



JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING & INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY

Published by :



Indonesian Society of
Applied Science (ISAS)



**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY (JACEIT)**

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

Vol. 7 No. 1 (2026) : Agustus 2026

e-ISSN. 2723-5378

**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY
(JACEIT)**

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

VOLUME 7, NOMOR 1, AGUSTUS 2026

E-ISSN. 2723-5378

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.52158/](https://doi.org/10.52158/)



Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) adalah sebuah jurnal *blind peer review* yang didedikasikan untuk publikasi hasil penelitian yang berkualitas dalam bidang ilmu Teknik Sipil dan Rekayasa Infrastruktur namun tak terbatas secara implisit. Semua publikasi di junal JACEIT bersifat akses terbuka yang memungkinkan artikel tersedia secara bebas online tanpa berlangganan apapun.

Penerbit

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

Alamat Redaksi

Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

Email: jaceit@isas.or.id; jaceit.isas@gmail.com



Indonesian Society of Applied Science

Office: Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111.

Phone: +6281234302724, +6287859160488

ISAS

The Biggest Applied Science Society in Indonesia

<https://isas.or.id>

humas@isas.or.id



SAMBUTAN EDITOR

Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) merupakan jurnal ilmiah yang dikelola dan dipublikasikan oleh **Indonesian Society of Applied Science (ISAS)**, yang merupakan suatu perkumpulan dari konsorsium Pusat/Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri se-Indonesia yang berbadan hukum dari Keputusan Menteri dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia **Nomor AHU-0011316.AH.01.07 Tahun 2019** pada tanggal 8 November 2019.

JACEIT terbit sejak Agustus 2020 dengan ISSN Online 2723-5378, SK LIPI Nomor. 0005.27235378/JI.3.1/SK.ISSN/2020.08 Tanggal 6 Agustus 2020. **JACEIT** diterbitkan dua kali dalam setahun yaitu Bulan Agustus dan Desember. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)* merupakan jurnal ilmiah dengan ruang lingkup bidang teknik sipil antara lain bidang struktur, manajemen konstruksi, geoteknik, hidroteknik, material maju, pemetaan/geomatika/ sistem informasi geografis, teknik lingkungan, transportasi dan rekayasa teknologi infrastruktur. **JACEIT** juga sudah terindeks **Google Scholar, ROAD, Crossref, WorldCat, One Search, Dimensions, GARUDA dan SINTA**. **JACEIT** memiliki DOI: <https://doi.org/10.52158/> dan sudah terakreditasi **SINTA 4**. Kami akan terus berupaya dalam meningkatkan lembaga pengindeks agar dapat meningkatkan *impact factor* OJS **JACEIT**.

Pada Volume 7 No. 1 Agustus 2026 merupakan terbitan artikel *in press* yang ini terdiri atas 10 artikel dengan 31 penulis yang berasal dari 9 perguruan tinggi di Indonesia, yaitu Universitas Ibnu Khaldun Bogor, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Universitas Teknologi Sumbawa, Politeknik Negeri Jakarta, Politeknik Negeri Banyuwangi, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Universitas Indo Global Mandiri, Universitas Mulawarman, Universitas Airlangga, serta 1 Instansi yaitu PT. PLN Unit Induk Distribusi Jawa Timur.

Penerbitan Jurnal ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, terutama ucapan terima kasih kami sampaikan kepada para editor dan reviewer yang sudah rela bekerja keras dalam *me-review* manuskrip hingga layak publish di jurnal ini. Kami juga mengapresiasi para peneliti, mahasiswa dan praktisi yang sudah menjadikan **JACEIT** sebagai media untuk publikasi hasil penelitiannya. Membutuhkan usaha lebih keras untuk mendapatkan *submission paper* dan menjalin *networking* dari kalangan akademisi dari berbagai Perguruan Tinggi Negeri ataupun Swasta DN/LN serta dari instansi/ lembaga. Semoga manuskrip di **JACEIT** dapat menambah khazanah keilmuan dan wawasan ilmiah, khususnya dalam bidang Teknik Sipil. Kritik dan saran membangun tetap kami harapkan untuk perbaikan jurnal ini.

Banyuwangi, 4 Agustus 2025

Ketua Dewan Redaksi,

Cand. Dr. Zulis Erwanto, S.T., M.T.





DAFTAR ISI TERBITAN

No.	Judul – Penulis	Halaman
1	Studi Rencana Penentuan Halte Sistem Angkutan Umum Massal Berbasis Jalan Pada Koridor 6 Di Kabupaten Bogor (Ciawi-Cisarua) <i>Ade Nirwan, Rulhendri, Tedy Murtedjo</i>	1 - 14
2	Analisis Peningkatan Integrasi Antarmoda di Stasiun Tawang Semarang <i>Muhammad Rizqi Putra Yudhi, Reza Yoga Anindita, Hanendyo Putro</i>	15 - 22
3	Perencanaan Struktur Pemecah Gelombang dengan Sisi Miring pada Kawasan Pesisir ULPLTU Sumbawa <i>Syahri Wardani, Adi Mawardin</i>	23 - 29
4	Perilaku Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Ekspansif Kabupaten Tangerang <i>Putera Agung Maha Agung, Aida Nurfitriya, Aldo Wirastana Adinegara, Zaindra Fakhri Salim</i>	30 - 37
5	Pengaruh Perbandingan Kapur dan Abu Ampas Tebu sebagai Perbaikan Tanah Lempung <i>Yustika Dwi Nurmawati, Dora Melati Nurita Sandi, Eva Olivia Hutasoit</i>	38 - 42
6	Penentuan Bahaya Longsor Berdasarkan Pedoman Penilaian Tingkat Risiko Lereng Jalan (Ruas Waipia-Saleman) <i>Pebrinar Riani Sangle, Irwan Lie Keng Wong, Lisa Febriani</i>	43 - 50
7	Evaluasi Kapasitas Daya Tampung Kolam Retensi Kecamatan Kemuning Kota Palembang Provinsi Sumatera Selatan <i>Sartika Nisumanti, Ratih Baniva, Fellya Siska Indah</i>	51 - 56
8	Studi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Sekam Padi <i>Rani Adinda Meiliana, Sartika Nisumanti, Febryandi Nisumanti</i>	57 - 61
9	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit 6 Lantai dengan Analisis Pushover Studi Kasus: Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda <i>Nurmila, Indra Ariani, Fachriza Noor Abdi</i>	62 - 70
10	Evaluasi Sistem Proteksi Kebakaran di Gedung B PLN UID Jawa Timur <i>Revita Dea Sari, Deny Nurcahyo Hari Prastya, Tri Martiana, Denny Ardyanto, Parlan</i>	71 - 75





Studi Rencana Penentuan Halte Sistem Angkutan Umum Massal Berbasis Jalan Pada Koridor 6 Di Kabupaten Bogor (Ciawi-Cisarua)

Ade Nirwan¹, Rulhendri², Tedy Murtedjo³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldhun Bogor

¹adenirwan04@gmail.com*, ²rulhendri@uika-bogor.ac.id, ³tedy.murtedjo@uika-bogor.ac.id

Abstract

The mass public transportation system (SAUM) is one of the Bogor Regency Government's efforts to alleviate existing traffic congestion and provide people with alternative transportation options. Based on the study, six main corridors have been identified for development, one of which is Corridor 6, specifically from Ciawi to Cisarua. The purpose of this study is to determine the number and location of bus stops to meet potential demand and estimate the potential demand from each stop point. The analytical method used is the analytical descriptive research method of the Ministry of Land Transportation's equations. The results of the research that have been carried out have obtained 17 stopping points that can meet potential demand on the Corridor 6 route, with the locations of Ciawi Hospital Stop, Ciawi Gas Station Stop, Gadog Stop, Hermina Hospital Stop, Pasir Angin Stop, GPIB Nehemia Stop, Cibogo Gas Station Stop, SMK YMA Megamendung Stop, RM Ma Pirah Stop, Cimori Riverside Stop, Taman Wisata Matahari Stop, MAN 1 Cisarua Stop, Parama Hotel Stop, Cibulan Clinic Stop, Taman Safari Stop (RSPARU), Taman Safari 1 Stop, and SDN Cibereum Stop.

Keywords: Bus Stops, Mass Public Transport Facilities, Planning

Abstrak

Sistem angkutan umum massal (SAUM) merupakan salah satu upaya Pemerintah Kabupaten Bogor untuk mengatasi kemacetan lalu lintas yang ada dan memberikan pilihan bagi masyarakat untuk berpindah. Berdasarkan kajian telah diperoleh 6 Koridor utama yang akan dikembangkan, Salah satunya koridor 6 Ciawi – Cisarua. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jumlah dan lokasi halte agar dapat memenuhi potensi demand serta mendapatkan potensi demand dari masing-masing titik pemberhentian. Metode analisa yang di gunakan adalah metode penelitian deskriptif analitis persamaan Departemen Perhubungan darat. Hasil penelitan yang telah dilakukan memperoleh 17 titik pemberhentian yang dapat memenuhi potensi demand pada rute koridor 6, dengan lokasi Halte RS Ciawi, Halte SPBU Ciawi, Halte Gadog, Halte RS Hermina, Halte Pasir Angin, Halte GPIB Nehemia, Halte SPBU Cibogo, Halte SMK YMA Megamendung, Halte RM Ma Pinah, Halte Cimori Reverside, Halte Taman Wisata Matahari, Halte MAN 1 Cisarua, Halte Parama Hotel, Halte Klinik Cibulan, Halte Taman Safari (RSPARU), Halte Taman Safari 1, dan Halte SDN Cibereum.

Kata Kunci: Halte, Sarana Angkutan Umum Massal, Perencanaan.

Diterima Redaksi : 2024-05-09 | Selesai Revisi : 2024-06-10 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Kabupaten Bogor merupakan wilayah dengan jumlah penduduk terbanyak nasional. Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil (Dukcapil) Kementerian Dalam Negeri mencatat jumlah penduduk Kabupaten Bogor sebanyak 5,39 juta jiwa pada Juni 2022. Jumlah tersebut terbanyak se-Provinsi Jawa Barat dan juga se-Indonesia. Dengan wilayah 2.986 km persegi, maka kepadatan penduduk salah satu kabupaten di Jawa Barat tersebut mencapai 1.800 jiwa per km persegi [1]. Bertambahnya populasi manusia serta

meningkatnya aktivitas yang dilakukan menyebabkan kebutuhan akan sarana prasarana transportasi semakin meningkat. Semakin tingginya permintaan akan transportasi maka kita dapat melihat bahwa daerah tersebut semakin maju. Perkembangan tersebut pada akhirnya memerlukan ketersediaan dan pengembangan prasarana transportasi yang mampu melayani kebutuhan dan meningkatkan perkembangan wilayah [2]. Transportasi yang baik juga dilihat dari pelayanan sarana dan prasarana yang ada. Sarana dan prasarana yang baik ialah memenuhi standar yang ada supaya dapat



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

menaikkan minat masyarakat untuk menggunakan jasa transportasi [3]. Sistem angkutan umum massal (SAUM) merupakan salah satu upaya Pemerintah Kabupaten Bogor untuk mengatasi kemacetan lalu lintas yang ada dan memberikan pilihan bagi masyarakat untuk berpindah. Berdasarkan kajian telah diperoleh 6 Koridor utama yang akan dikembangkan, Salah satunya koridor 6 Ciawi – Cisarua. Koridor 6 Ciawi – Cisarua akan memiliki beberapa tempat persinggahan yaitu Ciawi – Megamendung – Cisarua – Taman Safari. Minat para penduduk Jabodetabek dan lainnya untuk menikmati objek wisata di destinasi wisata Bopunjur diperkirakan masih begitu besar dan akan semakin membesar pada masa yang mendatang. Halte merupakan prasarana transportasi sebagai fasilitas pendukung yang digunakan masyarakat untuk menunggu angkutan dan sebagai tempat naik dan turunnya para penumpang angkutan [4]. Berdasarkan penjelasan di atas perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait untuk mendapatkan jumlah dan lokasi halte agar dapat memenuhi potensi demand serta mendapatkan potensi demand dari masing-masing titik pemberhentian. Beberapa penelitian terdahulu terkait perencanaan penentuan halte antara lain seperti [5],[6],[7].

2. Metode Penelitian

Metode yang di gunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif analitis persamaan Departemen Perhubungan darat. Deskriptif berarti pemaparan (identifikasi) masalah-masalah yang ada, sedangkan analitis berarti data yang dikumpulkan mula-mula disusun, dijelaskan dan dianalisis. Pengumpulan data dilakukan dengan mengetahui sumber data dan teknik pengumpulan data, untuk memperoleh data-data yang akan diolah pada tahap selanjutnya.

2.1. Dalam penelitian ini, terdapat dua data yang akan diambil yaitu data primer dan data sekunder ;

- 1) Data Primer adalah data yang diperoleh langsung dari hasil observasi lapangan. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini didapat berdasarkan hasil survei rencana angkutan umum massal koridor 6 kabupaten Bogor.
- 2) Data sekunder adalah sumber yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya lewat orang lain atau dokumen. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - 1) Peta jaringan jalan kabupaten Bogor, seperti:
 - 2) Data RTRW Kabupaten Bogor
 - 3) RIT Kabupaten Bogor
 - 4) Keputusan Bupati Bogor No.: 500.11/97/Kpts/Per-UU/2023 tentang Penetapan Rute Trayek Angkutan Umum Massal di Wilayah Kabupaten Bogor [8].
 - 5) Direktur Jendral Perhubungan Darat No.: 271/HK.105/DRJD/96 tentang Pedoman Teknis Perekayasaan Tempat Pemberhentian Kendaraan Penumpang Umum [9].

2.2. Tahap Penelitian

Tahapan penelitian studi rencana penentuan titik pemberhentian angkutan umum massal berbasis jalan di kabupaten bogor pada koridor 6 di bagi menjadi 4 tahapan pelaksanaan sebagai berikut: Studi literatur, pengumpulan data, analisa data, kesimpulan.

2.3. Analisis Data

Metode yang digunakan untuk mengelola, mengeksplorasi dan memberikan interpretasi pada data yang diperoleh adalah melakukan kompilasi dan menganalisis data. Kompilasi data adalah proses mengumpulkan data, termasuk data sekunder dan primer yang diperoleh dari survei yang telah dilakukan. Data yang terkumpul kemudian dievaluasi, dianalisis untuk mempermudah proses analisis dalam perencanaan. Kompilasi data lapangan meliputi:

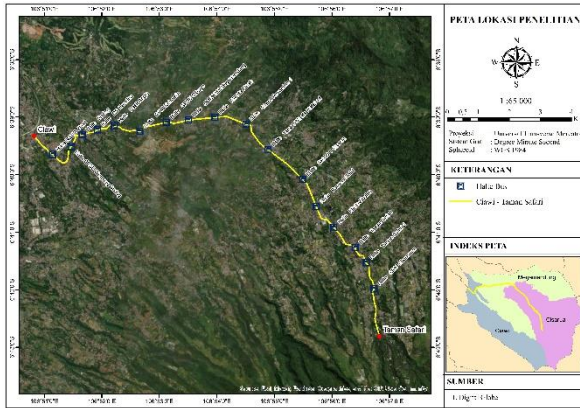
1. Data *screen line*
2. Data tata guna lahan
3. Data geometri jalan
4. Data kinerja ruas jaringan jalan

Setelah data primer dan sekunder terkumpul, dilakukanlah analisis yang mencakup:

1. Lokasi bangkitan terbesar
Pola penyebaran spasial yang sangat berperan adalah sebaran spasial dari daerah industri, perkantoran, dan pemukiman. Pola sebaran spasial dari ketiga jenis tata guna lahan ini sangat berperan dalam menentukan pola perjalanan orang, terutama perjalanan dengan maksud bekerja. Untuk mengetahui pola aktivitas yang mendorong penduduk untuk melakukan pergerakan dilakukan analisis. Lokasi yang memiliki bangkitan terbesar meliputi: tempat kerja, sekolah dan universitas, pusat perbelanjaan, pariwisata, dan olahraga.
2. Menentukan kriteria lokasi halte
Kebutuhan halte ditentukan berdasarkan titik lokasi halte yang sesuai dengan standar jarak halte dan tempat perhentian bus pada Surat Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor 271 Tahun 1996 Tentang Pedoman Teknis Perekayasaan Tempat Perhentian Kendaraan Penumpang Umum dan ideal radius perhentian bus untuk wilayah pelayanan tersebut yaitu sejauh 300 – 500 meter dan 500 – 1000 meter.
3. Menganalisis kinerja ruas jaringan jalan
Merupakan kemampuan dari suatu ruas jalan bisa menjalankan sesuai fungsinya tanpa ada hambatan dalam melayani arus lalu lintas yang terjadi pada ruas jalan tersebut.
4. Penentuan jumlah potensi *demand*
Potensi demand ditentukan berdasarkan tata guna lahan dan bangkitan ITE yang disebabkan oleh pengaruh langsung adanya pengembangan infrastruktur [10].

2.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada rute koridor 6 yaitu Ciawi – Cisarua, Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat, Indonesia dapat di lihat pada Gambar 1.

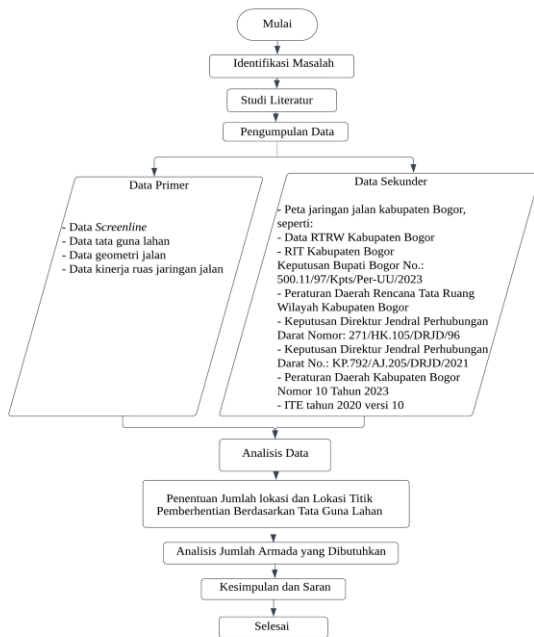


Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan Oktober 2023 – Desember 2023.

2.5 Diagram alir penelitian

Bagan alir penelitian ini agar menjadi pedoman pelaksanaan penyusunan skripsi agar sesuai dengan tujuan.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

2. Menentukan titik rencana pemberhentian

Tabel 1. Titik Rencana Pemberhentian

No	Halte Rencana
1	Halte RS Ciawi
2	Halte SPBU Ciawi
3	Halte Gadog
4	Halte RS Hermina
5	Halte Pasir Angin
6	Halte GPIB Nehemia
7	Halte SPBU Cibogo
8	Halte SMK YMA Megamendung
9	Halte RM Ma Pinah
10	Halte Cimori Reverside
11	Taman Wisata Matahari
12	Halte MAN 1 Cisarua
13	Halte Parama Hotel
14	Halte Klinik Cibulan
15	Halte Taman Safari (RSPARU)
16	Halte Taman Safari 1
17	Halte SDN Cibereum

3. Kinerja ruas jalan

Indikator kinerja ruas jalan yang dimaksud disini adalah perbandingan volume per kapasitas (*V/C ratio*), kecepatan dan kepadatan lalu lintas. Tiga karakteristik ini kemudian di pakai untuk mencari tingkat pelayanan (*level of service*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja ruas jalan yang akan mempengaruhi beroperasinya angkutan umum massal di Kabupaten Bogor dengan tipe jalan Nasional dengan 2 jalur tidak terbagi. Hasil analisa kapasitas ruas dapat di lihat di Tabel 2.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Jumlah dan lokasi titik pemberhentian

1. Analisis lokasi bangkitan terbesar

Didapat dari perjalanan/pergerakan orang karena aktivitas yang sedang dilakukan, pergerakan yang dimaksud adalah bergerak dari titik lokasi ke lokasi yang dituju seperti bekerja, sekolah, atau lainnya.

Tabel 2. Kapasitas ruas jalan

Titik Halte	Lebar Jalan Efektif	Faktor Penyesuaian							Kapasitas (skr/jam)
		Lebar Jalur	Pemisah Arah	Hambatan Samping			Ukuran Kota		
				FCIj	FCpa	Level		Jenis	
Halte RS Ciawi	10,8	0,56	1	Tinggi	kereb	1,5	0,95	1,04	1605
Halte SPBU Ciawi	10,3	0,56	1	Tinggi	bahu	1,5	0,86	1,04	1453
Halte Gadog	11,3	0,56	1	Tinggi	bahu	1,5	0,86	1,04	1453
Halte RS Hermina	11,3	0,56	1	Tinggi	bahu	1,5	0,86	1,04	1453
Halte Pasir Angin	11,3	0,56	1	Tinggi	bahu	1,5	0,86	1,04	1453
Halte GPIB Nehemia	11,3	0,56	1	rendah	bahu	1,5	0,94	1,04	1588
Halte SPBU Cibogo	9,4	0,56	1	Tinggi	bahu	1,5	0,86	1,04	1453
Halte SMK YMA Megamendung	13,1	0,96	1	Tinggi	kereb	1,5	0,84	1,04	2432
Halte RM Ma Pinah	13,1	3,25	1	Tinggi	kereb	1,5	0,84	1,04	8234
Halte Cimori Reverside	13,1	1	1	Tinggi	bahu	1,5	0,92	1,04	2775
Taman Wisata Matahari	13,1	1	1	sedang	bahu	1,5	0,92	1,04	2775
Halte MAN 1 Cisarua	13,1	1	1	Tinggi	bahu	1,5	0,82	1,04	2473
Halte Parama Hotel	13,1	0,96	1	Tinggi	kereb	1,5	0,82	1,04	2374
Halte Klinik Cibulan	7,7	1,04	1	sedang	bahu	1,5	0,92	1,04	2886
Halte Taman Safari (RSPARU)	10,2	0,56	1	Tinggi	bahu	1,5	0,82	1,04	1385
Halte Taman Safari 1	6,2	0,92	1	sedang	bahu	1,5	0,89	1,04	2470
Halte SDN Cibureum	6,2	0,92	1	rendah	bahu	1,5	0,92	1,04	2553

4. Analisis level of service (LOS)

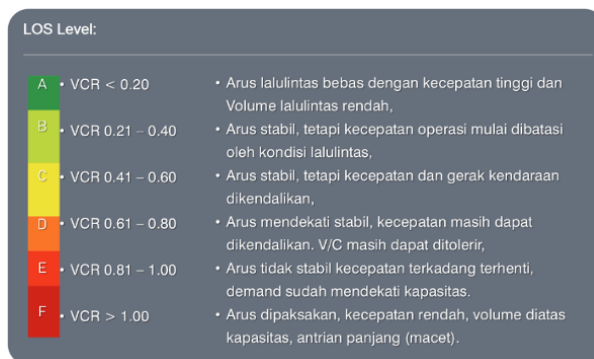
Level of Service (LOS) adalah ukuran kualitatif yang mencerminkan persepsi pengemudi tentang kualitas mengendarai kendaraan. Baiknya pelayanan dapat dinyatakan dalam tingkat pelayanan *Level of Service (LOS)*. *Level of Service (LOS)* merupakan ukuran kualitas sebagai rangkaian dari beberapa faktor yang mencakup kecepatan kendaraan dan waktu perjalanan, interupsi lalu lintas, kebebasan untuk manuver, keamanan, kenyamanan mengemudi, dan ongkos operasi (*operation cost*) sehingga LOS dijadikan sebagai tolak ukur kualitas suatu kondisi lalu lintas. Maka dari itu volume pelayanan harus kurang dari kapasitas jalan itu sendiri. LOS yang tinggi didapatkan apabila *cycle time* pendek, karena *cycle time* yang pendek akan menghasilkan delay yang kecil. Dalam klasifikasi pelayanannya LOS dibagi menjadi 6 tingkatan, yaitu:

1. Tingkat pelayanan A

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i1.832>

- 1) Arus lalu lintas bebas tanpa hambatan
 - 2) Volume dan kepadatan lalu lintas rendah
 - 3) Kecepatan kendaraan ditentukan oleh pengemudi
2. Tingkat pelayanan B
- 1) Arus lalu lintas stabil
 - 2) Kecepatan mulai dipengaruhi oleh keadaan lalu lintas, tetapi tetap dapat dipilih sesuai kehendak pengemudi
3. Tingkat pelayanan C
- 1) Arus lalu lintas masih stabil
 - 2) Kecepatan perjalanan dan kebebasan bergerak sudah dipengaruhi oleh besarnya volume lalu lintas sehingga pengemudi tidak dapat lagi memilih kecepatan yang diinginkan.
4. Tingkat pelayanan D

- 1) Arus lalu lintas mulai memasuki arus tidak stabil
 - 2) Perubahan volume lalu lintas sangat mempengaruhi besar kecepatan perjalanan
5. Tingkat pelayanan E
- 1) Arus lalu lintas sudah tidak stabil
 - 2) Volume kira kira sama dengan kapasitas
 - 3) Sering terjadi kemacetan
6. Tingkat pelayanan F
- 1) Arus lalu lintas sudah tidak stabil
 - 2) Sering terjadi kemacetan
 - 3) Arus lalu lintas rendah



Gambar 3. Level of service arus lalu lintas [11]

Hasil analisa *Level of Service (LOS)* dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3. Kinerja Lalu Lintas Koridor 5

No	Halte Rencana	Kapasitas skr/jam	Volume skr/jam	VC Ratio	jarak (m)	waktu (jam)	Kecepatan Km/jam	Kepadatan skr/km	LOS
1	Halte RS Ciawi	1605	1175	0,73	0,8	0,02	48	65,55	D
2	Halte SPBU Ciawi	1453	1098	0,76	0,9	0,03	27	35,72	D
3	Halte Gadog	1453	2141	1,47	0,55	0,02	33	22,39	F
4	Halte RS Hermina	1453	2019	1,39	0,75	0,02	45	32,37	F
5	Halte Pasir Angin	1453	2049	1,41	0,65	0,03	19,5	13,82	F
6	Halte GPIB Nehemia	1588	1838	1,16	1	0,03	30	25,91	F
7	Halte SPBU Cibogo	1453	2116	1,46	1	0,03	30	20,59	F
8	Halte SMK YMA Megamendung	2432	2265	0,93	0,7	0,02	42	45,10	E
9	Halte RM Ma Pinah	8234	2125	0,26	0,45	0,02	27	104,62	B
10	Halte Cimori Reverside	2775	2226	0,80	0,75	0,03	22,5	28,05	D
11	Taman Wisata Matahari	2775	2222	0,80	0,8	0,02	48	59,94	D
12	Halte MAN 1 Cisarua	2473	2004	0,81	1,2	0,03	36	44,43	E
13	Halte Parama Hotel	2374	1875	0,79	0,9	0,03	27	34,19	D
14	Halte Klinik Cibulan	2886	2114	0,73	0,5	0,02	30	40,95	D
15	Halte Taman Safari (RSPARU)	1385	615	0,44	0,8	0,02	48	108,09	C
16	Halte Taman Safari 1	2470	524	0,21	0,7	0,02	42	197,94	B
17	Halte SDN Cibeureum	2553	427	0,17	0,65	0,02	39	233,15	A

Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa kondisi lalu lintas yang akan terjadi pada ruas-ruas jalan yang diamati, Dimana rata-rata kinerja yang dapat diperoleh sebesar 1,07 dengan nilai level of service F dimana arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian Panjang (macet). Kondisi tersebut terjadi karena

tidak adanya peralihan moda. Kemudian dilakukan kebijakan tersebut, yang mana orang akan berpindah Tindakan prediksi kondisi lalu lintas apabila diikuti menggunakan angkutan umum massal daripada dengan perubahan-perubahan kebijakan seperti kendaraan pribadi. Berikut adalah kondisi lalu lintas pembebasan parkir illegal, menaikkan tarif parkir terjadi perpindahan moda. Hasil analisa Kondisi lalu kendaraan dan menerapkan system ganjil genap pada lintas angkutan umum massal koridor 6 2023 kondisi ruas jalan tersebut. Dengan melakukan permainan perpindahan moda 30% dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kondisi Lalu Lintas Angkutan Umum Massal Koridor 6 2023 Kondisi Perpindahan Moda 30%

No	Halte Rencana	Tipe Jalan	Lebar Jalan	C	Volume	30% Perpindahan Moda 2023		
						Volume	VCR	LOS
					skr/jam	skr/jam		
1	Halte RS Ciawi	2/2 TT	10,8	1605	622,8	436	0,27	B
2	Halte SPBU Ciawi	2/2 TT	10,3	1453	514,8	360	0,25	B
3	Halte Gadog	2/2 TT	11,3	1453	1613,2	1129	0,78	D
4	Halte RS Hermina	2/2 TT	11,3	1453	1507,2	1055	0,73	D
5	Halte Pasir Angin	2/2 TT	11,3	1453	1537,2	1076	0,74	D
6	Halte GPIB Nehemia	2/2 TT	11,3	1588	1362	953	0,60	C
7	Halte SPBU Cibogo	2/2 TT	9,4	1453	1588,4	1112	0,77	D
8	Halte SMK YMA Megamendung	4/2 TT	13,1	2432	1738,4	1217	0,50	C
9	Halte RM Ma Pinah	4/2 TT	13,1	8234	1586,8	1111	0,13	A
10	Halte Cimori Reverside	2/2 TT	13,1	2775	1686,8	1181	0,43	C
11	Taman Wisata Matahari	2/2 TT	13,1	2775	1673,6	1172	0,42	C
12	Halte MAN 1 Cisarua	2/2 TT	13,1	2473	1554,8	1088	0,44	C
13	Halte Parama Hotel	4/2 TT	13,1	2374	1429,6	1001	0,42	C
14	Halte Klinik Cibulan	2/2 TT	7,7	2886	1614	1130	0,39	B
15	Halte Taman Safari (RSPARU)	2/2 TT	10,2	1385	476,8	334	0,24	B
16	Halte Taman Safari 1	2/2 TT	6,2	2470	370,4	259	0,10	A
17	Halte SDN Cibereum	2/2 TT	6,2	2553	320,4	224	0,09	A

Hasil analisa Kondisi lalu lintas angkutan umum massal koridor 6 2023 kondisi perpindahan moda 50% dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kondisi Lalu Lintas Angkutan Umum Massal Koridor 6 2023 Kondisi Perpindahan Moda 50%

No	Halte Rencana	Tipe Jalan	Lebar Jalan	C	Volume	50% Perpindahan Moda 2023		
						Volume	VCR	LOS
					skr/jam	skr/jam		
1	Halte RS Ciawi	2/2 TT	10,8	1605	622,8	311	0,19	A
2	Halte SPBU Ciawi	2/2 TT	10,3	1453	514,8	257	0,18	A
3	Halte Gadog	2/2 TT	11,3	1453	1613,2	807	0,56	C
4	Halte RS Hermina	2/2 TT	11,3	1453	1507,2	754	0,52	C
5	Halte Pasir Angin	2/2 TT	11,3	1453	1537,2	769	0,53	C
6	Halte GPIB Nehemia	2/2 TT	11,3	1588	1362	681	0,43	C
7	Halte SPBU Cibogo	2/2 TT	9,4	1453	1588,4	794	0,55	C
8	Halte SMK YMA Megamendung	4/2 TT	13,1	2432	1738,4	869	0,36	B
9	Halte RM Ma Pinah	4/2 TT	13,1	8234	1586,8	793	0,10	A
10	Halte Cimori Reverside	2/2 TT	13,1	2775	1686,8	843	0,30	B
11	Taman Wisata Matahari	2/2 TT	13,1	2775	1673,6	837	0,30	B
12	Halte MAN 1 Cisarua	2/2 TT	13,1	2473	1554,8	777	0,31	B
13	Halte Parama Hotel	4/2 TT	13,1	2374	1429,6	715	0,30	B
14	Halte Klinik Cibulan	2/2 TT	7,7	2886	1614	807	0,28	B
15	Halte Taman Safari (RSPARU)	2/2 TT	10,2	1385	476,8	238	0,17	A
16	Halte Taman Safari 1	2/2 TT	6,2	2470	370,4	185	0,07	A
17	Halte SDN Cibereum	2/2 TT	6,2	2553	320,4	160	0,06	A

Hasil analisa Kondisi lalu lintas angkutan umum massal koridor 6 2023 kondisi perpindahan moda 70% dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kondisi Lalu Lintas Angkutan Umum Massal Koridor 6 2023 Kondisi Perpindahan Moda 70%

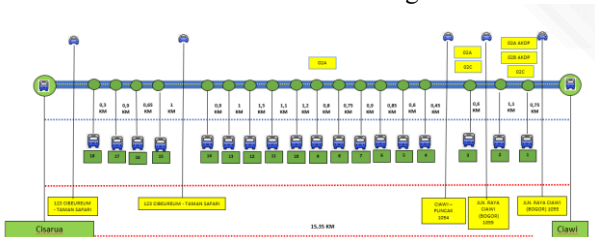
No	Halte Rencana	Tipe Jalan	Lebar Jalan	C	Volume	70% Perpindahan Moda 2023		
						Volume	VCR	LOS
1	Halte RS Ciawi	2/2 TT	10,8	1605	622,8	187	0,12	A
2	Halte SPBU Ciawi	2/2 TT	10,3	1453	514,8	154	0,11	A
3	Halte Gadog	2/2 TT	11,3	1453	1613,2	484	0,33	B
4	Halte RS Hermina	2/2 TT	11,3	1453	1507,2	452	0,31	B
5	Halte Pasir Angin	2/2 TT	11,3	1453	1537,2	461	0,32	B
6	Halte GPIB Nehemia	2/2 TT	11,3	1588	1362	409	0,26	B
7	Halte SPBU Cibogo	2/2 TT	9,4	1453	1588,4	477	0,33	B
8	Halte SMK YMA Megamendung	4/2 TT	13,1	2432	1738,4	522	0,21	B
9	Halte RM Ma Pinah	4/2 TT	13,1	8234	1586,8	476	0,06	A
10	Halte Cimori Reverside	2/2 TT	13,1	2775	1686,8	506	0,18	A
11	Taman Wisata Matahari	2/2 TT	13,1	2775	1673,6	502	0,18	A
12	Halte MAN 1 Cisarua	2/2 TT	13,1	2473	1554,8	466	0,19	A
13	Halte Parama Hotel	4/2 TT	13,1	2374	1429,6	429	0,18	A
14	Halte Klinik Cibulan	2/2 TT	7,7	2886	1614	484	0,17	A
15	Halte Taman Safari (RSPARU)	2/2 TT	10,2	1385	476,8	143	0,10	A
16	Halte Taman Safari 1	2/2 TT	6,2	2470	370,4	111	0,04	A
17	Halte SDN Cibureum	2/2 TT	6,2	2553	320,4	96	0,04	A

5. Kalkulasi perjalanan penempatan titik pemberhentian

Berikut ini adalah kalkulasi perjalanan keberangkatan dan kepulangan Koridor 6 (Ciawi – Cisarua) 15,35 km. Dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



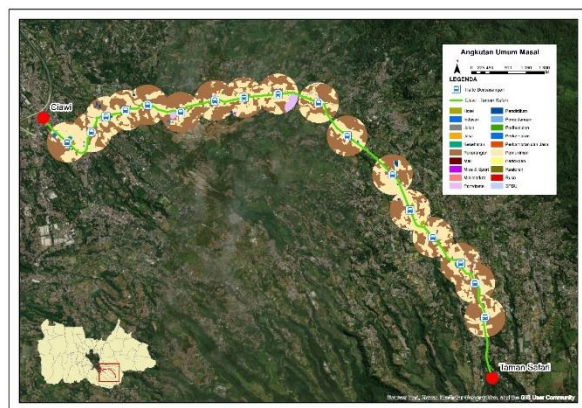
Gambar 4. Rencana titik halte keberangkatan koridor 6



Gambar 5. Rencana titik halte kepulangan koridor 6

6. Demand di setiap titik pemberhentian

Setelah dilakukan kalkulasi dan penempatan titik pemberhentian, maka diperoleh potensi demand di setiap titik pemberhentian berdasarkan tataguna lahan. Dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Potensi Demand Berdasarkan Tata Guna Lahan

Di bawah ini merupakan potensi demand di setiap titik pemberhentian berdasarkan ITE versi 10. Dapat dilihat di pada Tabel 7-23.

