1966) Methods,” vol. 22, no. 2, pp. 47–55, 2023.
 - [16] A. Nurjanah, F. Teknik, and U. M. Mataram, “Analysis Of Bearing Capacity Of Pile Foundations Using Analytical,” *Eduvest – J. Univers. Stud. Vol.*, vol. 4, no. 05, 2024.
 - [17] A. S. Hafshejani, A. Hajiannia, S. Pousti, and A. G. Noroozi, “Effect of length to diameter ratio (L/D) of pile on bearing capacity of piles buried in the silty sand under homogeneous hydrocarbon contamination conditions,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, no. January, pp. 7–10, 2016.
 - [18] A. Afriyanto, *Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
 - [19] R. Wulansari and S. Anwar, “Comparison of Pile Bearing Capacity Based on Standard Penetration Test,” *J. GREEN Sci. Technol.*, vol. II, no. 1, 2018.
 - [20] D. Yogaswara and R. Riyantini, “Analisis Pengendalian Mutu Fondasi Tiang Bor Berdasarkan Uji PDA dan Uji PIT,” *J. Tek. Sipil*, vol. 21, no. 1, pp. 32–47, 2025, doi: 10.28932/jts.v21i1.7345.
 - [21] A. Z. Ter-martirosyan, L. Y. Ermoshina, and G. O. Anzhelo, “Settlement of a Pile Foundation Considering Linear and Rheological Properties of Soils,” *uildings*, 2024.
 - [22] L. Zhang, “Reliability Assessment of Pile-Founded T-Walls Considering Soil Spatial Variability in the Face of Flooding Hazards,” no. August, 2025, doi: 10.1061/9780784485163.046.
 - [23] H. Maizir, “Artificial Neural Network Model for Prediction of Bearing Capacity of Driven Pile,” vol. 22, no. 1, pp. 49–56, 2015.
 - [24] F. S. Raihanah Naura Jinan, Rena Misliniyati, Khairul Amri, Muharram Nur Fikri, “Analysis Of The Effect Of Cross-Sectional On The Bearing Capacity And Settlement Of Pile Foundation For The Scada Building,” *J. Pensil Pendidik. Tek. Sipil*, vol. 14, pp. 595–612, 2025, doi: 10.21009/jpensil.v14i3.59178.
 - [25] Y. Wang, G. Lu, E. Zhang, C. Zhao, W. Wang, and F. Dong, “The Bearing Capacity Model of Pile Foundation with Hole-Drilling and Pile-Inserting Technology in Complex Geological Environments,” 2025.
 - [26] A. Honarjoo and V. Ghiasi, “Analyzing analytical and software methods for deep foundation analysis and presenting a new solution for determining pile capacity using the PDA test,” *Int. J. Geo-Engineering*, 2025.

KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH BONGGOL JAGUNG SEBAGAI *FILLER*

*Firzi Abi Pramanda¹, Nurani Hartatik², Aditya Rizkiardi³, Yudi D.Prasetyo⁴

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

⁴ Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jatim – Bali

*) Email : nuranihartatik@untag-sby.ac.id

Received: 18 November 2025 ; Revised: 19 November 2025 ; Accepted: 21 November 2025

ABSTRACT

Porous asphalt is a mixture of hot asphalt with an open gradation, characterized by a high proportion of coarse aggregates and a low proportion of fine aggregates, creating large air voids of around 18% - 25% in the mixture structure. These air voids are designed to allow water flow during rain, thus reducing the occurrence of surface water pooling on roads. Currently, porous asphalt is being developed as an alternative material for the construction of wearing courses. This study aims to analyze the use of corn cob waste as a filler in porous asphalt mixtures. The study tests the optimum asphalt content (OAC) in mixtures using corn cob ash filler that passes through a No. 200 sieve (0.075 mm) by 1%, with variations of asphalt content at 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, and 6%. The determination of optimum asphalt content follows the guidelines set by the Bina Marga Specifications (Revision 2, 2018) and the Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004), using three main parameters: Marshall, Cantabro Loss (CL), and Asphalt Flow Down (AFD). The results showed that the values of the three main parameters, namely Void in Mixture (VIM) at asphalt contents of 4% - 4.5% (20.81% and 18.25%), met the required range of 18% - 25%, Cantabro Loss (CL) at asphalt contents of 4.5% - 6% (29.10%, 23.61%, 18.69%, 14.29%) met the requirement of $\leq 35\%$, and Asphalt Flow Down (AFD) at 4% - 4.5% (0.15% and 0.25%) met the requirement of ≤ 0.3 . The optimum asphalt content (OAC) in this study was found to be 4%.

Keyword: Porous Asphalt, Corn Cob Ash, Filler, Optimum Asphalt Content

ABSTRAK

Aspal porus merupakan campuran aspal panas dengan gradasi terbuka, ditandai oleh proporsi agregat kasar yang tinggi dan agregat halus yang rendah, sehingga membentuk rongga udara besar sekitar 18% - 25% di dalam struktur campuran. Dengan adanya rongga udara ini bertujuan untuk mengalirkan air saat hujan, sehingga dapat mengurangi terjadinya genangan air di permukaan jalan. Saat ini, aspal porus tengah dikembangkan sebagai alternatif material untuk konstruksi lapisan aus (*wearing course*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan limbah bonggol jagung sebagai filler dalam campuran aspal porus. Penelitian ini menguji kadar aspal optimum (KAO) pada campuran yang menggunakan filler abu bonggol jagung yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sebesar 1% , dengan variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Penentuan kadar aspal optimum mengikuti pedoman yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga (Revisi 2, 2018) dan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004), dengan menggunakan tiga parameter utama *Marshall*, *Cantabro Loss* (CL), dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tiga parameter utama yaitu *Void in Mixture* (VIM) pada kadar aspal 4%-4.5% (20.81% dan 18.25%) memenuhi batas persyaratan 18% - 25%, nilai *Cantabro Loss* (CL) pada kadar 4.5% - 6% (29.10%, 23.61%, 18.69%, 14.29%) memenuhi batas persyaratan $\leq 35\%$, dan nilai *Asphalt Flow Down* (AFD) 4% - 4.5% (0.15% dan 0.25%) memenuhi batas persyaratan ≤ 0.3 . Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada penelitian ini sebesar 4%.

Kata kunci: Aspal Porus, Abu Bonggol Jagung, Bahan Pengisi, Kadar Aspal Optimum

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan yang dipadatkan menggunakan bahan pengikat seperti aspal pada perkerasan lentur semen pada perkerasan kaku. Kedua tipe perkerasan ini memiliki karakteristik dan respon struktural yang berbeda. Kondisi lingkungan terutama tingginya intensitas hujan dapat mempengaruhi performa lapisan jalan. Pada perkerasan lentur, genangan air sering menjadi persoalan karena sifatnya yang cukup sensitif terhadap masuknya air. Untuk mengurangi masalah tersebut maka muncul jenis aspal berongga yang dikenal sebagai aspal porus [1].

Aspal porus merupakan campuran aspal panas dengan gradasi terbuka, ditandai oleh proporsi agregat kasar yang tinggi dan agregat halus yang rendah, sehingga membentuk rongga udara besar sekitar 18% - 25% di dalam struktur campuran. Saat ini, aspal porus tengah dikembangkan sebagai alternatif material untuk konstruksi lapisan aus [2]. Dalam 10 tahun terakhir, penelitian mengenai aspal berpori di Indonesia berkembang pesat. Stabilitas lapisan aspal berpori masih di bawah standar , sehingga penggunaannya terbatas pada jalan dengan beban lalu lintas ringan. Upaya peningkatan stabilitas menghadapi kendala pada kinerja permeabilitas yang masih rendah dan belum optimal sebagai lapisan berpori [3]. Meskipun demikian aspal porus tetap harus ditingkatkan stabilitasnya agar dapat memperpanjang umur aspal porus yaitu dengan cara menambahkan *Filler* untuk mengisi sebagian rongga dalam agregat.

Filler dalam aspal porus berfungsi untuk memperkuat campuran dengan mengisi celah antar agregat, sehingga jalan menjadi lebih stabil dan tidak mudah rusak akibat beban kendaraan. Selain itu, *Filler* membantu aspal melekat lebih baik pada agregat, mencegah pengelupasan, serta menjaga keseimbangan pori-pori agar air bisa mengalir tanpa merusak permukaan jalan. *Filler* untuk campuran beraspal dapat menggunakan abu batu, semen, dan *fly ash* tetapi hal tersebut memerlukan biaya yang relatif mahal [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan limbah bonggol jagung sebagai pengganti filler konvensional seperti *fly ash*, semen, dan batu kapur. Hasil penelitian sebelumnya oleh [5] menunjukkan bahwa bonggol jagung dapat diolah menjadi filler substitusi. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2023, produksi jagung di Indonesia diperkirakan mencapai 14,46 juta ton dengan luas lahan 2,49 juta hektar, yang menghasilkan limbah bonggol jagung dalam jumlah besar yang berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu contoh adalah limbah bonggol jagung yang berada di Jl. Watugaluh, Dsn. Paritan, Ds. Keras, Kec. Diwek, Kab. Jombang. Berdasarkan informasi dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Timur, produksi jagung di Kabupaten Jombang pada tahun 2023 mencapai 249.208 ton dengan luas lahan 38.144 hektar, maka dari itu perlu dilakukan pemanfaatan limbah contohnya sebagai bahan tambah untuk campuran konstruksi jalan.

Penelitian oleh Ilyas Ichsan Oliy, Andi Sahrul Hidayat 2024 [5] dengan judul “Penggunaan Abu Bonggol Jagung Sebagai Pengganti *Filler* Dalam Komposisi Campuran Aspal AC-WC” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan abu bonggol jagung sebagai pengganti filler pada campuran AC-WC dengan kadar aspal 5,5% dan 6% dan variasi abu bonggol jagung 1 %, 2%, dan 3%. Hasil uji Marshall (stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, MQ) menunjukkan seluruh parameter masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Kandungan silika tinggi (66,83%) membuat abu bonggol jagung efektif sebagai filler alternatif, sekaligus memanfaatkan limbah pertanian secara ramah lingkungan.

Penelitian Oleh Idayani, Royanna Sakura 2024 [7] dengan judul “Pengaruh Penggunaan Abu Bata Merah Sebagai *Filler* Pada Aspal Porus Terhadap Karakteristik *Marshall*” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis Abu Bata Merah sebagai filler pada aspal porus di aceh utara. Dengan KAO 4,72% dan variasi filler 0%, 30%, dan 50%, dilakukan uji Marshall (stabilitas, flow, MQ, VIM). Semua variasi memenuhi spesifikasi AAPA 2004, dengan performa terbaik pada 50% abu bata merah: stabilitas 591 kg, flow 3,27 mm, MQ 181,26 kg/mm, dan VIM 18,8%. Hasilnya menunjukkan abu bata merah efektif sebagai filler alternatif yang meningkatkan ketahanan campuran aspal.

Penelitian oleh Alzahri et.al 2024 [8] dengan judul “Pemanfaatan Abu Limbah Bonggol Jagung Sebagai *Filler Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan abu bonggol jagung sebagai filler pada campuran AC-WC melalui uji Marshall. Variasi filler yang digunakan adalah 2%, 3%, 4%, dan 5%. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran dengan 2% dan 3% filler masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sementara pada 4% dan 5% nilai VIM turun di bawah batas sehingga tidak memenuhi standar. Penelitian menegaskan bahwa abu bonggol jagung berpotensi sebagai filler alternatif, namun hanya efektif pada kadar rendah.

Penelitian oleh Rodhiah et al 2023 [9] dengan judul “Analisis *Fly Ash* Terhadap *Filler* Pada Campuran Aspal Porus” Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh *fly ash* sebagai filler pada aspal porus berbahan aspal polimer. Dengan variasi 0%, 2%, 4%, dan 6%, diuji karakteristik Marshall (stabilitas, flow, VIM, MQ). Semua variasi memenuhi spesifikasi AAPA 2004, dan performa terbaik diperoleh pada 6% *fly ash* dengan stabilitas 782 kg, flow 3,8 mm, VIM 18,2%, dan MQ 205,2 kg/mm. Penelitian menyimpulkan bahwa *fly ash* efektif sebagai filler alternatif karena meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran tanpa mengurangi porositas.

Karakteristik Marshall

Karakteristik Marshall merupakan parameter dari pengujian Marshall yang mengukur sifat campuran aspal seperti *Void in Mixture* (VIM), *Void in Mineral Agregate* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), Stabilitas, Pelelehan (*Flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Pengujian Marshall bertujuan untuk menentukan ketahanan dan kekuatan campuran aspal yang telah dipadatkan.

Tabel 1. Spesifikasi Aspal Porus

No	Parameter	Nilai
1	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	≤ 35
2	Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	≤ 0,3
3	Kekakuan <i>Marshall</i> / MQ (Kg/mm)	≤ 400
4	Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	≥ 500
5	Kadar Rongga Udara/ VIM (%)	18 – 25
6	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Kadar Aspal Optimum

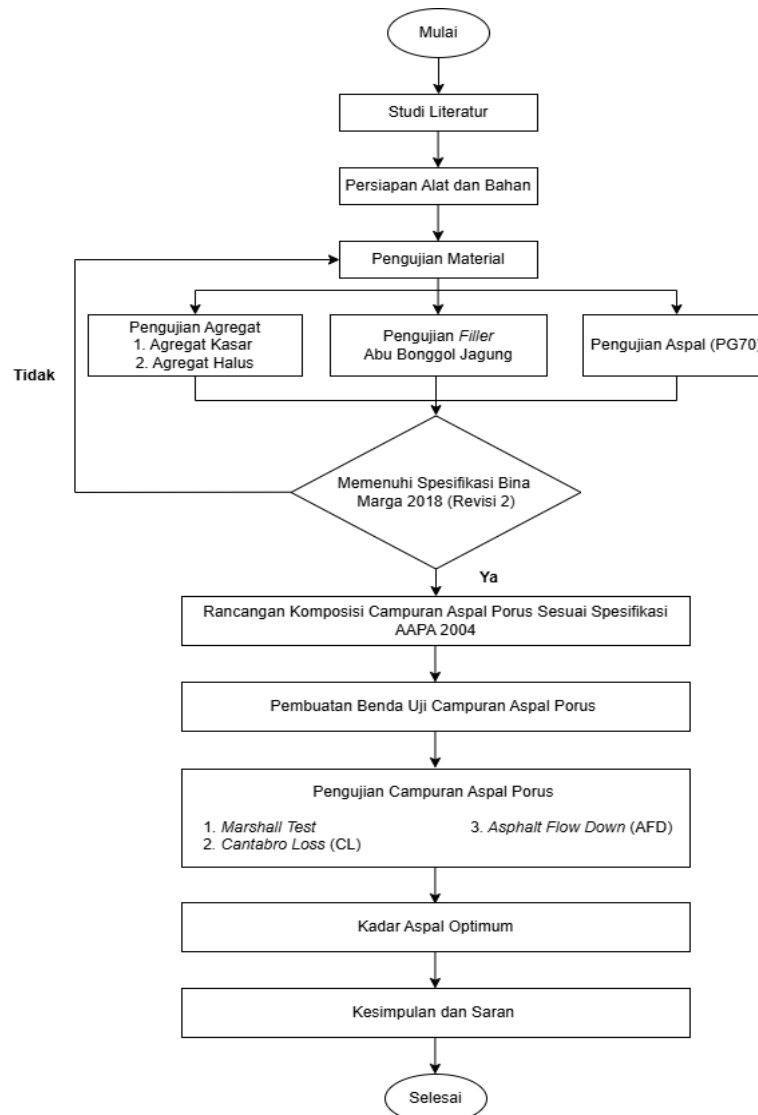
Dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran aspal porus, metode yang digunakan merujuk pada pedoman *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004). Metode ini menetapkan bahwa penentuan KAO cukup mengacu pada tiga parameter utama, yaitu rongga dalam campuran (*Void in Mix/VIM*), jumlah aspal yang mengalir keluar dari campuran (*Asphalt Flow Down/AFD*), serta kehilangan berat akibat pengujian ketahanan terhadap keausan (*Cantabro loss/CL*).

Tabel 2 Spesifikasi Penentuan Kadar Aspal Optimum

No	Spesifikasi	Syarat
1	<i>Cantabro Loss</i> (CL)	$\leq 35\%$
2	<i>Asphalt Flow Down</i> (AFD)	$\leq 0,3\%$
3	Kadar Rongga (VIM)	18-25%

2. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir ini menggambarkan langkah-langkah dalam penelitian pemanfaatan limbah bonggol jagung sebagai filler pada campuran aspal porus. Penelitian dimulai dengan studi literatur, diikuti dengan persiapan alat dan bahan, serta pengujian material seperti agregat, filler abu bonggol jagung, dan aspal. Jika material memenuhi spesifikasi Bina Marga, penelitian dilanjutkan dengan merancang komposisi campuran aspal porus, pembuatan benda uji, dan pengujian seperti Marshall Test, *Asphalt Flow Down* (AFD) dan *Cantabro Loss* (CL). Hasilnya digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum dan memberikan kesimpulan serta saran penelitian.



Gambar 1 Diagram Alir (*Flowchart*)

Berdasarkan diagram alir (flowchart) yang terdapat pada gambar, berikut adalah penjelasan dari setiap tahapan diatas :

1. Mulai
Titik awal dari seluruh proses penelitian
2. Studi Literatur
Membaca dan mengkaji sumber-sumber ilmiah atau jurnal sebagai dasar teori dan acuan dalam penelitian.
3. Persiapan Alat dan Bahan
Menyiapkan semua alat laboratorium dan bahan yang dibutuhkan, seperti agregat kasar, agregat halus, aspal PG 70, dan *Filler* dari limbah bonggol jagung.
4. Pengujian Agregat
 - a) Agregat Kasar
 - Analisa Saringan (SNI ASTM C136:2012)
 - Berat Jenis dan Penyerapan (SNI 1969-2016)
 - Keausan Agregat (SNI 2417-2008)
 - b) Agregat Halus
 - Analisa Saringan (SNI ASTM C136:2012)
 - Berat Jenis dan Penyerapan (SNI 1969-2016)
5. Pengujian *Filler* Limbah Bonggol Jagung
 - a) Analisa Saringan Lolos No.200 (SNI 1970-2008)
 - b) Berat Jenis (SNI 1970-2016)
6. Pengujian Aspal PG70
 - a) Penetrasi (SNI 2456:2011)
 - b) Berat Jenis (SNI 2441:2011)
 - c) Titik Bakar dan Titik Nyala (SNI 2433-2011)
 - d) Titik Lembek (SNI 2434-2011)
7. Rancangan Komposisi Campuran Aspal Porus
Menentukan proporsi agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal untuk menghasilkan campuran yang sesuai dengan kriteria porus.
8. Pembuatan Benda Uji Campuran Aspal Porus
Campuran yang telah dirancang diproses untuk dibuat menjadi benda uji sesuai prosedur laboratorium
9. Pengujian Benda Uji Campuran Aspal Porus
 - a) Marshall Test (SNI 06-2489-1991)
 - b) Cantabro Loss (CL) (AST 07:2000)
 - c) Asphalt Flow Down (AFD) (AST 06:2000)
10. Kadar Aspal Optimum
Penentuan KAO campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan Metode Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004) yang mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, *Cantabro Loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir agregat) dan *Asphalt Flow Down* (aliran aspal ke bawah).
11. Kesimpulan dan Saran
Menarik kesimpulan dari hasil pengujian serta memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya
12. Selesai
Akhir dari rangkaian proses penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya sesuai dengan prosedur pengujian yang telah ditentukan. Untuk pengujian material mengacu pada Spesifikasi Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018 [10] dan pengujian campuran aspal porus mengacu pada *Australian Asphalt Pavement Association* 2004 [11].

A. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Tabel 3 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Hasil Pengujian Agregat Kasar (5-10) dan (10-15)					
No	Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Analisa Saringan 10-15	%	<1	0.97	Memenuhi
2	Analisa Saringan 5-10	%	<1	0.97	Memenuhi
3	Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	gram	>2,5	4.28	Memenuhi
4	Berat Jenis <i>Saturated Surface Dry</i> (SSD)	gram	>2,5	4.34	Memenuhi

Hasil Pengujian Agregat Kasar (5-10) dan (10-15)					
No	Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
5	Berat Jenis Semu	gram	>2,5	4.59	Memenuhi
6	Penyerapan Air	%	<3	1.45	Memenuhi
7	Keausan Agregat	%	<40	36.06	Memenuhi

B. Hasil Pengujian Agregat Halus

Tabel 4 Hasil Pengujian Agregat Halus

Hasil Pengujian Agregat Halus (0-5)					
No	Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Analisa Saringan	%	<10	5.31	Memenuhi
2	Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	gram	>2,5	2.59	Memenuhi
3	Berat Jenis <i>Saturated Surface Dry (SSD)</i>	gram	>2,5	2.62	Memenuhi
4	Berat Jenis Semu	gram	>2,5	2.67	Memenuhi
5	Penyerapan Air	%	<3	1.06	Memenuhi

C. Hasil Pengujian Filler

Tabel 5 Hasil Pengujian *Filler*

Hasil Pengujian Filler Abu Bonggol Jagung					
No	Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Analisa Saringan	%	>75	90.15	Memenuhi
2	Berat Jenis	gram	>2,5	2.52	Memenuhi

D. Hasil Pengujian Aspal

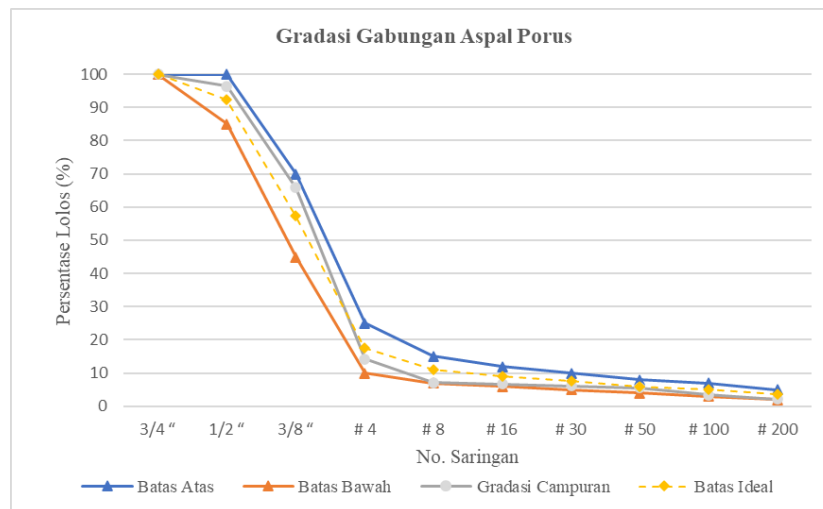
Tabel 6 Hasil Pengujian Aspal

Hasil Pengujian Aspal PG 70					
No	Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Pentrasi Aspal	0,1 mm	dilaporkan	79	-
2	Berat Jenis Aspal	gram	-	1.74	-
3	Titik Nyala Aspal	°C	≥ 230	339	Memenuhi
4	Titik Lembek Aspal	°C	dilaporkan	49.5	-

Dari hasil semua pengujian material yang telah dilakukan dilaboratorium maka dapat disimpulkan bahwa semua pengujian material yang telah dilakukan menunjukkan telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

E. Gradasi Gabungan Agregat

Proses pencampuran agregat ini untuk memastikan bahwa gradasi dari tiap fraksi agregat kasar, halus, dan *filler* memenuhi spesifikasi gradasi agregat dari *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) 2004 untuk aspal porus. Penentuan proporsi masing-masing fraksi dilakukan melalui metode *Trial and Error* yaitu dengan melakukan beberapa percobaan kombinasi persentase fraksi agregat sampai di peroleh gradasi campuran yang berada dalam batas yang di tentukan.

**Gambar 2** Gradasi Gabungan Aspal Porus

F. Penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb)

Sebelum mencampurkan agregat dan aspal, perlu dilakukan penentuan kadar aspal rencana (Pb) untuk mencari kadar aspal optimum (KAO). Dalam penelitian ini, campuran aspal panas dirancang dengan lima variasi kadar aspal, yaitu dua nilai di bawah dan dua nilai di atas kadar aspal rencana (Pb), dengan selisih 0,5% untuk setiap variasinya. Proses perencanaan dilakukan dengan menggunakan rumus empiris yang mengacu pada persentase masing-masing fraksi agregat.

Tabel 7 Kadar Aspal Rencana (Pb)

SIEVE NO		%		
No	mm	Total Campuran		Tertahan
3/4 "	19	100		
1/2 "	12.5	96.37		3.63
3/8 "	9.5	65.78		30.59
# 4	4.75	14.27		51.50
# 8	2.36	7.04		7.23
# 16	1.18	6.63		0.42
# 30	0.6	6.15		0.48
# 50	0.3	5.51		0.63
# 100	0.15	3.49		2.03
# 200	0.075	2.07		1.42
		CA	FA	FF
		0.035	0.045	0.18
%		93	4.98	2.07
Konstanta		1-2	1	
Pb		4.85	Nilai Pb dibulatkan : 5	

G. Pengujian Marshall

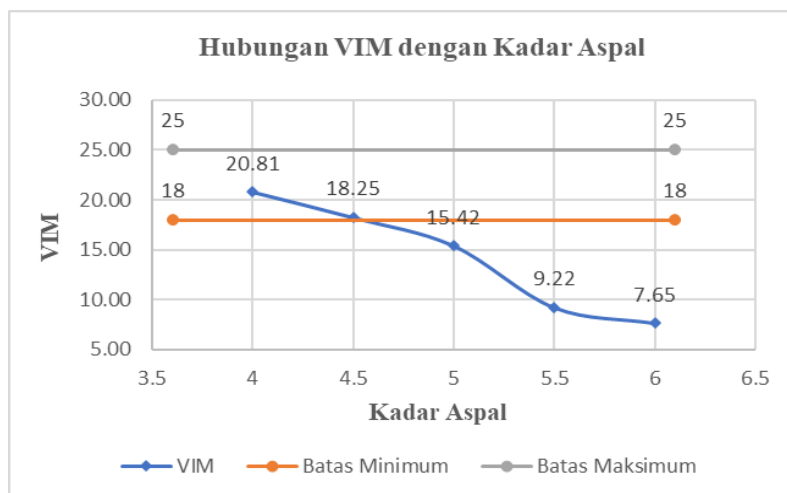
Pengujian Marshall bertujuan untuk memperoleh nilai dari berbagai parameter, seperti VIM (Void in Mix), flow (kelelehan), stabilitas, dan MQ (Marshall Quotient). Metode ini digunakan untuk mengukur stabilitas dan kelelehan (flow) campuran aspal, serta untuk menilai kepadatan dan rongga udara dalam campuran beton aspal padat. Sampel uji disiapkan berdasarkan gradasi agregat yang telah dirancang sesuai dengan spesifikasi teknis yang berlaku. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk menentukan karakteristik lapisan perkerasan lentur, termasuk kekuatan dan ketahanannya terhadap beban lalu lintas.

Tabel 8 Hasil Pengujian Marshall

No	Parameter Marshall	Kadar Aspal					Spesifikasi
		4%	4.5%	5%	5.5%	6%	
1	Stabilitas	1330	1117	1146	856	780	≥500
2	Flow	2	2.5	2	3	3	-
3	VIM	20.81	18.25	15.42	9.22	7.65	18-25
4	VMA	28.6	27.4	24.0	13.4	11.4	-
5	VFB	27.17	33.32	35.74	31.09	32.83	-
6	MQ	570	449	580	312	804	≤400

a) Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

VIM (Void in Mixture) mengukur jumlah rongga dalam campuran. Jika nilai VIM rendah, campuran akan menjadi lebih kedap terhadap air dan udara, sementara nilai VIM yang tinggi membuat campuran lebih mudah menyerap air dan udara. Campuran dengan terlalu banyak rongga udara tidak akan cukup kuat untuk menahan beban dan rentan terhadap deformasi.

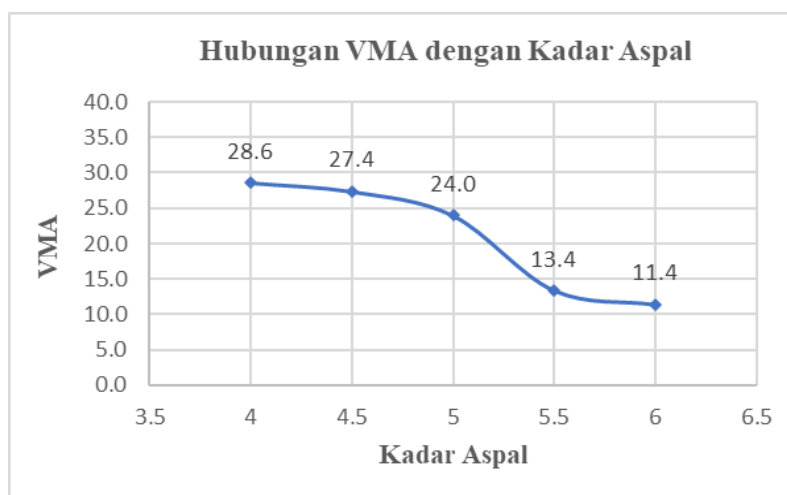


Gambar 3 Grafik Hubungan Nilai VIM dengan Kadar Aspal

Berdasarkan tabel dan grafik diatas Nilai VIM mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kadar aspal. Pada kadar aspal 4% dan 4.5% nilai VIM tercatat masing-masing sebesar 20.81% dan 18.25% yang masih berada dalam rentang batas minimum dan maksimum. Namun, pada kadar aspal 5%, 5.5%, dan 6% nilai VIM turun di bawah batas minimum yang ditentukan.

b) Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

VMA (*Void in Mineral Agregate*) merupakan kadar rongga dalam agregat. Nilai VMA akan meningkat yang disebabkan oleh rongga di antara agregat semakin besar

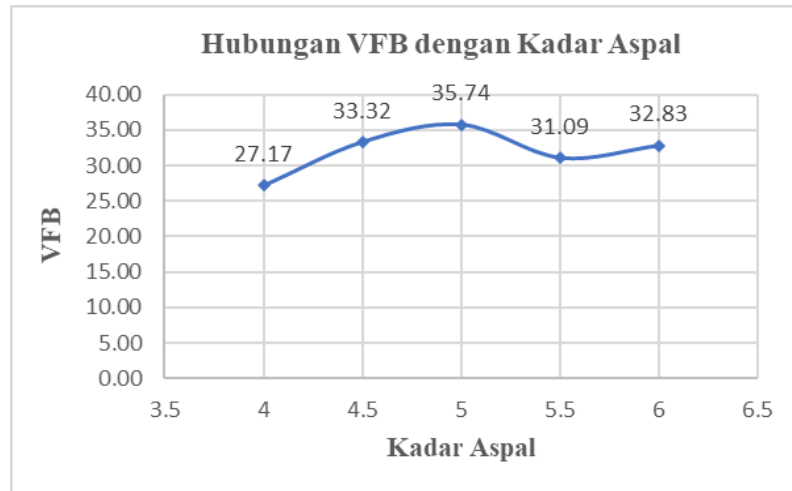


Gambar 4 Grafik Hubungan Nilai VMA dengan Kadar Aspal

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, semakin tinggi kadar aspal nilai VMA akan rendah. Hal ini menerangkan bahwa seiring bertambahnya kadar aspal maka ruang kosong yang ada dalam campuran berkurang.

c) Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

VFB (*Void Filled With Bitumen*) mengacu pada rongga yang terisi oleh aspal dalam campuran. Nilai VFB sangat penting untuk menilai sejauh mana aspal mampu melapisi agregat dengan baik.

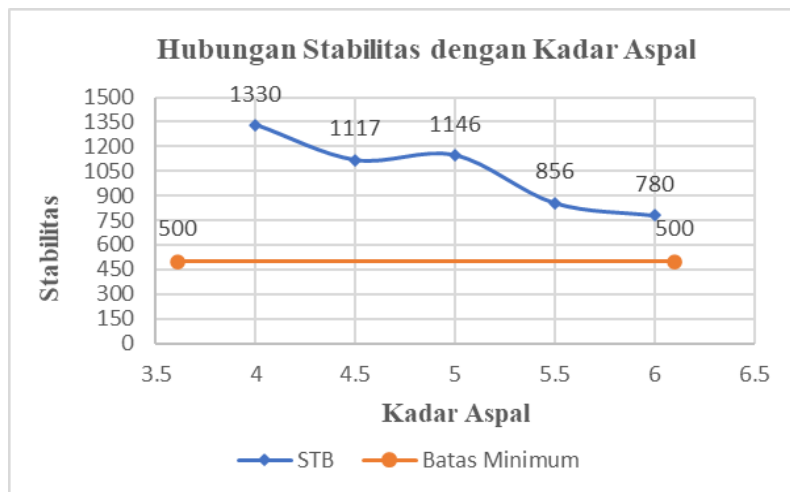


Gambar 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, nilai VFB meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal, mencapai puncaknya pada kadar aspal sekitar 5% setelah itu nilai VFB sedikit mengalami penurunan.

d) Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Stabilitas mengukur kemampuan campuran aspal untuk menahan beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan tanpa mengalami deformasi permanen. Jika nilai stabilitas rendah, campuran akan mudah retak akibat beban lalu lintas, sedangkan nilai stabilitas yang tinggi akan mengurangi kemungkinan terjadinya keretakan..

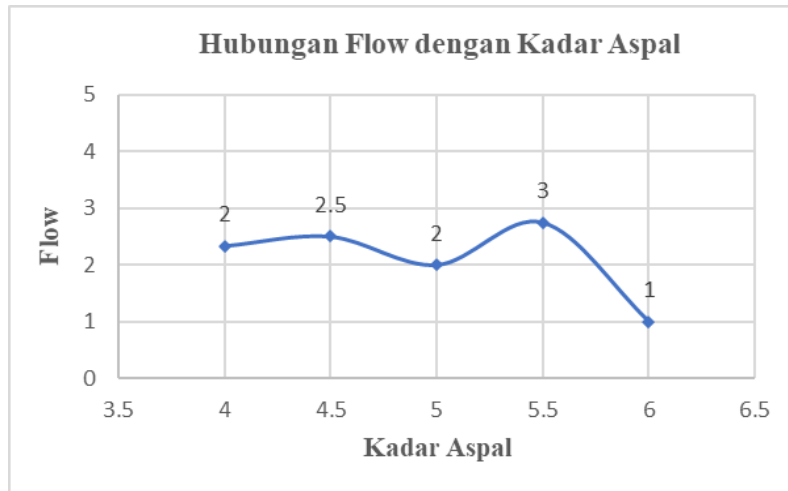


Gambar 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan tabel dan grafik di atas nilai stabilitas menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal setelah mencapai kadar aspal tertentu. Garis batas minimum yang ditunjukkan oleh grafik menunjukkan nilai stabilitas yang masih dapat diterima untuk memastikan kualitas campuran aspal sesuai standar yang ditetapkan.

e) Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Flow (pelelehan) merupakan besarnya penurunan atau deformasi (perubahan bentuk tetap) yang terjadi pada campuran aspal. Campuran dengan *flow* rendah bersifat kaku, tidak fleksibel, dan kurang mampu mengikuti deformasi akibat beban lalu lintas.



Gambar 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow*

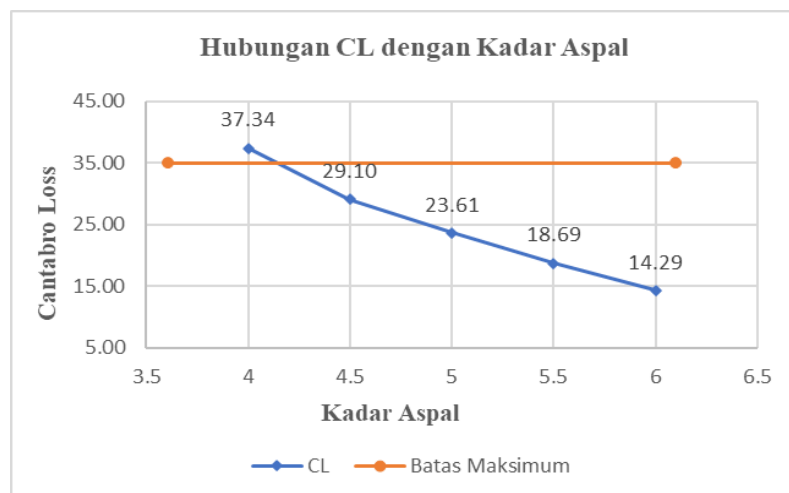
Berdasarkan tabel dan grafik diatas, nilai flow meningkat pada kadar aspal yang lebih rendah hingga mencapai puncaknya pada kadar aspal 5.5% kemudian menurun tajam pada kadar aspal yang lebih tinggi yaitu 6%.

H. Pengujian *Cantabro Loss* (CL)

Pengujian CL bertujuan untuk mengukur persentase kehilangan berat pada benda uji setelah mengalami uji keausan menggunakan mesin los angeles. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D7064.

Tabel 6 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* (CL)

Kadar Aspal					Spesifikasi
4%	4.5%	5%	5.5%	6%	
37.34	29.10	23.61	18.69	14.29	≤35



Gambar 8 Grafik Hubungan Nilai CL dengan Kadar Aspal

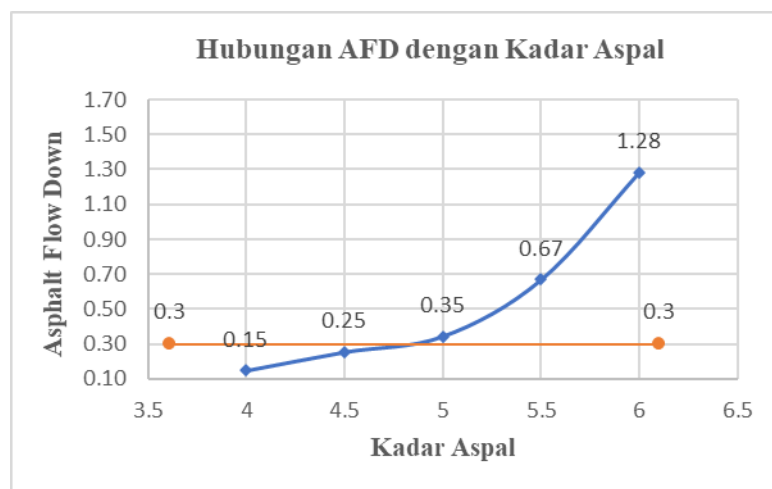
Berdasarkan tabel dan grafik diatas Nilai CL menurun waktu peningkatan kadar aspal. Pada kadar aspal sekitar 4%, nilai CL tercatat sebesar 37.34%, yang kemudian menurun secara konsisten hingga mencapai 14.29% pada kadar aspal 6%. Batas maksimum untuk nilai CL tercatat pada angka 35%, yang merupakan batas tertinggi yang diperbolehkan dalam pengujian ini. Nilai CL yang melebihi angka ini dapat menunjukkan ketidaksesuaian campuran aspal dengan standar kualitas yang ditentukan.

I. Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)

Asphalt Flow Down (AFD) adalah uji untuk mengukur sejauh mana aspal cenderung mengalir pada suhu tertentu. Mengacu pada (AASHTO T 305) Dalam pengujian ini, sampel aspal dipanaskan hingga mencapai suhu yang ditentukan, kemudian diukur sejauh mana aspal merembes atau mengalir keluar dari wadahnya.

Tabel 9 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)

Kadar Aspal					Spesifikasi
4%	4.5%	5%	5.5%	6%	
0.15	0.25	0.35	0.67	1.28	≤ 0.3

**Gambar 9** Grafik Hubungan Nilai AFD dengan Kadar Aspal

Berdasarkan tabel dan grafik diatas Nilai AFD meningkat seiring dengan kenaikan kadar aspal. Pada kadar aspal 4%, dan 4.5% nilai AFD tercatat hanya 0.15% dan 0.25%, namun nilai ini meningkat secara signifikan hingga mencapai 1.28 pada kadar aspal 6%. Batas maksimum AFD tercatat pada 0.3%, yang menunjukkan bahwa nilai AFD tidak boleh melebihi angka ini untuk memenuhi standar kualitas.

J. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum) pada campuran aspal porous dalam penelitian ini menggunakan Metode Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004). Metode ini hanya memerlukan tiga parameter utama, yaitu VIM (Void in Mixture), Cantabro Loss (ketahanan terhadap pelepasan butir agregat), dan Asphalt Flow Down (aliran aspal ke bawah). Berikut adalah tahapan dalam menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porous dengan spesifikasi gradasi AAPA 2004:

- Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai VIM 18% (KAO Minimum)
- Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai Cantabro Loss 35% (KAO Maksimum)
- Menentukan nilai rerata KAO maksimum dan minimum
- Proyeksikan nilai rerata KAO terhadap nilai *Asphalt Flow Down* (AFD)
- Jumlahkan nilai rerata KAO dengan nilai AFD sehingga diperoleh nilai KAO pada campuran aspal porous yang sesuai dengan gradasi AAPA 2024.

- Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO Minimum)
Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO Minimum) di dapat dari hasil pengujian *Void In Mixture* (VIM) yang berada dalam batas minimum 18%. Rumus penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO Maksimum) dapat dilihat dibawah ini :

$$KA_{maks} + \left(\frac{Bb - V_{maks}}{V_{min} - V_{maks}} \right) \times (KA_{min} - KA_{maks})$$

$$4.5 + \left(\frac{18 - 18.25}{15.42 - 18.25} \right) \times (5 - 4.5) = \text{Nilai KAO Minimum } 4.54\%$$

Keterangan : KA_{maks} : Kadar aspal dimana nilai VIM lebih besar dari batas $\geq 18\%$, KA_{min} : Kadar aspal dimana nilai VIM lebih kecil dari batas $\leq 18\%$, V_{maks} : Nilai VIM pada KA_{maks} , V_{min} : Nilai VIM pada KA_{min} , Bb : Batas nilai VIM minimum yang di izinkan 18%

- Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO Maksimum)
Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO Maksimum) di dapat dari hasil pengujian *Cantabro Loss* (CL) yang berada dalam batas maksimum 35%. Rumus penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO Maksimum) dapat dilihat dibawah ini :

$$K_{Amaks} + \left(\frac{Ba - CL_{maks}}{CL_{min} - CL_{maks}} \right) \times (K_{Amin} - K_{Amaks})$$

$$4 + \left(\frac{35 - 29.10}{23.61 - 29.10} \right) \times (5 - 4) = \text{Nilai KAO Maksimum } 2.92\%$$

Keterangan : K_{Amaks} : Kadar aspal dimana nilai CL lebih besar dari batas $\geq 35\%$, K_{Amin} : Kadar aspal dimana nilai CL lebih kecil dari batas $\leq 35\%$, CL_{maks} : Nilai CL pada $Ka.maks$, CL_{min} : Nilai CL pada $Ka.min$, Ba : Batas nilai CL maksimum yang di izinkan 35%

- c) Penentuan Nilai Rerata KAO minimum dan KAO Maksimum

$$\left(\frac{KAO_{min} + KAO_{maks}}{2} \right) \\ \left(\frac{4.54 + 2.92}{2} \right) = \text{Nilai Rerata KAO minimum dan KAO maksimum } 3.73\%$$

- d) Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus

$$\left(\frac{KAO_{min} + KAO_{maks}}{2} \right) + \text{Nilai AFD} \\ \left(\frac{4.80 + 2.92}{2} \right) + 0.15 = \text{Nilai Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus } 4\%$$

4. KESIMPULAN

Campuran aspal porus dengan menggunakan *filler* abu bonggol jagung sebagai *filler* memiliki potensi untuk digunakan dalam pembangunan konstruksi perkerasan jalan, dengan nilai KAO yang sesuai dengan standar yang ditetapkan untuk agregat maksimum 13.2 mm (4% – 6%). Penggunaan *filler* abu bonggol jagung juga dapat membantu mengurangi biaya dan dampak lingkungan akibat limbah pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Jimmyanto, A. Firda, H. Al Faritzie, dan I. S. Fuad, “Studi Literature Riview Perkembangan Penelitian,” vol. 2, no. 1, hal. 38–47, 2024.
- [2] J. Angkoso, “Perbandingan Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Australia (AAPA) dan California (Caltrans) Dengan Serbuk Parutan Limbah Ban Karet ‘Universitas Islam Indonesia,’” 2024.
- [3] S. Mayuni, P. Prabandiyani, dan B. Setiadji, “Penerapan Perkerasan Aspal Porus di Indonesia,” *J. Tek.*, vol. 20, Apr 2020, doi: 10.26418/jtsft.v20i2.41892.
- [4] I. Farida dan S. Juniayanti, “Pengaruh Filler Abu Sekam Padi Terhadap Campuran AC-WC Untuk Daerah Pesisir Pantai,” vol. 41, no. 1, hal. 43–52, 2024.
- [5] I. Ichsan, A. Olii, dan A. S. Hidayat, “Penggunaan Abu Bonggol Jagung Sebagai Pengganti Filler Dalam Komposisi Campuran Aspal AC-WC,” vol. 4, hal. 3017–3027, 2024.
- [6] Ilyas Ichsan, “Penggunaan Abu Bonggol Jagung Sebagai Pengganti Filler Dalam Komposisi Campuran Aspal AC-WC.”
- [7] Z. (2024) Idayani, Royanna Sakura, “Jurnal Rekayasa Teknik dan Teknologi,” vol. 8, no. 1, hal. 18–24, 2024.
- [8] S. Alzahri *et al.*, “Media Ilmiah Teknik Sipil , Volume 12 , Nomor 1 , Januari 2024 : 8-20,” vol. 12, hal. 8–20, 2024.
- [9] A. Rodhiah, I. Yani, dan M. Mahdi, “Analisis Fly Ash terhadap Filler pada campuran Aspal Porus,” *J. Rekayasa Tek. dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, hal. 82–90, 2023, doi: 10.51179/rkt.v7i2.2079.
- [10] Direktorat Jenderal Bina Marga (2020), “Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2020). Spesifikasi umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (Revisi 2).”
- [11] “Australian Asphalt Pavement Association/AAPA (2004),” 2004.

ANALISIS STABILITAS LERENG DINDING PENAHAN TANAH MENGGUNAKAN SOFTWARE GEO5 PADA AKSES JALAN PLTMH LAMPUNG

Teguh Yuono¹, Dian Arumningsih², Reki Arbiyanto³, Mutiara Kasih⁴, *Thoha Fakiq⁵

^{1,2,3,4,5}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

*)Email: thohafaqih@gmail.com

Received: 10 September 2025 ; Revised: 12 Oktober 2025 ; Accepted: 7 November 2025

ABSTRACT

Micro Hydro Power Plant (PLTMH) is one of the solutions in meeting the needs of renewable energy, especially in remote areas that have abundant water resource potential. This study aims to analyze slope stability and analyze the budget plan for building a retaining wall with a cantilever wall or gravity wall type. The method used in this study is using GEO5 software and calculating the budget plan (RAB). The results of this study using retaining wall analysis using GEO5 Software with the Cantilever Wall type get the Safety Factor results: $1.87 > 1.10$, the results of retaining wall analysis using GEO5 Software with the Gravity Wall type get the Safety Factor results: $2.03 > 1.10$. And the results of the RAB recapitulation using the Cantilever Wall type compact the results: Rp 6,469,724,186, and the results of the RAB recapitulation using the Gravity Wall type compact the results: Rp 2,445,607,393. So the most efficient RAB result is using the Gravity Wall type.

Keyword: Slope Stability Analysis, Retaining Walls, GEO5 Software and Cost Budget Plan

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan energi terbaru, terutama di daerah-daerah terpencil yang memiliki potensi sumber daya air yang melimpah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan lereng dan menganalisis rencana anggaran biaya membangun dinding penahan tanah dengan tipe cantilever wall atau gravity wall. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan software GEO5 dan perhitungan rencana anggaran biaya (RAB). Hasil dari penelitian ini menggunakan analisis dinding penahan tanah menggunakan Software GEO5 dengan tipe Cantilever Wall mendapatkan hasil Safety Factor : $1,87 > 1,10$, hasil dari analisis dinding penahan tanah menggunakan Software GEO5 dengan tipe Gravity Wall mendapatkan hasil Safety Factor : $2,03 > 1,10$. Dan Hasil dari rekapitulasi RAB menggunakan tipe Cantilever Wall mendapatkan hasil : Rp 6.469.724.186 , dan hasil dari rekapitulasi RAB menggunakan tipe Gravity Wall mendapatkan hasil : Rp 2.445.607.393. Jadi hasil RAB paling efisien yaitu menggunakan tipe Gravity Wall.

Kata kunci: Analisis Stabilitas Lereng, Dinding penahan tanah, Software GEO5 dan Rencana Anggaran Biaya

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan energi terbaru, terutama di daerah-daerah terpencil yang memiliki potensi sumber daya air yang melimpah. Provinsi Lampung yang berbukit dan banyaknya aliran sungai, memiliki potensi besar untuk pengembangan PLTMH [1]. Namun pembangunan akses jalan menuju lokasi PLTMH seringkali menghadapi tantangan teknis, terutama terkait dengan stabilitas lereng dan dinding penahan tanah [2]. Analisis mengenai stabilitas terhadap lereng sudah banyak dilakukan di Indonesia. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui keamanan serta kelayakan pada lereng yang ditinjau [3]. Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan, Studi kasus ini diangkat sebagai tugas akhir dengan judul “Studi Numerik Stabilitas Dinding Penahan Tanah Pada Akses Jalan PLTMH Lampung”. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi demi kelancaran proyek PLTMH Lampung.

Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berasal dari pelapukan batuan yang terbentuk karena proses fisik, kimia, atau biologi. Selain dapat dipengaruhi karena proses tersebut, sifat-sifat teknik tanah juga dapat dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan (Hardiyatmo, 2002).

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah merupakan komponen struktur bangunan penting utama untuk jalan raya dan bangunan lingkungan lainnya yang berhubungan dengan tanah berkontur atau tanah yang memiliki elevasi berbeda. Secara singkat dinding penahan merupakan dinding yang dibangun untuk menahan massa tanah di atas struktur atau bangunan yang dibuat. Tipe dinding penahan tanah gravitasi biasanya dibuat dari beton murni (tanpa tulangan) atau dari pasangan batu kali, walaupun kadang beberapa dibuat dengan beton bertulang namun dengan tulangan

yang sedikit. Penggunaan dinding penahan ini biasanya untuk menahan tanah pada lereng yang terlalu tinggi dan pada tepi sungai (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, SNI 8460-2017). Rumus yang digunakan untuk menentukan kestabilan struktur dinding penahan tanah terhadap geser dan guling adalah rumus dari Rankine (Hardiyatmo, 2012), sedangkan untuk menghitung keruntuhan daya dukung tanah dapat digunakan rumus Schmertmann dan Nottingham (Hardiyatmo, 2015)

Dinding Kantilever (*Cantilever Wall*)

Dinding ini pada umumnya dibuat dari beton bertulang. Dinding kantilever untuk mencapai kesetabilannya mengandalkan berat sendiri dan berat tanah yang berada di atas tumit (Heel). Dinding kantilever adalah jenis dinding penahan tanah yang terdiri dari pelat dasar (base slab) dan dinding vertikal yang bekerja sebagai balok kantilever (terjepit pada satu sisi). Dinding ini umumnya terbuat dari beton bertulang dan cocok untuk ketinggian 3–10 meter [4].

Dinding Gravitasi

Dinding penahan tanah gravitasi (gravity wall) adalah struktur yang mengandalkan berat sendiri untuk menahan tekanan lateral tanah dan menjaga kestabilan lereng. Berbeda dengan dinding penahan tanah bertulang (seperti kantilever atau counterfort), dinding gravitasi biasanya dibuat dari material masif seperti Beton massa (unreinforced concrete), Pasangan batu (masonry), Batu kali (riprap), Gabion (anyaman kawat berisi batu). Dinding penahan ini dibuat dari beton tak bertulang atau pasang batu. Sedikit tulangan beton kadang-kadang diberikan pada permukaan dinding untuk mencegah retakan pada permukaan akibat perubahan temperature [5].

Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng adalah kemampuan suatu lereng dalam mempertahankan keseimbangannya terhadap gaya-gaya yang bekerja, baik gaya internal maupun eksternal, sehingga tidak mengalami kelongsoran. Lereng dikatakan stabil apabila gaya penahan (resisting forces) lebih besar dari pada gaya penggerak (driving forces), dengan nilai faktor keamanan (safety factor) yang melebihi batas minimal yang disyaratkan.

Software GEO5

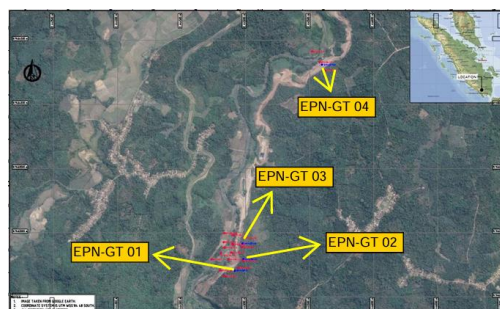
GEO5 adalah perangkat lunak yang dirancang untuk analisis geoteknik dan geomekanika. Software ini menyediakan berbagai modul untuk analisis stabilitas lereng, fondasi, dinding penahan, dan banyak aplikasi geoteknik lainnya. GEO5 digunakan oleh insinyur sipil dan geoteknik untuk memodelkan dan menganalisis perilaku tanah dan struktur di bawah berbagai kondisi beban [6]. GEO5 memiliki beberapa modul yang dapat digunakan untuk analisis yang berbeda[7].

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan atau proyek yang dihitung dengan teliti, cermat, dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan jalan akan berbeda-beda di masing-masing daerah dikarenakan perbedaan harga upah, tenaga kerja, dan harga bahan. Adapun dalam mengestimasi biaya pekerjaan dihitung berdasarkan gambar dan spesifikasi atau persyaratan-persyaratan yang diinginkan dalam mengestimasi biaya (Purbaningtyas et al., 2020).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada jalan PLTM Besai Kemu, Kemu, Banjit, Way Kanan Regency, Lampung 34766. Peneliti memilih Lokasi tersebut cocok untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah pada akses jalan PLTMH Lampung.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengumpulan Data

Data yang didapat dari instansi-instansi terkait, data tersebut meliputi:

1. Data Tanah
2. Dokumentasi
3. Gambar Detail Engineering Drawing (DED)

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian harus dilakukan sehingga tercapai tujuan penelitian untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah pada jalan menggunakan software Geo5, untuk mengetahui hasil stabilitas dengan pengaruh gempa, dan untuk mengetahui Solusi untuk penanggulangan longsor pada jalan. Tahapan selanjutnya mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dijelaskan dari tahap awal sampai akhir, dan memberikan saran jika ada masukan yang harus disampaikan dari hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Data Tanah

Korelasi data parameter tanah untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Data Parameter Tanah

No	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi / Kepadatan	NSPT	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Cu (kN/m ²)	ϕ (°)	C' (kN/m ²)	ϕ' (°)
1	00.00 - 02.45	Lempung berlanau	Sedang	5	17,00	18,00	35	0,00	3	20,00
2	02.45 - 05.00	Lempung berlanau	Sedang	8	17,00	18,00	56	0,00	3	20,00
3	05.00 - 08.45	Tufa Lapili	Sedang	26	18,00	19,00	0	42,80	10	32,00
4	08.45 - 15.00	Tufa Lapili	Padat	50	18,00	19,00	0	51,62	5	37,00
5	15.00 - 18.45	Tufa stone	Sangat Padat	60	19,00	20,00	0	54,64	25	43,00

Hasil perhitungan gempa Menghitung Kh :

$$K_h = F_{pga} \times PGA \times 0.5$$

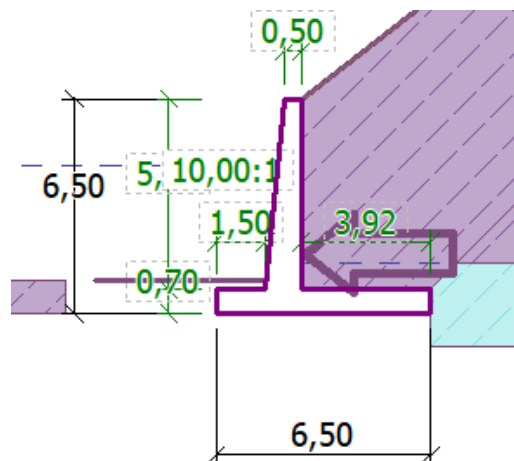
$$F_{pga} = 1,6$$

$$PGA = 0,081$$

$$K_h = 0,0648$$

Simulasi Numerik

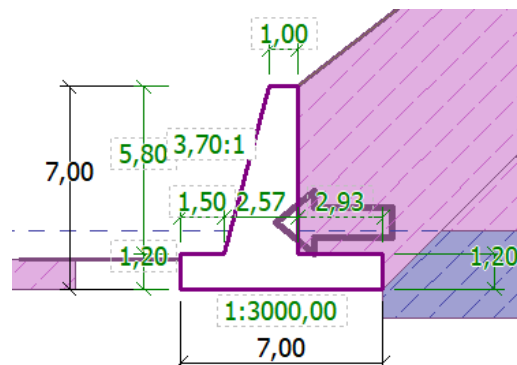
Pemodelan dinding penahan tanah pada geo5 menggunakan analisis keruntuhan mohr-coulomb untuk material tanah dan rigid body untuk material beton dan pasangan batu kali



Gambar 2. Geometri DPT *Cantilever*

Gambar 2 adalah gambar teknik yang menunjukkan geometri Dinding Penahan Tanah (DPT) tipe Kantilever. Gambar ini menampilkan penampang melintang dinding serta ukuran-ukuran penting yang digunakan dalam perancangan struktur kantilever tersebut. Dinding Kantilever: Ditunjukkan oleh garis tebal berwarna ungu dengan bentuk seperti huruf "T" terbalik, yang memiliki bagian vertikal sebagai dinding penahan dan bagian horizontal sebagai pondasi. Dimensi Utama: Tinggi dinding vertikal sekitar 6,50 meter. Lebar pondasi horizontal juga 6,50 meter untuk memastikan kestabilan. Ketebalan dinding vertikal dan pondasi terdapat ukuran 0,50 m, 0,70 m, dan 1,50 m pada beberapa bagian penting. Kemiringan Tanah (Slope): Terlihat pada bagian atas dinding dengan

kemiringan dinyatakan sebagai 5 : 10,00 : 1, ini mengindikasikan kemiringan lereng tanah atau rasio dimensi struktural tertentu. Area berwarna ungu mewakili beton atau dinding. Lapisan di belakang dinding mewakili tanah dengan variasi kekuatan atau tipe tanah. Bagian berwarna hijau muda pada bawah dan samping mewakili lapisan pondasi tanah atau lapisan dasar [8].



Gambar 3. Geometri DPT *Gravity*

Gambar 2 adalah gambar teknik yang menunjukkan geometri Dinding Penahan Tanah (DPT) tipe *Gravity Wall*. Gambar ini memperlihatkan penampang melintang dinding gravity wall beserta dimensi-dimensi penting yang digunakan dalam perancangan dan analisis struktur tersebut [9]. Dinding Gravity Wall: Bentuk dinding yang mencerminkan tipe gravity wall, dengan bagian bawah yang lebar sebagai pondasi dan dinding vertikal yang menahan gaya tanah di belakangnya. Dimensi Utama: Tinggi total dinding vertikal diperkirakan sekitar 7,00 meter. Lebar pondasi horizontal sekitar 7,00 m. Ketebalan elemen struktural seperti bagian pondasi dan dinding vertikal ditampilkan dengan ukuran seperti 1,20 m, serta ketebalan lain seperti 1,00 m pada bagian tertentu. Ada penandaan kemiringan dan rasio dengan angka seperti 3,70 : 1 yang memberikan gambaran kemiringan lereng atau dimensi teknis lainnya. Angka lain seperti 1 : 3000,00 menunjukkan kemiringan luar biasa landai, atau mungkin angka toleransi lain dalam desain geometri. Area berwarna ungu melambangkan pasangan batu kali atau elemen struktural dinding. Lapisan tanah berwarna coklat dan hijau menunjukkan lapisan tanah dan muka air tanah (*water table*) di sekitar pondasi [10]. Bagian berwarna biru muda kemungkinan menggambarkan air atau permukaan muka air tanah.

Rekapitulasi Hasil Pemodelan Tipe *Cantilever Wall* Dan *Gravity Wall*

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pemodelan

No	Tipe Pemodelan	Bishop	Fellenius / Peterson	Spencer	Janbu	Morgenstern-Price
1	Cantilever wall saat muka air surut tanpa menggunakan Earthquake	FS = 1,64 > 1,50	FS = 1,55 > 1,50	FS = 1,72 > 1,50	FS = 1,67 > 1,50	FS = 1,76 > 1,50
2	Cantilever wall saat muka air surut menggunakan Earthquake	FS = 1,48 > 1,10	FS = 1,39 > 1,10	FS = 1,48 > 1,10	FS = 1,48 > 1,10	FS = 1,48 > 1,10
3	Cantilever wall saat muka air pasang tanpa menggunakan Earthquake	FS = 1,84 > 1,50	FS = 1,73 > 1,50	FS = 1,91 > 1,50	FS = 1,98 > 1,50	FS = 1,96 > 1,50
4	Cantilever wall saat muka air pasang menggunakan Earthquake	FS = 1,64 > 1,10	FS = 1,54 > 1,10	FS = 1,72 > 1,10	FS = 3,09 > 1,10	FS = 1,77 > 1,10
5	Gravity wall saat muka air surut tanpa menggunakan Earthquake	FS = 1,90 > 1,50	FS = 1,84 > 1,50	FS = 1,91 > 1,50	FS = 1,92 > 1,50	FS = 1,92 > 1,50
6	Gravity wall saat muka air surut menggunakan Earthquake	FS = 1,64 > 1,10	FS = 1,59 > 1,10	FS = 1,65 > 1,10	FS = 1,66 > 1,10	FS = 1,66 > 1,10
7	Gravity wall saat muka air pasang tanpa menggunakan Earthquake	FS = 2,05 > 1,50	FS = 1,99 > 1,50	FS = 2,07 > 1,50	FS = 2,07 > 1,50	FS = 2,07 > 1,50
8	Gravity wall saat muka air pasang menggunakan Earthquake	FS = 1,75 > 1,10	FS = 1,69 > 1,10	FS = 1,77 > 1,10	FS = 1,78 > 1,10	FS = 1,78 > 1,10

Rencana Anggaran Biaya

Tabel 3. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No	Tipe	Total Biaya
1	<i>Cantilever Wall</i>	Rp 6.469.724.186
2	<i>Gravity Wall</i>	Rp 2.445.607.393

KESIMPULAN

Berdasarkan Pemodelan Dinding Penahan Tanah dan Perhitungan RAB dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari analisis dinding penahan tanah menggunakan *Software GEO5* dengan tipe *Cantilever Wall* mendapatkan hasil *Safety Factor* : $1,87 > 1,10$
2. Hasil dari analisis dinding penahan tanah menggunakan *Software GEO5* dengan tipe *Gravity Wall* mendapatkan hasil *Safety Factor* : $2,03 > 1,10$
3. Hasil dari rekapitulasi RAB menggunakan tipe *Cantilever Wall* mendapatkan hasil : Rp 6.469.724.186 , dan hasil dari rekapitulasi RAB menggunakan tipe *Gravity Wall* mendapatkan hasil : Rp 2.445.607.393. Jadi hasil RAB paling efisien yaitu menggunakan tipe *Gravity Wall*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rosdiyono, Hendrawan Andre Primantyo, and R. Asmaranto, "Studi Perencanaan Dinding Penahan Sebagai Upaya Penanganan Longsor," *JTRESDA*, vol. 2, no. 1, pp. 522–535, 2022.
- [2] A. Amiri, "Stabilisation of organic soils with alkali-activated binders," *International Journal of Pavement Engineering*, 2022, doi: 10.1080/10298436.2022.2104844.
- [3] P. Sudut, K. Lereng, T. Angka, S. L. Tanah, A. Suhendra Nugraha, and A. K. Sutanto, "PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN LERENG TERHADAP ANGKA STABILITAS LERENG TANAH KOHESIF BERDASARKAN KURVA TAYLOR DAN SOFTWARE GEO5."
- [4] R. Arbianto, Y. Muslih Purwana, and B. Setiawan, "Effect Of Instalation Of EPS Geofoam As Backfill Retaining Wall On Slope Stability Analysis," in *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium*, Surakarta, Aug. 2023, pp. 225–234.
- [5] F. Bari, J. A. Repadi, F. A. Ismail, and ..., "Optimum height of the retaining gravity wall," *IOP Conference Series ...*, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/708/1/012020.
- [6] Sharma, "A Review On Geosynthetics Applications in Embankments," 2020.
- [7] R. Arbianto and Gunarso, "Design Review Of Leuwikeris Dam Acces Road Pakage 4," *Pondasi*, vol. 27, no. 1, pp. 98–111, Jun. 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.30659/pondasi.v27i1.22881>.
- [8] R. Dabiri and N. Hasanpouri Notash, "Evaluation of Geofoam Effects on Seismic Response in Cantilever Retaining Wall," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 38, no. 2, pp. 2097–2116, Apr. 2020, doi: 10.1007/s10706-019-01151-1.
- [9] Q. Li, P. Li, K. Cui, Y. Ji, D. Zhang, and Y. Qing, "Seismic fragility curves for concrete gravity retaining wall," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 183, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.soildyn.2024.108806.
- [10] N. Sartibi, F. Salmasi, A. H. Dalir, and D. Farsadizadeh, "Numerical Investigation of the Effect Cutoff Walls in Uplift Force and Exit Hydraulic Gradient Reduction in Gravity Dams." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/337316360>

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL JEPIT TERHADAP PARAMETER *MARSHALL* PADA CAMPURAN ASPAL PORUS

*Muhammad Darurrizqi¹, Nurani Hartatik², Yudi D. Prasetyo³

¹Fakultas Teknik, ²Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

*) Email : nuranihartatik@untag-sby.ac.id

Received: 18 November 2025 ; Revised: 19 November 2025 ; Accepted: 20 November 2025

ABSTRACT

The rapidly growing industrial sector in Indonesia, ranging from home-based industries to large-scale enterprises, has the potential to generate inorganic waste containing hazardous chemicals that are difficult to decompose and may have adverse impacts on the environment. This study specifically examines waste produced from the slipper manufacturing process by a home-based industry located at Jl. Wadungasri No. 43, Waru, Sidoarjo, as an additive material in porous asphalt mixtures. Porous asphalt is a modern technology within the category of flexible pavement designed to address water puddling issues on road surfaces, owing to its physical structure that contains voids allowing water to pass through. The research methodology employed in this study follows the approach proposed by the Australian Asphalt Pavement Association (AAPA, 2004), in which the Optimum Asphalt Content (OAC) obtained was 4.72%. The testing conducted using an OAC of 4.72% involved substituting waste material into the total mixture with variations of slipper waste content at 0%, 1.5%, 3%, and 4.5%. In accordance with the porous asphalt parameters specified by the Australian Asphalt Pavement Association (2004), at an Optimum Asphalt Content (OAC) of 4.72% and with a recycled flip-flop waste variation of 1.5%, the average Cantabro Loss (CL) obtained was 28.34%, the average Air Flow Density (AFD) was 0.19%, the average Marshall Stiffness (MQ) was 614.1 kg/mm, the average stability was 1217.7 kg, and the average Voids in Mix (VIM) was 20.5%. At an OAC of 4.72% and a waste variation of 3%, the average CL obtained was 33.44%, the average AFD was 0.13%, the average MQ was 621.3 kg/mm, the average stability was 896.2 kg, and the average VIM was 21.5%. At an OAC of 4.72% and a waste variation of 4.5%, the average CL obtained was 36.76%, the average AFD was 0.07%, the average MQ was 529.4 kg/mm, the average stability was 554.6 kg, and the average VIM was 24.9%.

Keyword: AAPA 2004, Open Graded, Flip Flops Waste, Marshall Test.

ABSTRAK

Industri yang semakin bertumbuh pesat di Indonesia dari industri tingkat rumahan hingga industri besar dapat berpotensi menghasilkan limbah yang bersifat anorganik dan mengandung bahan kimia berbahaya yang dapat menyebabkan susah terurai bahkan berdampak buruk pada lingkungan. Salah satunya dari penelitian ini meninjau limbah dari proses produksi sandal jepit yang dihasilkan oleh industri rumahan di daerah Jl. Wadungasri No. 43, Waru, Sidoarjo sebagai bahan tambah dalam campuran aspal porus. Aspal porus merupakan teknologi modern dari jenis perkerasan lentur yang dapat mengatasi permasalahan genangan air pada jalan dikarenakan fisiknya yang memiliki rongga untuk meloloskan air. Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode pendekatan Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004), dimana nilai KAO yang didapatkan sebesar 4,72%. Pengujian yang dilakukan dengan KAO 4,72% digunakan substitusi limbah pada total campuran dengan variasi kadar limbah sandal jepit 0%, 1,5%, 3%, 4,5%. Sesuai dengan parameter aspal porus yang disyaratkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* tahun 2004 adalah pada kondisi KAO sebesar 4,72% dan dengan variasi limbah sandal jepit sebesar 1,5% didapatkan nilai CL rata-rata sebesar 28,34%, nilai AFD rata-rata sebesar 0,19%, nilai kekakuan marshall (MQ) rata-rata sebesar 614,1 kg/mm, nilai stabilitas rata-rata sebesar 1217,7 kg, dan nilai VIM rata-rata sebesar 20,5%. Pada kondisi KAO sebesar 4,72% dan dengan variasi limbah sandal jepit sebesar 3% didapatkan nilai CL rata-rata sebesar 33,44%, nilai AFD rata-rata sebesar 0,13%, nilai kekakuan marshall (MQ) rata-rata sebesar 621,3 kg/mm, nilai stabilitas rata-rata sebesar 896,2 kg, dan nilai VIM rata-rata sebesar 21,5%. Pada kondisi KAO sebesar 4,72% dan dengan variasi limbah sandal jepit sebesar 4,5% didapatkan nilai CL rata-rata sebesar 36,76%, nilai AFD rata-rata sebesar 0,07%, nilai kekakuan *marshall* (MQ) rata-rata sebesar 529,4 kg/mm, nilai stabilitas rata-rata sebesar 554,6 kg, dan nilai VIM rata-rata sebesar 24,9%.

Kata kunci: AAPA 2004, Gradasi Terbuka, Limbah Sandal Jepit, Pengujian *Marshall*.

1. PENDAHULUAN

Jalan berfungsi sebagai sarana penghubung antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam suatu daratan. Berdasarkan UU No. 38 Tahun 2004 mengenai Jalan, jalan diartikan sebagai infrastruktur transportasi darat yang mencakup seluruh komponen dari jalan, tergolong bangunan pelengkap lainnya. Kualitas pelayanan jalan yang optimal dalam hal keamanan, kenyamanan, dan kelancaran dapat tercapai apabila jalan memiliki lebar yang memadai dan tikungan yang dirancang sesuai dengan standar teknis geometrik, mencakup alinemen vertikal, alinemen horizontal, serta kenyamanan pengguna jalan tanpa suatu hambatan apapun. Dengan demikian, kendaraan yang melintas dapat beroperasi dengan aman dan nyaman sesuai dengan beban serta kecepatan yang telah dirancang [1]. Perkembangan teknologi dalam konstruksi jalan di Indonesia terus mengalami kemajuan

seiring dengan upaya mengatasi berbagai tantangan teknis dalam proses pembangunannya. Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan, pertumbuhan ekonomi, dan peningkatan jumlah pengguna jalan, infrastruktur jalan menjadi fasilitas yang sangat vital. Kualitas jalan yang baik berperan penting dalam mendukung kelancaran transportasi serta pertumbuhan ekonomi [2].

Kerusakan pada perkerasan jalan umumnya terjadi pada lapisan permukaan, sehingga diperlukan penelitian untuk menemukan struktur perkerasan yang lebih kuat dalam menahan deformasi [3]. Aspal porous adalah inovasi baru pada perkerasan lembek yang memungkinkan air dapat meresap melalui lapis permukaan baik secara vertikal maupun horizontal. Lapisan tersebut menerapkan gradasi terbuka dan diaplikasikan di atas lapisan aspal kedap air. Keunggulan utama dari aspal porous adalah kemampuannya dalam meningkatkan keselamatan, terutama saat hujan, dengan mencegah terjadinya *aquaplaning* serta menciptakan permukaan jalan yang lebih kasar dan memiliki daya cengkeram lebih baik [4].

UU RI No. 32 tahun 2009 mengenai Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mengungkapkan bahwasanya limbah sebagai sisa dari suatu usaha maupun kegiatan. Limbah adalah material yang mempunyai kandungan zat berbahaya, yang umumnya dihasilkan dari aktivitas manusia, termasuk proses industrialisasi. Sifat limbah dapat menimbulkan risiko bagi kehidupan, seperti manusia, hewan, serta lingkungan sekitarnya [5]. Pencemaran lingkungan akibat penumpukan sampah yang tidak terkelola dengan baik dapat dikategorikan sebagai bentuk degradasi lingkungan secara sosial. Hal ini disebabkan oleh dampak sampah yang tidak hanya memengaruhi kondisi fisik dan ekologi lingkungan, tetapi juga berdampak langsung pada kehidupan serta kesejahteraan sosial masyarakat. Di komunitas yang terkena dampak, keberadaan sampah dapat mengurangi kualitas hidup dan mengancam keberlanjutan lingkungan [6].

Aspal yang dimodifikasi dengan polimer terbukti memiliki kinerja lebih unggul, terutama dalam meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, mengurangi risiko retak, serta memperpanjang daya tahan terhadap kerusakan akibat usia. Hal ini berkontribusi pada umur jalan yang lebih panjang serta menekan biaya perawatan atau perbaikan. Modifikasi aspal dengan polimer terjadi melalui hubungan antar bagian aspal dan bahan aditif polimer, yang meningkatkan karakteristik material. Dalam perihal ini, penggunaan aditif polimer yang cocok dengan karakteristik *Marshall* untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah polimer plastomer jenis *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) [7].

Aspal Porus

Aspal porous atau porous asphalt adalah salah satu jenis perkerasan jalan yang dirancang dengan struktur berongga (berpori), yang memungkinkan air hujan meresap langsung melalui permukaan jalan dan mengalir ke sistem drainase di bawahnya. Tidak seperti perkerasan aspal pada umumnya yang bersifat tidak tembus air, aspal porous memberikan solusi terhadap masalah genangan air dan limpasan permukaan pada jalan raya. Struktur pori yang terbentuk berasal dari proporsi agregat kasar yang tinggi dan penggunaan sedikit atau tanpa agregat halus. Dengan begitu, terbentuk saluran - saluran kecil yang memungkinkan pergerakan air secara vertikal maupun horizontal [9].

Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO sangat diperlukan untuk memenuhi persyaratan spesifikasi campuran yang ditetapkan oleh (AAPA 2004). Dalam menentukan atau mencari nilai KAO ditentukan dengan tiga parameter seperti *Cantabro Loss*, kadar rongga udara (VIM), dan *Asphalt Flow Down* seperti pada tabel berikut :

Tabel 1 Syarat Penentuan KAO

No	Parameter	Nilai
1.	Uji CL (%)	≤ 35
2.	Uji AFD (%)	$\leq 0,3$
3.	VIM (%)	18 – 25

Penentuan KAO melibatkan serangkaian pengujian. Awalnya, nilai OAC (*Optimum Asphalt Content*) maksimum didapatkan dari pengujian *Cantabro Loss* (CL), dengan syarat batas maksimum 35%. Selanjutnya, pengujian VIM (*Voids in Mix*) digunakan untuk menentukan OAC minimum, yang biasanya berada dalam kisaran 18% hingga 25%. Setelah mendapatkan nilai OAC minimum dan maksimum, rata-rata dari kedua nilai ini dihitung. Hasil rata-rata ini kemudian diaplikasikan pada pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD) untuk mendapatkan nilai AFD. Akhirnya, KAO ditentukan dengan menjumlahkan nilai rata-rata OAC dengan nilai AFD yang telah diperoleh. Berikut adalah beberapa parameter aspal porous menurut AAPA tahun 2004.

Tabel 2 Parameter Aspal Porus

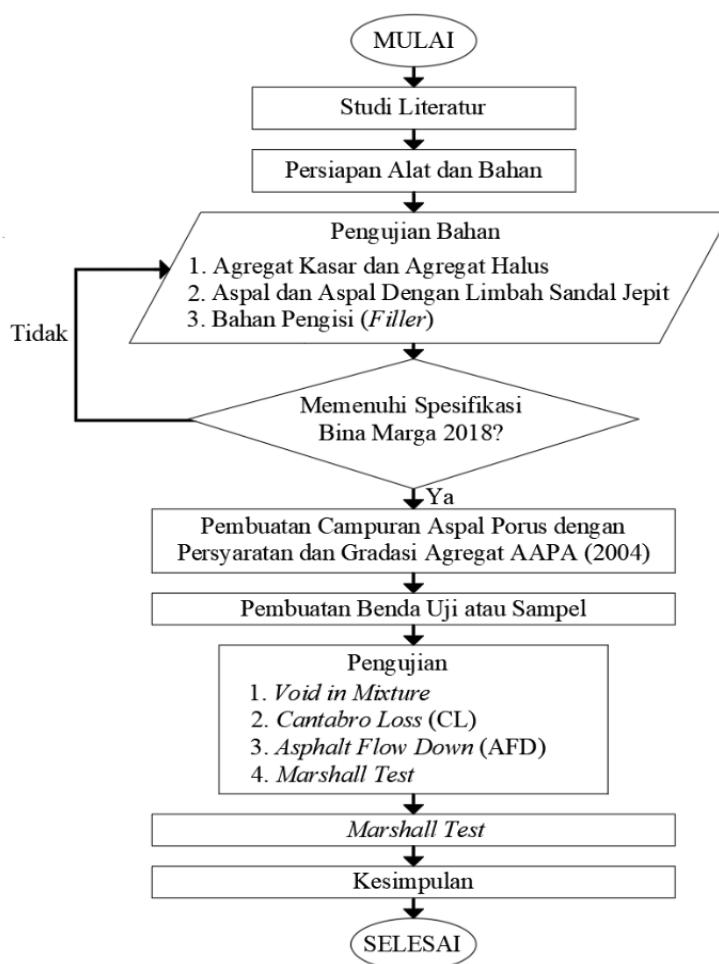
No	Parameter	Nilai
1.	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	≤ 35
2.	Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	$\leq 0,3$
3.	Kekakuan <i>Marshall</i> (Kg/mm)	≤ 400
4.	Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	≥ 500
5.	VIM (%)	18 – 25
6.	Jumlah penumbukan	50

2. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir (*Flowchart*) merupakan rentetan atau alur kerja penelitian yang memberikan gambaran susunan langkah-langkah penelitian secara sistematis agar memastikan berjalan sesuai rencana.

Diagram Alir

Diagram Alir (*Flowchart*) merupakan rentetan atau alur kerja penelitian yang memberikan gambaran susunan langkah-langkah penelitian secara sistematis agar memastikan berjalan sesuai rencana.

**Gambar 1** Diagram Alir Pengujuan Aspal Porus

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujuan dan pembuatan campuran benda uji dilakukan di laboratorium. Hasil data dari pengujuan di laboratorium yang kemudian dilakukan rekap yang bertujuan sebagai bahan pembahasan yang akan dijabarkan dibawah.

Rekap Pengujuan Material

Rekap pengujuan material ditujukan untuk mengetahui mana yang telah memenuhi persyaratan dan mana yang tidak masuk kedalam persyaratan. Rekap seluruh pengujuan material dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Material

REKAPITULASI PENGUJIAN MATERIAL							
Hasil Pengujian Filler Kapur							
No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan	
1	Analisa Saringan	SNI ASTM C136-2012	%	>75	89.09	Yes	
2	Berat Jenis	SNI 1970-2016	gr/cm³	>2,5	3.42	Yes	
Hasil Pengujian Agregat Halus (0-5)							
No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan	
1	Analisa Saringan	SNI ASTM C136-2012	%	<10	5.31	Yes	
2	Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	SNI 1970-2016	gr/cm³	>2,5	2.59	Yes	
3	Berat Jenis Kering Permukaan (<i>SSD</i>)	SNI 1970-2016	gr/cm³	>2,5	2.62	Yes	
4	Berat Jenis Semu	SNI 1970-2016	gr/cm³	>2,5	2.67	Yes	
5	Penyerapan Air	SNI 1970-2016	%	<3	1.06	Yes	
Hasil Pengujian Agregat Kasar							
No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan	
1	Analisa Saringan	SNI ASTM C136-2012	%	<1	0.96	Yes	
2	Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	SNI 1969-2016	gr/cm³	>2,5	4.28	Yes	
3	Berat Jenis Kering Permukaan (<i>SSD</i>)	SNI 1969-2016	gr/cm³	>2,5	4.34	Yes	
4	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	gr/cm³	>2,5	4.59	Yes	
5	Penyerapan Air	SNI 1969-2016	%	<3	1.45	Yes	
6	Keausan Agregat	SNI 2417-2008	%	<40	35.45	Yes	
7	Kelekatan Agregat	SNI 2439-2011	%	>95	95.99	Yes	
Hasil Pengujian Aspal PG 70							
No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan	
1	Pentrase Aspal	SNI 2456-2011	0,1 mm	≥ 54	79	Yes	
2	Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011	gram	-	1.09	Yes	
3	Titik Nyala Aspal	SNI 2433-2011	°C	≥ 230	348	Yes	
4	Titik Lembek Aspal	SNI 2432-2011	°C	≥ 54	57	Yes	
Hasil Pengujian Aspal PG 70 Dengan Subtitusi Limbah							
No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil	%Limbah	Keterangan
1	Pentrase Aspal	SNI 2456-2011	0,1 mm	≥ 54	84	1,5%	Yes
					56	3%	Yes
					39	4,5%	No
2	Berat Jenis Aspal	SNI 2456-2011	gr/cm³	≥1	1.04	1,5%	Yes
					1.06	3%	Yes
					1.05	4,5%	Yes
3	Titik Nyala Aspal	SNI 2456-2011	0,1 mm	≥ 230	330	1,5%	Yes
					323	3%	Yes
					315	4,5%	Yes
4	Titik Lembek Aspal	SNI 2456-2011	0,1 mm	≥ 54	59	1,5%	Yes
					65	3%	Yes
					75	4,5%	Yes

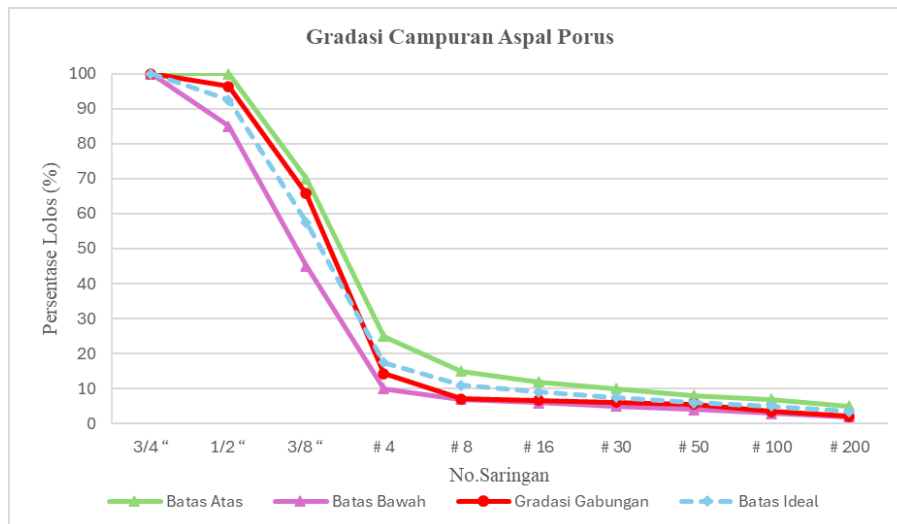
Dari hasil semua pengujian material yang telah dilakukan di laboratorium dan kemudian direkap seperti pada tabel 4.30 diatas maka dapat disimpulkan bahwa, semua pengujian material yang telah dilakukan di laboratorium menunjukkan telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, maka pengujian aspal porus dapat dilanjutkan dengan menggunakan material yang telah memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Komposisi Campuran Aspal Porus

Kadar Aspal Optimum atau disebut KAO merupakan banyaknya aspal atau persentase aspal dengan hasil yang paling dominan atau hasil yang paling baik terhadap total campuran agregat. Menurut [10] untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association* tahun 2004 yaitu mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, AFD, dan CL.

Tabel 4 Gradasi Pencampuran Agregat

Fraksi Agregat	Persentase Fraksi	
Fraksi 0-5 mm	5	%
Fraksi 5-10	22	%
Fraksi 10-15	72	%
Filler (Kapur)	1	%
Total	100	%

**Grafik 1** Gradasi Agregat Untuk Penentuan KAO

Setelah telah didapatkan gradasi agregat dan perbandingan fraksi agregat dari total campuran maka dilakukan penentuan nilai tengah dari lima variasi kadar aspal dengan cara nilai perbandingan fraksi agregat dikalikan dengan koefisien Pb yaitu $0,035 \times$ persentase fraksi agregat kasar (%CA) ditambah $0,045 \times$ agregat fraksi 10-15 + agregat fraksi 0-5 (%MA+%FA) ditambah $0,18 \times$ persentase filler kapur (FF) ditambah koefisien 0,5 s/d 1 (K).

Tabel 5 Nilai Tengah Variasi Kadar Aspal

Nilai Tengah (Pb)	
%CA	72
%MA	22
%FA	5
%FF	1
K	1
Pb	4.92
%	4.92%
Pembulatan	5%

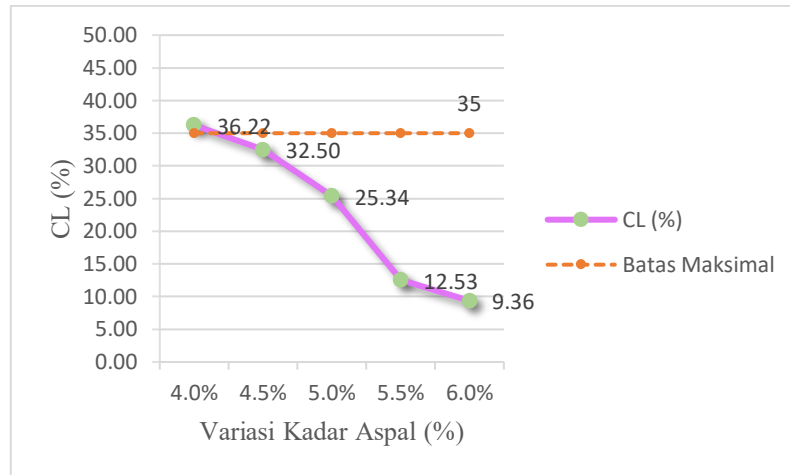
Maka didapatkan nilai tengah dari variasi kadar aspal adalah sebesar 4,92% atau dibulatkan menjadi 5%, langkah selanjutnya adalah pembuatan resep briket untuk menentukan kondisi KAO.

Rekap Pengujian CL Untuk KAO

Pengujian *Cantabro Loss* digunakan untuk mendapatkan nilai OAC Max sebagai salah satu nilai untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO).

Tabel 7 Hasil Pengujian CL Untuk Penentuan KAO

Pengujian Dengan Filler 1%	Notasi	Variasi Kadar Aspal				
		4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Berat Campuran Sebelum Abrasi (W1)	gr	1172.13	1150.30	1141.60	1151.80	1109.20
Berat Campuran Sesudah Abrasi (W2)	gr	747.67	777.47	852.20	1007.63	1004.87
Kehilangan Berat Campuran (W1-W2)	gr	424.47	372.83	289.40	144.17	104.33
Perhitungan	Persamaan	Hasil				
<i>Cantabro Loss</i> (%)	$\left(\frac{W1 - W2}{W1}\right) \times 100$	36.22	32.50	25.34	12.53	9.36
OAC max 35% (%)		4.16				



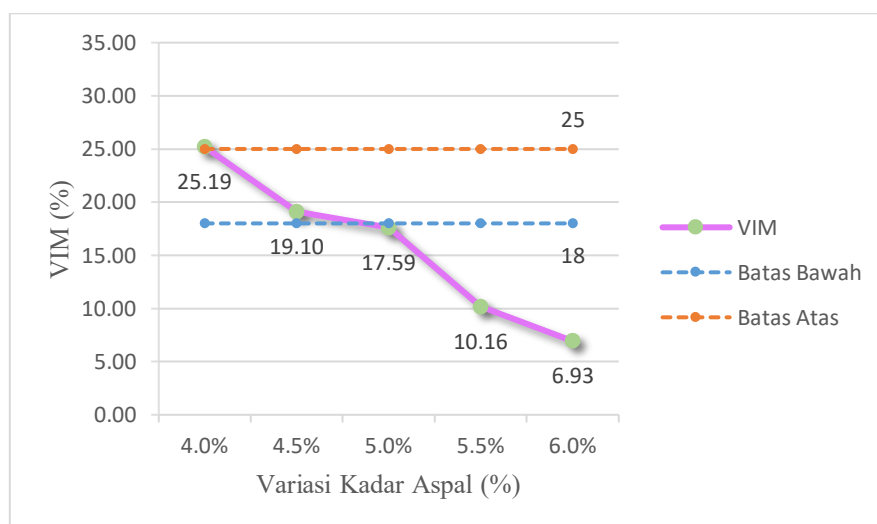
Grafik 2 Hubungan CL Dengan Variasi Kadar Aspal

Rekap Pengujian Vim Untuk KAO

Pengujian *Void in Mixture* digunakan untuk mendapatkan nilai sebagai salah satu nilai untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO).

Tabel 9 Hasil Pengujian VIM Untuk Penentuan KAO

Pengujian Dengan <i>Filler</i> 1%	Notasi	Variasi Kadar Aspal				
		4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Berat Kering Campuran Dalam Udara (W_d)	gr	1026	1044.4	1054.1	1123.9	1117.3
Berat Campuran Dalam Air (W_w)	gr	636	629.67	627.33	626.67	628
Berat Jenuh Kering Permukaan (W_{ssd})	gr	1157.5	1143.9	1144.7	1180.4	1153.6
Perhitungan	Persamaan W_d	Hasil				
Berat Jenis Teoritis Campuran (Gmm) gr/cc	$\frac{W_d}{W_d - W_w}$	2.63	2.57	2.56	2.27	2.29
Berat Jenis Bulk Campuran (Gmb) gr/cc	$\frac{W_d}{W_{ssd} - W_w}$	1.97	2.08	2.10	2.04	2.13
<i>Void in Mixture</i> (%)	$\left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \times 100$	25.19	19.10	17.59	10.16	6.93
OAC min 18% (%)		4.86				



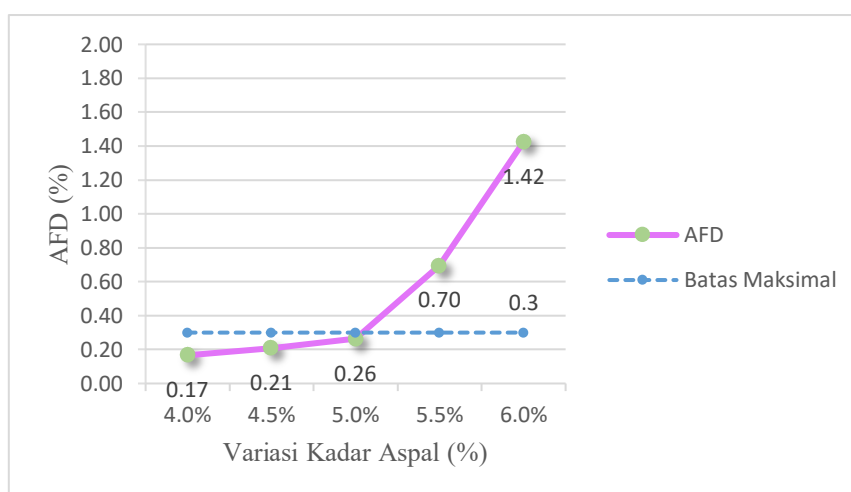
Gambar 4 Hubungan VIM Dengan Variasi Kadar Aspal

Rekap Pengujian AFD Untuk KAO

Pengujian *Asphalt Flow Down* digunakan untuk mendapatkan nilai sebagai salah satu nilai untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO).

Tabel 8 Pengujian AFD Untuk Penentuan KAO

Pengujian Dengan Filler 1%	Notasi	Variasi Kadar Aspal				
		4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Berat Nampan (M1)	gr	542	133.5	487.3	543.1	135.2
Berat Nampan + Campuran Sebelum Oven (M2)	gr	1574.8	1311.6	1483.6	1671.2	1317.1
Berat Nampan + Campuran Sesudah Oven (M3)	gr	543.7	135.9	489.9	550.9	152.0
Perhitungan	Persamaan	Hasil				
<i>Asphalt Flow Down (%)</i>		0.17	0.21	0.26	0.70	1.42
OAC mid (%)	$\left(\frac{M3 - M1}{M2 - M1}\right) \times 1$	Koreksi AFD				
		0.21				



Gambar 3 Hubungan AFD Dengan Variasi Kadar Aspal

Dari hasil dari pengujian dilaboratorium bahwa didapatkan nilai OAC max dari pengujian CL adalah sebesar 4,16%, nilai OAC min pada pengujian VIM adalah sebesar 4,86%, dan nilai tengah untuk koreksi AFD adalah sebesar 0,21%.

Tabel 10 Hasil Kadar Aspal Optimum Briket

Hasil Kadar Aspal Optimum	
Persamaan	Hasil (%)
$\left(\frac{OAC_{min} + OAC_{max}}{2}\right) + \text{Kor. AFD}$	4.72

Setelah didapatkan nilai OAC max dan OAC min maka direrata kedua hasil tersebut dan diplot dengan AFD, maka didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 4,72%.

Karakteristik Marshall

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk melihat suatu sifat perkerasan aspal dengan menggunakan alat tekan yang bernama *Marshall Test Machine*. Pengujian tersebut mempunyai tujuan mengetahui nilai stabilitas dan *flow* suatu padatan aspal. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui karakteristik briket aspal telah memenuhi persyaratan dari *Australian Asphalt Pavement Association* tahun 2004. Pengujian *Marshall Test* tersebut dapat mengacu pada SNI 06-2489-1991.

Tabel 14 Persyaratan Karakteristik Marshall AAPA 2004

No	Parameter	Hasil			Syarat	Memenuhi YA / TIDAK
	Variasi Kadar Substitusi Limbah	1.5%	3.0%	4.5%		
1	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	28.34	33.44	36.76	≤ 35	YA
2	Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	0.19	0.13	0.07	$\leq 0,3$	YA
3	Kekakuan <i>Marshall</i> (Kg/mm)	614.1	621.3	529.4	≤ 400	TIDAK
4	Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	1217.7	896.2	554.6	≥ 500	YA
5	VIM (%)	20.53	21.47	24.89	18 – 25	YA
6	Jumlah penumbukan	50	50	50	50	YA

Dari rekap pengujian marshall diatas maka dapat disimpulkan bahwa pada kadar variasi limbah 1,5% pada kadar variasi limbah 1,5% didapatkan nilai stabilitas marshall dengan rata-rata sebesar 1217,7 kg dengan nilai pelelehan atau flow sebesar 2 mm, nilai MQ sebesar 614,1 kg/mm, nilai VMA rata-rata sebesar 51,8%, nilai VIM rata-rata sebesar 20,5%, dan nilai VFWA rata-rata sebesar 60,3%. Pada kadar variasi limbah 3% didapatkan nilai stabilitas marshall dengan rata-rata sebesar 896,2 kg dengan nilai pelelehan atau flow sebesar 1,5 mm, nilai MQ sebesar 621,3 kg/mm, nilai VMA rata-rata sebesar 52,5%, nilai VIM rata-rata sebesar 21,5%, dan nilai VFWA rata-rata sebesar 59,2%. Pada kadar variasi limbah 4,5% didapatkan nilai stabilitas marshall dengan rata-rata sebesar 554,6 kg dengan nilai pelelehan atau flow sebesar 1,1 mm, nilai MQ sebesar 529,4 kg/mm, nilai VMA rata-rata sebesar 51,6%, nilai VIM rata-rata sebesar 24,9%, dan nilai VFWA rata-rata sebesar 51,7%.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan beberapa tahapan pengujian dan analisa seperti pengujian material, analisa penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO), dan pengujian *marshall* untuk mengetahui karakteristik *marshall* pada campuran aspal porus, maka tahap terakhir adalah kesimpulan dari proses penelitian campuran aspal porus dengan substitusi limbah sandal jepit yang akan dijabarkan sebagai berikut :

1. Pengujian Material

Berdasarkan hasil semua pengujian material yang telah dilakukan di laboratorium dan kemudian direkap seperti pada tabel 4.30 diatas maka dapat disimpulkan bahwa, semua pengujian material yang telah dilakukan di laboratorium menunjukkan telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, maka pengujian aspal porus dapat dilanjutkan dengan menggunakan material yang telah memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

2. Analisa Penentuan KAO

Dari hasil dari pengujian di laboratorium bahwa didapatkan nilai OAC max dari pengujian CL adalah sebesar 4,16%, nilai OAC min pada pengujian VIM adalah sebesar 4,86%, dan nilai tengah untuk koreksi AFD adalah sebesar 0,21%. Setelah didapatkan nilai OAC max dan OAC min maka direrata kedua hasil tersebut dan diplot dengan AFD, maka didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum sebesar 4,72%.

3. Pengujian *Marshall*

Dari rekap pengujian marshall diatas maka dapat disimpulkan bahwa pada kadar variasi limbah 1,5% didapatkan nilai stabilitas marshall dengan rata-rata sebesar 1217,7 kg dengan nilai pelelehan atau flow sebesar 2 mm, nilai MQ sebesar 614,1 kg/mm, nilai VMA rata-rata sebesar 51,8%, nilai VIM rata-rata sebesar 20,5%, dan nilai VFWA rata-rata sebesar 60,3%. Pada kadar variasi limbah 3% didapatkan nilai stabilitas marshall dengan rata-rata sebesar 896,2 kg dengan nilai pelelehan atau flow sebesar 1,5 mm, nilai MQ sebesar 621,3 kg/mm, nilai VMA rata-rata sebesar 52,5%, nilai VIM rata-rata sebesar 21,5%, dan nilai VFWA rata-rata sebesar 59,2%. Pada kadar variasi limbah 4,5% didapatkan nilai stabilitas marshall dengan rata-rata sebesar 554,6 kg dengan nilai pelelehan atau flow sebesar 1,1 mm, nilai MQ sebesar 529,4 kg/mm, nilai VMA rata-rata sebesar 51,6%, nilai VIM rata-rata sebesar 24,9%, dan nilai VFWA rata-rata sebesar 51,7%.

Maka dari seluruh pengujian tersebut, kesimpulan yang sesuai dengan parameter aspal porus yang disyaratkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* tahun 2004 adalah pada kondisi KAO sebesar 4,72% dan dengan variasi limbah sandal jepit sebesar 1,5% didapatkan nilai CL rata-rata sebesar 28,34%, nilai AFD rata-rata sebesar 0,19%, nilai kekakuan *marshall* (MQ) rata-rata sebesar 614,1 kg/mm, nilai stabilitas rata-rata sebesar 1217,7 kg, dan nilai VIM rata-rata sebesar 20,5%. Pada kondisi KAO sebesar 4,72% dan dengan variasi limbah sandal jepit sebesar 3% didapatkan nilai CL rata-rata sebesar 33,44%, nilai AFD rata-rata sebesar 0,13%, nilai kekakuan *marshall* (MQ) rata-rata sebesar 621,3 kg/mm, nilai stabilitas rata-rata sebesar 896,2 kg, dan nilai VIM rata-rata sebesar 21,5%. Pada kondisi KAO sebesar 4,72% dan dengan variasi limbah sandal jepit sebesar 4,5% didapatkan nilai CL rata-rata sebesar 36,76%, nilai AFD rata-rata sebesar 0,07%, nilai kekakuan *marshall* (MQ) rata-rata sebesar 529,4 kg/mm, nilai stabilitas rata-rata sebesar 554,6 kg, dan nilai VIM rata-rata sebesar 24,9%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. L. Saputra, ... *SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR TERTAHAN SARINGAN 3/8" DAN No. 4 PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN PERSENTASE KADAR ASPAL 6, 5* etd.ummy.ac.id, 2022. [Online]. Available: <https://etd.ummy.ac.id/id/eprint/35785/>
- [2] A. F. Senudin, *Pemanfaatan Limbah Sarung Tangan Sebagai Bahan Tambah Campuran Aspal Porus (Porous Asphalt).* eprints.unmer.ac.id, 2022. [Online]. Available: <https://eprints.unmer.ac.id/id/eprint/4302/>
- [3] Z. Arwan, "STUDI PENGGUNAAN LIMBAH LAS KARBIT SEBAGAI SUBSTITUSI PADA FILLER TERHADAP CAMPURAN ASPAL PORUS.," *repository.unifa.ac.id*, [Online]. Available: <http://repository.unifa.ac.id/1646/1/ARWAN%20Z%20SIP23.pdf>
- [4] N. Suryatama, S. Putra, and ..., "Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Menggunakan Material Dari Lampung," *Jurnal Rekayasa Sipil ...*, 2023, [Online]. Available: <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/3270>
- [5] K. K. Pavitasari and F. U. Najicha, "Pertanggungjawaban Pihak Ketiga Jasa Pengolah Limbah B3 dalam Mengelola Limbah B3," *Tanjungpura Law Journal*, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/tlj/article/view/47471>
- [6] A. P. Utami, N. N. A. Pane, and A. Hasibuan, "Analisis dampak limbah/sampah rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan hidup," *Cross-border*, 2023, [Online]. Available: <https://journal.iaisambas.ac.id/index.php/Cross-Border/article/view/2138>
- [7] N. Safitri, ... *LIMBAH PLASTIK ETHYLENE VINYL ACETATE DAN GRAPHENE SEBAGAI BAHAN TAMBAH UNTUK MENINGKATKAN KINERJA CAMPURAN ASPAL AC-WC.* rama.unimal.ac.id, 2024. [Online]. Available: <https://rama.unimal.ac.id/id/eprint/9360/>
- [8] I. Israil, M. Tumpu, W. Tjaronge, and S. Gusty, *Aspal Buton (Bitumen dalam Pembentukan Aspal Emulsi).* repository.unifa.ac.id, 2024. [Online]. Available: <https://repository.unifa.ac.id/id/eprint/1135/>
- [9] L. G. Bitu and A. Putri, "Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik (Polimer Pet) Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Aspal Porous.," *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil ...*, 2018, [Online]. Available: <http://ejournal.unidayan.ac.id/index.php/JMI/article/view/296>
- [10] J. Angkoso, *Perbandingan Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Australia (AAPA) dan California (Caltrans) dengan Serbuk Parutan Limbah Ban Karet.* dspace.uui.ac.id, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/52666>

PENGARUH SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI DAN ABU BONGGOL JAGUNG TERHADAP KUAT TEKAN DAN LENTUR BETON

Salma Alwi¹, IGN Aditya Dhiva², *Megawati³, Anung Sudibyo⁴, Kukuh Prihatin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda

*) Email: wmegawatiw@gmail.com

Received: 19 September 2025 ; Revised: 10 November 2025 ; Accepted: 17 November 2025

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of rice husk ash (RHA) as a partial replacement of cement and corn cob ash (CCA) as a partial replacement of fine aggregate on the compressive and flexural strength of concrete at 28 days. The concrete was designed with a target strength of 20 MPa. RHA was used at 6% by weight of cement, while CCA was varied at 4%, 5%, 6%, and 7% by weight of fine aggregate. Testing was performed using cylindrical specimens for compressive strength and beam specimens for flexural strength at 28 days. The control concrete (without additives) had a compressive strength of 10.191 MPa. The addition of 6% RHA and 4% CCA increased compressive strength to 13.135 MPa, rising to 13.531 MPa at 5% CCA, and reaching a peak of 13.701 MPa at 6% CCA, an increase of 34.4% compared to the control. However, at 7% CCA, compressive strength decreased to 12.059 MPa. For flexural strength, the control concrete reached 3.081 MPa, while the highest value of 3.595 MPa was obtained at 7% CCA, an increase of 16.7%. The results indicate that RHA and CCA can improve the mechanical properties of concrete, with different optimum percentages for compressive and flexural strength

Keyword: Concrete, Rice husk ash, Corn cob ash, Compressive strength, Flexural strength

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh substitusi abu sekam padi (ASP) sebagai pengganti sebagian semen dan abu bonggol jagung (ABJ) sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton umur 28 hari. Beton yang diuji dirancang dengan mutu target 20 MPa, menggunakan ASP sebesar 6% dari berat semen, dan variasi ABJ 4%, 5%, 6%, dan 7% dari berat agregat halus. Pengujian dilakukan pada benda uji silinder untuk kuat tekan dan balok untuk kuat lentur. Beton kontrol tanpa bahan tambah memiliki kuat tekan sebesar 10,191 MPa. Penambahan ASP dan ABJ memberikan peningkatan kuat tekan yang signifikan, mulai dari 13,135 MPa untuk 4% ABJ, naik menjadi 13,531 MPa pada 5% ABJ, dan mencapai nilai puncak 13,701 MPa pada 6% ABJ, meningkat sebesar 34,4% dibanding beton kontrol. Namun, substitusi ABJ pada 7% menyebabkan penurunan kuat tekan menjadi 12,059 MPa. Sedangkan untuk kuat lentur, beton kontrol mencapai 3,081 MPa, dengan nilai tertinggi sebesar 3,595 MPa diperoleh pada 7% ABJ, meningkat 16,7%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi dengan ASP dan ABJ mampu meningkatkan sifat mekanik beton, namun kadar substitusi optimal berbeda antara kuat tekan dan kuat lentur. Studi ini memberikan peluang pemanfaatan limbah pertanian untuk pengembangan beton yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Kata kunci: Beton, Abu sekam padi, Abu bonggol jagung, Kuat tekan, Kuat lentur

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi utama di Indonesia yang efektif dan efisien, dengan keunggulan seperti kemampuan menahan gaya tekan tinggi, fleksibilitas bentuk, ketahanan lingkungan, serta biaya perawatan rendah. Namun, produksi semen sebagai bahan utama beton menyumbang emisi karbon dioksida (CO₂) global. Oleh karena itu, penting mengurangi penggunaan semen dengan memanfaatkan bahan tambahan berbasis limbah untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Sebagai negara agraris, Indonesia menghasilkan limbah pertanian besar, seperti sekam padi dan bonggol jagung, yang sering dibakar atau dibuang sembarangan sehingga menimbulkan polusi udara dan kerusakan tanah. Data BPS 2022 mencatat produksi padi mencapai 55,67 juta ton dengan 20% berupa sekam padi limbah, sedangkan produksi jagung 25,8 juta ton menghasilkan limbah bonggol jagung signifikan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan penambahan abu sekam padi sebagai substitusi semen sebesar 10% meningkatkan kuat tekan beton [10], dan penggunaan abu bonggol jagung sebagai substitusi agregat halus sebesar 4% juga memberikan pengaruh positif [12]. Namun, kajian gabungan kedua bahan ini masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji pengaruh substitusi abu sekam padi dan abu bonggol jagung pada beton untuk mengetahui dampaknya terhadap kuat tekan dan kuat lentur, sebagai upaya pengembangan beton ramah lingkungan yang memanfaatkan limbah pertanian secara optimal.

Menurut SNI 2847, beton adalah material yang terbentuk dari campuran semen *Portland* atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan, yang membentuk massa padat

[16]. Seiring berjalannya waktu, beton akan mengalami pengerasan dan mencapai kekuatan rencana (f'_c) pada usia 28 hari. Beton termasuk material komposit yang terdiri dari pengikat (biasanya campuran semen hidrolik dan air), agregat halus (seperti pasir), dan agregat kasar (seperti kerikil), dengan atau tanpa bahan tambahan atau zat aditif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda, Kalimantan Timur, pada periode Maret hingga Mei 2025. Objek penelitian berupa beton normal menggunakan semen dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP), agregat kasar batu Palu ($2/3''$), dan agregat halus pasir Palu dengan bahan tambah abu bonggol jagung (ABJ). Benda uji yang digunakan adalah silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, serta balok berukuran $15 \times 15 \times 60$ cm untuk pengujian kuat lentur.

Menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai dengan SNI 1974:2011 untuk mengetahui beban maksimum hingga beton mengalami keruntuhan, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada umur 28 hari, pengujian kuat lentur beton dilakukan menggunakan benda uji balok berukuran $15 \times 15 \times 60$ cm. Pengujian dilakukan dengan metode dua titik pembebanan menggunakan *Flexural Testing Machine* sesuai SNI 4431:2011, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pengujian Kuat Lentur

Data yang diperoleh berupa data primer hasil pengujian laboratorium sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) yang relevan dengan tujuan penelitian. Metode analisis yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif, dengan fokus pada pengujian sampel beton untuk mendapatkan gambaran pengaruh substitusi ASP dan ABJ terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton umur 28 hari. Pendekatan ini memungkinkan pengujian hipotesis penelitian dan generalisasi hasil secara kuantitatif. Pengujian kuat tekan dan lentur beton dilakukan mengikuti prosedur dan standar SNI yang berlaku, dengan pengukuran dan pencatatan data secara teliti untuk menjamin validitas hasil penelitian.

Ringkasnya, penelitian ini menggunakan pengujian laboratorium sistematis dan analisis kuantitatif untuk mengevaluasi karakteristik mekanik beton yang disubstitusi dengan bahan limbah pertanian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Evaluasi data hasil pengujian bertujuan untuk menilai karakteristik dan kelayakan material yang digunakan dalam pembuatan campuran beton.

Tabel 1. Rekap Hasil Pengujian Semen

Karakteristik	Hasil	Keterangan
Konsistensi Normal	26	Sesuai SNI
Pengikatan Awal	105	Sesuai SNI
Berat Jenis	3,08	Sesuai SNI

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Tabel 2. Rekap Hasil Pengujian Agregat Halus

Karakteristik	Hasil	Keterangan
Berat Isi	1,57	Sesuai SNI
Berat Jenis	2,56	Sesuai SNI
Penyerapan	1,42	Sesuai SNI
Kadar Air	3,41	Sesuai SNI
Kadar Lumpur	2,50	Sesuai SNI
Analisa Saringan	Zona 2	Sesuai SNI

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Tabel 3. Rekap Hasil Pengujian Agregat Kasar

Karakteristik	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Berat Isi	$\geq 1,3 \text{ gr/cm}^3$	1,70	Sesuai SNI
Berat Jenis	$\geq 2,3$	2,85	Sesuai SNI
Penyerapan	$\leq 3\%$	0,52	Sesuai SNI
Kadar Air	$\leq 2,5\%$	0,63	Sesuai SNI
Kadar Lumpur	$\leq 5\%$	0,60	Sesuai SNI
Abrasi	$\leq 40\%$	9,17	Sesuai SNI

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Hasil rekap pengujian material penyusun beton yang tercantum pada tabel diatas menunjukkan bahwa seluruh material yang digunakan dalam pengujian ini telah memenuhi ketentuan yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI).

Rancangan Campuran Beton

Tabel 4. Rancangan Campuran Beton

No.	Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
1	Kuat Tekan Karakteristik (K)	Ditetapkan	20	MPa
		$K =$	1,64	
2	Deviasi Standar (S)	Diperkirakan	7	MPa
3	Nilai Tambah (Margin)	$M = S \times K$	11,48	MPa
4	Kuat Tekn Rata-rata (f_{cr})	$f_{cr} = \text{No.3} + \text{No.1}$	31,48	MPa
5	Jenis/Type Semen	Ditetapkan	PCC Type 1 Tiga Roda	
6	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami Pasir Palu	
7	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah 2/3 Palu	
8	Faktor Air Semen	Grafik (Lampiran SNI 2847 2019)	0,52	
9	Faktor Air Semen Maksimum		0,60	
10	Slump	Tabel (Lampiran SNI 1972 2008)	60-180	mm
11	Besar Butir Agregat Maksimum	Ditetapkan	40	mm
12	Jumlah Air Pengaduk Bebas	Tabel (Lampiran SNI 7656 2012)	192	liter/m ²
13	Jumlah Semen	Jumlah Air / FAS	349,09	kg/m ³

No.	Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
14	Jumlah Semen Minimum		325	kg/m ³
15	Susunan Butir Agregat Halus	Zona	Pasir Palu (Zona 2)	
16	Jumlah Butir Agregat Halus	Data Analisis Agregat	37	%
17	Berat Jenis Agregat SSD Gabungan		2,75	
18	Berat Volume Beton Segar	Tabel (Lampiran SNI 03 2834 2002)	2475	kg/m ³
19	Kadar Agregat	No.18 - No.12 - No.13	1933,91	kg/m ³
20	Kadar Pasir Palu		715,55	kg/m ³
21	Kadar Batu 2/3		1218,36	kg/m ³

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Total Kebutuhan Material

Jumlah kebutuhan material untuk 25 silinder ditambah jumlah kebutuhan material untuk 15 balok:

1. Semen = 51,228 kg + 78,310 kg
= 129,538 kg
2. Air = 27,194 kg + 41,571 kg
= 68,765 kg
3. Pasir Palu = 107,543 kg + 164,398 kg
= 271,941 kg
4. Batu Palu 2/3" = 188,012 kg + 287,406 kg
= 475,418 kg
5. Abu Sekam Padi = 2,583 kg + 3,948 kg
= 6,531 kg
6. Abu Bonggol Jagung = 4,950 kg + 7,566 kg
= 12,516 kg

Pengujian Slump Beton

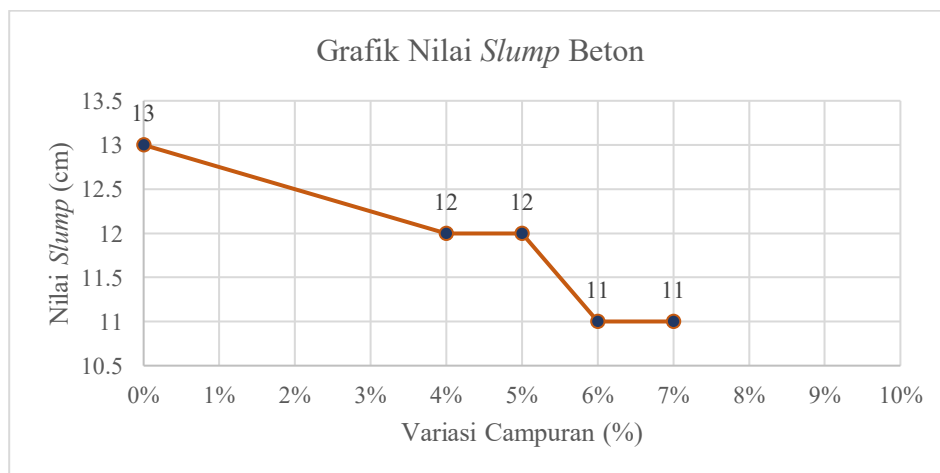
Nilai *slump* beton hasil pengujian pada lima variasi campuran ditunjukkan pada **Tabel 3.5** berikut

Tabel 5. Nilai *Slump* Beton

No	Abu Sekam Padi	Abu Bonggol Jagung	Slump (cm)
1	0%	0%	13
2	6%	4%	12
3	6%	5%	12
4	6%	6%	11
5	6%	7%	11

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Berdasarkan **Tabel 5**, nilai *slump* tersebut kemudian digunakan untuk menyusun **Gambar 1** yang memperlihatkan hubungan antara persentase bahan pengganti dengan nilai *slump* beton.



Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Gambar 3. Grafik Nilai *Slump* Beton

Berdasarkan **Gambar 3**, hasil uji *slump* menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen dan abu bonggol jagung sebagai pengganti sebagian agregat halus menghasilkan nilai *slump* yang cenderung menurun seiring peningkatan persentase abu bonggol jagung, dari 13 cm pada beton normal menjadi 11 cm pada variasi 6% dan 7%. Penurunan ini diduga dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi partikel abu bonggol jagung yang memengaruhi daya serap air campuran. Meskipun demikian, seluruh nilai *slump* yang diperoleh masih berada dalam rentang yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Perhitungan Kuat Tekan Beton Untuk Umur 28 Hari Pada Variasi 0%, 4%, 5%, 6% dan 7%

Tabel 6. Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

No.	Umur Beton (Hari)	Berat Sampel (gram)	Beban Maksimal (N)	Luas Silinder (15x30) (mm)	Koreksi L/D	Kuat Tekan (Mpa)	Konversi Bentuk	Konversi Umur	28 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)	$(\bar{X} - X)^2$	Total	$(\bar{X} - X)^3$	Total	Standar Deviasi	Skewness	F'C (MPa)
Variasi 0% Abu Sekam Padi Variasi 0% Abu Bonggol Jagung																	
1	28	12870	170000	17663	1,00	9,62	1,00	1,00	9,625		0,321		0,181				
2	28	12865	180000	17663	1,00	10,19	1,00	1,00	10,191		0,000		0,000				
3	28	12865	190000	17663	1,00	10,76	1,00	1,00	10,757	10,191	0,321	1,282	-0,181	0,000	0,566	0,000	10,191
4	28	12870	190000	17663	1,00	10,76	1,00	1,00	10,757		0,321		-0,181				
5	28	12870	170000	17663	1,00	9,62	1,00	1,00	9,625		0,321		0,181				
Variasi 6% Abu Sekam Padi Variasi 4% Abu Bonggol Jagung																	
1	28	12800	205000	17663	1,00	11,61	1,00	1,00	11,607		2,337		3,572				
2	28	12800	250000	17663	1,00	14,15	1,00	1,00	14,154		1,039		-1,058				
3	28	12800	190000	17663	1,00	10,76	1,00	1,00	10,757	13,135	5,655	13,239	13,446	9,768	1,819	1,036	11,250
4	28	12850	260000	17663	1,00	14,72	1,00	1,00	14,720		2,513		-3,984				
5	28	12850	255000	17663	1,00	14,44	1,00	1,00	14,437		1,696		-2,208				
Variasi 6% Abu Sekam Padi Variasi 5% Abu Bonggol Jagung																	
1	28	12850	200000	17663	1,00	11,323	1,00	1,00	11,323		4,876		10,766				
2	28	12800	215000	17663	1,00	12,173	1,00	1,00	12,173		1,846		2,509				
3	28	12750	260000	17663	1,00	14,720	1,00	1,00	14,720	13,531	1,414	11,123	-1,681	7,661	1,668	0,959	11,933
4	28	12800	255000	17663	1,00	14,437	1,00	1,00	14,437		0,821		-0,743				
5	28	12800	265000	17663	1,00	15,004	1,00	1,00	15,004		2,167		-3,190				
Variasi 6% Abu Sekam Padi Variasi 6% Abu Bonggol Jagung																	
1	28	12750	200000	17663	1,00	11,323	1,00	1,00	11,323		5,655		13,446				
2	28	12800	215000	17663	1,00	12,173	1,00	1,00	12,173		2,337		3,572				
3	28	12870	260000	17663	1,00	14,720	1,00	1,00	14,720	13,701	1,039	13,239	-1,058	9,768	1,819	1,036	11,816
4	28	12800	265000	17663	1,00	15,004	1,00	1,00	15,004		1,696		-2,208				
5	28	12750	270000	17663	1,00	15,287	1,00	1,00	15,287		2,513		-3,984				
Variasi 6% Abu Sekam Padi Variasi 7% Abu Bonggol Jagung																	
1	28	12750	240000	17663	1,00	13,588	1,00	1,00	13,588		2,337		-3,572				
2	28	12800	170000	17663	1,00	9,625	1,00	1,00	9,625		5,927		14,429				
3	28	12870	185000	17663	1,00	10,474	1,00	1,00	10,474	12,059	2,513	14,040	3,984	10,377	1,874	1,053	10,088
4	28	12800	230000	17663	1,00	13,022	1,00	1,00	13,022		0,926		-0,892				
5	28	12700	240000	17663	1,00	13,588	1,00	1,00	13,588		2,337		-3,572				

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Berdasarkan tabel diatas, didapat nilai kuat tekan pada umur 28 hari sebagai berikut:

Kuat Tekan Beton Variasi Persentase 0% Abu Sekam Padi dan 0% Abu Bonggol Jagung = 11,650 Mpa

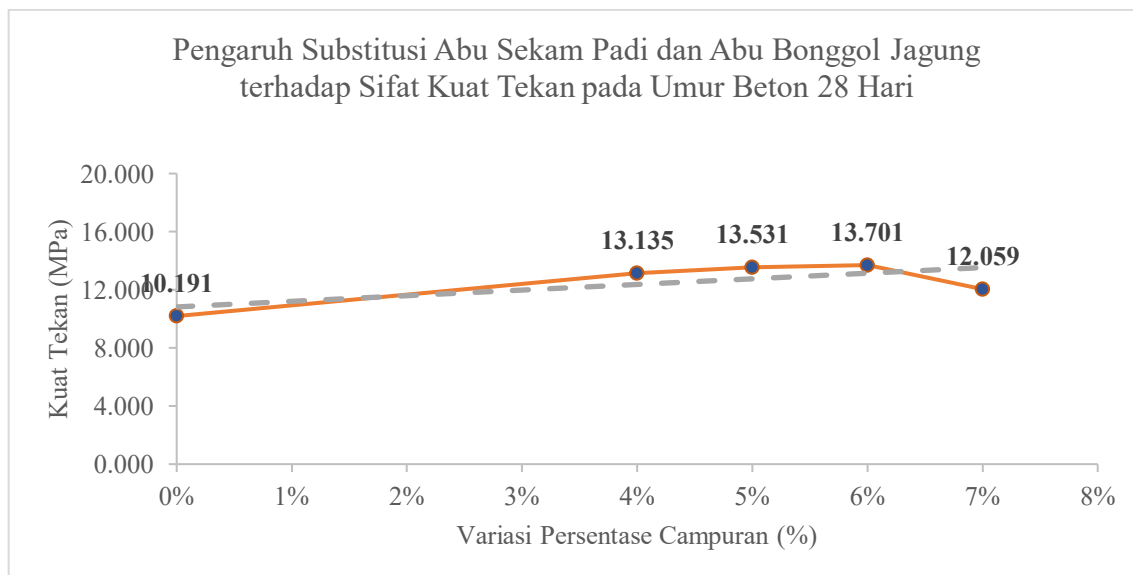
Kuat Tekan Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 4% Abu Bonggol Jagung = 11,250 Mpa

Kuat Tekan Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 5% Abu Bonggol Jagung = 11,933 Mpa

Kuat Tekan Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 6% Abu Bonggol Jagung = 11,816 Mpa

Kuat Tekan Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 7% Abu Bonggol Jagung = 10,088 Mpa

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, berikut ini adalah nilai kuat tekan yang disajikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 4**:



Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Gambar 4. Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Hasil uji kuat tekan menunjukkan adanya peningkatan hingga 6% seiring dengan bertambahnya jumlah abu bonggol jagung, tetapi mengalami penurunan pada variasi 7%. Peningkatan tekanan ini menunjukkan adanya kontribusi dari reaksi pozzolanik dari abu sekam padi yang mengandung silika, serta efek pengisian rongga kosong oleh abu bonggol jagung. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [7] dan [4] yang juga menemukan peningkatan kuat tekan optimum pada kadar 6% abu sekam padi yang menjadi pengganti sebagian semen. Namun, [11] menunjukkan bahwa penambahan abu bonggol jagung lebih dari 5% mengakibatkan penurunan kuat tekan, yang juga terlihat dalam penelitian ini pada kadar 7%. Di samping itu, [9] menyatakan bahwa kualitas abu bonggol jagung sangat dipengaruhi oleh suhu pembakaran. Dalam penelitian ini digunakan abu tanpa proses pembakaran pada suhu tinggi, sehingga kuat tekan optimum tercapai pada kadar yang lebih rendah (6%) dibandingkan dengan penelitian mereka yang optimum pada kadar 10%.