Table 7. Demand Halte RSUD Ciawi

RSUD CIAWI						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,626728	6267,28	67,54	0,60	40,52	2438,23
2 Industri	1,052681	10526,81	113,44	0,40	45,37	
3 Jalan	1,291657	12916,57	139,19	0,00	0,00	
4 Kesehatan	1,603751	16037,51	172,82	5,18	895,20	
5 Pekarangan	22,692006	226920,06	2445,26	0,00	0,00	
6 Pemukiman	50,825014	508250,14	5476,83	0,19	1040,60	
7 Pendidikan	0,286941	2869,41	30,92	1,37	42,36	
8 Peribadatan	0,11889	1188,90	12,81	4,22	54,06	
9 Perkantoran	0,401892	4018,92	43,31	0,87	37,68	
10 Pertokoan	0,030144	301,44	3,25	6,84	22,22	
11 Restoran	0,049559	495,59	5,34	14,13	75,46	
12 Ruko	0,0748	748,00	8,06	6,84	55,13	
13 Sport	0,073215	732,15	7,89	16,43	129,63	

Table 8. Demand Halte SPBU Simpang Gadong

SPBU SIMPANG GADOG						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,221408	2214,08	23,86	0,60	14,32	1260,93
2 Industri	0,183411	1834,11	19,76	0,40	7,91	
3 Jalan	2,582059	25820,59	278,24	0,00	0,00	
4 Kesehatan	0,05993	599,30	6,46	5,18	33,45	
5 Pekarangan	22,879396	228793,96	2465,45	0,00	0,00	
6 Pemukiman	52,234871	522348,71	5628,76	0,19	1069,46	
7 Pendidikan	0,106637	1066,37	11,49	1,37	15,74	
8 Pergudangan	0,006654	66,54	0,72	4,22	3,03	
9 Peribadatan	0,115705	1157,05	12,47	4,22	52,62	
10 Perkantoran	0,133434	1334,34	14,38	0,87	12,51	
11 Restoran	0,034086	340,86	3,67	14,13	51,90	

Table 9. Demand Halte Gadog

GADOG						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,117902	1179,02	12,70	0,60	7,62	7827,77
2 Industri	0,095775	957,75	10,32	0,40	4,13	
3 Jalan	2,537952	25379,52	273,49	0,00	0,00	
4 Kesehatan	0,089605	896,05	9,66	5,18	50,02	
5 Minimarket	0,075852	758,52	8,17	0,00	0,00	
6 Pekarangan	26,0872	260872,00	2811,12	0,00	0,00	
7 Pemukiman	47,9977366	479977,37	5172,17	1,37	7085,87	
8 Pendidikan	1,335502	13355,02	143,91	4,22	607,31	
9 Pergudangan	0,006654	66,54	0,72	4,22	3,03	
10 Peribadatan	0,14924	1492,40	16,08	4,22	67,87	
11 Perkantoran dan jasa	0,020616	206,16	2,22	0,87	1,93	
12 Restoran	0,024543	245,43	2,64	14,13	37,37	

Tabel 10. *Demand Halte RS Hermina*

RS HERMINA						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Industri	0,0457	457,00	4,92	0,40	1,97	7042,13
2 Jalan	1,376239	13762,39	148,30	0,00	0,00	
3 Jasa	0,003147	31,47	0,34	0,87	0,30	
4 Kesehatan	0,089605	896,05	9,66	5,18	50,02	
5 Minimarket	0,112596	1125,96	12,13	0,00	0,00	
6 Pekarangan	31,341784	313417,84	3377,35	0,00	0,00	
7 Pemukiman	44,726229	447262,29	4819,64	1,37	6602,90	
8 Pendidikan	0,688348	6883,48	74,18	4,22	313,02	
9 Peribadatan	0,072015	720,15	7,76	4,22	32,75	
10 Perkantoran dan jasa	0,020616	206,16	2,22	4,22	9,37	
11 Pertokoan	0,043143	431,43	4,65	6,84	31,80	
12 Restoran	0,008245	82,45	0,89	14,13	12,55	
13 Sport	0,009154	91,54	0,99	16,43	16,21	

Tabel 11. *Demand Halte Pasar Angin*

PASAR ANGIN						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Jalan	1,452753	14527,53	156,55	0,00	0,00	158,18
2 Jasa	0,008688	86,88	0,94	0,87	0,81	
3 Kesehatan	0,039157	391,57	4,22	0,87	3,67	
4 Minimarket	0,036744	367,44	3,96	5,18	20,51	
5 Pekarangan	41,98853	419885,30	4524,63	0,00	0,00	
6 Pemukiman	34,415191	344151,91	3708,53	0,00	0,00	
7 Pendidikan	0,491499	4914,99	52,96	1,37	72,56	
8 Peribadatan	0,032652	326,52	3,52	4,22	14,85	
9 Pertokoan	0,043143	431,43	4,65	4,22	19,62	
10 Restoran	0,021891	218,91	2,36	4,22	9,95	
11 Sport	0,009154	91,54	0,99	16,43	16,21	

Tabel 12. *Demand Halte GPIB Nehemia*

GPIB NEHEMIA						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,016824	168,24	1,81	0,60	1,09	33779,73
2 Industri	0,55706	5570,60	60,03	0,87	52,22	
3 Jalan	2,208247	22082,47	237,96	0,87	207,02	
4 Jasa	0,003435	34,35	0,37	5,18	1,92	
5 Kesehatan	0,015824	158,24	1,71	0,00	0,00	
6 Minimarket	0,012172	121,72	1,31	0,00	0,00	
7 Pariwisata	2,892221	28922,21	311,66	1,37	426,98	
8 Pekarangan	49,447528	494475,28	5328,40	4,22	22485,84	
9 Pemukiman	23,170287	231702,87	2496,80	4,22	10536,49	
10 Peribadatan	0,142879	1428,79	15,40	4,22	64,97	
11 Pertokoan	0,004349	43,49	0,47	6,84	3,21	
12 Restoran	0,03178	317,80	3,42	14,13	48,39	
13 Ruko	0,03745	374,50	4,04	6,84	27,60	

Tabel 13. Demand Halte Cibogo

SPBU CIBOGO						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Industri	0,017559	175,59	1,89	0,40	0,76	334,16
2 Jalan	2,169188	21691,88	233,75	0,87	203,36	
3 Kesehatan	0,081595	815,95	8,79	0,87	7,65	
4 Minimarket	0,010413	104,13	1,12	5,18	5,81	
5 Pekarangan	46,010274	460102,74	4958,00	0,00	0,00	
6 Pemukiman	29,850811	298508,11	3216,68	0,00	0,00	
7 Pendidikan	0,171018	1710,18	18,43	1,37	25,25	
8 Peribadatan	0,095868	958,68	10,33	4,22	43,60	
9 Perkantoran	0,027309	273,09	2,94	4,22	12,42	
10 Pertokoan	0,019197	191,97	2,07	4,22	8,73	
11 Restoran	0,017461	174,61	1,88	14,13	26,59	
12 Spbu	0,07179	717,90	7,74	69,28	535,95	

Tabel 14. Demand Halte SMK YMA Megamendung

SMK YMA MEGAMENDUNG						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,709378	7093,78	76,44	0,60	45,86	842,88
2 Industri	0,021292	212,92	2,29	0,87	2,00	
3 Jalan	1,417593	14175,93	152,76	0,87	132,90	
4 Kesehatan	0,017963	179,63	1,94	5,18	10,03	
5 Pekarangan	29,589744	295897,44	3188,55	0,00	0,00	
6 Pemukiman	45,916448	459164,48	4947,89	0,00	0,00	
7 Pendidikan	0,31602	3160,20	34,05	1,37	46,65	
8 Peribadatan	0,220769	2207,69	23,79	4,22	100,39	
9 Perkantoran	0,014076	140,76	1,52	4,22	6,40	
10 Pertokoan	0,012449	124,49	1,34	4,22	5,66	
11 Sport	0,278448	2784,48	30,01	16,43	492,98	

Tabel 15. Demand Halte RM MA Pinah

RM MA PINAH						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,141875	1418,75	15,29	0,60	9,17	5275,72
2 Jalan	1,362816	13628,16	146,86	0,87	127,76	
3 Minimarket	0,034901	349,01	3,76	0,87	3,27	
4 Pariwisata	8,880659	88806,59	956,97	5,18	4957,09	
5 Pekarangan	27,602312	276023,12	2974,39	0,00	0,00	
6 Pemukiman	40,070214	400702,14	4317,91	0,00	0,00	
7 Peribadatan	0,084217	842,17	9,08	1,37	12,43	
8 Perkantoran dan jasa	0,028827	288,27	3,11	4,22	13,11	
9 Pertokoan	0,135332	1353,32	14,58	4,22	61,54	
10 Restoran	0,200856	2008,56	21,64	4,22	91,34	

Tabel 16. Demand Halte Cimory Riverside I

CIMORI REVERSE 1						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,039123	391,23	4,22	0,60	2,53	309,93
2 Industri	0,013312	133,12	1,43	0,87	1,25	

CIMORI REVERSIDE 1

Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
3 Jalan	2,096936	20969,36	225,96	0,87	196,59	
4 Minimarket	0,034447	344,47	3,71	5,18	19,23	
5 Pekarangan	34,691977	346919,77	3738,36	0,00	0,00	
6 Pemukiman	41,327557	413275,57	4453,40	0,00	0,00	
7 Pendidikan	0,142344	1423,44	15,34	1,37	21,01	
8 Pergudangan	0,003158	31,58	0,34	4,22	1,44	
9 Peribadatan	0,125977	1259,77	13,58	4,22	57,29	
10 Perkantoran	0,02331	233,10	2,51	4,22	10,60	
11 Pertokoan	0,030964	309,64	3,34	4,22	14,08	
12 Restoran	0,040828	408,28	4,40	4,22	18,57	

Tabel 17. Demand Halte Taman Wisata Matahari

TAMAN WISATA MATAHARI

Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,130227	1302,27	14,03	0,60	8,42	
2 Industri	0,337809	3378,09	36,40	0,87	31,67	
3 Jalan	1,208537	12085,37	130,23	0,87	113,30	
4 Minimarket	0,081062	810,62	8,74	5,18	45,25	
5 Pariwisata	0,101636	1016,36	10,95	0,00	0,00	4663,85
6 Pekarangan	46,532387	465323,87	5014,27	0,00	0,00	
7 Pemukiman	30,106476	301064,76	3244,23	1,37	4444,60	
8 Peribadatan	0,011546	115,46	1,24	4,22	5,25	
9 Restoran	0,033777	337,77	3,64	4,22	15,36	

Tabel 18. Demand Halte SMAN 1 Cisarua

SMAN 1 CISARUA

Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Industri	0,014402	144,02	1,55	0,40	0,62	
2 Jalan	1,084626	10846,26	116,88	0,87	101,68	
3 Kesehatan	0,019389	193,89	2,09	0,87	1,82	
4 Pekarangan	35,306532	353065,32	3804,58	5,18	19707,74	
5 Pemukiman	46,727373	467273,73	5035,28	0,00	0,00	19858,93
6 Pendidikan	1,194647	11946,47	128,73	0,00	0,00	
7 Pergudangan	0,022962	229,62	2,47	1,37	3,39	
8 Perkantoran	0,089994	899,94	9,70	4,22	40,92	
9 Perkantoran dan jasa	0,006058	60,58	0,65	4,22	2,75	
10 Restoran	0,055538	555,38	5,98	5,22	31,24	

Tabel 19. Demand Halte Parama Hotel

PARAMA HOTEL

Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	2,147875	21478,75	231,45	0,60	138,87	
2 Jalan	1,370088	13700,88	147,64	0,87	128,45	
3 Jasa	0,014473	144,73	1,56	0,87	1,36	
4 Minimarket	0,002061	20,61	0,22	5,18	1,15	442,53
5 Pekarangan	27,804813	278048,13	2996,21	0,00	0,00	
6 Pemukiman	45,932056	459320,56	4949,58	0,00	0,00	

PARAMA HOTEL						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
7 Pendidikan	0,553242	5532,42	59,62	1,37	81,67	
8 Pergudangan	0,009053	90,53	0,98	4,22	4,12	
9 Peribadatan	0,191136	1911,36	20,60	4,22	86,92	
10 Perkantoran dan jasa	0,019201	192,01	2,07	5,22	10,80	
11 Pertokoan	0,266444	2664,44	28,71	6,22	178,59	
12 Restoran	0,04925	492,50	5,31	7,22	38,32	
13 Spbu	0,060334	603,34	6,50	8,22	53,44	
14 Sport	0,124653	1246,53	13,43	9,22	123,85	

Tabel 20. Demand Halte Klinik Cibulan

KLINIK CIBULAN						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	2,147875	21478,75	231,45	0,60	138,87	
2 Jalan	1,370088	13700,88	147,64	0,87	128,45	
3 Jasa	0,014473	144,73	1,56	0,87	1,36	
4 Minimarket	0,002061	20,61	0,22	5,18	1,15	
5 Pekarangan	27,804813	278048,13	2996,21	0,00	0,00	
6 Pemukiman	45,932056	459320,56	4949,58	0,00	0,00	
7 Pendidikan	0,553242	5532,42	59,62	1,37	81,67	
8 Pergudangan	0,009053	90,53	0,98	4,22	4,12	442,53
9 Peribadatan	0,191136	1911,36	20,60	4,22	86,92	
10 Perkantoran dan jasa	0,019201	192,01	2,07	5,22	10,80	
11 Pertokoan	0,266444	2664,44	28,71	6,22	178,59	
12 Restoran	0,04925	492,50	5,31	7,22	38,32	
13 Spbu	0,060334	603,34	6,50	8,22	53,44	
14 Sport	0,124653	1246,53	13,43	9,22	123,85	

Tabel 21. Demand Halte Taman Safari

TAMAN SAFARI						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,062076	620,76	6,69	0,60	4,01	
2 Industri	0,013505	135,05	1,46	0,87	1,27	
3 Jalan	2,057627	20576,27	221,73	0,87	192,90	
4 Jasa	0,036504	365,04	3,93	5,18	20,38	
5 Kesehatan	1,601115	16011,15	172,53	0,00	0,00	
6 Minimarket	0,015431	154,31	1,66	0,00	0,00	
7 Pekarangan	35,522766	355227,66	3827,88	1,37	5244,20	
8 Pemukiman	38,577647	385776,47	4157,07	4,22	17542,85	23040,92
9 Pendidikan	0,077646	776,46	8,37	4,22	35,31	
10 Peribadatan	0,094361	943,61	10,17	5,22	53,08	
11 Perkantoran	0,041403	414,03	4,46	6,22	27,75	
12 Perkantoran dan jasa	0,065732	657,32	7,08	7,22	51,14	
13 Restoran	0,048204	482,04	5,19	8,22	42,70	
14 Sport	0,352689	3526,89	38,01	9,22	350,41	

Tabel 22. Demand Halte Taman Safari I

TAMAN SAFARI 1						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Jalan	1,61918	16191,80	174,48	0,00	0,00	
2 Jasa	0,020997	209,97	2,26	0,87	1,97	
3 Minimarket	0,015431	154,31	1,66	0,87	1,45	
4 Pekarangan	39,480768	394807,68	4254,39	5,18	22037,76	
5 Pemukiman	37,488648	374886,48	4039,73	0,00	0,00	22135,08
6 Pendidikan	0,171879	1718,79	18,52	0,00	0,00	
7 Peribadatan	0,051049	510,49	5,50	1,37	7,54	
8 Perkantoran	0,022165	221,65	2,39	4,22	10,08	
9 Sport	0,167772	1677,72	18,08	4,22	76,29	

Tabel 23. Demand Halte SDN Cibereum

SDN CIBEUREUM						
Row Labels	Sum of Luas	GFA (Sqm)	Sqf	ITE	Trip/Hrs	Total Trip/Hrs
1 Hotel	0,387179	3871,79	41,72	0,60	25,03	
2 Jalan	1,671923	16719,23	180,16	0,87	156,74	
3 Pekarangan	45,414083	454140,83	4893,76	0,87	4257,57	
4 Pemukiman	30,856375	308563,75	3325,04	5,18	17223,71	
5 Pendidikan	0,028144	281,44	3,03	0,00	0,00	21695,54
6 Peribadatan	0,031327	313,27	3,38	0,00	0,00	
7 Perkantoran dan jasa	0,12822	1282,20	13,82	1,37	18,93	
8 Pertokoan	0,013269	132,69	1,43	4,22	6,03	
9 Restoran	0,016535	165,35	1,78	4,22	7,52	

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang di peroleh dari hasil penelitian tersebut adalah Titik pemberhentian yang dapat memenuhi potensi demand pada rute koridor 6 berjumlah 17 titik dengan lokasi Halte RS Ciawi, Halte SPBU Ciawi, Halte Gadog, Halte RS Hermina, Halte Pasir Angin, Halte GPIB Nehemia, Halte SPBU Cibogo, Halte SMK YMA Megamendung, Halte RM Ma Pinah, Halte Cimori Reverside, Halte Taman Wisata Matahari, Halte MAN 1 Cisarua, Halte Parama Hotel, Halte Klinik Cibulan, Halte Taman Safari (RSPARU), Halte Taman Safari 1, dan Halte SDN Cibereum. Dan untuk Potensi demand dari masing-masing titik pemberhentian adalah Halte RS Ciawi 2438.23 Trip/Hrs, Halte SPBU Ciawi 1260.93 Trip/Hrs, Halte Gadog 7827.77 Trip/Hrs, Halte RS Hermina 7042.13 Trip/Hrs, Halte Pasir Angin 158.18 Trip/Hrs, Halte GPIB Nehemia 33779.73 Trip/Hrs, Halte SPBU Cibogo 334.16 Trip/Hrs, Halte SMK YMA Megamendung 842.88 Trip/Hrs, Halte RM Ma Pinah 5275.72 Trip/Hrs, Halte Cimori Riverside 309.93 Trip/Hrs, Halte Taman Wisata Matahari 4663.85 Trip/Hrs, Halte MAN 1 Cisarua 19858.93 Trip/Hrs, Halte Parama Hotel 442.53 Trip/Hrs, Halte Klinik Cibulan 442.53 Trip/Hrs, Halte Taman Safari (RSPARU) 23040.92 Trip/Hrs, Halte Taman Safari

122135.08 Trip/Hrs, dan Halte SDN Cibereum 21695.54 Trip/Hrs.

5. Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Universitas Ibn Khaldhun Bogor yang telah memeberikan kesempatan kepada kami untuk melaksanakan penelitian ini. Terimakasih kepada pihak yang ikut serta membantu dalam pelaksanaan penelitian ini dan terimakasih kepada Keluarga yang selalu mendukung.

Daftar Rujukan

- [1] Pemerintah Kabupaten Bogor, Kota Bogor Dalam Angka. 2022.
- [2] Winata, Alivia Putri, et al. "Studi Integrasi Serta Ketersediaan Sarana Dan Prasarana Transportasi Umum Di Kawasan Stasiun Tenjo, Kabupaten Bogor." *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa) 5.2.* (2023): 1815-1826.
- [3] Agustien, M., et al. "Sosialisasi Pelayanan Teman Bus Sebagai Upaya Meningkatkan Minat Masyarakat Menggunakan Layanan Angkutan Umum di Kota Palembang." *Jurnal Pengabdian Community 4.1* (2022): 29-38.
- [4] Syaiful, S. "Efektifitas Penggunaan Halte Bis Kota di Wilayah Surakarta." 2017.
- [5] Suwandono, Djoko, and Diah Intan Kusumo Dewi. "Optimalisasi Jangkauan Pelayanan Halte Brt/Bus Trans Semarang." 17th FSTPT Int. Symp. 2014.
- [6] Ramadhani, Feriansyah, Ormuz Firdaus, and Endang Setyawati Hisyam. "Analisis Kebutuhan Angkutan Umum Bus Di Kabupaten Bangka." *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil).* Vol. 6. No. 1. 2018.

- [7] Abdullah, Muhammad Nadhif, et al. "Penentuan Potensi Lokasi [9] Dirjen Hubdar, "Pedoman Teknis Perencanaan Tempat
Simpul-Simpul Transportasi Di Kota Baru Patimban." Jurnal Pemberhentian Kendaraan Penumpang Umum" Republik
Transportasi 23.1 (2023): 19-28. Indonesia, 1996.
- [8] Pemerintah Kabupaten Bogor No.: 500.11/97/Kpts/Per- [10] ITE 10th version, "Trip Generation Manual,"2020.
UU/2023 tentang Penetapan Rute Trayek Angkutan Umum [11] Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014.
Massal di Wilayah Kabupaten Bogor. 2023.



Analisis Peningkatan Integrasi Antarmoda di Stasiun Tawang Semarang

Muhammad Rizqi Putra Yudhi¹, Reza Yoga Anindita², Hanendyo Putro³
^{1,2,3}Rekayasa Sistem Transportasi Jalan, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
¹rizqiyudhi7@gmail.com*, ²rezayoga@pktj.ac.id

Abstract

The activities of Semarang City as a center of economic, industrial, service, and educational activities have experienced significant growth in terms of transportation. The use of transportation by the residents of Semarang City shows that 58% still use two-wheeled motor vehicles in their daily activities, while the use of cars also accounts for 22% of the total population of Semarang City. Meanwhile, only 20% of the population still use public transportation for their daily mobility. Tawang Station in Semarang can be one of the efforts to increase the use of public transportation by integrating public transport stops in the station area. The purpose of this study is to evaluate the performance of intermodal integration facilities and provide recommendations for improving the intermodal integration at Tawang Station in Semarang. This study employs the modal interaction matrix and develops access priority methods. The research data were obtained from distributing questionnaires to passengers at Tawang Station in Semarang. The results of the study indicate that the performance of Tawang Station in Semarang, based on the modal interaction matrix method, scored -185, which is considered poor. According to the developing access priority method, several facilities deemed important by station passengers include pedestrian facilities, supporting facilities for modes of transport, and information about modes of transport. Therefore, recommendations are needed in the form of improving mode facilities, such as enhancing pedestrian facilities, private vehicle parking facilities, and bases or stops for public transport modes. Additionally, relocation of mode facilities and the addition of mode information are also necessary.

Keywords: Integration, Intermodal, Facilities, Tawang Station Semarang, Station

Abstrak

Aktivitas Kota Semarang sebagai pusat kegiatan ekonomi, industri, jasa, dan pendidikan serta mengalami peningkatan signifikan dalam hal transportasi. Penggunaan transportasi masyarakat Kota Semarang sebanyak 58% masih menggunakan kendaraan bermotor roda dua dalam beraktivitas sehari-hari, untuk penggunaan kendaraan mobil juga sebanyak 22% dari seluruh total Masyarakat Kota Semarang. Sedangkan hanya terdapat 20% masyarakat yang masih menggunakan angkutan umum dalam mobilitas sehari-hari. Stasiun Tawang Semarang dapat menjadi salah satu upaya yang dapat meningkatkan penggunaan angkutan umum yang dilakukan dengan cara melakukan integrasi pemberhentian angkutan umum di area kawasan stasiun. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja fasilitas integrasi antarmoda dan menentukan rekomendasi peningkatan fasilitas dari integrasi antarmoda di Stasiun Tawang Semarang. Penelitian ini menggunakan metode *modal interaction matrix* dan *developing acces priority*. Data penelitian diperoleh dari penyebaran kuisioner pada penumpang kereta Stasiun Tawang Semarang. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kinerja Stasiun Tawang Semarang berdasarkan metode *modal interaction matrix* dengan hasil -185 atau dapat dikatakan masih buruk. Menurut metode *developing acces priortirty* beberapa fasilitas yang dianggap penting menurut penumpang stasiun diantaranya yaitu fasilitas pejalan kaki, fasilitas penunjang moda dan informasi moda. Maka dari itu diperlukan rekomendasi berupa peningkatan fasilitas moda seperti peningkatan fasilitas pejalan kaki, fasilitas parkir kendaraan pribadi dan fasilitas pangkalan atau halte moda angkutan umum. Selain itu dilakukan relokasi fasilitas moda dan juga penambahan informasi moda.

Kata kunci: Integrasi, Antarmoda, Fasilitas, Stasiun Tawang Semarang, Stasiun

Diterima Redaksi : 2024-06-14 | Selesai Revisi : 2024-06-19 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Semarang adalah ibu kota Provinsi Jawa Tengah yang telah berkembang pesat menjadi kota metropolitan, berfungsi sebagai pusat kegiatan ekonomi, industri, jasa, dan pendidikan. Pertumbuhan ini telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam permintaan transportasi.

Sebagai kota strategis dengan kepadatan penduduk yang tinggi [1]. Semarang mencatat jumlah penduduk sebesar 1.653.524 jiwa pada tahun 2021, yang mencerminkan peningkatan sejalan dengan peningkatan jumlah transportasi [2]. Menurut Badan Pusat Statistik Jawa Tengah, jumlah kendaraan di Semarang meningkat



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

sebesar 10% dari tahun 2020 hingga 2021, mencapai 1.875.781 kendaraan [3]. Berdasarkan survei Institute for Transportation and Development Policy (ITDP) pada tahun 2022, ditemukan bahwa 58% penduduk Semarang menggunakan sepeda motor, 22% menggunakan mobil, dan hanya 20% yang menggunakan transportasi umum setiap hari [4].

Pada tahun 2022, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Semarang berencana untuk meninjau kembali Masterplan Transportasi Kota Semarang guna menciptakan sistem transportasi terintegrasi sesuai dengan Peraturan Daerah Nomor 14 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah 2011–2031 [5]. Integrasi antar moda transportasi, yang menghubungkan berbagai layanan transportasi umum ke dalam satu jaringan, sangat penting. Membuat perpindahan antar moda transportasi menjadi lebih cepat, mudah, dan nyaman akan meningkatkan integrasi dan fleksibilitas jaringan secara keseluruhan. Fasilitasi area perpindahan moda, dengan menyediakan ruang fisik antara dua atau lebih moda transportasi, sangat diperlukan. Untuk mencapai sistem transfer antar moda yang efisien, diperlukan integrasi yang menguntungkan pengguna transportasi umum dengan mengurangi waktu tunggu dan waktu perpindahan [6].

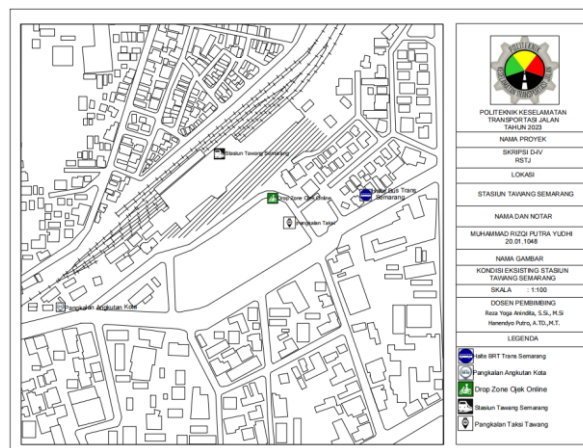
Meskipun telah dilakukan upaya untuk meningkatkan penggunaan transportasi umum, laporan Institute for Transportation and Development Policy Indonesia menunjukkan bahwa pangsa moda transportasi umum di Semarang masih sekitar 20%. Meningkatkan aksesibilitas transportasi umum, terutama di area penting seperti perkantoran, zona pemukiman, dan ruang publik seperti Kota Lama, sangatlah penting [7]. Kota Lama dapat dipilih sebagai upaya untuk meningkatkan penggunaan transportasi umum karena saat ini dilayani oleh Trans Semarang, Trans Jateng, transportasi perkotaan, dan kereta api. Langkah-langkah yang diperlukan termasuk meningkatkan akses pejalan kaki dan mengintegrasikan pemberhentian transportasi umum di Stasiun Tawang [8].

Untuk mengembangkan area Transit-Oriented Development (TOD) di sekitar Kota Lama, khususnya di Stasiun Tawang, diperlukan peningkatan seperti penambahan jalur sepeda, jalur pedestrian, tempat parkir taksi, halte BRT, dan parkir sepeda [9]. Selain itu, perbaikan fasilitas pejalan kaki, mendukung halte transit, serta menerapkan sistem tarif terpadu untuk semua moda transportasi di Semarang sangatlah krusial [10].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis integrasi antar moda di Stasiun Tawang Semarang menggunakan metode modal interaction matrix dan developing acces priority, untuk menangani permasalahan dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan terkait integrasi fasilitas moda di Stasiun Tawang Semarang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari hingga bulan Maret 2024. Tempat penelitian ini terletak pada Stasiun Tawang Semarang yang beralamat pada Jl. Taman Tawang No.1, Tj. Mas, Kec. Semarang Utara, Kota Semarang, Jawa Tengah 50211. Berikut merupakan gambar dari studi Lokasi,



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif ini digunakan untuk menganalisis dalam bentuk angka sebagai bentuk pemecahan masalah pada penelitian ini [11].

Pengumpulan data dilakukan secara primer dengan cara menyebar kuisioner dan melakukan survey langsung pada studi Lokasi. Dilakukan juga pengambilan data sekunder untuk mendapatkan data pendukung pada penelitian ini. Untuk mengurangi banyaknya populasi pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel menggunakan rumus slovin dengan Teknik pengambilan sampel Nonprobability accidental sampling, Dimana sampel yang ditemui peneliti yaitu penumpang naik dan turun di stasiun tawang yang mewakili seluruh populasi.

Sebelum dilakukan tahap analisis data dilakukan pengujian instrument pada tiap tiap pertanyaan yang ditanyakan kepada responden. Teknik pengujian instrument ini terdiri dari uji validitas yaitu untuk menyatakan sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu instrumen pengukur dalam melakukan fungsi ukurnya. Berikut merupakan rumus untuk uji validitas,

$$r_{xy} = \frac{n(\sum xy) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum X)^2)} \sqrt{(n\sum y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (1)$$

Keterangan:

- rx_y : koefisien Korelasi
- X : Skor Variabel (jawaban responden)
- Y : Skor total dari variabel untuk responden ke-n
- N : jumlah sampel

Kemudian dilakukan uji reliabilitas untuk menunjukan bahwa alat ukur yang digunakan dalam penelitian keperilakukannya mempunyai keandalan sebagai alat ukur,

diantaranya diukur melalui konsistensi hasil pengukuran dari waktu ke waktu jika fenomena yang diukur tidak berubah. Berikut merupakan rumus uji reliabilitas,

$$A = \frac{K \cdot r}{1 + (K - 1)r} \quad (2)$$

Keterangan :

A: Koefisien reliabilitas

K: Jumlah item

r: Rata-rata korelasi antar item

1: Bilangan konstanta

Setelah dilakukan pengumpulan data dan pengujian instrument dilakukan analisis peningkatan fasilitas moda menurut pedoman *evaluation of intermodal passenger facilities* tahun 1998 yaitu dengan metode *modal interaction matrix* untuk mengetahui kinerja tiap moda yang ada di stasiun. Metode *modal interaction matrix* ini dilakukan dengan cara menyebar kuisioner tentang kondisi eksisting fasilitas integrasi dan harapan terhadap integrasi antar moda di stasiun tawang. Setelah didapatkan nilai eksisting dan harapan dibuat menjadi matriks sesuai dengan pedoman *evaluation of intermodal passenger facilities* tahun 1998 yang dapat dilihat pada contoh Gambar 2 berikut,

Modal Interaction Matrix Alternative #1	Pedestrians	Kiss-n-Ride	Park-n-Ride	Local Buses	Other Buses	Taxis	High Occ. Vehicles	Motorcycles	Bicycles	Light Rail Transit	Total
Pedestrians	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kiss-n-Ride	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Park-n-Ride	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Local Buses	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Other Buses	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Taxis	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
High Occ. Vehicles	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Motorcycles	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Bicycles	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Light Rail Transit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Sum of negative differences	-6	-6	-7	-15	-4	0	-1	-1	-1	-1	-40

Gambar 2 Contoh Modal Interaction Matrix

Setelah dilakukan permatrixan pada tiap-yiap moda untuk mengukur kinerja integrasinya dilakukan perhitungan nilai perbedaan antara nilai eksisting dan harapan untuk mengetahui kinerja integrasi moda keseluruhan yang ada di Stasiun Tawang Semarang. Berikut rumus untuk mencari perbedaan dari matriks,

$$\text{Nilai Perbedaan} = \frac{\text{Nilai matriks} \times 100}{\text{Jumlah Kolom}} \quad (3)$$

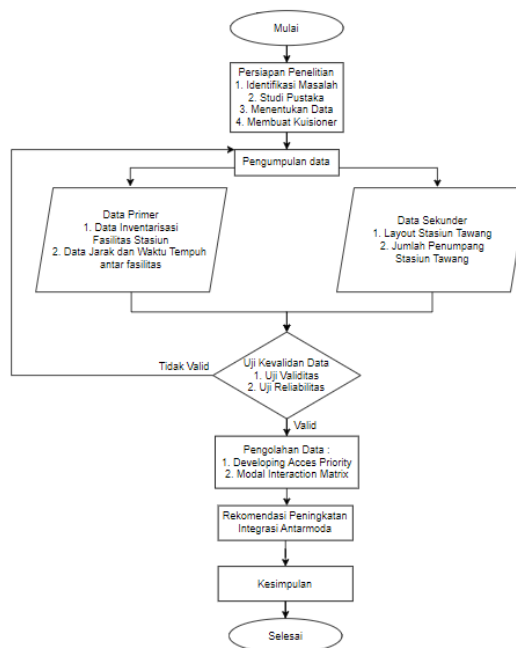
Kemudian dari nilai perbedaan antara eksisting dan harapan inilah didapatkan nilai gap integrasi yang dimanakan nantinya dapat diketahui kinerja integrasi pada Stasiun tersebut. Berikut table nilai gap untuk mengetahui kinerja sebuah stasiun,

Tabel 1 Nilai Integrasi

Nilai Perbedaan	Keterangan
0 s.d. -50	Sangat Baik
-51 s.d. -100	Baik
-101 s.d. -150	Cukup
-151 s.d. -200	Buruk
-201 s.d. -250	Sangat Buruk

Kemudian digunakan metode *developing acces priority* untuk mengetahui prioritas fasilitas yang dianggap penting penumpang kereta api Stasiun Tawang Semarang. Metode ini sama seperti *modal interaction matrix* yaitu dengan cara menyebar kuisioner terkait fasilitas apa saja yang ada di Stasiun Tawang Semarang, kemudian dari fasilitas tersebut responden dapat memilih fasilitas moda mana yang dianggap penting dan perlu dilakukan peningkatan untuk meningkatkan kinerja integrasi antar moda di Stasiun Tawang Semarang.

Dari metode analisis yang dipakai digunakan untuk menentukan rekomendasi peningkatan integrasi antar moda di Stasiun Tawang Semarang. Berikut merupakan diagram alir pada penelitian ini,



Gambar 3 Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Instrument

Teknik pengujian instrument pada penelitian ini menggunakan 2 uji yaitu, uji validitas terhadap jawaban responden terkait kondisi eksisting integrasi dan harapan terhadap fasilitas integrasi. Dilakukan juga uji reliabilitas terhadap jawaban responden terkait kondisi eksisting integrasi dan harapan terhadap fasilitas integrasi. Uji kedua instrument tersebut dilakukan kepada 30 responden sesuai dengan pendapat

singarimbun... yang mengatakan jumlah minimal uji coba kuisioner adalah 30 responden.

Tabel 2 Hasil Uji Validitas Kondisi Eksisting

No	R-Tabel	R Hitung
1	0,456	0,499
2	0,456	0,509
3	0,456	0,483
4	0,456	0,494
5	0,456	0,459
6	0,456	0,533
7	0,456	0,477
8	0,456	0,496
9	0,456	0,540
10	0,456	0,515
11	0,456	0,508
12	0,456	0,499
13	0,456	0,546
14	0,456	0,469
15	0,456	0,480
16	0,456	0,482
17	0,456	0,498
18	0,456	0,491
19	0,456	0,459
20	0,456	0,468
21	0,456	0,482

Berdasarkan Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa dari 21 pertanyaan terkait kondisi eksisting integrasi antarmoda yang diberikan kepada responden, hasil R-hitung dari setiap item pertanyaan dapat dinyatakan valid karena nilai R-hitung melebihi dari nilai R-Tabel yang ditentukan. Maka dapat disimpulkan bahwa pertanyaan terkait kondisi eksisting fasilitas integrasi antarmoda dapat dinyatakan valid.

Tabel 3 Hasil Uji Validitas Harapan

No	R-Tabel	R Hitung
1	0,456	0,475
2	0,456	0,467
3	0,456	0,525
4	0,456	0,531
5	0,456	0,528
6	0,456	0,468
7	0,456	0,462
8	0,456	0,489
9	0,456	0,463
10	0,456	0,461
11	0,456	0,522
12	0,456	0,461
13	0,456	0,496
14	0,456	0,494
15	0,456	0,467
16	0,456	0,526
17	0,456	0,598
18	0,456	0,481
19	0,456	0,475
20	0,456	0,485
21	0,456	0,492

Berdasarkan Tabel 3 diatas dilihat bahwa dari 21 pertanyaan terkait variabel harapan yang diberikan kepada responden, hasil R-hitung dari setiap item pertanyaan dapat dinyatakan valid karena nilai R-hitung melebihi dari nilai R-Tabel yang ditentukan. Maka dapat disimpulkan bahwa pertanyaan terkait harapan fasilitas integrasi antarmoda dapat dinyatakan valid.

Tabel 4 Hasil Uji Reliabilitas Kondisi Eksisting

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
.846	21

Berdasarkan Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa dari 21 pertanyaan yang diberikan kepada responden, nilai cronbach's h alpha sebesar 0,846. Hal ini dapat dikatakan bahwa pertanyaan yang diberikan kepada responden reliabel dikarenakan nilai *cronbach's h alpha* melebihi dari 0,60.

Tabel 5 Hasil Uji Reliabilitas Harapan

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
.897	21

Berdasarkan Tabel 5 diatas dapat dilihat bahwa dari 21 pertanyaan yang diberikan kepada responden, nilai cronbach's h alpha sebesar 0,897. Hal ini dapat dikatakan bahwa pertanyaan yang diberikan kepada responden reliabel dikarenakan nilai *cronbach's h alpha* melebihi dari 0,60.

3.2. Karakteristik Responden

Setelah dilakukan uji validitas dan uji reliabilitas, untuk mengetahui karakteristik responden yang mengisi kuisioner dibedakan menjadi 4 yaitu berdasarkan jenis kelamin, usia, pendidikan dan maksud perjalanan. Berikut karakteristik responden dari hasil pengisian kuisioner,

Tabel 6 Karakteristik Responden Jenis Kelamin

No	Jenis Kelamin	Jumlah	%
1.	Laki-Laki	54	54%
2.	Perempuan	46	46%

Berdasarkan Tabel 6 karakteristik responden dari jenis kelamin paling banyak yaitu Laki-Laki sebanyak 54 responden dengan presentasi 54%. Sedangkan untuk responden Perempuan sebanyak 46 responden dengan presentasi sebesar 46%.

Tabel 7 Karakteristik Responden Usia

No	Jenis Usia	Jumlah	%
1.	<20 Tahun	52	52%
2.	20 - 30 Tahun	30	30%
3.	30 - 40 Tahun	14	14%
4.	> 40 Tahun	4	4%

Berdasarkan Tabel 7 karakteristik responden dari usia paling banyak yaitu 20 – 30 tahun sebanyak 52 responden dengan presentasi 52%, diikuti oleh usia kurang dari 20 tahun sebanyak 30 responden dengan

presentasi 30%, kemudian usia 30 – 40 tahun sebanyak 14 responden dengan presentase 14%. Sedangkan untuk responden paling sedikit pada usia lebih dari 40 tahun sebanyak 4 responden dengan presentasi sebesar 4%.

Tabel 8 Karakteristik Respdn Pendidikan Terakhir

No	Pendidikan Terakhir	Jumlah	%
1.	SMA/SMK	49	49%
2.	SMP	12	12%
3.	Diploma	14	14%
4.	Sarjana	22	22%
5.	Magister	2	2%
6.	Doktor	1	1%

Berdasarkan Tabel 8 karakteristik responden dari Pendidikan terakhir paling banyak yaitu SMA/SMK sebanyak 49 responden dengan presentase 49%, diikuti oleh Sarjana sebanyak 22 responden dengan presentasi 22%, kemudian Diploma sebanyak 14 responden dengan presentase 14%. Sedangkan untuk responden paling sedikit pada Pendidikan terakhir Magister dan Doktor sebanyak masing-masing 1 responden dengan presentasi sebesar 1%.

Tabel 9 Karakteristik Respdn Maksud Perjalanan

No	Maksud Perjalanan	Jumlah	%
1.	Bekerja	22	22%
2.	Bisnis	15	15%
3.	Rekreasi	21	21%
4.	Pendidikan	42	42%

Berdasarkan Tabel 9 karakteristik responden dari maksud perjalanan paling banyak yaitu pendidikan sebanyak 42 responden dengan presentase 42%, diikuti oleh bekerja sebanyak 22 responden dengan presentasi 22%, kemudian rekreasi sebanyak 21 responden dengan presentase 21%. Sedangkan untuk responden paling sedikit pada bisnis sebanyak 15 responden dengan presentasi sebesar 15%.