Perhitungan Kuat Lentur Beton Untuk Umur 28 Hari Pada Variasi 0%, 4%, 5%, 6% dan 7%

Tabel 7. Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari

Beton	Umur Beton	Beban	Lebar Balok	Tinggi Balok	Panjang Perletakan	Kuat Lentur	Konversi	Kuat Lentur	Kuat Lentur Rata-rata
	(hari)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(N/mm)	28 Hari	(N/mm)	(N/mm)
ASP6% ABJ0%	28	19000	150	150,000	520	2,927	1,000	2,927	3,081
	28	21000	150	150,000	520	3,236	1,000	3,236	
	28	20000	150	150,000	520	3,081	1,000	3,081	
ASP6% ABJ4%	28	20000	150	150,000	520	3,081	1,000	3,081	3,133
	28	21000	150	150,000	520	3,236	1,000	3,236	
	28	20000	150	150,000	520	3,081	1,000	3,081	
ASP6% ABJ5%	28	22000	150	150,000	520	3,390	1,000	3,390	3,287
	28	22000	150	150,000	520	3,390	1,000	3,390	
	28	22000	150	150,000	520	3,390	1,000	3,390	
ASP6% ABJ6%	28	23000	150	150,000	520	3,544	1,000	3,544	3,441
	28	22000	150	150,000	520	3,390	1,000	3,390	
	28	23000	150	150,000	520	3,544	1,000	3,544	
ASP6% ABJ7%	28	23000	150	150,000	520	3,544	1,000	3,544	3,595
	28	24000	150	150,000	520	3,698	1,000	3,698	

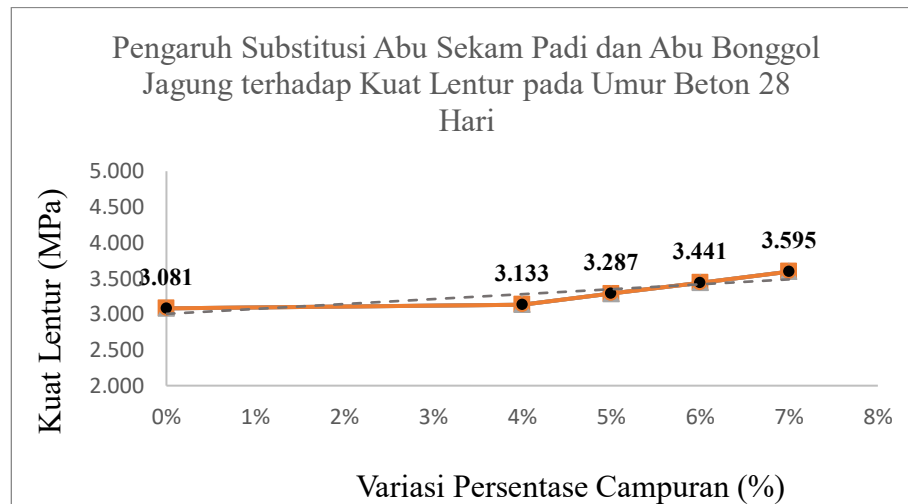
Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Keterangan: ABJ = Abu Bonggol Jagung

ASP = Abu Sekam Padi

Berdasarkan nilai kuat lentur pada umur 28 hari sebagai berikut:

Kuat Lentur Beton Variasi Persentase 0% Abu Sekam Padi dan 0% Abu Bonggol Jagung = 3,081 MPa
 Kuat Lentur Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 4% Abu Bonggol Jagung = 3,133 MPa
 Kuat Lentur Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 5% Abu Bonggol Jagung = 3,287 MPa
 Kuat Lentur Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 6% Abu Bonggol Jagung = 3,441 MPa
 Kuat Lentur Beton Variasi Persentase 6% Abu Sekam Padi dan 7% Abu Bonggol Jagung = 3,595 MPa
 Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, berikut ini adalah nilai kuat lentur dapat dilihat dalam bentuk grafik pada **Gambar 5**:



Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Gambar 5. Grafik Kuat Lentur Beton

Hasil uji kuat lentur menunjukkan ada peningkatan saat penambahan abu bonggol jagung mencapai 7%. Ini mengindikasikan bahwa penambahan abu sekam padi bersama dengan abu bonggol jagung mampu memperbaiki sifat tarik beton dengan efek pengisian pori-pori halus. Temuan ini berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh [12], yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu bonggol jagung di atas 4% malah menurunkan kuat lentur beton. Perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh penggunaan abu sekam padi dalam penelitian ini, yang berfungsi sebagai bahan pozzolanik tambahan dan membantu memperkuat ikatan antar partikel halus, sehingga kuat lentur dapat terus meningkat hingga mencapai 7%. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian oleh [7] yang menunjukkan bahwa abu sekam padi dapat memperbaiki transisi antara zona agregat dan mengurangi rongga mikro, sehingga dapat meningkatkan ketahanan tarik beton.

Hubungan antara Variasi Abu Sekam Padi dan Abu Bonggol Jagung terhadap Sifat Kuat Tekan dan Lentur Beton

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian ini, pengujian dengan menggunakan kombinasi abu sekam padi dan abu bonggol jagung sebagai bahan tambahan pada campuran beton dapat ditinjau berdasarkan 2 (dua) aspek, yaitu:

1. Pengujian ini menggunakan lima variasi campuran, yaitu: beton normal tanpa bahan tambah (0% abu bonggol jagung dan 0% abu sekam padi), serta beton dengan penambahan abu sekam padi tetap sebesar 6% pada semen dan abu bonggol jagung pada agregat halus sebesar 4%, 5%, 6%, dan 7%. Masing-masing variasi diuji menggunakan 5 benda uji kuat tekan pada umur 28 hari.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada beton normal (0% bahan tambah), kuat tekan beton berada pada 10,191 MPa. Penambahan 6% abu sekam padi dan 4% abu bonggol jagung meningkatkan kuat tekan menjadi 13,135 MPa, kemudian naik lagi pada variasi 5% abu bonggol jagung menjadi 13,531 MPa. Nilai tertinggi dicapai pada variasi 6% abu bonggol jagung dengan kuat tekan 13,701 MPa. Namun, pada variasi 7% abu bonggol jagung, kuat tekan menurun menjadi 12,059 MPa.

Pola ini menunjukkan bahwa penambahan abu bonggol jagung hingga persentase optimum (6%) dalam kombinasi dengan abu sekam padi 6% dapat meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan. Akan tetapi, penambahan berlebih di atas persentase tersebut cenderung menurunkan kekuatan, kemungkinan akibat kelebihan kadar *pozzolan* halus yang memengaruhi kepadatan dan ikatan pasta semen.

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh [7] dan [4] yang menyatakan bahwa dengan menambahkan abu sekam padi sebanyak 6%, terdapat peningkatan kuat tekan yang optimal pada beton. Penurunan kuat tekan pada kadar yang lebih tinggi juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [11], yang menemukan bahwa penambahan abu bonggol jagung di atas 5% justru mengakibatkan penurunan kuat tekan beton.

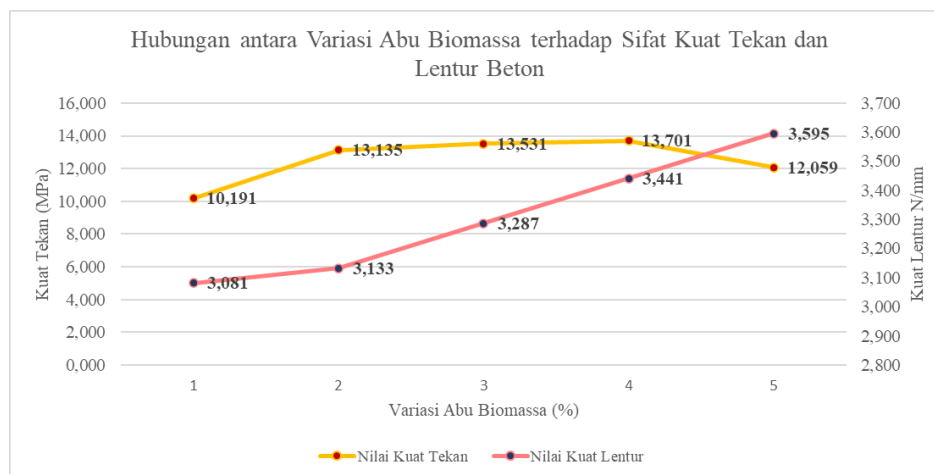
Di samping itu, [9] juga mengungkapkan bahwa peningkatan kadar abu bonggol jagung dapat berpengaruh positif pada kuat tekan, tetapi hal ini sangat tergantung pada suhu saat pembakaran abu. Mengingat penelitian ini tidak melibatkan perlakuan pembakaran yang spesifik, nilai optimum yang dicapai biasanya lebih rendah dibandingkan dengan temuan mereka (10%).

2. Variasi campuran yang sama diuji untuk kuat lentur beton dengan 3 benda uji per variasi pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada beton normal (0% bahan tambah), kuat lentur beton adalah 3,081 MPa. Penambahan 6% abu sekam padi dan 4% abu bonggol jagung sedikit meningkatkan nilai menjadi 3,133 MPa, lalu naik lagi pada variasi 5% menjadi 3,287 MPa. Pada variasi 6%, kuat lentur mencapai 3,441 MPa, dan peningkatan tertinggi terjadi pada variasi 7% dengan nilai 3,595 MPa.

Berbeda dengan pola kuat tekan, kuat lentur menunjukkan tren peningkatan yang konsisten pada seluruh variasi hingga 7%, tanpa adanya penurunan pada persentase tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan abu bonggol jagung pada kombinasi abu sekam padi 6% mampu memperbaiki sifat lentur beton secara berkelanjutan, kemungkinan karena partikel halus abu bonggol jagung mengisi pori-pori mikro dan memperbaiki distribusi tegangan pada daerah tarik beton.

Hasil penelitian ini berbeda dari temuan [12] yang menunjukkan bahwa ketika kadar abu bonggol jagung melebihi 4%, maka kuat lentur beton justru menurun. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh adanya fungsi abu sekam padi dalam penelitian ini, yang menambah reaksi pozzolanik dan meningkatkan homogenitas matriks beton.

Sementara itu, temuan ini sejalan dengan hasil [7] yang mengemukakan bahwa pemanfaatan abu sekam padi dapat memperbaiki transisi zona antara agregat (*interfacial transition zone* atau ITZ), sehingga memperkuat daya tahan beton terhadap gaya tarik lentur.



Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Gambar 6. Grafik Hubungan antara Variasi Abu Sekam Padi dan Abu Bonggol Jagung terhadap Sifat Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton normal tanpa bahan tambah memiliki kuat tekan 10,191 MPa. Penambahan abu sekam padi 6% dan abu bonggol jagung 4%, 5%, dan 6% meningkatkan kuat tekan menjadi 13,135 MPa, 13,531 MPa, dan 13,701 MPa. Pada variasi 7%, kuat tekan menurun menjadi 12,059 MPa.
2. Beton normal memiliki kuat lentur 3,081 MPa. Penambahan abu sekam padi 6% dan abu bonggol jagung 4%, 5%, 6%, dan 7% menghasilkan nilai kuat lentur 3,133 MPa, 3,287 MPa, 3,441 MPa, dan 3,595 MPa, yang berarti nilai kuat lentur selalu meningkat pada setiap penambahan persentase hingga 7%.

3. Kadar optimum abu bonggol jagung sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam kombinasi abu sekam padi 6% untuk mencapai kuat tekan maksimum adalah 6%, dengan nilai 13,701 MPa (naik 34,4% dari beton normal).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI 522R. (2006). 522R-06: Pervious Concrete. In Technical Documents (p. 25). <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/15614>
- [2] Adesina, A. (2020). Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions. *Environmental Challenges*, 1(November), 0–7. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100004>
- [3] Agung, G. F., Hanafie, M. R., & Mardina, P. (2013). Ekstraksi Silika Abu Sekam Padi Dengan Pelarut KOH. *Konversi*, 2(1), 28–31.
- [4] Aqsa, U. P., & Anggraini, R. (2024). Pengaruh Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi (Rice Husk Ask) Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. 05(02), 42–51.
- [5] BPS. (2022). Indikator Pertanian 2022. *Badan Pusat Statistik*, 36, 1–152.
- [6] Fakhrunisa, N., Djatmika, B., & Karjanto, A. (2018). Kajian Penambahan Abu Bonggol Jagung Yang Ber variasi Dan Bahan Tambah Superplasticizer Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Memadat Sendiri (Self – Compacting Concrete). *Jurnal Bangunan*, 23(2), 9–18.
- [7] Guci, J. M., Basirun, & Farianti, A. (2020). Analisis Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton Portland Composite Cement (PCC). *Structure Jurnal Sipil*, 2(1), 1–7.
- [8] Habeeb, G. A., & Mahmud, H. Bin. (2010). Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. *Materials Research*, 13(2), 185–190. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000200011>
- [9] Hardiputranto, A. R., Kusno Adi Sambowo, & Ririt Aprilin Soekarsono. (2021). Pemanfaatan Abu Limbah Bonggol Jagung Sebagai Bahan Tambah Dengan Variasi Suhu Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Beton. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 16(2), 67–72. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v16i2.20112>
- [10] Heldita, D. (2019). Pengaruh Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton (Agregat Kasar Ex Desa Sungai Kacil, Agregat Halus Ex Desa Karang Bintang, Abu Sekam Padi Ex Desa Berangas. ... (Teknologi Aplikasi Konstruksi): *Jurnal Program Studi ...*, 8(1), 46–52. <http://ojs.umm metro.ac.id/index.php/tapak/article/download/799/570>
- [11] Maharani, S., Masril, & Bastian, E. (2021). Kata kunci : Beton, Kuat Tekan, f'c 14.53 MPa, Abu Bonggol Jagung. 1(1), 1–6.
- [12] Nasution, M. A., Wilda, K., & Sitanggang, E. S. Y. (2021). Tinjauan Kuat Tekan Dan Lentur Dari Campuran Beton Yang Menggunakan Abu Bonggol Jagung Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus. ... *Konferensi Nasional Social ...*, 330–340. <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/KONSEP2021/article/view/621>
- [13] Rahmadi, A., Sari, N. M., & Indriyani, E. (2021). Pemanfaatan Limbah Industri. In *Disnak Jatim* (Vol. 4, Issue 3). <http://disnak.jatimprov.go.id/web/layananpublik/readtehnologi/812/pemanfaatan-limbah-industri>
- [14] SNI 03 - 1968. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1–17.
- [15] SNI 03 - 4141. (1996). Metode Pengujian Gumpalan Lempung Dan Butir-Butir Mudah Pecah Dalam Agregat. Badan Standarisasi Nasional, 1–6.
- [16] SNI 03 - 4804. (1998). Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, 1–6.

TINGKAT KEPATUHAN TENAGA KERJA KONSTRUKSI DALAM IMPLEMENTASI PELAKSANAAN K3 PADA PROYEK KONSTRUKSI DI KOTA SURAKARTA

*Herman Susila¹, Kusdiman Joko Priyanto², Yusuf Agtiya Putra³, Wisnu Hidayat⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

*) Email: herman.susila@lecture.utp.ac.id

Received: 3 November 2025 ; Revised: 22 November 2025 ; Accepted: 1 Desember 2025

ABSTRACT

Surakarta (Solo), as one of the major cities in Central Java, is experiencing rapid development in the construction sector, both for commercial, residential, and infrastructure projects. The implementation of SMKK (Vocational Occupational Safety and Health) in construction projects in Surakarta is certainly a very important aspect to create a safe, healthy work environment, and avoid potential work accidents. Occupational Safety and Health (K3) is an important aspect in construction projects to prevent work accidents and increase worker productivity. However, the level of compliance with K3 in the field remains a significant challenge. This study aims to analyze the level of worker compliance with K3 in construction projects and the factors that influence it. The research method uses a quantitative approach by distributing questionnaires to construction workers and field observations. Testing in this study uses descriptive statistical methods. This study shows that worker compliance with K3 in Surakarta City is in the good category with an average of 3.078. The Top Management Commitment to K3 variable has the highest compliance level (3.13), while the K3 Regulations and Procedures variable has the lowest compliance value (3.01). For other variables are the Use of PPE (3.113), Worker Communication (3.093), Work Environment (3.09), Worker Competence (3.027). From these results, to increase the level of compliance of construction workers in implementing K3, further efforts are needed in the form of increased education and stricter supervision.

Keyword: Occupational Safety and Health (OSH), Worker's Compliance, Construction Projects, PPE Usage

ABSTRAK

Kota Surakarta (Solo) sebagai salah satu kota besar di Jawa Tengah, mengalami perkembangan pesat dalam sektor pembangunan, baik untuk proyek komersial, perumahan, maupun infrastruktur. Implementasi K3 dalam proyek konstruksi di Surakarta tentu menjadi aspek yang sangat penting untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, sehat, dan terhindar dari potensi kecelakaan kerja. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek penting dalam proyek konstruksi untuk mencegah kecelakaan kerja dan meningkatkan produktivitas pekerja. Namun, tingkat kepatuhan terhadap K3 di lapangan masih menjadi tantangan yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kepatuhan pekerja terhadap K3 dalam proyek konstruksi serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan penyebaran kuesioner kepada pekerja konstruksi serta observasi lapangan. Pengujian dalam penelitian ini menggunakan metode statistik deskriptif. Penelitian ini menunjukkan bahwa kepatuhan tenaga kerja terhadap K3 di Kota Surakarta berada pada kategori baik dengan rata-rata 3,078. Variabel *Komitmen Top Management* terhadap K3 memiliki tingkat kepatuhan tertinggi (3,13), sedangkan variabel Peraturan dan Prosedur K3 memiliki nilai kepatuhan terendah (3,01). Untuk variabel lain adalah Penggunaan APD (3,113), Komunikasi Pekerja (3,093), Lingkungan Kerja (3,09), Kompetensi Pekerja (3,027). Dari hasil tersebut untuk meningkatkan tingkat kepatuhan tenaga kerja konstruksi dalam pelaksanaan K3 diperlukan upaya lebih lanjut dalam bentuk peningkatan edukasi dan pengawasan yang lebih ketat.

Kata kunci: Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), Kepatuhan Tenaga Kerja, Proyek Konstruksi, Penggunaan APD

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

K3 adalah ilmu dan praktik yang bertujuan untuk meningkatkan kesehatan, mencegah penyakit akibat kerja, serta menciptakan lingkungan kerja yang aman dan sehat. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam industri konstruksi merupakan aspek krusial yang menentukan kelancaran dan keberhasilan suatu proyek. Kecelakaan kerja di sektor ini masih menjadi permasalahan utama yang menghambat produktivitas serta menimbulkan risiko terhadap pekerja dan proyek itu sendiri. Menyelidiki faktor-faktor yang menyebabkan kurang diperhatikannya K3 dalam pekerjaan proyek konstruksi di Surakarta merupakan kebutuhan yang sangat penting. Pada tahun 2024, jumlah kecelakaan kerja secara nasional tercatat sebanyak 462.241 (kemenaker, 2025) kasus yang menunjukkan angka tertinggi dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, dengan sekitar 4.233 kasus terjadi pada sektor jasa konstruksi. Tingginya angka kecelakaan ini menunjukkan bahwa penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) menjadi suatu keharusan guna menekan risiko kecelakaan serta meningkatkan produktivitas tenaga kerja [1]. Dalam penelitian ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang masalah K3 dalam proyek konstruksi yang berada di Surakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kepatuhan pekerja terhadap penerapan K3 pada proyek konstruksi gedung di Surakarta. Dengan memahami tingkat kepatuhan ini,

diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efektivitas kebijakan keselamatan yang diterapkan serta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Tinjauan Pustaka

Penelitian terkait kepatuhan tenaga kerja dalam implementasi K3 terus berkembang, penelitian-penelitian tersebut antara lain adalah:

Penelitian yang dilakukan Haryanto, Ashad, dan Syafei (2022) dengan judul “Analisis Pengaruh Kepribadian terhadap Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Tenaga Kerja Konstruksi (Studi Kasus Proyek Gedung Education Center Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Hasanuddin Makassar)” menunjukkan bahwa variable-variabel perilaku pekerja, kesadaran pekerja, pemahaman pekerja, dan peran pimpinan berpengaruh terhadap penerapan K3 [2].

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2015) dengan judul “Tingkat Pelaksanaan Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (Smk3) Pada Proyek Konstruksi, Studi Kasus Di Kota Semarang” menunjukkan bahwa penelitian tingkat pelaksanaan SMK3 pada proyek konstruksi risiko sedang sebesar 42,12%. Adapun kelengkapan fasilitas K3 pada proyek risiko tinggi sebesar 75%. Untuk kelengkapan fasilitas K3 pada proyek risiko sedang sebesar 30% [3].

Penelitian yang dilakukan oleh Putri dan Assidiq (2022) dengan judul “Analisis Faktor Penghambat Penerapan Sistem Manajemen K3 Serta Langkah Menciptakan Safety Culture Terhadap Pt. Gunanusa Utama Fabricators” menunjukkan bahwa Faktor-faktor penyebab rendahnya penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada perusahaan bidang konstruksi seperti pemenuhan peraturan perundangan, komitmen kebijakan K3, manusia dan lingkungan serta anggaran dan keuangan. Di samping itu, safety culture atau budaya keselamatan merupakan produk dari value individu atau sekelompok orang, attitude, persepsi, kompetensi, dan pola tingkat laku yang memperlihatkan komitmen dan bentuk implementasi K3 (Putri & Assidiq, 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh LT Dewi, J Setiono dan F Purnomo (2023) dengan judul Evaluasi Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Proyek Pembangunan RSPAL Dr. Ramelan Surabaya menunjukkan bahwa Penerapan SMK3 di proyek pembangunan RSPAL Dr. Ramelan Surabaya dilakukan dengan sangat baik. Responden terdiri dari 13 responden dari konsultan dan 13 responden dari kontraktor. Variable yang digunakan meliputi aspek pelaksanaan, aspek pencegahan, aspek administrasi, dan aspek lingkungan. Dari hasil identifikasi resiko dengan metode HIRARC diperoleh bahwa proyek tersebut menempati tingkat risiko rendah [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Ali (2022) dengan judul “Evaluasi Penerapan SMK3 Antara Realisasi Dilapangan Dengan Peraturan Smk3 Pada Proyek Villa Tumbak Bayah” menunjukkan bahwa tingkat penerapan pelaksanaan SMK3 pada proyek Villa Tumbuh Bayuh didapatkan sebesar 80% yang TIDAK sesuai dan 20% yang SESUAI pada penggunaan SMK3 yang terdapat di dalam peraturan SMK3 [6].

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah meninjau penerapan SMK3, faktor penghambat implementasi K3, evaluasi penerapan SMK3, dan pengaruh perilaku pekerja terhadap K3, namun belum ditemukan penelitian yang secara khusus menilai tingkat kepatuhan tenaga kerja konstruksi dalam implementasi pelaksanaan K3, khususnya di Kota Surakarta. Selain itu, penelitian sebelumnya lebih berfokus pada aspek sistem manajemen dan faktor organisasi, bukan pada kepatuhan pekerja di tingkat operasional, yang justru menjadi indikator langsung keberhasilan K3. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut.

Landasan Teori

Landasan teori penelitian ini bertumpu pada konsep Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam konstruksi. Menurut *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA 3886, 2016) [7], K3 merupakan upaya sistematis untuk melindungi tenaga kerja dari potensi bahaya yang timbul selama proses kerja. Dalam konteks penelitian ini, terdapat beberapa variabel utama yang menjadi indikator tingkat kepatuhan pekerja terhadap K3 [8], yaitu:

- Komitmen Top Management –manajemen sangat berperan dalam menyediakan kebijakan, sumber daya, serta pengawasan terhadap penerapan K3. Komitmen manajemen atas sangat penting dalam memberi legitimasi, alokasi sumber daya, dan pengawasan terhadap pelaksanaan K3. Model penelitian oleh Agindano (2020) menunjukkan bahwa variabel ini memiliki efek kuat terhadap kinerja proyek melalui system manajemen penerapan K3.
- Peraturan dan Prosedur K3 – Peraturan dan prosedur K3 — termasuk standar operasional prosedur, pedoman teknis, regulasi pemerintah — berfungsi sebagai landasan formal untuk perilaku keselamatan pekerja. Penelitian tentang digitalisasi K3 dalam proyek JIS mengindikasikan bahwa kekurangan pemahaman

terhadap prosedur K3 menghambat implementasi yang efektif. standar operasional yang menjadi pedoman bagi pekerja dalam melaksanakan pekerjaan dengan aman.

- Penggunaan APD – ketaatan pekerja dalam menggunakan perlengkapan keselamatan yang sesuai standar. Penggunaan APD adalah indikator nyata kepatuhan pekerja terhadap standar keselamatan. Penelitian dikenai kepada RSU Williambooth, Semarang mendemonstrasikan bahwa kepatuhan dalam penggunaan APD masih bermasalah, terkait dengan sikap dan pengawasan manajemen proyek.
- Komunikasi Pekerja – interaksi antar pekerja maupun antara pekerja dengan manajemen terkait isu keselamatan kerja. Komunikasi antar-pekerja dan antara pekerja-manajemen penting dalam penyebaran informasi K3, pemahaman akan risiko, dan pelaporan bahaya. Penelitian di Lampung menempatkan variabel komunikasi sebagai salah satu faktor utama yang mempengaruhi kinerja proyek melalui K3
- Lingkungan Kerja – kondisi fisik maupun non-fisik di lokasi proyek yang mendukung penerapan K3. Lingkungan kerja fisik dan non-fisik (seperti kondisi lokasi, kebersihan, aksesibilitas, serta budaya keselamatan) mempengaruhi kemungkinan pelaksanaan prosedur keselamatan serta penggunaan APD. Studi di Lampung dan RSU Semarang menyebut bahwa faktor lingkungan kerja menjadi pembeda dalam tingkat kepatuhan.
- Kompetensi Pekerja – keterampilan, pengetahuan, dan kesadaran pekerja dalam menjalankan prosedur keselamatan. Kompetensi pekerja meliputi pengetahuan, keterampilan, dan kesadaran terhadap K3. Penelitian di Makassar (Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan) ditemukan bahwa meskipun pengetahuan K3 ada, perilaku pekerja belum selalu sesuai, yang menunjukkan bahwa kompetensi saja tidak cukup tanpa dukungan struktur dan budaya keselamatan.

Dengan kerangka teori tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai tingkat kepatuhan tenaga kerja terhadap K3 dalam proyek konstruksi di Kota Surakarta serta faktor-faktor yang memengaruhinya.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan survei. Metode ini dipilih agar dapat mengetahui sejauh mana para pekerja konstruksi mematuhi aturan K3 dengan menganalisis data yang dikumpulkan secara langsung dari responden.

Populasi dan Sampel

Lokasi penelitian yang diambil untuk penelitian ini ditentukan dengan metode *purpose random sampling*, dimana penentuan sampling ini tidak didasarkan atas populasi yang tersedia. Penelitian ini dilakukan pada proyek gedung dengan ketinggian minimal 5 lantai di wilayah Kota Surakarta. Populasi pada penelitian ini ditargetkan pada seluruh pekerja yang terlibat dalam pembangunan konstruksi. Adapun berdasarkan survey awal diketahui keseluruhan populasi tenaga kerja adalah 162 tenaga kerja dari 3 (tiga) proyek yang diambil. Sedangkan metode pengambilan sampel dilakukan dengan metode Slovin dengan tingkat kesalahan 5%, sehingga didapatkan hasil 115 responden. Dengan maksud, perlu jawaban 115 tenaga kerja untuk memastikan data dapat diolah lebih lanjut.

Variable Penelitian

Variabel penelitian dalam penelitian ini diperoleh melalui studi literatur terdahulu. Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Tabel Variabel Penelitian

Kode	Variabel	Uraian
X ₁	Komitmen Top Management terhadap K3	X ₁₁ Perusahaan memberikan prioritas utama terhadap masalah K3
		X ₁₂ Perusahaan akan memberhentikan pekerjaan yang membahayakan
		X ₁₃ Ada pengawasan terhadap K3 para pekerja
		X ₁₄ Perusahaan memberikan perlengkapan K3
		X ₁₅ Perusahaan memberikan pelatihan K3
X ₂	Peraturan dan Prosedur K3	X ₂₁ Prosedur K3 mudah diterapkan dengan konsisten
		X ₂₂ Ada sanksi terhadap pelanggaran prosedur K3
X ₃	Komunikasi Pekerja	X ₃₁ Pekerja mendapat informasi mengenai masalah K3
		X ₃₂ Pekerja mendapat informasi mengenai risiko kecelakaan kerja
		X ₃₃ Adanya komunikasi yang baik antara pekerja dan pihak manajerial
X ₄	Kompetensi Pekerja	X ₄₁ Pekerja mengerti tanggung jawab terhadap K3
		X ₄₂ Pekerja mengerti sepenuhnya risiko dari pekerjaannya
		X ₄₃ Pekerja mampu memenuhi seluruh peraturan dan prosedur K3
X ₅	Lingkungan Kerja	X ₅₁ Pekerja mengutamakan K3
		X ₅₂ Pekerja termotivasi karena program K3

Kode	Variabel	Uraian
X ₆	Penggunaan Alat Pelindung Diri	X ₅₃ Pekerja puas dengan keamanan lingkungan kerja (alat pemadam, kebersihan, pencahayaan)
		X ₆₁ Perusahaan menyediakan APD lengkap, layak pakai, dan sesuai kondisi pekerjaan
		X ₆₂ Pekerja selalu menggunakan APD saat bekerja dalam berbagai kondisi cuaca
		X ₆₃ Terdapat pengawasan terhadap kepatuhan penggunaan APD dalam semua situasi kerja

(Sumber: Hasil olahan peneliti (2025) dari berbagai sumber: Haryanto et al., 2022; Kurniawan, 2015; Ali, 2022, Christina et al, 2012)

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan:

1. Kuesioner: instrument utama berupa kuesioner tertutup dengan skala Likert (1-4) untuk mengukur tingkat kepatuhan dan persepsi pekerja terkait implementasi pelaksanaan K3.
2. Observasi Lapangan: Mengamati secara langsung perilaku pekerja dalam penerapan K3.
3. Wawancara: Dilakukan pada mandor atau pengawas lapangan untuk memperkuat data kuesioner.

Teknik Analisis Data

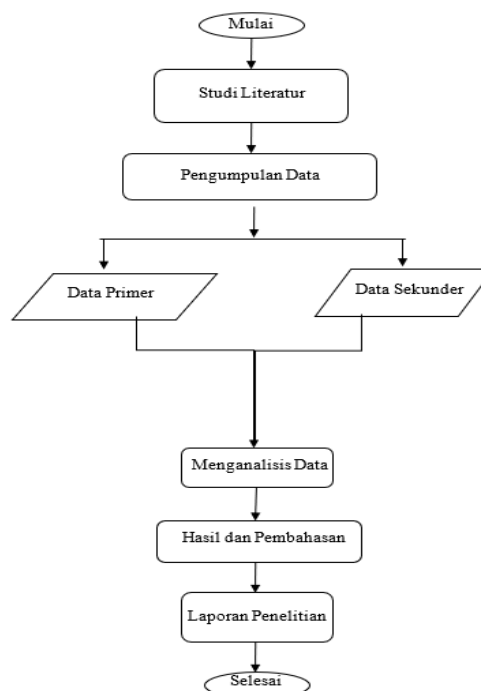
Analisis data dilakukan menggunakan analisis deskriptif dengan menghitung persentase dan nilai rata-rata dari tingkat kepatuhan. Penilaian tingkat kepatuhan menggunakan skala likert 1 – 4 dengan kategori:

- Tidak baik : 1
- Kurang baik: 2
- Baik : 3
- Sangat baik : 4

Adapun interval kelas data ditentukan sebagai berikut (Susila, 2019) [9]:

- 1-1,75 termasuk kategori Tidak baik, jika suatu aspek K3 mendapat skor dalam rentang ini, berarti penerapannya sangat buruk atau tidak berjalan dengan baik di perusahaan.
- 1,751 - 2,5 termasuk kategori Kurang baik, berarti penerapan K3 di aspek tersebut masih ada, tetapi belum optimal dan masih banyak kekurangan.
- 2,501 - 3,25 termasuk kategori Baik, berarti penerapan K3 sudah berjalan dengan cukup baik, tetapi masih ada beberapa hal yang bisa ditingkatkan.
- 3,251 - 4 termasuk kategori Sangat baik, berarti aspek tersebut sudah diterapkan dengan sangat baik, sesuai standar, dan tidak ada masalah berarti

Tahapan Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Validitas Data

Pengujian validitas data dilakukan dengan uji korelasi Pearson Product Moment. Pengujian dilakukan dengan bantuan software SPSS dan dihasilkan data seperti pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Validitas

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Squared Multiple Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted	Keterangan
PrioritasPerusahaan	58,51	22,227	0,387		0,848	VALID
Kebijakan	58,41	21,609	0,598		0,840	VALID
Pengawasan	58,43	21,514	0,563		0,841	VALID
Ketersediaan	58,51	22,264	0,450		0,846	VALID
Pelatihan	58,66	20,946	0,520		0,842	VALID
Kemudahan	58,60	22,478	0,328		0,850	VALID
Sanksi	58,65	21,482	0,476		0,844	VALID
InformasiK3	58,54	21,654	0,529		0,842	VALID
InformasiResiko	58,58	23,115	0,209		0,854	VALID
Komunikasi	58,52	22,052	0,432		0,846	VALID
PahamK3	58,63	22,657	0,303		0,851	VALID
PahamResiko	58,58	22,394	0,355		0,849	VALID
Kemampuan	58,62	22,039	0,434		0,846	VALID
PrioritasPekerja	58,57	23,030	0,204		0,855	VALID
Motivasi	58,56	22,037	0,502		0,844	VALID
Kepuasan	58,52	21,692	0,485		0,844	VALID
APD	58,53	21,543	0,516		0,842	VALID
PatuhAPD	58,53	21,207	0,592		0,839	VALID
PengawasanAPD	58,51	21,270	0,700		0,836	VALID
Pemahaman	58,62	23,367	0,169		0,855	Tidak Valid

(Sumber: olah data SPSS, 2025)

Dari hasil pengolahan dari jawaban responden yang dikomparasikan dengan r-tabel. Diketahui r-tabel untuk kesalahan 5% adalah 0,1832, sedangkan r-hitung dapat terlihat pada kolom "Corrected Item Total Correlation". Syarat validasi sebuah pertanyaan untuk analisis adalah r hitung > r tabel. Dari hasil pengolahan data di atas, terdapat satu variabel yang tidak valid, yaitu variabel pemahaman.

Uji Reliabilitas Data

Uji reliabilitas data pada penelitian ini diuji menggunakan Cronbach's Alpha. Pengujian dilakukan dengan bantuan software SPSS dan dihasilkan data seperti pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Statistik Reliabilitas

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
,852	,853	20

Hasil Cronbach's Alpha adalah $0,853 > 0,6$. Hasil ini menunjukkan bahwa instrument penelitian adalah reliabel.

Analisis Tingkat Kepatuhan

Analisis tingkat kepatuhan dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata dari jawaban responden. Dari analisis deskriptif rata-rata menggunakan SPSS diperoleh hasil seperti pada table 4 berikut:

Tabel 4. Analisis Deskriptif Rata-Rata

Variable	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev
X11	163	2	4	3.12	0.481
X12	163	2	4	3.23	0.435
X13	163	2	4	3.20	0.473
X14	163	2	4	3.12	0.427
X15	163	2	4	2.98	0.613
X21	163	2	4	3.03	0.490

Variable	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev
X22	163	2	4	2.99	0.555
X31	163	2	4	3.10	0.474
X32	163	2	4	3.06	0.448
X33	163	2	4	3.12	0.477
X41	163	2	4	3.01	0.465
X42	163	2	4	3.05	0.482
X43	163	2	4	3.02	0.484
X51	163	2	4	3.07	0.491
X52	163	2	4	3.08	0.430
X53	163	2	4	3.12	0.502
X61	163	2	4	3.11	0.509
X62	163	2	4	3.10	0.504
X63	163	2	4	3.13	0.432
Valid N (listwise)	163				

(Sumber: Hasil olah data, 2025)

Dari hasil pengujian, didapat kesimpulan yaitu nilai rata-rata berkisar antara 2,98 hingga 3,32. Standar deviasi memiliki nilai berkisar antara 0,427 hingga 0,613, yang menunjukkan bahwa persebaran data tidak terlalu besar, atau dengan kata lain, mayoritas responden memiliki pandangan yang relatif seragam. Variabel dengan standar deviasi tertinggi terdapat pada Pelatihan (0,613), Sanksi (0,555), dan Kepuasan (0,509) menandakan bahwa terdapat variasi pendapat yang lebih besar terhadap efektivitas pelatihan, sistem sanksi, dan kepuasan. Variabel dengan standar deviasi terendah terdapat pada Kebijakan (0,435) dan Informasi K3 (0,474) menunjukkan bahwa tenaga kerja memiliki persepsi yang lebih seragam mengenai kebijakan perusahaan dan informasi terkait K3.

Nilai rata-rata tingkat kepatuhan pekerja terhadap penerapan K3 di setiap variabel dapat dilihat pada table 5 berikut:

Tabel 5. Hasil Rata-rata Variabel

Kode	Variabel	Rata-rata	Uraian	Nilai
X ₁	Komitmen Top Management terhadap K3	3,13	X ₁₁ Perusahaan memberikan prioritas utama terhadap masalah K3	3,12
			X ₁₂ Perusahaan akan memberhentikan pekerjaan yang membahayakan	3,23
			X ₁₃ Ada pengawasan terhadap K3 para pekerja	3,2
			X ₁₄ Perusahaan memberikan perlengkapan K3	3,12
			X ₁₅ Perusahaan memberikan pelatihan K3	2,98
X ₂	Peraturan dan Prosedur K3	3,01	X ₂₁ Prosedur K3 mudah diterapkan dengan konsisten	3,03
			X ₂₂ Ada sanksi terhadap pelanggaran prosedur K3	2,99
X ₃	Komunikasi Pekerja	3,09	X ₃₁ Pekerja mendapat informasi mengenai masalah K3	3,1
			X ₃₂ Pekerja mendapat informasi mengenai risiko kecelakaan kerja	3,06
			X ₃₃ Adanya komunikasi yang baik antara pekerja dan pihak manajerial	3,12
X ₄	Kompetensi Pekerja	3,03	X ₄₁ Pekerja mengerti tanggung jawab terhadap K3	3,01
			X ₄₂ Pekerja mengerti sepenuhnya risiko dari pekerjaannya	3,05
			X ₄₃ Pekerja mampu memenuhi seluruh peraturan dan prosedur K3	3,02
X ₅	Lingkungan Kerja	3,09	X ₅₁ Pekerja mengutamakan K3	3,07
			X ₅₂ Pekerja termotivasi karena program K3	3,08
			X ₅₃ Pekerja puas dengan keamanan lingkungan kerja (alat pemadam, kebersihan, pencahayaan)	3,12
X ₆	Penggunaan Alat Pelindung Diri	3,11	X ₆₁ Perusahaan menyediakan APD lengkap, layak pakai, dan sesuai kondisi pekerjaan	3,11
			X ₆₂ Pekerja selalu menggunakan APD saat bekerja dalam berbagai kondisi cuaca	3,1
			X ₆₃ Terdapat pengawasan terhadap kepatuhan penggunaan APD dalam semua situasi kerja	3,13

(Sumber: Hasil Olah Data, 2025)

Secara keseluruhan, rata-rata dari variabel adalah 3,078 dan termasuk dalam kategori baik. Dalam hal ini berarti penerapan K3 sudah berjalan dengan baik, tetapi masih ada beberapa hal yang perlu ditingkatkan lagi untuk mencapai kinerja K3 yang lebih optimal. Hasil ini ada kesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2015) yang dilakukan di kota Semarang dengan hasil penelitian kinerja pelaksanaan SMK3 pada proyek konstruksi resiko tinggi sebesar 83,43% yang termasuk dalam kategori sedang [3].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kepatuhan tenaga kerja terhadap K3 di Kota Surakarta berada pada kategori baik dengan rata-rata 3,078. Variabel Kebijakan memiliki tingkat kepatuhan tertinggi (3,23), sedangkan variabel pelatihan memiliki tingkat kepatuhan terendah (2,98), menunjukkan bahwa pelatihan masih perlu ditingkatkan. Tingkat pendidikan tidak berpengaruh signifikan terhadap kepatuhan K3 ($\text{Sig.} > 0,05$), namun pengalaman kerja berpengaruh signifikan, di mana tenaga kerja dengan pengalaman lebih dari 15 tahun cenderung memiliki kepatuhan lebih rendah dibandingkan yang berpengalaman 6-15 tahun. Hasil regresi linear berganda menunjukkan bahwa pengalaman memiliki pengaruh lebih besar terhadap kepatuhan dibanding pendidikan ($B = -0,864$, $\text{Sig.} = 0,009$). Namun, secara keseluruhan, pendidikan dan pengalaman mempengaruhi tingkat kepatuhan sebesar 4,7% sehingga faktor lain berperan lebih besar. Untuk meningkatkan kepatuhan K3, perlu optimalisasi pelatihan berkala, serta memberikan pemahaman tentang K3 bagi tenaga kerja yang sudah lama bekerja agar tidak menyepelekan K3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia, "Kasus Kecelakaan Kerja Tahun 2024," <https://satudata.kemnaker.go.id/data/kumpulan-data/2447>, Jakarta, 2025.
- [2] T. J. Haryanto, H. Ashad and I. Syafei, "Kepribadian Terhadap Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Tenaga Kerja Konstruksi," *Konstruksi*, vol. 01, no. 04, pp. 49-58, 2022.
- [3] Y. Kurniawan, "TINGKAT PELAKSANAAN SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN," *Scaffolding*, pp. 98-103, 2015.
- [4] K. W. Putri and F. M. Assidiq, "ANALISIS FAKTOR PENGHAMBAT PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN," *SENSISTEK*, vol. 5, pp. 27-31, 2022.
- [5] L. T. Dewi, J. Setiono and F. Purnomo, "Evaluasi Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Proyek Pembangunan RSPAL Dr Ramelan Surabaya," *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, pp. 191-198, 2023.
- [6] S. S. ALI, "EVALUASI PENERAPAN SMK3 ANTARA REALISASI," POLITEKNIK NEGERI BALI, bALI, 2022.
- [7] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Recommended Practices for Safety & Health Programs in Construction," <https://www.osha.gov/safety-management/additional-resources>, Wahington, D.C., 2016.
- [8] W. Y. Christina, L. Djakfar and A. Thoyib, "Pengaruh Budaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Terhadap Kinerja Proyek Konstruksi," *Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 83-95, 2012.
- [9] H. Susila, "PELAKSANAAN K3 PADA PROYEK PEMBANGUNAN INTERCHANGE," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, pp. 18-24, 2019.

KAJIAN PENILAIAN KONDISI JEMBATAN MENGGUNAKAN PEDOMAN PEMERIKSAAN JEMBATAN 2022 DAN *BRIDGE HEALTH INDEX* (BHI)

*Ayu Saraswati¹, Muhammad Fathur Aditya²

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara, Kendari

*) Email: ayusaraswati30@gmail.com

Received: 7 November 2025 ; Revised: 25 November 2025 ; Accepted: 27 November 2025

ABSTRACT

Indonesia remains committed to prioritizing national infrastructure development in an effort to boost regional economic growth. Proper optimization of funds is necessary, given the high maintenance costs. Thus, proper procedures and systematic implementation are essential. To achieve the best results, a bridge management system is needed. However, in its implementation, the bridge management system in Indonesia still faces assessment challenges (bias) that can affect the results, so input is needed in its development. To evaluate the assessment system in the 2022 Bridge Inspection Guidelines, this study aims to adopt the Bridge Health Index (BHI) method. This study attempts to identify the advantages and disadvantages of both approaches, which are expected to contribute significantly to the development of bridge management systems in Indonesia. Based on the results, it can be seen that the Jatirejo Bridge and Petung River have an NK of 2, while in the BHI assessment, the Jatirejo Bridge has a score of 95.38% and the Petung River has a score of 92.27%. The BHI method provides a priority order for handling based on bridge condition values, while for the 2022 Guidelines, the priority order cannot yet be determined because there is still a bias between the condition values of one bridge and another, so further analysis is needed. Based on the comparison results, damage to the core elements of the bridge will be prioritized when these elements are weighted. The ranking results can be made clearer by using a numerical assessment range and a weighting scheme, which reduces bias. This perspective is important to provide input for developers and contribute to the growth of Indonesia's bridge management system in the future.

Keyword: Bridge Management System, Bridge Health Index, Bridge Inspection Guidelines 2022

ABSTRAK

Indonesia terus berkomitmen untuk memberikan prioritas utama pada pengembangan infrastruktur nasional dalam upaya mendorong pertumbuhan ekonomi regional. Optimalisasi dana yang baik diperlukan mengingat biaya pemeliharaan yang tinggi. Dengan demikian, prosedur yang tepat dan implementasi yang sistematis menjadi hal yang penting. Untuk memperoleh langkah terbaik, sistem manajemen jembatan dibutuhkan. Namun demikian, dalam penerapannya sistem manajemen jembatan di Indonesia masih dihadapkan pada tantangan penilaian (bias) yang dapat mempengaruhi hasil, sehingga diperlukan masukan dalam pengembangannya. Untuk mengevaluasi sistem penilaian pada Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022, penelitian ini bertujuan untuk mengadopsi metode *Bridge Health Indeks* (BHI). Penelitian ini mencoba untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan kedua pendekatan tersebut, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem manajemen jembatan di Indonesia. Dari hasil analisis dapat dilihat Jembatan Jatirejo dan Sungai Petung memiliki NK 2, sementara dalam penilaian BHI Jembatan Jatirejo memiliki nilai 95,38% dan 92,27% untuk Sungai Petung. Metode BHI memberikan urutan prioritas penanganan berdasarkan nilai kondisi jembatan, sedangkan untuk Pedoman 2022 urutan prioritas masih belum bisa ditentukan karena masih menimbulkan bias antara nilai kondisi jembatan satu dengan yang lainnya, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut. Berdasarkan hasil perbandingan, kerusakan pada elemen inti jembatan akan diprioritaskan saat elemen-elemen tersebut diberi bobot. Hasil peringkat dapat dibuat lebih jelas dengan menggunakan rentang penilaian numerik dan skema pembobotan, yang mengurangi bias. Padangan ini penting untuk memberi masukan bagi pengembang dan berkontribusi pada pertumbuhan sistem manajemen jembatan Indonesia di masa depan.

Kata kunci: Sistem Manajemen Jembatan, *Bridge Health Index* (BHI), Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, Indonesia terus mengupayakan percepatan pembangunan infrastruktur nasional sebagai langkah untuk meningkatkan konektivitas serta mendorong pertumbuhan ekonomi di berbagai wilayah. Pembangunan jalan dan jembatan menjadi salah satu prioritas utama pemerintah dalam program infrastruktur, mengingat peran strategisnya dalam menghubungkan antarwilayah dan memperkuat perekonomian nasional. Jembatan sebagai elemen infrastruktur kritis memainkan peran penting dalam menjaga konektivitas dan keberlanjutan sistem transportasi [1]. Mengingat peran vital jembatan dalam sistem transportasi, penilaian terhadap kondisi menjadi aspek penting untuk menjamin infrastruktur tersebut beroperasi secara optimal, aman, dan efisien. Sehingga dalam menjaga fungsionalitasnya, upaya pemeliharaan seperti inspeksi rutin perlu untuk dilakukan [2]. Oleh karena itu, sistem manajemen jembatan sangat perlu untuk diterapkan dalam hal merencanakan suatu program pemantauan maupun pemeliharaan pada jembatan [3].

Di Indonesia, penerapan sistem manajemen jembatan telah dimulai sejak tahun 1993 oleh Direktorat Jenderal Bina Marga melalui penggunaan metode *Bridge Management System* (BMS), hingga sekarang (Pedoman pemeriksaan jembatan, 2022), namun implementasi BMS ini masih kurang baik. Sejak penerapannya, masih banyak jembatan ditemukan rusak, bahkan runtuh. Saat ini, Indonesia masih berfokus pada konstruksi, bukan pekerjaan pemeliharaan. Kurangnya anggaran pengelolaan, sumber daya manusia yang kurang memadai, dan mengabaikan standar prosedur serta manual menjadi masalah utama dalam implementasi manajemen jembatan di Indonesia. Perbaikan dan pemutakhiran prosedur dan standar mutu serta pelatihan khusus bagi inspektur jembatan dan petugas pemeliharaan perlu untuk dilakukan. Pengembangan sistem ini terus dilakukan untuk meningkatkan efektivitas dalam pemantauan kondisi jembatan. Nilai kondisi digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas kegiatan pemeliharaan yang tepat. Akan tetapi dalam penerapannya, sistem ini masih perlu untuk ditingkatkan [4]. Penilaian yang bersifat hierarki menyebabkan bias pada hasil akhir yang memungkinkan hasil tidak akurat, sehingga sulit dalam mengoptimalkan alokasi dana pemeliharaan sesuai dengan urgensi jembatan [2], [5], [6]. Oleh karena itu, upaya dalam mengoptimalkan sistem manajemen jembatan masih terus dilakukan [7].

Beberapa literatur nasional maupun internasional menjelaskan sejumlah pendekatan yang dapat digunakan untuk menilai kondisi jembatan [8]. Salah satu pendekatan tersebut adalah *Bridge Health Index* (BHI). Metode ini digunakan untuk merencanakan program pemantauan jembatan dengan menghitung nilai sisa jembatan berdasarkan rasio kondisi dari setiap elemen, dengan mempertimbangkan bobot elemen yang diperoleh dari biaya kegagalan, biaya perbaikan, atau bobot yang telah ditentukan sebelumnya [9], [10], [11], [12]. Melalui pertimbangan bobot tersebut, prioritas perbaikan jembatan dapat ditetapkan dengan mendahulukan elemen-elemen yang memiliki pengaruh penting terhadap fungsi jembatan secara keseluruhan [13]. Beberapa penelitian dalam upaya mengoptimalkan pengembangan sistem manajemen jembatan telah dilakukan [2], [6], [7], [14], [15]. Secara keseluruhan kajian mendalam terkait penerapan BHI belum banyak dibahas. Indeks kesehatan ini telah digunakan secara luas di beberapa negara bagian dan menunjukkan potensi untuk bisa diadopsi di berbagai negara. Penelitian ini berfokus untuk membandingkan hasil penilaian dengan menggunakan metode BMS Indonesia (Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022) dan BHI untuk mengetahui bagaimana pengaruh pertimbangan bobot elemen terhadap penilaian kondisi jembatan. Dengan perbandingan yang dilakukan, penelitian ini mencoba melihat apakah perbedaan penilaian cukup signifikan dan memiliki pengaruh terhadap pengambilan keputusan penanganan jembatan.

2. METODE

Objek dan Metodologi Penelitian

Jembatan yang menjadi objek penelitian berupa balok tipe I Girder, seperti yang tercantum pada Tabel 1. Pemilihan jembatan sungai didasarkan pada tingkat kerusakan yang lebih tinggi akibat pengaruh faktor lingkungan sungai, seperti perilaku air yang dapat merusak struktur jembatan, termasuk erosi, degradasi dan penyempitan aliran. Data yang digunakan berupa data sekunder, yang meliputi inventaris jembatan dan laporan inspeksi visual terperinci yang diperoleh dari PT. Jasa Marga. Data tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan metode Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022 dan BHI melalui laporan setiap elemen yang rusak, yang mencakup volume kerusakan.

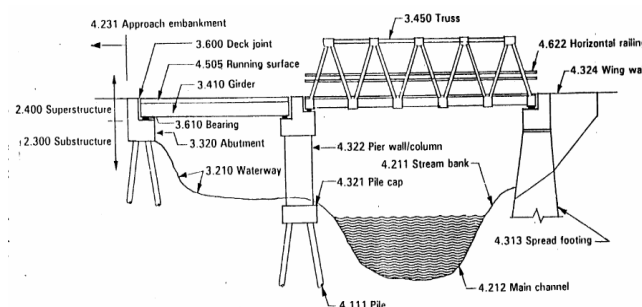
Tabel 9. Objek Penelitian

No.	Nama Jembatan	Lebar (m)	Panjang (m)
1.	Sungai Petung	25,2	410
2.	Jenangan	32,4	188,7
3.	Jatirejo	32,4	253

Sumber: PT Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri

Prosedur Penilaian Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022

Dalam penilaian jembatan di Indonesia, standar yang dijadikan acuan dalam penilaian kondisi yaitu Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022. Elemen jembatan dibagi berdasarkan sistem hierarki menjadi 5 level. Level 1 merupakan elemen keseluruhan jembatan, level 2 merupakan bagian utama dari jembatan, level 3 merupakan penjabaran dari komponen level 2, Level 4 merupakan komponen terkecil dari jembatan yang berjumlah 99 komponen di bawah level 3, dan Level 5 merupakan elemen pembeda antar elemen dengan tipe sama pada lokasi yang berbeda. Adapun contoh uraian mengenai istilah umum elemen jembatan dapat dilihat pada Gambar 1 [16].



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 1993

Gambar 1. Istilah Umum Jembatan

Untuk menyederhanakan prosedur penilaian kondisi, hanya elemen dengan kerusakan saja yang akan dicatat. Setiap elemen yang memiliki kerusakan akan dinilai kondisinya berdasarkan nilai S, R, K, F, dan P, dimana nilai tersebut akan berhubungan dengan pertanyaan terkait kerusakan jembatan dan Nilai 1 atau 0 diberikan pada elemen sesuai dengan setiap kerusakan yang ada seperti pada Tabel 2. Penilaian kondisi jembatan dilakukan dengan mengisi form pemeriksaan detail, yang berupa penilaian Level 5 dan Level 4 elemen jembatan. Setelah itu penilaian dilanjutkan untuk elemen yang lebih tinggi dalam hierarki sehingga dapat diperoleh nilai kondisi secara keseluruhan jembatan (NK). Penilaian dilakukan dengan cara mengevaluasi sejauh mana kerusakan dalam elemen pada Level yang lebih rendah mempengaruhi elemen – elemen pada Level yang lebih tinggi berikutnya.

Tabel 2. Kriteria Penentuan Nilai Kondisi

Sistem penilaian	Kriteria Elemen		Nilai
Struktur (S)	Kondisi struktural suatu elemen	Berbahaya	1
		Tidak berbahaya	0
Kerusakan (R)	Sejauh mana tingkat kerusakan suatu elemen	Parah	1
		Tidak parah	0
Kuantitas (K)	Tingkat perkembangan volume kerusakan suatu elemen	Lebih dari 30 % untuk elemen struktural dan 50 % untuk elemen non-struktural	1
		Kurang dari nilai di atas	0
Fungsi (F)	Apakah elemen masih berfungsi atau tidak	Elemen tidak berfungsi	1
		Elemen berfungsi	0
Pengaruh (P)	Apakah kerusakan elemen berpengaruh serius pada elemen lain	Mempengaruhi elemen lain	1
		Tidak mempengaruhi elemen lain	0

$$NK = S + P + K + F + R$$

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022

Tabel 3. Deskripsi Nilai Kondisi Jembatan

Nilai kondisi (NK)	Kondisi jembatan	Program Penanganan
0	Jembatan dalam kondisi baik	
1	Jembatan dalam kondisi rusak ringan, dimana kerusakan dapat diperbaiki melalui pemeliharaan rutin, dan tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan	Pemeliharaan rutin
2	Jembatan dalam kondisi rusak sedang, dimana kerusakan memerlukan pemantauan atau pemeliharaan pada masa yang akan datang	Pemeliharaan berkala
3	Jembatan dalam kondisi rusak berat, dimana kerusakan yang membutuhkan perhatian karena kerusakan mungkin menjadi serius dalam 12 bulan	Rehabilitasi dan/atau perkuatan
4	Jembatan dalam kondisi kritis, dimana kerusakan serius membutuhkan perhatian segera	Perkuatan atau penggantian
5	Jembatan dalam kondisi runtuh, dimana jembatan runtuh dan tidak berfungsi	Penggantian

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022

Setelah melakukan pemeriksaan nilai kondisi elemen pada Level 5, Level 4, dan Level 3, selanjutnya dilakukan penilaian kondisi untuk elemen pada Level yang lebih tinggi dalam hierarkis untuk memperoleh nilai kondisi (NK) jembatan. Berbeda dengan penilaian Level 5 – 3, pada Level 2 dan Level 1 pemeriksaan nilai kondisi elemen jembatan hanya memperhitungkan elemen struktural sesuai dengan klasifikasi elemen yang tertera pada Pedoman 2022. Hal tersebut terkait dengan alokasi dana rehabilitasi dan penggantian jembatan yang lebih banyak diperuntukkan untuk elemen struktural jembatan [17]. Nilai akhir dari keseluruhan penilaian jembatan dapat dideskripsikan dalam Tabel 3.

Prosedur Penilaian *Bridge Health Index* (BHI)

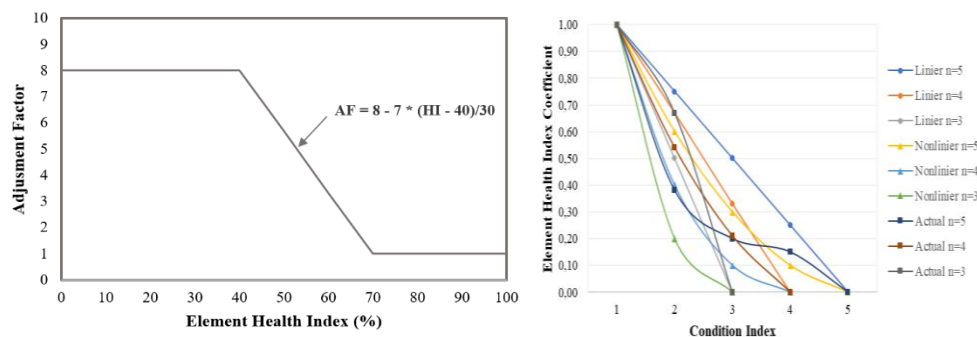
Bridge Health Index (BHI) merupakan penilaian kondisi elemen jembatan berdasarkan rasio kondisi elemen saat ini dengan rasio kondisi elemen saat terbaiknya (optimal). BHI menggunakan peringkat numerik 0 – 100 % dalam menggambarkan cerminan data inspeksi elemen. Premise dari BHI adalah bahwa setiap elemen jembatan (saat baru) memiliki nilai aset awal dalam *Condition State* (CS) [18], sehingga dalam penilaiannya diterapkan berdasarkan CS elemen jembatan. Dalam menilai jembatan dengan menggunakan *Health Index* (HI), diperlukan penilaian elemen berdasarkan *Condition State* yang dilakukan secara visual [19]. Indeks Kesehatan (HI) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 – 3 [13], [20]. Untuk menyajikan rasionalitasnya, dibuat deskripsi kondisi dengan menggunakan zona health index yang ditunjukkan pada Tabel 3.

$$H_e = \frac{\sum k_s^n q_s}{\sum q_s} \times 100\% \quad (1)$$

$$we_e^{aj} = w_e \times AF_e \quad (2)$$

$$BHI = \frac{\sum H_e we_e^{aj}}{\sum we_e^{aj}} \times 100 \quad (3)$$

dimana q_s adalah kuantitas elemen, k_s^n adalah koefisien terhadap *condition state*, we_e^{aj} adalah koefisien berat elemen, AF_e adalah faktor penyesuaian elemen yang ditentukan oleh Gambar 2.