3.3. Modal Interaction Matrix

Metode Modal Interaction Matrix digunakan untuk menghitung nilai integrasi antara suatu moda dengan moda yang lain pada suatu lingkup simpul transportasi. Nilai yang didapatkan berasal dari kuisioner yang diberikan kepada penumpang Stasiun Tawang Semarang. Nilai yang didapatkan berupa skala likert 0-10 untuk pertanyaan terkait eksisting kondisi integrasi yang ada di stasiun dan pertanyaan terkait harapan pada fasilitas integrasi di stasiun. Dari nilai tersebut kemudian dilakukan rata-rata pada tiap nilai dari pertanyaan tersebut. Berikut merupakan hasil nilai rata-rata tiap tiap integrasi moda yang ada di Stasiun Tawang Semarang,

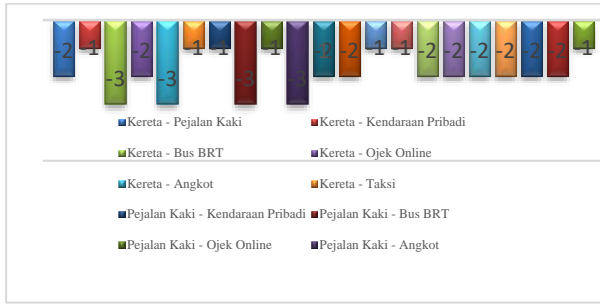
Tabel 10 Rata-rata nilai pertanyaan Modal Interaction Matrix

No	Interaksi Moda	Rata Rata Nilai Eksisting	Rata Rata Nilai Harapan	Perbedaan Nilai
1	Kereta - Pejalan Kaki	6	8	-2
2	Kereta - Kendaraan Pribadi	7	8	-1

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i1.876>

No	Interaksi Moda	Rata Rata Nilai Eksisting	Rata Rata Nilai Harapan	Perbedaan Nilai
3	Kereta - Bus BRT	5	8	-3
4	Kereta - Ojek Online	6	8	-2
5	Kereta - Angkot	5	8	-3
6	Kereta - Taksi	6	7	-1
7	Pejalan Kaki - Kendaraan Pribadi	7	8	-1
8	Pejalan Kaki - Bus BRT	5	8	-3
9	Pejalan Kaki - Ojek Online	7	8	-1
10	Pejalan Kaki - Angkot	5	8	-3
11	Pejalan Kaki - Taksi	5	7	-2
12	Kendaraan Pribadi - Bus BRT	6	8	-2
13	Kendaraan Pribadi - Ojek Online	7	8	-1
14	Kendaraan Pribadi - Angkot	7	8	-1
15	Kendaraan Pribadi - Taksi	6	8	-2
16	Bus BRT - Ojek Online	6	8	-2
17	Bus BRT - Angkot	5	7	-2
18	Bus BRT - Taksi	5	7	-2
19	Ojek Online - Angkot	6	8	-2
20	Ojek Online - Taksi	5	7	-2
21	Angkot - Ojek Online	6	7	-1
	Jumlah	124	123	162

Berdasarkan Tabel 10 dapat disimpulkan bahwa nilai kondisi eksisting tertinggi terdapat pada interaksi antara kereta dengan kendaraan pribadi dan kendaraan pribadi dengan pejalan kaki, ojek online serta angkot. Sedangkan untuk nilai eksisting terendah terdapat pada interaksi moda kereta dengan bus brt dan taksi, moda pejalan kaki dengan bus brt dan angkot, serta bus brt dengan angkot dan taksi. Untuk nilai harapan terendah yang diberikan responden terdapat pada interaksi moda taksi dengan moda kereta, pejalan kaki, angkot, bus brt dan ojek online. Sedangkan untuk nilai harapan tertinggi secara merata diberikan angka 8 pada moda interaksi selain antara dengan taksi. Kemudian untuk mengetahui nilai perbedaan tertinggi dapat dilihat pada grafik berikut,



Gambar 4 Nilai Perbedaan Antara Eksisting Dan Harapan

Berdasarkan Gambar 4 hasil perbedaan antara nilai rata-rata eksisting dan rata-rata nilai harapan yang memiliki perbedaan yang paling besar antara kereta dengan bus brt dan angkot serta pejalan kaki dengan bus brt dan angkot. Hal ini dapat disimpulkan bahwa interaksi yang perlu ditingkatkan yaitu bus brt dan angkot pada area Stasiun Tawang Semarang. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan model *modal interaction matrix*,

Jaksi												
Angkot	6	7										
Ojek Online	5	7	6	8								
BRT	5	7	5	7	8							
Kendaraan pribadi	6	8	7	8	7	8	8					
Pejalan Kaki	5	7	5	8	7	8	5	8	7	8		
Kereta	6	7	5	8	6	8	5	8	7	8	6	8
Total Negatif		-10	-11	-6	-8	-2	-2					
	Jaksi	Angkot	Ojek Online	BRT	Kendaraan Pribadi	Pejalan Kaki	Kereta					

Gambar 5 Matiks metode *Modal Interaction Matrix*

Berdasarkan Gambar 5 matrix tersebut didapatkan nilai perbedaan sebesar -39, selanjutnya untuk menentukan interaksi antarmoda di Stasiun Tawang Semarang perlu dilakukan perhitungan menggunakan *normalized score* sebagai berikut,

$$\text{Nilai Perbedaan} = \frac{\text{Nilai matriks} \times 100}{\text{Jumlah Kolom}} = \frac{-39 \times 100}{21} = -185$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai perbedaan diatas didapatkan nilai sebesar -185. Hal ini dapat disimpulkan bahwa interaksi antarmoda di Stasiun Tawang Semarang termasuk dalam kategori buruk sesuai dengan tabel 1. Hal ini tentunya perlu adanya peningkatan terkait integrasi antarmoda yang ada di Stasiun Tawang Semarang.

3.4 *Developing Acces Priority*

Metode ini digunakan untuk mengetahui prioritas fasilitas dan moda yang perlu ditingkatkan berdasarkan persepsi pengguna kereta di Stasiun Tawang. *Developing acces priority* didapatkan berdasarkan hasil pengisian kuisioner dari penumpang di Stasiun Tawang

Semarang. Berikut merupakan perhitungan menggunakan metode *developing acces priority*,

Tabel 11 Hasil Pengisian Pertanyaan *Developing Acces Priority*

No.	Fasilitas	Jumlah	%
1	Jalur Pejalan Kaki	23	23%
2	Parkir Kendaraan	14	14%
3	Halte BRT	19	19%
4	Dropzone Ojol	5	5%
5	Pangkalan Angkot	10	10%
6	Pangkalan Taksi	10	10%
7	Dropzone Kendaraan	2	2%
8	Informasi Antarmoda	17	17%

Berdasarkan Tabel 11 didapatkan hasil untuk pengisian prioritas akses fasilitas integrasi antarmoda yang dianggap responden penting dan perlu ditingkatkan diantaranya yaitu paling tinggi jalur pejalan kaki dengan 22 responden dengan presentasi 22%, kemudian halte BRT dengan responden sebanyak 19 responden dengan presentasi sebesar 19%, selanjutnya ada fasilitas informasi antarmoda dengan 17 responden dengan presentasi sebesar 17%. Untuk fasilitas atau akses yang dianggap masih belum dianggap penting dan perlu ditingkatkan yaitu pangkalan taksi sebanyak 7 responden dengan presentasi sebanyak 7% dan drop zone kendaraan dengan 3 responden dengan presentasi sebanyak 3%. Dari data tersebut kemudian dijadikan matrix seperti berikut,

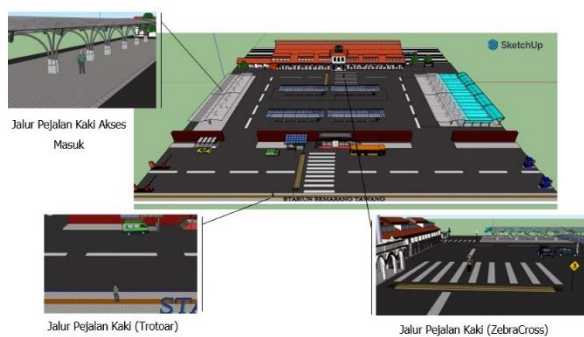
Developing Acces Priority									TOTAL	RANK
Jalur Pejalan Kaki	JPK	JPK	JPK	JPK	JPK	JPK	JPK	JPK	14	1
Parkir Kendaraan	JPK	HB	PK	PK	PK	PK	PK	PK	8	4
Halte BRT	JPK	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB	12	2
Dropzone Ojol	JPK	PK	HB	DZO	DZO	DZO	DZO	IA	6	5
Pangkalan Angkot	JPK	PK	HB	DZO	PA	PA	PA	IA	4	6
Pangkalan Taksi	JPK	PK	HB	DZO	PA	PT	PT	IA	2	7
Dropzone Kendaraan	JPK	PK	HB	DZO	PA	PT	PT	IA	0	8
Informasi Antarmoda	JPK	IA	HB	IA	IA	IA	IA	IA	10	3
Fasilitas Moda	Jalur Pejalan Kaki	Parkir Kendaraan	Halte BRT	Dropzone Ojol	Pangkalan Angkot	Pangkalan Taksi	Dropzone Kendaraan	Informasi Antarmoda		

Gambar 6 Matriks *Developing Acces Priority*

Berdasarkan Gambar 6 didapatkan hasil perhitungan menggunakan matriks *developing acces priority* untuk menentukan ranking atau peringkat dari prioritas akses dan fasilitas moda yang ada di Stasiun Tawang Semarang. Menurut hasil matriks untuk peringkat tertinggi yaitu jalur pejalan kaki, kemudian halte BRT, informasi antarmoda, parkir kendaraan, drop zone ojol, pangkalan angkot, pangkalan taksi dan untuk peringkat terakhir yaitu drop zone kendaraan pribadi. Maka dari itu perlu penanganan prioritas terhadap ranking fasilitas tertinggi yaitu fasilitas pejalan kaki, fasilitas halte bus BRT dan diperlukan informasi integrasi antarmoda. Sedangkan untuk fasilitas yang dianggap tidak prioritas atau dapat dikatakan sudah baik diantaranya yaitu drop zone ojek online dan dropzone kendaraan pribadi, fasilitas yang tidak menjadi prioritas akan mendapatkan penanganan atau rekomendasi yang paling terakhir.

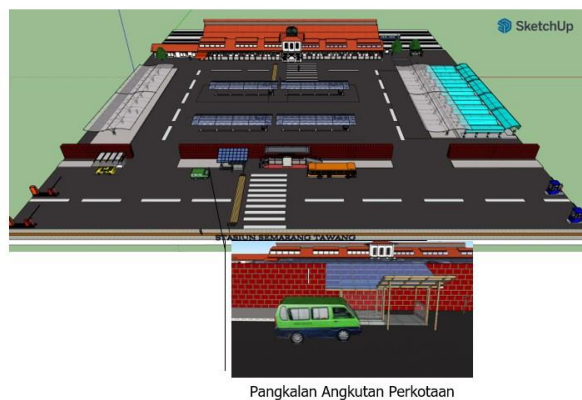
3.5 Rekomendasi Peningkatan

Dalam upaya peningkatan integrasi antarmoda yang ada di Stasiun Tawang Semarang dapat dilihat dari kedua metode analisis yang telah digunakan diantaranya yaitu modal interaction matrix untuk melihat hasil keterkaitan atau interaksi antar semua moda yang ada di Stasiun Tawang Semarang menurut penumpang kereta sehingga diketahui nilai integrasinya dari nilai tersebut didapatkan nilai integrasi untuk menentukan apakah stasiun tersebut dapat dinyatakan sudah terjadi integrasi yang baik atau tidaknya. Selanjutnya dilakukan analisis developing acces priority untuk mengetahui prioritas fasilitas penunjang moda yang diperlukan untuk mendukung integrasi antarmoda menurut penumpang di Stasiun Tawang Semarang. Berikut beberapa rekomendasi berupa gambar sketchup yang dapat diberikan untuk meningkatkan integrasi antarmoda di Stasiun Tawang Semarang,



Gambar 7 Fasilitas Pejalan Kaki

Salah satu sarana yang dapat meningkatkan kemudahan dalam perpindahan atau integrasi antarmoda adalah jalur pejalan kaki. Penting untuk memisahkan jalur pejalan kaki dari jalur kendaraan untuk keselamatan pejalan kaki. Akan tetapi jalur pejalan kaki dari Stasiun Tawang Semarang menuju penghubung moda selanjutnya masih dapat dikatakan buruk dikarenakan jalur pejalan kaki dan jalur kendaraan masih menyatu, hal itu dapat menyebabkan penyeberangan dan konflik antara pejalan kaki dengan kendaraan yang akan masuk dan keluar dari Stasiun Tawang Semarang. Selain itu jalur pejalan kaki harus dibuat secara keselamatan dan kenyamanan untuk meningkatkan minat berjalan kaki dari pengguna Stasiun Tawang Semarang. Oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan fasilitas pejalan kaki di Stasiun Tawang Semarang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 8 Fasilitas Angkutan Perkotaan

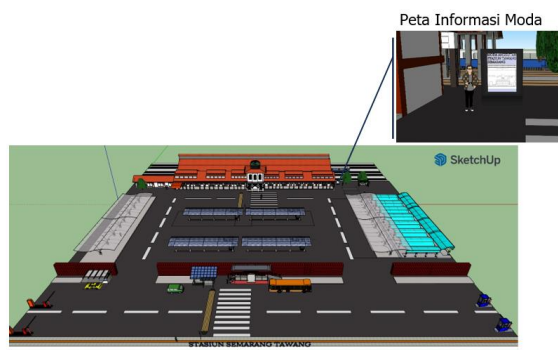
Fasilitas pangkalan angkutan perkotaan yang baik di stasiun memungkinkan penumpang untuk dengan mudah melakukan transfer antara berbagai moda transportasi, seperti kereta, bus, taksi, dan ojek online. Hal ini dapat menciptakan pengalaman perjalanan yang lebih lancar dan efisien bagi penumpang, meminimalkan waktu tunggu dan meningkatkan keterkaitan antarmoda. Akan tetapi pada kondisi eksisting di Stasiun Tawang Semarang masih belum mendapat perhatian lebih dari pihak setempat, hal ini menyebabkan angkutan perkotaan tidak terorganisir dengan baik dan fasilitas pangkalan yang tidak memadai. Maka dari itu perlu peningkatan fasilitas angkutan perkotaan di Stasiun Tawang Semarang berupa penyediaan bangunan menunggu di sekitar fasilitas pangkalan angkutan perkotaan, bangunan ini dilengkapi dengan tempat duduk dan informasi mengenai trayek yang ada pada angkutan perkotaan tersebut seperti pada Gambar 8.



Gambar 9 Fasilitas Halte Bus BRT

Fasilitas halte BRT yang ditingkatkan di stasiun memungkinkan penumpang untuk dengan lancar melakukan transfer antara moda transportasi. Dengan fasilitas halte BRT yang lebih baik di stasiun, penumpang dapat menunggu dengan nyaman dan aman sebelum melanjutkan perjalanan mereka menggunakan bus rapid transit. Fasilitas seperti kursi yang nyaman, tempat berlindung dari cuaca, dan informasi perjalanan yang jelas akan meningkatkan pengalaman penumpang. Pada kondisi eksistingnya halte BRT yang ada di Stasiun

Tawang Semarang belum memiliki komponen informasi penunjang, informasi ini sendiri dapat berperan penting untuk pengguna angkutan umum mengetahui jadwal kedatangan bus dan armada bus yang beroperasi. Maka dari itu perlunya peningkatan fasilitas halte bus BRT di Stasiun Tawang Semarang seperti Gambar 9.



Gambar 10 Fasilitas Informasi Moda

Peta antarmoda membantu memfasilitasi perpindahan antara berbagai moda transportasi di stasiun dengan menyediakan informasi yang jelas tentang lokasi dan arah jalur yang harus diambil. Hal ini dapat membuat perpindahan antarmoda menjadi lebih lancar dan efisien bagi penumpang. Pada kondisi eksisting Stasiun Tawang Semarang belum terdapat fasilitas peta antarmoda, maka dari itu diperlukan peningkatan fasilitas peta antarmoda dengan dapat dipasangnya peta tersebut baik pada akses masuk maupun akses keluar stasiun, peta antarmoda dapat dilihat pada Gambar 10.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *modal interaction matrix* Stasiun Tawang Semarang mendapat nilai skor *normalized score* sebesar -185, hal ini dapat disimpulkan bahwa interaksi antarmoda di Stasiun Tawang Semarang termasuk dalam kategori buruk. Sedangkan berdasarkan metode *developing acces priority* terdapat 3 moda dengan ranking prioritas tertinggi diantaranya yaitu fasilitas pejalan kaki, fasilitas informasi antarmoda dan fasilitas halte bus BRT. Rekomendasi yang dapat diberikan upaya peningkatan

perpindahan penumpang antarmoda yaitu dengan cara peningkatan fasilitas moda meliputi fasilitas pejalan kaki, fasilitas parkir, fasilitas taksi, fasilitas angkutan perkotaan dan fasilitas halte bus BRT. Selain itu dilakukan peningkatan untuk fasilitas penunjang integrasi moda diantaranya yaitu papan petunjuk atau rambu moda, pemetaan antarmoda dan juga fasilitas jadwal moda di Stasiun Tawang Semarang.

Daftar Rujukan

- [1] Doloksaribu Artanadya dan Hidayat, "Kota Semarang," vol. 15, no. 3, pp. 3–12, 2017.
- [2] Badan Pusat Statistik Kota Semarang, "Jumlah Penduduk Kota Semarang," 2021. <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/78/1/jumlah-penduduk-menurut-jenis-kelamin.html> (accessed Oct. 12, 2023).
- [3] Badan Pusat Statistik Jawa Tengah, "Jumlah Kendaraan Kota Semarang," 2022. <https://jateng.bps.go.id/indicator/17/1006/1/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-kendaraan-di-provinsi-jawa-tengah.html> (accessed Oct. 10, 2023).
- [4] ITDP, "Mode Share Kendaraan Bermotor Di Kota Semarang," 2022. <https://itdp-indonesia.org/wp-content/uploads/2022/09/Laporan-Proses-Perencanaan-Inklusif-Kota-Semarang> (accessed Nov. 12, 2023).
- [5] PERATURAN DAERAH KOTA SEMARANG NOMOR 6 TAHUN 2021, *RENCANA PEMBANGUNAN JANGKA MENENGAH DAERAH TAHUN 2021-2026*, no. 6. Indonesia: Pemerintah Kota Semarang, 2021. [Online]. Available: <https://bappeda.semarangkota.go.id/rpjmd-kota-semarang>
- [6] A. Rosyid *et al.*, "Jakarta , Role Model Integrasi Transportasi Publik Di Indonesia," vol. 18, no. 2, pp. 57–69, 2021.
- [7] ITDP, "Pengguna Layanan Transportasi Kota Semarang," 2023. <https://itdp-indonesia.org/2023/07/itdp-indonesia-dorong-peningkatan-konektivitas-di-kota-lama-semarang/> (accessed Nov. 20, 2023).
- [8] S. Sofianiadi, M. Huda, and F. Hartawan, "Transportasi Berkelanjutan dan Pengaruhnya terhadap Pengurangan Emisi di Kota Semarang," vol. 16, no. 1, pp. 81–89, 2022.
- [9] A. R. Rahmatullah, D. I. K. Dewi, and C. D. T. Nurmasari, "Integrasi Antar Transportasi Umum Di Kota Semarang," *J. Pengemb. Kota*, vol. 10, no. 1, pp. 36–46, 2022, doi: 10.14710/jpk.10.1.36-46.
- [10] R. A. Cahya Adhianti, R. Ronauli, and L. Kezia, "Integrasi Antarmoda dengan Penerapan Transit-Oriented Development pada Kawasan Kota Lama Semarang," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 32, no. 2, pp. 113–124, 2020, doi: 10.25104/warlit.v32i2.1525.
- [11] Sugiyono, "Buku Metode Penelitian Sugiyono." p. 62, 2016.



Perencanaan Struktur Pemecah Gelombang dengan Sisi Miring pada Kawasan Pesisir ULPLTU Sumbawa

Syahri Wardani¹, Adi Mawardin²

^{1,2}Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Lingkungan dan Mineral, Universitas Teknologi Sumbawa

¹arisyahriwardani02@gmail.com, ²adi.mawardin@uts.ac.id*

Abstract

The coastal area of ULPLTU Sumbawa, located in Labuhan Kertasari, Taliwang District, West Sumbawa Regency, is affected by coastal erosion caused by shoreline retreat and wave action. Therefore, the objective of this research is to design a breakwater structure with inclined sides to mitigate the height of incoming waves. In this study, the data used includes primary data through direct field observations, while secondary data consists of wind data, tidal data, topographic data, and bathymetric data. Data processing methods involve wind data analysis, fetch, wave characteristics, bathymetry, and topography. After analyzing all the data, the breakwater structure was planned. The resulting design comprises a mound-type breakwater made of tetrapods and natural stones. It has a slope of 1:1.5 (33.7°), a crest width of 3.7 m, a crest elevation of 3.86 m, a structure height of 5 m, with the main armor layer unit weight $W=4,079$ kg, the second armor layer weight $W/10=544.8$ kg, and the core armor layer weight $W/200=27$ kg. Based on the results of the planning of the breakwater structure, it has been recommended to use local materials to reduce costs and support the local economy by ensuring the quality of materials according to standards. This solution is not only cost-efficient but also environmentally friendly, contributes to environmental conservation, and provides significant economic benefits to the surrounding community.

Keywords: Design, Structure, Breakwater, Fetch, Tetrapod

Abstrak

Kawasan pesisir ULPLTU Sumbawa yang berada di Labuhan Kertasari, Kecamatan Taliwang, Kabupaten Sumbawa Barat merupakan salah satu lokasi yang terkena dampak dari erosi pantai yang disebabkan oleh mundurnya garis pantai yang dikombinasi dengan aksi gelombang. Sehingga tujuan penelitian ini adalah perencanaan bangunan pemecah gelombang dengan sisi miring untuk meredam tinggi gelombang datang. Pada penelitian ini, data yang digunakan ialah data primer melalui observasi langsung kondisi di lapangan, sedangkan data sekunder berupa data angin, data pasang surut, data topografi, dan batimetri. Metode pengolahan data menggunakan metode analisis data angin, *fetch*, gelombang, batimetri dan topografi. Setelah menganalisis semua data, selanjutnya merencanakan bangunan pemecah gelombang. Hasil dari perencanaan, didapatkan bangunan pemecah gelombang dengan tipe gundukan puing dari tetrapod dan batu alam mempunyai kemiringan 1:1,5 (33,7°) dengan lebar puncak 3,7 m, elevasi puncak 3,86 m, tinggi bangunan 5 m, berat unit lapis lindung utama $W=4.079$ kg, lapis lindung kedua $W/10= 544,8$ kg, lapis lindung inti $W/200=27$ kg. Berdasarkan hasil perencanaan struktur pemecah gelombang, direkomendasikan penggunaan material lokal untuk mengurangi biaya dan mendukung perekonomian setempat dengan memastikan kualitas material sesuai standar, solusi ini tidak hanya efisien dari segi biaya tetapi juga ramah lingkungan, berkontribusi pada pelestarian lingkungan, dan memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi masyarakat sekitar.

Kata kunci: Perencanaan, Pemecah Gelombang, Struktur, Fetch, Tetrapod

Diterima Redaksi : 2024-07-12 | Selesai Revisi : 2024-08-19 | Diterbitkan Online : 2025-08-04



1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan lebih dari 13.000 pulau dan garis pantai sepanjang 80.000 km [1]. Daerah pantai adalah daerah yang sangat manjur untuk pemanfaatan segala bentuk kegiatan. Beriringan dengan berkembangnya dan bertumbuhnya fungsi pantai memikul meningkatnya kebutuhan lahan pantai yang dapat menyebabkan berbagai permasalahan, diantaranya yaitu sedimentsi, abrasi, pencemaran lingkungan dan lain-lain. Erosi pantai mengacu pada mundurnya garis pantai dari lokasi aslinya [2]. Keausan atau erosi pantai disebabkan oleh lepasnya material pantai seperti pasir atau tanah yang dikombinasikan dengan aksi gelombang laut yang terus menerus.

Keausan merupakan masalah umum di wilayah pesisir. Oleh karena itu, permasalahan ini harus segera diatasi. Hal ini tidak hanya mempersempit garis pantai tetapi juga dapat menimbulkan kerugian yang signifikan. Perubahan garis pantai terjadi secara terus menerus melalui berbagai proses baik erosi pantai maupun akresi yang disebabkan oleh transpor sedimen, arus sejajar pantai, aksi gelombang dan penggunaan lahan [3]. Keausan disebabkan oleh dua faktor yaitu alam dan manusia.

Fenomena alam yang terjadi dapat berupa proses hidro-oseanografi yang berasal dari lautan seperti aksi gelombang, perubahan arah pola arus, fenomena angin dan pasang surut [4]. Selain faktor alam, keausan ini juga bisa disebabkan oleh faktor manusia, permasalahan utama di wilayah pesisir adalah pertumbuhan penduduk yang relatif pesat. Untuk memenuhi kebutuhan penduduk pesisir, wilayah pesisir juga dijadikan sebagai tempat pengembangan dan perbaikan infrastruktur, termasuk transportasi, pelabuhan, bandar udara, dan lain-lain.

Salah satu infrastruktur yang terkena dampak dari abrasi yaitu ULPLTU (Unit Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Sumbawa. ULPLTU Sumbawa adalah bangunan yang berada pada kawasan pesisir pantai yang lama kelamaan akan mengalami kerusakan yang disebabkan oleh mundurnya garis pantai. Berdasarkan kondisi saat ini, abrasi disebabkan oleh mundurnya garis Pantai. Pengaruh kecepatan angin juga memperburuk kondisi gelombang dan mempercepat terjadinya proses abrasi di Kawasan ini. Pasang surut juga menunjukkan adanya variasi yang signifikan, dimana pada kondisi pasang tertinggi mencapai 3 meter, yang mengakibatkan abrasi lebih parah pada kondisi pasang naik. Kondisi ini menunjukkan betapa pentingnya merencanakan *breakwater* sebagai pengendali gelombang dan melindungi garis Pantai. Dengan adanya *breakwater*, diharapkan mampu mengurangi energi gelombang yang mencapai Pantai, sehingga mengurangi laju abrasi dan melindungi infrastruktur penting di Kawasan ULPLTU Sumbawa. Perencanaan *breakwater* dengan sisi miring ini juga diharapkan mampu memberikan perlindungan

jangka panjang terhadap Kawasan pesisir ULPLTU Sumbawa dan meningkatkan ketahanan terhadap kondisi perubahan iklim dan kondisi cuaca ekstrem. Penampang struktur pemecah gelombang terdiri dari batuan inti yang relatif padat, ditutupi oleh satu atau dua lapisan batuan atau pelindung beton yang melindungi lapisan dibawahnya, sehingga berat satuan lapisan pelindung terluar dapat dimaksimalkan [5].

Untuk membangun struktur perlindungan pantai, diperlukan material yang tangguh dan kuat untuk menghadapi gelombang dan arus laut. Material ini digunakan sebagai lapis lindung dalam konstruksi perlindungan Pantai [6]. Lapis lindung (*armor unit*) terbagi menjadi dua jenis: material alami (seperti batu alam, granit, dan basalt) dan material buatan yang umumnya terbuat dari beton [7].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Februari hingga bulan Juni yang berlokasi di Labuhan Kertasari, Kecamatan Taliwang, Kabupaten Sumbawa Barat. Adapun koordinat tepat lokasi berada pada 8°44'36"S 116°46'34"E. Data yang dilakukan pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari hasil observasi secara langsung kelapangan, sedangkan data sekunder terdiri dari data angin yang didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Sultan Kaharuddin Kabupaten Sumbawa serta data topografi dan batimetri yang didapat dari DEMNAS dan BATNAS dari Badan Informasi Geospasial (BIG).

2.1. Peramalan Gelombang

Prediksi gelombang dilakukan dengan tujuan untuk memahami karakteristik timbulan gelombang di laut dalam. Saat menghasilkan gelombang, perlu mengetahui parameter berikut:

- Kecepatan angin rata-rata di permukaan air U_w

Menurut [1], kecepatan angin pada ketinggian 10 meter biasanya digunakan untuk meramalkan gelombang. Jika angin tidak diukur pada ketinggian tersebut, maka kecepatan angin harus diubah ke ketinggian tersebut. Untuk mempermudah perhitungan, dapat menggunakan rumus 1.

$$U_{(10)} = U_{(y)} \left(\frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (1)$$

Dengan $U_{(10)}$ adalah Kecepatan angin pada ketinggian 10 m (m/s), y adalah Elevasi terhadap permukaan air. Mengukur data angin dari permukaan laut paling cocok untuk memprediksi gelombang. Hasil perhitungan kecepatan angin diatas kemudian diubah menjadi faktor tegangan angin (U_A) dengan menggunakan rumus 2.

$$U_A = 0,71 U_w^{1,23} \quad (2)$$

Dengan U_A adalah Koreksi tegangan angin (m/dt) dan U_W adalah Kecepatan angin dilaut (m/dt). Analisis data angin dilakukan untuk mendapatkan kecepatan angin yang telah dikoreksi. Data angin diolah menggunakan *Microsoft Excel* dan didistribusikan menggunakan *WRPLOT* untuk membuat arah dan mata angin dominan (*windrose*). Koordinat pusat lokasi *windrose* dapat ditentukan menggunakan *Google Earth*. *Windrose* dibuat berdasarkan data angin untuk menentukan arah angin yang dominan.

b. Fetch

Panjang pengambilan adalah panjang lautan dengan pulau-pulau di setiap ujungnya. rumus 3. dibawah ini memberikan fetch rerata yang efektif.

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (3)$$

Dengan F_{eff} adalah rerata efektif (km), X_i adalah Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch* (km), dan α adalah deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin

Fetch tersebut kemudian dihitung untuk langkah selanjutnya dalam mencari tinggi dan periode gelombang.

c. Gelombang

Gelombang signifikan dihitung berdasarkan kecepatan angin dan rata-rata panjang tangkapan air efektif selama 10 tahun (2014–2023), sehingga diperoleh tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) rumus 4. dapat digunakan untuk menghitung tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) dapat dihitung menggunakan rumus 5. Akan dilakukan analisis spektral gelombang JONSWAP [8], yang diperoleh dari *FullyDeveloped Sea* (FDS).

$$H_s = 0,0016 \left(\frac{g \cdot f}{U_A^2} \right)^{1/2} \frac{U_A^2}{g} \quad (4)$$

$$T_s = 0,2857 \left(\frac{g \cdot f}{U_A^2} \right)^{1/3} \frac{U_A^2}{g} \quad (5)$$

Gelombang signifikan ini digunakan untuk memprediksi gelombang laut dalam pada periode waktu tertentu.

2.2. Perencanaan Struktur

a. Kondisi Gelombang di Lokasi Rencana

Penyelidikan dilakukan untuk mengetahui apakah gelombang ombak pecah atau tidak di lokasi yang direncanakan. Hal ini diperlukan untuk menentukan nilai

K_D yang digunakan pada desain struktur *breakwater* rumus 6.

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(a \frac{H_b}{gT^2} \right)} \quad (6)$$

dengan Dimana a dan b adalah fungsi kemiringan tepian m.

b. Wave Run-up

Hasil perhitungan ini digunakan untuk menghitung ketinggian puncak pemecah gelombang yang diusulkan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 7.

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0} \right)^{0,5}} \quad (7)$$

dengan I_r adalah bilangan Irribaren, θ adalah sudut kemiringan sisi *breakwater* ($^\circ$), H adalah tinggi gelombang dilokasi bangunan (m), dan L_0 adalah Panjang gelombang (m) dilaut dalam

b. Berat Butir Armor

Perhitungan berat butir armor dapat dihitung dengan analisis Hudson menggunakan rumus 8.

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D (Sr - 1)^3 \cos \theta} \quad (8)$$

dengan W adalah berat armor unit (kg), γ_r adalah berat jenis batuan/beton (kg/m^3), γ_a adalah berat jenis air laut (kg/m^3), H adalah tinggi gelombang (m), K_D adalah koefisien stabilitas, dan Sr adalah γ_r / γ_a

c. Lebar Puncak

Lebar puncak *breakwater* dapat dihitung menggunakan rumus 9.

$$B = n \cdot k_A \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (9)$$

dengan B adalah Lebar puncak (m), n adalah jumlah armour tiap lapisan, k_A adalah koefisien lapis, W adalah Berat butir armour unit, dan γ_r adalah Berat jenis armour unit.

d. Tebal Lapis Lindung

Untuk mengetahui tebal lapis lindung dapat dihitung dengan menggunakan rumus 10.

$$t = n k_A \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (10)$$

dengan t adalah tebal lapis pelindung, n adalah jumlah unit armour dalam lapis pelindung, dan k_A adalah koefisien lapis.

e. Jumlah batu pelindung

Jumlah butir batu pelindung persatuan luas (10 m²) dihitung menggunakan rumus 11.

$$N = Ank\Delta \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma r}{W} \right]^{2/3} \quad (11)$$

Dengan *n* adalah jumlah unit armour dalam lapis pelindung, *kΔ* adalah koefisien lapis, *A* adalah luas permukaan, *P* adalah porositas rerata lapis pelindung, *N* adalah jumlah armour unit untuk satuan luas permukaan *A*, dan *γr* adalah berat jenis armour.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Lokasi Penelitian

Kawasan pesisir ULPLTU Sumbawa terjadi erosi pantai akibat gelombang yang menyebabkan pantai mundur dari lokasi semula. Oleh karena itu, tujuan penanganan adalah untuk mencegah dan mengurangi efek keausan. Perlakuan ini diharapkan dapat menahan serangan gelombang. Untuk lebih jelasnya kondisi bangunan pada lokasi perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**. Dimana **Gambar 1** menunjukkan kondisi bangunan keliling dari ULPLTU Sumbawa dan **Gambar 2** menunjukkan kondisi *breakwater* yang sama-sama mengalami kerusakan akibat hantaman gelombang.



Gambar 1. Kondisi Bangunan Pembatas ULPLTU

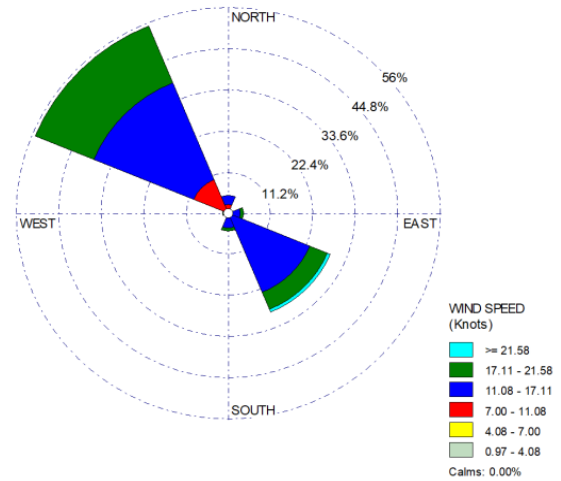


Gambar 2. Kondisi Breakwater

3.2. Peramalan Gelombang

a. Analisa Data Angin

Data angin yang diperoleh dari BMKG dikelompokkan kedalam kelompok berdasarkan kecepatan dan arah angin maksimum bulanan selama 10 tahun (2014-2023).

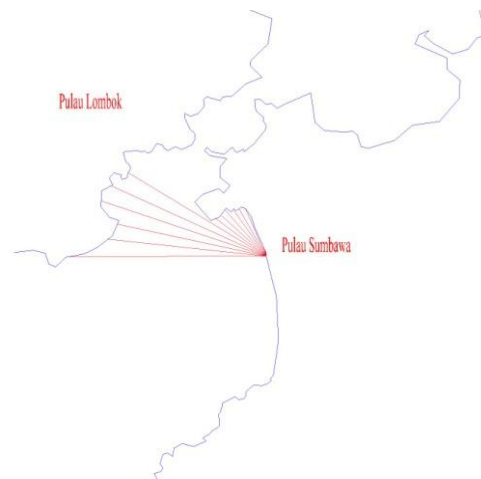


Gambar 3. Mawar Angin

Dari hasil analisis sebaran data angin pada **Gambar 3**, diperoleh bahwa angin dominan bertiup dari arah Barat Laut (NW).

b. Analisa Fetch

Saat melihat pembangkit gelombang laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan sekitar lautan. Garis pengumpulan panjang di lokasi desain membentuk sudut 6° terhadap arah angin, dengan sudut 42° ke kiri dan kanan. *Arah* dominan yang dimiliki adalah arah Barat Laut (NW), sehingga arah *fetch* ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Fetch Kawasan ULPLTU Sumbawa

Panjang pengambilan adalah panjang lautan dengan pulau-pulau di setiap ujungnya. Adapun hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Perhitungan Panjang *Fetch*

Arah	Sudut α	Cos α	χ_i (m)	$\chi_i \cdot \text{Cos } \alpha$
NW	42	0.743	9592	7126.86
	36	0.809	7735	6257.62
	30	0.866	7370	6382.42
	24	0.914	8433	7707.76
	18	0.951	8230	7826.73
	12	0.978	7773	7601.99
	6	0.995	3023	3007.89
	0	1	2926	2926.00
	6	0.995	2955	2940.23
	12	0.978	2722	2662.12
	18	0.951	2592	2464.99
	24	0.914	2455	2243.87
	30	0.866	572	495.35
	36	0.809	312	252.41
42	0.743	216	160.49	
Total		13.512		60056.71

Selanjutnya menghitung panjang *fetch* (F_{eff}) rerata pada lokasi rumus 3., sehingga,

$$F_{eff} = \frac{6005671}{13,512} = 4445 \text{ m}$$

Diperoleh F_{eff} sebesar 4.445 m, yang digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang.

c. Analisa Gelombang

Tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) dihitung dengan rumus 4 dan rumus 5. Berikut hasil perhitungan gelombang signifikan selama 10 tahun dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perhitungan Gelombang Signifikan

Tahun	Arah	Umax (knot)	UA (m/s)	Feff (m)	Hs (m)	Ts (s)
2014	NW	11	8.846	4445	0,301	2.120
2015		10	8.044	4445	0,273	2.053
2016		8	6.383	4445	0,217	1.901
2017		11	8.846	4445	0,301	2.120
2018		9	7.222	4445	0,245	1.981
2019		10	8.044	4445	0,273	2.053
2020		10	8.044	4445	0,273	2.053
2021		11	8.846	4445	0,301	2.120
2022		15	11.806	4445	0,402	2.334
2023		10	8.044	4445	0,273	2.053
Total					0,285	

3.3 Perencanaan *Layout Breakwater*

Rencana kedalaman lokasi bangunan pemecah gelombang adalah -0,5 m. Maka dalam penelitian ini menggunakan pemecah gelombang sisi miring, karena memiliki kemiripan dengan pondasi datar dan lebih ekonomis. Sedangkan jenis pemecah gelombang yang digunakan ialah jenis lepas pantai. Karena sedimen yang terbawa gelombang masuk dan mengendap di belakang pemecah gelombang. Bangunan ini menjorok ke laut sehingga gelombang yang menjalar ke pantai terhalang oleh bangunan tersebut [9].

3.4 Dimensi *Breakwater*

a. Kondisi Gelombang di Lokasi Rencana

Untuk menghitung kedalaman air di mana gelombang pecah yaitu dengan rumus 6.

$$d_b = 1,128 \times H_b$$

$$d_b = 0,451 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

Dengan demikian, gelombang pecah terjadi pada kedalaman 0,5 m. Hal ini di karenakan $db < d_{LWL}$ dan $db < d_{HWL}$, dilokasi pembangunan tidak terjadi pecah ombak pada kedalaman -5 m.

b. Elevasi *Breakwater*

Ketinggian puncak *breakwater* dihitung berdasarkan tinggi *wave run-up* rumus 7. dengan parameter dibawah. Kemiringan rencana sisi *breakwater* yaitu 1:1,5, \emptyset yaitu 1:1,5 (33,7°), H sebesar 0,4 m, dan L_0 sebesar 10,568 m. sehingga di dapatkan bilangan *Irribaren*,

$$I_r = \frac{1/1,5}{(0,4/10,568)^{0,5}} = 3,4$$

Selanjutnya mencari nilai R_u/H

$$\frac{R_u}{H} = 0,9 \text{ sehingga } R_u = 0,9 \times 0,4 = 0,36 \text{ m}$$

Maka elevasi puncak *breakwater* dengan tinggi kebebasan 0,5 adalah sebagai berikut :

$$El = HWL + R_u + \text{Tinggi kebebasan}$$

$$El = 30 + 0,36 + 0,5 = 3,86 \text{ m}$$

Jadi, elevasi puncak *breakwater* adalah 3,86 m.

c. Berat Butir Lapis Lindung

Berat suatu unit lapis lindung dapat dihitung menggunakan rumus Hudson seperti pada rumus 8. Nilai K_D untuk tetrapod adalah 8 dengan penempatan secara

acak dan kondisi gelombang tidak pecah, sedangkan f. Jumlah lapis lindung untuk nilai γ 1030 kg/m³.

Untuk lapis lindung tetrapod:

$$W = \frac{2400 \times 0,4^3}{8 \left(\frac{2400}{1030} - 1 \right)^3 \times 2} = 4.079 \text{ kg}$$

Untuk lapis lindung batu:

$$W = \frac{2650 \times 0,4^3}{4 \left(\frac{2650}{1030} - 1 \right)^3 \times 2} = 5.448 \text{ kg/m}^3$$

d. Lebar Puncak

Lebar puncak *breakwater* untuk $n=3$, dihitung dengan rumus 9.

$$B = 3 \times 1,04 \left[\frac{4079}{2400} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,7 \text{ m}$$

Jadi, lebar puncak *breakwater* adalah 3,7 m.

e. Tebal lapis lindung

Untuk mengetahui tebal lapis lindung dapat dihitung dengan menggunakan rumus 10.

Untuk lapis lindung *tetrapod*:

$$t = 2 \times 1,04 \left[\frac{4079}{2400} \right]^{\frac{1}{3}} = 2,4 \text{ m}$$

Tetrapod adalah material yang terbuat dari beton dengan bentuk yang sederhana, serta memiliki perbandingan yang tepat antara panjang kaki dan ukuran badan, sehingga menjadi material yang kuat dan kokoh. Tetrapod digunakan sebagai lapis lindung yang dikembangkan dengan sistem penyusunan secara acak atau seragam dengan dua lapisan material. Material ini unggul sebagai penyusun *breakwater* karena memiliki stabilitas yang lebih tinggi dan nilai porositas yang besar, sehingga dapat mengurangi jumlah beton yang digunakan [7].

Untuk lapis lindung batu:

$$t = 2 \times 1,15 \left[\frac{5448}{2650} \right]^{\frac{1}{3}} = 2,9 \text{ m}$$

Lapis lindung batu (*armoring stone*) adalah material yang digunakan untuk melindungi pantai atau infrastruktur dari abrasi atau erosi air. *Armoring stone* biasanya terbuat dari batu alam yang besar dan tahan lama, ditempatkan dengan susunan tertentu untuk memastikan stabilitas dan perlindungan yang optimal terhadap gelombang dan arus air laut [10].

Jumlah butir batu pelindung persatuan luas (10 m²) dihitung menggunakan rumus 11.

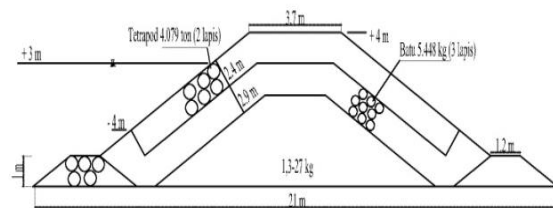
Untuk lapis lindung tetrapod

$$N = 10 \times 2 \times 1,04 \left[1 - \frac{50}{100} \right] \left[\frac{2400}{4079} \right]^{2/3} = 7,3$$

Untuk lapis lindung batu

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \left[1 - \frac{37}{100} \right] \left[\frac{2650}{5448} \right]^{2/3} = 6,4$$

3.5 Desain



Gambar 5. Potongan Melintang *Breakwater*

Gambar 5 diatas adalah potongan melintang *breakwater*. Desain yang direncanakan memiliki lebar puncak 3,7 m dan lebar dasar 21 m, menggunakan tiga lapisan penyusun yaitu lapisan utama tersusun dari 2 lapis tumpukan *tetrapod* dengan berat 4,079 kg, lapisan kedua terdiri dari 3 lapis batu alam dengan berat 544,8 kg, dan lapis inti tersusun dari batu alam dengan berat 1,3 – 27 kg. Terdapat juga pelindung kaki yang memiliki tinggi 1 m dan lebar 1,2 m.

Breakwater sisi miring jika diterapkan dilapangan memiliki keutungan berupa elevasi puncak yang rendah, gelombang refleksi kecil dalam meredam energi gelombang, kerusakan terjadi secara berangsur-angsur, perbaikan dilakukan dengan mudah dan biaya yang relative murah. Namun *breakwater* sisi miring memiliki kekurangan berupa jumlah material yang besar, pelaksanaan pekerjaan yang lama, kemungkinan besar dapat terjadi kerusakan saat pelaksanaan, dan memiliki lebar dasar yang besar [10]

Ada beberapa jenis bangunan pelindung Pantai selain *breakwater* yaitu *seawall*, *groins*, dan *revetment* [11]. Jika *breakwater* dibandingkan dengan konstruksi *Seawal* (tembok laut) memiliki kelebihan dalam hal kemudahan dan kecepatan pengerjaan serta menawarkan perlindungan langsung dari ancaman gelombang. Namun, peningkatan erosi di dasar depan *seawall* sering terjadi, yang menyebabkan biaya pemeliharaan tinggi akibat kerusakan oleh gelombang besar. Begitu juga *Groins*, yang dibangun tegak lurus pantai, mampu menjaga aliran sedimen sehingga mencegah erosi pantai dengan biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan

dengan *breakwater*. Namun, groins hanya efektif di area yang kecil dan dapat menyebabkan erosi di area sekitar. Untuk *revetment* memiliki keunggulan dalam pemanfaatan material alami yang ramah lingkungan, menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis dibandingkan *breakwater*. Meskipun demikian, *revetment* tidak seefektif *breakwater* dalam menahan hantaman gelombang dan memerlukan pemeliharaan berkelanjutan [12].

4. Kesimpulan

Berdasarkan data dan perencanaan struktur pemecah gelombang pada lokasi penelitian dapat ditarik kesimpulannya yaitu dari analisis data angin yang digunakan, didapatkan arah angin dominan yaitu berasal dari arah Barat Laut (NW). Dengan panjang *fetch* rerata adalah 4445 m. Struktur pemecah gelombang yang direncanakan memiliki lebar puncak 3,7 m, lebar dasar 21 m, tinggi bangunan 5 m dan kemiringan 1:1,5 (33,7°). Dengan spesifikasi lapisan yakni: Lapisan utama = W: 4.079 kg, t: 2,4 m, Lapisan kedua = W: 5.448 kg, t: 2,9 m, Lapisan inti = W: 1,3 - 27 kg.

Untuk merancang dan membangun struktur pemecah gelombang yang efektif dan ramah lingkungan, gunakan material lokal untuk mengurangi biaya dan mendukung perekonomian sekitar, dengan memastikan kualitas material yang sesuai standar. Selain itu, perlu dilakukan uji model fisik di laboratorium dan simulasi numerik untuk memastikan desain mampu menahan kondisi ekstrem.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada ULPLTU Sumbawa yang telah memberi izin untuk melaksanakan

kegiatan penelitian di Kawasan Pesisir ULPLTU Sumbawa.

Daftar Rujukan

- [1] Triatmodjo, B. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset, 2012.
- [2] Triatmodjo, B. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset, 1999.
- [3] Hakim, B. A., & Krisna, W. Efektifitas Penanggulangan Abrasi Menggunakan Bangunan Pantai di Pesisir Kota Semarang. 122-128. 2012.
- [4] Irawan, I., Fahmi, R., Roziqin, A. *Kondisi Pasang Hidro-Oseonografi (Pasang Surut, Arus Laut, Dan Geloombang) Pengairan Nongsa Batam*. Jurnal kelautan, vol. 11, no. 1. 2018.
- [5] Palmer, G. N., & Christian, C. D. Design and construction of rubble mound *breakwaters*. Transactions of the Institution of Professional Engineers New Zealand: Civil Engineering Section, 25(1), 19. 1998.
- [6] Natakusumah, D. K., Achiri, H., Nugroho, E. O., Hidayatulloh, S., Angelo, J., & Adinata, F. *Pengembangan PentaPod: Armor Beton Jenis Baru Untuk Pelindung Bangunan Pantai*. Jurnal Teknik Sumber Daya Air, vol. 3, no.2. 2023.
- [7] Arifandi, F. Y., dan Suharjoko. *Rancang bangun Material Penyusun Breakwater berbentuk Polypod*. Jurnal Sains dan Seni ITS, vol. 10, no. 1. 2021.
- [8] CERC. *Shore Protection Manual*. Us Army Coastal Engineering, Research Center, Washington, 1984.
- [9] Naiborhu, M. A., Purnawanti, Y., N., dan Kumalasari, S., D. *Desain dan Konstruksi Pemecah Gelombang Dengan Sisi Miring*. Jakarta. Jurnal Teknik Transportasi, No.2, Volume 1. 2020.
- [10] Diasa, I. W., Soriarta., I. K., Semarabawa, I. G. A. B. *Analisis Rencana Revetment Batu Armor Untuk Menanggulangi Kerusakan Pantai (Studi Kasus: Pantai Tegal Besar Kabupaten Klungkung)*. Jurnal Teknik Gradien, Vol. 14, no.1. 2022.
- [11] Mawardin, A., Rizky F., dan Kurniati, E. *Analisis Stabilitas Struktur Revetment di Pantai Jempol Labuhan Sumbawa*. Hexagon Jurnal Teknik dan Sains Fakultas Teknik Universitas Teknologi Sumbawa, vol. 2, no. 1. 2021.
- [12] Fajri, N. T. R., Jansen, T., dan Thambas, A. H. *Perencanaan Pemecah gelombang (Breakwater) Di Daerah Pantai Desa Saonek Kabupaten Raja Ampat Provinsi Papua Barat. Analisis Stabilitas Struktur Revetment di Pantai Jempol Labuhan Sumbawa*. Jurnal Sipil Statik, vol. 9, no. 4. 2021.



Perilaku Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Ekspansif Kabupaten Tangerang

Putera Agung Maha Agung¹, Aida Nurfitri², Aldo Wirastana Adinegara³, Zaindra Fakhri Salim⁴

^{1,3}Program Studi Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok-16425, Provinsi Jawa Barat, Indonesia

^{2,4}Program Studi Konstruksi Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok-16425, Jawa Barat, Indonesia

¹putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id, ²aida.nurfitri.ts21@mhs.w.pnj.ac.id, ³aldowirastana@gmail.com,

⁴zaindra.fakhri.salim.ts21@mhs.w.pnj.ac.id

Abstract

Expansive soil is a type of soil that often causes problems in construction due to its ability to swell and shrink due to fluctuations in moisture content. This study evaluates the behavior of an expansive soil sample from Kranggan Road, Cisauk Subdistrict, Tangerang Regency, using the laboratory unconfined compressive strength (UCT), including its physical properties. The unconfined compressive strength testing is needed to determine (q_u) values of expansive soils. Road damage due to the expansive soil would cause some cracks and/ or pavement surface damage in a short time. The research aims to find the deformation behavior based on the plasticity index (PI) and (q_u) value using PLAXIS 2D. The results show that the expansive soil could be classified as montmorillonite inorganic clay with a high value of plasticity index (PI) of 35.30%. Unconfined compression value was 3.53 kg/cm² and 2.89 kg/cm² in compacted and remoulded conditions, respectively. Magnitude of deformation during the rainy season indicated that a heave deformation of 0.14 mm and the settlement reached 0.47 mm with an SF value of 1.10. The maximum of a heave deformation value was 0.14 mm and 0.30 mm for settlement with a safety factor (SF) value of 1.30 during the dry season.

Keywords: Unconfined Compression Test, Expansive Soil, Plasticity Index, Heave, Settlement.

Abstrak

Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang sering menyebabkan masalah dalam konstruksi karena kemampuannya dalam mengembang serta menyusut akibat fluktuasi perubahan kadar air. Studi ini mengevaluasi perilaku contoh tanah ekspansif yang berasal Jalan Kranggan, Kecamatan Cisauk, Kabupaten Tangerang dengan menggunakan pengujian kuat tekan bebas di laboratorium termasuk sifat-sifat fisiknya. Pengujian kuat tekan bebas dibutuhkan untuk menentukan nilai kuat tekan (q_u) pada tanah ekspansif. Kerusakan jalan akibat tanah ekspansif menyebabkan retakan dan/ atau kerusakan permukaan perkerasan jalan dalam waktu singkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku deformasi berdasarkan nilai plastisitas indeks (PI) dan (q_u) dengan menggunakan PLAXIS 2D. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah ekspansif dapat diklasifikasikan sebagai dengan lempung montmorillonite anorganik dengan nilai tertinggi indeks plastisitas (PI) sebesar 35,30%. Uji kuat tekan bebas menghasilkan nilai kuat tekan bebas 3,53 kg/cm² dan 2,89 kg/cm² masing-masing pada kondisi dipadatkan (*compacted*) dan dibentuk kembali (*remoulded*). Besar deformasi saat musim hujan menunjukkan maksimum penonjolan ke atas (*heave*) 0,14 mm dan penurunan 0,47 mm dengan (FK) = 1,10. Besar penonjolan ke atas sebesar 0,14 mm dan penurunan sebesar 0,30 mm dengan nilai faktor keamanan (FK) = 1,30 selama musim kemarau.

Kata kunci: Uji Kuat Tekan Bebas, Tanah Ekspansif, Indeks Plastisitas, Heave, Settlement.

Diterima Redaksi : 2024-08-26 | Selesai Revisi : 2025-02-14 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Tanah merupakan komponen penting dalam suatu konstruksi yang menjadi dasar atau fondasi pada bangunan atau infrastruktur. Tanah memiliki karakteristik berbeda-beda tergantung pada lokasi geografis, topografi, iklim, organisme, waktu dan dapat

mempengaruhi kekuatan pada struktur yang dibangun di atasnya [1]. Salah satu permasalahan yang terjadi akibat dari karakteristik tanah yaitu pada Proyek perbaikan jalan Kranggan, Kecamatan Cisauk, Kabupaten Tangerang oleh Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kabupaten Tangerang. Kerusakan



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

jalan tersebut diakibatkan oleh permasalahan pada tanah yang diduga sebagai tanah ekspansif.

Tanah ekspansif merupakan tanah kembang-susut yang diakibatkan oleh fluktuasi perubahan kadar air, sehingga menyebabkan perubahan volume atau deformasi pada tanah [2]. Tanah ekspansif umumnya ditemukan pada wilayah beriklim tropis, yang mengalami perubahan cuaca yang mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air tanah. Indonesia mempunyai dua musim, yaitu musim hujan dan kemarau, pada saat musim hujan tanah ekspansif akan menyerap air lebih banyak yang mengakibatkan tanah mengembang dan menjadi lunak, sebaliknya apabila musim kemarau tanah mengalami penguapan sehingga menyebabkan tanah menyusut dan keras [3]. Proses mengembang dan menyusut pada tanah lempung ekspansif dapat memicu retakan yang dapat merusak struktur di atasnya [4]. Kerusakan/retakan tersebut disebabkan oleh pergerakan pada tanah [5].

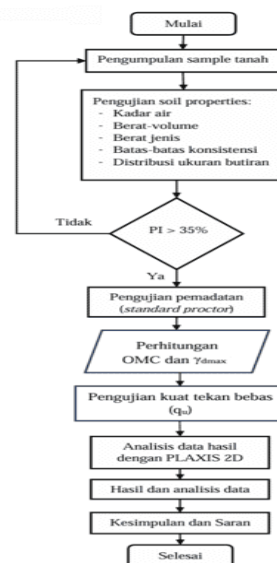
Permasalahan tersebut juga disebabkan oleh kandungan mineral *montmorillonite* dalam tanah, yang membuat tanah mudah menyerap dan melepaskan air dalam pori-porinya [6]. Selain itu, indeks plastisitas (PI) juga berperan dalam mempengaruhi sifat ekspansif tanah. Tanah dengan nilai indeks plastisitas (PI) lebih dari 35% dikategorikan sebagai tanah ekspansif [7]. Sifat ini dapat mempengaruhi beberapa parameter geoteknik, salah satunya adalah nilai kuat tekan bebas. Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk mengukur seberapa kuat tanah dapat menahan beban vertikal hingga tanah mengalami deformasi atau keruntuhan. Penelitian ini berfokus pada karakterisasi sifat fisik tanah, pengukuran nilai kuat tekan bebas (q_u) serta analisis deformasi yang terjadi ditinjau dari kedua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau.

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Pengujian awal dilakukan penelitian untuk mendapatkan karakteristik *index properties* tanah asli untuk memahami sifat-sifat fisik dan kandungan yang terdapat dalam sampel tanah dan dilakukan pengujian pemadatan dengan metode *standard proctor* untuk memperoleh kadar air optimum serta berat volume kering maksimum. Selanjutnya, dilakukan pengujian kuat tekan bebas dengan menggunakan sampel silindris yang diperoleh dari uji pemadatan dengan (*OMC*).

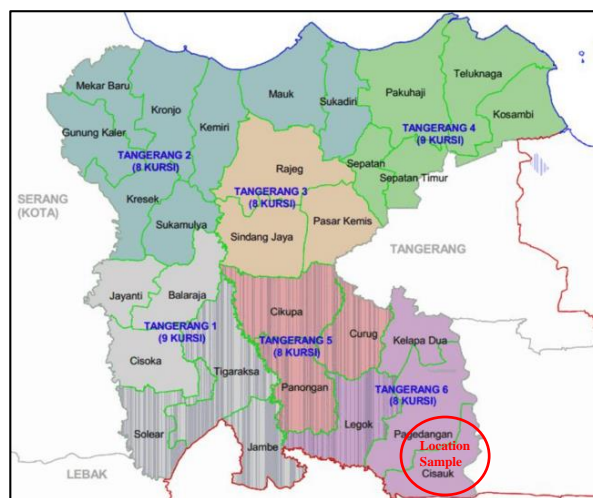
Dua jenis sampel diuji dalam pengujian ini, sampel pertama diambil dari hasil pemadatan (*compacted*) dan sampel kedua diambil dari sampel tanah cetak ulang (*remoulded*). Hasil dari pengujian ini adalah tegangan maksimum (q_u) yang dicapai oleh masing-masing sampel. Setelah dilakukan pengujian, dilakukan analisis deformasi yang terjadi ditinjau dari dua musim yaitu musim hujan dan kemarau dengan *software* PLAXIS 2D untuk simulasi deformasi dan faktor keamanan (*FK*). Berikut adalah diagram alir pada penelitian ini (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Lokasi Penelitian

Pada lokasi di Jalan Kranggan, Kecamatan Cisauk, Kabupaten Tangerang dilakukan pengambilan sample tanah untuk dilakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui sifat fisik serta sifat mekanik pada lokasi tersebut. Berikut merupakan lokasi pengambilan sampel pada Gambar 2 dan 3 [8].



Gambar 2. Peta Kabupaten Tangerang [8]

Kota Tangerang memiliki keadaan tanah yang relatif datar, namun di beberapa wilayah kecamatan terdapat kondisi keadaan tanah sengan lahan yang bergelombang yaitu pada beberapa wilayah di Kecamatan Ciputat Timur dan di perbatasan antara Kecamatan Pamulang dengan Kecamatan Setu. Sedangkan kondisi geologi di kota Tangerang Selatan pada umumnya merupakan batuan aluvium, yaitu terdiri dari batuan kerikil, kerakal, lanau, lempung, dan bongkah [9].



Gambar 3. Lokasi Studi Penelitian

2.3. Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel lapangan yaitu tanah terganggu (*disturbed*). Alat pengambilan sampel menggunakan cangkul, sekop, serta alat lainnya.

Pada alat pengujian laboratorium telah memenuhi standar yang ditetapkan ASTM (*American Society for Testing Materials*) yang terdiri dari:

- Kadar air (ASTM D 2216-19) [10]
- Berat jenis (ASTM D 854-14) [11]
- Berat-volume (ASTM D 2937) [12]
- Batas konsistensi (ASTM D 423 & D 424) [13]
- Analisa ukuran butir (ASTM D 422) [14]
- Pemadatan (ASTM D 698-07) [15]
- Kuat tekan bebas (ASTM D 2166-06) [16]

2.4 Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas adalah parameter mekanik yang digunakan untuk menentukan kekuatan tanah dalam menahan beban hingga mencapai titik keruntuhan. Pengujian ini termasuk dalam kategori pengujian triaksial tidak/belum terkonsolidasi dan tidak terdrainase (*unconsolidated undrained* atau UU) [17]. Kuat tekan bebas diukur sebagai beban aksial (pergerakan vertikal) per satuan luas hingga mencapai keruntuhan atau regangan 20% [18]. Dalam pengujian kuat tekan bebas, tanah ditekan secara aksial tanpa diterapkan tegangan sel (σ_3), sehingga pengujian ini hanya melibatkan beban aksial yang diberikan secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan seperti tampak pada Gambar 4. Dengan tegangan sel nol, keruntuhan tanah terjadi, maka:

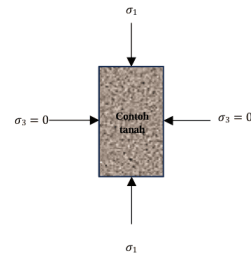
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \quad (1)$$

Terdapat perumusan nilai kuat tekan bebas (q_u):

$$q_u = \frac{P}{A} = \frac{k \cdot N}{A} \quad (2)$$

Dengan (q_u) adalah kuat tekan bebas [kg/cm^2], (P) adalah beban aksial maksimum [kg], (A) adalah luas

penampang maksimum [cm^2], (k) dan (N) adalah faktor kalibrasi dan hasil pembacaan (*div*) proving ring.



Gambar 4. Pengujian Kuat Tekan Bebas

2.5 Aktivitas (Activity atau A)

Dalam menilai potensi ekspansifitas tanah, ada dua metode utama yang dapat digunakan yaitu berdasarkan Plastisitas indeks (PI) atau dengan nilai aktivitas tanah (*activity*) [6]. Plastisitas indeks (PI) dapat memberikan gambaran mengenai sejauh mana tanah akan mengembang dan menyusut akibat perubahan air, sementara nilai aktivitas tanah berkaitan dengan jumlah mineral lempung yang ada dalam sampel tanah. Aktivitas (A) merupakan parameter antara batas-batas Atterberg dan kandungan lempung [6]. Menurut Seed et al [19], dengan merujuk pada Skempton [20] dengan melakukan perbandingan antara nilai indeks plastisitas dengan persen fraksi lempung lolos saringan $< 0,002$ mm pada pengujian hidrometer dikurangi dengan faktor reduksi = 10 dapat menentukan nilai aktivitas pada tanah lempung ekspansif.

$$A = \frac{PI}{C-10} \quad (3)$$

2.6 Sifat Fisik Tanah Ekspansif

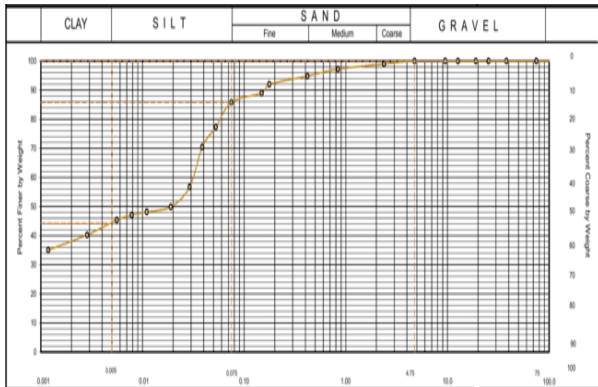
Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada Laboratorium Mekanika Tanah didapat hasil pengujian sifat fisik. Berikut merupakan hasil rekapitulasi pada hasil pengujian sifat fisik tanah.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik	Satuan	Nilai
Kadar Air (w_c)	%	40,436
Berat-volume		
Berat tanah kering (γ_d)	gr/cm ³	1,224
Berat tanah basah (γ_t)	gr/cm ³	1,719
Berat jenis butir (G_s)		2,648
Batas-batas konsistensi		
Batas cair, LL	%	67,850
Batas plastis, PL	%	32,550
Distribusi ukuran butir		
Pasir, S	%	14,200
Lanau, M	%	41,560
Lempung, C	%	44,240
Klasifikasi berdasarkan AASHTO		A-7-5
Klasifikasi berdasarkan USCS		CH

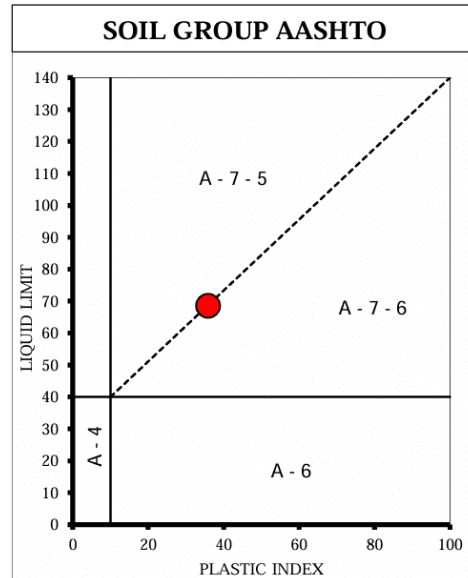
Hasil penelitian sifat fisik (Tabel 1) menunjukkan kadar air rata-rata (w_c) = 40,44%, dengan nilai batas cair (LL) = 67,85 % dan nilai batas plastis (PL) = 32,55%.

Distribusi ukuran butir menunjukkan bahwa tanah tersebut didominasi oleh lempung, dengan persentase lempung sebesar 44,24%, lanau sebesar 41,56%, dan pasir sebesar 14,20%. Dengan persentase total butiran halus sebesar 85,80% tanah ini diklasifikasikan sebagai tanah berjenis *clayey silty sandy*.



Gambar 1. Grafik analisis ukuran butiran

struktur badan jalan menjadi rusak dan sulit untuk dilintasi oleh kendaraan. Dengan demikian, lapisan tanah lempung ekspansif telah banyak menelan biaya konstruksi perbaikan yang sangat besar.



Gambar 2. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Sifat Fisik Tanah

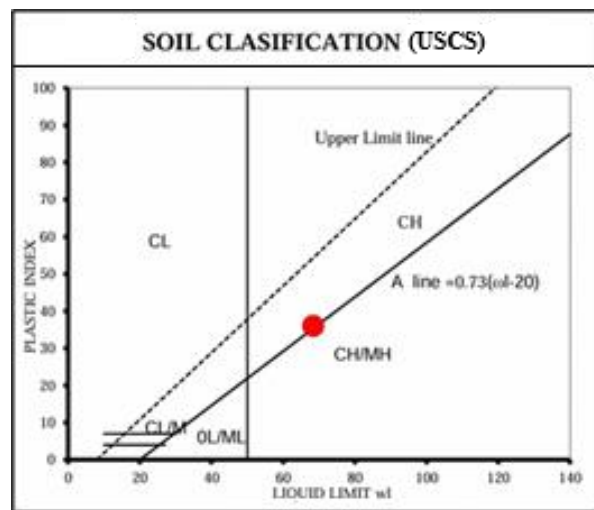
Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik yang dilakukan di laboratorium telah dilaksanakan sesuai dengan standar ASTM, menggunakan klasifikasi tanah AASHTO serta USCS. Dari hasil karakteristik sifat fisik, di peroleh nilai plastisitas indeks (PI) dan tingkat aktivitas tanah (*activity*) untuk memberikan gambaran mengenai potensi ekspansifitas tanah tersebut.

Tabel 2. Hasil plastisitas indeks (PI) dan aktivitas tanah (A)

Plastisitas Indeks (PI) (%)	Aktivitas (A)
35,30	1,31

Berdasarkan Tabel 2, nilai plastisitas indeks (PI) diperoleh dari pengujian batas konsistensi (*Atterberg limits*) dengan menghitung selisih antara nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL), hasil (PI) didapat sebesar 35,30%. Menagacu pada grafik klasifikasi AASHTO yang ditunjukkan pada Gambar 6 dengan mengkorelasikan nilai batas cair (LL) dan plastisitas indeks (PI), tanah dikategorikan sebagai ($A-7-5$) yang menunjukkan bahwa sampel tersebut merupakan tanah berlempung. Menurut klasifikasi USCS pada Gambar 7 tanah ini berada di atas garis A (A -Line) dengan nilai (LL) > 50% dan dengan (PI) > 35%, sehingga tanah tersebut diklasifikasikan sebagai (CH), yang berarti lapisan lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

Dari kedua klasifikasi tersebut dapat diketahui bahwa lapisan tanah di daerah studi dikelompokkan dalam lempung ekspansif yang sangat sensitif. Dalam beberapa tahun terakhir, lapisan tanah lempung ini telah membuat



Gambar 3 Klasifikasi tanah berdasarkan USCS

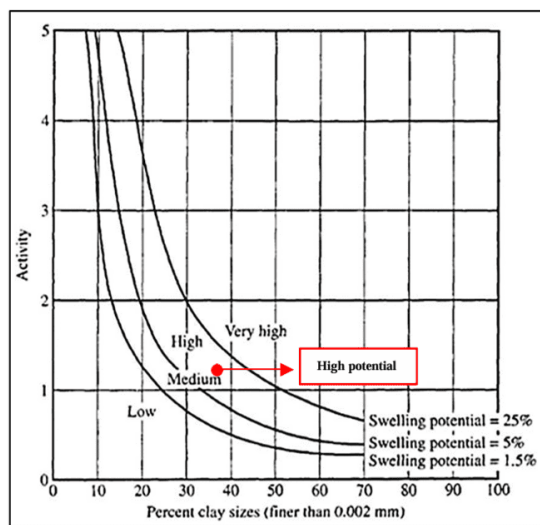
Identifikasi tanah ekspansif dapat dilihat juga dari nilai aktivitas (*activity*). Berdasarkan Persamaan (3) hasil nilai aktivitas (A) di dapat 1,307 menunjukkan nilai aktivitas tersebut, tanah dinyatakan reaktif terhadap perubahan kadar air dan diidentifikasi mengandung mineral *montmorillonite* yang memiliki nilai aktivitas berkisar antara 1-7 [20].

Tabel 3. Hubungan aktivitas dengan kandungan mineral [20]

Mineral	Aktivitas (A)
<i>Kaolinite</i>	0,4 – 0,5
<i>Illite</i>	0,5 – 1,0
<i>Montmorillonite</i>	1,0 – 7,0

Keterangan:

Angka pada mineral Montmorillonite ditandai untuk menunjukkan bahwa nilai aktivitas hasil perhitungan (1,307) berada dalam rentang ini, yang mengindikasikan keberadaan mineral montmorillonite dalam sampel tanah yang diuji.



Gambar 4. Grafik potensi pengembangan [21]

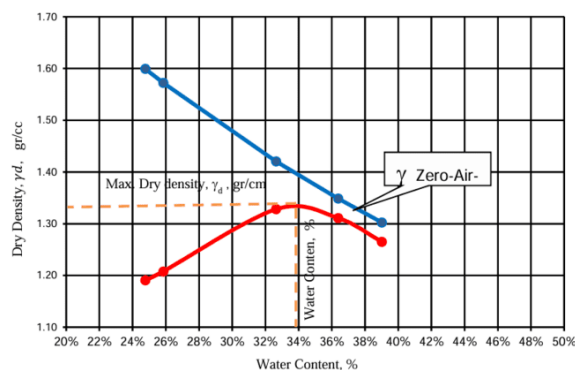
Korelasi untuk menentukan tingkat potensi pengembangan pada tanah dengan mengkorelasikan nilai aktivitas dengan persen lolos fraksi butiran lempung < 0,002 mm [7]. Hasil analisis pada Gambar 8 menyatakan bahwa pada sampel tersebut memiliki potensi pengembangan yang tinggi [22]. Berdasarkan hasil pada penentuan sifat fisik pada tanah lempung, dapat diidentifikasi bahwa sampel tanah merupakan tanah ekspansif lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, memiliki nilai plastisitas indeks (PI) > 35%, batas cair (LL) > 50%, serta nilai aktivitas > 1,25 dengan tingkat pengembangan tinggi.

3.2. Persiapan Sampel Kuat Tekan Bebas

Penelitian ini menggunakan sampel tanah terganggu (*disturbed*) yang diambil dari kedalaman 1,5 m. Sampel untuk pengujian kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) diperoleh dari pengujian pemadatan menggunakan metode *standar proctor* pada kadar air optimum (OMC). Untuk mendapatkan OMC , pengujian pemadatan dilakukan dengan variasi kadar air, yaitu 14%, 18%, 22%, 26%, dan 30%. Hasil pengujian pemadatan ditunjukkan pada Gambar 9, menunjukkan bahwa OMC sebesar 33,95%, dengan berat volume kering maksimum (γ_{dmax}) sebesar = 1,35 gr/cm³.

Sampel kuat tekan bebas dilakukan menggunakan sampel dengan diameter 3,8 cm dan tinggi 7,6 cm atau dua kali diameter sampel. Pengukuran dilakukan tiga kali untuk mendapatkan rata-rata diameter dan tinggi sampel yang akurat. Pada penelitian ini, digunakan dua jenis sampel yaitu sampel yang dipadatkan (*compacted*) dan sampel cetak ulang (*remoulded*) yang keduanya diambil pada kadar air optimum dari hasil pengujian pemadatan. Sampel pemadatan (*compacted*) dicetak

sesuai ukuran silinder dengan penekanan pada sampel pemadatan, sementara sampel cetak ulang (*remoulded*) diambil dari sampel pemadatan namun dicetak ulang dan tidak langsung diambil dari hasil pemadatan awal. Setelah proses pencetakan, permukaan atas dan bawah benda uji dilapisi dengan kertas sesuai dengan diameter benda uji untuk memastikan distribusi beban merata. Selanjutnya, pengukuran tinggi dan diameter dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata pengukuran. Berat benda uji ditimbang untuk mengetahui massa benda uji sebelum pengujian.



Gambar 5. Kurva pengujian pemadatan (*standard proctor*)

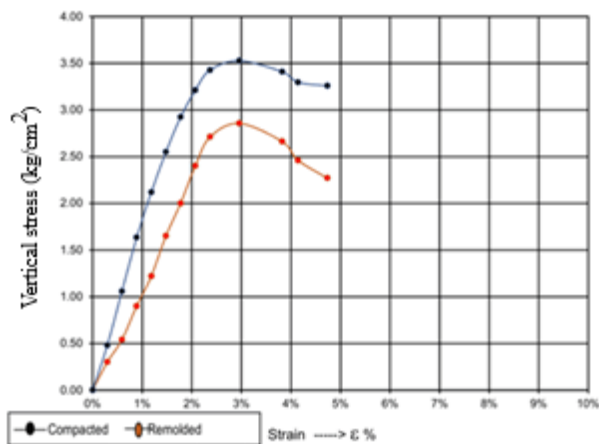
Benda uji kemudian diletakkan pada alat kuat tekan bebas (*unconfined compression test*), dimana beban aksial (vertikal) diterapkan dengan laju regangan 0,900 mm permenit. Selama pengujian, perubahan volume benda uji dicatat melalui pembacaan pada proving ring sesuai dengan interval waktu yang ditentukan. Pengujian dilanjutkan hingga terjadi keruntuhan pada sampel, yang ditandai dengan penurunan nilai proving ring sebanyak tiga kali berturut-turut atau hingga regangan mencapai 20%. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung perubahan tinggi, persen regangan, dan area terkoreksi, yang akhirnya menghasilkan nilai kuat tekan bebas (q_u) dari sampel.

3.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

Dalam penelitian ini, pengujian kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) dilakukan pada dua sampel tanah yang sebelumnya telah melalui pengujian pemadatan menggunakan metode pemadatan standar (*standard proctor*) untuk menentukan kepadatan kering maksimum (γ_{dmax}) dan kadar air optimum (OMC). Setelah proses pemadatan, kedua sampel tersebut dicetak menggunakan cetakan silinder khusus yang sesuai dengan standar pengujian kuat tekan bebas dilaksanakan untuk mengevaluasi karakteristik kekuatan dan deformasi tanah pada kondisi tanpa penahan lateral, sehingga diperoleh data yang dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas dan perilaku mekanik tanah lempung ekspansif yang sangat sensitif.

Uji kekuatan bebas (*unconfined compression test*) adalah salah satu pengujian mekanik yang sederhana. Pengujian kuat tekan bebas ini, hampir mirip dengan

pengujian triaksial, namun tegangan deviator (σ_h) dianggap sama dengan nol. Dalam penelitian, kuat tekan bebas sangat bermanfaat untuk menilai kemampuan kekuatan geser di dalam menerima kondisi basah atau kering (*wet-dry condition*) pada saat musim hujan dan musim kemarau. Reduksi dari kekuatan geser ini harus terukur sebagai acuan stabilisasi nantinya.



Gambar 6. Kurva pengujian kuat tekan bebas

Berdasarkan hasil grafik pengujian kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) (Gambar 10), terlihat perbedaan respons antara sampel 1 tanah yang dipadatkan (*compacted*) dan sampel 2 yang dicetak ulang (*remoulded*). Secara umum, pola tegangan-regangan untuk kedua jenis sampel menunjukkan peningkatan tegangan seiring dengan peningkatan regangan hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun seiring dengan bertambahnya regangan. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa nilai tegangan deviator maksimum (q_u) untuk sampel 1 (*compacted*) lebih tinggi dibandingkan dengan sampel 2 (*remoulded*). Sesuai dengan Persamaan (2) pada sampel ini tegangan maksimum yang dicapai oleh sampel 1 (*compacted*) adalah 3,53 kg/cm² pada regangan sekitar 2,96%. Sementara itu, tegangan maksimum untuk sampel 2 (*remoulded*) sebesar 2,75 kg/cm² pada persentase strain yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemadatan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kekuatan tanah, dengan tanah yang dipadatkan mampu menahan tegangan yang lebih besar sebelum mengalami keruntuhan dibandingkan dengan tanah yang hanya dicetak ulang tanpa pemadatan. Perlu diperhatikan perubahan sifat mekanik dari kondisi asli setelah pemadatan dengan kondisi sebelum pemadatan.

Tabel 4. Hasil tegangan maksimum (q_u) pada uji kuat tekan bebas

Regangan (strain) %	Sampel 1 kg/cm ²	Sampel 2 kg/cm ²
2,96	3,53	2,89

Penurunan tegangan setelah mencapai puncaknya juga berbeda antara kedua jenis sampel. Sampel 1 (*compacted*) menunjukkan penurunan tegangan yang lebih lambat, sementara sampel 2 (*remoulded*) mengalami penurunan yang lebih cepat, yang menunjukkan bahwa sampel *remoulded* lebih cepat mengalami keruntuhan. Hal ini mengindikasikan bahwa kepadatan dan kondisi awal sampel mempengaruhi perilaku mekanik tanah ekspansif.

Tanah yang dipadatkan dengan benar akan memiliki kapasitas menahan beban lebih baik dan risiko keruntuhan yang lebih rendah. Selain itu, pengendalian kadar air selama proses pemadatan untuk mencapai kadar air optimum (*OMC*) berpengaruh dalam meningkatkan kuat tekan bebas tanah.

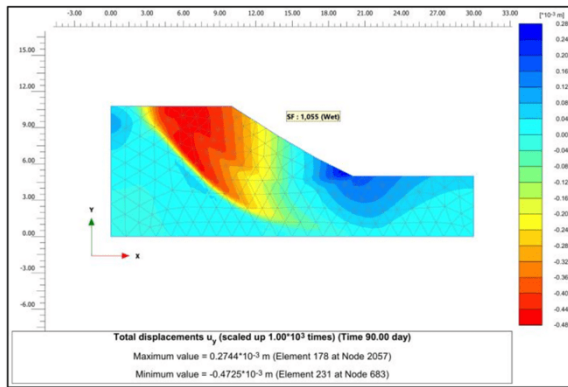
3.4 Analisis Deformasi Menggunakan Plaxis 2D

Pada analisis ini dilakukan pemodelan deformasi yang terjadi pada lereng berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan sifat mekanik pada tanah lempung ekspansif, dengan menggunakan metode elemen hingga. Analisis deformasi ditinjau dari 2 musim yaitu pada musim penghujan (*wet*) dan musim kemarau (*dry*). Berikut parameter-parameter yang digunakan dalam analisis deformasi dengan *software* PLAXIS 2D.

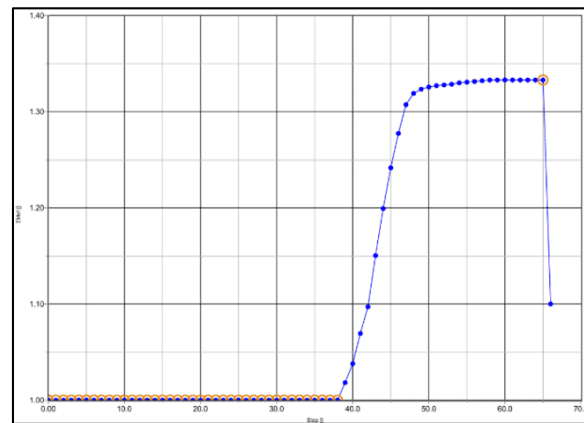
Tabel 5. Parameter input *software* PLAXIS 2D

Analisis Parameter	Musim hujan	Musim kemarau
Berat-volume kering, γ_{dry} (kN/m ³)	17,20	12,24
Berat-volume basah, γ_{wet} (kN/m ³)	19,62	17,19
Kohesi (c) (kN/m ²)	8,34	8,78
Sudut geser dalam, ϕ (°)	17,98	18,30
Tegangan, σ (kN/m ²)	101,33	101,33
Tegangan geser, S_u (kN/m ²)	41,22	42,30
Modulus elastisitas, E_s (kN/m ²)	20607,81	21147,62
Koef. gesek antar tanah, μ_s (kN/m ²)	0,40	0,30
Fraksi lempung lolos < 0,002 mm (%)	37,58	37,58
Fraksi lempung 0,002 - 0,050 mm (%)	75,97	75,97

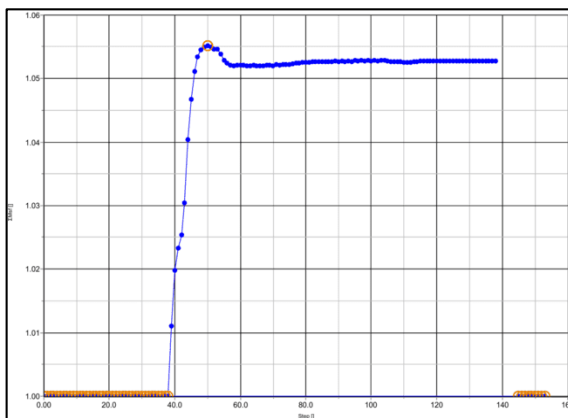
Analisis yang dilakukan dalam pemodelan ini yaitu dengan analisis konsolidasi serta deformasi yang terjadi menggunakan *software* PLAXIS 2D dengan metode elemen hingga. Analisis dilakukan dengan mengetahui deformasi konsolidasi pada sumbu y saja atau vertikal, sesuai dengan pengujian kuat tekan bebas. Analisis ditinjau bagaimana perubahan atau deformasi yang terjadi selama 90 hari. Berdasarkan hasil Gambar 11 dan 12, pada kondisi konsolidasi arah sumbu y pada musim penghujan, deformasi maksimum (pengangkatan tanah) sebesar 0,274 mm dan deformasi minimum (penurunan tanah) sebesar -0,473 mm, dengan nilai faktor keamanan kritis pada musim penghujan sebesar 1,055.