Sumber: a). Greimann dkk., 1991, (b)Jiang,2012

Gambar 2. (a) Adjustment Factor (b) Perbandingan linier, nonlinier dan actual koefisien Health Index

Tabel 3. Deskripsi Bridge Healt Index

BHI	Deskripsi Kondisi
85 – 100	<i>Excellent-No noticeable defects, some aging or wear visible</i>
70 – 84	<i>Very good-Only minor deterioration or defects evident</i>
55 – 69	<i>Good-Some deterioration or defects evident, function not impaired</i>
40 – 54	<i>Fair – Moderate deterioration, function not seriously impaired</i>
25 – 39	<i>Poor-Serious deterioration in at least some portion of structure, function seriously impaired</i>
10 – 24	<i>Very poor-Extensive deterioration, barely functional</i>
0 – 9	<i>Failed-General failure of major component no longer functional</i>

Sumber: US Army Corps of Engineers (USACE)

Untuk mengevaluasi dampak setiap elemen terhadap konstruksi jembatan secara keseluruhan, digunakan bobot koefisien berdasarkan studi Jiang [21]. Faktor penyesuaian digunakan untuk memperkuat dampak elemen – elemen dalam kondisi buruk terhadap nilai BHI. Dalam studi terdahulu ditemukan bahwa tanpa penggunaan faktor penyesuaian, ditemukan bahwa penggunaan faktor penyesuaian lebih obyektif menggambarkan pengaruh elemen pada jembatan secara keseluruhan [10]. Penentuan koefisien pada *condition state* menggunakan persamaan 4. Koefisien HI merupakan pengali untuk menentukan nilai indeks kesehatan suatu elemen terhadap kuantitas yang sesuai. Untuk membuat HI menjadi lebih konservatif, penggunaan koefisien non-linear, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 diperkenalkan. Untuk penentuan koefisien HI, penelitian ini menggunakan tiga pendekatan, diantaranya berupa koefisien linier, nonlinier dan actual yang disajikan pada Gambar 2b.

$$k_s = \frac{n-s}{n-1} \quad (4)$$

dimana k_s adalah koefisien *health index* terhadap *condition state*, n adalah jumlah penggunaan *condition state* ($n = 3, 4, \text{ and } 5$), dan s adalah indeks *condition state* ($s = 1, 2, \dots, n$).

Tabel 1. Koefisien Non-Linier Health Index

Jumlah Condition States	CS 1	CS 2	CS 3	CS 4	CS 5
5	1.00	0.35	0.20	0.15	0.00
4	1.00	0.54	0.21	0.00	
3	1.00	0.67	0.00		

Sumber: Jiang, 2012

Untuk mengetahui nilai jembatan diperlukan penilaian secara visual berdasarkan *condition state*. Panduan penilaian dapat dilihat pada Manual for Bridge Element Inspection AASHTO [19]. Tinjauan elemen dapat mencakup peninjauan terhadap catatan inspeksi lapangan dan foto – foto. Secara umum skala dalam *condition states* berupa *Goods* (CS 1, tidak ada deteriorasi sampai pada deteriorasi minor), *Fair* (CS 2, minor sampai pada deteriorasi sedang), *Poor* (CS 3, sedang sampai dengan deteriorasi parah, dan *Severe* (CS 4, kerusakan yang lebih parah dari pada CS 3). Indeks ini secara sistematis mengevaluasi dan memberi peringkat pada struktur dan elemen penyusunnya. Health Index dimaksudkan untuk memfokuskan manajemen pada struktur yang paling mungkin memerlukan perbaikan dan evaluasi lebih lanjut. Untuk itu zona health index yang telah digunakan oleh U.S. Army Corps of Engineers (USACE) seperti pada Tabel 5 diadaptasi untuk memberikan saran tindakan berdasarkan *health index* yang dihasilkan. Berdasarkan penjelasan kedua metode di atas, Gambar 3 merupakan ilustrasi proses yang digunakan untuk menentukan Nilai Kondisi Jembatan.

Tabel 5. Rekomendasi Penanganan Condition Index

Zona	CI (%)	Rekomendasi Penanganan
1	70 – 100	<i>Immediate action is not required</i>
2	40 – 69	<i>Economic analysis of repair alternatives is recommended to determine appropriate action</i>
3	0 – 39	<i>Detailed evaluation is required to determine the need for repair, rehabilitation, or reconstruction. Safety evaluation is recommended</i>

Sumber: US Army Corps of Engineers (USACE)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian Kondisi Elemen Berdasarkan Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022

Penilaian kondisi jembatan dilakukan secara hierarki, dimulai dari pemeriksaan level terkecil (Level 5) hingga level terbesar (Level 1). Penilaian elemen jembatan didasarkan pada aspek Struktur (S), Kerusakan (R), Kuantitas (K), Fungsi (F) serta Pengaruh (P). Pencatatan dilakukan hanya pada elemen yang mengalami kerusakan. Setiap kerusakan yang terjadi pada level elemen yang lebih rendah akan digunakan untuk pemeriksaan elemen dilevel atasnya. Penilaian pada elemen level 3 memiliki cakupan yang lebih luas dan dilakukan berdasarkan elemen yang mengalami kerusakan pada level 4. Pada level 2, penilaian dilakukan pada elemen – elemen yang dikategorikan sebagai elemen struktural yang mengalami kerusakan, dan Level 1 yang menggambarkan nilai kondisi dari keseluruhan jembatan. Berdasarkan sistem penilaian yang telah diuraikan, nilai kondisi dari semua jembatan yang menjadi objek penelitian dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi nilai kondisi jembatan dengan metode Pedoman 2022

Nama Jembatan	NK	Elemen dengan NK tertinggi (Level 4)
Jenangan	3	Beberapa elemen yang memiliki NK 3 yaitu Dinding Penahan Tanah, Pile Jembatan, dan Aliran Sungai
Sungai Petung	2	Elemen seperti Abutment, Diafragma, Gelagar, Parapet, Slab on Pile, dan Pipa Cucuran memiliki nilai kondisi yang serupa yaitu NK 2
Jatirejo	2	Beberapa elemen seperti Pelat, Abutmen, Pipa Cucuran, dan Parapet memiliki nilai kondisi yang serupa yaitu NK 2

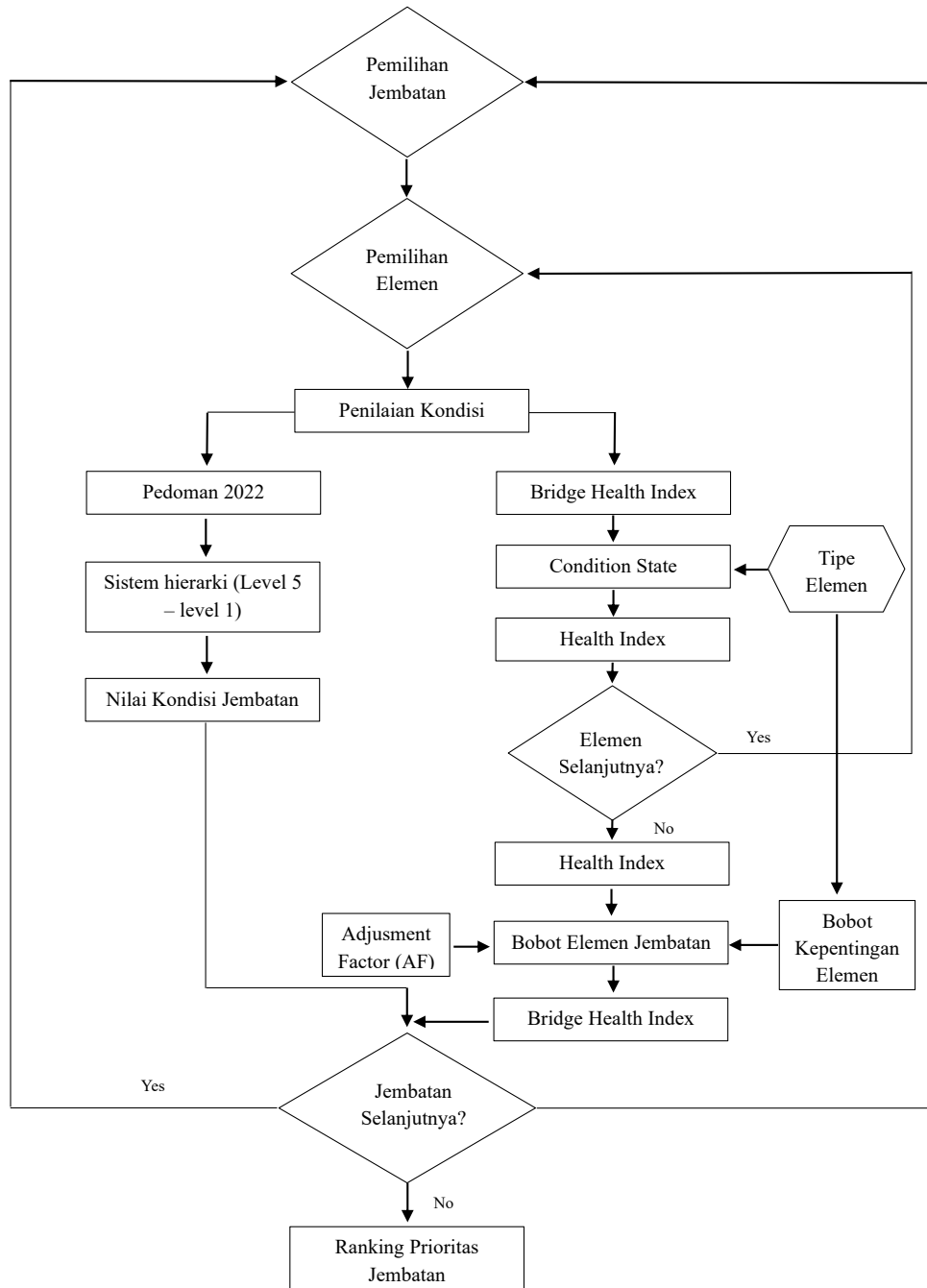
Penilaian Kondisi Elemen Berdasarkan BHI

Pada metode ini, penilaian dilakukan dengan menggunakan *Condition State* menggunakan Manual for Bridge Element Inspection AASHTO (AASHTO, 2019), panduan ini memberikan petunjuk umum untuk menentukan tingkat kerusakan. Tinjauan yang dilakukan mencakup peninjauan terhadap catatan inspeksi lapangan dan foto-foto elemen yang rusak (dimana pendekatan BHI ini setara dengan penilaian level 4 dalam Pedoman Pemeriksaan

Jembatan 2022). Tingkat kerusakan elemen ditentukan oleh kerusakan yang dihitung berdasarkan kuantitasnya. Setelah mengetahui nilai *Health Index* yang diperoleh dari penilaian *Condition State*, selanjutnya menentukan nilai kondisi keseluruhan jembatan dengan menggunakan *Adjustment Factor* dan bobot kepentingan elemen. Adapun rekapitulasi perhitungan nilai kondisi jembatan berdasarkan metode ini disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi nilai kondisi jembatan BHI

Nama Jembatan	BHI (%)	Kerusakan Dominan	
		Elemen	HI (%)
Jenangan	70,89	Abutment	51,78
Sungai Petung	92,27	Abutment	76,00
Jatirejo	95,38	Pile Head	80,77



Gambar 3. Flowchart Metode Penilaian Jembatan

Prioritas Pemeliharaan Jembatan

Dari kedua metode penilaian, dapat disusun suatu prioritas penanganan dengan perbandingan seperti pada Tabel 8, dimana dalam Pedoman 2022 terdapat bias dalam penentuan prioritas penanganannya. Hal ini disebabkan karena adanya kesamaan nilai kondisi, sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut untuk mengetahui ranking prioritas pemeliharaan jembatan. Adapun untuk prioritas dengan menggunakan metode BHI dapat memberikan urutan yang lebih jelas, dengan memprioritaskan kerusakan pada elemen struktural. Perbedaan kedua metode terletak pada penggunaan bobot kepentingan elemen. Walaupun cakupan pemeriksaan elemen lebih luas pada Pedoman 2022, tetapi nilai akhir kurang merepresentasikan kondisi keseluruhan. Hal ini dikarenakan penilaian yang masih bersifat hierarki pada level 3-1.

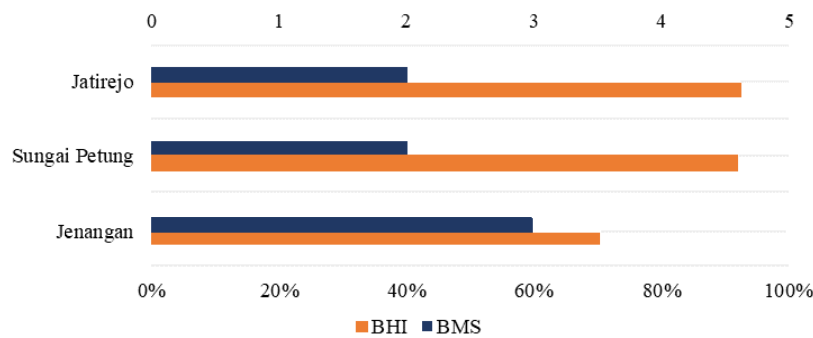
Tabel 8. Perbandingan Nilai Kondisi dan Urutan Prioritas

Urutan Prioritas	Nama Jembatan	Pedoman 2022	BHI
1	Jenangan	3	70,89%
2	Sungai Petung	2	92,27%
3	Jatirejo	2	92,38%

Dari hasil analisis yang dilakukan, diperoleh bahwa metode Pedoman 2022 memiliki kesamaan antar penilaian elemen maupun antar jembatan satu dengan lainnya. Dibandingkan dengan hasil dari metode BHI, diperoleh nilai yang digambarkan secara numerik sehingga tidak menimbulkan kesamaan antar elemen maupun jembatannya. Ilustrasi dari perbandingan hasil akhir penilaian kedua metode ini dapat dilihat pada Gambar 4. Sistem ranking pada Pedoman 2022 bergantung pada sistem hierarki elemen, hal ini mengakibatkan hasil akhir tidak dapat menggambarkan keseluruhan jembatan karena hanya berdasarkan kerusakan yang dominan. Hal ini sejalan dengan pendapat pendapat Vaza [22], yang menjelaskan bahwa berdasarkan penerapannya BMS sulit untuk mendefinisikan penilaian jembatan saat mengevaluasi kondisinya, hasil yang diperoleh tidak selalu merepresentasikan kondisi aktual lapangan serta tingkat kepentingan elemen jembatan terhadap kondisi jembatan secara keseluruhan tidak jelas. Berbeda dengan penilaian yang dilakukan berdasarkan metode BHI, dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan tidak menimbulkan bias dan bobot kepentingan elemen dari penilaian ini telah diterapkan. Sehingga diharapkan adanya usulan penggunaan bobot dalam pengembangan sistem BMS Indonesia, agar hasil akhir penilaian dapat dipisahkan antara resiko pengaruh dan kepentingan elemennya karena bobot yang lebih besar atau elemen dengan tingkat kepentingan tinggi adalah yang paling mungkin menyebabkan kegagalan jembatan. Namun demikian, diluar dari bobot elemen, Pedoman 2022 lebih unggul dalam hal memperhitungkan jenis elemen. Elemen yang digunakan dalam pemeriksaan pada Level 5 sangat detail. Adapun perbandingan kedua metode ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Metode Sistem Manajemen Jembatan

Item	Pedoman 2022	BHI
Aspek Penilaian	Terdapat lima aspek penilaian yaitu Struktur (S), Tingkat Kerusakan (R), Fungsi (F), Volume Kerusakan (K) dan Pengaruh (P).	Penilaian berdasarkan rasio kondisi elemen jembatan.
Elemen Jembatan	Terdapat elemen jembatan yang telah disesuaikan dengan jenis jembatan yang umum di Indonesia.	Elemen-elemen utama (core) yang dianggap krusial bagi jembatan dari beberapa jenis jembatan yang umum.
Bobot Kepentingan Elemen	Tidak ada	Menggunakan bobot yang bisa ditetapkan berdasarkan biaya penggantian, biaya perbaikan, dan kepentingan elemen. Bobot ditentukan tergantung kebijakan negara yang menggunakan.
Prosedur Penilaian	Berdasarkan penilaian secara hierarki pada elemen yang mengalami kerusakan dari level 5 hingga level 1.	Berdasarkan penilaian elemen jembatan yang mengalami kerusakan dan kemudian dikelompokkan berdasarkan <i>Condition State</i> .
Hasil Akhir	Bilangan genap dalam rentang nilai kondisi 1 – 5.	Dinyatakan dalam nilai numerik dengan rentang 0 – 100%.
Prioritas Penanganan Jembatan	Melalui Skrinning teknis dan evaluasi ekonomi.	Dapat disusun berdasarkan pemeriksaan kondisi jembatan.
Proyeksi Sisa Umur	Berdasarkan nilai kondisi dalam rentang nilai 1 – 5.	Berdasarkan nilai kondisi dalam rentang nilai 0 – 100%
Rekomendasi Penanganan	Terdapat rekomendasi bentuk penanganan yang dapat dilakukan.	Tidak ada rekomendasi secara spesifik, hanya berupa uraian umum.
Kesulitan Penggunaan	Terdapat banyak aspek dan elemen jembatan yang perlu dinilai dan dianalisis dalam proses penentuan nilai kondisi.	Terdapat kesulitan saat mengukur kuantitas kerusakan dan total elemen.



Gambar 4. Perbandingan Hasil Penilaian Jembatan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dipaparkan, diperoleh bahwa dengan adanya bobot kepentingan elemen seperti pada metode BHI akan memprioritaskan kerusakan pada elemen struktural. Hal ini belum dapat ditemukan pada Pedoman 2022 karena sistem penilaian masih bersifat hierarki sehingga menyebabkan bias pada nilai kondisinya. Dengan adanya bobot kepentingan elemen, maka jembatan yang memiliki kerusakan pada elemen krusial akan lebih diprioritaskan. Kerusakan yang terjadi pada elemen yang memiliki bobot tinggi akan berbanding lurus dengan nilai kondisinya. Urutan prioritas penanganan pada Pedoman 2022 tidak dapat ditentukan karena memiliki nilai yang bias, berbeda dengan metode BHI, urutan dapat ditentukan berdasarkan nilai kondisinya. Nilai kondisi akhir jembatan yang dinyatakan dalam suatu rentang nilai membuat pemeringkatan menjadi lebih jelas karena memiliki nilai yang berbeda sehingga dapat menghindari terjadinya bias.

Acknowledgement

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Jasa Marga dan pihak-pihak terkait lainnya atas pemberian akses terhadap laporan inspeksi visual komprehensif jembatan serta izin untuk menggunakan analisis dan hasilnya dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Chassiakos, P. Vagiotas, and D. D. Theodorakopoulos, "A knowledge-based system for maintenance planning of highway concrete bridges," *Advances in Engineering Software*, vol. 36, no. 11–12, pp. 740–749, 2005.
- [2] O. Wahyudhi, A. Aminullah, and A. Triwiyono, "Modifikasi Penilaian pada Sistem Manajemen Jembatan di Indonesia (Interurban Bridge Management System) dengan Mengimplementasikan Condition States dari Metode Bridge Health Index," *Prosiding Semnas SINTA FT UNILA*, vol. 1, 2018.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Pedoman Pemeriksaan Jembatan," 2022.
- [4] S. D. Puspitasari, S. Harahap, and P. Astuti, "A Critical Review of Bridge Management System in Indonesia," in *Proceedings of the 5th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering: ICRMCE 2021, July 8-9, Surakarta, Indonesia*, Springer, 2022, pp. 381–389.
- [5] H. Vaza, "Research on the Improvement of Bridge Management System 1992" Case of Bridge Condition Assessment in the Decentralized Indonesia", 2016.
- [6] A. P. Nugroho, "Perbandingan Penilaian Kondisi Jembatan Metode BMS (Bridge Management System) dan MPN (Maintenance Priority Number)," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2017.
- [7] S. D. Puspitasari and S. Harahap, "Bridge inspection implementations and maintenance planning—A comparative analysis of a few distinctive countries," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 2023, p. 050007.
- [8] S. B. Chase, Y. Adu-Gyamfi, A. E. Aktan, and E. Minaie, "Synthesis of national and international methodologies used for bridge health indices," 2016.
- [9] X. Jiang, "Analysis of Bridge Health Index for The City and Country of Denver, Colorado," University of Colorado, Denver, Colorado, 2012.
- [10] S. Inkoom, J. O. Sobanjo, P. D. Thompson, R. Kerr, and R. Twumasi-Boakye, "Bridge health index: Study of element condition states and importance weights," *Transp Res Rec*, vol. 2612, no. 1, pp. 67–75, 2017.
- [11] J. O. Sobanjo and P. D. Thompson, "Implementation of the 2013 AASHTO manual for bridge element inspection," 2016.
- [12] S. S. Wakchaure and K. N. Jha, "Determination of bridge health index using analytical hierarchy process," *Construction Management and Economics*, vol. 30, no. 2, pp. 133–149, 2012.

- [13] A. Saraswati and A. P. L. Thahir, "A COMPARISON OF METHODOLOGIES TO ASSESS BRIDGE CONDITION," *SINERGI: Jurnal Riset Ilmiah*, vol. 2, no. 3, pp. 1541–1551, 2025.
- [14] A. L. Ramdhani and Sumargo, "Comparison of Condition Rating and Bridge Remaining Life Based on Bridge Management System and Bridge Condition Ratio," in *International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2020)*, Atlantis Press, 2020, pp. 191–196.
- [15] A. S. Wijaya, A. Aminullah, and A. S. B. Nugroho, "Prioritas Pemeliharaan Jembatan Pada Ruas Jalan Nasional Daerah Istimewa Yogyakarta," *Civil Engineering, Environmental, Disaster & Risk Management Symposium ...*, 2021.
- [16] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Interurban Bridge Management System (IBMS)*. Republik Indonesia, 1993.
- [17] R. Irawan, A. Wahyudi, and I. Murtosidi, "Development of bridge inspection quality assurance for sustainable bridge management system in Indonesia," *Prosiding KRTJ HPJI*, vol. 16, no. 1, pp. 1–14, 2023.
- [18] T. M. Adams and M. M. K. Kang, "Sensitivity analysis of bridge health index to element failure and element conditions," 2009.
- [19] AASHTO, "Manual for Bridge Element Inspection," 2nd ed., 2019.
- [20] R. W. Shepard and M. B. Johnson, "California bridge health index: A diagnostic tool to maximize bridge longevity, investment," *TR News*, no. 215, 2001.
- [21] X. Jiang and K. L. Rens, "Bridge health index for the city and county of Denver, Colorado. II: Denver bridge health index," *Journal of performance of constructed facilities*, vol. 24, no. 6, pp. 588–596, 2010.
- [22] H. Vaza, R. P. Sastrawiria, H. A. Halim, and Septinurriandiani, *Identifikasi Kerusakan & Penentuan Nilai Kondisi Jembatan untuk Mendukung Manajemen Aset Jembatan*, vol. Edisi 1. 2017.

PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN GFRP (STUDI KASUS: GOR BAROMBONG MAKASSAR)

*Muhammad Fathur Aditya¹, Ayu Saraswati²

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara, Kota Kendari

*) Email: muhammadfathuraditya@un-sultra.ac.id

Received: 7 November 2025 ; Revised: 24 November 2025 ; Accepted: 1 Desember 2025

ABSTRACT

Shear failure is recognized as a brittle and sudden collapse mode, making it a critical issue that necessitates effective strengthening solutions for reinforced concrete beam structures. The main objective of this study is to evaluate the effectiveness and feasibility of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) composite as external reinforcement to address the shear strength deficit in reinforced concrete beams. The case study focuses on the West Tribune beams of GOR Barombong Makassar, which experienced shear failure due to a combination of low material quality, exposure to an aggressive marine environment, and increased capacity demands resulting from the seismic standard update from SRPMM to SRPMK. The research methodology utilized analytical calculations based on the ACI 440.2R-08 guidelines. Analysis results indicate that the existing shear strength of the beams is 424.23 kN, while the required additional strength varies from 21.57 kN to 53.93 kN to meet the design shear strength. Six GFRP U-Wrap strengthening configurations were analyzed, demonstrating the capability to provide additional shear strength ranging from 26.68 kN to 55.31 kN. The application of a specific GFRP configuration at the beam supports successfully increased the total shear capacity by 6.3% to 13.0%, proving that GFRP is an effective and efficient shear strengthening solution, and is superior due to its non-corrosive properties, making it suitable for aggressive environments.

Keyword: Shear Strengthening, GFRP, Reinforced Concrete Beams, GOR Barombong Makassar

ABSTRAK

Kegagalan geser dikenal sebagai mode keruntuhan yang getas dan mendadak, menjadikannya masalah penting yang memerlukan solusi perkuatan efektif pada struktur balok beton bertulang. Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas dan kelayakan material komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) sebagai perkuatan eksternal untuk mengatasi defisit kekuatan geser pada balok beton bertulang. Studi kasus dilakukan pada balok Tribun Barat GOR Barombong Makassar, yang mengalami kegagalan geser karena kombinasi mutu material rendah, paparan lingkungan laut agresif, dan peningkatan tuntutan kapasitas akibat pembaruan standar seismik dari SRPMM ke SRPMK. Metode penelitian menggunakan analisis perhitungan berdasarkan pedoman ACI 440.2R-08. Hasil analisis menunjukkan kekuatan geser eksisting balok adalah 424.23 kN, sementara kebutuhan kekuatan tambahan bervariasi dari 21.57 kN hingga 53.93 kN untuk memenuhi kekuatan geser desain. Enam konfigurasi perkuatan GFRP *U-Wrap* dianalisis, yang menunjukkan kemampuan memberikan kekuatan geser tambahan antara 26.68 kN hingga 55.31 kN. Penerapan konfigurasi GFRP spesifik pada tumpuan balok berhasil meningkatkan kekuatan geser total sebesar 6.3% hingga 13.0%, membuktikan bahwa GFRP merupakan solusi perkuatan geser yang efektif dan efisien, serta unggul karena sifatnya yang non-korosif sehingga tepat untuk lingkungan agresif.

Kata kunci: Perkuatan Geser, GFRP, Balok Beton Bertulang, GOR Barombong Makassar

1. PENDAHULUAN

Kegagalan struktur merupakan salah satu permasalahan yang sering dijumpai pada bangunan beton bertulang, baik akibat kesalahan desain, mutu material yang rendah, pelaksanaan yang kurang baik, maupun peningkatan beban kerja akibat perubahan fungsi bangunan. Kegagalan tersebut dapat berupa retak berlebih, kehilangan kekakuan, penurunan kapasitas lentur, maupun kegagalan akibat gaya geser [1], [2], [3], [4], [5]. Dari berbagai jenis kerusakan tersebut, kegagalan geser pada balok beton bertulang merupakan salah satu bentuk kegagalan yang paling berbahaya karena terjadi secara tiba-tiba tanpa peringatan awal yang jelas. Retak diagonal yang berkembang cepat dapat menyebabkan terlepasnya sebagian penampang beton dan pada akhirnya menurunkan kemampuan struktur menahan beban, sehingga berpotensi menyebabkan keruntuhan lokal maupun total. Oleh sebab itu, peningkatan kekuatan geser melalui metode perkuatan menjadi langkah penting dalam rehabilitasi struktur beton bertulang.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk memperkuat elemen beton yang mengalami kerusakan, seperti penambahan pelat baja eksternal, steel plate bonding, concrete jacketing, maupun penggunaan material komposit. Di antara berbagai metode tersebut, *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) menjadi solusi yang banyak digunakan dalam dua dekade terakhir karena menawarkan sejumlah keunggulan dibanding metode konvensional. FRP merupakan material komposit berbasis serat dengan kekuatan tarik tinggi, ringan, tahan terhadap korosi, serta mudah diaplikasikan pada permukaan beton tanpa menambah dimensi penampang [6], [7]. Jenis FRP yang umum digunakan dalam bidang rekayasa struktur antara lain *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), *Aramid Fiber*

Reinforced Polymer (AFRP), dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). Dari ketiga jenis tersebut, GFRP sering menjadi pilihan karena kinerjanya baik, dan memiliki kompatibilitas yang tinggi dengan permukaan beton. GFRP relatif mudah diaplikasikan pada struktur eksisting tanpa memerlukan intervensi struktural besar dan tidak menyebabkan gangguan fungsi bangunan secara signifikan. Selain itu, metode ini dinilai lebih efisien secara biaya dibandingkan metode rehabilitasi konvensional seperti *steel jacketing* atau *concrete encasement*, terutama pada proyek yang menuntut waktu pelaksanaan yang cepat dan akses kerja terbatas [8], [9], [10].

Salah satu kasus nyata yang memerlukan perkuatan struktur adalah GOR Barombong Makassar. Hasil audit fisik menunjukkan bahwa beberapa elemen struktur mengalami penurunan kapasitas akibat mutu beton yang rendah, adanya rongga beton (*honeycomb*), serta korosi tulangan akibat paparan lingkungan laut yang bersifat agresif. Desain awal struktur stadion menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai SNI 1726:2002, padahal berdasarkan pembaruan SNI 1726:2012, struktur stadion seharusnya memenuhi kriteria Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang menuntut kekuatan geser dan daktilitas lebih tinggi. Kondisi ini menyebabkan sejumlah balok, khususnya pada bagian tribun barat, mengalami kegagalan geser dan tidak lagi memenuhi kapasitas rencana [11]. Untuk mengembalikan kemampuan struktur dalam menahan beban, digunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) sebagai material perkuatan eksternal pada elemen balok. Penggunaan GFRP dipilih karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap korosi, serta mampu meningkatkan kekuatan geser tanpa perlu menambah penampang atau memperberat struktur, sehingga sesuai dengan kondisi lapangan yang terbatas dan lingkungan yang korosif.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan efektivitas GFRP dalam meningkatkan kekuatan geser elemen balok beton bertulang. [12] melaporkan bahwa balok dengan tulangan dan sengkang GFRP mengalami peningkatan kekuatan geser sekitar 44% dibanding prediksi ACI, walaupun tetap lebih rendah daripada balok baja karena terbatasnya dowel action dan modulus elastisitas GFRP. [10] membuktikan melalui pengujian di laboratorium bahwa balok yang diperkuat GFRP pada konfigurasi sudut 45° mampu meningkatkan kekuatan geser sebesar 2–2,5% dari balok kontrol, serta menghasilkan pola retak diagonal yang lebih sempit dan mode kegagalan yang lebih terkendali. Sementara itu, [13] melalui simulasi dan validasi numerik menegaskan bahwa pemasangan GFRP dengan konfigurasi U-Wrap atau orientasi 45° menunjukkan kenaikan signifikan terhadap kekuatan geser, walau belum setinggi CFRP, dan dapat mengubah mode kegagalan dari kegagalan geser getas menjadi lebih daktil. Secara umum, berbagai penelitian di atas menyimpulkan bahwa pemakaian GFRP sebagai material perkuatan eksternal dan internal mampu memberikan peningkatan kekuatan geser balok beton bertulang, terutama jika dipasang pada konfigurasi, jumlah lapis, serta orientasi serat yang optimal.

Namun demikian, sebagian besar kajian tersebut dilakukan pada elemen skala laboratorium dengan kondisi material ideal dan belum mempertimbangkan variabel kerusakan yang umum ditemukan pada struktur eksisting. Kajian lain lebih banyak berfokus pada perilaku elemen uji bersifat *controlled environment* dan belum membahas secara mendalam penerapan GFRP sebagai strategi rehabilitasi pada infrastruktur nyata yang telah mengalami deteriorasi, korosi, penurunan mutu material, serta peningkatan kebutuhan kapasitas akibat revisi regulasi seismik. Kebaruan penelitian ini terletak pada penyusunan model evaluasi kekuatan geser balok eksisting yang dikaitkan secara langsung dengan perubahan standar desain seismik dan kondisi deteriorasi lapangan, serta penentuan konfigurasi GFRP yang paling efektif berdasarkan kebutuhan tambahan kekuatan geser pada struktur nyata.

Penelitian ini secara khusus membahas analisis perkuatan balok beton bertulang yang mengalami kegagalan geser menggunakan GFRP, dengan studi kasus GOR Barombong Makassar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan GFRP dalam meningkatkan kekuatan geser elemen balok beton bertulang serta menilai kelayakan metode ini sebagai solusi perkuatan struktur pada bangunan gedung. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode rehabilitasi struktur beton yang efisien, ekonomis, dan tahan terhadap kondisi lingkungan yang agresif.

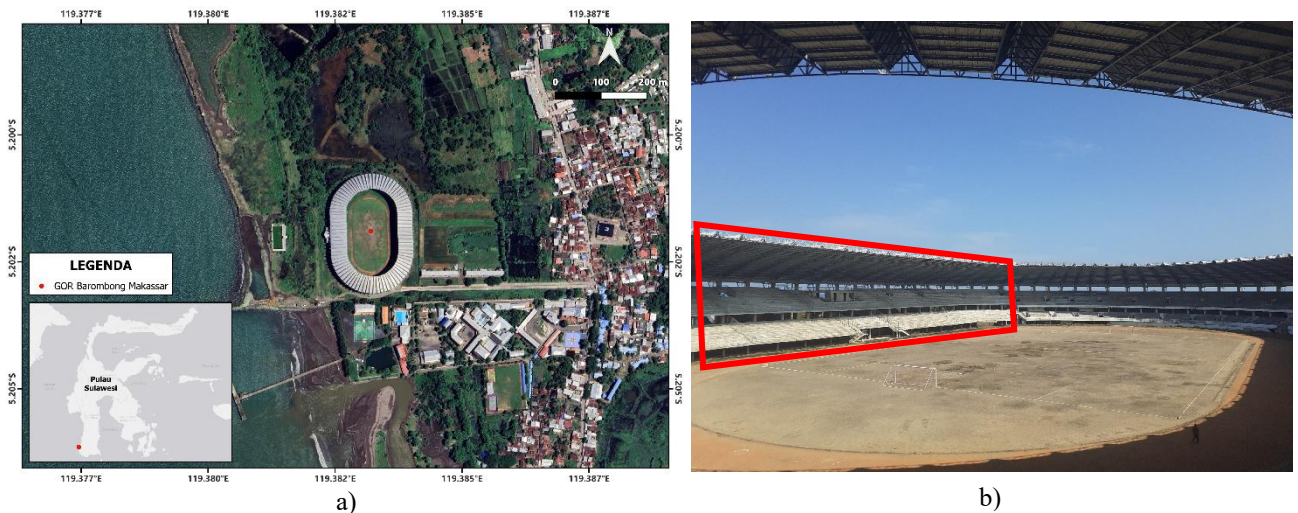
2. METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada GOR Barombong Makassar, Sulawesi Selatan. Struktur GOR secara garis besar dikelompokkan atas empat bagian yaitu Tribun Barat, Tribun Timur, Tribun Utara dan Tribun Selatan. Pada penelitian ini, akan dibahas perkuatan struktur hanya pada bagian Tribun Barat dikarenakan banyak ditemukan kegagalan struktur. Tribun Barat berbentuk lurus ditambah dengan sedikit lengkungan pada kedua ujung sisi. Lokasi dan bentuk Tribun Barat Gor Barombong Makassar dapat dilihat pada Gambar 1.

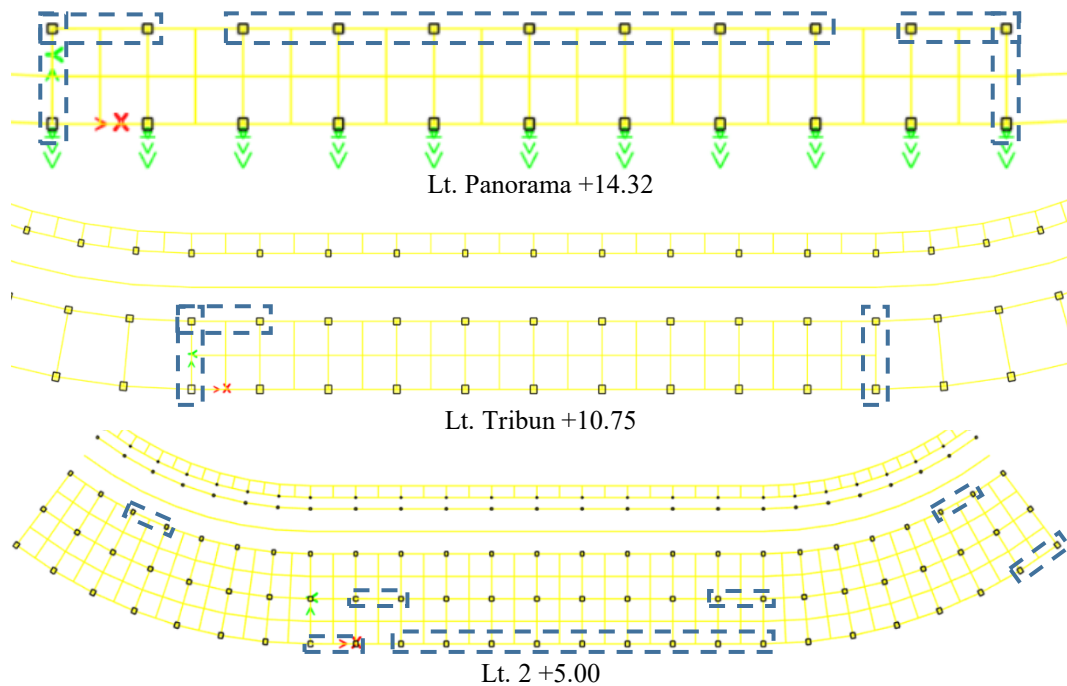
Data yang digunakan

Obyek yang menjadi fokus analisis adalah balok utama pada struktur Tribun Barat GOR Barombong Makassar yang berfungsi menahan beban lantai tribun. Mutu beton eksisting diperoleh berdasarkan hasil uji *core drill* yang dilakukan di lapangan. Nilai kuat tekan rata-rata beton (f'_c) adalah 25.61 Mpa. Baja tulangan yang digunakan pada struktur terdiri atas dua jenis, yaitu tulangan ulir BJTS40 dan tulangan polos BJTP24. Tulangan ulir BJTS40 memiliki tegangan leleh (f_y) sebesar 400 MPa dan tegangan tarik (f_u) sebesar 500 MPa, digunakan sebagai tulangan longitudinal utama maupun tulangan geser. Sementara itu, tulangan polos BJTP24 digunakan untuk elemen-elemen sekunder dengan tegangan leleh (f_y) sebesar 240 MPa dan tegangan tarik putus (f_u) sebesar 360 MPa. Data ini digunakan dalam perhitungan kekuatan geser eksisting (kontribusi beton dan tulangan geser) sebelum perkuatan dilakukan.



Gambar 1. a) Lokasi penelitian; b) Tribun barat

Berdasarkan Laporan Assesmen Stadion Barombong, terdapat 26 balok yang mengalami kegagalan geser. Balok tersebut memiliki dimensi penampang selebar 40 cm dan tinggi 80 cm. Lokasi balok yang mengalami kegagalan geser ditunjukkan pada Gambar 2. Luas tulangan geser terpasang ($A_{v\ eks}$) pada elemen balok eksisting yang mengalami kegagalan geser adalah 2.36 mm²/mm sedangkan kebutuhan luas tulangan geser balok ($A_{v\ des}$) adalah 2.48 mm²/mm sampai 2.66 mm²/mm (lihat Tabel 1). Nilai luas tulangan eksisting digunakan untuk menghitung kekuatan geser balok eksisting sedangkan kebutuhan luas tulangan geser digunakan untuk menghitung kekuatan geser desain balok.



Gambar 2. Lokasi balok yang mengalami kegagalan geser

Material perkuatan yang digunakan adalah GFRP tipe Tyfo® SEH-51A yang direkatkan pada permukaan beton menggunakan resin epoksi. Berdasarkan data teknis pabrikan, GFRP ini memiliki kuat tarik ultimit dalam arah utama serat sebesar 460 MPa, dengan regangan ultimit sebesar 0.02 dan modulus elastisitas sebesar 20900 N/mm². Dalam arah tegak lurus terhadap orientasi utama serat (90°), kuat tarik ultimit material adalah 20.7 MPa. Tebal satu lapis GFRP adalah 1.3 mm, yang menjadi acuan dalam menentukan kebutuhan jumlah lapisan perkuatan. Nilai-nilai karakteristik tersebut digunakan untuk menghitung kontribusi gaya geser tambahan yang dapat diberikan oleh GFRP terhadap elemen balok yang diperkuat.

Tabel 1. Luas tulangan geser eksisting dan luas tulangan geser desain

Kode	$A_{v\ eks}$ (mm ² /mm)	$A_{v\ des}$ (mm ² /mm)	Lokasi
B2	2.36	2.59	Lt. Panorama
B5	2.36	2.52	Lt. Panorama
B45	2.36	2.52	Lt. Panorama
B54	2.36	2.56	Lt. Panorama
B105	2.36	2.58	Lt. Panorama
B1265	2.36	2.59	Lt. Panorama
B1268	2.36	2.52	Lt. Panorama
B1287	2.36	2.52	Lt. Panorama
B1296	2.36	2.56	Lt. Panorama
B1367	2.36	2.58	Lt. Panorama
B2	2.36	2.48	Lt. Tribun
B5	2.36	2.51	Lt. Tribun
B1265	2.36	2.51	Lt. Tribun
B7	2.36	2.49	Lt. 2
B36	2.36	2.65	Lt. 2
B47	2.36	2.49	Lt. 2
B56	2.36	2.49	Lt. 2
B59	2.36	2.51	Lt. 2
B107	2.36	2.49	Lt. 2
B1268	2.36	2.66	Lt. 2
B1270	2.36	2.48	Lt. 2
B1280	2.36	2.49	Lt. 2
B1289	2.36	2.49	Lt. 2
B1298	2.36	2.49	Lt. 2
B1304	2.36	2.48	Lt. 2
B1317	2.36	2.55	Lt. 2
B1368	2.36	2.49	Lt. 2

Kebutuhan Gaya Geser Tambahan

Langkah pertama dalam analisis adalah menentukan kekuatan geser balok eksisting ($V_{s\ eksisting}$) dari elemen balok berdasarkan konfigurasi tulangan terpasang. $V_{s\ eksisting}$ dapat dihitung dengan Persamaan (1).

$$V_{s\ eksisting} = \frac{A_{v\ eks} f_y d}{s} \quad (1)$$

dimana $A_{v\ eks}$ = luas tulangan geser eksisting, f_y = tegangan leleh tulangan geser, d = tinggi balok, dan s = jarak antar tulangan geser.

Selanjutnya kekuatan geser balok desain ($V_{s\ desain}$) dapat dihitung dengan Persamaan (2).

$$V_{s\ desain} = \frac{A_{v\ des} f_y d}{s} \quad (2)$$

dimana $A_{v\ des}$ = luas tulangan geser desain.

Apabila diperoleh hasil bahwa $V_{s\ desain} > V_{s\ eksisting}$, maka selisih antara kekuatan geser desain dan kekuatan geser eksisting merupakan kebutuhan gaya geser tambahan yang harus dipikul oleh GFRP.

Perkuatan Struktur dengan GFRP

Perhitungan kebutuhan perkuatan GFRP dilakukan berdasarkan pedoman ACI 440.2R-08. Kekuatan geser FRP (V_f) dapat dihitung sesuai dengan Persamaan (3) berikut.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} \quad (3)$$

dimana A_{fv} = luas perkuatan geser FRP, f_{fe} = tegangan efektif FRP, α = kemiringan pemasangan FRP, d_{fv} = tinggi efektif FRP, dan s_f = jarak komposit pusat ke pusat. Luas perkuatan geser FRP dapat dihitung dengan Persamaan (4) berikut.

$$A_{fv} = 2n t_f w_f \quad (4)$$

dimana n = jumlah lapis FRP, t_f = ketebalan FRP, dan w_f = lebar FRP.

Tegangan efektif FRP f_{fe} ditentukan dari regangan yang terjadi pada kondisi batas geser, yaitu:

$$f_{fe} = \epsilon_{fe} E_f \quad (5)$$

dimana ϵ_{fe} = regangan efektif FRP, dan E_f = modulus elastisitas FRP. Dalam pengaplikasiannya, regangan efektif dibatasi nilai berikut:

1. Untuk FRP direkatkan pada empat sisi:

$$\epsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75 \epsilon_{fu} \quad (6)$$

2. Untuk FRP direkatkan pada tiga sisi:

$$\epsilon_{fe} = \kappa_v \epsilon_{fu} \leq 0,004 \epsilon_{fu} \quad (7)$$

dimana ϵ_{fu} = regangan ultimit, dan κ_v = faktor reduksi untuk lekatan geser. Pada penelitian ini digunakan FRP yang dilekatkan pada tiga sisi. Nilai κ_v dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\kappa_v = \left(\frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \epsilon_{fu}} \right) \leq 0.75 \quad (8)$$

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0.58}} \quad (9)$$

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} \quad (10)$$

$$k_2 = \left(\frac{df - L_e}{df_v} \right) \text{ untuk } U\text{-wrap} \quad (11)$$

$$k_2 = \left(\frac{df - 2L_e}{df_v} \right) \text{ untuk dua sisi} \quad (12)$$

dimana L_e = panjang ikatan aktif, k_1 = faktor koefisien reduksi ikatan, k_2 = faktor koefisien reduksi ikatan, dan f'_c = kuat tekan beton eksisting. Pada penelitian ini FRP dilekatkan balok balok sehingga membentuk *U-wrap*.

Berdasarkan ACI 440.2R-08, spesifikasi material yang dilaporkan oleh produsen GFRP seperti kekuatan tarik, biasanya tidak mempertimbangkan kondisi lingkungan. Penggunaan jangka panjang dapat mengurangi sifat tarik,

creeps-rupture, dan ketahanan GFRP sehingga spesifikasi material yang digunakan dalam perhitungan desain harus dikurangi faktor reduksi yang nilainya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Nilai faktor reduksi lingkungan berdasarkan ACI 440.2R-08 dapat dilihat pada Tabel 1. Pada penelitian ini digunakan GFRP dengan kondisi eksterior jenis *glass* sehingga nilai C_e yang digunakan dalam analisis adalah 0.65.

Tabel 2. Faktor reduksi akibat pengaruh lingkungan

Kondisi Paparan	Jenis FRP	Faktor Reduksi Lingkungan (C_e)
Interior	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
Eksterior	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Lingkungan agresif yang mengandung zat kimia	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

Sumber: ACI 440.2R-08, 2008

Kuat tarik ultimit (f_{fu}) yang digunakan sebagai dasar perencanaan dan analisis adalah sama dengan tegangan ultimit dari pabrik (f_{fu}^*) yang dikalikan dengan faktor reduksi lingkungan ditunjukkan pada Persamaan (13).

$$f_{fu} = C_e f_{fu}^* \quad (13)$$

Demikian pula dengan nilai regangan ultimit (ϵ_{fu}) dimana regangan ultimit dari pabrik (ϵ_{fu}^*) yang dikalikan dengan faktor reduksi lingkungan ditunjukkan pada Persamaan (14).

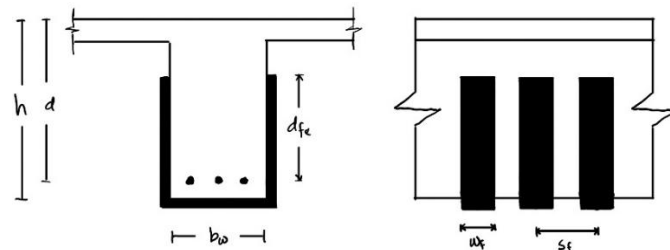
$$\epsilon_{fu} = C_e \epsilon_{fu}^* \quad (14)$$

Meskipun metode analisis yang digunakan mengacu pada pedoman ACI 440.2R-08 dan dianggap memadai dalam mengevaluasi kekuatan geser tambahan akibat perkuatan GFRP, pendekatan ini memiliki sejumlah keterbatasan. Analisis dilakukan dengan asumsi kondisi *perfect bonding* antara GFRP dan permukaan beton, sehingga belum mempertimbangkan variasi kualitas lekatan akibat kondisi lapangan seperti kelembapan beton, kontaminasi permukaan, atau ketidaksempurnaan proses pemasangan, yang pada praktiknya berpotensi menurunkan efektivitas transfer tegangan. Efek jangka panjang seperti *creep-rupture* dan perubahan sifat mekanis akibat paparan lingkungan laut [15], *fatigue degradation* [16], serta potensi *debonding* prematur [17] dapat terjadi tetapi tidak dimodelkan. Dengan demikian, hasil analisis pada penelitian ini merepresentasikan kondisi ideal perkuatan, sehingga validasi lebih lanjut melalui uji eksperimental atau evaluasi numerik berbasis metode elemen hingga diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa perkuatan GFRP pada kondisi nyata.

Konfigurasi GFRP

GFRP dipasang secara eksternal dengan konfigurasi *U-Wrap* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Lembaran GFRP dipasang melingkupi sisi samping dan bagian bawah balok. Untuk mengevaluasi pengaruh variasi lebar lembaran (w_f), jumlah lapisan (n), dan jarak antarlembar (s_f) terhadap peningkatan kekuatan geser, dilakukan enam kombinasi konfigurasi GFRP seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Pemilihan konfigurasi GFRP pada penelitian ini tidak hanya didasarkan pada peningkatan kekuatan geser, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi material, kemudahan pelaksanaan di lapangan, dan keberlanjutan dalam lingkungan korosif. Penguatan dengan GFRP-strip pada balok beton ringan meningkatkan performa geser secara signifikan, namun efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh konfigurasi serat dan metode pemasangan [18]. Dengan dasar tersebut, konfigurasi berupa strip dengan variasi lebar (5 cm, 10 cm, 15 cm) dan jumlah lapis (1–2 lapis) dipilih untuk mengevaluasi rasio luas efektif serat terhadap kontribusi kekuatan geser berdasarkan pedoman American Concrete Institute (ACI 440.2R-08). Konfigurasi strip yang lebih sempit dipilih karena kemudahan pelaksanaan pada balok eksisting dengan akses kerja terbatas dan permukaan beton yang tidak ideal.



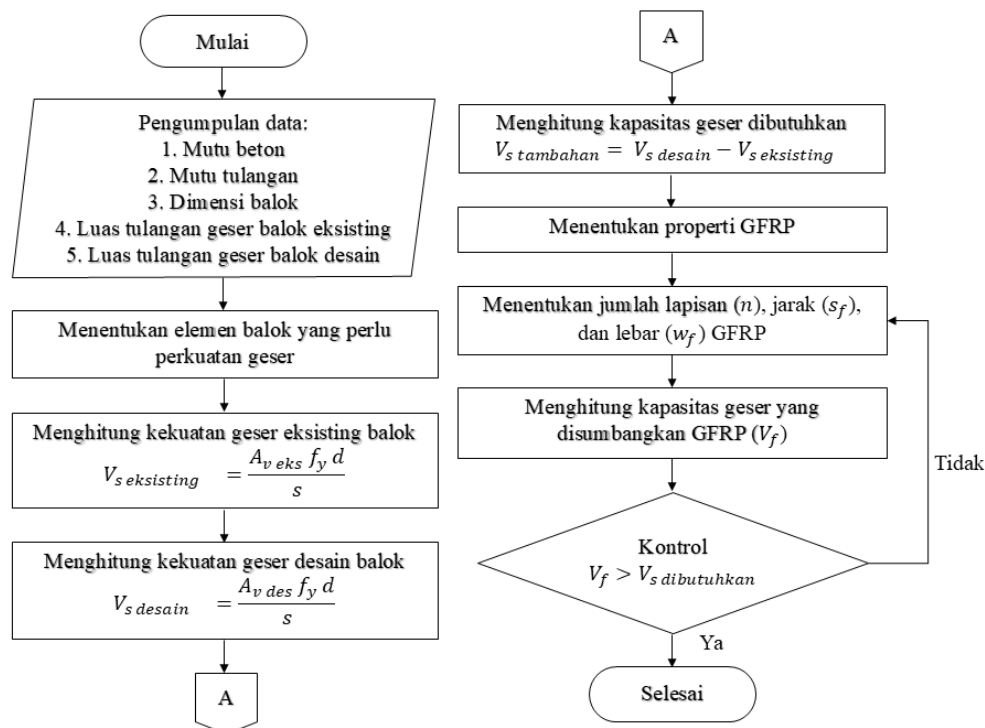
Gambar 2. Bentuk pemasangan GFRP

Tabel 3. Kombinasi konfigurasi GFRP

No.	Lebar GFRP (w_f)	Jumlah Lapisan (n)	Jarak Antar GFRP (s_f)
1	5 cm	1 lapis	10 cm
2	5 cm	2 lapis	10 cm
3	10 cm	1 lapis	15 cm
4	10 cm	2 lapis	15 cm
5	15 cm	1 lapis	20 cm
6	15 cm	2 lapis	20 cm

Prosedur Penelitian

Untuk mempermudah proses penelitian, maka disusun langkah-langkah penelitian dalam bentuk bagan alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Kekuatan Geser Tambahan

Kebutuhan kekuatan geser tambahan diperoleh dengan mencari selisih antara kekuatan geser balok eksisting dengan menggunakan Persamaan (1) dan kekuatan geser balok desain dengan menggunakan Persamaan (2). Rekapitulasi hasil perhitungan kebutuhan kekuatan geser tambahan ditunjukkan pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dirangkum pada Tabel 4, diketahui bahwa seluruh elemen balok memiliki kekuatan geser eksisting yang relatif sama, yaitu 424.23 kN. Nilai ini mencerminkan hasil evaluasi terhadap

kondisi aktual tulangan geser yang terpasang pada elemen balok Tribun Barat GOR Barombong. Sementara itu, kekuatan geser balok desain bervariasi antara 445.80 kN hingga 478.16 kN, tergantung pada posisi balok. Nilai V_s tambahan tiap elemen balok berkisar antara 21.57 kN hingga 53.93 kN. Nilai ini menggambarkan besarnya gaya geser tambahan yang harus disediakan oleh GFRP sebagai material perkuatan agar kapasitas total geser balok memenuhi syarat kekuatan sesuai desain.

Kekuatan Geser GFRP

Analisis kekuatan geser GFRP dilakukan untuk enam konfigurasi GFRP sebagaimana pada Tabel 3, yang merupakan variasi lebar GFRP (w_f), jumlah lapisan GFRP (n), dan jarak antar GFRP (s_f). Hasil perhitungan kekuatan geser GFRP (V_f) setiap kombinasi konfigurasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa peningkatan kekuatan geser yang diperoleh dari pemasangan GFRP sangat dipengaruhi oleh lebar GFRP, jumlah lapisan GFRP, dan jarak antar GFRP. Semakin besar lebar dan jumlah lapisan GFRP yang digunakan, maka kekuatan geser yang dihasilkan juga meningkat secara signifikan, sedangkan jarak antarlapis yang semakin lebar menyebabkan penurunan kontribusi geser karena distribusi tegangan yang tidak merata. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa konfigurasi 5 cm $\times$ 1 lapis ($s_f = 10$ cm) menghasilkan kekuatan geser sebesar 26.68 kN, sedangkan konfigurasi 5 cm $\times$ 2 lapis meningkat menjadi 36.87 kN, menandakan bahwa penambahan satu lapis GFRP memberikan tambahan kekuatan sekitar 38%. Selanjutnya, konfigurasi 10 cm $\times$ 1 lapis ($s_f = 15$ cm) menghasilkan kekuatan 35.57 kN, sedangkan 10 cm $\times$ 2 lapis meningkat hingga 49.16 kN. Kekuatan tertinggi diperoleh pada konfigurasi 15 cm $\times$ 2 lapis ($s_f = 20$ cm) dengan 55.31 kN, menunjukkan bahwa peningkatan luas serat efektif berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan geser. Meskipun demikian, efisiensi per lapisan cenderung menurun karena keterbatasan regangan efektif serat bagian dalam akibat gesekan antarlapisan (interlaminar slip) [19]. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa penambahan lebar dan jumlah lapisan GFRP efektif meningkatkan kekuatan geser balok beton bertulang, namun perlu mempertimbangkan keseimbangan antara efektivitas perkuatan, efisiensi material, dan kemudahan pelaksanaan di lapangan agar konfigurasi yang dipilih memberikan hasil optimal sesuai kebutuhan gaya geser tambahan pada masing-masing elemen balok.

Tabel 4. Rekapitulasi kebutuhan kekuatan geser tambahan

Kode	V_s eksisting (kN)	V_s desain (kN)	V_s tambahan (kN)
B2	424.23	465.58	41.26
B5	424.23	453.00	28.76
B45	424.23	453.00	28.76
B54	424.23	460.18	35.95
B105	424.23	463.78	39.55
B1265	424.23	465.58	41.34
B1268	424.23	453.00	28.76
B1287	424.23	453.00	28.76
B1296	424.23	460.18	35.95
B1367	424.23	463.78	39.55
B2	424.23	445.80	21.57
B5	424.23	451.20	26.96
B1265	424.23	451.20	26.96
B7	424.23	447.60	23.37
B36	424.23	476.36	52.13
B47	424.23	447.60	23.37
B56	424.23	447.60	23.37
B59	424.23	451.20	26.96
B107	424.23	447.60	23.37
B1268	424.23	478.16	53.93
B1270	424.23	445.80	53.93
B1280	424.23	447.60	23.37
B1289	424.23	447.60	23.37
B1298	424.23	447.60	23.37
B1304	424.23	445.80	21.57
B1317	424.23	458.39	34.15
B1368	424.23	447.60	23.37

Tabel 5. Rekapitulasi kebutuhan kekuatan geser tambahan

No.	Lebar GFRP (w_f)	Jumlah Lapisan (n)	Jarak Antar GFRP (s_f)	V_f (kN)
1	5 cm	1 lapis	10 cm	26.68
2	5 cm	2 lapis	10 cm	36.87
3	10 cm	1 lapis	15 cm	35.57
4	10 cm	2 lapis	15 cm	49.16
5	15 cm	1 lapis	20 cm	40.02
6	15 cm	2 lapis	20 cm	55.31

Pemilihan dan Pengaplikasi GFRP

Pemilihan kombinasi GFRP didasarkan pada hasil analisis kebutuhan kekuatan geser tambahan ($V_{s \text{ tambahan}}$) dari Tabel 4 dan kemampuan perkuatan GFRP (V_f) dari Tabel 5. Nilai $V_{s \text{ tambahan}}$ menunjukkan besarnya gaya geser yang harus ditambah agar kapasitas balok eksisting memenuhi syarat kekuatan desain, sedangkan V_f menunjukkan kekuatan geser yang dapat disumbangkan oleh masing-masing konfigurasi GFRP. Selain pertimbangan teknis, pemilihan kombinasi juga memperhatikan aspek biaya dan kemudahan pelaksanaan. Konfigurasi dengan lebar strip lebih kecil (5–10 cm) lebih mudah diaplikasikan pada lokasi dengan akses terbatas dan memiliki risiko *debonding* lebih rendah karena area pengeleman lebih mudah dikontrol. Sebaliknya, konfigurasi 15 cm $\times$ 2 lapis membutuhkan material dan waktu pemasangan lebih banyak, sehingga direkomendasikan hanya untuk balok dengan kebutuhan perkuatan sangat tinggi. Berdasarkan pertimbangan di atas, Tabel 6 menunjukkan rekomendasi kombinasi GFRP yang digunakan pada setiap balok sesuai dengan kebutuhan gaya geser tambahan dan efisiensi perkuatan yang diinginkan.

Tabel 6. Rekomendasi kombinasi perkuatan GFRP

Kode	Lebar GFRP (cm)	Jarak Antar GFRP (cm)	Jumlah Lapisan	$V_{s \text{ eksisting}}$ (kN)	V_f (kN)	Kekuatan Geser Total (kN)	Persentase Kenaikan (%)
B2	10	15	2	424.23	49,16	473,39	11,6
B5	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B45	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B54	15	20	1	424.23	40,02	464,25	9,4
B105	10	15	2	424.23	49,16	473,39	11,6
B1265	10	15	2	424.23	49,16	473,39	11,6
B1268	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B1287	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B1296	15	20	1	424.23	40,02	464,25	9,4
B1367	10	15	2	424.23	49,16	473,39	11,6
B2	5	10	1	424.23	26,68	450,91	6,3
B5	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B1265	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B7	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B36	15	20	2	424.23	55,31	479,54	13,0
B47	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B56	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B59	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B107	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B1268	15	20	2	424.23	55,31	479,54	13,0
B1270	15	20	2	424.23	55,31	479,54	13,0
B1280	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B1289	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B1298	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4
B1304	5	10	1	424.23	26,68	450,91	6,3
B1317	15	20	1	424.23	40,02	464,25	9,4
B1368	10	15	1	424.23	35,57	459,8	8,4

Berdasarkan Tabel 6, terlihat bahwa penerapan GFRP pada berbagai kombinasi lebar, jumlah lapisan, dan jarak antar GFRP memberikan peningkatan kekuatan geser balok beton bertulang antara 6.3% hingga 13.0% dibandingkan kondisi eksisting tanpa perkuatan. Peningkatan kekuatan geser ini sejalan dengan hasil pengujian laboratorium balok yang diperkuat GFRP yang diperoleh oleh [10]. Kenaikan ini menunjukkan bahwa konfigurasi GFRP yang dipilih mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kekuatan geser balok.

Secara umum, persentase kenaikan kekuatan geser sebanding dengan luas efektif GFRP yang terpasang dan berbanding terbalik dengan jarak antarlembar. Konfigurasi dengan lebar sedang (10 cm) dan jarak antarlembar

rapat (15 cm) terbukti memberikan kinerja paling optimal, baik dari sisi peningkatan kekuatan geser maupun efisiensi penggunaan material. Hasil ini menguatkan kesimpulan bahwa penggunaan GFRP sebagai material perkuatan eksternal mampu meningkatkan kekuatan geser balok beton bertulang secara efektif tanpa perlu melakukan pembongkaran struktur, dengan kenaikan kekuatan yang cukup signifikan dan pelaksanaan yang relatif mudah serta ekonomis di lapangan.

Konfigurasi GFRP yang telah ditentukan pada Tabel 6 diterapkan secara spesifik pada daerah tumpuan balok, yang merupakan area paling kritis terhadap kegagalan geser. Perkuatan FRP pada zona tumpuan lebih efektif menahan retak diagonal dan meningkatkan daktilitas elemen dibandingkan pemasangan di tengah bentang [20]. Dengan konfigurasi dan lokasi pemasangan yang sesuai hasil analisis, metode perkuatan ini dapat diterapkan secara efektif pada balok-balok Tribun Barat GOR Barombong Makassar tanpa mengubah bentuk asli struktur dan dengan waktu pelaksanaan yang relatif singkat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa balok-balok di Tribun Barat GOR Barombong Makassar mengalami kekurangan kekuatan geser, dengan kekuatan geser balok eksisting ($V_{s \text{ eksisting}}$) teridentifikasi sebesar 424.23 kN, sehingga memerlukan kekuatan geser tambahan ($V_{s \text{ tambahan}}$) antara 21.57 kN hingga 53.93 kN untuk memenuhi standar desain. Analisis terhadap enam kombinasi perkuatan GFRP Tipe Tyfo® SEH-51A dengan konfigurasi *U-Wrap* (berdasarkan ACI 440.2R-08 dan faktor reduksi $C_e = 0.65$) menunjukkan bahwa perkuatan ini mampu menyediakan kekuatan geser tambahan (V_f) yang memadai, berkisar antara 26.68 kN hingga 55.31 kN. Penerapan konfigurasi GFRP yang spesifik pada tumpuan balok terbukti efektif, berhasil meningkatkan kekuatan geser total balok antara 6.3% hingga 13.0% dari kondisi eksisting. Dengan demikian, GFRP merupakan solusi perkuatan eksternal yang efektif dan efisien untuk studi kasus GOR Barombong, mampu memenuhi defisit kekuatan akibat pembaruan standar desain (dari SRPMM ke SRPMK) sekaligus ideal untuk lingkungan laut yang agresif karena sifatnya yang non-korosif. Meskipun penelitian ini terbatas pada analisis perhitungan, disarankan untuk melakukan penelitian eksperimental atau uji laboratorium pada balok dengan konfigurasi yang sama guna memvalidasi hasil analitis dan mengamati secara langsung mekanisme kegagalan (seperti delaminasi atau debonding).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Kravchuk, P. Vegera, dan R. Khmil, "ANALYSIS OF THE IMPACT OF CROSS-SECTION DAMAGE ON THE STRENGTH AND DEFORMABILITY OF BENT REINFORCED CONCRETE ELEMENTS," *Theory and Building Practice*, vol. 2024, hlm. 19–27, Nov 2024, doi: 10.23939/jtbp2024.02.019.
- [2] M. Słowik, "The analysis of failure in concrete and reinforced concrete beams with different reinforcement ratio," *Archive of Applied Mechanics*, vol. 89, no. 5, hlm. 885–895, 2019, doi: 10.1007/s00419-018-1476-5.
- [3] G. Campione dan G. Giambanco, "Analysis of a Collapsed Long-Span Reinforced Concrete Roof in South Italy: Design Mistakes and Material Degradation," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 34, no. 2, hlm. 4020001, 2020, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001409.
- [4] E. Işık dkk., "Seismic Performance and Failure Mechanisms of Reinforced Concrete Structures Subject to the Earthquakes in Türkiye," *Sustainability*, vol. 16, no. 15, 2024, doi: 10.3390/su16156473.
- [5] L. N. Lowes, D. E. Lehman, dan Z. Whitman, "Investigation of failure mechanisms and development of design recommendations for flexural reinforced concrete walls," *Eng Struct*, vol. 186, hlm. 323–335, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.122>.
- [6] H. Sezen, "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Fiber-Reinforced Polymer Composites," *Journal of Composites for Construction*, vol. 16, no. 5, hlm. 499–506, 2012, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000290.
- [7] G. Mai dkk., "Shear performance and capacity of FRP reinforced concrete beams: Comprehensive review and design evaluation," *Advances in Structural Engineering*, vol. 27, no. 15, hlm. 2569–2591, 2024, doi: 10.1177/13694332241276058.
- [8] A. K. Panigrahi, K. C. Biswal, dan M. R. Barik, "Strengthening of shear deficient RC T-beams with externally bonded GFRP sheets," *Constr Build Mater*, vol. 57, hlm. 81–91, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.076>.

- [9] S. Sreekumar Kavitha, L. Joseph, M. K. Madhavan, dan K. Jayanarayanan, "Comparative study of carbon and glass fiber reinforced polymer composites for the confinement of concrete columns," *Mater Today Proc*, vol. 103, hlm. 352–357, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.010>.
- [10] Y. X. Liew, N. Bakar, K. S. Lim, S. I. Doh, R. P. Jaya, dan S. C. Chin, "Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams using GFRP," *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 16, no. 1, Des 2022, doi: [10.2174/18741495-v16-e221222-2022-53](https://doi.org/10.2174/18741495-v16-e221222-2022-53).
- [11] Center of Technology (CoT) Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, "Laporan Assesmen Stadion Barombong," Makassar, Des 2019.
- [12] S. Kpo, C. Kankam, C. Ababio, dan D. Tackie, "Investigation on the Shear Performance of Concrete Beams Reinforced With Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Bars," *Asian Journal of Advanced Research and Reports*, vol. 19, hlm. 119–137, Nov 2025, doi: [10.9734/ajarr/2025/v19i4969](https://doi.org/10.9734/ajarr/2025/v19i4969).
- [13] S. Ninan dan V. Ajay, "Analysis of CFRP & GFRP Sheets for Enhancing Shear Strength in RC Beams," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 14, no. 05, Mei 2025, doi: [10.17577/IJERTV14IS050131](https://doi.org/10.17577/IJERTV14IS050131).
- [14] ACI Committee 440, "ACI 440.2R-08 Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures," American Concrete Institute, 2008.
- [15] J. D. Ortiz, S. S. Khedmatgozar Dolati, P. Malla, A. Nanni, dan A. Mehrabi, "FRP-Reinforced/Strengthened Concrete: State-of-the-Art Review on Durability and Mechanical Effects," *Materials*, vol. 16, no. 5, 2023, doi: [10.3390/ma16051990](https://doi.org/10.3390/ma16051990).
- [16] X. Guo, Y. Wang, P. Huang, dan S. Shu, "Fatigue behavior of RC beams strengthened with FRP considering the influence of FRP-concrete interface," *Int J Fatigue*, vol. 143, hlm. 105977, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105977>.
- [17] X. Min, D. Yang, S. Song, dan X. Li, "Study on the Stress Threshold of Preventing Interfacial Fatigue Debonding in Concrete Beams Strengthened with Externally-Bonded FRP Laminates," *Buildings*, vol. 14, no. 2, 2024, doi: [10.3390/buildings14020430](https://doi.org/10.3390/buildings14020430).
- [18] W. Nawaz dkk., "Shear strengthening performance of GFRP reinforced lightweight SCC beams: Experimental and analytical study," *Eng Struct*, vol. 278, hlm. 115545, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115545>.
- [19] D. Alandro, A. D. Nugraha, I. A. Maulana, A. D. Nugroho, W. Erlangga, dan M. A. Muflikhun, "Comprehensive assessment of hybrid GFRP-graphite filler using modified complex Arcan fixture: Experimental and simulation approach," *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 180, hlm. 108094, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2024.108094>.
- [20] Z. Hu, X. Zhou, M. Guo, X. Huang, dan B. Hu, "Enhancing the Performance of CFRP Shear-Strengthened RC Beams Using 'Ductile' Anchoring Devices," *Front Mater*, vol. Volume 7-2020, 2020, doi: [10.3389/fmats.2020.00292](https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00292).

INTEGRASI CITRA UDARA DAN BATIMETRI UNTUK PENYUSUNAN MODEL ELEVASI BELOKAN SUNGAI WONOKROMO

*Nauval Usa Maulana¹, Andi Patriadi²

^{1,2}Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

^{*)}Email: fasoro11@gmail.com

Received: 26 November 2025 ; Revised: 2 Desember 2025 ; Accepted: 5 Desember 2025

ABSTRACT

This study aims to develop an accurate elevation model of the meander segment of the Wonokromo River through integrating UAV-based aerial photogrammetry and bathymetric measurements. Flooding in southern Surabaya is strongly influenced by tidal backwater effects and the reduced channel capacity caused by sedimentation and geometric changes in river bends. Therefore, detailed topographic and bathymetric information is essential to support hydrological and hydraulic assessment. Data acquisition was conducted using a UAV that captured 653 images with 20 GCPs and 8 ICPs, while riverbed depths were measured using a 200 kHz echosounder. The photogrammetric workflow included photo alignment, dense cloud generation, DSM/DTM construction, and orthomosaic production, followed by integration with bathymetry corrected to orthometric height using the SRGI geoid model. Accuracy evaluation shows high spatial fidelity, with CE90 of 0.064 m and LE90 of 0.073 m, meeting Class 1 accuracy standards for 1:1,000 scale mapping. The resulting orthophoto has a ground sampling distance of 2 cm and successfully represents detailed morphological features along the river bend. The integrated topobathymetric DEM provides a seamless elevation model from land to riverbed, enabling more precise analysis of flow patterns, erosion–deposition characteristics, and morphological changes in the Wonokromo meander. These results confirm that the integrated dataset is highly suitable for hydromorphological studies and can support flood mitigation planning in the surrounding region.

Keyword: UAV photogrammetry, bathymetry, DEM, river meander, Wonokromo River

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model elevasi yang akurat pada segmen belokan Sungai Wonokromo melalui integrasi fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan pengukuran batimetri. Banjir di wilayah Surabaya Selatan dipengaruhi oleh kombinasi pasang surut, penyempitan geometri sungai, serta sedimentasi pada tikungan yang menurunkan kapasitas aliran, sehingga diperlukan informasi topografi dan batimetri yang lebih detail. Akuisisi data dilakukan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang menghasilkan 653 citra dengan 20 GCP dan 8 ICP, serta survei kedalaman sungai menggunakan echosounder frekuensi 200 kHz. Alur pemrosesan meliputi penyalarsan citra, pembuatan *dense cloud*, konstruksi DSM/DTM, pembuatan ortofoto, dan integrasi data batimetri yang telah dikoreksi ke tinggi ortometrik menggunakan model geoid SRGI. Evaluasi ketelitian menunjukkan nilai CE90 sebesar 0,064 m dan LE90 sebesar 0,073 m, memenuhi standar ketelitian Kelas 1 untuk pemetaan skala 1:1.000. Ortofoto yang dihasilkan memiliki GSD 2 cm dan mampu merepresentasikan detail morfologi tikungan sungai dengan sangat baik. DEM topobatimetri yang terintegrasi menghasilkan model elevasi menyeluruh dari darat hingga dasar sungai, yang dapat dimanfaatkan untuk analisis pola aliran, identifikasi area erosi–deposisi, serta evaluasi perubahan bentuk meander Sungai Wonokromo. Hasil ini menunjukkan bahwa dataset yang dihasilkan sangat layak digunakan untuk analisis hidromorfologi dan perencanaan mitigasi banjir di kawasan tersebut.

Kata kunci: fotogrametri UAV, batimetri, DEM, belokan sungai, Sungai Wonokromo

1. PENDAHULUAN

Surabaya masih menghadapi banjir perkotaan yang disebabkan oleh kapasitas saluran terbatas, alih fungsi lahan, dan pengaruh pasang surut di hilir. Pemerintah Kota Surabaya telah menetapkan wilayah Surabaya Selatan sebagai prioritas penanganan pada tahun 2025, dengan intervensi seperti pelebaran saluran, long storage, box culvert, dan pembangunan rumah pompa yang terhubung ke bozem-bozem kota [1]. Kebijakan ini melanjutkan program normalisasi dan pembenahan drainase yang dimulai pada periode 2022–2024 di Avur Wonorejo dan normalisasi sungai di hilir [2].

Alih fungsi ruang hijau menjadi faktor pemburuk banjir yang perlu perhatian serius. Organisasi lingkungan turut menyoroti dampak dari konversi lahan ini, mendorong solusi pemulihan ruang hijau untuk mengurangi resiko banjir di masa depan [3]. Di sisi lain, BPBD Surabaya juga memetakan 10 kawasan rawan banjir rob, termasuk Wonorejo Timur, yang dapat tergenang hingga 45 cm pada puncak pasang siang hari [3]. Kondisi hidraulik ini sering menyebabkan efek backwater ketika hujan terjadi bersamaan dengan pasang, sehingga gelombang pasang merambat ke hulu dan menahan aliran, memperlambat pengeringan genangan, sebuah masalah klasik bagi kota pesisir dataran rendah seperti Surabaya [4].

Sebuah studi oleh Thapa et al. (2024) menunjukkan bahwa perubahan geometri saluran akibat sedimentasi mengurangi kapasitas aliran dan meningkatkan risiko limpasan [5]. Hal ini terutama terjadi di area dengan aktivitas

antropogenik yang tinggi. Gaya helikoidal yang mempengaruhi erosi dan sedimentasi juga berperan dalam proses ini [6]. Pada Sungai Wonokromo, meskipun terdapat tanggul, air tetap menggenang pada puncak debit tinggi yang bersamaan dengan pasang.

Citra satelit mengungkapkan adanya penyempitan saluran di sisi dalam tikungan sungai akibat sedimentasi yang terjadi. Laporan warga juga menyebutkan bahwa tanah kosong di depan teras rumah mereka mengalami erosi seiring berjalannya waktu. Fenomena ini memperburuk masalah banjir, terutama pada saat pasang.

Penelitian Patriadi et al. (2024) pada Sungai Wonokromo memperkaya pemahaman tentang interaksi antara pasang surut dan geometri sungai. Penelitian ini menunjukkan adanya variasi dalam kecepatan aliran, konsentrasi sedimen, dan salinitas yang dipengaruhi oleh pasang surut. Vegetasi mangrove berperan penting dalam menstabilkan erosi dan deposisi, yang membantu mengurangi dampak banjir [7].

Di Indonesia, pemanfaatan data geometri sungai untuk kebutuhan simulasi banjir seringkali mengandalkan data *Digital Elevation Model* (DEM) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang dirilis dalam bentuk DEM Nasional. DEM Nasional dibangun dari tiga sumber data berbeda, yakni TerraSAR-X dan IFSAR (resolusi 5 meter), serta ALOS-PALSAR (resolusi 11,25 meter), dan dirilis dalam grid resolusi 0,27 arcsecond. Meskipun dianggap mampu menggantikan DEM SRTM, penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Fakhruddin, (2019) menunjukkan bahwa akurasi vertikal DEM Nasional hanya mencapai $\pm 6,124$ meter, yang sesuai dengan standar ketelitian peta dasar skala 1:25.000 kelas 2 (mengacu pada Peraturan Kepala BIG No. 6 Tahun 2018) [8]. Hal ini menunjukkan bahwa resolusi tersebut belum cukup memadai untuk keperluan pemetaan skala kecil, seperti analisis geometri sungai di segmen belokan Sungai Wonokromo. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang mampu menghasilkan data topografi sungai dengan ketelitian lebih tinggi, seperti integrasi fotogrametri udara dan batimetri, guna menunjang akurasi dalam simulasi banjir dan pengelolaan wilayah sungai secara lebih presisi.

Temuan ini menegaskan kompleksitas dinamika hidrodinamika dan sedimentasi sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut di Surabaya. Proses erosi dan sedimentasi yang terjadi di daerah pesisir perlu dikelola dengan lebih baik untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada saluran sungai dan mengurangi risiko banjir.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model DEM yang lebih akurat untuk segmen belokan Sungai Wonokromo, guna mendukung perencanaan pengelolaan sungai dan mitigasi risiko banjir. Dengan menggabungkan teknik fotogrametri UAV dan pengukuran batimetri menggunakan echosounder, penelitian ini akan memberikan data topografis yang lebih presisi untuk meningkatkan ketelitian simulasi banjir dan pengelolaan wilayah sungai.

Berdasarkan hal diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah (1) Bagaimana pemodelan DEM belokan sungai menggunakan data foto udara di Kawasan Belokan Sungai Wonokromo; (2) Bagaimana tingkat akurasi data *Digital Elevation Model* (DEM) topobatimetri yang dihasilkan melalui integrasi citra udara dan citra batimetri.

2. METODE

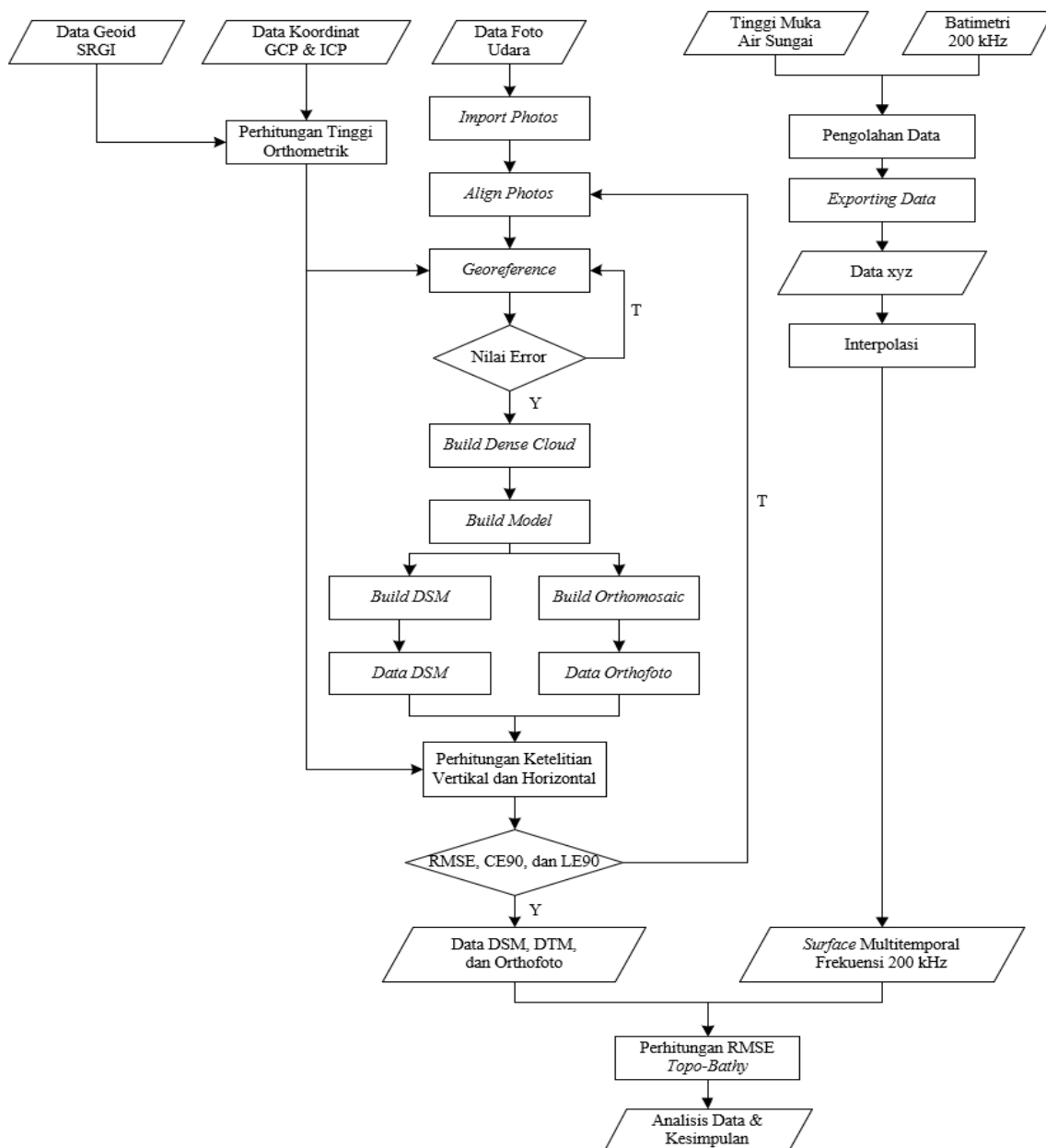
Penelitian ini dilaksanakan pada belokan Sungai Wonokromo yang berada di kawasan Jalan Wonorejo Timur, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya. Segmen ini dipilih karena memiliki karakteristik hidrologis yang dinamis sehingga membutuhkan pemetaan topografi dan batimetri secara rinci untuk mendukung kajian teknis serta analisis spasial pada wilayah bantaran sungai. Penentuan lokasi penelitian mengacu pada kebutuhan pemotretan udara dan survei kedalaman yang dapat dijangkau dengan peralatan penginderaan jauh dan survei lapangan.

Seluruh tahapan penelitian mengikuti alur kerja pengolahan data yang diadaptasi dari diagram prosedural pada dokumen sumber, mencakup akuisisi data udara, pengukuran titik kontrol darat, pemrosesan foto udara, pemodelan permukaan, pengolahan data batimetri, penyesuaian sistem tinggi, serta evaluasi ketelitian geometrik. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan untuk memastikan konsistensi sistem koordinat dan integrasi data pada pemrosesan selanjutnya.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 23 Lokasi Penelitian



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 24 Diagram Alir Penelitian

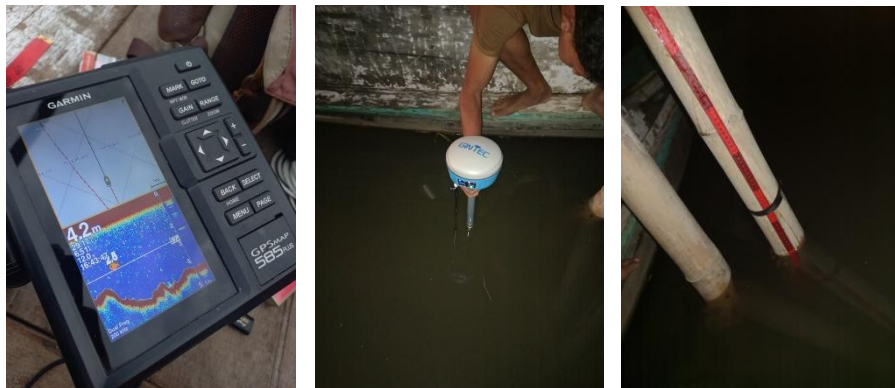
Akuisisi data udara dilakukan menggunakan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan rencana lintasan terbang yang disesuaikan dengan bentuk geometri sungai di sekitar Wonorejo Timur. Perekaman foto dilakukan dengan mempertimbangkan nilai overlap dan sidelap agar memenuhi standar fotogrametri. Setelah proses akuisisi selesai, foto udara di-import ke perangkat lunak fotogrametri untuk melalui tahapan *alignment* dan pembentukan *sparse cloud*. Tahap *georeferencing* dilakukan menggunakan titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) yang disebar di sekitar koridor sungai untuk memastikan koreksi posisi spasial pada model.

Tabel 10 Spesifikasi *Flight Mission*

No	Spesifikasi	Informasi
1	Ketinggian Terbang	75 meter
2	<i>Total Flying Mission</i>	4
3	<i>Flying Time Each Mission</i>	±15
4	<i>Total Flight Area</i>	60 ha
5	<i>Overlap and Sidelap</i>	70%
6	Kecepatan	10 m/s
7	<i>Angle Camera</i>	90°

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Tahapan berikutnya meliputi pembuatan *dense cloud*, penyusunan *model mesh 3D*, serta pembentukan *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM). Selain itu, dilakukan proses *orthomosaic building* menggunakan citra yang telah terkalibrasi secara geometrik. Keseluruhan produk awal fotogrametri ini digunakan sebagai dasar untuk integrasi data, namun pemaparan visual dan analisisnya disajikan pada bagian hasil penelitian.



Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025

Gambar 25 Akuisisi Data Batimetri dan Pasang Surut

Pengumpulan data batimetri dilakukan menggunakan *echosounder Garmin 585 Plus* dengan *Transducer* frekuensi 200 kHz yang dioperasikan mengikuti alur sungai pada segmen penelitian. Data kedalaman direkam dalam format XYZ melalui perangkat akuisisi dan diproses kembali melalui tahapan interpolasi untuk membentuk representasi permukaan dasar sungai. Koreksi tinggi muka air sungai dicatat selama survei sebagai acuan penyesuaian vertikal.

Seluruh data kemudian diseragamkan ke sistem tinggi ortometrik melalui koreksi menggunakan model geoid SRGI. Penyesuaian ini diperlukan agar data topografi dan batimetri berada pada sistem referensi vertikal yang sama sehingga dapat dipadukan secara konsisten pada tahap integrasi.

$$CE90 = 1.5175 \times RMSEr \quad (1)$$

$$LE90 = 1.6499 \times RMSEy \quad (2)$$

Evaluasi ketelitian dilakukan melalui perhitungan RMSE horizontal dan vertikal, *Circular Error* 90% (CE90), dan *Linear Error* 90% (LE90) berdasarkan GCP dan ICP sebagai titik uji. Evaluasi tambahan berupa perhitungan RMSE integrasi juga dilakukan untuk menilai konsistensi geometrik secara internal. Analisis terhadap akurasi dan pemanfaatan model terintegrasi disajikan sepenuhnya pada bagian hasil dan pembahasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi Data

Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan November 2025 menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan GPS untuk mendapatkan GCP dan ICP. Sebanyak 653 citra diperoleh dari pengukuran dengan 20 GCP dan 8 ICP yang tersebar merata (lihat Gambar 6).

Karena nilai ketinggian pada data DSM dan DTM masih menggunakan referensi elipsoid, maka diperlukan konversi ke tinggi ortometrik berdasarkan model geoid. Pada penelitian ini, nilai geoid undulation rata-rata pada area studi diperoleh dari data sumber terbuka Badan Informasi Geospasial. Adapun data ketinggian GCP dan ICP yang digunakan dalam pemrosesan telah dikonversi terlebih dahulu menjadi tinggi ortometrik, sehingga tidak memerlukan penyesuaian tambahan pada tahap pengolahan.

Tabel 11 Pengukuran GCP

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
gcp1	-0.0535	-0.2265	0.0233	0.2339
gcp2	0.3476	0.2963	-0.2119	0.5036
gcp3	0.0351	-0.4481	0.4555	0.6400
gcp4	0.0815	1.9104	-0.9096	2.1175
gcp5	1.5135	0.3723	-0.6301	1.6812
gcp6	-0.8014	-0.0339	0.1801	0.8221
gcp7	-0.5679	-0.0327	0.3321	0.6587
gcp8	-0.2357	-1.7945	0.1398	1.8153
gcp9	0.1326	-0.2555	0.5060	0.5822
gcp10	-0.1336	0.5154	0.2961	0.6092
gcp11	-0.2991	0.0600	-0.0976	0.3203
gcp12	-0.2076	0.1492	0.1858	0.3161
gcp13	0.9082	0.0874	-0.3600	0.9808
gcp14	0.0533	0.4326	-0.2077	0.4828
gcp15	-0.9507	-1.3234	0.3221	1.6610
gcp16	0.0316	0.4405	-0.2194	0.4932
gcp17	-1.8713	-1.3977	0.4859	2.3857
gcp18	-0.0744	1.5839	-0.4236	1.6413
gcp19	1.3432	-1.3249	-0.4452	1.9385
gcp20	0.7487	0.9893	0.5785	1.3689
Total	0.7488	0.9232	0.4062	1.2562

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Hasil pengukuran GCP kemudian diproses secara georeferensi untuk mendapatkan galat pada setiap titik. Berdasarkan Tabel 2, galat tertinggi diperoleh dari GCP17 sebesar 2.3857 cm, sedangkan galat total yang dihasilkan sebesar 1.2562 cm.

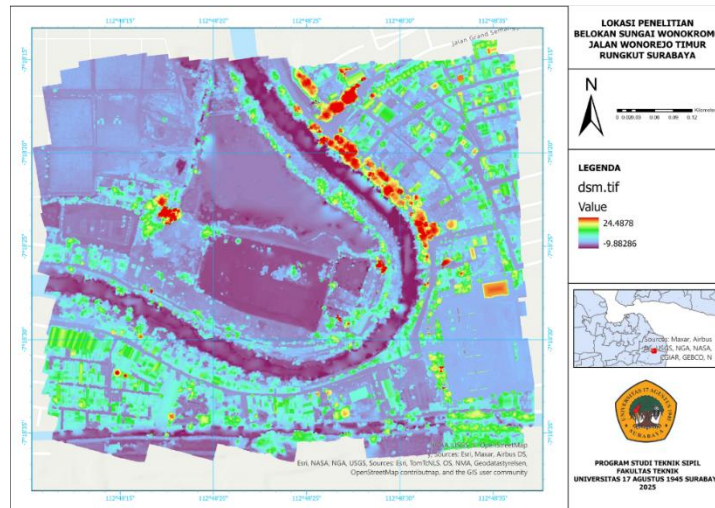
Tabel 12 Pengukuran ICP

ICP	Lintang	Bujur	Tinggi Ortometrik (m)
1	-7.309272	112.8063	1.677
2	-7.308764	112.804	1.832
3	-7.309057	112.8079	2.1
4	-7.308711	112.8077	1.096
5	-7.305768	112.8088	1.752
6	-7.306003	112.8083	2.108
7	-7.305477	112.8039	1.782
8	-7.304641	112.8044	1.706

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Pengolahan Data Citra Udara

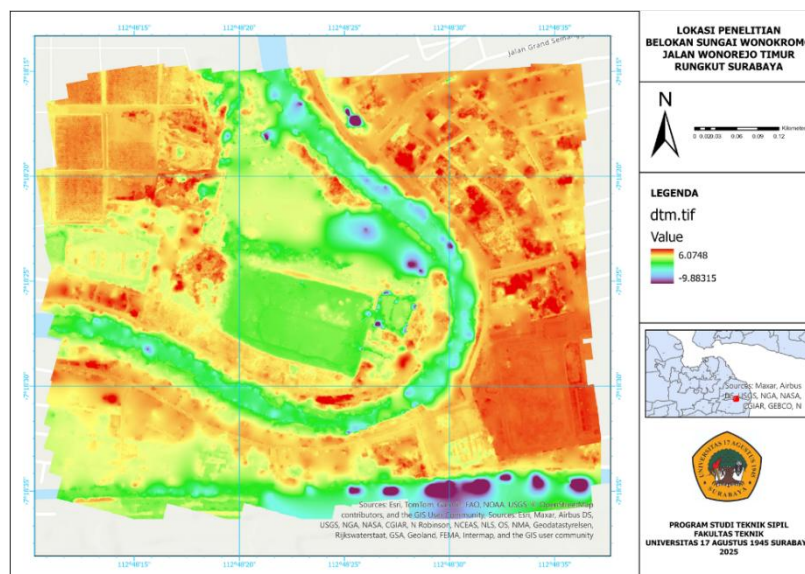
Pemrosesan data mencakup tahapan *align photos* (penyelarasan foto), georeferensi, pembuatan *dense cloud*, pembuatan *mesh*, pembuatan DEM, pembuatan data ortometrik, serta pembuatan laporan pemrosesan berdasarkan analisis akurasi ortofoto. Hasil dari tahap *align photos* dan georeferensi kemudian digunakan untuk menghasilkan *dense cloud* dengan menghitung tinggi objek pada setiap kamera dan menyusunnya menjadi satu kompilasi. Proses ini menghasilkan lebih dari 94 juta titik (*point clouds*). *Dense point cloud* tersebut selanjutnya diproses untuk memperoleh *3D model* dengan melakukan interpolasi pada setiap titik.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 26 Citra Udara DSM (*Digital Surface Model*)

Point cloud dari *model 3D mesh* kemudian diproses untuk menghasilkan DSM, dengan rentang nilai elevasi antara -9.882 m hingga 24.487 m. Sementara itu, *point cloud* yang mewakili permukaan tanah digunakan untuk menghasilkan DTM yang memiliki rentang elevasi antara -9.883 m hingga 6.07 m.

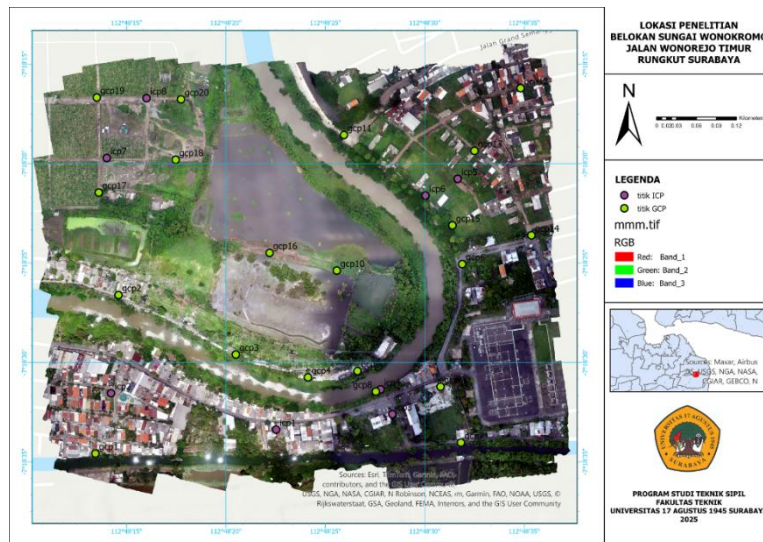


Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 27 Citra Udara DTM (*Digital Terrain Model*)

Data tersebut selanjutnya diproses melalui tahap *orthomosaic* untuk memperoleh citra yang sudah terkoreksi secara ortografis dan digabungkan, yang disebut ortofoto melalui mekanisme *relief displacement*. Ortofoto tersebut kemudian perlu dievaluasi dengan melakukan analisis akurasi menggunakan RMSe, *Circular Error 90* (CE90), *Linear Error 90* (LE90), dan *Ground Sampling Distance* (GSD), sesuai standar yang ditetapkan dalam Peraturan

Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 dan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020 [9][10].



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 28 Sebaran titik GCP dan ICP yang ditumpangtindihkan dengan ortofoto

Tabel 13 Perhitungan RMSE

Titik	Pengukuran GNSS			Orthofoto			$(\Delta XY)^2$	$(\Delta Z)^2$
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)		
ICP 1	699400.857	9191661.943	1.677	699400.801	9191661.938	1.719	0.00307	0.00176
ICP 2	699146.474	9191719.164	1.832	699146.452	9191719.189	1.806	0.00109	0.00068
ICP 3	699580.125	9191685.079	2.100	699580.092	9191685.087	2.096	0.00115	0.00001
ICP 4	699562.168	9191723.414	1.096	699562.157	9191723.417	1.103	0.00013	0.00005
ICP 5	699682.553	9192048.443	1.752	699682.509	9192048.428	1.710	0.00217	0.00177
ICP 6	699632.843	9192022.629	2.108	699632.898	9192022.603	2.043	0.00375	0.00427
ICP 7	699141.128	9192082.757	1.782	699141.128	9192082.741	1.854	0.00025	0.00525
ICP 8	699203.031	9192174.982	1.706	699203.008	9192174.935	1.664	0.00273	0.00174
Total							0.01434	0.01553
Rata-rata							0.00179	0.00194
RMSE (m)							0.04233	0.04406

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) pada setiap titik ICP dihitung berdasarkan perhitungan statistik, dengan nilai galat vertikal mencapai 0.04406 m dan galat horizontal mencapai 0.04233 m. Nilai CE90 dan LE90 kemudian dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 5. Berdasarkan ketentuan dalam Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 dan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020, output data orthofoto ini telah memenuhi standar untuk peta dasar RBI skala 1:1.000 pada kelas 1.

Tabel 14 Akurasi Orthophoto

Parameters	CE90	LE90	GSD	Interval Kontur (m)	Class	Resolusi (cm)
Value	0.0642	0.073	2	0.4	1	≤ 5

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Hasil Akuisisi Data Batimetri

Data batimetri diperoleh dengan menggunakan perangkat fishfinder/echosounder Garmin 585 Plus, yang kemudian dikorelasikan dengan data pasang surut untuk menghasilkan informasi kedalaman perairan. Pengamatan tinggi muka air dilakukan pada tanggal 2 November 2025, dengan pengukuran setiap 30 menit, dan menunjukkan adanya variasi kedalaman akibat fluktuasi muka air.

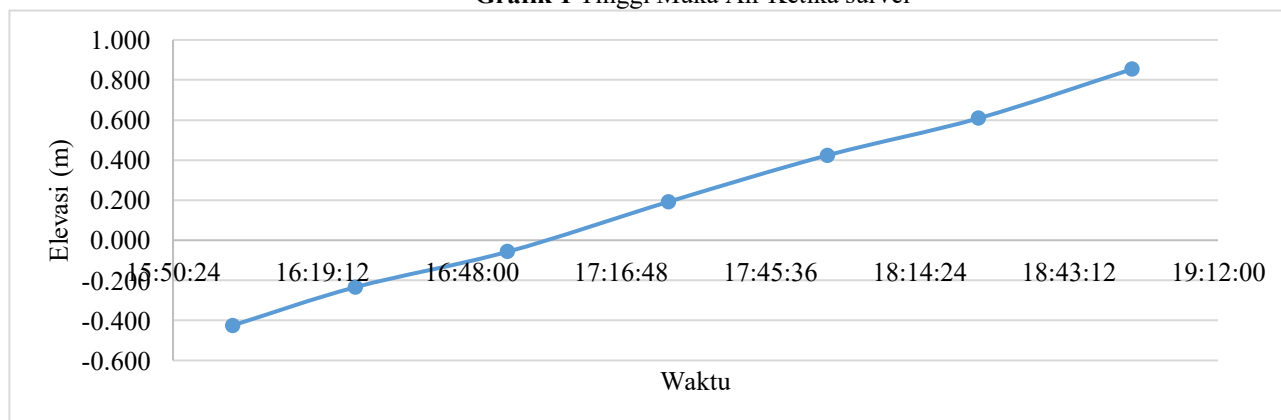
Tabel 15 Hasil Pengamatan Tinggi Muka Air

Jam	Original Altitude (Pasut)
6:55:26 PM	0.854
6:25:51 PM	0.609

Jam	Original Altitude (Pasut)
5:56:41 PM	0.424
5:26:00 PM	0.192
4:55:00 PM	-0.057
4:25:37 PM	-0.234
4:01:55 PM	-0.425

Sumber: Olahan Penulis, 2025

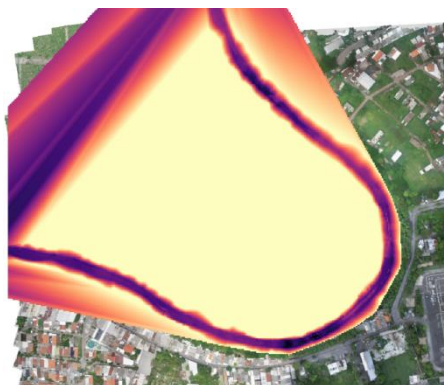
Grafik 1 Tinggi Muka Air Ketika survei



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Integrasi Topo-Batimetri

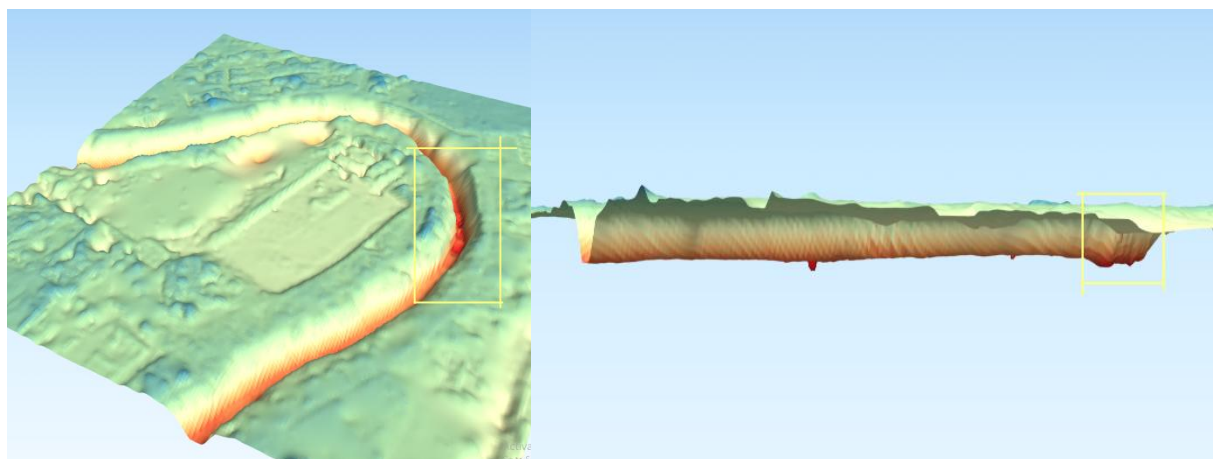
Proses integrasi topografi dan batimetri menghasilkan model elevasi permukaan yang kontinyu dari darat hingga dasar sungai. Titik batimetri yang telah terkoreksi terhadap pasang surut digabungkan dengan data topografi tepi sungai yang diperoleh dari UAV untuk menghasilkan model permukaan sungai yang akurat, dengan menggunakan metode interpolasi TIN.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 29 Hasil TIN Interpolation

Hasil penggabungan data DEM topo-batimetri menggambarkan morfologi sungai, Model menunjukkan perbedaan elevasi yang signifikan, terutama di sekitar tanggul yang dibangun untuk mengendalikan aliran sungai. Model ini memperlihatkan kedalaman dasar sungai yang lebih besar di sisi belokan, menggambarkan bagaimana konstruksi tanggul mempengaruhi pola kedalaman dan aliran sungai. Integrasi data topografi UAV dan data batimetri menghasilkan representasi morfologi yang lebih akurat dan komprehensif dibandingkan dengan penggunaan data topografi atau batimetri secara terpisah.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 30 Hasil Integrasi Data Topografi dan Batimetri

Analisis Akurasi DEM Topo-Batimetri

Perbandingan antara metode interpolasi TIN dan IDW menunjukkan bahwa metode TIN menghasilkan nilai RMSE yang lebih rendah (0.261773) dibandingkan dengan IDW (1.201526). Hal ini menandakan bahwa interpolasi TIN lebih akurat dalam menghasilkan model batimetri.

Tabel 16 Perhitungan RMSE Batimetri

No	latitude	longitude	Z actual	TIN Interpolation	IDW Interpolation	RMSE TIN	Hasil Total RMSE TIN	RMSE IDW	Hasil Total RMSE IDW
1	-7.304150	112.805950	-3.650586	-3.676909	-2.649957	0.000693	0.261773	1.001258	1.201526
2	-7.304195	112.805997	-3.571304	-3.572728	-2.552820	0.000002		1.037310	
3	-7.304203	112.806006	-3.531424	-3.572728	-2.060157	0.001706		2.164271	
4	-7.304219	112.806023	-3.601663	-3.598177	-2.604663	0.000012		0.994010	
5	-7.304243	112.806050	-3.622023	-3.614487	-2.353812	0.000057		1.608358	
6	-7.304283	112.806093	-3.312621	-3.656404	-2.906827	0.118186		0.164669	
7	-7.304317	112.806128	-3.553100	-3.554984	-2.318894	0.000004		1.523265	
8	-7.304334	112.806143	-3.813340	-3.816832	-2.465040	0.000012		1.817912	
9	-7.304361	112.806163	-3.813699	-3.793324	-2.761369	0.000415		1.107399	
10	-7.304370	112.806169	-3.883818	-3.793324	-3.048091	0.008189		0.698440	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1779	-7.306668	112.808286	-4.026431	-3.878359	-3.912756	0.021925		0.012922	

Sumber: Olahan Penulis, 2025

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian integrasi data topografi dan batimetri di Sungai Wonokromo, dapat disimpulkan bahwa pemodelan Digital Elevation Model (DEM) yang menggunakan data foto udara (DSM) dan batimetri dari perangkat fishfinder/echosounder menghasilkan model permukaan yang akurat dan komprehensif. DSM memiliki rentang elevasi antara -9.882 m hingga 24.487 m, menggambarkan objek permukaan seperti bangunan dan vegetasi, sedangkan Digital Terrain Model (DTM) mencatat rentang elevasi dari -9.883 m hingga 6.07 m, berfokus pada permukaan tanah. Integrasi data topografi dan batimetri memungkinkan pembuatan DEM topo-batimetri yang menggambarkan elevasi secara kontinyu dari daratan hingga dasar sungai, memberikan gambaran lebih jelas tentang morfologi sungai, khususnya di area belokan sungai. Hasil analisis ketelitian terhadap DEM menunjukkan akurasi sangat tinggi dengan nilai RMSE horizontal 0.04233 m dan RMSE vertikal 0.04406 m, serta Circular Error 90 (CE90) 0.0642 m dan Linear Error 90 (LE90) 0.073 m, memenuhi standar Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 dan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020 untuk peta dasar skala 1:1000 kelas 1. Visualisasi hasil integrasi data menunjukkan perbedaan elevasi signifikan di sekitar belokan sungai, terutama di bagian yang telah dibangun tanggul. Tanggul berfungsi mengendalikan aliran sungai, namun kedalaman dasar sungai lebih besar di area tersebut, menunjukkan pengaruh konstruksi terhadap pola

kedalaman dan aliran sungai. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya analisis morfologi untuk memahami fenomena erosi dan sedimentasi di kawasan tersebut.

5. SARAN

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut dan aplikasi di masa mendatang antara lain pemantauan morfologi Sungai Wonokromo secara berkala menggunakan teknologi UAV dan batimetri untuk mendeteksi perubahan akibat faktor alamiah atau pembangunan infrastruktur, serta memperbarui peta dan model topografi untuk identifikasi risiko bencana seperti banjir dan erosi. Penggunaan perahu kecil disarankan untuk meningkatkan akurasi pengambilan data batimetri, terutama di tepian sungai yang sulit dijangkau perahu besar, serta memungkinkan pengambilan sampel data lebih terperinci. Penelitian selanjutnya sebaiknya mencakup analisis sedimen untuk memahami pola pengendapan dan erosi, serta simulasi banjir untuk memprediksi dampak perubahan morfologi dasar sungai terhadap risiko banjir, terutama terkait kedalaman di belokan sungai dan pengaruh pembangunan infrastruktur terhadap pola aliran air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Elaine, "Pemkot Surabaya Prioritaskan Tuntaskan Banjir di Surabaya Selatan Tahun Ini." [Online]. Available: <https://www.suarasurabaya.net/kelanakota/2025/pemkot-surabaya-prioritaskan-tuntaskan-banjir-di-surabaya-selatan-tahun-ini/>
- [2] P. K. Surabaya, "Tanggulangi Genangan, Pemkot Surabaya Lanjutkan Proyek Drainase Avur Wonorejo." [Online]. Available: <https://www.surabaya.go.id/id/berita/10814/tanggulangi-genangan-pemkot-surabaya-lanjutkan-proyek-drainase-avur-wonorejo>
- [3] P. Riski, "Banjir di Surabaya, Walhi: Alih Fungsi Ruang Hijau Harus Diperhatikan." [Online]. Available: <https://mongabay.co.id/2024/04/28/banjir-di-surabaya-walhi-alih-fungsi-ruang-hijau-harus-diperhatikan/>
- [4] Kusnan, "ALTERNATIF PENGENDALI BANJIR DI WILAYAH SURABAYA SELATAN Oleh : Kusnan *)," *J. Tek.*, vol. 10, pp. 1–8, 2012.
- [5] S. Thapa, H. D. Sinclair, M. J. Creed, A. G. L. Borthwick, C. S. Watson, and M. Muthusamy, "Sediment Transport and Flood Risk: Impact of Newly Constructed Embankments on River Morphology and Flood Dynamics in Kathmandu, Nepal," *Water Resour. Res.*, vol. 60, no. 10, 2024, doi: 10.1029/2024WR037742.
- [6] V. D. F. Mudjiatko, Siswanto, "MODEL LABORATORIUM PENGARUH DEBIT TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI PADA SUNGAI BERBELOK GANDA," vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2015.
- [7] A. Patriadi, A. H. Pattiraja, R. B. Sukmara, and M. F. Wahab, "Assessing Flow, Sediment, and Salinity Patterns in Tidal-Affected Meandering Rivers: Insights from Kali Wonokromo," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 14, no. 4, pp. 1488–1495, 2024, doi: 10.18517/ijaseit.14.4.20034.
- [8] A. Wahyu Fakhruddin, "Analisis Akurasi Vertikal Model Elevasi Digital Nasional," (*Skripsi Sarjana, Univ. Gadjah Mada*). *Univ. Gadjah Mada Repos.*, vol. Skripsi Sa, 2019, [Online]. Available: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/174783>
- [9] Badan Informasi Geospasial, "Peraturan Kepala BIG No 6 Tahun 2018," 2018.
- [10] Badan Informasi Geospasial, "Peraturan Kepala BIG No 1 Tahun 2020," 2020.

ROLES OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ULTRASONICATION IN RELEASING ORGANIC MATTER FROM BIOLOGICAL ACTIVATED CARBON

*Sri Anggreini¹, Ade Jaya Saputra², LQ Parulian Sanjaya S³

^{1,2,3}Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Internasional Batam, Batam, Indonesia

*) Email: sri.anggreini@uib.ac.id

Received: 28 November 2025 ; Revised: 1 Desember 2025 ; Accepted: 5 Desember 2025

ABSTRACT

Biological activated carbon (BAC) is widely used in drinking water treatment because it combines adsorption on activated carbon with biodegradation carried out by the attached microbial community. However, environmental shifts such as changes in pH, temperature, or physical disturbances may cause previously adsorbed organic matter (OM) to detach from the activated carbon. This phenomenon can increase dissolved organic carbon in treated water and potentially affect downstream processes. This study examined how pH, temperature, and ultrasonication influence the release of OM from BAC. The BAC was extracted using DOC-free tap water under different pH conditions (5.8, 7.0, and 8.6) and temperatures (5°C, 20°C, and 30°C), with and without the application of ultrasonication. After treatment, dissolved organic carbon (DOC) and UV absorbance at 260 nm (UV₂₆₀) were measured to characterize the released OM. The results show that higher pH promotes OM detachment, with both DOC and UV₂₆₀ values increasing markedly under alkaline conditions. Temperature also played a strong role; warmer conditions enhanced OM release, indicating that higher kinetic energy and increased molecular mobility facilitate detachment. Ultrasonication consistently intensified the release across all conditions, suggesting that the disruption of biofilms and the reopening of blocked pores contribute to this effect. The findings highlight the sensitivity of BAC to operational changes and underscore the importance of monitoring OM release to maintain the reliability of drinking water treatment systems.

Keyword: Biological Activated Carbon; Organic Matter; Detachment; Ultrasonication

1. INTRODUCTION

Biological activated carbon (BAC) plays a vital role in drinking water treatment because it combines the adsorption of organic matter (OM) with biological degradation carried out by microorganisms [1,2]. This material originally comes from granular activated carbon (GAC), which has long been used in water purification. Over time, microorganisms begin to colonize the surface and internal pores of the GAC, forming a biofilm [3]. As a result, the material gradually transforms into BAC, giving it a dual function, which includes adsorbing contaminants and breaking them down biologically.

During extended use, some of the previously adsorbed OM may be released back into the water, especially when environmental conditions shift, such as changes in pH, temperature, or physical disturbances. This detachment process can increase dissolved organic carbon (DOC) concentrations in the treated water, reducing filtration efficiency and potentially affecting the stability of the distributed water quality [4]. In drinking water systems, this is a significant concern because higher DOC concentrations can interfere with subsequent treatment stages and may contribute to the formation of disinfection by-products (DBPs), which pose public health risks [5,6].

Several environmental factors are known to influence the release of OM from BAC. Shifts in pH can alter the surface charge of the carbon and the degree of ionization of the organic molecules, affecting the strength of interactions between them [7,8]. Temperature changes can modify molecular kinetic energy and diffusion rates, potentially accelerating the release process [9,10]. Physical treatments such as ultrasonication may disrupt biofilm structures and open up clogged pores, making it easier for trapped organic matter to escape [11,12]. Liu et al. (2017) show that ultrasonication can help reopen larger pores and expose carbon surfaces [13]. Research on BAC specifically has revealed that ultrasonication can do more than renew the carbon's adsorptive capacity. In some cases, low-frequency ultrasonication trims down excess biomass while also making mid-sized and larger pores accessible again. Some bacteria are reduced in number, and blocked adsorption sites reopen, an observation that supports the idea that ultrasonication helps release OM that has been trapped within the biofilm or lodged inside the pore structure [13]. A study by Li et al. (2024) adds another perspective. They observed that low frequency ultrasonication not only cleans carbon pores but also influences the surrounding microbial community [14]. The treatment reduced dissolved organic nitrogen and the precursors of nitrogen-containing disinfection by-products, suggesting that ultrasonication reshapes the biofilm environment in ways that affect the character of the organics released [14].

Although many studies have examined adsorption processes and biological regeneration of BAC [15–19], systematic comparisons of how pH, temperature, and ultrasonication collectively influence OM detachment remain limited. Taken together, the literature shows that although ultrasound-based regeneration of BAC has been

explored extensively, most studies focus on how well adsorption capacity recovers or how microbial communities shift afterward. What remains less understood is the nature of the OM that comes off the carbon, especially when changes in pH, temperature, or ultrasonic exposure occur at the same time.

This study is important because the release of OM from BAC can directly affect treatment performance, the quality of water delivered to consumers, and associated health risks. In many water treatment plants, detachment is rarely monitored, as operational attention typically focuses on adsorption and biodegradation. OM release can still occur unexpectedly when operating conditions shift, highlighting the need for a clearer understanding of the factors that control this behavior.

Therefore, this study aimed to investigate how variations in pH, temperature, and ultrasonication influence the detachment of OM from the pores of BAC when exposed to DOC-free tap water. The characteristics of the released OM were evaluated using ultraviolet absorbance at 260 nm and dissolved organic carbon analyses. The findings are expected to provide a more comprehensive understanding of OM stability within BAC and to support the development of strategies that minimize its release in drinking water treatment systems.

2. MATERIALS AND METHODS

Sample Preparation

The BAC was taken from a drinking water treatment plant located in Central Japan. The plant supplies clean water to the surrounding area and produces around 220,300 m³ of treated water each day. DOC-free tap water was prepared by continuously passing tap water through a granular activated carbon (GAC) column (F400 type) until the effluent turbidity reached a stable value. Once the turbidity became constant, the treated water was immediately used to extract OM from the BAC. The use of GAC was intended to produce water free of DOC, while residual chlorine was expected to be removed through the adsorption process.

Detachment Experiment

The working solutions were prepared by adjusting the pH of DOC-free tap water to 5.8, 7.0, and 8.6 using 0.1 M hydrochloric acid or 0.1 M sodium hydroxide. Subsequently, 100 mL of the pH-adjusted DOC-free tap water and 10 g of BAC were added to a 300 mL reactor. Some samples were subjected to ultrasonication, while others were not. Ultrasonic treatment was applied at 40 kHz for 5 minutes, following the procedure described in previous studies [20,21]. After ultrasonication, all samples were shaken at 5°C, 20°C, or 30°C. The shaking process was performed at 100 rpm for 180 minutes to simulate different environmental conditions. Samples at 5°C were maintained in a cooling unit, whereas samples at 20°C and 30°C were kept in an incubator set to the respective temperatures.

Following shaking, the samples were filtered through a 0.2 µm cellulose acetate membrane. Water-quality analyses were then conducted, including the measurement of dissolved organic carbon (DOC) using a TOC analyzer and UV absorbance at 260 nm (UV260) using a spectrophotometer. Specific ultraviolet absorbance (SUVA) was calculated by dividing the UV260 value by the DOC concentration. SUVA is commonly used as an indicator of the aromaticity and hydrophobicity of organic matter (OM). Higher SUVA values generally indicate a greater proportion of aromatic, conjugated carbon structures, while lower SUVA values suggest the presence of more aliphatic or simpler organic compounds [6].

3. RESULTS AND DISCUSSION

Effect of pH on OM Release from BAC

The effect of pH on the release of OM from BAC, reflected in both DOC and UV260 concentrations, is shown in **Fig. 1**. The results clearly indicate that pH has a strong influence on the release of OM from BAC. As the pH of the test solution increases from 5.8 to 8.6, both the DOC and the UV260 concentrations rise significantly. As shown in **Fig. 1a**, in the ultrasonicated samples at pH 8.6, DOC reached its highest level (2.3 mg L⁻¹), whereas at pH 5.8 it was much lower (1.45 mg L⁻¹). A similar trend is observed in UV₂₆₀, where the concentration increases from 1.7 m⁻¹ at pH 5.8 to over 3.2 m⁻¹ at pH 8.6 under ultrasonic treatment, as displayed in **Fig. 1b**. This pH-dependent behavior suggests that under more alkaline conditions, the BAC releases more OM. At higher pH, the deprotonation of acidic functional groups on organic compounds (e.g., carboxyls or phenolics) enhances their solubility, making them more likely to detach from the activated carbon structure [22,23]. In addition, at higher pH there may be repulsive electrostatic forces (due to deprotonated groups) that weaken the interaction between OM molecules and the BAC surface, further promoting detachment [24]. The observed pH-dependent increase in

both DOC and UV₂₆₀ is consistent with previous study that desorption from carbonaceous media is strongly influenced by pH solution [21].

Interestingly, even without ultrasonication, the non-sonicated samples show the same upward trend in DOC and UV₂₆₀ with increasing pH. However, the absolute values are lower than with ultrasonication, which suggests that pH and ultrasonic treatment act synergistically, higher pH makes OM more mobile, and ultrasound further accelerates its release.

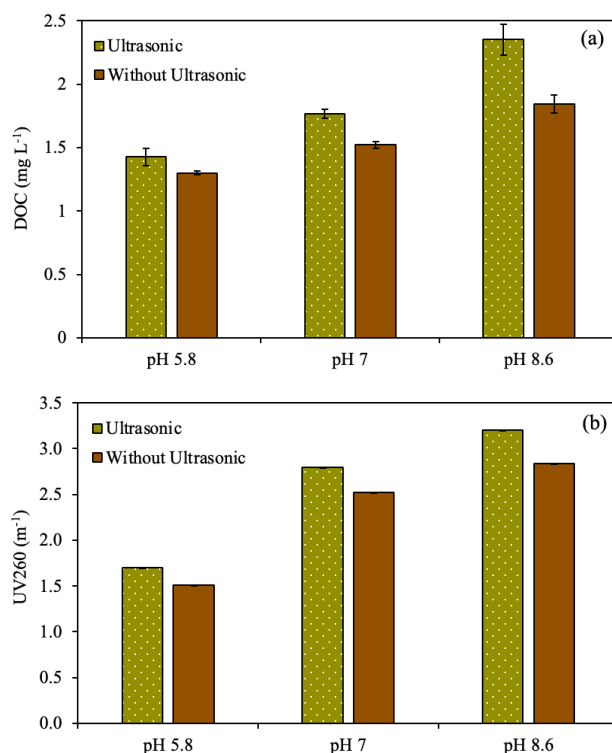


Fig 1. Changes in the release of OM from BAC based on the DOC (a) and UV₂₆₀ (b) concentrations measured at different pH levels at 20°C.