Gambar 7. Pemodelan deformasi konsolidasi musim hujan



Gambar 10. Kurva faktor keamanan pada musim kemarau



Gambar 8. Kurva faktor keamanan pada musim hujan

Tabel 6. Rekapitulasi deformasi konsolidasi & Faktor keamanan (FK)

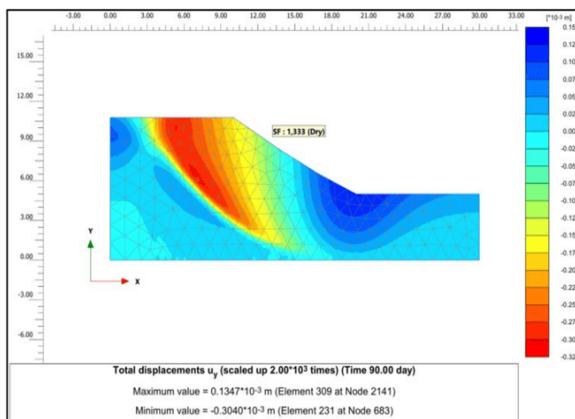
Musim	Deformasi		FK
	Maksimum mm	Minimum mm	
Hujan	0,274	-0,473	1,055
Kemarau	0,135	-0,304	1,333

Berdasarkan hasil pengujian deformasi konsolidasi (Tabel 6), terlihat bahwa pada musim hujan terjadi deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan musim kemarau. Kondisi ini mengakibatkan penurunan nilai safety factor, yang menunjukkan bahwa tanah menjadi tidak stabil pada musim hujan. Sebaliknya, pada musim kemarau, deformasi yang lebih kecil mengindikasikan bahwa tanah berada dalam kondisi lebih stabil dengan nilai faktor keamanan (FK) yang lebih tinggi.

Berdasarkan hasil analisis deformasi konsolidasi pada musim kemarau arah y (vertikal) pada Gambar 13 dan 14, terjadi pengangkatan tanah atau deformasi maksimum sebesar 0,135 mm dan penurunan tanah atau deformasi minimum sebesar -0,304 mm dengan nilai faktor keamanan kritis sebesar 1,333. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa faktor keamanan (FK) menurun secara drastis dalam musim hujan, dampak yang ditimbulkan adalah kerusakan infrastruktur yang berada di atasnya dan perbedaan ini menjadi dasar proses stabilisasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, tanah di lokasi Jl. Kranggan, Kecamatan Cisauk, Kabupaten Tangerang, dikategorikan sebagai tanah lempung ekspansif yang memiliki kandungan mineral *montmorillonite*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai plastisitas indeks (IP) yang melebihi 35% dan nilai aktivitas (*activity*) lebih dari 1,25. Selain itu, kondisi ini juga didukung oleh dominasi butiran halus yang lolos saringan No. 200 dengan persentase lebih dari 50%, sehingga tanah ini diklasifikasi sebagai tanah lempung anorganik dengan tingkat plastisitas dan potensi pengembangan tinggi. Nilai kuat tekan bebas (q_u) yang diperoleh dari sampel yang dipadatkan (*compacted*) mencapai 3,53 kg/cm², sedangkan sampel cetak ulang (*remoulded*) menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 2,89 kg/cm². Dengan (FK) sebesar 2,96%, hasil ini menunjukkan bahwa tanah yang dipadatkan memiliki kemampuan menahan keruntuhan yang lebih baik dibandingkan dengan tanah yang tidak dipadatkan. Analisis deformasi menunjukkan bahwa pada musim hujan, deformasi maksimum sebesar 0,274 mm dan deformasi minimum -0,473 mm, yang lebih besar dibandingkan dengan musim kemarau dimana deformasi maksimum adalah 0,135 mm dan deformasi minimum



Gambar 9. Pemodelan deformasi konsolidasi musim kemarau

sebesar -0,304 mm. Kondisi ini menyebabkan nilai (*FK*) pada musim hujan hanya sebesar 1,055 yang menunjukkan kondisi tanah yang tidak stabil. Sebaliknya, pada musim kemarau, nilai (*FK*) meningkat menjadi 1,333, menandakan bahwa tanah lebih stabil pada kondisi tersebut.

Daftar Rujukan

- [1] Environment and History, "The Origins of the Russian Chernozem Soil (Black Earth): Franz Joseph Ruprecht's 'Geobotanical Researches into the Chernozem' of 1866," *Environ. Hist. Environ. Hist. This J. doesn't have a profile Res. yet. Interest. this journal? Get Notif. when it Act. its profile, start Get. Updat. I'm Interest.*, vol. 16, no. 13, pp. 271–293, 2010.
- [2] A. Tugan Sudjianto, K. Basah Suryolelono, A. Rifa'i, and I. B. Mochtar, "The Effect of Water Content Change and Suction in Behaviour Volumetric Swelling of Expansive Soil," *Din. Tek. SIPIL*, vol. 11, pp. 188–193, 2011.
- [3] L. D. Jones and I. Jefferson, "Expansive soils," *ICE Man. Geotech. Eng. Second Ed.*, vol. 1, pp. 447–477, 2012.
- [4] H. G. Poulos and E. H. Davis, *Pile Foundation Analysis and Design*, Geotechnic., vol. 36, no. 3. 1980.
- [5] R. W. Day, *Foundation Engineering Handbook*. 2006.
- [6] J. D. Nelson, K. C. Chao, D. D. Overton, and E. J. Nelson, *FOUNDATION ENGINEERING FOR EXPANSIVE SOILS*, 1 st. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015.
- [7] F. H. Chen, *FOUNDATIONS ON EXPANSIVE SOILS*, no. 0. Amsterdam ; New York : Elsevier Scientific Pub. Co., 1975.
- [8] Komisi pemilihan umum pemilu, "Peta Wilayah Kabupaten Tangerang," 2014. .
- [9] Sucipta, "PEMETAAN GEOLOGI LINGKUNGAN KAWASAN PUSPIPTEK SERPONG DAN SEKITARNYA SEBAGAI PENYANGGA TAPAK DISPOSAL DEMO," *J. Waste Manag. Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 31–42, 2014.
- [10] ASTM, *Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. U.S, 2019.
- [11] ASTM D854-14, *Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. 2014.
- [12] ASTM D 2937 - 04, *Standard Test Method for Density of Soil in Place by the Drive-Cylinder Method (ASTM D 2937 - 04)*. 2004, pp. 1–5.
- [13] ASTM D424, *Standard Test Method for Plastic Limits and Plasticity Index of Soils*. .
- [14] ASTM D422-63, "Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils," *Astm*, vol. D422-63, no. Reapproved, pp. 1–8, 2007.
- [15] ASTM D 698-07, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lb/ft³ (600 kN-m/m³)) 1*, vol. 3. 2007, pp. 1–13.
- [16] ASTM D2166-06, *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, vol. i. 2006, pp. 6–8.
- [17] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*. 2002.
- [18] F. Hidayat, S. Agus Nugroho, and F. Fatnanta, "Karakteristik Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Terhadap Perubahan Kadar Air dan Tebal Lapisan Pematatan," *Fteknik*, vol. 5, pp. 1–9, 2018.
- [19] H. B. Seed, R. J. Woodward, and R. Jr. and Lundgren, "Prediction of swelling potential for compacted clays," *J. ASCE, Soil Mech. Found. Div.*, vol. 88, pp. 53–87, 1962.
- [20] A. W. Skempton, "The Colloidal 'Activity' of Clays," *Sel. Pap. Soil Mech.*, vol. 1, pp. 57–61, 1953.
- [21] H. B. Seed, R. J. Woodward, and R. Lundgren, "Prediction of Swelling Potential and Pressure in Compacted Clay," *J. Soil Mech. Found. Div.*, vol. 88, pp. 107–131, 1962.
- [22] F. H. Chen, *Foundations on Expansive Soils.*, 1st ed. Elsevier Science Ltd, 1975.



Pengaruh Perbandingan Kapur dan Abu Ampas Tebu sebagai Perbaikan Tanah Lempung

Yustika Dwi Nurmawati¹, Dora Melati Nurita Sandi², Eva Olivia Hutasoit³

¹Teknik Sipil, Teknik, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹yustikadwi86@gmail.com, ²doranurita@poliwangi.ac.id, ³eva.oliviahutasoit@poliwangi.ac.id

Abstract

The formation of microscopic and submicroscopic-sized particles identified as clay soil results from the chemical transformation of the constituent elements of plastic rock in areas of moderate to significant water content. In Tapanrejo village, Muncar district, Banyuwangi Regency is evidenced by the emergence of an expansive phenomenon which causes damage to the construction above in the form of cracks in house walls and uneven ground elevation. The unconfined compression test method, or UCT (Unconfined Compression Test), will be used for this experiment to add clay soil stabilization material. This type of test will directly produce pressure, which directly provides an approach to the bearing capacity of soil quality. This test aims to determine the effect of a mixture of lime and bagasse ash on the carrying capacity of the soil as an alternative for soil improvement by making variations in the lime mixture of 10%, 12%, and 14% and in bagasse ash of 10%, 12%, and 14%. Based on the results of the free compressive strength test where the variation of the lime mixture with a percentage of 10% produces the highest compressive strength value of all variations and it can be said that the 10% lime mixture can increase the soil bearing capacity value where the mixture of soil and lime with a percentage of 10% gets the value q_u was 106.99 kN/ (kPa). When mixing original soil and 10% bagasse ash, the highest value was obtained with a q_u value of 77.07 kN/ (kPa). And when mixing original soil + lime + bagasse ash, the highest value was at a 10% variation of 78.58 kN/ (kPa).

Keywords: Bagasse Ash, Lime, Soil Stabilization, UCT.

Abstrak

Tanah lempung bila dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat. Tanah pada Desa Tapanrejo, Kecamatan Muncar, Kabupaten Banyuwangi dibuktikan munculnya fenomena ekspansif yang menyebabkan kerusakan konstruksi di atasnya berupa keretakan pada dinding rumah dan elevasi tanah yang tidak merata. Pada penelitian ini akan dilakukan penambahan bahan stabilisasi tanah lempung dengan menambahkan campuran kapur dan abu ampas tebu menggunakan pengujian dengan metode uji kuat tekan bebas atau UCT (Unconfined Compression Test) dimana metode pengujian ini akan langsung menghasilkan tekanan yang langsung memberikan pendekatan terhadap daya dukung kualitas tanah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran kapur dan abu ampas tebu terhadap kuat tekan bebas tanah sebagai salah satu alternatif perbaikan tanah dengan dibuat variasi campuran kapur sebesar 10%, 12 %, dan 14% untuk abu ampas tebu sebesar 10%, 12 %, dan 14%. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan bebas dimana pada variasi campuran kapur dengan presentase 10% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi dari semua variasi dan bisa dikatakan bahwa pada campuran kapur 10% dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah dimana pada pencampuran tanah dan kapur dengan presentase 10% mendapatkan nilai q_u sebesar 106,99 kN/m² (kPa). Pada pencampuran tanah asli dan abu ampas tebu 10 % diperoleh nilai tertinggi dengan hasil nilai q_u sebesar 77,07 kN/m² (kPa). Dan pada pencampuran tanah asli + kapur + abu ampas tebu nilai tertinggi yaitu pada variasi 10% sebesar 78.58 kN/m² (kPa).

Kata kunci: Abu Ampas Tebu, Kapur, Stabilisasi Tanah, UCT.

Diterima Redaksi : 2024-09-09 | Selesai Revisi : 2024-11-12 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan yang bersifat plastis dalam selang kadar air

sedang sampai luas [1]. Tanah lempung juga mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Sifat khas dari tanah lempung bila dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat,



sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air [2]. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat tanah yaitu dengan cara melakukan stabilisasi. Dalam penelitian ini bahan stabilisasi yang digunakan yaitu kapur dan abu ampas tebu dimana kapur dipilih karena memiliki sifat yang cukup baik dalam mengikat partikel-partikel tanah sehingga dapat meningkatkan kekuatan tanah dan penambahan kapur pada tanah lempung juga dapat mereduksi plastisitas tanah, dan mengurangi penyerapan air dan pengembangan (*swelling*) yang diakibatkan oleh air. Dan abu ampas tebu dipilih karena secara fisik memiliki sifat lepas sehingga dapat berfungsi sebagai filter yang bertujuan mengisi pori antar butiran tanah agar lebih stabil dan abu ampas tebu juga dapat mencegah penyerapan air [3]. Berdasarkan uraian diatas salah satu cara untuk memperbaiki sifat tanah yaitu dengan cara melakukan stabilisasi. Pada penelitian ini akan dilakukan penambahan bahan stabilisasi tanah lempung dengan menambahkan campuran kapur dan abu ampas tebu menggunakan pengujian dengan metode uji kuat tekan bebas atau *UCT (Unconfined Compression Test)* dimana metode pengujian ini akan langsung menghasilkan tekanan yang langsung memberikan pendekatan terhadap daya dukung kualitas tanah [4]. Penelitian-penelitian terkait stabilisasi tanah lempung banyak dilakukan oleh beberapa author, salah satunya adalah stabilisasi tanah lempung menggunakan kapur tohor. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai mendapatkan persentase yang efektif dalam penambahan kapur tohor, dan pengaruh penambahan kapur terhadap perubahan sifat fisis tanah dari segi nilai CBR (California Bearing Ratio) terhadap lama waktu pemeraman [5]. Penelitian serupa terkait stabilisasi tanah lempung menggunakan abu sekam padi dan kapur, metode yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian CBR dan potensi pengembangan pada tanah asli dan tanah yang distabilisasi [6]. Penelitian perbaikan tanah menggunakan metode stabilisasi dilakukan dengan menggunakan semen dan renolith. Metode penelitiannya adalah dengan melakukan pengujian berat jenis tanah, indeks plastisitas, CBR, UCS dan direct shear tanah asli dan tanah stabilisasi [7]. Penelitian serupa dilakukan pada tahun 2022, terkait stabilisasi tanah lempung menggunakan bubuk arang kayu, dimana metode perbaikan tanah dengan menggunakan bahan stabilisator bubuk arang kayu dipilih karena dapat memperbaiki sirkulasi air dan udara dalam tanah. Penelitian ini menggunakan penambahan persentase bubuk arang kayudari berat contoh tanah sebesar 0%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14% [8]. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran kapur dan abu ampas tebu terhadap daya dukung tanah sebagai salah satu alternatif perbaikan tanah dengan dibuat variasi campuran kapur sebesar 10%, 12 %, dan 14% untuk abu ampas tebu sebesar 10%, 12 %, dan 14% menggunakan pengujian kuat tekan bebas atau *UCT (Unconfined Compression Test)* dengan masa pemeraman selama 14 hari.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan tahap mengidentifikasi latar belakang permasalahan pada daerah studi kasus yanag menjadi focus penelitian. Selanjutnya melakukan studi literatur yang mendukung penelitian.

2.1 Pengambilan Benda Uji

Pada pengambilan benda uji sampel tanah yang akan diambil sesuai dengan titik penelitian terdahulu yaitu di daerah Desa Tapanrejo, Kecamatan Muncar, Kabupaten Banyuwangi, dimana tanah pada lokasi tersebut masuk kedalam klasifikasi jenis tanah SM (pasir lanauan) – MH (lanau berplastisitas tinggi hingga sangat tinggi) dan benar dibuktikan munculnya fenomena ekspansif yang menyebabkan kerusakan konstruksi diatasnya. Tanah yang akan diambil berada pada jarak 500 cm dari rumah yang mengalami kerusakan cukup parah dan sampel tanah yang akan diambil menggunakan cangkul merupakan tanah terganggu yang berada pada kedalaman 60 – 120 cm sebanyak 1 titik.

2.2 Bahan campuran stabilisasi

Pada penelitian ini akan menggunakan bahan campuran kapur dan penelitian ini juga menggunakan bahan campuran abu ampas tebu sebagai bahan stabilisasi. Kapur yang digunakan adalah jenis kapur bubuk dan abu ampas tebu yang akan digunakan sebagai bahan stabilisasi harus dilakukan pembakaran pertama dengan menggunakan tong besi dan pembakaran dilakukan tanpa mengenai api pada ampas tebu, dan hasil dari pembakaran pertama lalu akan dilakukan pembakaran ulang dengan lama pengovenan selama 3 jam menggunakan suhu 400^oC.

2.3 Pencampuran tanah asli dengan bahan stabilisasi

Sampel tanah lempung yang telah dicampur oleh masing-masing bahan tambah akan dilakukan pemeraman selama 14 hari karena dengan waktu 14 hari cukup untuk membuat campuran tanah asli dengan bahan stabilisasi berupa kapur dan juga abu ampas tebu telah memadat sebelum sempat terjadi penggumpalan dan rongga antar partikel tanah juga menjadi padat. Sampel tanah akan dilakukan pemeraman dengan cara tanah asli dan masing masing campuran dimasukan kedalam plastik dan jangan sampai terkena udara luar. Setelah dilakukan waktu pemeraman yaitu selama 14 hari maka tanah dan bahan tambah hasil pemeraman akan dicetak kedalam *mold* benda uji lalu akan dilakukan pengujian kuat tekan bebas.

2.4 Pengujian sifat mekanis

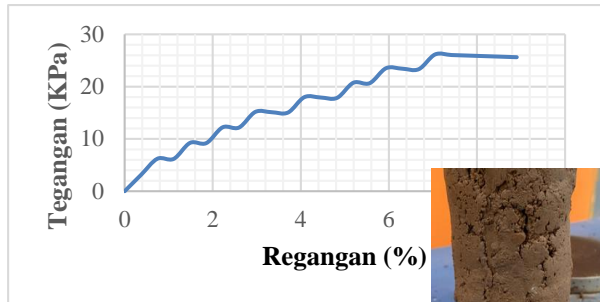
Pengujian kuat tekan bebas atau *UCT (Unconfined Compression Test)* dilakukan untuk meningkatkan daya dukung tanah lempung pada Desa Tapanrejo. Pengujian kuat bebas dilakukan berdasarkan SNI 3638:2012.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sifat Mekanik

A. Tanah Asli

Grafik nilai maksimum hasil dari pengujian kuat tekan bebas tanah asli. Nilai paling optimal kuat tekan bebas tanah didapatkan nilai tegangan 26.16 kN/m² (kPa) dengan regangan 7.048 %.

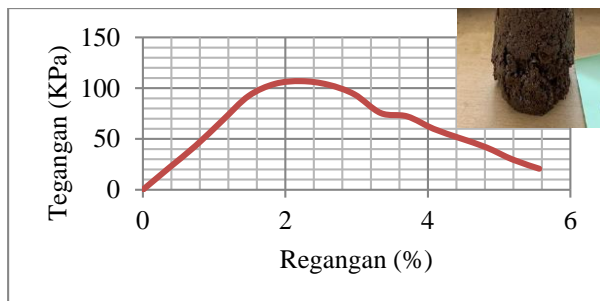


Gambar 1. Grafik Tanah Asli

Gambar 1 menunjukkan hasil pengujian UCT untuk tanah asli, dimana tegangan dan regangan menunjukkan peningkatan yang linier dan tidak begitu tampak adanya penurunan tegangan yang menandakan terjadi keruntuhan tanah.

B. Tanah Asli + Kapur 10%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan kapur presentase 10% didapatkan nilai tegangan 106.99 kN/m² (kPa) dengan regangan 2.226 %.

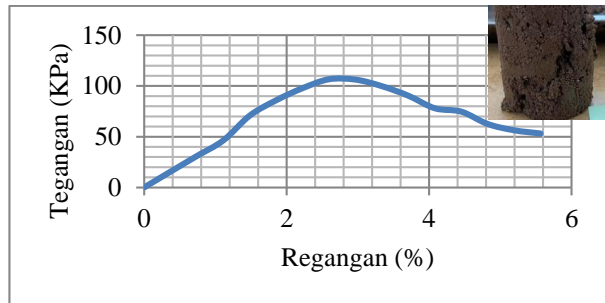


Gambar 2. Grafik Tanah Asli + Kapur 10%

Gambar 2 merupakan hasil UCT pada tanah asli yang distabilisasi kapur 10%. Dimana tegangan berada pada puncaknya di nilai 106.99 KPa, kemudian terjadi penurunan tegangan yang menandakan terjadi keruntuhan tanah. Hal tersebut dapat diidentifikasi dari nilai tegangan yang turun namun regangan tetap meningkat.

C. Tanah Asli + Kapur 12%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan kapur presentase 12% didapatkan nilai tegangan 106.59 kN/m² (kPa) dengan regangan 2.597 %.

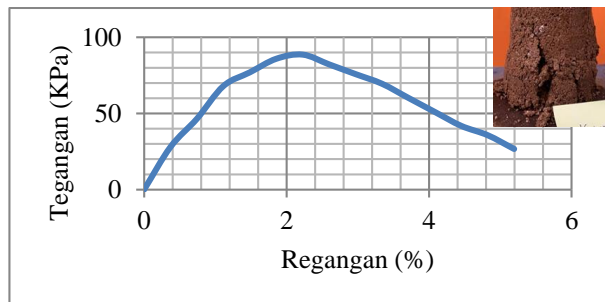


Gambar 3. Grafik Tanah Asli + Kapur 12%

Gambar 3 merupakan grafik hasil UCT pada tanah yang distabilisasi kapur 12%. Dimana grafik tersebut menunjukkan tegangan optimum terjadi pada 106.59 kN/m² (kPa). Setelah itu terjadi tegangan yang turun namun regangan tetap meningkat.

D. Tanah Asli + Kapur 14%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan kapur presentase 14% didapatkan nilai tegangan 88,64 kN/m² (kPa) dengan regangan 2,226 %.

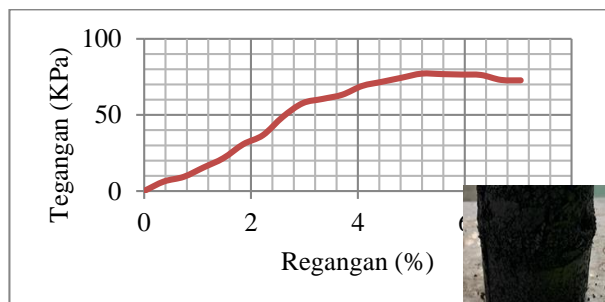


Gambar 4. Grafik Tanah Asli + Kapur 14%

Gambar 4 merupakan grafik hasil UCT pada tanah yang distabilisasi kapur 14%. Dimana grafik tersebut menunjukkan tegangan optimum terjadi pada 88,64 kN/m² (kPa). Setelah itu terjadi tegangan yang turun namun regangan tetap meningkat, yang menandakan terjadi keruntuhan.

E. Tanah Asli + AAT 10%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan abu ampas tebu presentase 10% didapatkan nilai tegangan 77,07 kN/m² (kPa) dengan regangan 5,193 %.

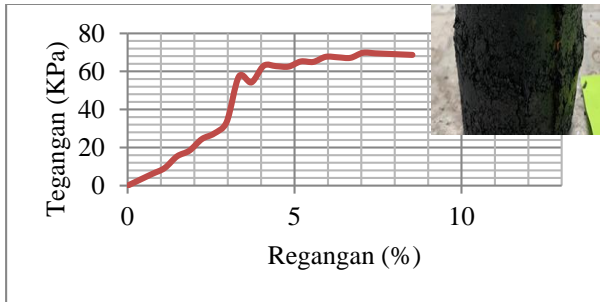


Gambar 5. Grafik Tanah Asli + AAT 10%

Gambar 5 merupakan grafik hasil UCT pada tanah yang distabilisasi Abu ampas tebu 10%. Dimana grafik tersebut menunjukkan tegangan optimum terjadi pada 77,07 kN/m² (kPa). Setelah itu terjadi tegangan yang turun namun regangan tetap meningkat, yang menandakan terjadi keruntuhan.

F. Tanah Asli + AAT 12%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan abu ampas tebu presentase 12% didapatkan nilai tegangan 69,75 kN/m² (kPa) dengan regangan 7,048 %.

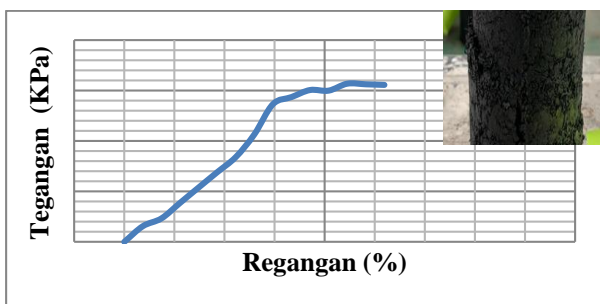


Gambar 6. Grafik Tanah Asli + AAT 12%

Gambar 6 merupakan grafik hasil UCT pada tanah yang distabilisasi Abu ampas tebu 12%. Dimana grafik tersebut menunjukkan tegangan optimum terjadi pada 69,75 kN/m² (kPa). Setelah itu terjadi tegangan yang turun namun regangan tetap meningkat, yang menandakan terjadi keruntuhan. Jika dibandingkan dengan benda uji yang distabilisasi abu ampas tebu 10%, maka mengalami penurunan nilai kuat tekannya.

G. Tanah Asli + AAT 14%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan abu ampas tebu presentase 14 % didapatkan nilai tegangan 62,73 kN/m² (kPa) dengan regangan 4,452 %.

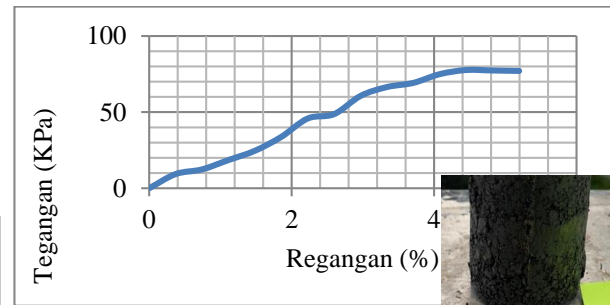


Gambar 7. Grafik Tanah Asli + AAT 14%

Gambar 7 merupakan grafik hasil UCT pada tanah yang distabilisasi Abu ampas tebu 14%. Dimana grafik tersebut menunjukkan tegangan optimum terjadi pada 62,73 kN/m² (kPa). Setelah itu terjadi tegangan yang turun namun regangan tetap meningkat, yang menandakan terjadi keruntuhan. Jika dibandingkan dengan benda uji yang distabilisasi abu ampas tebu 10%, maka mengalami penurunan nilai kuat tekannya.

H. Tanah Asli + Kapur + AAT 10%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan kapur + abu ampas tebu presentase 10 % didapatkan nilai tegangan 77,67 kN/m² (kPa) dengan regangan 4,452 %.

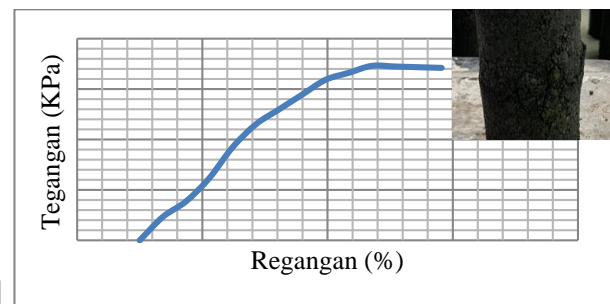


Gambar 8. Tanah Asli + Kapur + AAT 10%

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian UCT untuk tanah yang distabilisasi kapur dan abu ampas tebu 10%, dimana tegangan dan regangan menunjukkan peningkatan yang linier dan tidak begitu tampak adanya penurunan tegangan yang menandakan terjadi keruntuhan tanah.

I. Tanah Asli + Kapur + AAT 12%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan kapur + abu ampas tebu presentase 12 % didapatkan nilai tegangan 69,24 kN/m² (kPa) dengan regangan 3,710 %.

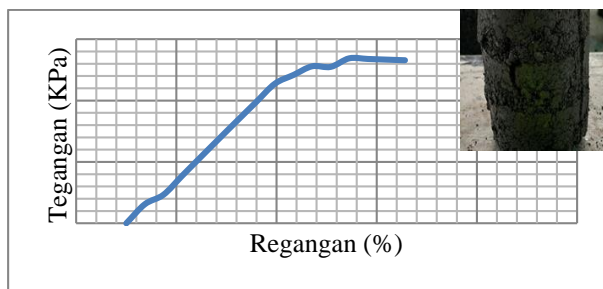


Gambar 9. Grafik Tanah Asli + Kapur + AAT 12%

Gambar 9 merupakan hasil UCT pada tanah asli yang distabilisasi kapur dan abu ampas tebu 12%. Dimana tegangan berada pada puncaknya di nilai 69,24 KPa, tidak begitu tampak adanya penurunan tegangan yang menandakan terjadi keruntuhan tanah.

J. Tanah Asli + Kapur + AAT 14%

Nilai paling optimal kuat tekan bebas pencampuran tanah dengan kapur + abu ampas tebu presentase 14 % didapatkan nilai tegangan 53,77 kN/m² (kPa) dengan regangan 4,452 %.



Gambar 10. Grafik Tanah Asli + Kapur + AAT 14%

Gambar 10 merupakan hasil UCT pada tanah asli yang distabilisasi kapur dan abu ampas tebu 14%. Dimana tegangan berada pada puncaknya di nilai 53,77 KPa, tidak begitu tampak adanya penurunan tegangan yang menandakan terjadi keruntuhan tanah

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data hasil pengujian kuat tekan bebas dengan menggunakan waktu pemeraman selama 14 hari yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan pada saat pengujian tanah asli mendapatkan nilai sebesar 26.16 kN/m². Pada saat pencampuran kapur nilai qu tertinggi didapatkan dari penambahan kapur presentase 10% yaitu dengan nilai sebesar 106.99 kN/m² mengalami kenaikan 80.83% dari tanah asli, pada kapur presentase 12 % mengalami kenaikan 80.43% dari tanah asli dan pada kapur dengan presentase 14% mengalami kenaikan 62.49% dari tanah asli. Pada pencampuran abu ampas tebu nilai qu tertinggi didapatkan dari penambahan abu ampas tebu presentase 10% yaitu dengan nilai sebesar 77.07 kN/m² mengalami kenaikan 50.91% dari tanah asli, pada abu ampas tebu presentase 12 % mengalami kenaikan 43,59% dari tanah asli dan pada abu ampas tebu dengan presentase 14% mengalami kenaikan 36.57% dari tanah asli. Pada pencampuran kapur + abu ampas tebu nilai qu tertinggi didapatkan dari penambahan kapur + abu ampas tebu 10% yaitu 78.58 kN/m² dan mengalami kenaikan 52.42% dari tanah asli, nilai qu minimum pada pencampuran kapur + abu ampas tebu diperoleh dengan variasi perentase kapur + abu ampas tebu 14% yaitu sebesar 42.82%. sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin rendah presentase penambahan bahan campuran maka nilai kuat tekannya semakin tinggi dan

semakin tinggi presentase bahan campuran maka nilai kuat tekan semakin rendah.

Daftar Rujukan

- [1.] A. Faruha and M. Ridwan, "Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dibandingkan Dengan Daya Dukung Hydraulic Jacking System Dan Pile Driving Analyzer (PDA) Pada Proyek Pembangunan Gedung Perpustakaan Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri Kediri," *Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya*, 2018.
- [2.] Supriyanto, "Analisa Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir, Nspt dan Laboratorium (Studi Kasus di BTN Hamzy Makassar)," *Jurnal Teknik Sipil*, 2022.
- [3.] A. Gazali, M. G. Perdana and T. A. Rachman, "Studi Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Data CPT Pembangunan Gedung Baru Uniska Handil Bakti Kabupaten Barito Kuala," *Jurnal Kacapuri*, 2021.
- [4.] A. Azzahra, "Perbandingan Metode Meyerhoff dan Metode Aoki De Calencar Pada Analisis Daya Dukung Tanah Proyek Pembangunan Bendung D.I Serbang," *Jurnal Teknik Sipil*, 2022.
- [5.] S. K. R. A. Muhadi Aryanto, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Kapur Tohor," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 38-43, 2021.
- [6.] D. N. M. Muhammad Rifqi Abdurrozak, "Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi dan Kapur Pada Subgrade Perkerasan Jalan," *Jurnal Teknisia*, vol. 22, no. 2, pp. 416-424, 2018.
- [7.] A. S. S. G. R. S. Nur Kholis, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen dan Renolith," *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 62-77, 2018.
- [8.] L. W. N. U. E. S. Dora Melati Nurita Sandi, "Pemanfaatan Bubuk Arang Kayu Terhadap Stabilitas Tanah Lempung di Dusun Jatiluhur, Banyuwangi," *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)*, vol. 3, no. 1, pp. 12-16, 2022.



Penentuan Bahaya Longsor Berdasarkan Pedoman Penilaian Tingkat Risiko Lereng Jalan (Ruas Waipia-Saleman)

Pebrinar Riani Sangle¹, Irwan Lie Keng Wong², Lisa Febriani³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar

¹pebrinar_sangle@ukipaulus.ac.id, ²irwanliekengwong@gmail.com, ³lisa@ukipaulus.ac.id*

Abstract

Landslides are one of the most frequent geological disasters in Indonesia, leading to significant losses to infrastructure and the economy, especially in areas with particularly steep topography, such as Seram Island, Central Maluku. The island is susceptible to landslides due to a combination of natural factors such as high, heavy rainfall, mountainous topography, and seismic activity, as well as anthropogenic factors such as deforestation and agricultural activities on slopes. The objective of this study is to evaluate the landslide hazard in Seram Island (Waipia-Saleman Section) by identifying high-risk areas using the 2018 road slope assessment guidelines. From the analysis result along the Waipia-Saleman section, it was found that there were 6 points with very high potential for landslide, 1 point with a high potential for landslide, 4 points with medium potential for landslide, and 2 points with low potential for landslide. Mitigation recommendations at 6 spots with very high potential slopes were made to reconstruct the slopes. Instrument installation and rehabilitation were conducted at 1 spot with a high potential slope. At the 4 spots with medium potential slopes, rehabilitation was recommended as the mitigation, while the 2 spots with low potential slopes were assigned periodic maintenance.

Keywords: Landslide, Landslide Risk Level, Mitigation, Slope.

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu bencana geologi yang sering terjadi di Indonesia, menyebabkan kerugian yang signifikan terhadap infrastruktur dan perekonomian, terutama di wilayah yang memiliki topografi curam seperti Pulau Seram, Maluku Tengah. Pulau ini rentan terhadap longsor akibat kombinasi faktor alam seperti curah hujan tinggi, topografi pegunungan, dan aktivitas seismik, serta faktor antropogenik seperti penggundulan hutan dan aktivitas pertanian di lereng. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi bahaya tanah longsor di Pulau Seram dengan mengidentifikasi area berisiko tinggi dengan menggunakan pedoman penilaian lereng jalan 2018. Dari hasil analisis di sepanjang ruas Waipia-saleman didapatkan 6 titik lereng yang berpotensi sangat tinggi, 1 titik yang berpotensi tinggi, 4 titik lereng yang berpotensi sedang dan 2 titik lereng yang berpotensi rendah. Rekomendasi mitigasi pada 6 titik lereng yang berpotensi sangat tinggi adalah merekonstruksi lereng. Untuk pemasangan instrumen dan rehabilitasi dilakukan pada 1 titik lereng yang berpotensi tinggi. Sedangkan pada 4 titik lereng yang berpotensi sedang mitigasinya adalah rehabilitasi dan 2 titik lereng yang berpotensi rendah membutuhkan pemeliharaan rutin dan berkala.

Kata kunci: Lereng, Longsor, Mitigasi, Tingkat Risiko Lereng.

Diterima Redaksi : 2024-10-29 | Selesai Revisi : 2024-12-09 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Tanah longsor merupakan salah satu bencana geologi yang paling merusak di seluruh dunia yang menyebabkan hilangnya nyawa dan kerusakan baik struktur buatan manusia maupun struktur alami [1] [2]. Tanah longsor juga berdampak besar pada infrastruktur jalan di Indonesia. Bencana tanah longsor adalah bencana alam ketiga paling sering terjadi setelah banjir dan cuaca ekstrem dan mencakup 8% dari total bencana alam yang terjadi di Indonesia [3]. Tanah longsor dapat mengakibatkan terputusnya jaringan jalan, yang

berdampak besar pada perekonomian di daerah tersebut. Oleh karena itu, bahaya tanah longsor perlu dievaluasi dengan tepat terkait frekuensi terjadinya serta tingkat risikonya. Pulau Seram di Maluku Tengah sering mengalami bencana longsor, termasuk yang terjadi di berbagai titik di jalan nasional. Pada tahun 2018, Kementerian PUPR menangani 23 titik longsor di Pulau Seram yang mengganggu jalur utama di kawasan tersebut [4].



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

Pulau Seram memiliki topografi pegunungan, lereng curam, dan curah hujan yang tinggi, rentan terhadap bencana longsor. Longsor di Pulau Seram umumnya disebabkan oleh kombinasi faktor alam dan kegiatan manusia, seperti penggundulan hutan dan aktivitas pertanian di daerah perbukitan. Pulau Seram memiliki banyak daerah dengan lereng curam, daerah dengan kemiringan lereng yang tinggi ini sangat rentan terhadap pergerakan tanah, terutama setelah hujan lebat. Tanah di lereng curam sering kali tidak stabil dan mudah tergelincir, menyebabkan longsor. Seram berada di daerah dengan curah hujan yang tinggi, terutama selama musim hujan. Hujan lebat dapat mempercepat pelunakan tanah dan meningkatkan risiko longsor. Aliran air yang intensif dapat menyebabkan erosi pada lapisan tanah atas, yang pada akhirnya memicu longsor. Pulau Seram terletak di zona gempa aktif karena berada di wilayah pertemuan lempeng tektonik. Aktivitas gempa bumi di sekitar pulau sering kali memicu longsor, terutama di daerah pegunungan yang terjal. Guncangan gempa dapat merusak struktur tanah, sehingga memperbesar risiko longsor. Beberapa pendekatan zonasi tanah longsor telah banyak dikembangkan, seperti inventarisasi berdasarkan zonasi, pendekatan heuristik, penilaian probabilistik, pendekatan deterministik, analisis statistik, dan pendekatan analisis keputusan multi-kriteria [5]. Beberapa penelitian telah dilaksanakan dalam menentukan dan memetakan kondisi longsor dan lereng pada daerah tertentu, seperti yang dipaparkan oleh Arsyad dkk 2019 [6]. Pada penentuan kondisi lereng tersebut mereka menggunakan metode pendekatan AHP dengan hasil beberapa lereng memiliki tingkat risiko yang sangat tinggi sehingga diperlukan penanganan khusus untuk kondisi lereng tersebut. Dengan mempertimbangkan uraian diatas bahaya tanah longsor di pulau seram perlu dievaluasi. Pedoman penilaian tingkat risiko lereng jalan tahun 2018 dapat menjadi salah satu metode dalam menentukan kondisi lereng terhadap longsor. Tujuannya termasuk mengidentifikasi area berisiko tinggi, memahami faktor-faktor yang berkontribusi, dan memberikan rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti untuk memitigasi bahaya. Dengan teridentifikasinya tingkat risiko longsor yang akurat maka dapat digunakan oleh pemerintah, sektor swasta dan masyarakat, dan komunitas ilmiah.