These findings align with earlier studies showing that biochar materials often exhibit greater release of OM when exposed to higher pH conditions [25]. Under alkaline environments, aromatic and humic-like structures become more prone to detachment. Liu et al. (2022) also reported that increases in pH influenced the release of humic-like from biochar, supporting the pattern observed in this study [25].

Effect of Temperature on OM Release from BAC

The results show that temperature plays a critical role in regulating the concentration of OM released from BAC. As illustrated in the **Fig. 2**, both DOC and UV₂₆₀ values increased gradually as the temperature rose from 5°C to 30°C. At 5°C, the release of DOC remained relatively low for both treatments. However, when the temperature was increased to 20°C and further to 30°C, the concentration of OM released became noticeably higher. This trend was consistent in both DOC and UV₂₆₀ concentrations, indicating that higher temperatures promote the detachment of organic compounds from BAC surfaces.

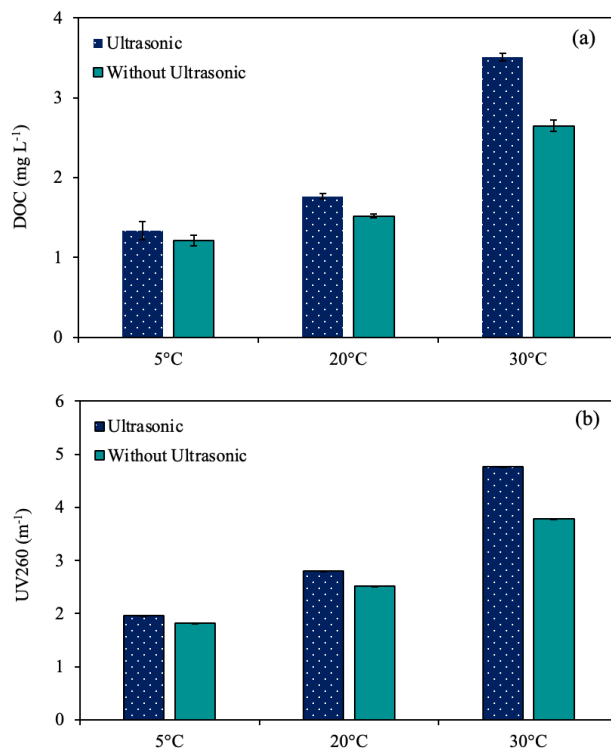


Fig 2. Changes in the release of OM from BAC based on the DOC (a) and UV260 (b) concentrations measured at different temperatures at pH 7.

The samples that received ultrasonication consistently released more OM compared with those processed without ultrasound. This difference became more pronounced at elevated temperatures, suggesting that ultrasound and temperature act in a complementary manner. Higher temperatures are known to enhance molecular mobility, reduce solution viscosity, and increase the flexibility of biofilm structures, which collectively facilitate the breakdown and release of trapped organic components [26]. These mechanisms help explain why the combination of ultrasonication and warmer conditions yielded the highest DOC and UV260 values in this study.

Previous studies indicate that temperature notably affects the behavior of BAC. Warmer conditions tend to accelerate microbial metabolism within biofilms and alter the extracellular polymeric matrix in ways that reduce structural cohesion, thereby making trapped organic matter more likely to be released [27]. Investigations focused on carbonaceous adsorbents further show that increasing temperature enhances molecular mobility and mass transfer, which in turn promotes faster diffusion of organic molecules within porous media and raises detachment rates from activated carbon surfaces [28]. These findings provide a scientific basis that aligns well with the temperature-dependent release patterns observed in the present work.

Effect of pH and Temperature on The Aromaticity of OM

Fig. 3 shows that both pH and temperature significantly influence the aromatic content of the OM released from BAC. As shown in **Fig. 3a**, the SUVA values obtained at different temperatures show a clear but nuanced pattern. At pH 7, SUVA tends to increase from 5°C to 20°C for both treatments, suggesting that a moderate temperature enhances the release of more aromatic fractions from the BAC. This trend aligns with the understanding that higher temperatures can promote detachment and slightly increase microbial activity at the BAC surface, allowing more chromophoric organic matter to be released. Taken together these mechanisms explain why SUVA rose with moderate warming in our experiments and are consistent with observations reported in recent studies of BAC and other carbon-based adsorbents [29].

However, when the temperature rises to 30°C, SUVA decreases for both ultrasonic and without ultrasonic conditions. This decline may indicate that excessive temperature promotes the release of organic matter that is less aromatic, or that the BAC surface becomes less efficient in maintaining its biofilm structure at higher thermal stress. Research on activated carbon under elevated temperatures also reports that the detachment of non-aromatic, lower-molecular-weight compounds becomes more dominant as the system warms [30], which supports the pattern observed here.

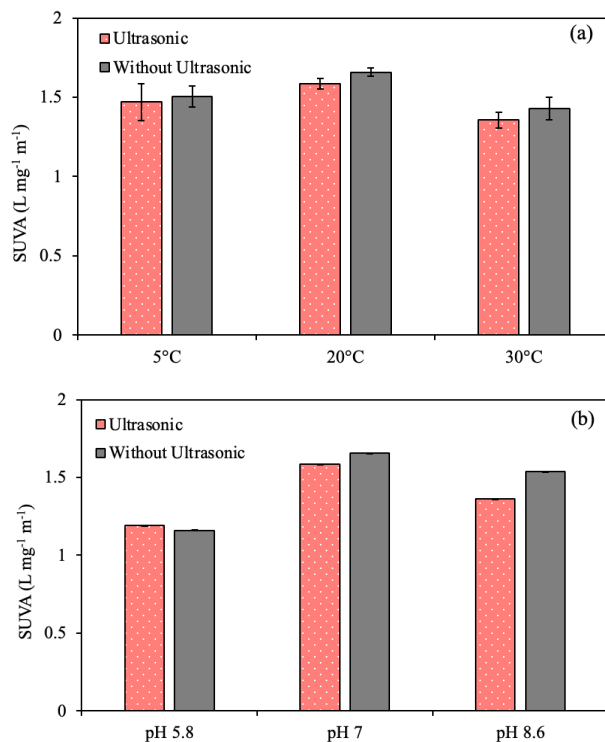


Fig 3. SUVA of OM released from BAC under different temperatures at pH 7 (a) and under different pH conditions at 20 °C (b).

The SUVA values measured at 20 °C show a clear dependence on pH, and this dependence also differs depending on whether ultrasonication was applied, as shown in **Fig. 3b**. For samples treated with ultrasound, SUVA rises from approximately 1.2 L mg⁻¹ m⁻¹ at pH 5.8 to 1.6 at pH 7.0, then decreases to 1.4 at pH 8.6. In the without ultrasonicated samples, a similar pattern emerges, SUVA is about 1.2 at pH 5.8, increases to 1.7 at pH 7.0, and then declines to 1.6 at pH 8.6. This trend suggests that neutral pH (7.0) favors the release or presence of more aromatic or conjugated organic molecules, as indicated by the higher SUVA. Aromatic compounds, which have extensive π -conjugation, tend to absorb UV strongly, and SUVA captures this behavior when normalized to DOC. The drop in SUVA at both lower (5.8) and higher (8.6) pH indicates that the nature of the released organic matter might shift away from strongly aromatic moieties toward more aliphatic or less conjugated structures when the pH moves away from neutrality.

Mechanistically, at acidic pH (5.8), protonation of acidic functional groups in organic compounds may reduce their solubility or alter their conformation, limiting the release of highly aromatic structures. On the other hand, at more alkaline pH (8.6), deprotonation may change the molecular interactions, increased negative charge could enhance repulsive forces, making the more-conjugated, UV-absorbing components less stable in solution, or favor the release of more polar, less aromatic substances [31].

Interestingly, the influence of ultrasonication seems to be modest in terms of SUVA, while ultrasound clearly helps mobilize organic matter, it does not always lead to the highest SUVA values, especially at the highest of pH. At pH 7.0, the without ultrasonicated samples show a slightly higher SUVA than the ultrasonicated ones. This could mean that ultrasound preferentially releases less-aromatic, possibly more labile, organic fractions that are loosely bound to the BAC, while the more strongly aromatic molecules may remain more tightly associated, especially under certain pH conditions. This behavior aligns with findings in the literature. For example, a review on the optical properties of DOC highlights that pH can strongly influence molecular structure and light-absorbing behaviors, because changes in protonation affect the conformation and thus the UV-visible characteristics of organic compounds [32].

4. CONCLUSIONS

This study shows that changes in pH, temperature, and ultrasonication strongly affect how organic matter (OM) detaches from biological activated carbon (BAC). Higher pH consistently led to greater DOC and UV₂₆₀ values, indicating that alkaline conditions weaken the interactions between OM and the carbon surface, making the

compounds easier to release. Ultrasonication further increased this release, demonstrating that chemical conditions and physical disturbance can work together to mobilize OM that is trapped inside BAC pores or biofilm layers.

Temperature also played an important role. As the water warmed from 5°C to 30°C, more OM was released, reflecting faster molecular movement and reduced biofilm integrity at higher temperatures. The combined effect of heat and ultrasonication produced the highest detachment rates. The SUVA results revealed that both pH and temperature shape not only the amount of OM released but also its aromatic character. Moderate conditions (20°C and pH 7) favored the release of more aromatic compounds, whereas more extreme pH values and higher temperatures shifted the release toward less-aromatic, lighter organic fractions.

Overall, the findings highlight that OM stability in BAC is sensitive to even small changes in operational conditions. Understanding these influences is essential for maintaining BAC performance and preventing unexpected increases in OM that could affect downstream treatment processes and drinking water quality.

REFERENCES

- [1] Wang, L., Li, W., Song, L., Liu, X., Zheng, K., Zhang, L., Minhing, T. (2024). "Removal of dissolved organic matter via a combination of UV/persulfate oxidation and biological activated carbon (BAC) process". *Separation and Purification Technology*, Vol. 337, 126376. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126376>.
- [2] Kaiser, T., Picioreanu, C., Lackner, S. (2025) "Modeling interactions between the adsorption of dissolved organic carbon and biological activity on granular activated carbon". *Water Research*, Vol. 287, 124304. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124304>.
- [3] Kajjumba, G.W., Washington, C.M.M., Mohan, A., Yu, Z.L.T., Schimmoller, L., Gonzalez, J., Summers, R.S., Dickenson, E.R.V. (2025) "Application of granular and ozone-biological activated carbon treatments for the mitigation of organic chemical peaking events in potable water schemes". *Water Research X*, Vol. 29, 100389. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2025.100389>.
- [4] Gamage, S.M.K., Sathasivan, A. (2017) "Potential of a biologically activated carbon treatment to remove organic carbon from surface waters". *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 124, 82–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.05.025>.
- [5] Larasati, A., Bernadet, O., Gagliano, M.C. (2025) "Implications of biological activated carbon (BAC) filters for pharmaceutical removal from municipal wastewater: A review on its properties, operational factors, and biofilms". *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 79, 108974. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.108974>.
- [6] Anggreini, S., Rosadi, M.Y., Yamada, T., Hudori H., Deng, Z., Li, F. (2023) "Characteristics of organic matter released from drinking water treatment sludge under different storage conditions: Evaluation based on activated carbon adsorbability". *Chemosphere*, Vol. 339, 139679. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139679>.
- [7] Sun, Y., Peng, B.-Y., Wang, X., Li, Y., Wang, Y., Yanan, Z., Xia, S., Zhao, J. (2023) "Adsorption and desorption mechanisms of oxytetracycline on poly(butylene adipate-co-terephthalate) microplastics after degradation: The effects of biofilms, Cu(II), water pH, and dissolved organic matter". *Science of The Total Environment*, Vol. 863, 160866. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160866>.
- [8] Li, Z., Liang, J., Li, J., Ma, X., Lang, Y., Li, H., Qiu, H., Cao, X., Zhao, L. (2025) "Thermal desorption coupled with persulfate oxidation for removing soil organic pollutants: Key role of soil organic matter passivation". *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 500, 140382. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.140382>.
- [9] Shan, Y., Zhou, B., Liu, Z., Li, L., Zhou, K., Wang, Z., Wu, B., Feng, W., Xue, H., Wang, Z. (2025) "In situ ultrasonic-backwash regeneration of upflow activated carbon filters for improved removal of organics from drinking water". *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 198. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107188>.
- [10] Chern, J.-M., Wu, C.-Y. (2001) "Desorption of dye from activated carbon beds: effects of temperature, pH, and alcohol". *Water Research*, Vol. 35, 4159–65. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00127-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00127-0).
- [11] Ghorbani, P., Siavashi, M. (2025) "Experimental investigation of the effect of particle size of granular activated carbon in a packed bed on methanol adsorption/desorption". *Applied Thermal Engineering*, Vol. 284, 128997. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.128997>.

- [12] Yang, F., Wang, X., Li, J., Li, Z., Wang Z. (2025) "Preparation of Zr-doped MXene@MIL-125(Ti) composite to mediate the ultrasonic removal of organic dyes and microplastics". *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 437, 128450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2025.128450>.
- [13] Liu, C., Sun, Y., Wang, D., Sun, Z., Chen, M., Zhou, Z., Chen, W. (2017) "Performance and mechanism of low-frequency ultrasound to regenerate the biological activated carbon". *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 34, 142–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.036>.
- [14] Li, C., Liu, C., Shan, Y., Lan, T. (2024) "Effects of low frequency ultrasound treatment on dissolved organic nitrogen removal by biological activated carbon: Critical insights into molecular characteristics, microbial traits, and metabolism". *Water Research*, Vol. 260, 121924. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121924>.
- [15] Ciotola, E., Koch, K., Sottorff, I., Esposito, G., Cesaro, A. (2025) "Removal of trace organic compounds in anaerobically digested sludge by ultrasonic treatment". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 522, 167356. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.167356>.
- [16] Ajaz, S., Radke, M., Hassan, A.A., Kaparaju, P., Michael, R.N., Leusch, F.D.L. (2025) "Integrated assessment of biological activated carbon filters with UV/peracetic acid pretreatment for the mitigation of organic micropollutants and toxicity". *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 78, 108774. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.108774>.
- [17] Sari, Y.A., Pamadi, M. (2019) "Current Situation of Wastewater Treatment Plant for Sewage in Batam City". *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1351. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1351/1/012109>.
- [18] Anggreini, S., Saputra, A.J., Sanjaya, L.P. (2025) "Characteristics of organic matter released from water treatment sludge in water treatment facilities". *Journal of Civil Engineering and Planning*, Vol. 6, 2746-6299. <https://doi.org/10.37253/jcep.v6i1.10441>.
- [19] Chen, H., Wang, J., Xu, L., Zhou, P., Graham, N.J.D., Yu, W. (2025) "Role of granular activated carbon's physical properties and surface chemistry in sustaining biological activated carbon performance". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 524, 169173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.169173>.
- [20] Wu, B., Zhou, B., Liu, Z., Li, L., Zhou, K., Wang, Z., Shan, Y., Feng, W., Shao, Z., Xue, H., Wang, Z. (2024) "Adsorption characteristics of used granular activated carbon regenerated by ultrasonic backwashing". *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 17. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105704>.
- [21] Gao, S., Wang, Z., Jia, Y., Xu, N., Liao, L., Wang, Z., Wu, B., Feng, W., Shan, Y., Hu, L., Xue, H. (2024) "Regeneration of activated carbon by combined ultrasound and persulfate treatment". *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 17, 105929. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105929>.
- [22] Xu, Y., Yu, X., Xu, B., Peng, D., Guo, X. (2021) "Sorption of pharmaceuticals and personal care products on soil and soil components: Influencing factors and mechanisms". *Science of the Total Environment*, Vol. 753, 141891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141891>.
- [23] Cooray, P.L.I.G.M., Chalmers, G., Chittleborough, D. (2025) "A review of properties of organic matter fractions in soils of mangrove wetlands: Implications for carbon storage". *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 201, 109660. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109660>.
- [24] Reddy, Y.S., Rotte, N.K., Hussain, S., Srikanth, V.V.S.S., Chandra, M.R. (2023) "Sustainable mesoporous graphitic activated carbon as biosorbent for efficient adsorption of acidic and basic dyes from wastewater: Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies". *Journal of Hazardous Materials Advances*, Vol. 9, 100214. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100214>.
- [25] Liu, M., Zhao, Z., Lu, Q., Yu, W. (2022) "Release of dissolved organic carbon from biochar and formation of humic-like component during photoreaction: Effects of Ca²⁺ and pH". *Water Research*, Vol. 219, 118616. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118616>.
- [26] Ahmad, J.I., Dignum, M., Liu, G., Medema, G., Hoek J.P.V.D. (2021) "Changes in biofilm composition and microbial water quality in drinking water distribution systems by temperature increase induced through thermal energy recovery". *Environmental Research*, Vol. 194, 110648. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110648>.
- [27] Lin, Y.-T., Wang, Y.-C., Xue, Y.-M., Tong, Z., Jiang, G.-Y., Hu, X.-R., Crittenden, J.C., Wang, C. (2024) "Decoding the influence of low temperature on biofilm development: The hidden roles of c-di-GMP". *Science of the Total Environment*, Vol. 927, 172376. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172376>.

- [28] Abdelhak, S., Menard, Y., Artigas, J. (2023) "Effects of global change on the ability of stream biofilm to dissipate the herbicide glyphosate". *Environmental Pollution*, Vol. 324, 121406. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121406>.
- [29] Zusman, O.B., Kummel, M.L., Rosa, J.M.D.L., Mishael, Y.G. (2020) "Dissolved organic matter adsorption from surface waters by granular composites versus granular activated carbon columns: An applicable approach". *Water Research*, Vol. 181, 115920. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115920>.
- [30] Ma, X., Wang, L., Hou, Y., Zhou, L. (2022) "Adsorption/desorption characteristics of low-concentration semi-volatile organic compounds in vapor phase on activated carbon". *Journal of Environmental Management*, Vol. 305, 114360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114360>.
- [31] Banc, C., Gautier, M., Blanc, D., Lupsea-Toader, M., Marsac, R., Gourdon, R. (2021) "Influence of pH on the release of colloidal and dissolved organic matter from vertical flow constructed wetland surface sludge deposits". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 418, 129353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129353>.
- [32] Xu, Y., Zhang, Y., Qiu, L., Zhang, M., Yang, J., Ji, R., Davide, V., Chen, Z., Gu, C. (2024) "Photochemical behavior of dissolved organic matter in environmental surface waters: A review". *Eco-Environment and Health*, Vol. 3, 529–42. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2024.06.002>.

PENGARUH BEBAN GEMPA TERHADAP RESPON STRUKTUR GEDUNG TUA TERBENGKALAI (STUDI KASUS: GEDUNG KLABAT PLAZA MANADO)

*Jessen Granbey Potalangi¹, Ficky Marcellino Oroh², Nur Fitri Ramadhani³

¹Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado, ²Teknik Sipil, Kota Manado

*) Email: jessenpotalangi@unsrat.ac.id

Received: 30 November 2025 ; Revised: 12 Desember 2025 ; Accepted: 13 Desember 2025

ABSTRACT

This research was conducted on the structural system of the Klabat Plaza Building in Manado, a 30-year-old abandoned structure located in an area with high seismic activity. The objective of this research is to evaluate the influence of earthquake loads based on the latest seismic zoning on the structural response. The assessment was carried out through field investigations, including the collection of physical condition data, concrete quality testing using a rebound hammer, yield strength testing of reinforcing steel using the Leeb Hardness Test, and reinforcement scanning to identify the actual configuration of structural elements. Structural modeling was then performed using SAP2000 v.26 by adopting earthquake load parameters in accordance with SNI 1726:2019 through response spectrum analysis and nonlinear pushover analysis. The response spectrum analysis indicates that the maximum displacements in both directions remain within the interstorey drift limits stipulated by the code, demonstrating that the structure retains adequate lateral stiffness in the elastic range. However, the pushover analysis reveals that the structure attains a Damage Control performance level, with several ground-floor columns exceeding the Collapse Prevention (CP) limit. This condition indicates vulnerability to a dangerous strong-beam–weak-column mechanism during a major earthquake. Critical elements were primarily observed in the ground-floor columns, cantilever beams, and non-prismatic beams, which exhibited significant internal force concentrations. Overall, the building may still be retained if appropriate strengthening measures are implemented, particularly on the ground-floor columns and the lateral force-resisting system. This study provides an important technical basis for the rehabilitation of aging buildings and for decision-making related to asset management in seismic-prone areas.

Keywords: Structural Response, Pushover, Investigation, Old Building, Earthquake

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada struktur Gedung Klabat Plaza Manado yaitu sebuah bangunan tua yang berusia 30 tahun telah lama terbengkalai dan berada pada wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh beban gempa berdasarkan zonasi terbaru terhadap respons struktur. Kajian dilakukan melalui investigasi lapangan meliputi pengumpulan data kondisi fisik bangunan, pengujian mutu beton menggunakan rebound hammer, pengujian kuat leleh tulangan baja melalui metode Leeb Hardness Test, serta pemindaian tulangan untuk mengidentifikasi konfigurasi aktual elemen struktural. Selanjutnya, pemodelan struktur dilakukan menggunakan SAP2000 v.26 dengan mengadopsi parameter beban gempa sesuai SNI 1726:2019 melalui analisis respons spektrum dan analisis nonlinier pushover. Hasil analisis respons spektrum menunjukkan bahwa simpangan maksimum pada kedua arah masih memenuhi batas interstorey drift yang disyaratkan standar, sehingga secara elastis struktur masih memiliki kekakuan lateral yang cukup. Namun, hasil analisis pushover mengungkap bahwa struktur berada pada level kinerja *Damage Control*, dengan beberapa kolom lantai dasar melampaui batas *Collapse Prevention* (CP). Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur rentan mengalami mekanisme strong beam–weak column yang berbahaya pada saat terjadi gempa besar. Elemen kritis terutama ditemukan pada kolom dasar, balok kantilever, dan balok nonprismatis yang mengalami konsentrasi gaya dalam signifikan. Secara keseluruhan, gedung masih dapat dipertahankan apabila dilakukan perkuatan yang tepat, khususnya pada elemen kolom dasar dan sistem penahan gaya lateral. Penelitian ini memberikan dasar teknis penting bagi upaya rehabilitasi bangunan tua serta pengambilan keputusan pengelolaan aset bangunan di kawasan rawan gempa.

Kata kunci: Respons Struktur, Pushover, Investigasi, Bangunan Tua, Gempa

1. PENDAHULUAN

Indonesia berada pada kawasan dengan aktivitas seismik tinggi akibat pertemuan tiga lempeng besar, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Sulawesi Utara, termasuk Kota Manado, merupakan wilayah dengan kerawanan gempa cukup tinggi karena berdekatan dengan Palung Sulawesi dan sesar aktif [1]. Kondisi ini meningkatkan urgensi evaluasi bangunan eksisting, terutama bangunan tua yang dibangun sebelum diberlakukannya standar ketahanan gempa terbaru. Gedung Klabat Plaza Manado merupakan salah satu bangunan bertingkat yang telah terbengkalai dan mengalami degradasi material. Bangunan tersebut memiliki ketidakteraturan geometri, seperti split floor dan kantilever besar, yang berpotensi memperburuk kinerja struktur saat mengalami beban gempa. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh beban gempa zonasi terbaru terhadap respons struktur Gedung Klabat Plaza melalui kombinasi analisis dinamis dan nonlinier. Beberapa studi sebelumnya telah mengkaji evaluasi struktur bangunan tua eksisting akibat beban gempa menggunakan pendekatan analisis nonlinier. Menurut studi

[2] dalam bangunan beton bertulang yang berusia tua biasanya menunjukkan minimnya penerimaan beban gempa. Kemudian dalam melihat kinerja sebuah bangunan studi [3] menyatakan bahwa kinerja dan mekanisme keruntuhan struktur bangunan dapat diperkirakan melalui analisis statik non-linier pushover selanjutnya dapat diproses untuk menentukan tingkat kinerja merujuk pada ATC-40. Sementara untuk evaluasi prosedur dari studi [4] menggunakan prosedur ASCE 41-17 menegaskan bahwa metode pushover mampu mengidentifikasi elemen kritis sekaligus tingkat kinerja bangunan secara global. Sejalan dengan temuan yang disebutkan studi [5] menegaskan bahwa zona kegempaan di Indonesia yang terus diperbaharui menuntut perlunya evaluasi ulang bangunan-bangunan eksisting yang dirancang sebelum pemberlakuan SNI ketahanan gempa terbaru. Berdasarkan kajian tersebut penelitian ini penting dilakukan untuk memahami respons struktur bangunan tua yang telah terbengkalai terutama yang berada pada wilayah seismik tinggi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Data Objek

Pengkajian perilaku struktur Gedung Klabat Plaza dilakukan berdasarkan data dasar bangunan yang diperoleh dari survei lapangan serta informasi teknis yang relevan oleh peneliti. Gedung ini berlokasi di pusat Kota Manado, Sulawesi Utara, Indonesia, dengan koordinat geografis $1,458^{\circ}$ Lintang Utara dan $124,83^{\circ}$ Bujur Timur. Bangunan sudah berumur sekitar 30 tahun memiliki luas total 6.191 m^2 dengan tinggi kurang lebih 30 meter. Secara struktural, gedung ini menggunakan sistem konstruksi campuran berupa beton bertulang pada elemen utama seperti kolom dan balok, sementara beberapa bagian lain menggunakan material baja, terutama pada area tertentu yang berfungsi sebagai penopang tambahan. Bangunan ini memiliki karakteristik khusus berupa tipe split floor dan bentang kantilever yang cukup panjang, sehingga menimbulkan ketidakteraturan geometri yang signifikan dalam arah vertikal maupun horizontal. Sistem struktur gedung secara umum dikategorikan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Selain itu, kondisi bangunan yang telah lama terbengkalai menyebabkan terjadinya degradasi pada sebagian elemen struktural, sehingga menjadi perhatian utama dalam proses evaluasi respons struktur terhadap beban gempa. Seluruh parameter ini menjadi dasar utama dalam penyusunan model analisis struktur untuk memperoleh gambaran perilaku gedung terhadap pengaruh gempa sesuai standar yang berlaku.

Investigasi Kondisi Eksisting

Pelaksanaan investigasi struktur awal yang dilakukan adalah pengukuran dimensi elemen-elemen struktur setelah itu dilakukan pengujian kondisi eksisting struktur meliputi pengujian mutu Non-Destructive melalui Rebound Hammer Test [6] untuk memperoleh estimasi kuat tekan beton (f_c'), serta pengujian mutu tulangan baja melalui Leeb Hardness Test [7] untuk memperoleh estimasi kuat leleh tulangan baja (f_y). Evaluasi material beton struktur juga disesuaikan dengan persyaratan yang tercantum pada SNI 2847:2019 [8] dan ketentuan penulangan baja beton struktural berdasarkan SNI 2052:2017 [9], sehingga hasil pengujian lapangan (RHT dan LHT) dapat dikalibrasi dengan standar mutu yang berlaku.



Gambar 2. Pengujian lapangan

Data Pemodelan Struktur

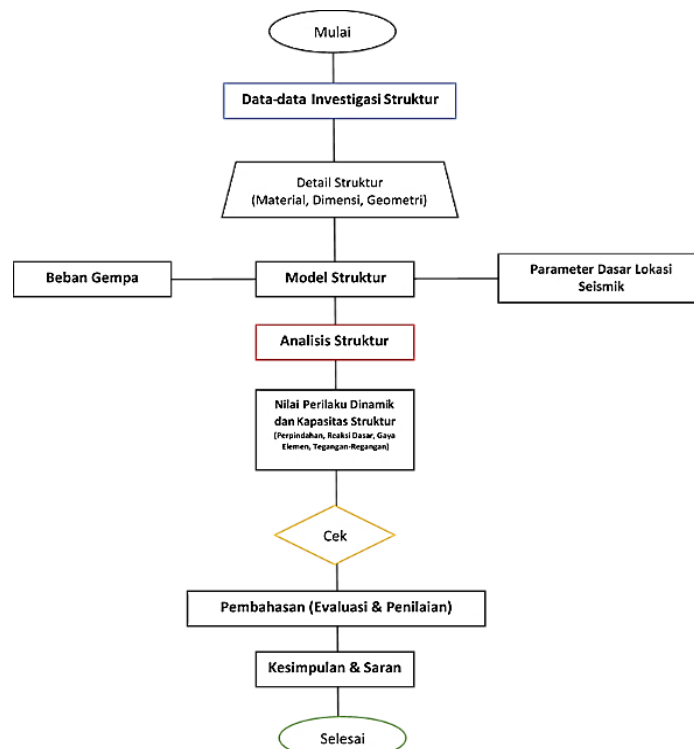
Berdasarkan data lapangan bangunan kemudian dimodelkan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 v.26 [10]. Seluruh elemen struktur dimodelkan sesuai konfigurasi aktual termasuk ketidakaturan vertikal dan horizontal. Beban gravitasi termasuk beban mati dan beban hidup dimasukkan mengacu pada SNI 1727:2020 dan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019. Parameter gempa wilayah Manado divalidasi berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia [11], sehingga zonasi gempa yang digunakan untuk gedung klabat Plaza mencerminkan kondisi seismik terkini dan lebih konservatif. Daerah tinjauan didefinisikan berdasarkan respons spektrum wilayah Kota Manado mencakup nilai SDs, SD1, dan kurva percepatan desain.

Analisis Struktur

Analisis dilakukan menggunakan dua pendekatan yaitu analisis dinamik respons spektrum dan analisis statik nonlinier pushover. Analisis respons spektrum digunakan untuk memperoleh respons elastis bangunan meliputi simpangan antar lantai, gaya dalam, momen, dan gaya geser dasar. Validasi model dilakukan dengan memastikan kesesuaian gaya geser dasar antara analisis statik ekuivalen dan respons spektrum. Selanjutnya, analisis pushover digunakan untuk mengevaluasi kapasitas inelastik struktur, pembentukan sendi plastis, serta level kinerja struktur berdasarkan kurva kapasitas (capacity curve). Dalam penentuan level kinerja gedung ini mengacu pada pedoman internasional ATC-40 [12] dan ASCE/SEI 41-17 [13], yang memberikan batasan rasio drift dan kriteria sendi plastis untuk menentukan klasifikasi kinerja seperti Immediate Occupancy, Life Safety, Damage Control, dan Collapse Prevention.

Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. Diagram Alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Material Elemen Struktur Eksisting

Pengujian lapangan menunjukkan bahwa mutu beton bertulang pada elemen struktural bervariasi, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 33,5 MPa pada kolom, 27 MPa pada balok, dan 26 MPa pada pelat. Nilai tersebut masih tergolong dalam kategori beton mutu normal, meskipun ditemukan gejala degradasi seperti retak minor dan korosi ringan pada beberapa elemen. Sementara itu, pengujian kuat leleh baja menggunakan LHT menghasilkan nilai rata-rata 457,8 MPa, yang menegaskan bahwa kualitas tulangan baja masih berada pada tingkat yang baik. Kekurangan yang tampak terutama berasal dari kondisi bangunan yang telah lama terbengkalai sehingga mempengaruhi kinerja material terhadap beban dinamis.



Gambar 4. Kondisi Degradasi Elemen Kolom

Data Struktur Eksisting

Data detail dimensi struktur eksisting dapat dilihat pada tabel 1, 2, dan 3 berikut:

Tabel 1. Konfigurasi Tulangan Kolom

No	Kolom	Dimensi	Tulangan		Selimut Beton (mm)
			Longitudinal	Tranversal	
1	K1	70x70	28D22	4Ø8-130	40
2	K7	35x35	8D12	2Ø8-100	40
3	K8	34x34	8D12	2Ø8-100	40
4	K9	60x60-45x45	16D16	3Ø8-100	40
5	K10	60x60-45x45	16D16	3Ø8-100	40
6	KA	34x34	8D12	2Ø8-100	40

Tabel 2. Konfigurasi Tulangan Kolom

LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal		LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal	
			Lok	Tp	Lpg	Tp	Lpg				Lok	Tp	Lpg	Tpn	Lpg
1	BAH	40/80	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100		2-7	BAH	30/80	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 5D16	7D16	100	100					Bwh 5D16	7D16	100	100	
	BAV	35/45	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100			BAV	35/45	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 5D16	7D16	100	100					Bwh 5D16	7D16	100	100	
	BIH	45/80	Atas 8D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100			BIH	40/80	Atas 8D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 6D16	8D16	100	100					Bwh 6D16	8D16	100	100	
	BIV	45/80	Atas 12D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100			BIV	40/80	Atas 12D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 7D16	12D16	100	100					Bwh 7D16	12D16	100	100	
8	BP	35/45	Atas 3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100		9	BP	35/45	Atas 3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 3D16	3D16	100	100					Bwh 3D16	3D16	100	100	
	BAHCanti	40/80-40/45	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50			BAHCanti	30/80-35/45	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50	
			Bawah 7D16								Bwh 7D16				
	BIHCanti	45/80-45/45	Atas 12D16		Ø10-50	Ø10-50			BIHCanti	40/80-40/40	Atas 12D16		Ø10-50	Ø10-50	
			Bawah 7D16								Bwh 7D16				
	BIVCanti	45/90-45/45	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50			BIVCanti	40/80-40/40	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50	
			Bawah 7D16								Bwh 7D16				
10	BAH	30/70	Atas 6D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100		9	BIH	25/55	Atas 3D16		Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 3D16	6D16	100	100					Bwh 3D16		100	100	
	BAV	35/45	Atas 3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100			BIV	30/80	Atas 6D16		Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 3D16	3D16	100	100					Bwh 3D16		100	100	
	BIH	40/85	Atas 6D16	3D16					BAH	30/60	Atas 6D16	3D16			

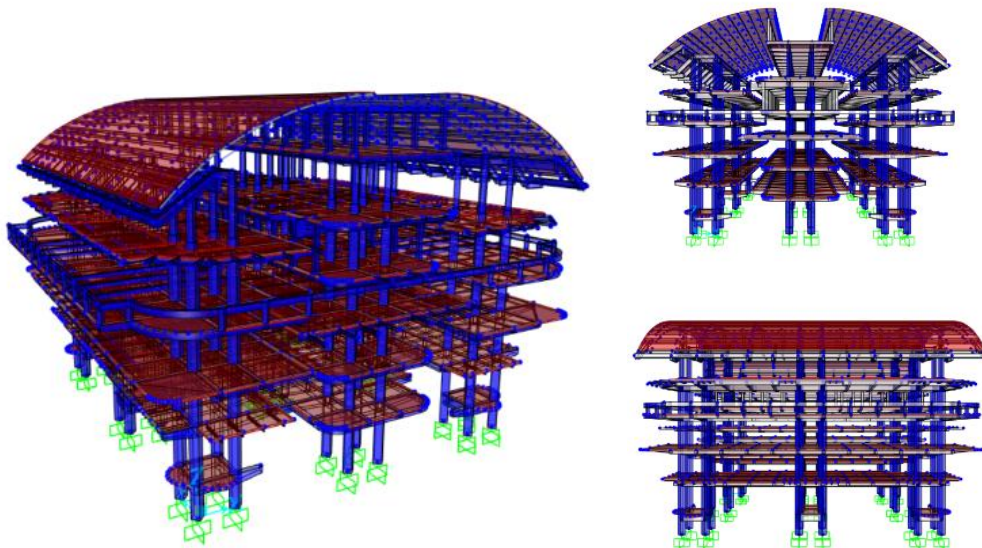
LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal		LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal	
			Lok	Tp	Lpg	Tp	Lpg				Lok	Tp	Lpg	Tpn	Lpg
			Bawah	3D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100				Bwh	3D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100
BIV	45/90		Atas	12D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100	BIH	30/60		Atas	6D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100
			Bawah	7D16	12D16	Ø10-100	Ø10-100				Bwh	3D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100
BP	35/45		Atas	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100	BIV	45/90		Atas	7D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100
			Bawah	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100				Bwh	7D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100
BAHCanti	30/70-30/45		Atas	10D16		Ø10-50	Ø10-50	BP	35/45		Atas	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100
			Bawah	7D16		Ø10-50	Ø10-50				Bwh	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100
BIHCanti	40/85-40/45		Atas	12D16		Ø10-50	Ø10-50	BAHCanti	30/60-30/45		Atas	4D16		Ø10-50	Ø10-50
			Bawah	7D16		Ø10-50	Ø10-50				Baw	3D16		Ø10-50	Ø10-50
BIHTgga	45/133-40/45		Atas	6D16		Ø10-100	Ø10-100	BIHCanti	30/60-30/45		Atas	4D16-3D16		Ø10-50	Ø10-50
			Bawah			Ø10-100	Ø10-100				Bwh	3D16		Ø10-50	Ø10-50
BIVCanti	40/85-40/45		Atas	10D16		Ø10-50	Ø10-50	BIVCanti	45/90-45/45		Atas	4D16-3D16		Ø10-50	Ø10-50
			Bawah	7D16		Ø10-50	Ø10-50				Bwh	3D16		Ø10-50	Ø10-50
Blk Atap	34/34		Atas	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100								
			Bawah	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100								

Tabel 3. Konfigurasi Tulangan Kolom

No	Pelat	Tebal (mm)	Selimut beton (cm)	Tulangan Grid
1	P1	15	2.5	P10
2	P2	20	2.5	P10

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan di software SAP2000 v26 sesuai dengan data aktual lapangan yang diperoleh.

**Gambar 5.** Model struktur Gedung Klabat Plaza Manado

Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam pemodelan struktur SAP2000 meliputi semua elemen struktur eksisting.

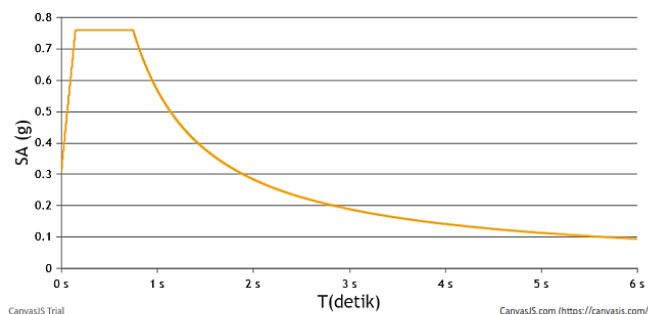
Tabel 4. Berat Gedung Eksisting

Objek	Material	Berat (KN)
Frame	Beton Kolom	10088,87
Frame	Baja Struktural	412,318
Frame	Rebar	4,246
Frame	Beton Balok	28733,01
Area	ColdFormed (atap)	31,602
Area	Beton Pelat	22733,16

$$\Sigma = 62003,2 \text{ KN}$$

Sumber: Analisis, 2025

Pembebanan yang diperhitungkan dalam pemodelan struktur meliputi beban mati, beban superimpose, dan beban gempa. Dalam analisis pada struktur ini digunakan pembebanan gempa dinamis respons spektrum. Fungsi respons spektrum ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk kondisi tanah sedang (SD) dengan koordinat geografis 1,458° Lintang Utara dan 124,83° Bujur Timur. Parameter seismik dan fungsi respons spektrum diperoleh Kelas Tanah SD (Tanah sedang), PGA MCEG: 0,4723g, SS MCEr: 1,058g, S1 MCEr: 0,4714g, TL: 16 detik, T0: 0,15 detik, Ts: 0,75 detik, SDs: 0,76g, dan SD1: 0,57g.



Sumber: RSA, 2025

Gambar 6. Respon spektrum Koordinat Gedung Klabat Plaza Manado

Hasil Analisis Respons Spektrum

Analisis respons spektrum dilakukan untuk memperoleh perilaku elastis struktur. Hasilnya menunjukkan bahwa simpangan maksimum pada arah X mencapai 43,2 mm, sedangkan pada arah Y sebesar 2,55 mm. Nilai drift antar lantai (interstorey drift ratio) pada kedua arah masih berada di bawah batas maksimum 0,02h sesuai SNI 1726:2019. Hal ini mengindikasikan bahwa secara elastis struktur masih memiliki kekakuan lateral yang cukup memadai.

Tabel 5. Simpangan lantai Arah X

*Bangunan tengah						*Bangunan Pinggir					
Lantai	Hx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta izin$	Lantai	Hx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta izin$
Atap	4550	43.21	39.45	113.75	OK	9	3900	28.12	25.58	97.5	OK
10	4150	36.03	36.34	103.75	OK	7	4150	23.47	37.95	103.75	OK
8	3150	29.42	26.42	78.75	OK	5	4000	16.57	39.26	100	OK
6	4150	24.62	44.03	103.75	OK	3	4400	9.427	41.70	110	OK
4	3900	16.61	42.18	97.5	OK	1	2650	1.844	10.13	66.25	OK
2	5350	8.94	49.20	133.75	OK	Dasar	0	0	0	0	
Dasar	0	0	0	0							

Sumber: Analisis, 2025

Tabel 6. Simpangan lantai Arah Y

*Bangunan Tengah						*Bangunan Pinggir					
Lantai	Hy (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta izin$	Lantai	Hy (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta y < \Delta izin$
Atap	4550	0.37	0.31	113.75	OK	9	3900	1.25	2.55	97.5	OK
10	4150	0.31	0.27	103.75	OK	7	4150	0.79	1.27	103.75	OK
8	3150	0.26	0.21	78.75	OK	5	4000	0.56	1.41	100	OK
6	4150	0.22	0.38	103.75	OK	3	4400	0.30	1.35	110	OK
4	3900	0.15	0.38	97.5	OK	1	2650	0.06	0.31	66.25	OK
2	5350	0.09	0.48	133.75	OK	Dasar	0	0	0	0	
Dasar	0	0	0	0							

Sumber: Analisis, 2025

Selain itu verifikasi gaya geser dasar menunjukkan bahwa gaya geser dari analisis dinamis dan metode statik ekuivalen telah memenuhi syarat kesetaraan. Dengan demikian, model struktur dianggap valid dan mewakili kondisi eksisting bangunan.

Tabel 7. Gaya Geser Statis dan Dinamis

BASE SHEAR	Dinamik (VD) Geser Dasar (KN)	Statis (VS) Geser Dasar (KN)	FaktorSkala VS/VD	Kontrol (VD>= 100% VS)
Arah X	4747.72	4738.97	0.99	OK
Arah Y	4750.674	4738.973	0.99	OK

Sumber: Analisis, 2025

Hasil Analisis Nonlinier Pushover

Dari proses iterasi didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan (D) dengan gaya geser dasar (V).

Tabel 8. Kapasitas Pushover Arah X

Load Case	Step	Disp. (mm)	Base Force (KN)	AtoB	B toC	C to D	D to E	Beyond E	AtoIO	IOtoLS	LStoCP	Beyond CP	Total
PUSH-X	0	0.256762	0	3760	168	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	1	0.726072	66.865	3759	169	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	4	73.47004	10074	3588	340	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	5	133.8959	16443	3517	411	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	6	249.5311	25525	3349	567	12	0	0	3894	34	0	0	3928
PUSH-X	7	363.3766	32195	3214	690	24	0	0	3790	138	0	0	3928
PUSH-X	8	449.5121	36240	3164	738	26	0	0	3738	160	30	0	3928
PUSH-X	9	456.5361	36522	3162	733	33	0	0	3730	168	30	0	3928
PUSH-X	10	460.5981	36502	3152	737	39	0	0	3726	172	28	2	3928
PUSH-X	11	461.2384	36518	3152	736	40	0	0	3726	172	28	2	3928

Sumber: Analisis, 2025

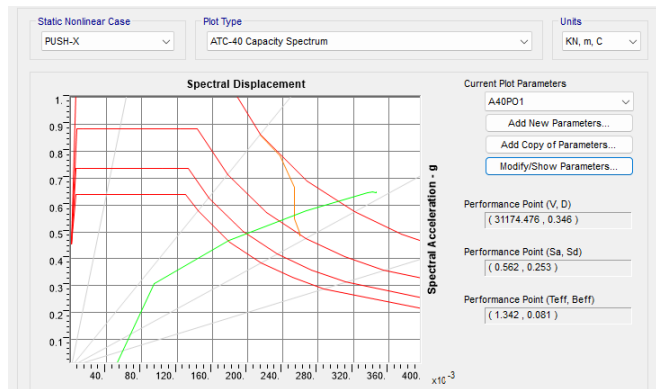
Tabel 9. Kapasitas Pushover Arah Y

Load Case	Step	Disp. (mm)	Base Force (KN)	AtoB	BtoC	C to D	D to E	Beyond E	AtoIO	IO to LS	LS to CP	Beyond CP	Total
PUSH-Y	0	0.6017	0	3760	168	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-Y	1	0.60906	1.186	3760	168	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-Y	17	112.904	16429	3582	346	0	0	0	3923	5	0	0	3928
PUSH-Y	18	173.4575	22807	3507	421	0	0	0	3912	16	0	0	3928
PUSH-Y	19	290.038	32083	3351	565	12	0	0	3874	54	0	0	3928
PUSH-Y	20	362.0675	37332	3238	678	12	0	0	3838	90	0	0	3928
PUSH-Y	21	420.384	40969	3178	722	28	0	0	3778	144	6	0	3928
PUSH-Y	22	508.3176	43401	3134	752	42	0	0	3741	169	6	12	3928
PUSH-Y	23	579.198	42469	3094	786	48	0	0	3729	175	0	24	3928
PUSH-Y	24	600.6	41755	3081	799	48	0	0	3726	178	0	24	3928

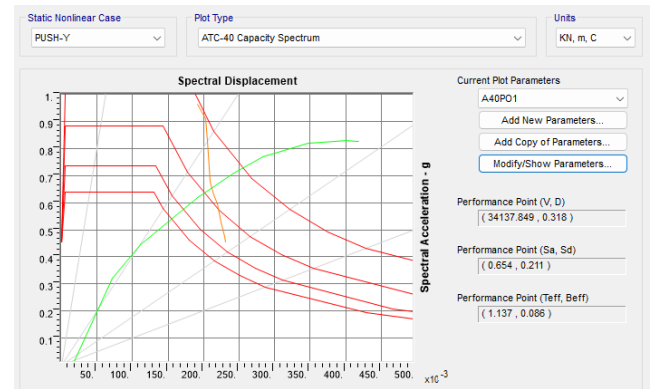
Sumber: Analisis, 2025

Hasil menunjukkan bahwa kapasitas maksimum perpindahan sebesar 461 mm dengan gaya geser (base shear) adalah 36.518 kN pada arah X dan perpindahan sebesar 600,6 mm dengan gaya geser 41.755 kN pada arah Y. Displacement gedung pada arah X dapat dikatakan baik karena displacement yang terbentuk lebih kecil dari displacement limit control sedangkan displacement gedung arah y dikatakan kurang baik karena sudah pada batas yang ditentukan sebesar $2\% H = 2\% \times 3 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$.

Dengan dilanjutkan menggunakan pendekatan Capacity Spectrum Method (CSM) dalam ATC-40. Berdasarkan parameter respons percepatan spektral, diperoleh nilai percepatan respons pada periode singkat (0,2 detik) sebesar $SMS = 1,139 \text{ g}$, Untuk periode satu detik (1,0 detik), diperoleh nilai $SM1 = 0,862 \text{ g}$. Parameter percepatan desain dihitung menggunakan ketentuan ATC-40 Pasal 4.4.3.1. Nilai percepatan desain jangka pendek (C_a) dihitung sebesar $0,4557 \text{ g}$, sedangkan percepatan desain periode panjang (C_v) adalah $0,8620 \text{ g}$. Berdasarkan parameter ini diperoleh nilai SDS sebesar $0,7595 \text{ g}$, dan $SD1$ sebesar $0,5747 \text{ g}$, yang menunjukkan bahwa percepatan desain untuk struktur berada pada kategori percepatan sedang hingga tinggi, yang umumnya terjadi pada zona seismik aktif. Klasifikasi kondisi eksisting struktur berdasarkan Tabel 8-4 ATC-40 menempatkan gedung ini pada Tipe C (Poor Existing Building), yang berarti bangunan diasumsikan memiliki kapasitas deformasi dan daktilitas yang terbatas akibat ketidakaturan struktur, degradasi material, dan potensi kelemahan detailing.



Gambar 7. Spektrum Kapasitas Arah X



Gambar 8. Spektrum Kapasitas Arah Y

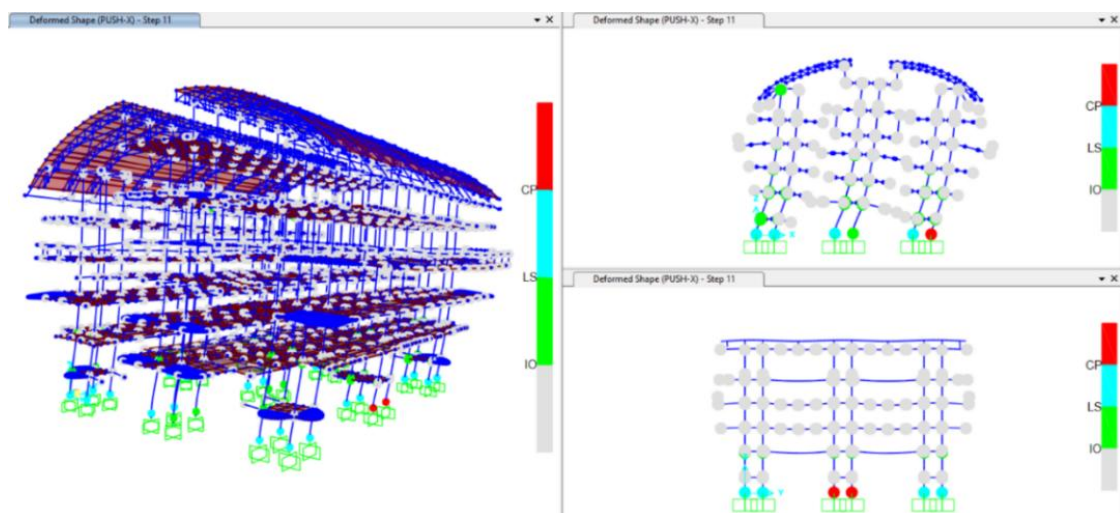
Tabel 10. Titik Kinerja Kapasitas Spektrum ATC-40

Parameter	Arah X (KN;m)	Arah Y (KN;m)
Performance Point (V;D)	31174,48; 0.346	34137,85 ; 0.318
Performance Point (Sa;Sd)	0.562 ; 0.253	0.654 ; 0.211
Performance Point (Teff;Beff)	1.342 ; 0.081	1.137 ; 0.086

Hasil analisis perpindahan pada titik kinerja (performance point) menunjukkan perpindahan lateral maksimum sebesar $D_x = 0,346$ m pada arah X dan $D_y = 0,318$ m pada arah Y. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan tinggi total bangunan yaitu 30 meter, sehingga diperoleh nilai drift sebesar 0,0115 pada arah X dan 0,01006 pada arah Y. Kedua nilai drift tersebut masih berada dalam batas yang diijinkan untuk kondisi elastis, namun menggambarkan bahwa struktur mengalami deformasi yang cukup signifikan ketika berada dalam kondisi mendekati kapasitas ultimitnya.

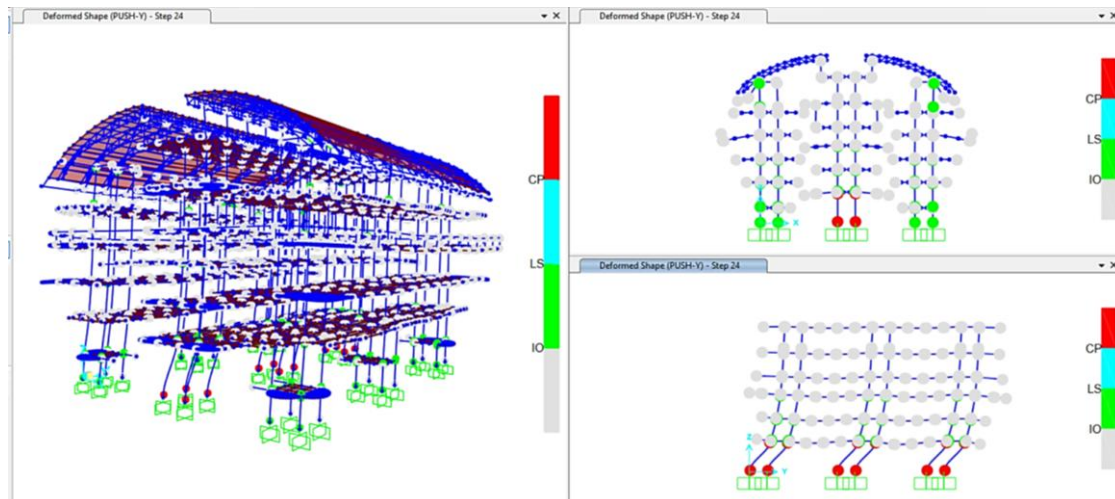
Hasil ATC-40 ini menegaskan bahwa meskipun struktur masih dapat memenuhi kriteria drift pada kondisi elastis dengan level Damage Control, kinerja inelastik menunjukkan bahwa kapasitas lateral struktur berada pada tingkat yang rendah untuk menahan gempa besar.

Elemen Kritis Struktur



Sumber: Analisis, 2025

Gambar 9. Keadaan Sendi Plastis Pada Rangka (Gempa Arah X)



Sumber: Analisis, 2025

Gambar 10. Keadaan Sendi Plastis Pada Rangka (Gempa Arah Y)

Hasil analisis memperlihatkan bahwa terdapat beberapa elemen yang memiliki tingkat kerentanan tinggi, yaitu:

- Kolom lantai dasar, yang menerima konsentrasi momen dan gaya aksial terbesar.
- Balok kantilever, akibat konfigurasi geometris yang tidak beraturan.
- Balok nonprismatis, yang mengalami perubahan kekakuan lokal.

Kondisi ketidakaturan struktur terutama split floor dan perbedaan elevasi lantai memberikan pengaruh signifikan terhadap alur distribusi gaya gempa, sehingga memperbesar risiko pembentukan sendi plastis pada elemen tertentu.

Data elemen sendi plastis kritis dapat dilihat pada tabel 12 dan 13 berikut:

Tabel 11. Elemen Sendi Plastis Gedung Akibat Pushover Arah X

Frame	Output Case	Case Type	Step Type	Assign Hinge	Gen Hinge	Rel Dist	AbsDist (cm)	Hinge State	Hinge Status
356	PUSH-X	NonStatic	Max	P-M2-M3	356H1	0.025	6.625	C to D	>CP
621	PUSH-X	NonStatic	Max	P-M2-M3	621H1	0.025	6.625	C to D	>CP

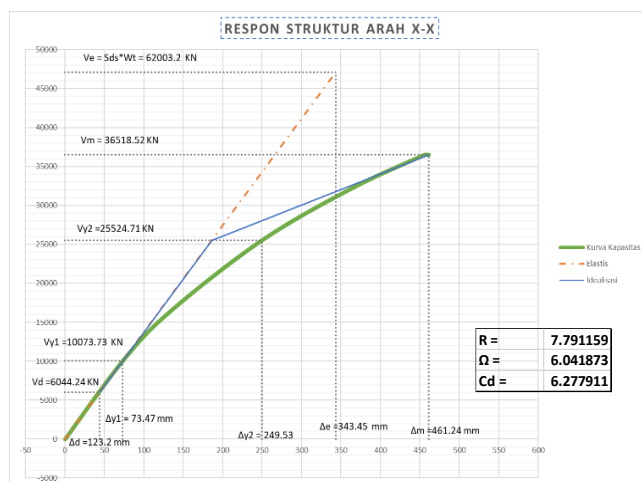
Tabel 12. Elemen Sendi Plastis Gedung Akibat Pushover Arah Y

Frame	Output Case	Case Type	Step Type	Assign Hinge	Gen Hinge	Rel Dist	Abs Dist (cm)	Hinge State	Hinge Status
4	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	4H1	0.025	13.375	C to D	>CP
4	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	4H2	0.975	521.62	C to D	>CP
5	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	5H1	0.025	13.375	C to D	>CP
5	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	5H2	0.975	521.62	C to D	>CP
28	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	28H1	0.025	13.375	C to D	>CP
28	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	28H2	0.975	521.62	C to D	>CP
47	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	47H1	0.025	13.375	C to D	>CP
47	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	47H2	0.975	521.62	C to D	>CP
351	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	351H1	0.025	13.375	C to D	>CP
351	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	351H2	0.975	521.62	C to D	>CP
352	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	352H1	0.025	13.375	C to D	>CP
352	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	352H2	0.975	521.62	C to D	>CP
616	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	616H1	0.025	13.375	C to D	>CP
616	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	616H2	0.975	521.62	C to D	>CP
617	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	617H1	0.025	13.375	C to D	>CP
617	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	617H2	0.975	521.62	C to D	>CP
820	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	820H1	0.025	13.375	C to D	>CP
820	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	820H2	0.975	521.62	C to D	>CP
821	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	821H1	0.025	13.375	C to D	>CP
821	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	821H2	0.975	521.62	C to D	>CP
1024	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1024H1	0.025	13.375	C to D	>CP
1024	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1024H2	0.975	521.62	C to D	>CP
1025	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1025H1	0.025	13.375	C to D	>CP
1025	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1025H2	0.975	521.62	C to D	>CP

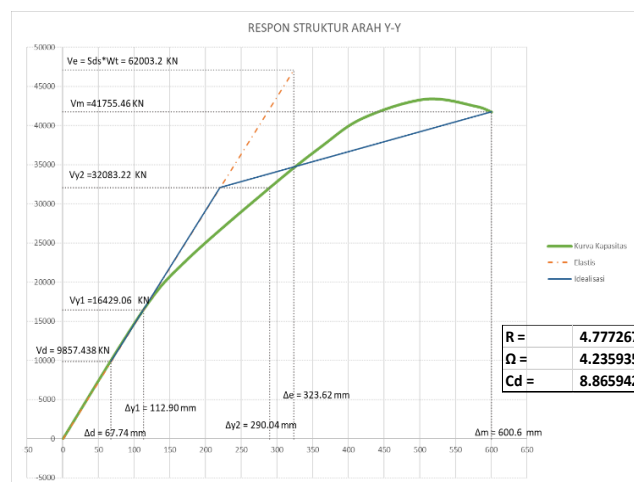
Terdapat 2 sendi plastis kolom yang berstatus diatas batas Collapse Prevention untuk arah X dan terdapat 24 sendi plastis kolom yang berstatus diatas batas Collapse Prevention untuk arah Y. Pembentukan sendi plastis kritis ini sebagian besar terjadi pada beberapa kolom terutama pada lantai dasar gedung. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur berpotensi mengalami mekanisme kegagalan strong beam–weak column, yakni kolom terlebih dahulu memasuki kondisi plastis dibanding balok. Mekanisme ini sangat tidak diinginkan dalam desain tahan gempa karena dapat mempercepat terjadinya ketidakstabilan global bangunan.

Evaluasi Kinerja Struktur

Berikut adalah hasil analisis yang ditunjukkan pada gambar 11, 12 dan tabel 11 berikut:



Gambar 11. Idealisasi Respon Struktur Arah X



Gambar 12. Idealisasi Respon Struktur Arah Y

Tabel 13. Perbandingan Parameter Respon Struktur

Parameter	Hasil Analisis		SNI 2847
	Arah X	Arah Y	
R	7.79	4.78	8
Ω	6.04	4.24	3
Cd	6.28	8.87	5.5

Hasil idealisasi pushover untuk arah X menunjukkan bahwa struktur Gedung Klabat Plaza memiliki nilai faktor reduksi gempa $R = 7,79$ yang mendekati nilai $R = 8$ yang direkomendasikan SNI 1726:2019 untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Hal ini menunjukkan bahwa secara global struktur mampu berdeformasi secara inelastik dan memiliki daktilitas yang relatif tinggi. Namun demikian, faktor kuat lebih (Ω) hasil analisis sebesar 6,04 jauh melebihi nilai $\Omega_0 = 3$ yang ditetapkan untuk SRPMK. Overstrength yang sangat besar ini mengindikasikan adanya ketidakteraturan distribusi kekuatan, yang menyebabkan gaya gempa terakumulasi pada elemen tertentu, terutama kolom dasar yang terbukti mencapai kondisi $>CP$ dalam pushover. Faktor perpindahan Cd juga lebih besar (6,28) dibanding nilai $Cd = 5,5$ menurut SNI. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mengalami amplifikasi perpindahan inelastik yang lebih besar dari sistem SRPMK ideal, dipengaruhi oleh geometri split floor dan elemen non-prismatis.

Hasil idealisasi kurva kapasitas untuk arah Y menunjukkan bahwa struktur memiliki nilai faktor reduksi gempa R sebesar 4,78, jauh lebih rendah dari nilai $R = 8$ yang ditetapkan SNI 1726:2019 untuk SRPMK. Rendahnya nilai R ini menunjukkan bahwa daktilitas global struktur pada arah Y tidak memenuhi karakteristik SRPMK. Faktor kuat lebih (Ω) sebesar 4,24 lebih besar dari nilai $\Omega_0 = 3$ dalam SNI. Nilai ini mengindikasikan adanya kelebihan kapasitas yang tidak merata, di mana sebagian elemen struktur, khususnya balok dan beberapa kolom tingkat atas, terlalu kuat dibanding kolom dasar yang relatif lebih lemah. Kondisi ini menunjukkan mekanisme keruntuhan yang tidak ideal. Faktor perpindahan Cd sebesar 8,87 jauh di atas nilai $Cd = 5,5$ milik SRPMK. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mengalami amplifikasi perpindahan inelastik yang sangat besar akibat ketidakteraturan geometri (split floor, variasi dimensi kolom, dan bentang kantilever).

Secara keseluruhan bangunan masih memenuhi kriteria elastis berdasarkan respons spektrum. Namun, pada kondisi gempa kuat, analisis pushover menunjukkan bahwa struktur tidak lagi memenuhi kinerja minimum untuk bangunan eksisting karena sebagian kolom melewati batas Collapse Prevention. Dengan demikian, tanpa tindakan perkuatan, bangunan tidak dapat dinyatakan aman untuk digunakan kembali, terutama jika direncanakan untuk fungsi publik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil investigasi lapangan, pemodelan struktur, serta analisis gempa menggunakan metode respons spektrum dan pushover, dapat disimpulkan bahwa Gedung Klabat Plaza Manado memiliki perilaku struktur yang kompleks akibat kombinasi degradasi material, ketidakaturan geometri, dan konfigurasi sistem penahan gaya lateral yang tidak ideal. Hasil pengujian material menunjukkan bahwa mutu beton pada elemen kolom, balok, dan pelat masih berada dalam kategori mutu normal, dan mutu baja tulangan berada pada kondisi baik. Namun, adanya retak-retak minor, korosi tulangan, serta kondisi bangunan yang telah terbengkalai memberikan indikasi penurunan performa material yang berpotensi mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan. Analisis respons spektrum memperlihatkan simpangan maksimum 43,2 mm pada arah X dan 2,55 mm pada arah Y, dengan nilai drift yang masih memenuhi batas izin SNI 1726:2019 sehingga kinerja elastis bangunan tetap memenuhi standar. Analisis pushover menunjukkan bahwa kapasitas maksimum gaya geser struktur mencapai 36.518 kN (arah X) dan 41.755 kN (arah Y), serta kinerja struktur berada pada level Damage Control. Kolom lantai dasar menjadi elemen pertama yang melewati ambang Collapse Prevention, mengindikasikan mekanisme strong-beam weak-column yang berbahaya pada kondisi gempa besar. Elemen kritis lainnya meliputi balok kantilever dan balok nonprismatis. Kondisi ini menegaskan bahwa struktur tidak lagi memenuhi kinerja inelastik dan tidak aman digunakan tanpa intervensi perkuatan.

Berdasarkan temuan tersebut maka diperlukan tindakan perkuatan struktural yang menjadi syarat utama kelayakan bangunan. Upaya perkuatan dapat dilakukan melalui CFRP wrapping pada kolom dasar, serta peningkatan kapasitas sistem penahan gaya lateral melalui penambahan shear wall atau bracing baja. Inspeksi lanjutan seperti core drill dan half-cell potential test juga perlu dilakukan untuk memperoleh gambaran lebih akurat mengenai kondisi degradasi material. Jika gedung direncanakan untuk difungsikan kembali, analisis ulang harus disesuaikan dengan beban hidup baru dan rencana penggunaan. Dengan pelaksanaan perkuatan yang tepat, Gedung Klabat Plaza berpotensi memenuhi kembali kinerja struktur sesuai standar terkini dan dapat digunakan secara aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Baillie and J. Decker, "Enigmatic Sulawesi : The Tectonic Collage," *Ber. Sedimentol.*, vol. 48, no. April 2022, pp. 1–30, 2022, doi: 10.51835/bsed.2022.48.1.388.
- [2] A. N. Refani, H. Alrasyid, and M. Irmawan, "Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726 2012 dan SNI 2847 2013," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 2, p. 17, 2015, doi: 10.12962/j12345678.v13i2.1586.
- [3] E. A. Krisdianti, K. Kurniawan, D. Sungkono, T. Sipil, F. Teknik, and U. T. Pembangunan, "Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Berdasarkan ATC-40 Studi Kasus : Bangunan Pasar Jongke," *J. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 29, no. 2, pp. 7–16, 2024.
- [4] Y. A. Adhitama, B. Supriyadi, and B. Suhendro, "Evaluasi Seismik Gedung Bertingkat Eksisting Menggunakan Prosedur Asce 41-17," *J. Ris. Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.20961/jrrs.v6i1.65864.
- [5] M. Irsyam *et al.*, "Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia," *Earthq. Spectra*, vol. 36, no. 1_suppl, pp. 112–136, 2020, doi: 10.1177/8755293020951206.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, *Metode uji angka pantul beton keras (ASTM C805-02, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2012. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [7] Badan Standardisasi Nasional, *Metode Uji Kekerasan Leeb untuk Besi dan Baja*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2017. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [8] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, 2019. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [9] Badan Standardisasi Nasional, *Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2017. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [10] CSI, *SAP2000 v26 Structural Analysis and Design*. Computers and Structures, Inc, 2024. [Online]. Available: www.csiamerica.com
- [11] Pusat Studi Gempa Nasional and Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, 1st ed. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [12] Applied Technology Council, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, vol. 1. 1996. doi: 10.1049/ic:19990660.
- [13] ASCE/SEI, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. 2017.

PENILAIAN POTENSI BANJIR BANDANG MENGGUNAKAN METODE FLASH FLOOD POTENTIAL INDEX (FFPI) DENGAN MODEL KRUDZLO (STUDI KASUS: SUB DAS WAY ILAHAN, LAMPUNG)

***Indri Rahmandhani Fitriana¹, Sahid Sahid², Riyan Hari Putra³**

^{1,2,3}Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

^{*)} Email: indri.fitriana@si.itera.ac.id

Received: 3 Desember 2025 ; Revised: 19 Desember 2025 ; Accepted: 26 Desember 2025

ABSTRACT

Flash floods are hydrometeorological disasters with the potential to carry massive volumes of water and sediment at high flow velocities. Such flow conditions possess significant destructive power, leading to infrastructure damage, loss of life, and economic losses. This study aims to map flash flood hazard potential areas in the Way Ilahan Sub-watershed, Tanggamus Regency, Lampung Province, using the Flash Flood Potential Index (FFPI) method with the Krudzlo model. This method emphasizes physiographic factors such as slope, land use, vegetation density, and soil texture to predict potential flash flood areas. The resulting FFPI calculations are categorized into low, moderate, or high groups. An FFPI index value of 2 to 3.5 indicates low potential, 3.5 to 5 indicates moderate potential, and above 5 indicates high potential. Based on the flash flood hazard assessment using the FFPI method and Krudzlo model, it is concluded that the Way Ilahan Sub-watershed has a flash flood potential ranging from moderate to high. Specifically high category that Two sub-sub-watersheds fall into this class (Sub-watershed No. 7 with an area of 323.45 Ha and No. 5 with an area of 40.18 Ha. Moderate Category that 33 sub-sub-watersheds fall into this class, covering a total area of 19,089.18 Ha

Keyword: flash flood, FFPI, krudzlo model, GIS, disaster mitigation

ABSTRAK

Banjir bandang merupakan bencana hidrometeorologi yang berpotensi membawa volume air dan sedimen yang sangat besar serta kecepatan aliran yang tinggi. Kondisi aliran seperti ini memiliki daya rusak yang besar sehingga dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, korban jiwa, dan kerugian ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan wilayah potensi bahaya banjir bandang di Sub DAS Way Ilahan kabupaten Tanggamus, provinsi Lampung menggunakan metode Flash Flood Potential Index (FFPI) dengan model krudzlo. Metode ini menitikberatkan pada faktor-faktor fisiografis seperti kemiringan lereng, penggunaan lahan, kerapatan vegetasi dan tekstur tanah dalam memprediksi daerah potensi banjir bandang. Selanjutnya hasil perhitungan FFPI ini akan dikategorikan pada kelompok rendah atau sedang atau tinggi. Nilai indeks FFPI 2 sampai dengan 3,5 berpotensi rendah, 3,5 sampai dengan 5 berpotensi sedang dan diatas 5 berpotensi tinggi. Berdasarkan penilaian potensi bahaya banjir bandang metode flash flood potential index dengan model Krudzlo disimpulkan bahwa Sub DAS Way Ilahan berpotensi banjir bandang dengan klasifikasi sedang sampai dengan tinggi. Terdapat 2 Sub-Sub DAS yang memiliki kelas potensi bahaya banjir bandang dengan kategori kelas tinggi yaitu Sub DAS nomor 7 dengan seluas 323,45 Ha dan nomor 5 dengan luas 40,18 Ha. Kemudian terdapat juga 33 Sub-Sub DAS dengan kategori kelas sedang yang memiliki luas total 19089,18 Ha.

Kata kunci: banjir bandang, FFPI, model krudzlo, gis, mitigasi bencana

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kerentanan tinggi terhadap berbagai jenis bencana, baik yang bersumber dari alam maupun non-alam, yang dapat menimbulkan ancaman serius terhadap kesejahteraan dan keberlangsungan hidup masyarakat [1]. Bencana alam yang sering terjadi di Indonesia menyebabkan kerugian langsung maupun tidak langsung, termasuk korban jiwa, kerusakan fasilitas dan infrastruktur, kehilangan harta benda, degradasi lingkungan, serta dampak psikologis bagi penyintas [1]. Salah satu bencana alam yang paling berbahaya adalah banjir bandang. Fenomena ini merupakan hasil dari interaksi antara faktor alam dan antropogenik (aktivitas manusia) dan dicirikan oleh respons hidrologis yang sangat cepat [2]. Banjir bandang sulit diperkirakan karena waktu reaksi yang sangat singkat, sehingga menyebabkan kerugian ekonomi dan manusia yang signifikan. Respons hidrologis ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik geografis fisik suatu wilayah, seperti kemiringan, tekstur tanah, permeabilitas batuan, dan penggunaan lahan [2]. Perubahan penggunaan lahan, seperti penggundulan hutan, adalah faktor antropogenik yang dapat mempercepat aliran air di lereng, secara signifikan meningkatkan risiko erosi, tanah longsor, dan banjir bandang.

Kajian mengenai potensi bencana banjir bandang difokuskan pada Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Ilahan, karena sub DAS ini merupakan pemasok air utama bagi Bendungan Way Sekampung. Jika Sub DAS Way Ilahan memiliki potensi banjir bandang, hal ini akan menyebabkan pengendapan sedimen di Bendungan, yang pada gilirannya akan mengurangi kinerja dan kapasitas volume air Bendungan. Kondisi ini berpotensi menyebabkan

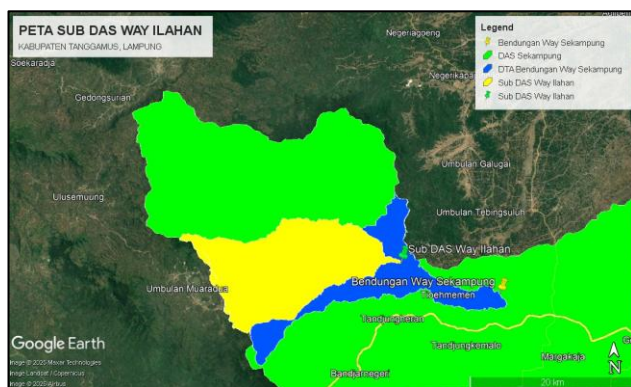
luapan air, yang dapat menimbulkan bencana banjir atau banjir bandang di daerah hilir Bendungan. Oleh karena itu, pemetaan wilayah potensi banjir bandang di Sub DAS Way Ilahan sangat penting sebagai strategi mitigasi bencana[8].

Pemetaan wilayah potensi bahaya banjir bandang ini dilakukan menggunakan metode Flash Flood Potential Index (FFPI), sebuah metode yang masih jarang diterapkan di Indonesia. FFPI adalah metode penaksiran nilai kerawanan banjir bandang berbasis multi-kriteria yang diolah menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis *raster image processing* [14][15][16]. Metode ini dikembangkan oleh Smith (2003) di CBRFC (Colorado Basin River Forecast Center) dan bertujuan untuk mengetahui kondisi kerawanan statis-intrinsik berdasarkan karakteristik fisik suatu DAS, yaitu: kemiringan lereng, kerapatan vegetasi, penggunaan lahan, dan tekstur tanah [3][13]. Kualitas DAS dipengaruhi oleh faktor-faktor alami seperti biofisik tanah, air, dan vegetasi, namun keseimbangan ekosistemnya juga dapat terdampak oleh aktivitas manusia dalam pemanfaatan lahan [1]. Kemiringan lereng yang curam sangat memengaruhi risiko banjir bandang karena menyebabkan laju infiltrasi air menjadi kecil, meningkatkan limpasan permukaan, erosi tanah, dan potensi bencana banjir[5][6][11]. Kerapatan vegetasi sangat penting karena berperan dalam intersepsi air hujan, menahan air pada permukaan sebelum diuapkan atau diserap, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan berkontribusi pada cadangan air tanah [7]. Keberagaman vegetasi yang tumbuh di permukaan tanah serta sistem akar serabutnya membantu meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air, sehingga dapat mengurangi risiko aliran permukaan yang berkontribusi pada banjir bandang (Dewi Agustina, 2012). Tekstur tanah menunjukkan kandungan relatif partikel dari berbagai pasir, lanau dan liat yang digunakan untuk memperkirakan sifat-sifat tanah [9]. Semakin halus tekstur tanah, seperti lempung, semakin lambat infiltrasi air ke dalam tanah karena pori-pori yang kecil dan rapat, sehingga air lebih banyak mengalir di permukaan tanah [10][12].

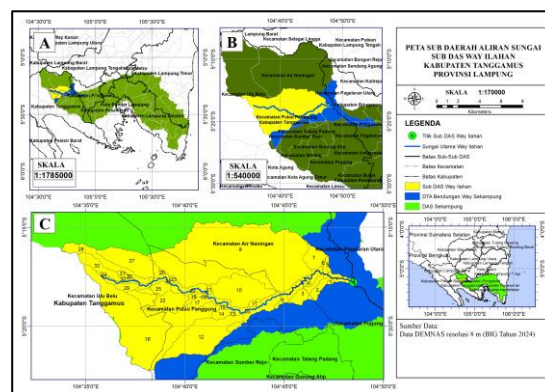
2. METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Ilahan yang merupakan Sub DAS terluas pada DTA Bendungan Way Sekampung. Sub DAS Way Ilahan yang terletak di Kabupaten Tanggamus. Sub DAS Way Ilahan memiliki luas 19452,81 Ha atau 19,45281 km² dengan panjang alur sungai Way Ilahan sepanjang 33 km. Secara geografis DAS Way Ilahan berada pada 5°17'47.97"LS, 104°48'30.38"BT.



Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. (a) peta DAS Sekampung; (b) peta DTA Bendungan Way Sekampung; (c) peta Sub DAS Way Ilahan

Analisis Kemiringan Lereng

Data kemiringan lereng diperoleh dari DEMNAS yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2024. Data DEM diolah menggunakan spatial analyst tools. Dari pengolahan ini didapatkan peta kemiringan lereng ini diklasifikasi menjadi 10 kelas.

Tabel 1. Kelas Slope

Kelas slope	Nilai indeks
Slope < 2%	1
Slope 2-5%	2
Slope 5-7%	3
Slope 7-10%	4
Slope 10-14%	5

Kelas <i>slope</i>	Nilai indeks
<i>Slope</i> 14-18%	6
<i>Slope</i> 18-22%	7
<i>Slope</i> 22-26%	8
<i>Slope</i> 26-30%	9
<i>Slope</i> $\geq 30\%$	10

Sumber: Kusratmoko, (2024)

Analisis Penggunaan Lahan

Peta penggunaan lahan dibuat melalui proses tumpang susun (overlay) dari empat sumber data utama: peta Sub DAS, peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) untuk jenis penggunaan lahan, data kawasan hutan dari Kementerian Kehutanan, dan data kepadatan permukiman yang diperoleh dari pengolahan citra Landsat 8 (*United States Geological Survey*). Untuk memastikan akurasi, citra Landsat 8 menjalani koreksi radiometrik (menggunakan rumus *Top of Atmosphere* atau TOA) untuk mengonversi nilai *Digital Number* (DN) menjadi unit reflektan spektral (*reflectance*). Koreksi ini penting karena nilai DN mentah seringkali tidak sepenuhnya merepresentasikan nilai spektral sebenarnya, sehingga kalibrasi diperlukan agar data piksel citra dapat memberikan informasi yang akurat dan andal. Berikut rumus TOA [3].

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \dots \dots \dots (1)$$

$$R\lambda' = \frac{\rho\lambda'}{\sin \Theta_{SE}} \dots \dots \dots (2)$$

dimana: $\rho\lambda'$: TOA untuk koreksi sudut matahari, M_p : *Reflectance Multi Band*, Q_{cal} : Nilai piksel DN, A_p : Faktor Penskala nilai band dari nomor band, $R\lambda'$: TOA Nilai *Reflektan* Citra Satelit, $\sin \Theta_{SE}$: Sudut elevasi matahari yang ada dimeta data dengan keterangan (*SUN_ELEVATION*)

Setelah data citra di koreksi, maka data citra bisa diolah untuk mendapatkan kepadatan pemukiman menggunakan algoritma *Normalize Difference Building Index* (NDBI) pada perangkat lunak sistem informasi geografis. NDBI merupakan indeks yang digunakan untuk mengidentifikasi area lahan terbangun. NDBI dirumuskan dalam suatu persamaan matematis sebagai berikut [4].

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana: NDBI : *Normalize Difference Building Index*, SWIR : *Shortwave Infrared Band* (Band 6), NIR : *Near Infrared Band* (Band 5)

Setelah kepadatan pemukiman didapatkan selanjutnya dihitung persentase kerapatannya. Persentase kerapatan pemukiman yang didapatkan kemudian direklasifikasi berdasarkan klasifikasi **Tabel 2**.

$$y = (196,24 \times NDBI) + 49,208 \dots \dots \dots (4)$$

Dimana: y : Kerapatan pemukiman (%), NDBI : *Normalize Difference Building Index*

Tabel 2. Klasifikasi Kerapatan Pemukiman

Kerapatan Pemukiman	Kepadatan
< 40%	Rendah
40 – 60%	Sedang
> 60%	Tinggi

Sumber: Prasetyo & Rahayu, (2013)

Penggunaan lahan dalam penelitian ini menggunakan indikator luas dan jenis penggunaan lahan. Jenis penggunaan lahan terdiri menjadi 10 kelas yang disesuaikan dengan klasifikasi FFPI. Berikut ini merupakan 10 kelas dan indeks dari penggunaan lahan:

Tabel 3. Kelas dan Indeks Penggunaan Lahan

Kelas penggunaan lahan	Nilai indeks
Badan air	1
Rawa	2
Hutan lindung	3
Hutan campuran	4
Perkebunan/kebun/sawah/tegalan	5
Semak belukar	6
Lahan kosong	7
Pemukiman kepadatan rendah	8
Pemukiman kepadatan sedang	9
Pemukiman kepadatan tinggi	10

Sumber: Kusratmoko, 2024

Analisis Kerapatan Vegetasi

Analisis kerapatan vegetasi dilakukan dengan membuat peta kerapatan vegetasi yang didapatkan dari pengolahan citra Landsat 8 yang sudah di koreksi. Pengolahan data citra ini menggunakan alghoritma *Normalize Difference Vegetation Index* (NDVI) pada perangkat lunak sistem informasi geografi. Algoritma NDVI didapat dari rasio pengurangan antara band merah dan band inframerah dekat dari citra penginderaan jauh, sehingga indeks kehijauan vegetasi dapat ditentukan [17]. Rumus 5 merupakan alghoritma NDVI.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana: *NDVI* : *Normalize Difference Vegetation Index*, *NIR* : *Near Infrared Band (Band 5)*, *RED* : *Red Band (Band 4)*

Setelah didapatkan kerapatan vegetasi, selanjutnya menentukan persentase kerapatannya. Rumus 6 merupakan rumus untuk mendapatkan data persentase kerapatan vegetasi menggunakan regresi yang dihasilkan oleh penelitian Baramantyo [5].

$$y = (109,39 \times NDVI) - 5,3485 \dots\dots\dots(6)$$

Dimana: *y* : Kerapatan Vegetasi (%), *NDVI* : *Normalize Difference Vegetation Index*

Persentase kerapatan vegetasi yang didapatkan kemudian direklasifikasi berdasarkan indeks FFPI. Dari pengolahan ini, didapatkan peta kerapatan vegetasi dalam format data raster. Persentase kerapatan vegetasi terdiri menjadi 10 kelas yang disesuaikan dengan klasifikasi FFPI. Berikut 10 kelas dan indeks dari kerapatan vegetasi.

Tabel 4. Kelas dan Indeks Kerapatan Vegetasi

Kelas Kerapatan vegetasi	Nilai Indeks
90-100%	1
80-89%	2
70-79%	3
60-69%	4
50-59%	5
40-49%	6
30-39%	7
20-29%	8
10-19%	9
0-9%	10

Sumber: Kustratmoko, 2024

Analisis Tekstur Tanah

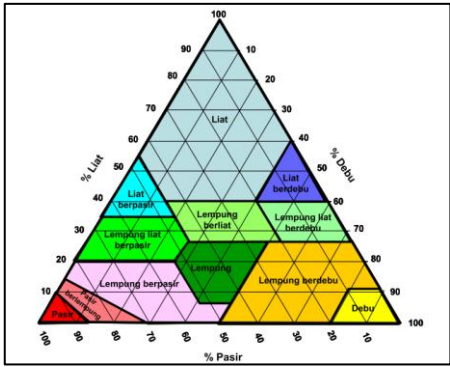
Pengambilan sampel dilakukan di lokasi penelitian menggunakan metode Stratified Sampling (StS) [18], yaitu teknik acak dengan membagi area menjadi beberapa strata berdasarkan wilayah ketinggian. Wilayah ini dibagi menjadi hulu, tengah, dan hilir masing-masing sepanjang 11 km, mengikuti garis kontur sungai utama. Sampel tanah terganggu (*disturbed soil sample*) [18] (1-2 kg) diambil secara acak dari setiap penggunaan lahan di setiap wilayah ketinggian, karena perubahan penggunaan lahan memengaruhi proses hidrologi dan nilai indeks FFPI [19].

Sampel tanah kemudian diuji di laboratorium meliputi Specific Gravity, analisis saringan, dan pengujian hidrometer untuk menentukan persentase butiran gravel, sand, silt, dan clay. Data tekstur diidentifikasi menggunakan segitiga U.S. Department of Agriculture (USDA). Jenis tekstur yang dominan (atau yang paling luas jika terdapat lebih dari satu jenis dominan) di setiap wilayah ketinggian dijadikan tekstur perwakilan untuk wilayah tersebut. Tekstur tanah yang mengandung *gravel* memerlukan koreksi persentase butiran sebelum diidentifikasi dengan segitiga USDA, dengan rumus sebagai berikut.

$$Modified \% Sand = \frac{\% Sand}{100 - \% Gravel} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

$$Modified \% Clay = \frac{\% Clay}{100 - \% Gravel} \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

$$Modified \% Silt = \frac{\% Silt}{100 - \% Gravel} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$



Gambar 2. Segitiga tekstur tanah USDA

Jenis tekstur tanah dalam penelitian ini terdiri menjadi 10 kelas yang disesuaikan dengan klasifikasi FFPI. Berikut ini merupakan 10 kelas dan indeks dari tekstur tanah.

Tabel 5. Kelas dan Indeks Tekstur Tanah

Kelas tekstur tanah	Indeks
Air/ aluvial	1
Pasir	2
Lempung berpasir	3
Lempung berdebu/pasir berlempung	4
Debu	5
Lempung	6
Lempung liat berpasir/lempung liat berdebu	7
Lempung berliat/liat berpasir	8
Liat	9
Batuan induk	10

Sumber: Kustratmoko, 2024

Analisis FFPI

Peta–peta kerja yang telah dihasilkan seperti peta Slope, peta kerapatan vegetasi, peta penggunaan lahan, dan peta tekstur tanah terlebih dahulu ditentukan nilai indeks rata-rata disetiap Sub-Sub DAS berdasarkan pixel yang menyusunnya. Kemudian nilai indeks rata-rata masing-masing peta *dioverlay*. Setelah dioverlay kemudian data-data tersebut dikalkulasi sesuai metode FFPI menggunakan raster calculator di software GIS berdasarkan persamaan pembobotan FFPI dengan model Kruzdlo sebagai berikut.

$$FFPI = \frac{M + L + S + V}{4} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana: M = Slope, L = Penggunaan lahan, S = Tekstur Tanah, V = Kerapatan Vegetasi

Peta-peta yang telah dikalkulasi berdasarkan metode FFPI dengan model Kruzdlo, untuk selanjutnya dilakukan klasifikasi untuk mendapatkan tingkat potensi banjir bandang.

Tabel 6. Klasifikasi Indeks FFPI

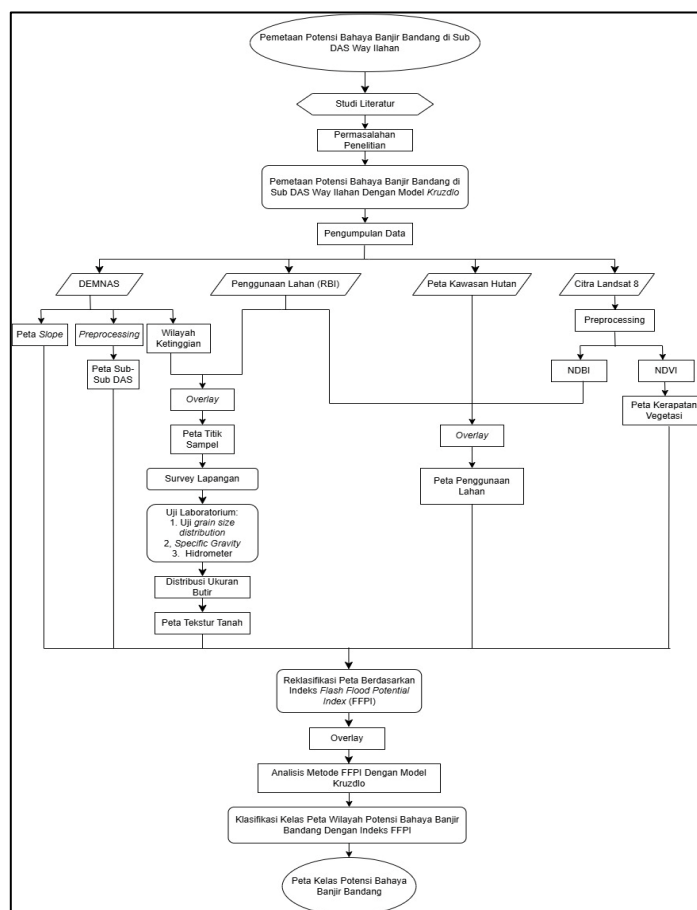
Indeks FFPI	Tingkat Potensi Banjir Bandang
2 – 3,5	Rendah
3,5 - 5	Sedang
> 5	Tinggi

Sumber: Popa et al, 2020

Diagram Alir

Pendekatan penelitian ini bersifat kuantitatif dengan mengacu pada pengolahan data informasi fisiografi dan data spasial. Data yang dihimpun untuk mencapai tujuan penelitian ini berupa kemiringan lereng, penggunaan lahan, kerapatan vegetasi, tekstur tanah, peta topografi, dan peta kawasan hutan. Strategi dalam menentukan tingkat kerentanan banjir bandang di Sub DAS Way ilahan menggunakan metode flash flood potential index dengan model smith, brewster, kruzdlo dan ceru. Metode ini menitikberatkan bahwa banjir bandang sebagai respon das terhadap hujan dipengaruhi faktor fisiografi antara lain kemiringan lereng, penggunaan lahan, kerapatan vegetasi dan tekstur tanah. Kemiringan lahan akan mempengaruhi kecepatan aliran. Penggunaan lahan memainkan peran signifikan dalam infiltrasi air dan perilaku limpasan air. Tekstur tanah dibutuhkan untuk menentukan karakteristi

infiltrasi. Kerapatan vegetasi memengaruhi intersepsi curah hujan. Masing-masing parameter ini diolah secara spasial kemudian dilakukan overlay dan perhitungan indeks kerentanan banjir bandang yang bobotnya disesuaikan dengan keempat model tersebut. Hasil analisis dan perhitungan tersebut kemudian disajikan dalam bentuk peta untuk memvisualisasi zona dan kerentanan banjir bandang pada das tersebut.



Gambar 3. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan Sampel Tanah

Lokasi pengambilan sampel tanah pada penelitian ini berdasarkan hasil overlay wilayah ketinggian dan penggunaan lahan.

Tabel 7. Wilayah Ketinggian

Wilayah Ketinggian	Luas (Ha)	Keterangan
< 245 mdpl	1.551,27	1
245 - 385 mdpl	6.841,41	2
> 385 mdpl	11.062,79	3

Tabel 8. Penggunaan Lahan

Jenis Penggunaan Lahan	Keterangan
Sawah	A
Permukiman	B
Semak Belukar	C
Tegalan	D
Perkebunan	E
Lahan Kosong	F
Hutan Lindung	G

Berdasarkan hasil dari overlay peta ketinggian dan penggunaan lahan pada software GIS, didapatkan jumlah sampel sebanyak 16 sampel. Bagian hilir terdapat 5 sampel diantaranya sawah, pemukiman, semak belukar, perkebunan dan lahan kosong. Bagian tengah terdapat 5 sampel diantaranya sawah, pemukiman, semak belukar, tegalan dan perkebunan. Bagian hulu terdapat 6 sampel diantaranya sawah, pemukiman, semak belukar, tegalan, perkebunan dan hutan lindung.

Analisis Tekstur Tanah

Tabel 11 menunjukkan tekstur tanah yang paling dominan pada masing-masing ketinggian. Tekstur tanah pada wilayah hilir didominasi oleh tanah lempung sehingga tekstur tanah pada ketinggian <245 mdpl adalah lempung. Kemudian pada bagian tengah didominasi oleh tekstur tanah lempung sehingga tanah pada ketinggian 245-385 mdpl adalah lempung. Selanjutnya tekstur tanah pada wilayah hulu didominasi oleh tekstur tanah lempung berpasir sehingga tekstur tanah pada ketinggian >385 mdpl adalah lempung berpasir. Tekstur tanah yang mewakili masing-masing ketinggian didelineasi dengan ketinggian tersebut. Berdasarkan, terdapat 2 kelas tekstur tanah dengan nilai indeks 3 dan 6. Nilai indeks 3 menunjukkan tekstur tanah berupa lempung berpasir. Tekstur tanah ini berada pada ketinggian >385 mdpl. Nilai indeks 6 menunjukkan tekstur tanah berupa lempung. Tekstur tanah ini berada pada ketinggian <385 mdpl.

Tabel 11. Tekstur Tanah pada Masing-Masing Ketinggian

Hilir		
Sawah (A1)	Lempung Berpasir	
Pemukiman (B1)	Lempung	
Semak Belukar (C1)	Lempung	Lempung
Perkebunan (E1)	Lempung Berdebu	
Lahan Kosong (F1)	Lempung Berliat	
Tengah		
Pemukiman (B2)	Lempung Berpasir	
Sawah (A2)	Lempung	
Semak Belukar (C2)	Lempung	Lempung
Tegalan (D2)	Lempung	
Perkebunan (E2)	Lempung Berpasir	
Hulu		
Sawah (A3)	Lempung Berpasir	
Pemukiman (B3)	Lempung Berpasir	
Semak Belukar (C3)	Lempung Berpasir	
Tegalan (D3)	Lempung Liat Berpasir	Lempung Berpasir
Perkebunan (E3)	Lempung Berliat	
Hutan Lindung (G3)	Lempung Berliat	

Analisis Kemiringan Lereng

Berdasarkan pengolahan data DEMNAS pada *software* GIS, didapatkan data kemiringan lereng pada Sub DAS Way Ilahan. Kemiringan lereng pada Sub DAS ini diklasifikasikan menjadi 10 kelas sesuai dengan pengkelasan FFPI. Berdasarkan Tabel 12 merupakan bobot nilai kemiringan lereng yang sudah diklasifikasi sesuai dengan nilai indeks FFPI.

Analisis Kerapatan Vegetasi

Berdasarkan pengolahan citra Landsat 8 yang telah dikoreksi menggunakan persamaan (1) dan (2), kerapatan vegetasi di Sub DAS Way Ilahan menunjukkan sebaran nilai tertinggi mencapai 87,9142 dan terendah -33,0348. Selanjutnya, data kerapatan ini diklasifikasikan untuk menghasilkan indeks *Flash Flood Potential Index* (FFPI), semakin tinggi persentase kerapatan vegetasi suatu wilayah, maka nilai indeks FFPI yang diberikan akan semakin kecil. Nilai indeks FFPI untuk kerapatan vegetasi disajikan pada Tabel 12.

Analisis Penggunaan Lahan

Berdasarkan pengolahan data RBI jenis penggunaan lahan didapatkan penggunaan lahan yang ada pada Sub DAS Way Ilahan yaitu sawah, permukiman, semak belukar, tegalan, perkebunan dan hutan lindung. Penggunaan lahan ini juga beserta dengan kerapatan pemukiman yang didapatkan dari hasil pengolahan data citra yang sudah dikoreksi. Penggunaan lahan yang ada pada Sub DAS Way Ilahan terdiri dari 8 kelas dengan indeks masing-masing tersaji pada Tabel 12.

Wilayah Potensi Bahaya Banjir Bandang

Berdasarkan hasil pengolahan overlay dengan menggunakan raster calculator didapatkan nilai FFPI pada masing-masing Sub-Sub DAS. Data yang di overlay merupakan 4 variabel berupa peta kemiringan lereng, tekstur tanah, penggunaan lahan dan kerapatan vegetasi. Nilai indeks FFPI yang dihasilkan berbeda-beda pada masing-masing Sub-Sub DAS yang ada pada Sub DAS Way Ilahan. Nilai indeks FFPI ini kemudian diklasifikasikan sesuai dengan kelas FFPI disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil FFPI model Kruzdlo

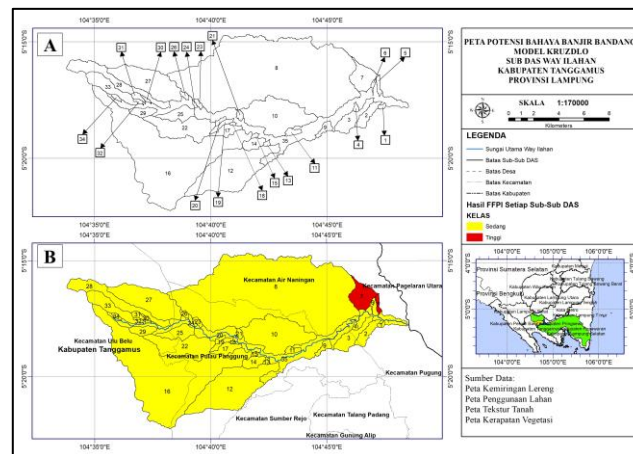
Sub- Sub DAS	Nilai Rata-Rata Parameter				FFPI	Kelas
	<i>Slope</i>	Penggunaan Lahan	Kerapatan Vegetasi	Tekstur Tanah		
1	4,093	5,021	2,850	6,000	4,491	Sedang
2	3,341	5,292	3,043	6,000	4,419	Sedang
3	3,190	5,040	3,320	6,000	4,388	Sedang
4	3,370	5,000	2,671	6,000	4,260	Sedang
5	5,746	5,178	3,168	6,000	5,023	Tinggi
6	5,338	5,084	2,873	6,000	4,824	Sedang
7	5,436	5,574	3,089	6,000	5,025	Tinggi
8	6,040	5,090	2,991	5,145	4,817	Sedang
9	3,586	5,363	4,230	6,000	4,795	Sedang
10	4,333	5,103	3,773	5,918	4,782	Sedang
11	3,729	5,067	4,150	6,000	4,737	Sedang
12	6,015	4,968	3,228	3,288	4,375	Sedang
13	5,597	5,000	3,038	6,000	4,909	Sedang
14	5,965	5,000	2,868	5,257	4,773	Sedang
15	4,857	5,000	3,175	6,000	4,758	Sedang
16	7,975	3,078	3,307	4,077	4,609	Sedang
17	6,597	5,080	3,420	3,637	4,684	Sedang
18	6,325	5,000	3,225	3,676	4,557	Sedang
19	5,740	5,000	3,372	3,073	4,296	Sedang
20	6,002	5,058	3,501	3,079	4,410	Sedang
21	4,263	5,000	3,139	4,587	4,247	Sedang
22	7,504	4,531	3,212	3,000	4,562	Sedang
23	6,969	5,777	2,685	3,000	4,608	Sedang
24	7,560	3,651	2,839	3,000	4,263	Sedang
25	7,892	4,186	2,614	3,000	4,423	Sedang
26	6,979	3,000	2,970	3,000	3,987	Sedang
27	7,039	3,000	3,033	3,000	4,018	Sedang
28	7,812	3,000	2,194	3,000	4,002	Sedang
29	8,324	3,056	3,286	3,000	4,417	Sedang
30	6,808	3,000	3,140	3,000	3,987	Sedang
31	7,088	3,000	3,048	3,000	4,034	Sedang
32	7,679	3,000	3,010	3,000	4,172	Sedang
33	8,237	3,000	2,093	3,000	4,083	Sedang
34	6,256	3,000	2,599	3,000	3,714	Sedang
35	5,801	4,850	3,685	5,047	4,846	Sedang

Hasil perhitungan flash flood potential index (FFPI) yang mencakup 35 Sub DAS menunjukkan bahwa 98,13% wilayah studi termasuk dalam klasifikasi potensi banjir bandang sedang, sementara 1,87% berklasifikasi tinggi. Dua sub DAS berpotensi tinggi adalah sub DAS 5 seluas 40,18 Ha dan sub DAS 7 seluas 323,45 Ha. Tingginya nilai FFPI pada kedua Sub-DAS ini dipengaruhi oleh kombinasi faktor, terutama nilai rata-rata *Slope* yang tinggi (5,746 untuk Sub-DAS 5 dan 5,436 untuk Sub-DAS 7) dan nilai rata-rata Penggunaan Lahan yang juga tinggi (5,178 dan 5,574, berturut-turut). Kondisi lereng curam dan nilai indeks penggunaan lahan yang tinggi mengindikasikan tingkat bahaya hidrologis yang signifikan, sehingga memerlukan perhatian prioritas dalam upaya mitigasi.

Secara umum, parameter Tekstur Tanah memiliki nilai rata-rata tertinggi, dengan sebagian besar Sub-DAS mencatatkan nilai 6,000. Hal ini menunjukkan bahwa tekstur tanah di sebagian besar wilayah studi memiliki karakteristik yang rentan terhadap aliran permukaan dan erosi.

Sementara itu, parameter *Slope* (kemiringan lereng) menunjukkan variasi terbesar antar Sub-DAS, dari yang terendah (3,190 di Sub-DAS 3) hingga tertinggi (8,324 di Sub-DAS 29). Nilai *Slope* yang tinggi menjadi faktor dominan penyebab meningkatnya nilai FFPI, seperti yang terlihat pada Sub-DAS 5 dan 7, maupun pada Sub-DAS 29 (8,324), meskipun Sub-DAS 29 hanya terkategori sedang karena diimbangi oleh nilai Penggunaan Lahan dan Tekstur Tanah yang lebih rendah. penggunaan lahan Sub-Sub DAS ini memiliki potensi infiltrasi besar, tekstur tanah dengan potensi infiltrasi besar, kerapatan vegetasi dengan karakteristik normal dalam menghasilkan aliran limpasan, kemudian kemiringan lereng dengan karakteristik tinggi dalam menghasilkan aliran limpasan sehingga Sub-Sub DAS ini berada pada kelas sedang [19]. Keberagaman vegetasi di permukaan tanah berperan dalam mempengaruhi aliran permukaan. Penurunan kerapatan vegetasi berpotensi meningkatkan aliran permukaan, yang pada akhirnya dapat memicu terjadinya banjir bandang. Selanjutnya hasil FFPI ini juga selaras dengan penelitian

[6] dan penelitian [7] yang menyatakan bahwa tekstur tanah berpengaruh terhadap kapasitas infiltrasi. Sementara itu, variasi kemiringan lereng menghasilkan perbedaan dalam kecepatan infiltrasi, yang dapat mempengaruhi pola pergerakan air dan meningkatkan risiko banjir bandang.



Gambar 4. (a) Batas-Batas Sub-Sub DAS; (b) Peta Wilayah Potensi Bahaya Banjir Bandang Berdasarkan Sub-Sub DAS

Berdasarkan **Gambar 4.** dapat diketahui sebaran bahaya banjir bandang pada wilayah Sub DAS Way Ilahan. Kelas potensi bahaya banjir bandang dengan kategori sedang yang terdapat pada 33 Sub-Sub DAS diwarnai dengan warna kuning. Potensi sedang ini menunjukkan nilai FFPI hasil overlay berada pada nilai indeks FFPI 3,5-5. Kelas potensi bahaya banjir bandang dengan kategori kelas tinggi yang terdapat pada 2 Sub-Sub DAS diwarnai dengan warna merah. Potensi tinggi ini menunjukkan nilai hasil overlay berada pada nilai indeks FFPI >5.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penilaian potensi bahaya banjir bandang metode FFPI model Kruzdlo disimpulkan bahwa Sub DAS Way Ilahan berpotensi banjir bandang dengan klasifikasi sedang sampai dengan tinggi. Terdapat 2 Sub-Sub DAS yang memiliki kelas potensi bahaya banjir bandang dengan kategori kelas tinggi. Sub-Sub DAS ini terdapat pada Sub-Sub DAS nomor 7 dengan seluas 323,45 Ha dan nomor 5 dengan luas 40,18 Ha. Sub-Sub DAS dengan kategori kelas tinggi ini berada pada Desa Batu Tegi seluas 363,18 Ha dan Desa Sinar Sekampung dengan luas 0,45 Ha. Kemudian terdapat juga 33 Sub-Sub DAS dengan kategori kelas sedang yang memiliki luas total 19089,18 Ha. Sub-Sub DAS dengan kategori kelas sedang ini berada pada Desa Talang Lebar, Desa Muara Dua, Desa Tekat, Desa Batu Tegi, Desa Karang Sari, Desa Margomulyo, Desa Air Abang, Desa Air Bakoman, Desa Air Kubang, Desa Batu Bedil, Desa Air Naningan, Desa Sinar Mancak, Desa Sidomulyo, Desa Sinar Sekampung, Desa Srimanganten, Desa Way Harong, Desa Tanjung Gunung, Desa Gunung Meraksa, Desa Pulau Panggung, Desa Way Ilahan, Desa Gunung Megang, Desa Talang Jawa, Desa Tanjung Begalung, Desa Tanjung Rejo, Desa Karang Rejo, Desa Datarajan, dan Desa Penantian Ulu Belu. Sebaran kelas kategori sedang ini memiliki luas total sebesar 19089,18 Ha. Kategori kelas sedang berkisar 98,13% dari luas Sub DAS Way Ilahan. Kategori kelas tinggi berkisar 1,87% dari luas Sub DAS Way Ilahan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada “Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi Republik Indonesia (Program Penelitian Dosen Pemula BIMA Tahun 2025)” atas bantuan pendanaan penelitian ini yang tertuang pada kontrak penelitian no. 0419/C3/DT.05.00/2025 tanggal 22 Mei 2025 tentang Penerima Program BOPTN Program Penelitian dan PkM TA 2025

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Prof. Dr. Ir. H.Syarifuddin Kadir, S. Dr.Badaruddin and M. Dr.Ir.Eko Rini Indrayatie, *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Malang: IRDH (International Research and Development For Human Beings), 2020.
- [2] D. Agustina, D. L. Setyowati and Sugiyanto, "Analisis Kapasitas Infiltrasi Pada Beberapa Penggunaan Lahan Kelurahan Sekaran Kecamatan Gunungpati Kota Semarang," *Journal Unnes*, vol. VOL 1,

- pp. 88-93, 2012.
- [3] F. B. Ar-rouf, "Identifikasi Tambang Ilegal Di Bangka Tengah Dan Bangka Selatan Dengan Ladsat 9," *Integrative Perspectives of Social and Science Journal (IPSSJ)*, vol. 2, pp. 1719 - 1728, 2015.
 - [4] Hendrawan, Marzuki, Mauliadi and A. P. Azhari, "Distribution of Built Land Based on Normalized Difference Built-Up Index Landsat 8 Imagery in Kota Mataram," *Sains Tech Innovation Juournal*, vol. Volume 3, pp. 35 2020.
 - [5] W. Widiyatmoko, D. Wicaksono, A. F. T. Afza Afgani and M. N. H., "Penentuan Zona Kerawanan Banjir Bandang dengan Metode Flash flood Potential Index (FFPI) Di Perbukitan Menoreh Kabupaten Kulonprogo daerah Istimewa Yogyakarta," *Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia (IABI)*, 2015.
 - [6] C. Azizah, H. Pawitan, B. D. Dasanto, I. Ridwansyah and M. Taufik, "Sifat Fisik Tanah dan Hubungannya dengan Kapasitas Infiltrasi DAS Tamiang," *Junal Tanah dan Iklim*, vol. 43 No 2, pp. 167-173, 2019.
 - [7] N. P. G. Qur'ani, D. Harisuseno and J. S. fidari, "Studi Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Laju Infiltrasi," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 2 No. 1, pp. 242-254, 2022.
 - [8] A. Taryana, M. R. E. Mahmud and H. Bakti, "Analisis Kesiapsiagaan Bencana Banjir Di Jakarta," *Jurnal Administrasi Negara*, vol. 3 No. 2, pp. 302 - 311, 2022.
 - [9] M. C. Popa, A. G. Simion, D. Peptenatu, C. Dima, C. C. Draghici, M. StelaFlorescu, C. R. Dobrea and D. C. Diaconu, "Spatial Assesment of Flash-Food Vulnerability in the Moldova River Catchment (N Romania) Usi The FFPI," *Flood and Risk Management*, 2020.
 - [10] E. Kusratmako, A. Rista and M. A. Falensky, "Assessment Of Flash Flood Hazard Potential In A Small Mountainous Cikundul Watershed In Cianjur, West Java, Indonesia," *International Journal of Remote Sensin, and Earth Sciences*, vol. 21, pp. 96 - 105, 2024.
 - [11] S. H. Syafri, I. S. T. MSi and S. Rieneke L.E Sela, "Identifikasi Kemiringan Lereng Di Kawasan Permukiman Kota Manado Berbasis Sig," *Spasial*, 2015.
 - [12] Badaruddin, H. Kadir and K. Nisa, *Hidrologi Hutan*, Banjarmasin: CV. Batang, 2021.
 - [13] N. Isra, S. A. Lias and A. Ahmad, "Karakteristik Ukuran Butir Dan Mineral Liat Tanah Pada Kejadian Longs Studi Kasus : Sub Das Jeneberang)," *Jurnal Ecosolum*, vol. 8 NO. 2, pp. 62 - 73, 2019.
 - [14] Sodikin and E. R. Susanto, *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi (JTSI)*, vol. 2 NO. 3, pp. 125-135, 2021.
 - [15] K. M. Wibowo, I. Kanedi and J. Jumadi, "Sistem Informasi Geografis (Sig) Menentukan Lokasi Pertambangan Batu Bara Di Provinsi Bengkulu Berbasis Website," *Jurnal Media Infotama*, vol. 11 NO. 1, pp. 51-60, 2015.
 - [16] S. Utomo and M. A. Hamdani, "Sistem Informasi Geografis (Sig) Pariwisata Kota Bandung Menggunakan Google Maps Api Dan Php," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 11 NO. 1, pp. 1 - 9, 2021.
 - [17] F. R. AKBARI, "Evaluation Of The Effect Of Correction Atmospheric Algorithm For Calculation Of Total Suspended Solid Using Landsat 8 Satellite Imagery," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
 - [18] U. Kurnia, F. Agus, A. Adimihardja and A. Dariah, *Sifat Fisik Tanah Dan Metode Analisis Nya*, Bogor: Bala Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2006.
 - [19] S. M. Talakua and R. M. Osok, "Efek Penggunaan Lahan Terhadap Degradasi Tanah Pada Kebun Campuran Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat Propinsi Maluku," *AGROLOGIA*, vol. 7 NO. 1, pp. 9 -18. 2018.

ALOKASI AIR BAKU DAS PAKIJANGAN DI KABUPATEN BREBES

Ikhwanudin¹, *Risidiana Cholifatul Afifah², Ibnu Toto Husodo³, Agustina Wardani⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Universitas PGRI Semarang, Kota Semarang

^{*)} Email: risidiana.afifah@gmail.com

Received: 4 Agustus 2025 ; Revised: 16 Oktober 2025 ; Accepted: 29 Oktober 2025

ABSTRACT

The Pakijangan River Basin in Brebes Regency plays a crucial role in providing raw water for domestic, agricultural, and environmental sectors. However, limited streamflow data and increasing pressure on water resources pose significant challenges to its management. This study aims to quantitatively estimate water allocation within the Pakijangan River Basin through a water balance approach. The methodology includes surveys of existing conditions, analyses of water demand and availability, and water balance simulations using the RIBASIM software with the Sacramento rainfall-runoff model. Rainfall data were obtained from two representative manual rain gauge stations, Klampok and Slati. The simulation results indicate that the Pakijangan River Basin generally remains in a surplus condition throughout the year, with reliable discharge sufficient to meet both domestic and non-domestic water demands. With a distribution efficiency indicator (K factor) of 1, the watershed even has the potential to supply water to the adjacent Pemali River Basin at a rate of 0.1 m³/s. These findings provide a valuable foundation for the planning of efficient, equitable, and sustainable raw water management. To achieve a sustainable water allocation system in the Pakijangan River Basin, institutional strengthening, technological enhancement, and community participation are essential. The implementation of water allocation based on water balance and dependable flow, as well as the application of rotational water distribution (turn system) during water deficit periods, can improve interregional water distribution. In addition, the establishment of a minimum allocation for environmental needs is crucial to maintaining river ecosystem functions, preventing water quality degradation, and preserving aquatic habitats.

Keyword: Brebes Regency, Pakijangan River Basin, RIBASIM, Water Allocation, Water Balance.

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) Pakijangan di Kabupaten Brebes memiliki peran penting dalam penyediaan air baku untuk sektor domestik, pertanian, dan lingkungan. Namun, keterbatasan data debit sungai dan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya air menjadi tantangan dalam pengelolaannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi alokasi air secara kuantitatif di DAS Pakijangan melalui pendekatan neraca air. Metode yang digunakan meliputi survei kondisi eksisting, analisis kebutuhan dan ketersediaan air, serta simulasi neraca air menggunakan perangkat lunak RIBASIM dengan model hujan-limpasan Sacramento. Data curah hujan diperoleh dari dua stasiun hujan manual representatif, yaitu Klampok dan Slati. Hasil simulasi menunjukkan bahwa DAS Pakijangan dalam kondisi surplus sepanjang tahun, dengan debit andalan yang mencukupi untuk memenuhi seluruh kebutuhan air baku domestik dan non-domestik. Dengan indikator efisiensi distribusi (faktor K) sebesar 1, DAS ini bahkan memiliki potensi untuk mensuplai air ke DAS tetangga, yaitu DAS Pemali sebesar 0,1 m³/detik. Temuan ini menjadi dasar penting dalam perencanaan pengelolaan air baku yang efisien, adil, dan berkelanjutan. Untuk mewujudkan sistem alokasi air yang berkelanjutan di DAS Pakijangan, diperlukan penguatan dari sisi kelembagaan, teknologi, dan partisipasi masyarakat. Implementasi alokasi air berbasis neraca air dan debit andalan, serta penerapan mekanisme rotasi atau giliran air (*turn system*) bila terjadi defisit air, dapat memperbaiki distribusi air antar wilayah. Selain itu, penetapan alokasi minimum untuk keperluan lingkungan menjadi penting untuk menjaga fungsi ekosistem sungai, mencegah degradasi kualitas air, dan menjaga kelestarian habitat akuatik.

Kata kunci: alokasi air, DAS Pakijangan, Kabupaten Brebes, neraca air, RIBASIM.

1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Pakijangan, yang terletak di wilayah Kabupaten Brebes, Jawa Tengah, merupakan sub-DAS yang memiliki peran strategis dalam mendukung pemenuhan kebutuhan domestik, pertanian, dan pelestarian lingkungan di sekitarnya. Seiring meningkatnya tekanan terhadap sumber daya air, baik dari sisi permintaan maupun akibat variabilitas iklim, analisis neraca air menjadi suatu kebutuhan penting dalam perencanaan pengelolaan air yang terpadu dan berkelanjutan (Asdak, 2010; Soemarto, 1995).

Neraca air (*water balance*) merupakan pendekatan kuantitatif yang membandingkan volume air masukan (*input*) dan keluaran (*output*) di suatu wilayah atau waduk pada periode tertentu. Hasil dari analisis ini digunakan untuk mengetahui kondisi surplus (kelebihan air) atau defisit (kekurangan air), sehingga dapat digunakan untuk mengantisipasi risiko bencana seperti banjir dan kekeringan, serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya air (Wurbs & James, 2002).

Beberapa tantangan utama dalam sistem alokasi air di DAS Pakijangan antara lain:

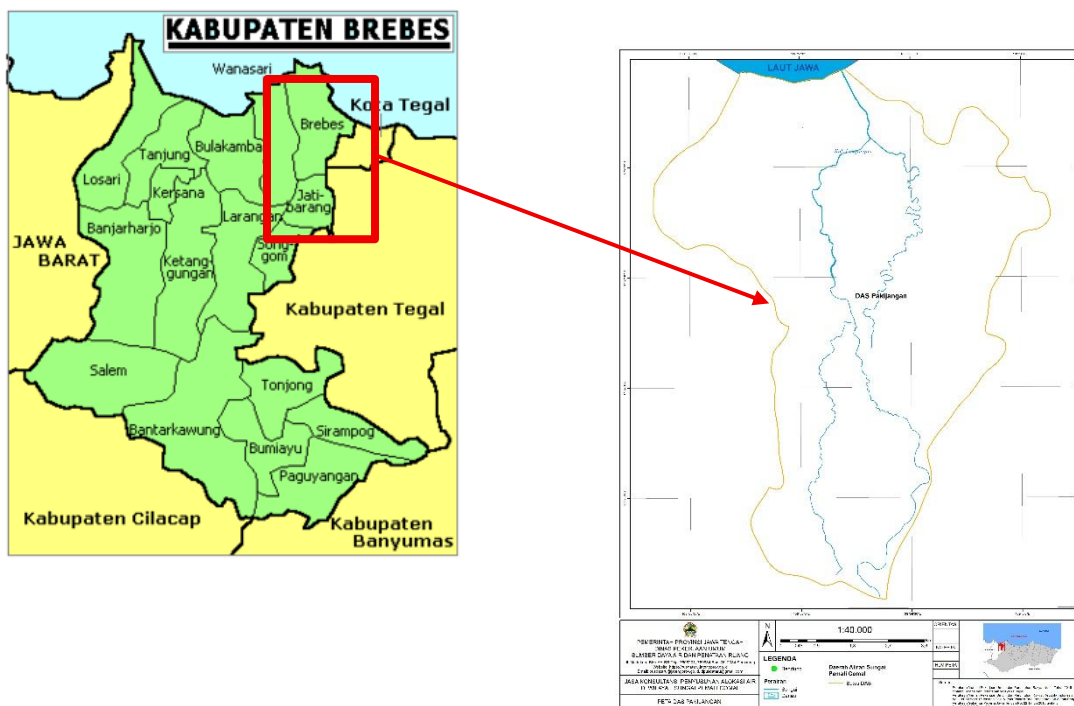
- a. Ketimpangan distribusi air antara bagian hulu dan hilir, yang menyebabkan wilayah hilir lebih rentan terhadap kekurangan air, terutama pada musim kemarau atau saat debit sungai menurun (Purwanto et al.,

2021).

- b. Ketiadaan sistem alokasi air yang berbasis kuantifikasi spasial dan temporal, sehingga pembagian air seringkali bersifat reaktif, manual, dan tidak terstandar.
- c. Keterbatasan infrastruktur teknis, seperti saluran pembagi, bangunan pengendali, serta sistem pengukuran debit yang belum sepenuhnya mendukung pengelolaan berbasis data (PUPR, 2015)

Permasalahan tersebut menjadi isu utama yang dibahas dalam penelitian ini. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengestimasi alokasi air di DAS Pakijangan secara terukur. Saat ini, sistem alokasi air di wilayah tersebut masih sangat bergantung pada fluktuasi debit alami sungai, namun sayangnya tidak tersedia pengamatan langsung terhadap muka air di sungai utama. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan estimasi debit melalui pengolahan data hujan, dengan metode transformasi hujan-limpasan sebagai alternatif pengukuran langsung (Chow et al., 1988; Subagyo, 2012)

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pemodelan yang akurat dan berbasis data. Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan adalah RIBASIM (*River Basin Simulation Model*), yaitu model simulasi yang dikembangkan oleh Deltares untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan sumber daya air berbasis sistem jaringan sungai. RIBASIM mampu memodelkan interaksi antar simpul pemanfaatan, seperti kebutuhan irigasi, domestik, dan lingkungan, serta menganalisis ketersediaan air berdasarkan input debit dari hasil observasi maupun model hidrologi (Deltares, 2011; Kodoatie & Syarif, 2005). Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2. METODE PENELITIAN

a. Survei Inventarisasi dan Verifikasi Kondisi Eksisting

Kegiatan ini bertujuan untuk melakukan identifikasi menyeluruh terhadap titik-titik kendali (control points) dan jaringan pemanfaatan sumber daya air, yang akan dijadikan referensi utama dalam proses analisis. Cakupan inventarisasi meliputi sistem sungai, jaringan irigasi, kegiatan budidaya perikanan, sektor industri, dan pemanfaatan lainnya. Selain itu, dilakukan pencatatan terhadap kondisi fisik eksisting, termasuk kerusakan infrastruktur serta identifikasi kebutuhan rehabilitasi dan pengembangan infrastruktur baru guna menjamin fungsi optimal sarana dan prasarana terkait.

b. Penyusunan Peta dan Skema Sistem Sungai

Penyusunan peta dan skema sistem sungai dilakukan sebagai dasar dalam menentukan titik-titik kendali (control points) yang digunakan dalam proses pemodelan dan analisis hidrologi-hidraulik selanjutnya. Informasi spasial ini menjadi komponen penting dalam perencanaan dan evaluasi pengelolaan sumber daya air terpadu di wilayah sungai.

c. Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air

Analisis ini mencakup evaluasi terhadap potensi dan aktualisasi ketersediaan air pada masing-masing sumber di seluruh DAS. Penilaian dilakukan berdasarkan data sekunder dan primer yang telah dikumpulkan, serta hasil verifikasi kondisi eksisting, dengan mempertimbangkan variabilitas spasial dan temporal debit aliran, iklim, dan kondisi hidrologi.

d. Analisis Kebutuhan Air

Untuk menjamin keberlanjutan ekosistem sungai, suatu studi kebutuhan air yang terperinci dilaksanakan di setiap DAS. Studi tersebut mencakup seluruh pemakai air, seperti kebutuhan rumah tangga (RKI), irigasi, peternakan, perikanan, dan kebutuhan vital untuk menjaga aliran ekologis. Analisisnya dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik spasial, perubahan musiman, dan rencana pembangunan wilayah.

e. Analisis Neraca Air

Perhitungan neraca air dilakukan untuk menilai keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air pada masing-masing DAS, sub-DAS, dan titik kendali utama. Analisis ini mengacu pada metode dan pendekatan kuantitatif yang sesuai dengan ketentuan standar nasional (SNI) dan pedoman teknis pengelolaan sumber daya air, sebagai dasar perencanaan pengelolaan terpadu wilayah sungai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan Air

DAS Pakijangan merupakan salah satu DAS yang belum dilengkapi dengan sistem pencatatan debit sungai secara kontinu. Oleh karena itu, untuk memperoleh estimasi debit andalan, dilakukan pendekatan melalui konversi data curah hujan menjadi debit aliran menggunakan perangkat lunak RIBASIM (River Basin Simulation Model). Model ini menggunakan metode Sacramento, yaitu salah satu model hujan-limpasan konseptual yang banyak digunakan dalam analisis hidrologi karena kemampuannya dalam merepresentasikan proses penyimpanan air di zona permukaan dan bawah permukaan (Burnash et al., 1973; Maidment, 1993).