Khususnya untuk infrastruktur jalan, sangat penting bagi perencana jalan dan pengambil keputusan transportasi.

2. Metode Penelitian

2.1. Penilaian Tingkat Risiko Lereng

Penelitian ini mengacu pada pedoman penilaian tingkat risiko lereng jalan tahun 2018 yang dikeluarkan oleh kementerian PUPR, yang terdiri dari inventarisasi lereng jalan [7], inspeksi lereng jalan [8] dan penilaian tingkat risiko lereng jalan [9] Dengan menggunakan penilaian indeks risiko yaitu penilaian dengan mengindikasikan skala ukuran atau peringkat tertentu pada risiko bencana. Setiap indikator diberikan deskripsi tertentu yang sudah ditentukan dan digambarkan dengan nilai indeks. Setiap nilai indeks indikator akan memberikan kontribusi terhadap nilai indeks risiko bencana longsor.

Data diberikan dalam bentuk nilai indeks. Nilai indeks indikator adalah pengkondisian dari setiap indikator dalam bentuk nilai tertentu yang bukan nilai sebenarnya, tetapi merupakan perbandingan karakteristik dari setiap indikator yang memiliki nilai indeks yang berbeda. Sehingga, setiap indikator yang digunakan dapat ditampilkan dalam 4 klasifikasi, yaitu: rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.

Proses pengumpulan data menggunakan form yang telah disediakan oleh pedoman penilaian tingkat risiko lereng jalan 2018 [7] [8]. Faktor-faktor risiko pada penelitian ini terdiri dari: analisis bahaya dan analisis konsekuensi. Masing-masing faktor risiko dinilai dengan nilai indeks indikator yang terdapat pada masing-masing faktor dan sub faktor. Penilaian tingkat risiko lereng jalan berbanding lurus terhadap nilai indeks risiko [9]. Semakin tinggi hasil analisis tingkat risiko maka semakin tinggi tingkat kerentanan terhadap longsor. Daftar parameter bahaya dan parameter kondisi lereng dan nilai indeks dapat dilihat pada Tabel 1, dimana untuk menganalisis bahaya keruntuhan longsor dapat dihitung dengan menjumlahkan nilai indeks yang diperoleh berdasarkan parameter bahayanya. Kemudian pada Tabel 2 digunakan untuk menganalisis konsekuensi dari keruntuhan longsor,

Tabel 1. Analisis Bahaya Keruntuhan Longsor

Parameter Bahaya		Data Inventarisasi dan Inspeksi	Nilai Indeks
4.3.100 Topografi	Sejarah Longsor	Ya	2.2.940
		Tidak	0
	Keberadaan Anomali Topografi		
	Garis Kontur yang terganggu	Jelas	2.2.760
	Fitur geografi	Sebagian	30
	Curam di puncak lereng	Tidak Jelas	10
4.3.101 Geologi Struktur	Patahan, Zona Pengerasan		1.303.1
	Zona Alterasi		1.303.2
	Struktur Planar dan Baji (Struktur Daylight)		1.303.3
	Struktur Selain Planar dan Baji (Struktur non daylight)		1.303.4
	Struktur Terobosan, Struktur Cap Rock		1.303.5
	Lainnya		0
	Serpil atau Sekis		2.2.610
			3

Parameter Bahaya		Data Inventarisasi dan Inspeksi	Nilai Indeks
4.3.102 Kondisi Geologi	Lainnya		2
4.3.103 Deformasi	Pengelembungan Pada Kaki Lereng	Ada	2.2.770
		Tidak Ada	0
	Depresi atau penurunan	Ada	2.2.610
		Tidak Ada	0
	Retakan Permukaan (retak diagonal, retak geser)	Ada	2.2.610
		Tidak Ada	0
Deformasi bangunan rekayasa lereng	Ada	2.2.790, 2.2.800, 2.2.810, 2.2.820, 2.2.830	
	Tidak Ada	0	
4.3.104 Kondisi Permukaan	Mata air atau jalur air alami	Ya	2.2.670
		Tidak	0
	Drainase Permukaan	Baik	2.2.310
		Perlu perbaikan	2.2.320
		Tidak Ada	2.2.330
4.3.105 Bangunan Rekayasa Lereng	Efektif	2.2.790	
	Sebagian Efektif	2.2.800, 2.2.810, 2.2.820	
		2.2.820	
Tidak Efektif atau tidak ada penanganan	2.2.830		

Tabel 2. Analisis Konsekuensi Keruntuhan Longsoran

Kondisi Lereng		Data Inventarisasi dan Inspeksi	Nilai Indeks
4.5.107 Layanan Utilitas	Ya	1.118	2
	Tidak ada		0
4.5.108 Bahaya terhadap penghuni bangunan	Ya	1.119, 1.120,	1
	Tidak ada	1.121	0
4.5.109. Volume lalu lintas (LHR)	LHR : > 1000	1.123	2
	LHR : 200-1000		1
	LHR : < 200		0
			0
4.5.110. Sudut β (as jalan ke puncak lereng galian atau kaki timbunan)	> 30°	1.124	1
	≤ 30°		0
4.5.111 Dimensi Keruntuhan	(A) Lereng Galian (m ³)	(a) >3000 atau (b) >1000	1.2.850
	(B) Timbunan (m ³)	(a) ≤ 3000 atau (b) ≤ 1000	0
4.5.112 Masa konstruksi untuk jalan sementara untuk pengalihan lalulintas	> 1 hari	1.125	1
	≤ 1 hari		0
4.5.113 Panjang Jalan Alternatif	> 50 km	1.126	1
	≤ 50 km		0

Untuk menentukan tingkat risiko lereng berdasarkan hasil dari penilaian analisis bahaya dan analisis risiko dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Berdasarkan hasil perhitungan nilai total risiko maka dapat dikalsifikasikan untuk mendapatkan tingkat risiko lereng tersebut.

$$R = 0.9H + C \quad (1)$$

Dengan R adalah nilai total risiko, H adalah nilai total analisis bahaya dan C adalah nilai total analisis konsekuensi. Tabel 3 memaparkan rekomendasi mitigasi yang dapat dilakukan berdasarkan hasil dari analisis tingkat risiko.

Tabel 3. Analisis Tingkat Risiko

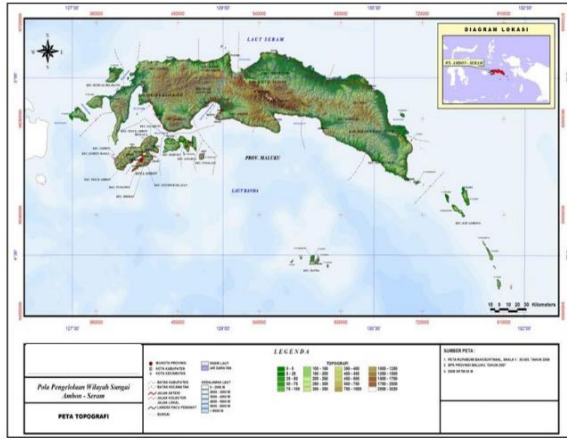
Nilai Total Risiko	Tingkat Risiko Lereng Jalan	Mitigasi Risiko Lereng Jalan
$R \geq 75$	Sangat Tinggi	Rekonstruksi
$65 \leq R < 75$	Tinggi	Pemasangan instrumen dan rehabilitasi
$50 \leq R < 65$	Sedang	Rehabilitasi

Nilai Total Risiko	Tingkat Risiko Lereng Jalan	Mitigasi Risiko Lereng Jalan
$R < 50$	Rendah	Pemeliharaan rutin dan berkala

2.2 Karakteristik daerah penelitian

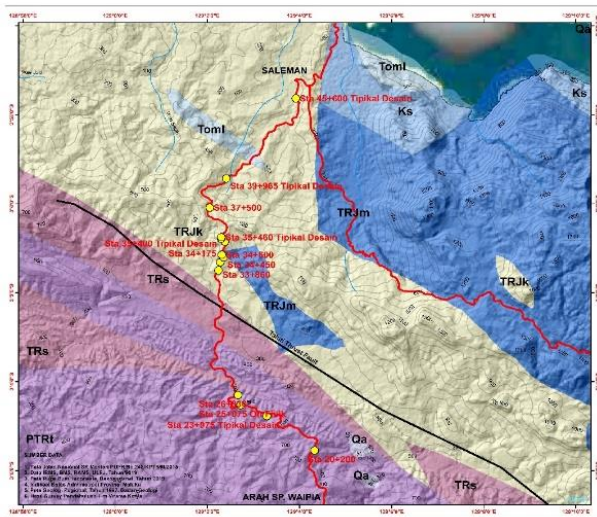
Penelitian dibatasi pada jalan nasional di Pulau seram ruas Waipia-Saleman dengan panjang ruas 47,17 Km seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Berdasarkan peta geologi lembar Masohi, lokasi penanganan lereng di pulau Seram melalui formasi geologi yaitu formasi Komplek Tehoru, formasi Kanikeh dan formasi Manusela. Stratigrafi Pulau Seram terdiri atas batuan metamorf, batuan sedimen, serta batuan terobosan dan tektonik [10] [11]. Gambaran sebaran formasi geologi untuk pulau seram dapat dilihat pada Gambar 2. Beberapa kondisi lereng yang telah mengalami kelongsoran seperti pada Km 33+860, Km 34+175, Km 34+450 dan Km 34+600 seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Dalam melaksanakan penelitian ini dengan menggunakan tabel inventarisasi lereng berdasarkan analisis bahaya dan analisis konsekuensi urutan pengerjaan atau tahap pengerjaan dapat dilihat pada gambar bagan alir penelitian yang ditampilkan pada Gambar 4.



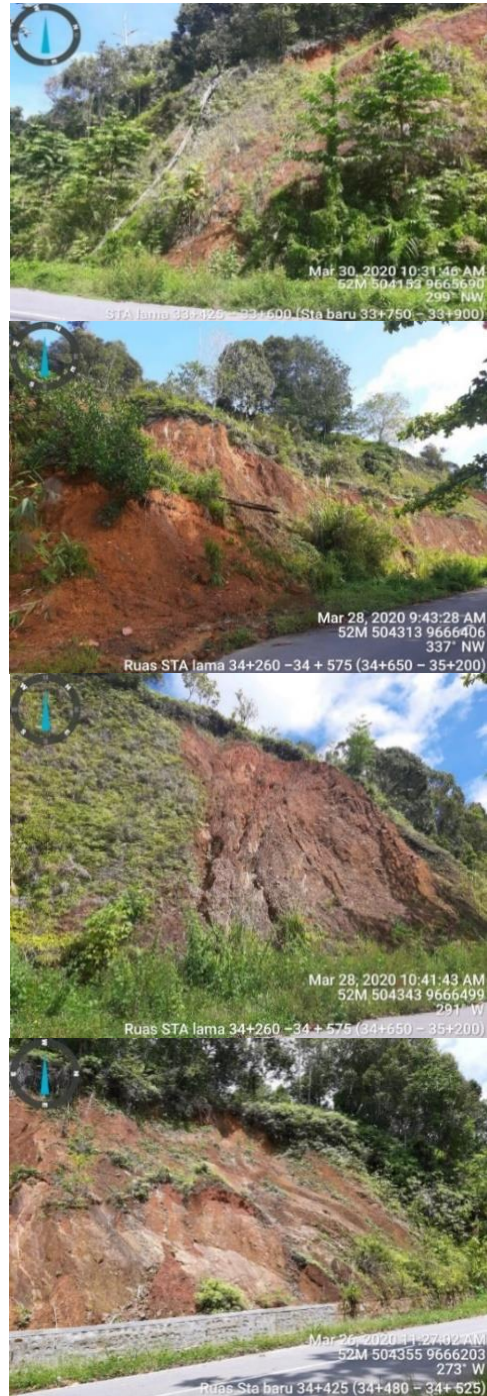
Sumber : Analisis GIS, Tahun 2009

Gambar 1. Peta Lokasi Pulau Seram

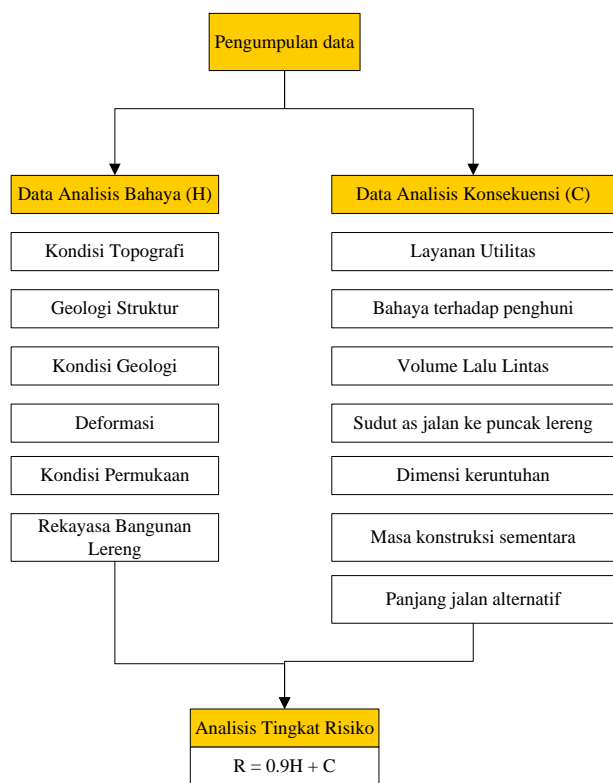


TRs	KOMPLEK TEHORU	: Batuan malihan berfacies sekis hijau, terdiri dari filit, batusabak, sekis, psamit dan batugamping terpaluamkan
TRJK	FORMASI KANIKEH	: Batuan sedimen tipe filis, terdiri dari greswaks, arkosa, batulanau, serpih, rijang dan konglomerat
TRJm	FORMASI MANUSELA	: Batugamping berlapis sampai masip, napal, rijang, batugamping oolitan
TRs	KOMPLEK SAKU	: Batusabak, greswemalihan, arkosamalih, batugamping, dan konglomerat
Toml	FORMASI LISA BATA	: Batugamping, batupasir, napal, serpih

Gambar 2. Peta Geologi Ruas Waipia-Saleman



Gambar 3. Beberapa Titik Longsor di ruas Waipia – Saleman



Gambar 4. Bagan Alir Analisis Tingkat Risiko

3. Hasil dan pembahasan

Survey lereng dilaksanakan di 13 titik lereng yang berada di ruas Waipia-Saleman. Survey ini termasuk

inventarisasi dan investigasi lereng berdasarkan form yang telah disediakan. Sebaran titik survey lereng dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sebaran titik lereng ruas Waipia-Saleman

Setelah dilakukan pengisian form atau pengumpulan data dari lapangan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk masing-masing analisis bahaya dan analisis konsekuensi. Pada Tabel 4 diperlihatkan salah satu perhitungan analisis bahaya pada Km 26+836 dan pada tabel 5 dipaparkan hasil analisis konsekuensi untuk Km 26+836.

Tabel 4. Hasil Analisis Bahaya Longsoran

Parameter Bahaya		Data Inventarisasi dan Inspeksi	Nilai Indeks	Nilai Indeks Hasil Inventarisasi
4.3.100 Topografi	Sejarah Longsoran	Ya Tidak	2.2.940	10 0
	Keberadaan Anomali Topografi			
	Garis Kontur yang terganggu	Jelas	2.2.760	40
	Fitur geografi	Sebagian		30
	Curam di puncak lereng	Tidak Jelas		10
4.3.101 Geologi Struktur	Patahan, Zona Pengerasan		1.303.1	10
	Zona Alterasi		1.303.2	10
	Struktur Planar dan Baji (Struktur Daylight)		1.303.3	6
	Struktur Selain Planar dan Baji (Struktur non daylight)		1.303.4	3
	Struktur Terobosan, Struktur Cap Rock		1.303.5	3
	Lainnya		0	0
4.3.102 Kondisi Geologi	Serpig Atau Sekis		2.2.610	3
	Lainnya			2
4.3.103 Deformasi	Penggelembungan Pada Kaki Lereng	Ada Tidak Ada	2.2.770	8 0
	Depresi atau penurunan	Ada Tidak Ada	2.2.610	8 0
	Retakan Permukaan (retak diagonal, retak geser)	Ada Tidak Ada	2.2.610	8 0
	Deformasi bangunan rekayasa lereng	Ada	2.2.790, 2.2.800,	8
		Tidak Ada	2.2.210, 2.2.820, 2.2.830	0
4.3.104 Kondisi Permukaan	Mata air atau jalur air alami	Ya Tidak	2.2.670	8 0
	Drainase Permukaan	Baik	2.2.310	0
		Perlu perbaikan	2.2.320	2
		Tidak Ada	2.2.330	1

Parameter Bahaya		Data Inventarisasi dan Inspeksi	Nilai Indeks	Nilai Indeks Hasil Inventarisasi
4.3.105 Bangunan Rekayasa Lereng	Efektif	2.2.790	-20	
	Sebagian Efektif	2.2.800, 2.2.210, 2.2.820	-10	
	Tidak Efektif atau tidak ada penanganan	2.2.830	0	
Jumlah Total				104

Tabel 5. Analisis Konsekuensi Keruntuhan Longsoran

Kondisi Lereng		Data Inventarisasi dan Inspeksi	Nilai Indeks	Nilai Indeks Hasil Inventarisasi
4.5.107 Layanan Utilitas	Ya	1.118	2	0
	Tidak ada		0	
4.5.108 Bahaya terhadap penghuni bangunan	Ya	1.119, 1.120,	1	0
	Tidak ada	1.121	0	
4.5.109. Volume lalu lintas (LHR)	LHR : > 1000	1.123	2	1
	LHR : 200-1000		1	
	LHR : < 200		0	
4.5.110. Sudut β (as jalan ke puncak lereng galian atau kaki timbunan)	> 30 °	1.124	1	1
	≤ 30°		0	
4.5.111 Dimensi Keruntuhan	(A) Lereng Galian (m ³) (a) >3000 atau (b) >1000	1.2.850	1	1
	(B) Timbunan (m ³) (a) ≤ 3000 atau (b) ≤ 1000		0	
4.5.112 Masa konstruksi untuk jalan sementara untuk pengalihan lalu lintas	> 1 hari	1.125	1	1
	≤ 1 hari		0	
4.5.113 Panjang Jalan Alternatif	> 50 km	1.126	1	0
	≤ 50 km		0	
Jumlah Total				4

Perhitungan keseluruhan dari 13 titik survey lereng untuk analisis bahaya dapat dilihat pada Tabel 6.

No	Ruas	Lokasi	Analisis Bahaya
1	Waipia – Saleman	20+200	76
2	Waipia – Saleman	23+975	40
3	Waipia – Saleman	26+836	104
4	Waipia – Saleman	33+860	84
5	Waipia – Saleman	34+175	106
6	Waipia – Saleman	34+450	94
7	Waipia – Saleman	34+600	84
8	Waipia – Saleman	35+125	67
9	Waipia – Saleman	35+400	65
10	Waipia – Saleman	35+460	67
11	Waipia – Saleman	37+500	104
12	Waipia – Saleman	39+965	51
13	Waipia – Saleman	45+600	60

Dari hasil analisis bahaya ada beberapa lereng telah mengalami sejarah longsoran yang sangat berpotensi akan terjadi lagi. Serta bangunan pada lereng seperti drainase juga sangat berpengaruh terhadap bahaya longsoran. Selanjutnya hasil dari analisis konsekuensi dapat dilihat pada Tabel 7.

No	Ruas	Lokasi	Analisis Konsekuensi
1	Waipia – Saleman	20+200	3
2	Waipia – Saleman	23+975	3
3	Waipia – Saleman	26+836	4
4	Waipia – Saleman	33+860	3
5	Waipia – Saleman	34+175	3
6	Waipia – Saleman	34+450	4
7	Waipia – Saleman	34+600	4
8	Waipia – Saleman	35+125	3
9	Waipia – Saleman	35+400	3
10	Waipia – Saleman	35+460	3
11	Waipia – Saleman	37+500	3
12	Waipia – Saleman	39+965	3
13	Waipia – Saleman	45+600	3

Analisis konsekuensi dipengaruhi oleh jumlah volume lalu lintas, jumlah utilitas jalan, lama konstruksi serta jenis lereng.

Berdasarkan hasil analisis bahaya dan hasil analisis konsekuensi maka penilaian tingkat risiko lereng dapat ditentukan berdasarkan rumus 1. Untuk hasil tingkat risiko lereng dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Analisis Tingkat Risiko

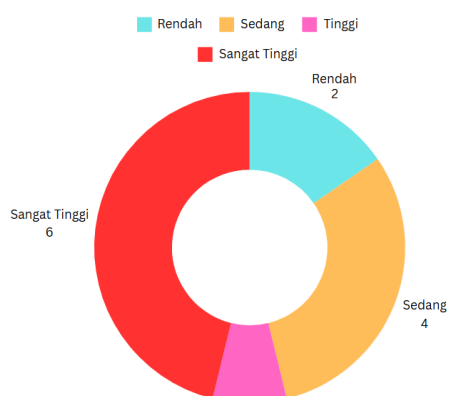
No	Ruas	Lokasi	Analisis Bahaya	Analisis Konsekuensi	Analisis Tingkat Risiko	Tingkat Risiko
1	Waipia – Saleman	20+200	76	3	71.4	Tinggi
2	Waipia – Saleman	23+975	40	3	39.0	Rendah
3	Waipia – Saleman	26+836	104	4	97.6	Sangat Tinggi
4	Waipia – Saleman	33+860	84	3	78.6	Sangat Tinggi
5	Waipia – Saleman	34+175	106	3	98.4	Sangat Tinggi
6	Waipia – Saleman	34+450	94	4	88.6	Sangat Tinggi

No	Ruas	Lokasi	Analisis Bahaya	Analisis Konsekuensi	Analisis Tingkat Risiko	Tingkat Risiko
7	Waipia – Saleman	34+600	84	4	79.6	Sangat Tinggi
8	Waipia – Saleman	35+125	67	3	63.3	Sedang
9	Waipia – Saleman	35+400	65	3	61.5	Sedang
10	Waipia – Saleman	35+460	67	3	63.3	Sedang
11	Waipia – Saleman	37+500	104	3	96.6	Sangat Tinggi
12	Waipia – Saleman	39+965	51	3	48.9	Rendah
13	Waipia – Saleman	45+600	60	3	57.0	Sedang

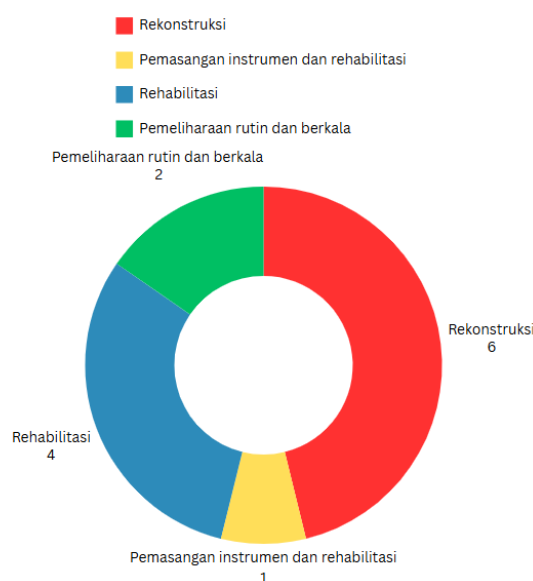
Berdasarkan hasil analisis tingkat risiko pada ruas Waipia-Saleman memiliki beberapa lereng yang berpotensi sangat tinggi akan terjadi kelongsoran, hal ini didasarkan pada hasil analisis tingkat risiko > dari 75. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa ada 6 titik survey yang memiliki tingkat risiko sangat tinggi, 1 titik berisiko tinggi, 4 titik survey berisiko sedang dan 2 titik survey berisiko rendah.

Rekomendasi mitigasi yang disarankan untuk masing-masing titik lereng yang telah dianalisis dapat dilihat pada Tabel 9. Pada lereng yang berpotensi sangat tinggi membutuhkan rekonstruksi, lereng dengan tingkat risiko tinggi membutuhkan pemasangan instrumen dan rehabilitasi. Tingkat risiko yang berpotensi sedang hanya membutuhkan rehabilitasi dan pada tingkat rendah membutuhkan pemeliharaan secara rutin dan berkala.

Berdasarkan Gambar 7 dan Tabel 9 dapat dilihat bahwa rekomendasi mitigasi yang disarankan adalah untuk rekonstruksi dibutuhkan pada 6 titik survey, pemasangan instrumen pada 1 titik survey, rehabilitasi pada 4 titik survey serta 2 titik survey membutuhkan pemeliharaan rutin dan berkala.



Gambar 6. Jumlah tingkat risiko lereng jalan ruas Waipia-Saleman



Gambar 7. Rekomendasi mitigasi lereng pada ruas Waipia-Saleman

Tabel 9. Rekomendasi Penanganan

No	Ruas	Lokasi	Nilai Total Risiko	TingkatRisiko Lereng Jalan	Mitigasi Risiko Lereng Jalan
1	Waipia – Saleman	20+200	71.4	Tinggi	Pemasangan instrumen dan rehabilitasi
2	Waipia – Saleman	23+975	39.0	Rendah	Pemeliharaan rutin dan berkala
3	Waipia – Saleman	26+836	97.6	Sangat Tinggi	Rekonstruksi
4	Waipia – Saleman	33+860	78.6	Sangat Tinggi	Rekonstruksi
5	Waipia – Saleman	34+175	98.4	Sangat Tinggi	Rekonstruksi
6	Waipia – Saleman	34+450	88.6	Sangat Tinggi	Rekonstruksi
7	Waipia – Saleman	34+600	79.6	Sangat Tinggi	Rekonstruksi
8	Waipia – Saleman	35+125	63.3	Sedang	Rehabilitasi
9	Waipia – Saleman	35+400	61.5	Sedang	Rehabilitasi
10	Waipia – Saleman	35+460	63.3	Sedang	Rehabilitasi
11	Waipia – Saleman	37+500	96.6	Sangat Tinggi	Rekonstruksi
12	Waipia – Saleman	39+965	48.9	Rendah	Pemeliharaan rutin dan berkala
13	Waipia – Saleman	45+600	57.0	Sedang	Rehabilitasi

Rekomendasi mitigasi untuk rekonstruksi dapat digunakan beberapa penanganan yaitu memperbaiki kondisi tanah, pemasangan ankur atau *soil nailing*, pemasangan *geotextile* sebagai bahan perkuatan. Untuk rehabilitasi dapat dilaksanakan dengan penanaman vegetasi pemasangan drainase dan untuk pemeliharaan berkala dapat dilakukan dengan tetap memelihara kondisi jalan dan pembersihan drainase. Namun hal ini masih perlu penelitian lebih lanjut mengenai kondisi tanah dilapangan sehingga dapat lebih akurat dalam menentukan mitigasi yang tepat.

4. Kesimpulan

Ruas Waipia-Salemen yang terletak di Pulau Seram memiliki kondisi topografi memiliki 6 titik longsor yang berpotensi sangat tinggi yang membutuhkan rekonstruksi sebagai mitigasinya, 1 titik yang berpotensi tinggi, 4 titik yang berpotensi sedang dan 2 titik yang berpotensi rendah. Dengan rekomendasi mitigasi pada 6 titik lereng yang berpotensi sangat tinggi adalah merekonstruksi lereng. Untuk pemasangan instrumen dan rehabilitasi dilakukan pada 1 titik lereng yang berpotensi tinggi. Sedangkan pada 4 titik lereng yang berpotensi sedang mitigasinya adalah rehabilitasi dan 2 titik lereng yang berpotensi rendah membutuhkan pemeliharaan rutin dan berkala.

Daftar Rujukan

- [1] David N. Petley Hearn G.J., Hart A., Rosser N.J., Dunning S.A., Owen K., Mitchell W.A., "Trends in landslide occurrence in Nepal," *Natural Hazard*, vol. 43, no. 1, pp. 23-44, 2007.
- [2] Froude Melanie J, Petley D.N, "Global Fatal Landslide Occurance from 2004 to 2016," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 18, no. 8, pp. 2151-2181, 2018.
- [3] BNPB, "Data dan Informasi Bencana Badan Nasional Penanggulangan Jakarta," 2022.
- [4] Infopublik.id, "Kementerian PUPR Lakukan Penanganan 23 Titik Longsor di Pulau Seram," *Kementerian PUPR Lakukan Penanganan 23 Titik Longsor di Pulau Seram*, 2 6 2018.
- [5] Sudhakar D. Pardeshi, Autade S E, and Pardeshi S S, "Landslide hazard assessment: Recent trends and techniques," *Springer Plus*, pp. 1-11, 2013.
- [6] A Arsyad, W Hamid, "Landslide susceptibility mapping along road corridors in west Sulawesi using GIS-AHP models," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019.
- [7] Kementerian PUPR, Pedoman Pd 11-2018-B Inventarisasi Lereng Jalan, Jakarta, 2018.
- [8] Kementerian PUPR, Pedoman Pd 12-2018-B Inspeksi Lereng Jalan, Jakarta, 2018.
- [9] Kementerian PUPR, Pedoman Pemeliharaan Lereng Jalan Berdasarkan Penilaian Risiko, Jakarta, 2018.
- [10] Tjokosapoetro S dan Budhitisna, T, *Geology and Tectonic of the Northern Banda Arc*. Bulletin of the Indonesian Geological Research and Development Centre, 1982, pp. 6:1-17.
- [11] Tjokrosapoetro S, Achdan, A., Suwitodirdjo, S., Rusmana, E., dan Abidin, H.Z, *Peta Geologi Lembar Masohi Skala 1:250.000*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1993.



Evaluasi Kapasitas Daya Tampung Kolam Retensi Kecamatan Kemuning Kota Palembang Provinsi Sumatera Selatan

Sartika Nisumanti¹, Ratih Baniva², Fellya Siska Indah Sari³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Palembang

¹sartika.nisumanti@uigm.ac.id, ²ratih.baniva@uigm.ac.id, ³fellyasiska@gmail.com

Abstract

One of the largest cities, because it is the center of social and economic activities, is Palembang City. The area of Palembang City is around 400.61 km², consisting of 16 sub-districts and 107 villages. In this area, heavy rain has occurred which has caused flooding in this area, especially on Jalan Pipa Raja, Palembang City. One of the causes of flooding in Palembang is due to low land conditions and high tides of the Musi River. In the role of flood control, the lack of public awareness in maintaining the drainage system also worsens waterlogging. Flood control requires extensive and specific engineering knowledge. The structural method used in this study is the retention pond method. The retention pond on Jalan Pipa Jaya in Kemuning District has a capacity of around 328.8 m³/hour. Data for this study were obtained from literature studies, primary data, and secondary data. The results of the study that have been carried out indicate that in modeling using HEC-HMS, it is known that the Pipa Jaya retention pond can accommodate a peak inlet discharge of 161.3 m³/s, with a decrease to 29.7 m³/s.

Keywords: Flood, HEC-HMS, Retention Pond

Abstrak

Salah satu kota terbesar karena menjadi pusat aktivitas sosial dan ekonomi yaitu Kota Palembang. Luas wilayah Kota Palembang sekitar 400,61 km² yang terdiri dari 16 kecamatan dan 107 kelurahan. Pada daerah tersebut telah terjadi hujan deras yang menyebabkan banjir di wilayah ini, terutama di Jalan Pipa Raja Kota Palembang. Salah satu penyebab banjir di Palembang disebabkan oleh kondisi lahan rendah dan tingginya pasang air sungai Musi. Dalam peran penganggulangan banjir kurangnya kesadaran penduduk dalam menjaga sistem drainase juga memperparah genangan air. Pengendalian banjir memerlukan pengetahuan teknik yang luas dan spesifik. Metode struktural yang digunakan dalam penelitian ini digunakan metode kolam retensi. Kolam retensi di jalan Pipa Jaya di Kecamatan Kemuning, memiliki kapasitas daya tampung sekitar 328,8 m³/jam. Data untuk penelitian ini diperoleh dari studi literatur, data primer, dan data sekunder. Hasil studi yang telah dilakukan diperoleh bahwa dalam pemodelan menggunakan HEC-HMS, diketahui bahwa kolam retensi Pipa Jaya dapat menampung debit masuk puncak sebesar 161,3 m³/s, dengan penurunan menjadi 29,7 m³/s.

Kata kunci: Banjir, HEC-HMS, Kolam Retensi

Diterima Redaksi : 2024-11-10 | Selesai Revisi : 2024-12-28 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Banjir merupakan bencana alam yang terjadi akibat curah hujan yang tidak dapat disalurkan dengan baik ke sistem drainase. Banjir penyebabnya beragam seperti meluapnya Sungai, hujan yang sangat lebat bahkan kiriman air dari wilayah lain yang datarannya lebih tinggi [1]. Daerah perkotaan yang rentan terhadap banjir terutama terdapat di jalan Pipa Raja Kecamatan Kemuning Kota Palembang. Wilayah Kota Palembang dengan perkembangan infrastruktur dan kepadatan penduduk yang tinggi dan kurangnya kesadaran masyarakat terhadap lingkungan menyebabkan aliran air hujan seringkali tidak dapat terserap dengan optimal sehingga berpotensi mengakibatkan genangan air dan

banjir [2]; [3];[4]. Untuk mengatasi masalah ini, kolam retensi menjadi salah satu solusi yang efektif dalam mengendalikan volume air di daerah tersebut [5]. Kolam retensi suatu struktur buatan yang dirancang untuk menampung kelebihan air hujan, mencegahnya mengalir langsung ke saluran air utama atau sungai, yang dapat menyebabkan banjir [5]; [6]. Fungsinya bukan hanya untuk menampung air saat debit maksimum di sungai terjadi lonjakan tetapi juga mengalirkan secara bertahap saat debit kembali normal [7]. Dengan adanya kolam retensi, aliran air dapat dikendalikan, baik dari segi volume maupun kecepatan aliran, sehingga dapat mengurangi risiko banjir dan mendukung pengelolaan air perkotaan [8]. Kolam retensi dibangun sebagai salah satu solusi untuk mengelola limpasan air hujan [9].



Fungsinya adalah menampung air sementara sebelum dialirkan ke saluran yang lebih besar, sehingga mengurangi beban aliran saat hujan deras [10]. Namun, untuk memastikan kolam retensi dapat berfungsi secara optimal, penting untuk mengevaluasi kapasitas daya tampungnya secara berkala.

Dengan memahami kapasitas daya tampung kolam retensi yang ada, pihak pengelola dapat menentukan tindakan yang tepat, baik berupa pemeliharaan, perluasan, atau bahkan pembangunan kolam retensi baru jika diperlukan. Evaluasi ini juga mendukung rencana pengelolaan air perkotaan secara menyeluruh, sehingga Kecamatan Kemuning bisa lebih siap menghadapi risiko banjir, mengurangi dampak negatifnya terhadap masyarakat, serta mendukung pembangunan berkelanjutan di kota Palembang.

Berdasarkan uraian diatas juga diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam pengelolaan sumber daya air di Kecamatan Kemuning. Dengan demikian, evaluasi kapasitas daya tampung kolam retensi tidak hanya menjadi langkah penting dalam mengatasi masalah banjir, tetapi juga berkontribusi pada upaya keberlanjutan lingkungan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada kolam retensi Jalan Pipa Jaya, yang terletak di Kecamatan Kemuning, Kota Palembang, Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Studi Pustaka

Studi Pustaka dilakukan pada awal terhadap permasalahan yang terjadi berdasarkan referensi yang berkaitan dengan penelitian terdahulu serta survei lokasi penelitian untuk mengetahui kondisi eksisting untuk mencari solusi agar kolam retensi dapat bermanfaat dalam penanggulangan banjir.

2.3 Pengumpulan data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer yang dikumpulkan meliputi kondisi awal dari kolam retensi yang sudah ada, termasuk bentuk geometri dan muka air dari kolam retensi. Sedangkan data sekunder yang berhubungan langsung dengan efektivitas kolam retensi, data yang diperoleh dalam bentuk informasi dari instansi terkait.

2.4 Permodelan HEC-HMS

HEC-HMS dirancang untuk dapat diterapkan dalam area geografis yang sangat luas, untuk memecahkan berbagai masalah, termasuk pasokan air daerah aliran sungai, hidrologi banjir, dan limpasan air di kawasan perkotaan maupun kawasan tangkapan air alami.

Dengan memeriksa sejumlah karakteristik terkait, hidrograf satuan sintetis dari SCS (*Soil Conservation Service*) digunakan dalam analisis hidrologi [20]. Langkah-langkah estimasi debit banjir di daerah tangkapan hujan menggunakan model HEC-HMS dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Model Daerah Tangkapan Air (*Basin Model*)
- 2) Metode Tingkat Kehilangan *Sub-Basin* (Proses Kehilangan Air)
- 3) Transformasi *Sub-Basin* (Transformasi Hidrograf Satuan Limpasan)
- 4) Model Meteorologi (Model Data Curah Hujan)
- 5) Konfigurasi Eksekusi Data (Konfigurasi untuk Menjalankan Model)

2.5 Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan analisis studi, yaitu:

- 1) Analisis Hidrologi
- 2) Perhitungan Distribusi Hujan Jam-jaman
- 3) Analisis Frekuensi
- 4) Distribusi Hujan Rancangan
- 5) *Digital Elevation Model*
- 6) *Catchment Area* DAS Bendung
- 7) Tutupan Lahan pada *Catchment Area*
- 8) Permodelan DAS Pipa Jaya dengan HEC-HMS
- 9) Output Aplikasi HEC-HMS

2.6 Kolam Retensi

Kolam retensi merupakan struktur atau konstruksi yang didesain untuk menahan dan mengatur aliran air hujan yang berlebihan. Tujuannya adalah untuk mengurangi risiko banjir serta mengendalikan aliran air yang melimpah saat terjadi hujan deras. Kolam retensi berfungsi dengan cara menampung air hujan dalam wadah khusus, seperti bak beton atau area penampungan alami, sehingga air tersebut dapat dikendalikan alirannya secara perlahan menuju saluran pembuangan atau sumber air yang sesuai. Dalam merencanakan dan mendesain kolam retensi, penting untuk mempertimbangkan kapasitas dan dimensi yang tepat

agar dapat menampung volume air yang mencukupi saat terjadi curah hujan yang tinggi [11].

2.7 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah di permukaan bumi yang dikelilingi oleh puncak-puncak gunung dan berfungsi sebagai tempat terjadinya hujan menuju danau atau ke laut secara alami [12]; [14]. Batas DAS di darat ditentukan oleh pemisah topografi, sementara batas di laut mencakup area perairan yang masih dipengaruhi oleh aktivitas di daratan [13].

Air hujan kemudian masuk ke dalam DAS melalui aliran keluarnya dan mengalir ke sungai besar. Kegiatan pengelolaan DAS terdiri dari tiga aspek, yaitu aspek biofisik yang meliputi pengelolaan lahan kritis, pencegahan erosi, dan praktik pertanian konservatif; aspek kelembagaan yang meliputi insentif dan regulasi sektor ekonomi; dan aspek sosial yang lebih memperhatikan kondisi sosial budaya daerah tersebut [15].

2.8 Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan hanya didasarkan pada data yang dikumpulkan melalui pengukuran atau pencatatan pada waktu tertentu (curah hujan titik) [16]. Jika di dalam suatu wilayah terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka dapat dihitung rata-rata nilai tersebut untuk memperoleh estimasi curah hujan wilayah (curah hujan areal) [17]. Untuk mendapatkan nilai curah hujan areal dapat dihitung dengan beberapa metode :

1) Metode Rata-rata Aljabar

Metode ini dapat diandalkan jika topografi area tersebut datar, jumlah stasiun hujan cukup banyak dan tersebar merata, serta pengukuran curah hujan di setiap stasiun hujan tidak memiliki perbedaan yang signifikan dari nilai rata-rata curah hujan seluruh area.

$$R = \frac{R1+R2+R3+\dots+Rn}{n} \quad (1)$$

Keterangan :

R = Curah Hujan Rata-rata (mm);

Rn = Curah Hujan Pada Setiap Stasiun Hujan (mm)

n = Banyaknya stasiun hujan.

2) Metode Poligon Thiessen

Metode ini menggunakan rata-rata timbang (*weighted average*) berdasarkan daerah pengaruh yang dibentuk oleh garis-garis sumbu tegak lurus yang menghubungkan dua pos penakar.

$$S = R = \frac{A1R1+A2R2+A3R3+\dots+AnRn}{A1+A2+A3+\dots+n} \quad (2)$$

Keterangan :

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i1.1027>

R = Curah Hujan Rata-rata (mm);

Rn = Curah Hujan Pada Setiap Stasiun Hujan

An = Luas Daerah Pengaruh dari Setiap Stasiun Hujan

3) Metode Isohyet

Metode ini dianggap sebagai pendekatan yang paling akurat dalam menghitung rata-rata curah hujan daerah, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang lebih padat.

$$R = \frac{\left(\frac{A1+R2}{2}\right)A2\left(\frac{A1+R3}{2}\right)A3+\dots+\left(\frac{Rn-1+Rn2}{2}\right)Rn}{A1+A2+A3+\dots+n} \quad (3)$$

Keterangan :

R = Curah Hujan Rata-rata (mm);

Rn = Curah Hujan Pada Setiap Stasiun Hujan

An = Luas Daerah Pengaruh dari Setiap Stasiun Hujan

2.9 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan menggunakan metode *Mononobe* dapat dilakukan untuk menentukan Analisis intensitas curah hujan menggunakan Persamaan *Mononobe* jika hanya data curah hujan harian yang tersedia dan data curah hujan jangka pendek tidak tersedia [18] :

$$I = \frac{R24}{t} \times \left(\frac{t}{T}\right)^{2/3} \quad (4)$$

Keterangan :

R24 = Curah hujan maksimum dalam 1 hari (mm);

I = Intensitas curah hujan rata-rata (mm);

t = Waktu konsentrasi hujan (jam);

T = Waktu mulai hujan (jam).

2.10HEC-HMS

Proses aliran air hujan suatu daerah aliran sungai atau sistem tangkapan hujan dapat dimodelkan menggunakan program HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System*) [19].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembahasan dalam penelitian ini berupa analisis mengenai hasil analisis hidrologi, analisis frekuensi, perhitungan distribusi rancangan, distribusi hujan jam-jaman, pemodelan DAS Pipa Jaya dengan HEC-HMS, *output* aplikasi HEC-HMS, hasil simulasi HEC-HMS.

3.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi menggunakan data curah hujan harian maksimum dari tahun 2012 hingga 2021 dari stasiun BMKG SMB II untuk membantu proses perencanaan. Empat jenis distribusi frekuensi yang berbeda distribusi Normal, distribusi Log Normal, distribusi Log Person tipe III, dan distribusi Gumbel yang digunakan untuk

memeriksa frekuensi curah hujan maksimum tahunan. Temuan studi curah hujan berdasarkan 4 jenis distribusi frekuensi yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Frekuensi Curah Hujan Rencana

No	Tahun	RH rencana	(xi-x)	(xi-x) ²	(xi-x) ³	(xi-x) ⁴
1	2012	214.1	97.26	9460	920032	89482284
2	2013	126.6	9.76	95	930	9074
3	2014	117.3	0.46	0	0	0
4	2015	70.3	-46.54	2166	-100804	4691433
5	2016	105.4	-11.44	131	-1497	17128
6	2017	101.8	-15.04	226	-3402	51167
7	2018	115.2	-1.64	3	-4	7
8	2019	135.2	18.36	337	6189	113629
9	2020	87.5	-29.34	861	-25257	741038
10	2021	95	-21.84	477	-10417	227515
Jumlah		1168.4	0.00	13756	785768	95333276
Rerata		116.84	0.00	1376	78577	9533328

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada tahun 2012 memiliki RH Rencana tertinggi yaitu dengan nilai 214,1 dan pada tahun 2021 menunjukkan hasil RH Rencana terendah yaitu dengan nilai 95. Perhitungan analisis untuk memilih jenis distribusi dilakukan setelah melakukan analisis frekuensi, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pemilihan Jenis Distribusi Stasiun Hujan Palembang

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil perhitungan	Keputusan
1	Normal	Cs=0 Ck=3	Cs= 1.82643944 Ck= 4.5677069	No No
2	Log Normal	CS (ln x)=0 Ck (ln x)=3 Cs>0	Cs= 1.82643944 Ck= 4.5677069 Cs= 1.82643944	No No Yes
3	Pearson type III	Ck=1,5 Cs2 + 3	Ck= 4.5677069 Cs= 1.82643944	No Yes
4	Log Pearson type III	Jika semua syarat tidak terpenuhi	Cs= 1.82643944 Ck= 4.5677069 Cs= 1.82643944	Yes Yes No
5	Gumbell	Cs =1,14 Ck = 5,4	Ck= 1.82643944	No

Dari Tabel 2 yang telah disajikan, distribusi yang cocok dengan kriteria adalah Log-Pearson III. Tindak lanjutnya adalah menghitung distribusi untuk memperoleh nilai curah hujan perencanaan pada interval waktu tertentu. Nilai curah hujan dihitung dalam penelitian ini menggunakan interval waktu berikut: 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Pada Tabel 3 dapat dilihat hasil perhitungan curah hujan.

Tabel 3. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Log Pearson III

T	P (%)	Cs	G	Log X	X (mm)
2	50	0.8482	2.4747	2.3678	233
5	20	0.8482	2.0076	2.3077	203
10	10	0.8482	1.3374	2.2214	166
25	4	0.8482	0.7747	2.1489	141
50	2	0.8482	-0.1397	2.0312	107

Tabel 3 menunjukkan bahwa distribusi Log Pearson III adalah merupakan distribusi yang memenuhi persyaratan namun, uji kesesuaian distribusi yang memanfaatkan metode Chi-Square masih harus dilakukan. Dari hasil Tabel 3 dapat dilakukan pengujian kecocokan distribusi seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Kecocokan Distribusi

No.	Tahun	X CH	Hujan Urut
1	2012	214.1	214
2	2013	126.6	135
3	2014	117.3	127
4	2015	70.3	117
5	2016	105.4	115
6	2017	101.8	105
7	2018	115.2	102
8	2019	135.2	95
9	2020	87.5	88
10	2021	95	70

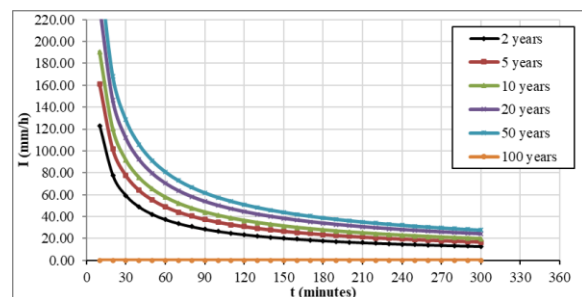
Distribusi curah hujan per jam dapat dianalisis menggunakan distribusi Log Pearson III untuk perhitungan curah hujan yang direncanakan, sebagaimana ditentukan oleh uji kesesuaian distribusi yang dilakukan menggunakan teknik chi-square dan Smirnov Kolmogorov.

3.2 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman

Setelah menghitung waktu pengembalian curah hujan harian maksimum (nilai XT) dan mengidentifikasi distribusi Log Pearson III, estimasi distribusi curah hujan per jam dianalisis. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5 dan ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 5. Perhitungan Hujan Netto Jam-jaman

t (menit)	I ₂ (mm/jam)	I ₅ (mm/jam)	I ₁₀ (mm/jam)	I ₂₀ (mm/jam)	I ₅₀ (mm/jam)
10	123.00	161.30	190.59	232.48	267.00
20	77.49	101.61	120.06	146.45	168.20
30	59.13	77.55	91.63	111.76	128.36
40	48.81	64.01	75.64	92.26	105.96
50	42.07	55.16	65.18	79.51	91.31
60	37.25	48.85	57.72	70.41	80.86
70	33.61	44.08	52.08	63.53	72.97
80	30.75	40.33	47.65	58.12	66.75
90	28.43	37.28	44.05	53.73	61.71
100	26.50	34.75	41.06	50.09	57.52
110	24.87	32.61	38.53	47.00	53.98
120	23.47	30.77	36.36	44.35	50.94
130	22.25	29.18	34.47	42.05	48.29
140	21.18	27.77	32.81	40.02	45.97
150	20.22	26.52	31.34	38.22	43.90

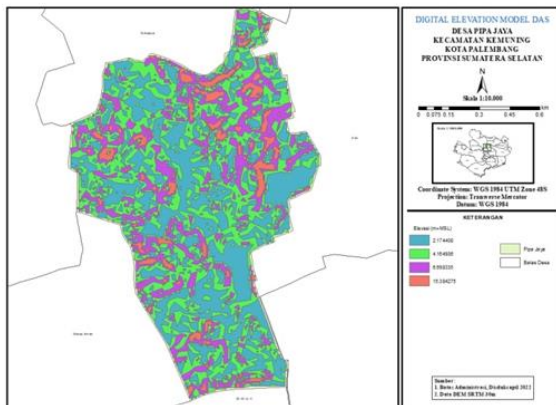


Gambar 2. Distribusi Hujan Rancangan

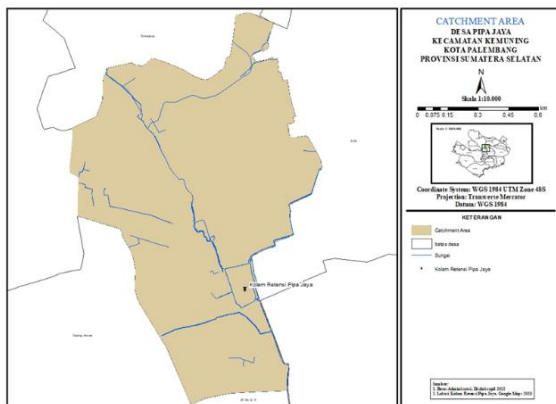
Intensitas curah hujan (i) dihitung menggunakan nilai XT yang telah diperoleh seperti pada Tabel 5 dan Gambar 3. Intensitas curah hujan ditentukan menggunakan metode mononobe dengan nilai durasi curah hujan (t) menggunakan jam 1 sampai dengan 2,5 jam dan periode ulang 2, 5, 10, 20, 25, dan 50 tahun.

3.3 Digital Elevation Model dan Catchment Area DAS

Data kontur yang berasal dari BAPEDDA Kota Palembang dijadikan sebagai input data yang akan dimodelkan menggunakan ArcGIS untuk menghasilkan Digital Elevation Model (DEM). Dari analisis DEM dan catchment area DAS yang telah diteliti menggunakan ArcGIS dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. DEM Daerah Aliran Sungai Pipa Jaya



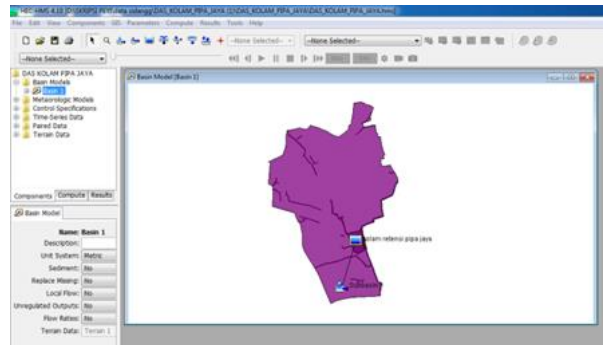
Gambar 4. Catchment Area DAS Bendung

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 yang telah diaplikasikan menggunakan ArcGIS 10.5 dan dilakukan watershed delineation pada Digital Elevation Model (DEM) untuk menentukan catchment area. Maka untuk mendapatkan nilai curve number, digunakan data tutupan lahan dari masing-masing catchment area. Selain itu, diperoleh hasil pemodelan juga menghasilkan data keluaran berupa jalur aliran sungai yang mengalir di DAS Bendung.

3.4 Pemodelan DAS Pipa Jaya dengan HEC-HMS

Proses pemodelan HEC-HMS terdiri dari beberapa langkah, seperti input data, analisis parameter model,

dan pembuatan output dari aplikasi HEC-HMS. Tahap pertama adalah mengisi perangkat lunak HEC-HMS dengan data. Data deret waktu, persyaratan kontrol, model DAS, dan model meteorologi merupakan beberapa elemen yang diperlukan untuk proses pengisian data. Gambar 5 mengilustrasikan bagaimana DAS Pipa Jaya dimodelkan menggunakan HEC-HMS.

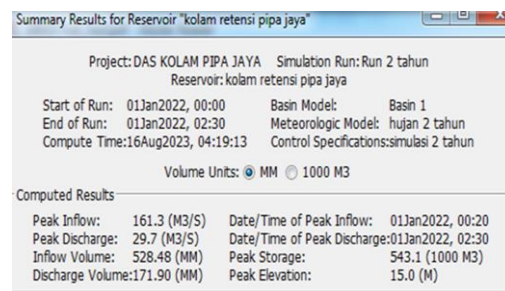


Gambar 5. Basin Model

Pada Gambar 5 diatas menunjukkan Informasi yang diperlukan untuk dimasukkan ke dalam Model DAS ini adalah peta Sub-DAS yang mencakup perkiraan awal nilai luas untuk setiap Sub-DAS. Sebagai langkah parameter, gunakan peta DAS Pipa Jaya sebagai latar belakang pada layer HEC-HMS untuk memudahkan penempatan unsur-unsur hidrologi di dalam model basin.

3.5 Output Pemodelan menggunakan HEC-HMS

Beberapa interval pengulangan akan menghasilkan pelepasan setelah simulasi dijalankan. Dengan menggunakan program HEC-HMS, Gambar 6 menunjukkan hasilnya.

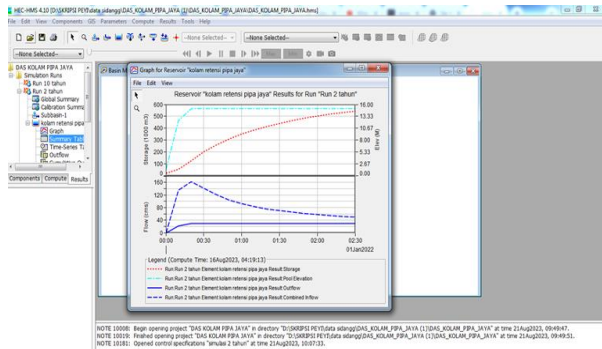


Gambar 6. Hasil Output Pemodelan menggunakan HEC-HMS

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi run pada HEC-HMS dan nilai parameter input. Hasil debit sebesar 161,3 m³/s dicapai pada periode curah hujan 2 tahun dengan debit puncak.

3.6 Hasil Akhir Simulasi HEC-HMS

Hasil simulasi HEC-HMS pada simulasi akhir memperoleh hasil grafik yang menunjukkan grafik perbandingan yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Elevasi & Grafik Tampang Hidrograf

Berdasarkan Gambar 8 diatas menunjukkan hasil pemodelan dengan HEC-HMS, diketahui bahwa kolam retensi Pipa Jaya akan menerima debit masuk puncak sebesar 161,3 m³/s. Debit puncak ini dicapai dalam waktu 00:20, namun kemudian mengalami penurunan menjadi 29,7 m³/s pada jam 02:30. pada simulasi akhir menggunakan HEC-HMS diperoleh volume total tampungan kolam retensi sebesar 328,8 m³/jam.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan perhitungan serta analisis dapat disimpulkan bahwa: Kolam retensi Pipa Jaya di Kecamatan Kemuning, memiliki kapasitas daya tampung sebesar 328,8 m³/jam pada waktu konsentrasi 0,25 jam. Pemodelan dengan menggunakan metode HEC-HMS kolam retensi Pipa Jaya dapat menerima debit masuk puncak sebesar 161,3 m³/s. Debit puncak ini dicapai dalam waktu 00:20. Penurunan terjadi pada pukul 02.30 menjadi 29,7 m³/det.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Universitas Indo Global Mandiri, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Palembang yang telah memberikan kesempatan dan memberikan izin untuk melakukan penelitian mengenai kolam retensi di Jalan Pipa Jaya, Kecamatan Kemuning Kota Palembang.

Daftar Rujukan

- [1] A. A. Alliyu, "BENCANA BANJIR: PENGERTIAN PENYEBAB, DAMPAK DAN USAHA PENANGGULANGANNYA BERDASARKAN UU PENATAAN RUANG DAN RUU CIPTA KERJA".
- [2] A. Badhurahman, "ANALISIS CURAH HUJAN RENCANA DENGAN MENGGUNAKAN DISTRIBUSI GUMBEL UNTUK WILAYAH KABUPATEN LAMPUNG SELATAN," vol. 1, 2021.
- [3] S. W. Harimurti, M. Suprpto, and C. Ikhsan, "GENANGAN BANJIR DAERAH IRIGASI BENGAWAN JERO DITINJAU DARI ASPEK HIDRAULIK," *jurissipil*, vol. 5, no. 2, p. 79, Apr. 2022, doi: 10.20961/jrrs.v5i2.60495.
- [4] V. Harisanti, W. Pratiwi, and W. Martokusumo, "Pengaruh Wisata Backpackers Terhadap Transformasi Spasial Kawasan Permukiman: Studi Empiris," *Kearifan Lokal dalam Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, no. July 2016, pp. 431–442, 2016.
- [5] R. H. Muzakki and M. A. Salim, "BANJIR DI PURWOKERTO BARAT THE EFFECTIVENESS OF

RETENTION PONDS AS FLOOD," vol. 5, no. 2, pp. 61–66, 2024.

- [6] B. D. Kussumardianadewi, E. N. Fitriani, S. Suprpto, and L. Kholida, "Sosialisasi Penerapan Drainase Secara Terpadu Berwawasan Lingkungan (Ecodrain) di area pemukiman Kelurahan Kembangan Utara," *Jurnal Pengabdian West Science*, vol. 3, no. 03, pp. 298–306, 2024, doi: 10.58812/jpws.v3i03.999.
- [7] I. Maulani and A. Susetyaningsih, "Analisis Dampak Lingkungan Kolam Retensi Cieunteung di Kecamatan Baleendah Kabupaten Bandung," *Jurnal Konstruksi*, vol. 20, no. 1, pp. 8–17, May 2022, doi: 10.33364/konstruksi/v.20-1.921.
- [8] A. Miradj and S. Rahman, "Analisis Debit Banjir Sungai Uru Ino, Kabupaten Halmahera Timur Menggunakan Pendekatan Hidrograf Satuan Sintetis (Hss) Gamma I Dan Hss Nakayasu," *Dintek*, vol. 13, no. 1, pp. 1–13, 2020.
- [9] M. A. Lestari, "Pengadaan Tanah Bagi Pembangunan Kolam Retensi Dan Pompa Pengendali Banjir Sub Das Bendung Kota Palembang Sebagai Pembangunan Prioritas," *Lex LATA*, vol. 4, no. 3, pp. 279–291, 2023, doi: 10.28946/lexl.v4i3.1862.
- [10] I. Maulidin, Y. Feriska, M. Taufiq, A. Khamid, and Wahidin, "Evaluasi dan Rencana Pengembangan Sistem Drainase di Kecamatan Tegal Barat, Kota Tegal," *Keteknikan dan Informatika*, vol. 1, no. 1, pp. 19–44, 2023.
- [11] M. I. Riady and Y. Oktavianti, "Optimalisasi Kolam Retensi Di Kawasan Sekuting Terpadu Sebagai Ekowisata Dan Konservasi," *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, vol. 2, no. 2, pp. 21–29, 2021, doi: 10.23960/jpi.v2n2.61.
- [12] T. Laksana, A. Nurdin, and F. Ilfan, "Analisis Kapasitas Saluran Drainase di Jalan Yos Sudarso Kota Jambi," *JTSITP*, vol. 9, no. 2, p. 1, Jul. 2022, doi: 10.21063/jts.2022.V902.01.
- [13] K. E. Pamuji, O. A. Lestari, and R. R. Mirino, "ANALISIS MORFOMETRI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) MUARI DI KABUPATEN MANOKWARI SELATAN," *jn*, vol. 16, no. 1, pp. 38–48, Apr. 2020, doi: 10.30862/jn.v16i1.59.
- [14] H. R. Destania and A. Syarifudin, "Analisa Hidrograf Satuan Dan Wind Rose Plots Pada Daerah Aliran Sungai Sekanak," *Jurnal Tekno*, vol. 17, no. 2, pp. 32–43, 2020, doi: 10.33557/jtekn.v17i2.1082.
- [15] S. Supadmo Arif, S. Susanto, L. Sutiarso, A. Perekonomian dan Pembangunan Setda Kabupaten Banyumas, and P. Pasca Sarjana Fakultas Teknologi Pertanian, "(Das) Studi Kasus : Dps Logawa, Kabupaten Banyumas Development of Regulatory and Institutional Optimization Concepts in the Framework of Sustainability Conditions and Functions of River Watershed Regions (Das) Case Study: Dps Logawa, Banyumas District," *Hal*, vol. 4, no. 2, pp. 87–94, 2023.
- [16] R. Baniva, G. Amalia, S. Parwanti, E. H. Yuliany, and M. A. Triarmo, "Pendampingan Operasi dan Pemeliharaan Alat Hidrologi di Stasiun Klimatologi Bendung Lakitan," *E-Dimas: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 15, no. 1, pp. 168–175, 2024, doi: 10.26877/e-dimas.v15i1.15585.
- [17] S. Nisumanti, R. Baniva, and Afrizal, "Analysis of drainage network capacity in Rawa Jaya Area, Ilir Timur I, Palembang," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1173, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1173/1/012039.
- [18] T. Widayari and N. Achmad, "Kurva Intesitas Durasi Frekuensi Hujan Kabupaten Bantul Dengan Menggunakan Metode Mononbe," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 113–122, 2023.
- [19] F. W. Puspa and N. A. S. Purwono, "Aanalisis Kondisi Muara terhadap Banjir di Sungai Serang, Kabupaten Kulonprogo," *Prosiding Webinar Nasional Teknik Spili 2020*, pp. 185–192, 2020.
- [20] A. Kahffi and S. Lipu, "Analisis Hidrograf DAS Poso dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetis Snyder dan Hidrograf Satuan Sintetis Soil Conversation Service (SCS)," *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, pp. 121–128, 2021, doi: 10.22487/renstra.v2i2.334.



Studi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Sekam Padi

Rani Adinda Meiliana¹, Sartika Nisumanti^{2*}, Febryandi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Palembang
¹adindameiliana110500@gmail.com, ²sartika.nisumanti@uigm.ac.id, ³febryandialfuady@uigm.ac.id

Abstract

Geopolymer concrete is an environmentally friendly alternative to conventional concrete because it has the potential to reduce carbon emissions. Rice husk ash, an agricultural waste, serves as a source of silica and alumina in the geopolymerization process. This study aims to determine the compressive strength value of geopolymer concrete in each variation and the use of alkali activator ratios between Na_2SiO_3 and NaOH with ratios of 1:2, 2:2, and 3:2. In the study of the compressive strength characteristics of engineering concrete, the experimental method was used. Based on the study of the compressive strength characteristics of geopolymer concrete made from rice husk ash, normal concrete at the age of 28 days has a compressive strength of 368 kg/cm², while in the 1st geopolymer concrete at the age of 28 days, a compressive strength of 349 kg/cm² is obtained. This shows that the compressive strength of the 1st geopolymer concrete has decreased by 5% from normal concrete, in the 2nd geopolymer concrete at the age of 28 days, a compressive strength value of 475 kg/cm² was obtained, which means that the compressive strength of the 2nd geopolymer concrete has increased by 29% from the compressive strength of normal concrete. This study identified the optimal compressive strength of geopolymer concrete, specifically noting that the second geopolymer concrete reached a value of 475 kg/cm².

Keywords: Concrete, Compressive Strength, Geopolymer, Rice Husk Ash.

Abstrak

Beton geopolimer menjadikan alternatif ramah lingkungan bagi beton konvensional karena memiliki potensi untuk mengurangi emisi karbon. Abu sekam padi yang merupakan limbah pertanian, digunakan sebagai sumber silika dan alumina dalam proses geopolimerisasi. Studi ini bertujuan untuk mengetahui berapa nilai kuat tekan beton geopolimer pada masing-masing variasi serta penggunaan rasio alkali aktivator antara Na_2SiO_3 dan NaOH dengan perbandingan 1:2, 2:2, dan 3:2. Pada studi karakteristik kuat tekan beton teknik yang digunakan dengan metode eksperimen. Hasil studi karakteristik kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu sekam padi menghasilkan beton normal pada umur 28 hari memiliki kuat tekan sebesar 368 kg/cm², sedangkan pada beton geopolimer ke-1 di umur 28 hari didapatkan kuat tekan senilai 349 kg/cm² hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer ke-1 mengalami penurunan 5% dari beton normal, pada beton geopolimer ke-2 di umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan sebesar 475 kg/cm² yang artinya kuat tekan beton geopolimer ke-2 mengalami kenaikan sebesar 29% dari kuat tekan beton normal. Hal ini menunjukkan studi karakteristik pada nilai kuat tekan beton geopolimer yang paling optimal yaitu beton geopolimer ke-2 dengan sebesar 475 kg/cm².

Kata kunci: Abu Sekam Padi, Beton, Geopolimer, Kuat Tekan.

Diterima Redaksi : 2024-11-20 | Selesai Revisi : 2025-01-22 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu pilihan sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan karena memiliki banyak manfaat, termasuk perolehan komponen yang cepat, kemudahan dalam pembentukan sesuai spesifikasi yang tepat, dan biaya perawatan yang murah. Beton terdiri dari empat bahan: semen, air, agregat halus dan kasar [1]. Penggunaan semen dapat mengakibatkan dampak buruk terhadap lingkungan karena menghasilkan karbon dioksida (CO_2), yang tidak hanya

mencemari air dan udara, tetapi juga berpotensi menciptakan perubahan iklim. Beton merupakan bahan yang sangat dicari untuk infrastruktur saat ini karena kualitasnya yang luar biasa, kebutuhan perawatan yang rendah, dan ketahanan terhadap api dan keausan [2]. Jumlah semen yang diproduksi dan jumlah karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan akan meningkat jika beton digunakan lebih sering. Oleh karena itu, beton geopolimer sebagai pengganti semen yang diperlukan untuk mengatasi dampak buruk dari penggunaan semen.



Beton geopolimer (*geopolymer concrete*) adalah sejenis alumina-silika anorganik yang dibuat dengan bahan pengikat dari sumber daya alam atau limbah industri [3]. Selama proses pengerasan, terjadi reaksi polimerisasi pada bahan pengikat. Material dengan kandungan silika (Si) dan alumina (Al) yang tinggi merupakan bahan pengikat utama beton geopolimer [4]. Dengan menggunakan metode polimerisasi, bahan-bahan alami non-organik, termasuk beberapa bahan limbah produk sampingan industri seperti abu sekam padi (RHA), abu terbang (*fly ash*), cangkang telur, dan asap silika, disintesis untuk membuat bahan beton ini. Kiranya menggunakan semen sebagai pengikat, mineral yang kaya akan silika dan alumina yang bereaksi dengan cairan alkali untuk membentuk pengikat digunakan untuk membuat beton geopolimer [5].

Abu yang terbuat dari sekam padi yang berasal dari sisa pasca panen dikenal sebagai abu sekam padi. Abu sekam padi memiliki konsentrasi silika yang tinggi. Karena tanaman padi menyimpan silika di dalam bulir padi dan sekam yang membungkusnya. *Persentase silika* dari abu yang diperoleh dari pembakaran sekam padi pada suhu 600-900°C adalah 87-97%, dengan kisaran 16-25%. Abu sekam padi dapat digunakan untuk pupuk organik dan bahan bakar alternatif selain sebagai pengganti semen dalam beton [6].

Beton didefinisikan oleh SNI 2847:2013 sebagai campuran air, agregat halus, kasar, dan hidrolis, seperti semen portland atau semen hidrolis lainnya, dan komponen lain yang dapat membentuk massa padat [7]. Seiring bertambahnya usia, beton akan memadat dan, setelah 28 hari, mencapai kekuatan yang diinginkan (*f_c*). Jika beton tidak dilakukan perawatan akan terjadi penguapan air dari beton segar, sehingga air mengalir keluar dari dalam beton segar, dan akan timbul retakan-retakan pada permukaan beton [8].

Komponen campuran beton meliputi semen portland, batu halus, kerikil, dan air, sesuai dengan peraturan SNI T-15-1991-03. Batu pecah, pasta semen, dan pasir merupakan bahan penyusun beton [9]. Selama proses pengerasan, pasta semen berfungsi untuk mengikat agregat sehingga dapat saling mengikat dan membentuk benda padat yang tahan lama [10]. Jenis beton baru yang disebut beton geopolimer tidak membutuhkan semen 100% sebagai pengikat. Semen dapat sepenuhnya diganti dengan bahan termasuk silika (Si) dan aluminium (Al), berkat penemuan teknik polimerisasi anorganik ilmuwan Perancis yang dikenal sebagai geopolimer. Alkali dan Si bereaksi secara polimer yang berlangsung dalam beton geopolimer. Abu sekam padi mengandung komponen kimia Si dan Al, menjadikannya salah satu bahan yang digunakan untuk membuat beton geopolimer.

Geopolimer didefinisikan sebagai alumina-silika anorganik yang terdiri dari material dengan konsentrasi

alumina (Al) dan silika (Si) yang tinggi, yang dapat berasal dari produk sampingan industri atau sumber-sumber alami [11]. Salah satu jenis beton yang dikenal sebagai beton geopolimer dibuat dengan mengganti semua semen portland dengan bahan-bahan yang mengandung pozolan. Peralihan melalui proses hidrasi seperti dalam pengembangan beton biasa, reaksi kimia terjadi dalam pembentukan beton geopolimer. Untuk alasan ini, pencampuran bahan pozzolan dengan aktivator alkali sangat penting untuk membuat beton geopolimer. Dua aktivator alkali yang paling umum adalah natrium silikat dan natrium hidroksida. Natrium hidroksida dan natrium silikat dapat digunakan untuk membuat ikatan polimer yang kuat. Yang pertama digunakan untuk mereaksikan komponen Al dan Si, sedangkan yang kedua digunakan untuk mempercepat reaksi polimerisasi [12]. Cairan yang mempunyai peranan penting pada proses polimerisasi yaitu alkali aktivator [13]. Fungsi dari alkali aktivator ialah untuk melarutkan reaksi kimia seperti unsur alumina dan silika yang terdapat pada abu sekam padi. Larutan alkali aktivator biasanya digunakan pada beton geopolimer ialah gabungan dari Natrium Silika (Na_2SiO_3) dan Natrium Hidroksida (NaOH) [14]. Alkali oksidasi NaOH atau sering dikenal sodium hidroksida adalah senyawa yang sangat reaktif yang termasuk golongan basa kuat. NaOH yang dideteksi melalui elektrolisis produk reaksi Natrium Clorida (NaCl). Dalam kelas alkali pada golongan satu untuk Na masuk kedalam kelas logam tabel periodik alkali tetapi tidak dengan hidrogen dan unsur yang reaktif secara alami tidak akan ditemukan dalam tabel periodik. Sodium Silikat (Na_2SiO_3) merupakan senyawa unsur sodium silikat yang proses pembuatannya cepat dan tidak terlalu rumit dan senyawa ini termasuk paling aman dalam industri kimia. Sodium silikat terbagi dari 2 bentuk yakni, bentuk larutan dan juga bentuk padat. Dalam perkembangannya silikat bisa digunakan dalam beberapa keperluan seperti, coating, campuran untuk cat serat pada beberapa keperluan industri misalnya serat, tekstil, dan kertas. Selain itu juga, silika bisa digunakan untuk bahan campuran pada semen [15].

Berdasarkan latar belakang yang ada maka akan dilakukan penemuan eksperimen mengenai “Pengaruh Rasio Alkali Aktivator Pada Kuat Tekan Beton Geopolimer” untuk menentukan berapa nilai kuat tekton geopolimer pada masing-masing variasi. Penggunaan rasio aktivator antara Na_2SiO_3 dan NaOH antara lain 1:2, 2:2, dan 3:2.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Indo Global Mandiri [16]. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen di laboratorium berupa eksperimen studi karakteristik kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu sekam padi.

2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diperiksa, termasuk butiran besar (agregat kasar atau batu pecah), dan diisi oleh batuan kecil (agregat halus atau pasir), serta pori-pori agregat halus diisi oleh semen dan air (pasta semen) selanjutnya diperiksa sesuai dengan persyaratan SNI 03-2834-2000 untuk pemeriksaan agregat [17].

2.2. Tahap Pengujian

Tahap pengujian bertujuan untuk memperoleh data karakteristik agregat untuk dapat dicampur dalam pembuatan beton. Pada tahap pengujian ini terdiri dari pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan kadar lumpur, pemeriksaan kadar air, berat jenis dan penyerapan agregat, serta uji slump test. Dalam hal ini acuan pengujian bahan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan dilengkapi dengan *American Society For Testing and Materials (ASTM)*.

2.3. Perencanaan Campuran Beton

Untuk mendapatkan efek yang diinginkan selama proses pembuatan beton, kekuatan dan proporsi konstituen harus ditentukan dengan tepat. Tahapan yang dilakukan dalam mendesain campuran beton dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 diperoleh aktivator alkali Na_2SiO_3 dan NaOH digunakan dengan rasio yang berbeda yaitu 2:1 pada beton geopolimer-1 (BG-1). Menggunakan perubahan rasio alkali aktivator/naftalena 2:2 pada beton geopolimer - 2 (BG-2). Rasio 3:2 dari aktivator alkali Na_2SiO_3 dan NaOH digunakan dalam produksi beton geopolimer - 3 (BG-3).

2.4. Kuat Tekan Beton

Kualitas beton dijelaskan oleh kekuatan tekannya, yang menunjukkan seberapa baik kinerjanya dalam menjalankan fungsi yang dimaksudkan. Pengujian kuat tekan beton dengan silinder menggunakan rumus yang mengacu pada SNI 1974: 2011 sebagai berikut (Pitriyani et al., 2024):

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

f'_c = Kekuatan Tekan Beton (Mpa atau N/mm²)

P = Beban Hancur (N)

A = Luas Silinder (mm²)

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembahasan dalam penelitian ini adalah pengujian mengenai material seperti untuk mengetahui kadar lumpur, berat jenis, analisa saringan, dan daya serap air serta pengujian karakteristik beton seperti uji *slump*,

setting time [18]. Selanjutnya dilakukan analisis uji kuat tekan beton normal dan analisis beton geopolimer.

3.1. Analisis Pengujian Material

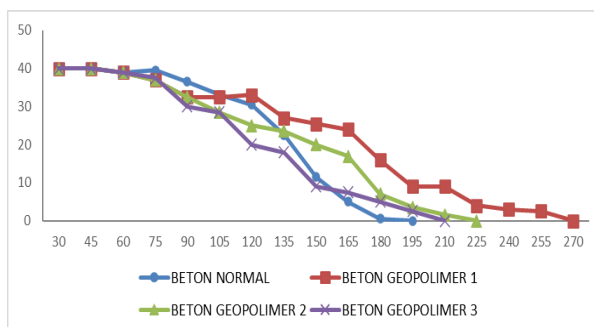
Analisis pengujian agregat halus dan agregat kasar dilakukan pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur, berat jenis, analisa saringan, dan daya serap air. Selanjutnya, untuk menentukan apakah sesuai atau tidak, data hasil pengujian akan dibandingkan dengan data hasil pengujian yang ada di SNI.

3.2. Analisis Pengujian *Slump*

Teknik pengujian slump yang digunakan untuk menilai viskositas beton yang baru dicampur. Teknik ini juga memberikan wawasan tentang seberapa mudahnya bekerja dengan beton yang baru dicampur. Nilai slump yang tinggi menunjukkan bahwa campuran beton baru tersebut encer dan mudah dikerjakan; semakin besar nilai kekentalannya, semakin mudah campuran beton baru tersebut dikerjakan. Nilai *slump* yang rendah menunjukkan campuran beton baru yang kental. Nilai slump beton geopolimer ini tidak dimaksudkan. Dalam penyelidikan ini, nilai slump beton rata-rata adalah 10 cm.

3.3. Hasil Pengujian *Setting Time*

Pengujian *setting time* yang digunakan untuk mengukur waktu pengikatan awal dan akhir pasta pengikat. Proses pengikatan awal terdeteksi saat jarum vicat turun hingga 15 mm. Namun, pengikatan akhir diukur pada sekitar 0 mm. Dilakukan 4 percobaan dalam pengujian waktu pengerasan ini, seperti yang dapat dilihat dari Gambar 1 mengenai komposisi campuran pengikat:



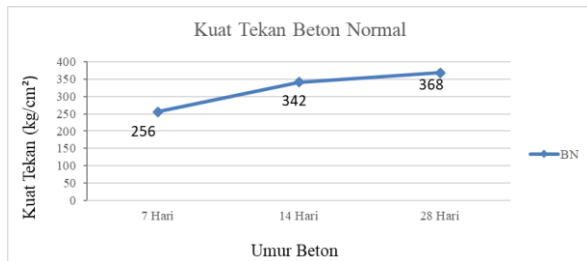
Gambar 1. Grafik *Setting Time*

Dari Gambar 1 menjelaskan bahwa waktu pengerasan beton yang biasa adalah 145 menit untuk pengerasan pertama dan 195 menit untuk pengerasan akhir. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa beton biasa memerlukan waktu tiga jam lima belas menit untuk mengeras. Sebaliknya, waktu pengerasan pertama dan terakhir untuk beton geopolimer -1 masing-masing adalah 181 dan 270 menit, yang berarti bahwa waktu pengerasan untuk beton geopolimer -1 adalah 4 jam 30

menit. Berikutnya, beton geopolimer - 2, yang memerlukan waktu 3 jam 45 menit untuk mengeras, seperti yang dapat dilihat dari grafik, memiliki waktu pengerasan awal 165 menit dan waktu pengerasan akhir 225 menit. Terakhir, beton geopolimer -3, yang memerlukan waktu pengerasan lebih lama lagi, memerlukan waktu pengerasan awal 138 menit dan waktu pengerasan akhir 210 menit. Kesimpulannya adalah bahwa diperlukan waktu pengerasan selama 3 jam 30 menit untuk beton geopolimer -3.

3.4. Hasil Analisis Uji Kuat Tekan Beton Normal

Pengujian kuat tekan benda uji berdasarkan umur yang telah ditetapkan yaitu 7, 14, dan 28 hari dilakukan setelah benda uji tersebut diproduksi dan dirawat. Dengan menggunakan berbagai aktivator alkali, pengujian benda uji berupaya untuk memastikan kuat tekan benda uji relatif terhadap beton K 300. Hasil analisis kuat tekan beton normal sesuai umurnya dapat dilihat pada Gambar 2.

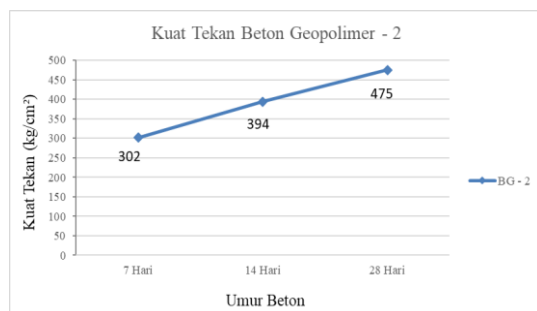


Gambar 2. Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Normal

Berdasarkan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton normal umur 7 hari adalah sebesar 256,1 kg/cm², sedangkan beton normal 14 hari sebesar 341,5 kg/cm², dan beton normal umur 28 hari sebesar 368 kg/cm². Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton normal mengalami kenaikan di setiap umur betonnya.

3.5. Hasil Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian beton geopolimer dilakukan untuk mendapatkan hasil kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan tiga kali pengujian. Untuk pengujian ke-2 diperoleh hasil yang optimal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton Geopolimer ke-2
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i1.1034>

Gambar 3 menerangkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton geopolimer ke-2 umur 7 hari adalah diperoleh nilai 302,22 kg/cm², sedangkan pada umur beton 14 hari didapat nilai sebesar 394 kg/cm², dan beton geopolimer umur 28 hari sebesar 475 kg/cm² serta menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton normal mengalami kenaikan signifikan disetiap umur betonnya.