Data curah hujan yang digunakan dalam analisis neraca air diperoleh dari stasiun hujan terdekat dengan lokasi DAS Pakijangan, yang dianggap representatif terhadap karakteristik hujan di wilayah studi. Pemilihan stasiun hujan mempertimbangkan kedekatan geografis dan kesesuaian kondisi topografi. Dalam studi ini, hanya dua stasiun hujan manual yang digunakan, yaitu Stasiun Hujan Klampok dan Stasiun Hujan Slati, karena keterbatasan cakupan area dan jarak stasiun hujan lainnya yang terlalu jauh dari area tangkapan (*catchment*) DAS Pakijangan.

Kedua stasiun tersebut dipilih karena berada dalam wilayah DAS dan dianggap mampu merepresentasikan distribusi spasial curah hujan di area tersebut. Luas pengaruh masing-masing stasiun hujan terhadap wilayah DAS dihitung menggunakan metode pembobotan areal dengan metode Thiessen pada Tabel 1, dan hasil distribusi hujan DAS ditampilkan pada Tabel 2. Metode ini umum digunakan dalam studi hidrologi ketika data curah hujan bersifat terbatas dan distribusi spasial stasiun tidak merata (Asdak, 2010; Viessman & Lewis, 2003)

Tabel 1. Rasio Pengaruh Hujan DAS Pakijangan

DAS	Luas DAS (km ²)	Stasiun Hujan yang Berpengaruh	Luas Pengaruh Hujan (km ²)	Rasio Pengaruh Hujan
Pakijangan	71.62	Klampok	49.42	0.69
		Slati	22.21	0.31

Tabel 2. Hujan DAS Pakijangan

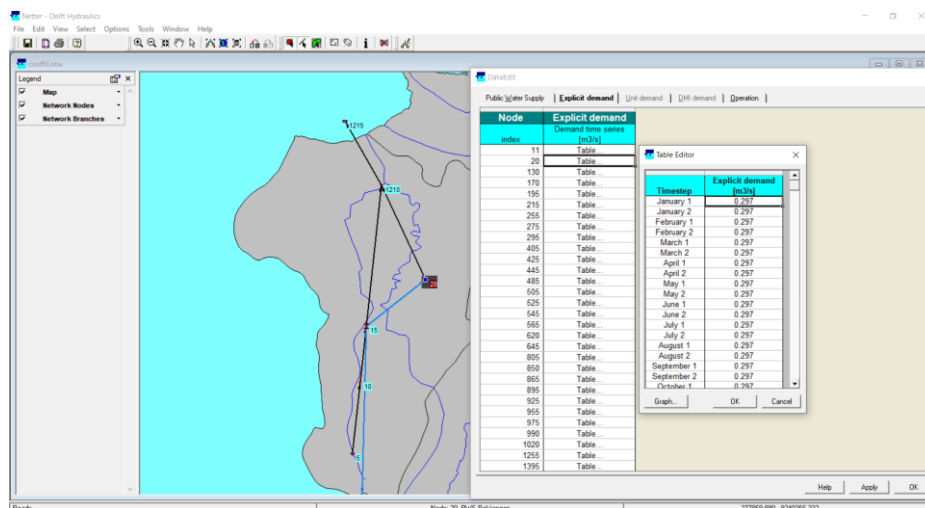
No	Tahun	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
1	2009	88.7	162.5	52.7	280.9	99.5	16.5	61.3	28.4	99.2	23.4	64.5	0.6	0	3.4	0	4.8	0	0	14.7	8.1	12.1	95.9	14.7	8.1
2	2010	127.8	122.6	123.3	182.4	40.6	115.1	54.4	207.7	175.2	88.5	56.9	37.2	24.8	30.8	3.4	77.4	220.8	11.8	72.3	121.3	107.7	39.1	85.7	76.7
3	2011	30.6	44.5	225.8	86.3	231.2	101.1	85.3	44.3	92.8	43.9	18.8	32.8	4.1	2.5	0	0	0	0	23.8	86.9	82.4	98.8	278.9	
4	2012	95.1	124.8	153.5	28.2	157.3	139.9	52.6	26.6	33	3.4	60.2	0	0	0	0	0	0	0	14.3	15.4	26.5	58.8	70.6	171.7
5	2013	215.5	179.4	29	41.5	185.3	43.4	110.4	83.1	8.2	129	80	118.7	111.2	72	0	0	0	0	0	0	8.1	88.9	99.7	116.7
6	2014	160.7	119.5	79.3	77	197.6	155.5	119.5	17.4	17.1	96	11.2	127.5	68.1	13.3	72.4	0	0	0	0.6	0	60.6	14.1	76.8	109.2
7	2015	176.6	201.6	195.9	91.2	142	120.6	74.3	152.2	33.6	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	42.7	167.7	102.9	
8	2016	57	160.3	174.3	303.7	76.9	27.8	74.2	62.5	28.8	86.4	42.9	54.5	52.8	95.4	25.6	0	11.3	142.1	84.6	157.4	106.9	78.5	115.9	78.9
9	2017	356.6	171.2	90.9	209.5	186.6	184.8	127.9	77.1	19.6	33.7	47.5	24.5	26.3	5.2	0	0	0	37.5	1.6	42.8	61	115.2	95.8	86.3
10	2018	96.8	84.7	217.9	368.9	147.6	58	54.1	40.9	11.7	41.2	6.9	17.4	0	0	0	0	0	0	8.4	9.4	17.6	56.1	161.3	
11	2019	17.7	36.9	90.2	34.7	41.5	54.3	54.3	11.2	34.1	0	0	0	4.3	0	0	0	0	0	4.1	0	2.3	44.6	54.8	143.3
12	2020	304.6	122	290.9	244.9	345.2	207.3	215.6	213.5	27.5	73.6	34.6	5	74.9	2.1	2.1	10.9	7.4	16.2	5	52.6	175.9	96.8	198.1	432.8

RIBASIM merupakan perangkat lunak berbasis jaringan yang dikembangkan oleh Deltares, Belanda, untuk mensimulasikan sistem pengelolaan sumber daya air secara terintegrasi di tingkat daerah aliran sungai (DAS). Model ini menyediakan kerangka kerja berbasis node-link, yang memungkinkan pengguna untuk merepresentasikan kondisi fisik dan operasional suatu sistem sungai secara detail (Deltares, 2011). RIBASIM digunakan untuk mengevaluasi distribusi air dan skenario alokasi sumber daya air untuk berbagai sektor, termasuk

kebutuhan domestik, pertanian, industri, serta kelestarian lingkungan (Kodoatie & Syarif, 2010; Loucks & Beek, 2017).

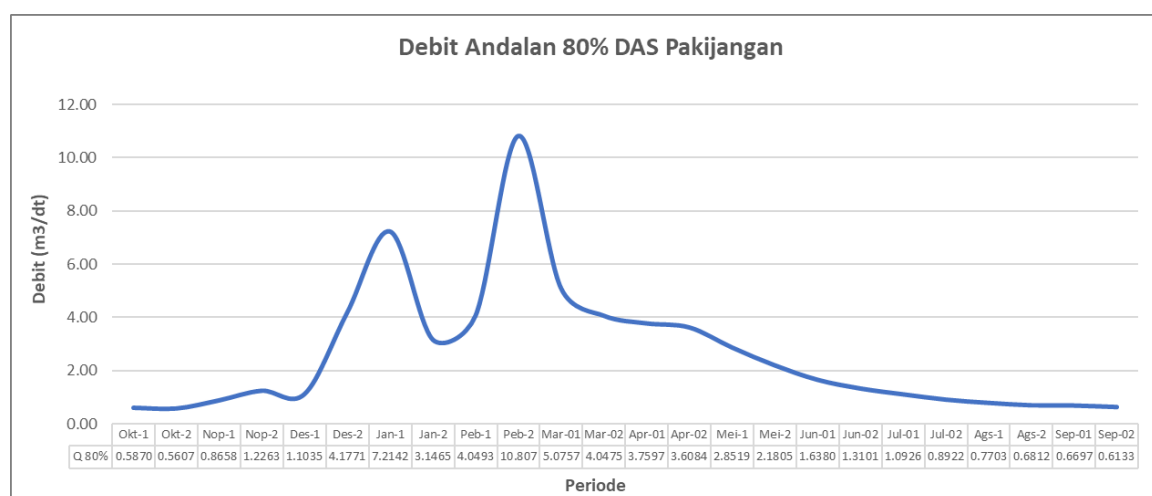
Salah satu fungsi utama RIBASIM adalah melakukan analisis neraca air yang mempertimbangkan seluruh elemen ketersediaan dan kebutuhan air dalam suatu sistem. Dalam konteks ini, model dapat menyertakan input debit dari proses transformasi curah hujan menjadi aliran permukaan (*runoff*), atau metode konseptual seperti Sacramento (Burnash et al., 1973; Maidment, 1993). Dengan integrasi ini, RIBASIM mampu mensimulasikan debit andalan yang kemudian digunakan dalam perencanaan distribusi air antarsektor.

Pada studi ini, Gambar 2 memperlihatkan representasi jaringan DAS Pakijangan dalam lingkungan simulasi RIBASIM, termasuk lokasi simpul pemanfaatan dan aliran air antar simpul, yang menggambarkan kondisi fisik dan operasional sistem distribusi air yang dianalisis.



Gambar 2. Jejaring DAS Pakijangan dalam RIBASIM

Dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, debit andalan merupakan indikator penting yang menggambarkan ketersediaan air dengan tingkat keandalan tertentu dalam kurun waktu yang konsisten. Debit andalan 80% menunjukkan debit yang dapat dipenuhi selama 80% dari total waktu simulasi, dan menjadi dasar perhitungan suplai air minimum yang dapat diandalkan dalam rencana teknis. Gambar 3 menunjukkan grafik debit andalan pada DAS Pakijangan dengan bantuan program RIBASIM.



Gambar 3. Debit Andalan DAS Pakijangan

Pada Gambar 3 dijelaskan bahwa ketersediaan debit terbanyak pada sekitar bulan Desember sampai dengan bulan Mei. Debit tertinggi yaitu 10,807 m³/dt pada bulan Februari minggu kedua. Sedangkan ketersediaan debit turun pada bulan Juni sampai dengan November disebabkan masuk pada musim kemarau. Debit terendah terdeteksi sebesar 0,5607 m³/dt pada bulan Oktober minggu kedua.

Kebutuhan Air

Kriteria kebutuhan air bersih dalam perencanaan ini menggunakan standar-standar sebagai berikut :

1. Proyeksi penduduk dan fasilitas dihitung berdasarkan nilai standar deviasi terkecil. Dalam perencanaan ini digunakan metode Geometrik untuk proyeksi penduduk di DAS Pakijangan. Metode Geometrik ditentukan berdasarkan perbandingan dengan metode aritmatika dan *least square*, dimana metode geometrik memiliki nilai standar deviasi terkecil.
2. Kebutuhan air bersih rumah tangga, dinyatakan dalam satuan Liter/Orang/Hari (L/O/H), sedangkan besarnya kebutuhan tergantung dari jumlah penduduk yang ada di setiap sub-DAS seperti yang dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Kebutuhan Air Bersih Rumah Tangga (Ditjen Cipta Karya, 2000)

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Bersih (L/O/H)
1	Semi Urban	3000-20000	60-90
2	Kota Kecil	20000-100000	90-110
3	Kota Sedang	100000-500000	100-125
4	Kota Besar	500000-1000000	120-150
5	Metropolitan	> 1000000	150-200

3. Proporsi SR (Sambungan Rumah):HU (Hidran Umum) = 80:20.
4. Rumah Tangga Perkotaan dan Industri (RKI) dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. Perkotaan dengan dasar domestik (SR dan HU) dan non-domestik sebesar 10% dari kebutuhan air domestik.
 - b. Industri sebesar 500 L/kapita/hari untuk industri rumah tangga dan kecil, serta 2.000 L/unit/hari untuk industri sedang dan besar (Nippon Koei, 1995 dalam SNI, 2002). (Nippon Koei.Co., 2005)
5. Kebocoran air sebesar 20% dari kebutuhan air domestik dan non-domestik.
6. Q rata-rata harian sama dengan kebutuhan air rata-rata merupakan penjumlahan dari kebutuhan air domestik, non-domestik dan kebocoran air.
7. Q harian maksimum sama dengan faktor harian maksimum (sebesar 1,2) dikali dengan Q rata-rata harian.
8. Q jam puncak sama dengan faktor jam puncak (sebesar 1,5) dikali dengan Q rata-rata harian.
9. Q pemakaian sama dengan 20% dari Q harian maksimum.
10. Qtotal sama dengan penjumlahan Q harian maksimum dan Q pemakaian, merupakan total kebutuhan air bersih.

Dari kriteria-kriteria tersebut dihasilkan kebutuhan air baku pada DAS Pakijangan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan Air Baku DAS Pakijangan

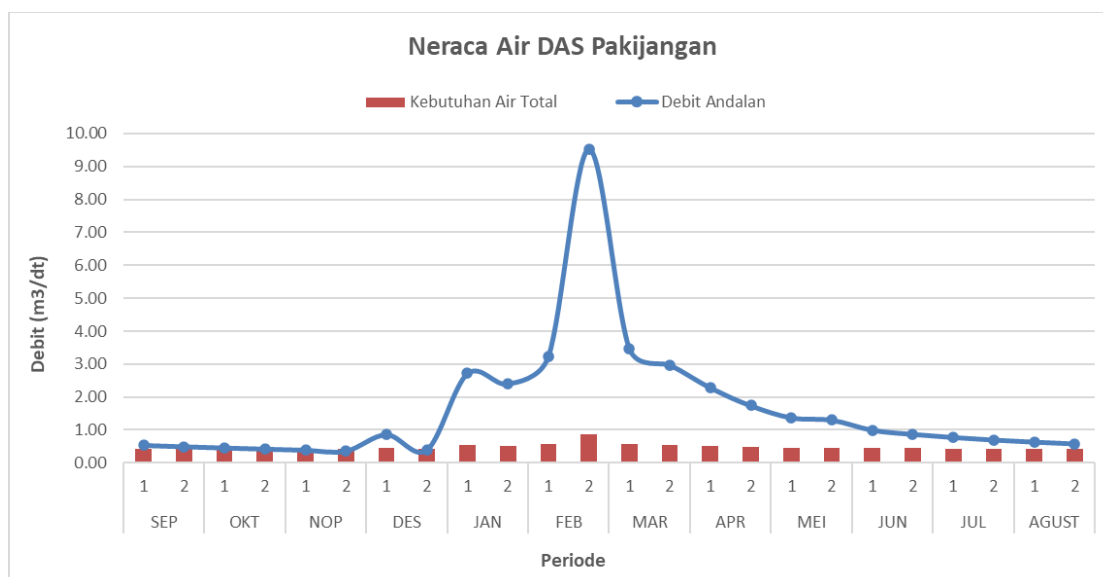
No.	Uraian	Satuan	Kebutuhan Air Baku
1	Jumlah Penduduk	jiwa	225,475
2	Pelayanan	%	85
3	Kebutuhan Domestik		232,91
a	SR	l/s	212,95
b	HU	l/s	19,96
4	Kebutuhan Non-Domestik	l/s	0,67
5	Kebocoran Air (20% Kebutuhan Domestik dan Non-Domestik)	l/s	46,72
6	Q rata-rata harian	l/s	280,30
7	Q harian maksimum	l/s	308,33
8	Q jam puncak	l/s	420,45
9	Q pemakaian	l/s	61,67
10	Q total	l/s	280,30
		m3/s	0,280

Neraca Air

Adapun hasil dari analisis ketersediaan air dan kebutuhan air yang telah disusun dalam sub bab sebelumnya dapat disusun dan ditampilkan dalam matriks neraca air. Pada Tabel 5 ditampilkan status imbalan air di DAS Pakijangan surplus (S) pada semua periode 2-mingguan dalam 1 (satu) tahun. untuk menyandingkan antara ketersediaan dan kebutuhan air, dapat ditampilkan dalam grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 5. Neraca Air DAS Pakijangan

URAIAN	PERIODE																							
	SEP		OKT		NOP		DES		JAN		FEB		MAR		APR		MEI		JUN		JUL		AGUST	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
KETERSEDIAAN AIR (m3/dt)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
RENCANA KEBUTUHAN AIR : (m3/dt)	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Kebutuhan konsumtif	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Air Baku dan Industri	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Suplesi ke S. Pemali	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Kebutuhan Non konsumtif	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
1. Pemeliharaan sungai (C95%)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
NERACA AIR (NA), (m3/dt.)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Status NA :	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S



Gambar 4. Neraca Air DAS Pakijangan

Hasil neraca air dari simulasi RIBASIM memberikan dasar yang kuat bagi perumusan kebijakan pengelolaan air di DAS Pakijangan. Simulasi neraca air di DAS Pakijangan menghasilkan informasi yang komprehensif mengenai pola ketersediaan dan kebutuhan air sepanjang waktu. Hasil tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam rangka meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan sistem pengelolaan air di wilayah tersebut. Efisiensi dalam pengelolaan air mengacu pada sejauh mana sumber daya air dimanfaatkan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan berbagai sektor tanpa pemborosan. Keandalan sistem pengelolaan air merujuk pada konsistensi dan kepastian pasokan air untuk memenuhi kebutuhan pengguna sepanjang waktu, terutama saat terjadi fluktuasi musiman. Keberlanjutan dalam pengelolaan air adalah kemampuan untuk memenuhi kebutuhan air saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhinya.

Alokasi Air

Analisis alokasi air di DAS Pakijangan dalam studi ini dilakukan dengan menerapkan prinsip-prinsip perencanaan pengelolaan sumber daya air terpadu, yang mempertimbangkan keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air lintas sektor secara spasial dan temporal (Kodoatie & Syarif, 2005; Loucks & Beek, 2017). Beberapa pendekatan yang digunakan dalam model simulasi ini antara lain:

- Perhitungan keandalan pemenuhan kebutuhan air baku, yang mengacu pada evaluasi sejauh mana suplai air mampu memenuhi permintaan pada tingkat keandalan tertentu. Biasanya, keandalan ini dinyatakan dalam persentase waktu selama debit tersedia untuk memenuhi permintaan sektor tertentu (Wurbs & James, 2002).
- Skenario prioritas alokasi air, yang dalam konteks ini menetapkan kebutuhan domestik sebagai prioritas utama, sesuai dengan prinsip pengelolaan air yang menempatkan konsumsi dasar manusia sebagai prioritas tertinggi dalam situasi keterbatasan sumber daya (Kodoatie & Syarif, 2005).
- Simulasi dampak kebijakan pengalihan air dan penambahan infrastruktur, seperti pengaturan aliran lintas DAS. Dalam studi ini, apabila terjadi status surplus, sebagian debit dialirkan ke DAS Pemali sebesar 0,1 m³/detik, sebagai bentuk pemanfaatan air berlebih untuk mendukung kebutuhan daerah hilir dan DAS tetangga. Pendekatan ini sejalan dengan praktik inter-basin water transfer dalam pengelolaan terpadu wilayah sungai (Loucks & Beek, 2017).
- Pemenuhan kebutuhan pemeliharaan sungai, yang dalam simulasi ini ditetapkan dengan tingkat keandalan 95%, untuk menjamin aliran minimum yang mendukung fungsi ekosistem akuatik dan kualitas air (Postel & Richter, 2003).

Dalam sistem perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, khususnya dalam konteks alokasi air, dikenal suatu parameter teknis yang disebut faktor K. Faktor ini berperan penting dalam mengkonversi kebutuhan air bersih (netto) menjadi kebutuhan air kotor (bruto), dengan mempertimbangkan berbagai jenis kehilangan air yang terjadi selama proses distribusi dari sumber ke penerima manfaat (Kodoatie & Syarif, 2005; Soemarto, 1995). Nilai K umumnya berkisar antara 1,2 hingga 2,0, tergantung dari efisiensi sistem. Sistem irigasi modern dengan efisiensi tinggi dapat memiliki nilai K mendekati 1, sedangkan sistem tradisional yang banyak mengalami kehilangan air akan memiliki nilai K yang lebih besar. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, (2013). Faktor K dalam alokasi air DAS Pakijangan ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Alokasi Air DAS Pakijangan

URAIAN	PERIODE																							
	SEP		OKT		NOV		DES		JAN		FEB		MAR		APR		MEI		JUN		JUL		AGUST	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
KETERSEDIAAN AIR (m ³ /dt)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
RENCANA KEBUTUHAN AIR : (m ³ /dt)	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Faktor K Kebutuhan Konsumtif	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kebutuhan Konsumtif	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Air Baku dan Industri	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Suplesi ke S. Pemali	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Kebutuhan Non konsumtif	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
1. Pemeliharaan sungai (25%)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
NERACA AIR (NAI), (m ³ /dt)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Status Faktor K :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ALOKASI AIR : (m ³ /dt)																								
Air Baku dan Industri	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Suplesi ke S. Pemali	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa DAS Pakijangan mampu untuk memenuhi kebutuhan air baku dengan indikasi faktor $k=1$. Oleh karena itu, diperbolehkan untuk memberi/suplesi air ke DAS sebelahnya, yaitu DAS Pemali sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Untuk mewujudkan sistem alokasi air yang berkelanjutan di DAS Pakijangan, diperlukan penguatan dari sisi kelembagaan, teknologi, dan partisipasi masyarakat. Implementasi alokasi air berbasis neraca air dan debit andalan, serta penerapan mekanisme rotasi atau giliran air (*turn system*), dapat memperbaiki distribusi air antar wilayah. Selain itu, penetapan alokasi minimum untuk keperluan lingkungan menjadi penting untuk menjaga fungsi ekosistem sungai, mencegah degradasi kualitas air, dan menjaga kelestarian habitat akuatik.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa DAS Pakijangan mampu untuk memenuhi kebutuhan air baku dengan indikasi faktor $k=1$. Sehingga dari hasil tersebut, DAS Pakijangan dapat dikatakan surplus dalam pelayanan kebutuhan air baku, dan diperbolehkan untuk memberi suplesi ke DAS Pemali.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Burnash, R. J. C., Ferral, R. L., & McGuire, R. A. (1973). *A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modeling for Digital Computers*. U.S. National Weather Service and California Department of Water Resources.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. Mc Graw-Hill Book Company, International Edition.
- Deltares. (2011). *RIBASIM Technical Reference Manual*. Deltares, Delft.
- Ditjen Cipta Karya'. (2000). *Kriteria Perencanaan Air Bersih*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi. Kementerian Pekerjaan Umum*, 1–253. <https://simantu.pu.go.id/content/?id=83>
- Kodoatie, R. J., & Syarif. (2010). *Tata Ruang Air*. ANDI OFFSET.
- Kodoatie, R. J., & Syarif, R. (2005). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Andi Offset.
- Loucks, D. P., & Beek, E. Van. (2017). *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications* (2nd ed.). Springer.
- Maidment, D. R. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill.
- Nippon Koei.Co., L. (2005). *Laporan Kemajuan (11) Studi Penanganan Sedimentasi Waduk Serbaguna Wonogiri*.
- Postel, S., & Richter, B. (2003). *Rivers for Life: Managing Water for People and Nature*. Island Press.
- PUPR, K. (2015). *Pedoman Teknis Pengelolaan Irigasi Berbasis Partisipasi*. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR.
- Purwanto, Y., Hartanto, A., & Utomo, D. (2021). Analisis Neraca Air pada Wilayah Irigasi Menggunakan Pendekatan Simulasi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(1), 45–55.
- Soemarto, C. D. (1995). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Subagyo, H. (2012). Estimasi Debit Sungai Menggunakan Model Hujan-Limpasan. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3(2), 91–100.
- Viessman, W., & Lewis, G. L. (2003). *Introduction to Hydrology (5th ed.)*. Prentice Hall.
- Wurbs, R. A., & James, W. P. (2002). *Water Resources Engineering*. Prentice Hall.

ANALISIS REKAYASA LALU LINTAS SIMPANG EMPAT MANNA KAMPUS GODEAN, JALAN YOGYAKARTA - DEMAKIJO, NGESTIHARJO, KASIHAN, BANTUL

*Nur Budi Susanto¹, Iman Haryanto², Nursyamsu Hidayat³, Wiryanta⁴, Renno Aryaradjasa⁵, Ferrolinna Cendykia Putri⁶, Hutama Sektiaji⁷

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Sipil, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

^{5,6}Teknologi Rekayasa Pelaksanaan Bangunan Sipil, Departemen Teknik Sipil, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

⁷Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

^{*})Email: nbsusanto@ugm.ac.id

Received: 2 Desember 2025 ; Revised: 15 Desember 2025 ; Accepted: 23 Desember 2025

ABSTRACT

Yogyakarta – Demakijo Road, better known as Godean Road, is a primary collector road in the Special Region of Yogyakarta that connects the city of Yogyakarta, Bantul Regency, and Sleman Regency. Along Yogyakarta – Demakijo, there are several 3-arm and 4-arm road intersections that connect to the surrounding areas. This study analyzes the traffic performance and provides engineering recommendations for the Manna Kampus Godean Four-Arm Intersection on Yogyakarta-Demakijo Road, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul. The research was prompted by the policy of closing right-turn access via water barriers, forcing vehicles to make U-turns and creating weaving movements. The analysis method employed the 2023 Indonesian Road Capacity Manual (PKJI) to evaluate the performance of the four existing weaving sections. The results indicate that all sections suffer from a very high degree of saturation (DS), exceeding 1.5, signifying overcapacity conditions. Traffic delays were also recorded, ranging from 2.01 to 2.95 seconds/pcu. To achieve the ideal DS of ≤ 0.85 , simulations recommend widening the weaving sections to 11-16 meters. However, a cost analysis reveals that land acquisition alone would require a minimum budget of IDR 70 billion, coupled with potential social conflicts. As an alternative, reactivating the traffic signals (APILL) could be considered but necessitates further in-depth study on vehicle movement characteristics.

Keywords: *degree of saturation, weaving capacity, traffic engineering*

ABSTRAK

Jalan Yogyakarta – Demakijo, lebih dikenal sebagai Jalan Godean, merupakan jalan kolektor primer di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yang menghubungkan Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul, dan Kabupaten Sleman. Sepanjang Jalan Yogyakarta - Demakijo, terdapat beberapa persimpangan jalan 3 lengan maupun 4 lengan yang menghubungkan dengan kawasan di sekitarnya. Penelitian ini menganalisis kinerja lalu lintas dan merekomendasikan rekayasa pada Simpang Empat Manna Kampus Godean yang berada di Jalan Yogyakarta-Demakijo, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul. Latar belakang studi adalah kebijakan penutupan akses belok kanan dengan pemasangan pembatas jalan berupa *water barrier*, yang menyebabkan kendaraan harus melakukan manuver putar balik dan menimbulkan jalinan lalu lintas. Metode analisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 untuk mengevaluasi kinerja empat bagian jalinan pada kondisi eksisting. Hasilnya menunjukkan bahwa seluruh jalinan mengalami derajat kejenuhan (DJ) sangat tinggi, lebih dari 1,5, yang mengindikasikan kondisi overcapacity. Tundaan lalu lintas juga terjadi antara 2,01 hingga 2,95 detik/smp. Untuk mencapai DJ ideal $\leq 0,85$, simulasi merekomendasikan pelebaran jalinan menjadi 11-16 meter. Namun, analisis biaya mengungkapkan bahwa pengadaan lahan saja membutuhkan dana minimal Rp 70 miliar, disertai potensi konflik sosial. Sebagai alternatif, reaktivasi lampu lalu lintas (APILL) dapat dipertimbangkan, namun memerlukan kajian lebih mendalam mengenai karakteristik pergerakan kendaraan.

Kata kunci: *derajat kejenuhan, kapasitas jalinan, rekayasa lalu lintas*

1. PENDAHULUAN

Jalan Yogyakarta – Demakijo dengan Nomor Ruas 085¹¹ berdasarkan Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 328/KEP/2022 tentang Penetapan Fungsi Jalan Kolektor 2 dan Jalan Kolektor 3 Dalam Sistem Jaringan Jalan Primer [1], lebih dikenal sebagai Jalan Godean, merupakan salah satu jalan kolektor primer di Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki peran strategis dalam menghubungkan Kota Yogyakarta dengan Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman. Jalan ini menjadi jalur aktivitas masyarakat karena berada di kawasan Kasihan, Gamping, dan Kota Yogyakarta yang termasuk dalam Pusat Kegiatan Nasional sesuai dengan Peraturan Pemerintah Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 5 Tahun 2019 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2019-2039 [2], serta memiliki tata guna lahan kawasan yang intensif dan variatif yang meliputi kegiatan pelayanan, perdagangan, dan perkantoran [3], dimana hal tersebut merupakan

sebuah dampak dari suatu koridor yang menghubungkan kawasan pusat kota dengan wilayah pinggiran dan berpotensi terjadi permasalahan kemacetan [4].

Salah satu titik persimpangan yang memiliki pengaruh besar terhadap arus lalu lintas di kawasan ini adalah Simpang Empat Manna Kampus Godean yang terletak di Jalan Yogyakarta – Demakijo. Simpang Empat Manna Kampus Godean dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL), namun berdasarkan pengamatan pada saat ini APILL dalam kondisi tidak aktif dan rekayasa lalu lintas simpang dilakukan dengan penutupan akses belok kanan dengan pembatas jalan berupa *water barrier* sepanjang 87 meter. Kebijakan penutupan akses belok kanan pada Simpang Empat Manna Kampus Godean ini mengakibatkan akses belok kanan dari Jalan Yogyakarta – Demakijo menuju Jalan Tambak dan Jalan Soragan maupun sebaliknya harus dilakukan dengan cara memutar balik di ujung *water barrier* dan terjadi jalinan yang berpotensi menimbulkan dampak terhadap pergerakan lalu lintas di sekitar lokasi [5].

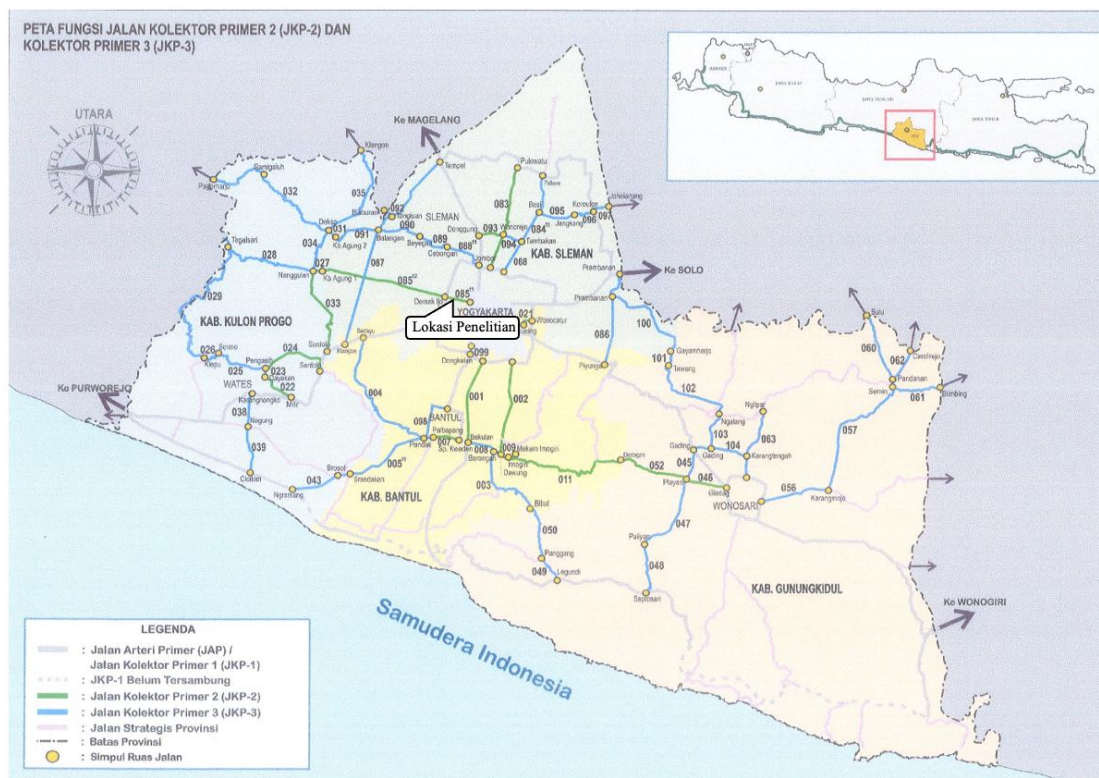
Kendaraan yang harus melakukan putar balik berpotensi menimbulkan antrian yang lebih panjang. Fasilitas putar balik seringkali menimbulkan gangguan operasional yang disebabkan oleh konflik dan jalinan pergerakan penyatuan, persilangan, dan penyebaran lalu lintas berupa pembentukan antrian serta tundaan [6] [7] [8].

Pada saat ini, belum terdapat kajian yang menganalisis dampak pembatas jalan terhadap kinerja Simpang Empat Manna Kampus Godean. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis mendalam mengenai dampak kebijakan ini terhadap kinerja simpang dan kesesuaian dengan regulasi yang berlaku. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pemangku kebijakan dalam mengevaluasi dan merumuskan strategi rekayasa lalu lintas yang lebih efektif dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian berada di kawasan Simpang Empat Manna Kampus Godean, Jalan Yogyakarta – Demakijo, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul terdapat pada Gambar 31 berikut. Pengambilan data berupa perhitungan lalu lintas kendaraan yang melintas dilakukan secara manual dan dilaksanakan pada hari kerja dengan kondisi cuaca cerah sehingga memberikan gambaran lalu lintas harian normal. Penelitian ini hanya mencakup analisis kinerja simpang dan belum mencakup perilaku pengguna jalan serta analisis keselamatan.



Gambar 31. Lokasi Penelitian

(sumber: Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 328/KEP/2022, diolah) [1]

Kapasitas Bagian Jalinan

Perhitungan kapasitas pada bagian jalinan (C) dilakukan dengan menjumlahkan total arus lalu lintas yang masuk dari seluruh lengan bagian jalinan. Kapasitas tersebut didefinisikan sebagai hasil perkalian antara kapasitas dasar (C_0) dan sejumlah faktor koreksi yang mempertimbangkan penyimpangan kondisi lingkungan dari kondisi idealnya [9].

$$C = C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU} \quad (1)$$

dengan,

C_0 = kapasitas dasar jalinan (smp/jam)

F_{UK} = faktor koreksi ukuran kota

F_{RSU} = faktor koreksi tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tidak bermotor.

Kapasitas Dasar

Analisis kapasitas dasar jalinan mempertimbangkan lebar jalinan, rasio lebar masuk rata-rata terhadap lebar jalinan, rasio menyalin, dan rasio lebar terhadap panjang jalinan [9].

$$C_0 = 135 \times W_W^{1,3} \times \left(1 + \frac{W_E}{W_W}\right)^{1,5} \times \left(1 - \frac{P_W}{3}\right)^{0,5} \times \left(1 + \frac{W_W}{L_W}\right)^{-1,8} \quad (2)$$

dengan,

W_E = lebar masuk rata-rata (m)

W_W = lebar jalinan (m)

L_W = panjang jalinan (m)

P_W = rasio menyalin

Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Faktor koreksi ukuran kota diperhitungkan berdasarkan Tabel 17 berikut.

Tabel 17. Faktor koreksi ukuran kota

Ukuran Kota	Penduduk (juta)	Correction Factor Based on City Size, (F_{UK})
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat besar	> 3,0	1,05

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 [9]

Faktor Koreksi Tipe Lingkungan, Hambatan Samping, dan Rasio Kendaraan Tidak Bermotor (F_{RSU})

Faktor koreksi tipe lingkungan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tidak bermotor diperhitungkan berdasarkan Tabel 18 berikut.

Tabel 18. Faktor koreksi tipe lingkungan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tidak bermotor

Kelas tipe lingkungan jalan	Kelas hambatan samping	Rasio kendaraan tidak bermotor					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,81	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,82	0,76	0,71
Permukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses terbatas	Tinggi/sedang/rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 [9]

Ekuivalensi mobil penumpang (emp)

Arus lalu lintas (kend/jam) di area jalinan dikonversi ke smp/jam menggunakan nilai ekuivalen, dimana sepeda motor (SM) setara dengan 0,5 smp, sedangkan kendaraan sedang (KS) setara dengan 1,3 smp [9].

Derajat Kejenuhan Bagian Jalinan (D_J)

Analisis derajat kejenuhan mempertimbangkan arus lalu lintas dan kapasitas bagian jalinan [9].

$$D_J = \frac{q}{c} \quad (3)$$

dengan,

D_j = derajat kejenuhan
 q = arus lalu lintas (smp/jam)
 C = kapasitas simpang (smp/jam)

Tundaan Lalu Lintas Bagian Jalinan (T_R)

Tundaan lalu lintas di bagian jalinan didefinisikan sebagai nilai rata-rata tundaan yang dialami setiap kendaraan yang masuk, dimana perhitungannya menggunakan formula empiris yang bergantung pada nilai Derajat Kejenuhan (D_j) dan memiliki satuan detik/smp [9].

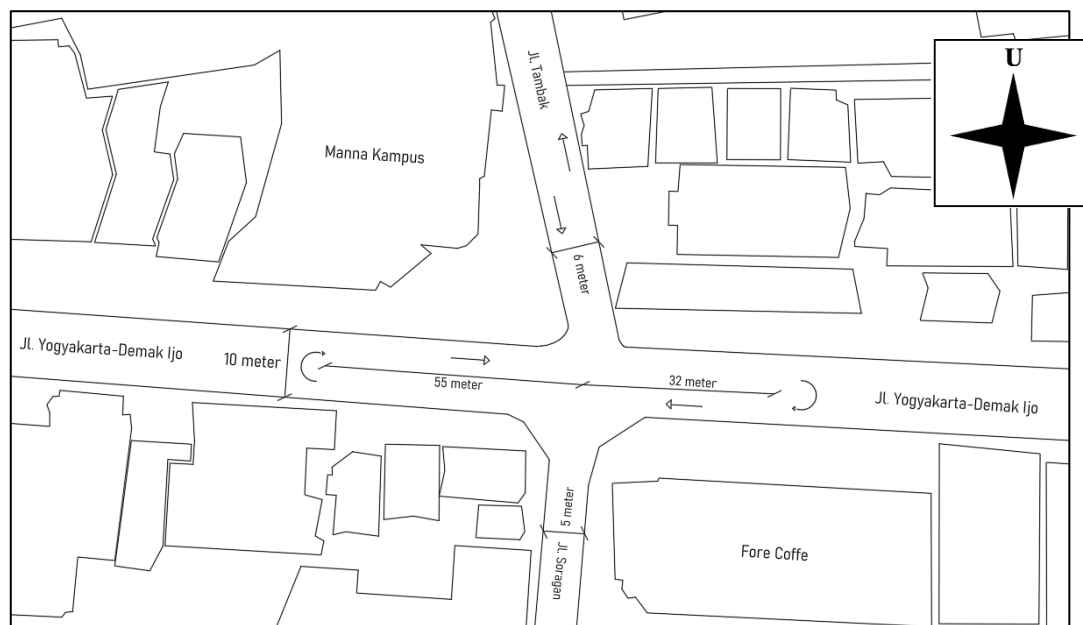
$$\text{Untuk } D_j \leq 0,60, \text{ maka } T_R = 2 + 2,68982 \times D_j - (1 - D_j) \times 2 \quad (4)$$

$$\text{Untuk } D_j > 0,60, \text{ maka } T_R = \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times D_j)} - (1 - D_j) \times 2 \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Simpang

Simpang Empat Manna Kampus Godean memiliki empat buah lengan dengan tata letak terdapat pada **Gambar 32** dan dokumentasi kondisi lalu lintas pada **Gambar 33** dengan karakteristik geometrik lengan dalam **Tabel 19** dan karakteristik jalinan dalam **Tabel 20**.



Gambar 32. Tata letak Simpang Empat Manna Kampus Godean dan wilayah di sekitarnya

**Gambar 33.** Dokumentasi kondisi lalu lintas Simpang Empat Manna Kampus Godean**Tabel 19.** Karakteristik Geometrik Lengan Simpang Empat Manna Kampus Godean

Letak lengan	Utara	Timur	Selatan	Barat
Nama jalan	Jl. Tambak	Jl. Yogyakarta – Demakijo	Jl. Soragan	Jl. Yogyakarta – Demakijo
Kelas jalan	Jalan Lokal	Jalan Provinsi	Jalan Lokal	Jalan Provinsi
Lebar jalan	2,5 meter	10 meter	6 meter	10 meter
Hambatan samping	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang

Tabel 20. Karakteristik Geometrik Jalanan Simpang Empat Manna Kampus Godean

Kode Jalanan	Jalanan 1	Jalanan 2	Jalanan 3	Jalanan 4
Lengan a	Barat	Utara	Timur	Selatan
Lengan b	Utara	Timur	Selatan	Barat
Lebar jalan masuk a (W_a) (meter)	5	3	5	3
Lebar jalan masuk b (W_b) (meter)	2,5	5	3	5
Lebar jalan masuk rerata (W_E) (meter)	3,75	4	4	4
Lebar jalanan (W_w) (meter)	5	5	5	5
Panjang jalanan (L_w) (meter)	55	32	32	55

Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas Simpang Empat Manna Kampus Godean diperoleh berdasarkan survei lapangan pada hari kerja pada pagi hari (06.00 – 09.00), siang hari (11.00 – 14.00), dan sore hari (15.30 – 18.30). Berdasarkan analisis, diperoleh bahwa jam puncak berada pada pukul 06.00 – 07.00 pada Jalanan 1 dan Jalanan 2 serta pukul 15.30 – 16.00 pada Jalanan 3 dan Jalanan 4 yang tercantum pada Tabel 21,

Tabel 22, Tabel 23, dan Tabel 24.

Tabel 21. Data volume lalu lintas Jalanan 1

Tipe kendaraan emp	Sepeda Motor emp = 0,5		Kendaraan Ringan emp = 1,0		Kendaraan Sedang emp = 1,3		Kendaraan Bermotor Total		Kendaraan Tak Bermotor
Gerakan	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam
Aw	217	109	16	16	2	3	235	127	-
Dw	5.022	2.511	549	549	10	13	5.581	3.073	13
Total Menjalini	5.239	2.620	565	565	12	16	5.816	3.200	13
ANW	337	169	36	36	3	4	376	208	9
DNW	123	62	4	4	-	-	127	66	2
Total Tidak Menjalini	460	230	40	40	3	4	503	274	11
Total	5.699	2.850	605	605	15	20	6.139	3.474	24
Rasio Menjalini									0,921

Tipe kendaraan emp	Sepeda Motor emp = 0,5		Kendaraan Ringan emp = 1,0		Kendaraan Sedang emp = 1,3		Kendaraan Bermotor Total		Kendaraan Tak Bermotor
Gerakan	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam
Rasio UM / MV									0,0039

Tabel 22. Data volume lalu lintas Jalinan 2

Tipe kendaraan emp	Sepeda Motor emp = 0,5		Kendaraan Ringan emp = 1,0		Kendaraan Sedang emp = 1,3		Kendaraan Bermotor Total		Kendaraan Tak Bermotor
Gerakan	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam
Aw	112	56	12	12	-	-	124	68	1
Dw	5.043	2.522	582	582	9	12	5.634	3.115	4
Total Menjalin	5.155	2.578	594	594	9	12	5.758	3.183	5
Anw	121	61	64	64	-	--	185	125	-
Dnw	96	48	1	1	-	-	97	49	-
Total Tidak Menjalin	217	109	65	65	-	-	282	174	0
Total	5.372	2.686	659	659	9	12	6.040	3.357	5
Rasio Menjalin									0,948
Rasio UM / MV									0,00082

Tabel 23. Data volume lalu lintas Jalinan 3

Tipe kendaraan emp	Sepeda Motor emp = 0,5		Kendaraan Ringan emp = 1,0		Kendaraan Sedang emp = 1,3		Kendaraan Bermotor Total		Kendaraan Tak Bermotor
Gerakan	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam
Aw	175	88	6	6	-	-	181	94	-
Dw	3.278	1.639	633	633	10	13	3.921	2.285	5
Total Menjalin	3.453	1.727	639	639	10	13	4.102	2.379	5
Anw	176	88	18	18	-	-	194	106	1
Dnw	259	130	42	42	5	7	306	178	2
Total Tidak Menjalin	435	218	60	60	5	7	500	284	3
Total	3.888	1.944	699	699	15	20	4.602	2.663	8
Rasio Menjalin									0,893
Rasio UM / MV									0.0017

Tabel 24. Data volume lalu lintas Jalinan 4

Tipe kendaraan emp	Sepeda Motor emp = 0,5		Kendaraan Ringan emp = 1,0		Kendaraan Sedang emp = 1,3		Kendaraan Bermotor Total		Kendaraan Tak Bermotor
Gerakan	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam
Aw	136	68	12	12	1	1	149	81	2
Dw	3.396	1.698	601	601	14	18	4.011	2.317	8
Total Menjalin	35.32	1.766	613	613	15	20	4.160	2.399	10
Anw	348	174	65	65	2	3	415	242	-
Dnw	253	127	11	11	-	-	264	138	3
Total Tidak Menjalin	601	301	76	76	2	3	679	379	3
Total	4.133	2.067	689	689	17	22	4.839	2.778	13
Rasio Menjalin									0,864
Rasio UM / MV									0,0027

Analisis Kinerja Jalinan

Berdasarkan karakteristik jalinan, volume lalu lintas, serta mempertimbangkan ukuran kota, dimana Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman yang berada pada kawasan di sekitar Simpang Empat Manna Godean memiliki jumlah penduduk masing-masing 1 juta penduduk [10], maka kinerja jalinan pada Simpang Empat Manna Godean memiliki nilai derajat kejenuhan (D_j) > 0,85 yang terjadi pada seluruh jalinan yang ditunjukkan pada Tabel 25, sehingga perlu adanya rekayasa untuk meningkatkan kapasitas dengan menambahkan dimensi jalinan maupun

rekayasa lalu lintas lain agar diperoleh nilai derajat kejenuhan (D_j) $\leq 0,85$ yang merupakan indikator kinerja lalu lintas yang optimal.

Tabel 25. Kinerja jalinan pada Simpang Empat Manna Kampus Godean pada kondisi eksisting

Jalinan	Jalinan 1	Jalinan 2	Jalinan 3	Jalinan 4
Rasio menjalin (P_w)	0,921	0,948	0,893	0,864
Kapasitas dasar (C_0) (smp/jam)	1.803	1.613	1.693	1.880
Faktor ukuran kota (F_{KU})	1	1	1	1
Faktor hambatan samping (F_{RSU})	0,94	0,94	0,94	0,94
Kapasitas jalinan (C) (smp/jam)	1.694	1.516	1.591	1.767
Derajat Kejenuhan (D_j)	2,05	2,21	1,62	1,58
Tundaan Lalu Lintas Jalinan (T_R) (detik/smp)	2,71	2,95	2,07	2,01

Rekomendasi Rekayasa Lalu Lintas

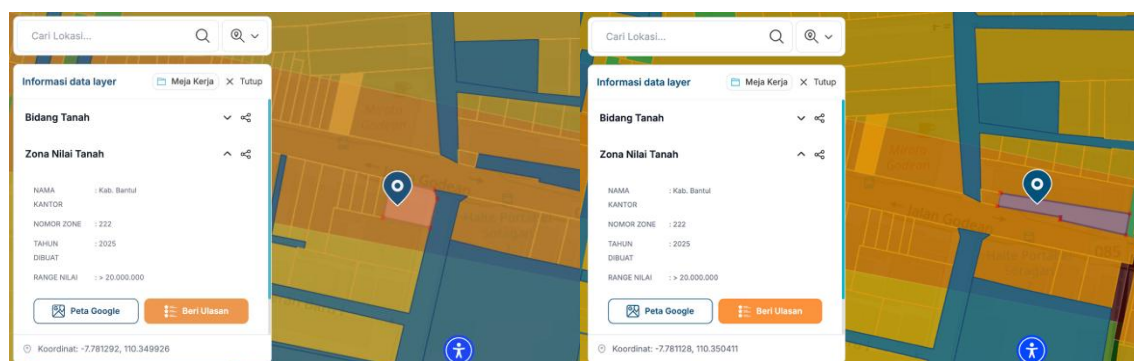
Untuk meningkatkan kinerja jalinan lalu lintas pada Simpang Empat Manna Kampus Godean hingga tercapai derajat kejenuhan ideal di $\leq 0,85$ sesuai dengan dengan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, maka dilakukan simulasi rekayasa lalu lintas dengan dimensi area jalinan ideal sesuai dengan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 dalam Tabel 26 berikut.

Tabel 26. Rekomendasi rekayasa lalu lintas Simpang Empat Manna Kampus Godean

Kriteria Jalinan	Jalinan 1	Jalinan 2	Jalinan 3	Jalinan 4
Lebar jalinan (meter)	16	16	11	12
Panjang jalinan (meter)	100	100	100	100
Kapasitas dasar (C_0) (smp/jam)	4.337	4.101	3.372	3.617
Kapasitas jalinan (C) (smp/jam)	4.077	3.855	3.169	3.400
Derajat Kejenuhan (D_j)	0,85	0,85	0,84	0,82
Tundaan Lalu Lintas Jalinan (T_R) (detik/smp)	0,95	0,91	0,93	0,89

Dengan melakukan rekayasa lalu lintas berupa pelebaran jalinan dari 5 meter menjadi 16 meter, maka didapat Derajat Kejenuhan (D_j) yang ideal $\leq 0,85$ serta tundaan lalu lintas jalinan (T_R) < 1 detik pada kondisi lalu lintas eksisting. Pada tahap selanjutnya, perlu adanya analisis terkait pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan jumlah kendaraan untuk mengantisipasi dampak lalu lintas akibat potensi pergerakan penduduk yang berdampak pada lalu lintas pada masa mendatang [11].

Pelebaran jalan di kawasan Simpang Empat Manna Kampus Godean memerlukan pengadaan lahan di sekitar jalan eksisting karena pada saat ini terdapat berbagai bangunan. Dalam Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pengadaan Tanah Bagi Kepentingan Umum, pelaksanaan pengadaan tanah untuk pembangunan yang berdampak pada kesejahteraan dan kemakmuran dilaksanakan dengan pemberian ganti rugi yang layak dan adil kepada pemegang hak tanah [12]. Untuk menentukan nilai dan pajak tanah yang transparan, adil, dan berkeadilan sebagai dasar pemberian nilai ganti rugi, informasi dapat diakses pada website Kementerian ATR BPN pada bhumi.atrbpn.go.id [13]. Berdasarkan website <http://bhumi.atrbpn.go.id> yang diakses pada 10 Oktober 2025 (Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional, n.d.) dalam Gambar 34, didapatkan nilai tanah di kawasan Simpang Empat Manna Kampus Godean sebesar $> \text{Rp } 20.000.000/\text{m}^2$.



Gambar 34. Nilai lahan di sekitar kawasan Simpang Empat Manna Kampus Godean (sumber: bhumi.atrbpn.go.id, 2025)

Dengan kondisi eksisting lebar jalan 5 meter pada setiap jalinan, maka diperlukan pelebaran sebesar 6 hingga 11 meter pada setiap jalinan dengan panjang area 100 meter pada seluruh jalinan, maka diperlukan pengadaan lahan seluas 3.500 m^2 dengan prakiraan biaya minimal $\text{Rp } 70.000.000.000,-$ untuk tanah saja sesuai dengan analisis pada Tabel 27 dan belum termasuk nilai ganti rugi bangunan.

Tabel 27. Analisis kebutuhan luasan dan biaya pengadaan lahan untuk pelebaran Simpang Empat Manna Kampus Godean

Jalanan	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Nilai lahan satuan minimal (Rp)	Nilai lahan total minimal (Rp)
Jalanan 1	100	11	1.100	20.000.000	22.000.000.000
Jalanan 2	100	11	1.100	20.000.000	22.000.000.000
Jalanan 3	100	6	600	20.000.000	12.000.000.000
Jalanan 4	100	7	700	20.000.000	14.000.000.000
Total			3.500		70.000.000.000

Namun, proses pengadaan lahan berpotensi menimbulkan berbagai konflik dan permasalahan, di antaranya adalah nilai appraisal tidak sesuai dengan keinginan pemilik hak atas tanah [15], pemilik hak atas tanah menolak ganti kerugian [16], hilangnya mata pencaharian bagi pemilik hak atas tanah maupun pekerja di kawasan pengadaan lahan [17]. Oleh karena itu, jika rekayasa lalu lintas berupa pelebaran Simpang Empat Manna Kampus Godean akan dilakukan, maka peran pemerintah dalam sosialisasi, transparansi, dan komunikasi dengan pemilik hak atas tanah perlu dilakukan secara efektif [18].

Selain itu, terdapat potensi rekayasa lalu lintas Simpang Empat Godean dalam bentuk manajemen lalu lintas, di antaranya dengan melakukan pengendalian arus lalu lintas untuk meningkatkan kinerja dan keselamatan simpang [19] dengan metode sistem kendali lampu isyarat lalu lintas yang cukup efektif hingga kondisi volume lalu lintas tertentu [20]. Namun, potensi reaktivasi lampu isyarat lalu lintas Simpang Empat Manna Kampus Godean ini perlu dikaji lebih lanjut karena memerlukan data pergerakan kendaraan belok kanan pada setiap lengan dan pergerakan kendaraan lurus pada lengan utara dan selatan yang valid untuk dapat merencanakan rekayasa lalu lintas hingga tahap penentuan jumlah fase dan waktu siklus lampu isyarat lalu lintas.

4. KESIMPULAN

Rekayasa lalu lintas berupa pemasangan pembatas jalan menggunakan *water barrier* untuk mengurangi konflik pada Simpang Empat Manna Kampus Godean, Jalan Yogyakarta – Demakijo, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul memiliki kinerja yang kurang optimal dengan volume lalu lintas melebihi kapasitas dan memiliki nilai derajat kejenuhan (D_j) > 1 . Untuk mencapai nilai derajat kejenuhan (D_j) optimal $\leq 0,85$, diperlukan rekayasa lalu lintas di Simpang Empat Manna Kampus Godean, di antaranya berupa pelebaran dimensi jalanan di sebesar 6 – 11 meter pada setiap jalanan sehingga kapasitas jalanan dapat memenuhi kebutuhan volume lalu lintas harian kendaraan. Namun, pelebaran dimensi jalanan membutuhkan biaya ganti kerugian mencapai lebih dari Rp 70.000.000.000 untuk pengadaan lahan saja dan belum termasuk biaya ganti kerugian bangunan. Selain itu, terdapat potensi berbagai konflik dan permasalahan dalam pelaksanaannya sehingga perlu dilaksanakan dengan hati-hati. Sementara itu, terdapat opsi rekayasa lalu lintas yang lain, di antaranya berupa reaktivasi lampu isyarat lalu lintas Simpang Empat Manna Kampus Godean. Akan tetapi, opsi tersebut memerlukan data dan analisis lalu lintas lebih lanjut, di antaranya terkait dengan karakteristik pergerakan kendaraan yang melakukan putar balik untuk selanjutnya menuju arah kanan karena pergerakan saat ini terhalang oleh pembatas jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta, "Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 328/KEP/2022 tentang Penetapan Fungsi Jalan Kolektor 2 dan Jalan Kolektor 3 Dalam Sistem Jaringan Jalan Primer," 2022.
- [2] Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta, "Peraturan Pemerintah Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 5 Tahun 2019 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2019-2039," 2019.
- [3] O. F. Saputra, M. P. Hadi and Suharyadi, "Simulasi Penggunaan Lahan dan Transportasi Massal untuk Pemodelan Pelayanan Jalan di Koridor Jalan Godean," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 31, no. 2, pp. 88-96, 2017.
- [4] A. Ratnasari R, "Analisis Perubahan Penggunaan Dan Harga Lahan Di Analisis Perubahan Penggunaan Dan Harga Lahan Di Analisis Perubahan Penggunaan Dan Harga Lahan Di Koridor Semarang-Mranggen Koridor Semarang-Mranggen Koridor Semarang-Mranggen," *Ruang*, vol. 2, no. 2, pp. 111-121, 2016.
- [5] S. Sugianto, R. Faisal and M. Reyhan, "Pengaruh Sepeda Motor Terhadap Kapasitas Bagian Jalanan Pada Perencanaan Bundaran di Simpang Tujuh Ulee Kareng," *Teras Jurnal*, vol. 8, no. 2, pp. 416-425, 2018.
- [6] Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, "Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)," 1997.

- [7] Musdalifah B, "Analisis Kinerja Ruas Jalan Akibat Putar Balik Pada Km 23 (Depan Grand Mall sampai dengan Simpang Tiga Pasar Batangase) Kabupaten Maros," Skripsi Sarjana, Universitas Bosowa, 2023.
- [8] U. Subagyo, "Analisa Jalinan Jalan Kawi Kota Malang (Studi Kasus Akibat Pengaruh Kendaraan Keluar Masuk MOG)," *Prokons: Jurnal Teknik Sipil*, pp. 204-208, 2012.
- [9] Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Surat Edaran Nomor: 21/SE/Db/2021 tentang Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia," 2023.
- [10] Badan Perencanaan Pembangunan Riset dan Inovasi Daerah, "Jogja Dataku," 29 September 2025. [Online]. Available: https://bapperida.jogjaprovo.go.id/dataku/data_dasar/index/701-penduduk?id_skpd=311. [Accessed 10 October 2025].
- [11] D. Hartanto, "Analisis Peta Potensi Rawan Kemacetan Berbasis Geography Information System di Kota Medan," *Jurnal Geografi*, vol. 12, no. 01, pp. 235-244, 2020.
- [12] Presiden Republik Indonesia, "Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pengadaan Tanah Bagi Pembangunan Untuk Kepentingan Umum," 2012.
- [13] M. Lutfi, T. Anshari SN and T. S. Soekasi, "Penggunaan Zona Nilai Tanah di Dalam Penilaian Harga Tanah Sebagai Dasar Penetapan Bea Perolehan Hak Atas Tanah dan Bangunan di Kabupaten Sidoarjo," *Jurnal Akuntansi dan Pajak*, vol. 22, no. 2, 2022.
- [14] Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional, "BHUMI ATR/BPN," [Online]. Available: <https://bhumi.atrbpn.go.id/peta>. [Accessed 10 October 2025].
- [15] B. Istijono, "Lahan Menjadi Faktor Penghambat Dalam Pelaksanaan Pembangunan Untuk Kepentingan Umum," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 52-59, 2014.
- [16] G. M. Lumanauw, S. Handoyo and Roziqin, "Penggunaan Konsinyasi Untuk Penyelesaian Ganti Kerugian Dalam Pengadaan Tanah Untuk Kepentingan Umum di Kota Balikpapan," *Jurnal De Facto*, vol. 7, no. 1, pp. 60-85, 2020.
- [17] A. B. M. Kamim and M. I. Abrar, "Bagaimana Sertifikasi Kelapa Sawit Berkelanjutan Gagal Mencegah Perusahaan Anggota RSPO dan ISPO Merampas Tanah Adat di Indonesia?," *BHUMI: Jurnal Agraria dan Pertanahan*, vol. 6, no. 2, pp. 145-157, 2020.
- [18] W. E. Christianto, A. R. Ananda, J. S. Putri, A. Mansur and A. S. Arief, "Konflik Pembebasan Lahan Di Kawasan Kereta Api Makassar-Pare-Pare : Perspektif Manajemen Risiko," *Manor: Jurnal Manajemen dan Organisasi Review*, vol. 5, no. 2, pp. 164-172, 2023.
- [19] S. Widyawan and Rukman, "Analisis Kinerja Simpang Bersinyal untuk Meningkatkan Keselamatan pada Simpang Depok Kota Depok," *Airman: Jurnal Teknik dan Keselamatan Transportasi*, vol. 2, no. 1, pp. 30-38, 2019.
- [20] B. Banter, A. K. Zaini and A. Boer, "Analisis Simpang Bersinyal Pada Bundaran Kantor Gubernur Pekanbaru," *Jurnal Saintis*, vol. 19, no. 1, pp. 35-40, 2019.

JTSA

Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur

Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