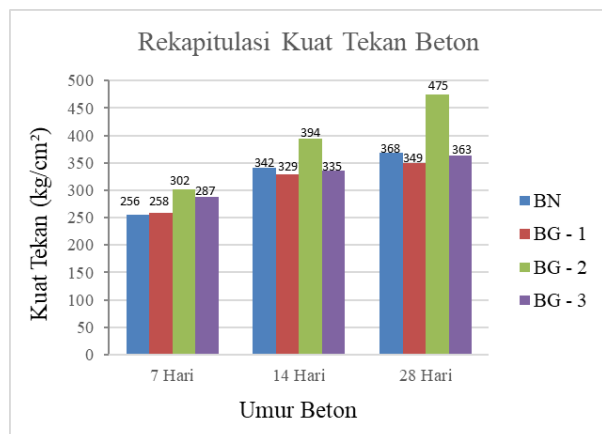
3.6. Hasil Analisis Rekapitulasi Keseluruhan Kuat Tekan Terhadap Umur Beton

Hasil kuat tekan dari semua beton normal dan beton geopolimer pada umur beton 7, 14, 28 hari dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Beton

Umur Beton	Kuat Tekan (Kg/cm ²)			
	BN	BG-1	BG-2	BG-3
7 hari	256	258	302	287
14 hari	342	329	394	335
28 hari	368	349	475	363

Dari Tabel 1 rekapitulasi kuat tekan beton dapat disajikan dalam bentuk diagram batang. Dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Beton

Menurut Tabel 1 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa rata-rata kuat tekan meningkat seiring bertambahnya usia untuk setiap jenis variasi. Beton umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dari pada beton umur 7 dan 14 hari pada setiap variasinya, menurut penelitian yang telah dilakukan mengenai perbandingan antara beton biasa dengan beton geopolimer dengan varian aktivator alkali. Dengan rata-rata kuat tekan sebesar 475 kg/cm² pada umur 28 hari, beton geopolimer 2:2 memiliki nilai kuat tekan yang paling besar, sedangkan beton geopolimer 2:1 memiliki nilai kuat tekan yang paling kecil yaitu sebesar 349 kg/cm². Hal ini menunjukkan bagaimana kuat tekan beton geopolimer

dipengaruhi secara signifikan oleh perbandingan larutan alkali natrium hidroksida dengan natrium silikat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa kuat tekan untuk beton normal dan beton variasi geopolimer mengalami kenaikan di setiap umurnya. Beton normal pada umur 28 hari memiliki kuat tekan sebesar 368 kg/cm², sedangkan pada beton geopolimer ke-1 di umur 28 hari didapatkan kuat tekan senilai 349 kg/cm² hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer ke-1 mengalami penurunan 5% dari beton normal, pada beton geopolimer ke-2 di umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan sebesar 475 kg/cm² yang artinya kuat tekan beton geopolimer ke-2 mengalami kenaikan sebesar 29% dari kuat tekan beton normal dan yang terakhir beton geopolimer ke-3 memiliki nilai kuat tekan 363 kg/cm² di umur 28 hari hal ini menunjukkan bahwa beton geopolimer ke-3 mengalami penurunan 1% dari beton normal. Serta, nilai kuat tekan beton geopolimer yang paling optimal yaitu beton geopolimer ke-2 dengan sebesar 475 kg/cm².

Ucapan Terimakasih

Penulis dengan senang hati berterima kasih kepada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Indo Global Mandiri Palembang yang telah memfasilitasi laboratorium sehingga dapat melakukan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] N. Puspita, Y. Arti, and Febryandi, "Flexural Strength Analysis of Concrete With the Addition B3 Waste as an Additive to Ordinary Portland Cement," *Proc. 4th Forum Res. Sci. Technol.*, vol. 7, pp. 343–348, 2021, doi: 10.2991/ahe.k.210205.057.
- [2] Azhar Darujati, Sartika Nisumanti, and Ghina Amalia, "Analisis Kuat Tekan Dan Ultrasonic Pulse Velocity (Upv Test) Pada Mutu Beton K 350 Menggunakan Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Kasar," *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 12, no. 1, pp. 30–35, 2023, doi: 10.22225/pd.12.1.5890.30-35.
- [3] M. Qomaruddin, K. Umam, I. Istianah, Y. Adi Saputro, and P. Purwanto, "Pengaruh Bahan Kalsium Oksida pada Waktu Pengikatan Pasta Beton Geopolimer dan Konvensional," *EKSAKTA J. Sci. Data Anal.*, vol. 19, pp. 182–192, 2019, doi: 10.20885/eksakta.vol19.iss2.art8.
- [4] Y. N. Muhammad Ujianto, Fnadi Ahmad Dhia Ul Haq, Budi Setiawan, "PENGARUH PERBANDINGAN KADAR SOLID LARUTAN ABU TERBANG (FLY ASH) TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER DENGAN AKTIFATOR NaOH dan Na₂SiO₃," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil 2020*, pp. 390–396, 2020.
- [5] L. Opirina, A. Azwanda, and R. Febrianto, "Analysis of The Mechanical Properties of Concrete Based on Fly Ash and Palm Oil Clinkers," *Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 31–35, 2021, doi: 10.52088/ijesty.v1i4.148.
- [6] Sunjoto, "Jurnal Teknik Sipil 1 Jurnal Teknik Sipil," *J. Sendi Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 1989, [Online]. Available: <https://jurnal.usk.ac.id/JTS/index>
- [7] F. Febryandi, D. S. Devi, R. R. Julio, and A. Cristine, "Analisis Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan," *J. Tekno Glob. UIGM Fak. Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 25–29, 2022, doi: 10.36982/jtg.v11i1.2804.
- [8] M. Mulyati and Z. Arkis, "Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal," *J. Tek. Sipil ITP*, vol. 7, no. 2, pp. 78–84, 2020, doi: 10.21063/jts.2020.v702.05.
- [9] F. Alfuady and K. Al Qubro, "Analisis Cangkang Kerang Dara Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Deform.*, vol. 8, no. 2, pp. 192–199, 2023, doi: 10.31851/deformasi.v8i2.13251.
- [10] Y. Risdianto, N. Andajani, A. Widjaya, K. D. Handayani, and M. Wulandari, "Abu Sekam Padi dan Carbon Nanotube sebagai Material Alternatif Penyusun Beton Ringan Seluler," *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 14–20, 2022, doi: 10.26740/proteksi.v4n1.p14-20.
- [11] N. Luntungan, M. D. J. Sumajouw, and R. E. Pandaleke, "Optimalisasi Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Menambahkan Semen atau Kapur pada Perawatan Temperatur Ruang," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 7, pp. 749–756, 2019.
- [12] M. Ulya, Zainudin, and T. B. Santoso, "Seminar Nasional Teknik Sipil STUDI EXPERIMENTAL KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY Seminar Nasional Teknik Sipil karbondioksida yang dihasilkan dari produksi semen .," *Semin. Nas. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 234–243, 2023.
- [13] I. M. A. Karyawan Salain, N. M. A. Wiryasa, and I. N. M. M. Adi Pamungkas, "Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang," *J. Spektran*, vol. 9, no. 1, p. 76, 2021, doi: 10.24843/spektran.2021.v09.i01.p09.
- [14] S. K. Angelika, E. Desimaliana, and M. Khanza, "Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, p. 70, 2023, doi: 10.26760/rekaracana.v9i2.70.
- [15] Maulana et al, "Perbandingan Kekuatan Beton Dengan Fly Ash Dan Silica Fume Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen (Comparison Of Concrete Strength With Fly Ash And Silica Fume As A Partial Cement Substitutions)," *Univ. Islam Indones.*, pp. i–138, 2022.
- [16] Y. M. Sopa N.R, S. Nisumanti, and D. Chandra, "Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton Fc'25," *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.26740/proteksi.v5n1.p1-6.
- [17] M. Fauzi, N. Puspita, and R. R. Julio, "Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Pada Beton Ringan," *J. Tekno Glob.*, vol. 11, no. 2, pp. 45–50, 2022, doi: 10.36982/jtg.v11i2.2802.
- [18] S. Nisumanti, M. Hasanah, and F. Febryandi, "Experimental Study of the Utilization of Pineapple Leaf Fiber With the Addition of Epoxy Resin To the Tensile Strength Break of the Concrete," *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 24, no. 2, pp. 63–68, 2024, doi: 10.31940/logic.v24i2.63-68.



Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit 6 Lantai dengan Analisis *Pushover* (Studi Kasus: Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda)

Nurmila¹, Indra Ariani², Fachriza Noor Abdi³

^{1,2,3} Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

¹nrmilamila@gmail.com, ²indraariani@ft.unmul.ac.id, ³fnabdi@ft.unmul.ac.id

Abstract

Indonesia is an archipelago located at the confluence of three active tectonic plates, which makes the islands in Indonesia an area with a high level of seismicity, one of which is Kalimantan Island. The numerous earthquakes in Indonesia have had devastating effects, causing significant damage to buildings and resulting in the loss of life. Therefore, it is necessary to evaluate the performance of the building structure to determine the level of damage it sustains when exposed to an earthquake. This research was conducted on the Mulya Medika Hospital Building project located in Samarinda City, which will be evaluated with FEMA 310, using pushover analysis. In this study, only 2 evaluation stages were carried out, namely Tier 2 using linear dynamic spectrum response analysis and equivalent linear static analysis to determine the Demand Capacity Ratio (DCR) value, and Tier 3 using non-linear static pushover analysis. Pushover analysis involves gradually applying a thrust load to a structure until it either collapses or reaches a predetermined displacement target. This process allows for the assessment of the structure's performance according to FEMA 356 guidelines. According to the results of the tier 2 analysis, the DCR values for all beams and columns were less than or equal to 2, meeting the acceptance criteria outlined in FEMA 310. The results of the Tier 3 analysis indicated that the performance level, based on FEMA 356, fell within the Immediate Occupancy category. This suggests that there was no significant damage to the structural components, and the building's strength and stiffness remained nearly unchanged compared to its condition before the earthquake.

Keywords: Demand Capacity Ratio (DCR), Earthquake, Earthquake Resistant Building, Static Non-Linear Pushover Analysis, Structure Performance Evaluation

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia, yang menjadikan pulau-pulau di Indonesia sebagai daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi, salah satunya Pulau Kalimantan. Banyaknya peristiwa gempa bumi yang pernah terjadi di Indonesia, dampak terburuk yang disebabkan adalah kerusakan bangunan struktur yang dapat memakan banyak korban jiwa. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja struktur bangunan untuk mengetahui tingkat kerusakan pada struktur saat terkena gempa. Penelitian ini dilakukan pada proyek Gedung Rumah Sakit Mulya Medika yang terletak di Kota Samarinda yang akan dievaluasi dengan FEMA 310 dengan pendekatannya menggunakan analisis *pushover*. Evaluasi kinerja struktur bangunan metode FEMA 310 dilakukan dengan 3 tahap, yaitu *Tier 1*, *Tier 2* dan *Tier 3*. Pada penelitian ini hanya dilakukan 2 tahap evaluasi, yaitu *Tier 2* menggunakan analisis dinamik linear respon spektrum dan analisis statik linear ekuivalen untuk menentukan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR), dan *Tier 3* menggunakan analisis non-linear statik *pushover*. Konsep analisis *pushover* adalah mengaplikasikan beban dorong secara berangsur-angsur sampai tercapai keruntuhan pada struktur atau mencapai target perpindahan yang diharapkan, kemudian dapat ditentukan level kinerja struktur menurut FEMA 356. Dari hasil analisis *tier 2* diperoleh nilai DCR seluruh balok dan kolom ≤ 2 dan telah memenuhi kriteria penerimaan berdasarkan FEMA 310. Hasil analisis *tier 3* diperoleh level kinerja berdasarkan FEMA 356 termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy*, yang berarti tidak ada kerusakan berat pada komponen struktural, kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi gedung sebelum dilanda gempa.

Kata kunci: Demand Capacity Ratio (DCR), Gempa Bumi, Bangunan Tahan Gempa, Analisis Statik Nonlinear Pushover, Evaluasi Kinerja Struktur

Diterima Redaksi : 2024-12-02 | Selesai Revisi : 2024-12-19 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia yang menjadikan Indonesia sebagai

daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat telah terjadi 26 kejadian gempa bumi merusak (*destructive earthquake*) di Indonesia sepanjang 2021 yang merupakan jumlah tertinggi dalam



kurun waktu 20 tahun terakhir [1]. Hal ini menunjukkan bahwa pulau-pulau di Indonesia memiliki potensi terjadinya gempa bumi, salah satunya Pulau Kalimantan. Kalimantan merupakan pulau dengan tingkat aktivitas kegempaan yang relatif paling rendah, tetapi bukan berarti tidak berpotensi terjadi gempa bumi [2]. Dampak terburuk yang disebabkan oleh gempa bumi adalah kerusakan bangunan struktur yang dapat memakan banyak korban jiwa. Oleh karena sifat gempa terjadi secara tiba-tiba dan tidak dapat diprediksi, maka diperlukan perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Masalah yang muncul ada pada bangunan yang telah berdiri, apakah dalam perencanaan bangunan tersebut telah didesain tahan terhadap gempa atau tidak, sehingga perlu dilakukan evaluasi kinerja terhadap struktur bangunan tersebut.

Seiring berkembangnya teknologi dalam pengembangan desain bangunan tahan gempa, mulai diperkenalkannya konsep desain rekayasa gempa berbasis kinerja (*Performance Based Design*). Desain berbasis kinerja menekankan pada kinerja struktur selama terjadi respon gempa, dimana struktur dapat mengalami kerusakan bahkan keruntuhan [3]. FEMA 310 mengeluarkan pedoman evaluasi kinerja struktur, dengan salah satu metode pendekatannya adalah analisis statik nonlinear *pushover* [4]. Tujuan analisis *pushover* ini adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian struktur mana saja yang mengalami kritis atau kerusakan [4]. Sehingga, dapat ditentukan *performance* atau kinerja struktur tersebut dengan mengacu kepada FEMA 356.

Studi kasus pada penelitian ini adalah proyek Gedung Rumah Sakit Mulya Medika yang terletak di Kota Samarinda. Banyak studi menunjukkan bahwa analisis *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinear untuk untuk bangunan reguler dan tidak tinggi [5]. Selain itu, analisis *pushover* memungkinkan evaluasi mendetail mengenai bagaimana struktur akan merespon berbagai tingkat intensitas gempa. Hal ini sangat penting terutama dalam mengevaluasi gedung dengan tingkat kategori risiko tinggi seperti rumah sakit, karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang titik lemah dan potensi keruntuhan pada struktur gedung. Sehingga dapat dipastikan bahwa gedung dengan kategori risiko tinggi dapat memenuhi kriteria kinerja yang diharapkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kinerja pada struktur untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur saat terkena gempa dengan menggunakan metode FEMA 310 yang dianalisis dengan analisis *pushover*, sehingga dapat dilakukan penanganan terhadap struktur gedung tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Kota Samarinda dengan metode FEMA 310 menggunakan program bantu ETABS. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui hasil evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*) dengan Analisis Dinamik Linear Respon Spektrum dan

evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) dengan Analisis Statik Nonlinear Pushover) berdasarkan FEMA 310, serta mengetahui level kinerja (*performance*) struktur berdasarkan FEMA 356.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat studi kepustakaan dan analisis dengan menggunakan program bantu, yaitu ETABS. Pengumpulan data diperoleh dari studi literatur dan observasi. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari parameter-parameter analisa beban gempa standar perencanaan ketahan gempa untuk struktur bangunan gedung sesuai SNI 1726:2019 [6]. Observasi dilakukan dengan mengamati langsung kondisi objek penelitian di lapangan guna sebagai pembanding dengan yang dimodelkan pada program bantu.

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Mulya Medika di Jl. Bung Tomo, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Adapun denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian

2.2. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dimana tidak ada peninjauan langsung sebagai data primer. Data sekunder pada penelitian berupa data geometri struktur, detail penampang elemen struktur dan mutu material elemen struktur. Data tersebut diperoleh dari hasil pengamatan terhadap gambar struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda dan studi literatur. Data sekunder lainnya adalah data zona gempa yang diperoleh dari *website* Kementerian Pekerjaan Umum Desain Spektra Indonesia.

2.3. Metode Analisis

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Kota Samarinda dengan metode FEMA 310 menggunakan program bantu ETABS. Evaluasi kinerja struktur gedung berdasarkan FEMA 310 dilakukan dalam 3 tahap, yaitu evaluasi tahap 1 (*tier 1 evaluation*), evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*) dan evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) [7]. Kondisi gedung pada saat penelitian dilaksanakan belum selesai dibangun, yaitu masih

berupa struktur atas dan bawah saja tanpa komponen arsitektural, mekanikal dan elektrik serta beban layan belum bekerja, sehingga *Tier 1* tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu penelitian hanya dilakukan analisis sesuai *Tier 2* dan *Tier 3* (Analisis Statik Nonlinear *Pushover*).

Prosedur yang digunakan dalam evaluasi tahap 2 adalah prosedur analisis dinamik linear dengan beban gempa respon spektrum dengan lokasi kegempaan berada di Kota Samarinda. Analisis statik linear ekuivalen digunakan sebagai kontrol terhadap perilaku struktur dengan berpedoman kepada SNI 1726:2019 [6]. Hasil gaya dalam tiap elemen berupa gaya aksial, momen dan gaya geser yang digunakan untuk menentukan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) dari komponen-komponen primer struktur gedung yang ditinjau.

2.4. Evaluasi Kinerja Struktur FEMA 310

Federal Emergency Management Agency (FEMA) menerbitkan FEMA 310 sebagai pedoman yang digunakan dalam melakukan evaluasi kinerja struktur. Standar evaluasi yang dikeluarkan FEMA 310 mencakup tahap evaluasi sebelum terjadinya gempa, saat terjadi gempa dan setelah terjadi gempa. Evaluasi kinerja struktur bangunan berdasarkan FEMA 310 meliputi 3 tahapan, yaitu evaluasi tahap 1 (*tier 1*), evaluasi tahap 2 (*tier 2*) dan evaluasi tahap 3 (*tier 3*) [8].

Evaluasi Tahap 1 (*Tier 1 Evaluation*), yaitu *Screening Phase/Rapid Visual Screening of Building*, merupakan langkah awal dalam evaluasi struktur bangunan eksisting. Evaluasi yang dilakukan merupakan evaluasi kondisi eksisting bangunan terhadap bahaya struktural, nonstruktural dan fondasi dari bangunan yang ditinjau. *Rapid visual screening of building* merupakan evaluasi secara visual yang dilakukan dengan survei lokasi ke bangunan eksisting secara langsung. Hasil akhir berupa *score* yang ditentukan dari penjumlahan nilai pada tiap kolom sesuai tipe bangunan. Apabila nilai *score* > 2, maka bangunan tersebut dianggap memiliki kemampuan yang memadai dalam menahan beban gempa. Sebaliknya jika hasil *score* < 2, maka bangunan perlu dievaluasi lebih lanjut [9].

Evaluasi Tahap 2 (*Tier 2 Evaluation*) dilakukan setelah evaluasi tahap 1 dengan kesimpulan bahwa bangunan memerlukan evaluasi lebih lanjut dan mendalam. Analisis tahap 2 terbatas pada metode analisis linear yang disederhanakan, meliputi analisis dinamik linear respon spektrum dan analisis statik linear ekuivalen [9]. Hasil analisis tahap 2 adalah nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR). Penggunaan prosedur linier ditentukan sesuai persyaratan pada FEMA 356, yaitu; Jika DCR semua komponen ≤ 2,0 maka prosedur linier dapat digunakan; Jika DCR dari satu atau lebih komponen melebihi 2,0 dan tidak terdapat ketidakberaturan struktur gedung, maka prosedur linier dapat digunakan; Jika DCR dari satu atau lebih komponen melebihi 2,0 dan terdapat ketidakberaturan struktur gedung, maka

prosedur linier tidak dapat digunakan [10]. DCR dihitung dengan persamaan berikut:

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \dots\dots\dots (1)$$

dengan Q_{UD} merupakan gaya-gaya dalam akibat beban gravitasi dan gempa, dan Q_{CE} adalah perkiraan kekuatan dari komponen sistem pemikul gaya lateral [10].

Evaluasi Tahap 3 (*Tier 3 Evaluation*), yaitu Analisis Statik Nonlinear *Pushover*. Analisis *Pushover* adalah suatu analisis yang mengaplikasikan beban dorong secara berangsur-angsur hingga struktur bangunan tersebut runtuh, sehingga dapat ditentukan level kinerja dari struktur bangunan tersebut. Pada analisis ini pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur hingga mencapai pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung [4]. Hasil analisis *pushover* berupa kurva kapasitas struktur yang memperlihatkan hubungan antara gaya geser dan perpindahan yang terjadi pada struktur.

2.5. Level Kinerja Struktur

Dari hasil evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) FEMA 310, kemudian ditentukan level kinerja struktur (*performance*) yang mengacu kepada FEMA 356. Berdasarkan FEMA 356 kinerja struktur bangunan saat terjadi gempa dibagi menjadi beberapa kategori antara lain, *Operational* (bangunan tidak mengalami kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun nonstruktural, tidak ada pergeseran permanen yang terjadi); *Immediate Occupancy* (bangunan tidak mengalami kerusakan pada komponen struktural dan pada komponen nonstruktural secara umum masih aman, tetapi secara operasional tidak dapat bekerja karena kegagalan mekanik); *Life Safety* (bangunan pasca gempa terjadi beberapa kerusakan komponen struktur dan kekuatan serta kekakuannya berkurang); *Collapse Prevention* (bangunan yang hampir runtuh dan pada komponen nonstrukturalnya sudah mengalami kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya pada keselamatan jiwa) [10]. Level kinerja struktur menurut FEMA 356 diperoleh dari nilai simpangan yang terjadi. Adapun batasan nilai simpangan untuk level kinerja struktur menurut FEMA 356 dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini. [10]:

Tabel 1. Batasan Simpangan Level Kinerja Struktur FEMA 356

Level Kinerja Struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy</i>	1,0	<i>Transient</i>
<i>Life Safety</i>	2,0	<i>Transient</i>
	1,0	<i>Permanent</i>
<i>Collapse Prevention</i>	4,0	<i>Transient</i> atau <i>Permanent</i>

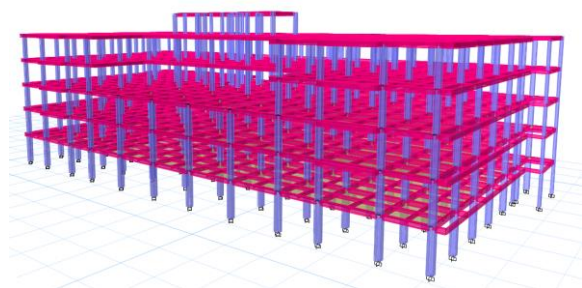
2.6. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur 3D dilakukan sesuai gambar *shop drawing* dengan menggunakan program bantu ETABS.

Balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame* dan pelat dimodelkan sebagai *slab*.

Gedung Rumah Sakit Mulya Medika merupakan struktur gedung beton bertulang yang terdiri dari 6 lantai dengan ketinggian 25,53 meter. Dimana tinggi lantai 1 adalah 4,85 meter, tinggi lantai 2 adalah 4,55 meter, tinggi lantai 3-5 adalah 4,2 meter, dan tinggi lantai *Attic* adalah 3,53 meter. Struktur gedung memiliki panjang 78,4 meter dan lebar 44,3 meter.

Data-data seperti mutu material, serta dimensi penampang balok, kolom dan pelat disesuaikan dengan yang tercantum pada *shop drawing*. Spesifikasi untuk beton yang digunakan yaitu, kolom (24,9 Mpa), balok dan pelat (20,7 Mpa). Sedangkan spesifikasi untuk baja tulangan yang digunakan yaitu, baja tulangan ulir (BJTD 40) dan baja tulangan polos (BJTP 24). Gambar 2 di bawah ini adalah bentuk pemodelan struktur Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda yang dimodelkan dengan program bantu ETABS.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Rumah Sakit 3D

2.7. Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan dilakukan sebagai input dalam analisa struktur. Pada analisis struktur ini terdapat beberapa asumsi yang diterapkan dalam menganalisis beban-beban yang bekerja. Beban-beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa. adapun perhitungan pembebanan pada struktur ini meliputi:

Beban mati (*Dead Load*) atau berat sendiri elemen struktur seperti balok, pelat dan kolom akan dihitung otomatis oleh program bantu (ETABS) berdasarkan input data material dan dimensi elemen struktur. Beban mati tambahan (*Superimpose Dead Load*) dan merupakan beban yang diinput pada balok merupakan beban mati tambahan akibat dinding. Perhitungan beban mati tambahan (SIDL) mengacu kepada PPURG 1987 [12].

Beban hidup (*Live Load*) dan merupakan beban yang diinput pada pelat adalah beban berdasarkan fungsi bangunan. Perhitungan beban hidup (LL) mengacu kepada SNI 1727:2020. Beban hidup yang bekerja pada pelat lantai diambil sebesar 2,87 kN/m² dan pada atap 0,96 kN/m² sesuai SNI 1727:2020 [13].

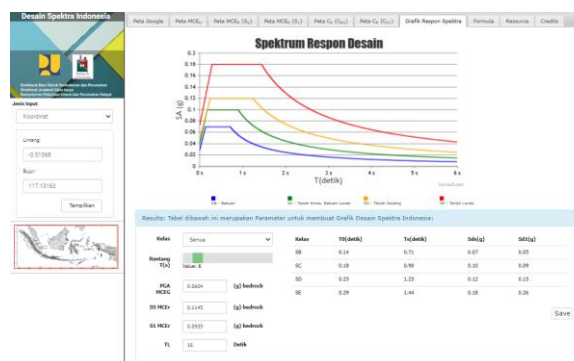
Beban gempa (*Earthquake*) dihitung dengan analisis dinamik linear dengan beban gempa respon spektrum dan analisis non linear *pushover*. Perhitungan beban gempa mengacu kepada SNI 1726:2019 [6].

2.8. Analisis Beban Gempa Respon Spektrum

Respon gempa pada desain berbasis kinerja ini digunakan respon gempa yang dihitung sesuai SNI 1726:2019. Berikut beberapa parameter yang digunakan dalam analisis dinamik linear respon spektrum dalam menghitung beban gempa [6].

- Fungsi Gedung = Rumah Sakit
- Kategori Risiko Bangunan = IV
- Faktor keutamaan gempa (*I_e*) = 1,5
- Klasifikasi Situs = Tanah Lunak (SE)

Parameter-parameter percepatan gempa didapat dari respon spektra desain yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian PUPR [14]. Respon spektra desain untuk gedung Rumah Sakit Mulya Medika dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Respon Spektrum

Parameter-parameter percepatan gempa sebagai berikut:

Parameter Percepatan Batuan Dasar (*S_s* dan *S₁*)

- S_s* = 0,1145 g
- S₁* = 0,0935 g

Faktor Amplifikasi Percepatan (*F_a* dan *F_v*)

- F_a* = 2,4
- F_v* = 4,2

Respon Spektral Percepatan (*S_{MS}* dan *S_{M1}*)

- S_{MS}* = 0,27 g
- S_{M1}* = 0,39 g

Percepatan Spektral Desain (*S_{DS}* dan *S_{D1}*)

- S_{DS}* = 0,18 g
- S_{D1}* = 0,26 g

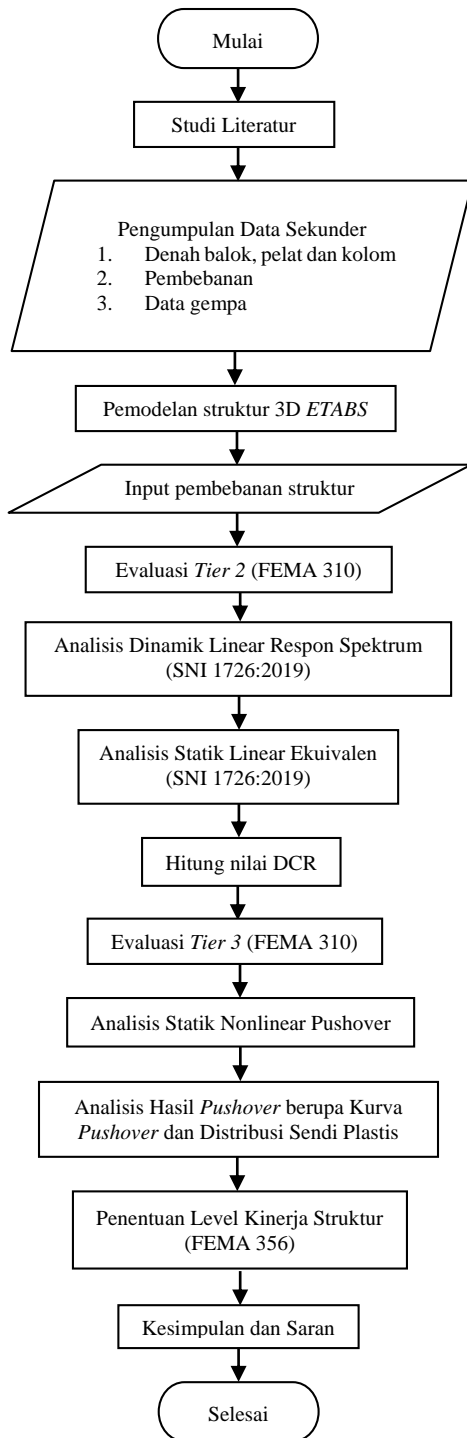
Periode Getar Fundamental Struktur

- T₀* = 0,29 detik
- T_s* = 1,44 detik
- T_L* = 16 detik

Parameter-parameter tersebut diinput ke dalam program bantu ETABS sebagai input beban gempa respon spektrum.

2.9. Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir pada penelitian ini pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Evaluasi Tahap 2 (Tier 2 Evaluation)

Evaluasi tahap 2 (tier 2 evaluation) pada pemeriksaan ketidakberaturan konfigurasi struktur memberikan

hasil bahwa struktur mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 2 (ketidakberaturan sudut dalam) dan tipe 5 (ketidakberaturan sistem nonparalel), serta ketidakberaturan vertikal tipe 2 (ketidakberaturan berat/massa). Pada pengecekan simpangan antar lantai dan pengaruh P-Delta didapatkan hasil bahwa memenuhi untuk semua lantai.

Hasil pemeriksaan kriteria penerimaan balok berdasarkan level kinerja IO dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Kriteria Penerimaan Balok untuk Level Kinerja IO

Lantai	Elemen	Kriteria Penerimaan	
		QCE>QUD/m	QCE>QUF
Lantai 2	30/55	0,265	0,950
	25/45	0,175	1,976
	20/40	0,295	0,804
	20/30	0,380	0,972
Lantai 3	15/55	0,168	0,032
	30/55	0,290	1,109
	25/45	0,163	0,622
	20/40	0,341	0,879
Lantai 4	20/30	0,703	1,091
	15/55	0,193	0,115
	30/55	0,256	0,825
	25/45	0,205	0,625
Lantai 5	20/40	0,291	0,860
	20/30	0,420	0,986
	15/55	0,171	0,037
	30/55	0,265	0,263
Lantai Attic	25/45	0,185	0,199
	20/40	0,319	0,282
	20/30	0,408	0,196
	15/55	0,177	0,035
R. Mesin	30/55	0,138	0,140
	25/45	0,125	0,157
	20/40	0,134	0,105
Lift	20/30	0,280	0,130
	15/55	0,102	0,021
	30/55	0,186	0,200
Atap	25/50	0,369	0,225
	20/40	0,146	0,109
	20/40	0,115	0,072

Dari hasil analisis pemeriksaan kriteria penerimaan balok untuk level kinerja Immediate Occupancy (IO) pada Tabel 2 di atas, didapat hasil bahwa ada beberapa balok yang tidak memenuhi kriteria penerimaan level kinerja IO (Immediate Occupancy), yaitu B25/45 pada lantai 2, B30/55 dan B20/30 pada lantai 3.

Hasil pemeriksaan kriteria penerimaan kolom berdasarkan level kinerja IO dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Kriteria Penerimaan Kolom untuk Level Kinerja IO

Lantai	Elemen	Kriteria Penerimaan		
		QCE>QUF		QCE>QUD/m
		Aksial	Geser	Geser
Lantai 2	70/70	0,094	0,062	0,148
	65/65	0,098	0,124	0,145
	60/60	0,055	0,185	0,151
	60/30	0,100	0,274	0,354
Lantai 3	30/60	0,089	0,013	0,033
	70/70	0,074	0,081	0,112
	60/60	0,090	0,216	0,150
	60/30	0,073	0,259	0,433

Lantai	Elemen	Kriteria Penerimaan		
		QCE ≥ QUF		QCE ≥ QUD/m
		Aksial	Geser	Geser
Lantai 4	30/60	0,060	0,020	0,043
	60/60	0,073	0,205	0,124
	60/30	0,048	0,249	0,393
Lantai 5	30/60	0,033	0,020	0,036
	60/60	0,017	0,069	0,071
	60/30	0,026	0,218	0,321
Lantai Attic	50/50	0,067	0,209	0,207
	30/50	0,020	0,086	0,164
	60/60	0,006	0,007	0,044
R. Mesin Lift	60/30	0,007	0,065	0,272
	50/50	0,034	0,080	0,062
	30/50	0,010	0,036	0,155
Atap	50/50	0,025	0,287	0,121
	50/50	0,009	0,080	0,113

Dari hasil analisis pemeriksaan kriteria penerimaan balok untuk level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) pada Tabel 3 di atas, didapat hasil bahwa seluruh kolom memenuhi kriteria penerimaan level kinerja IO.

Selanjutnya adalah pemeriksaan hasil perhitungan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) balok dan kolom. Nilai DCR balok dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) Balok

Lantai	Elemen	QUD/QCE	
		Momen	Geser
Lantai 2	30/55	0,789	0,950
	25/45	0,522	1,976
	20/40	0,881	0,804
	20/30	1,134	0,972
Lantai 3	15/55	0,168	0,032
	30/55	0,867	1,109
	25/45	0,487	0,622
	20/40	1,019	0,879
Lantai 4	20/30	1,013	1,091
	15/55	0,582	0,115
	30/55	0,762	0,825
	25/45	0,613	0,625
Lantai 5	20/40	0,869	0,860
	20/30	1,255	0,986
	15/55	0,516	0,111
	30/55	0,791	0,783
Lantai Attic	25/45	0,552	0,595
	20/40	0,950	0,840
	20/30	1,217	0,594
	15/55	0,529	0,104
R. Mesin	30/55	0,412	0,416
	25/45	0,373	0,467
	20/40	0,398	0,313
	20/30	0,835	0,390
Atap	15/55	0,305	0,064
	30/55	0,555	0,595
	20/40	0,564	0,338
	25/50	0,437	0,324
	20/40	0,342	0,213

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) balok seperti ditunjukkan pada Tabel 4 di atas, didapat bahwa seluruh balok memiliki nilai $DCR \leq 2$, sehingga seluruh balok aman dan memenuhi kriteria evaluasi *tier 2*.

Nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) kolom dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) Kolom

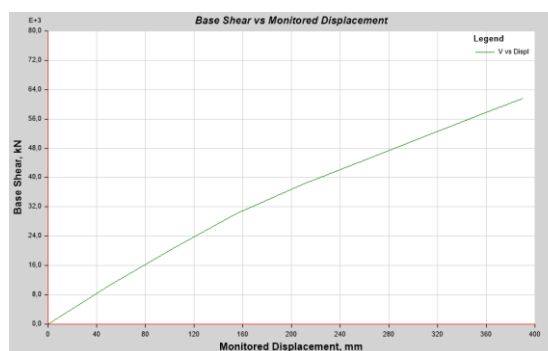
Lantai	Elemen	QUD/QCE		
		Aksial	Geser	Momen
Lantai 2	70/70	0,281	0,448	0,187
	65/65	0,293	0,439	0,369
	60/60	0,164	0,457	0,561
Lantai 3	60/30	0,297	1,070	0,820
	30/60	0,266	0,101	0,038
	70/70	0,219	0,336	0,243
Lantai 4	60/60	0,267	0,453	0,652
	60/30	0,217	1,291	0,774
	30/60	0,158	0,128	0,060
Lantai 5	60/60	0,073	0,124	0,205
	60/30	0,048	0,393	0,249
	30/60	0,033	0,036	0,020
Lantai Attic	60/60	0,050	0,215	0,208
	60/30	0,079	0,969	0,651
	50/50	0,200	0,620	0,628
R. Mesin	30/50	0,308	0,496	0,260
	60/60	0,017	0,132	0,021
	60/30	0,022	0,810	0,195
Atap	50/50	0,102	0,185	0,238
	30/50	0,029	0,463	0,108
	50/50	0,075	0,361	0,856
	50/50	0,026	0,338	0,238

Hasil pemeriksaan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) kolom menunjukkan bahwa seluruh kolom memiliki nilai $DCR \leq 2$, sehingga seluruh kolom aman dan memenuhi kriteria evaluasi *tier 2*. Berdasarkan FEMA 356, jika nilai DCR semua komponen $\leq 2,0$, maka prosedur linear berlaku dan dapat digunakan.

Dari hasil evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*), didapat bahwa struktur gedung dapat dikatakan sudah aman dan memenuhi kriteria penerimaan berdasarkan FEMA 310. Gedung yang ditinjau termasuk ke dalam bangunan yang diklasifikasikan sebagai fasilitas penting yang harus dievaluasi berdasarkan tingkat kinerja *immediate occupancy*, maka akan dilakukan evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) dengan analisis statik nonlinear *pushover* untuk mengevaluasi struktur secara lebih terperinci.

3.2. Hasil Evaluasi Tahap 3 (*Tier 3 Evaluation*)

Analisis *pushover* menghasilkan grafik kurva kapasitas. Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan yang terjadi akibat beban gempa pada struktur bangunan. Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



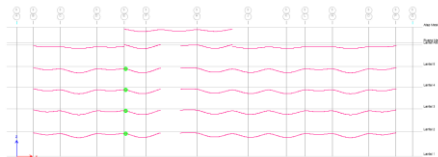
Gambar 5. Kurva Kapasitas Hasil Analisis *Pushover*

berdasarkan kurva kapasitas *pushover* di atas didapatkan nilai perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*base shear*) yang ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. *Displacement* dan *Base Shear* Hasil Analisis *Pushover*

Step	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Base Shear</i> (kN)
0	0	0
1	0,118	25,1348
2	51,518	10781,4581
3	102,631	20718,8703
4	154,924	30274,29
5	210,771	38294,7119
6	261,831	45033,5677
7	312,891	51699,5228
8	363,951	58301,8725
9	389,68	61582,0401

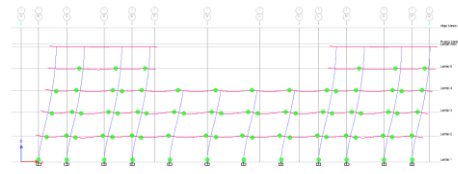
Analisis *pushover* menghasilkan skema distribusi sendi plastis. Sendi plastis terjadi karena beban dorong yang diberikan melampaui beban yang dapat ditahan oleh struktur. Pada Gambar 6 di bawah ini dapat dilihat bahwa sendi plastis pertama muncul pada step ke-1.



Gambar 6. Mekanisme Sendi Plastis Step 1

Pada Gambar 6 di atas, diketahui bahwa lokasi awal terjadinya sendi plastis terjadi pada balok lantai 2 yang kemudian bertahap naik ke atas seiring pertambahan beban dorong yang diberikan struktur.

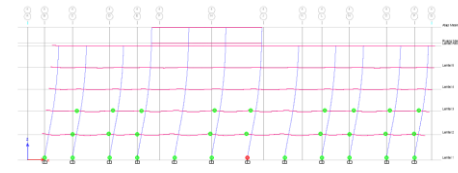
Sendi plastis kemudian terjadi pada kolom, yaitu pada step ke-4, seperti pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Mekanisme Sendi Plastis Step 4

Pada Gambar 7 di atas, diketahui bahwa sendi plastis pada kolom mulai terjadi pada kolom lantai 2 sebelum pada akhirnya naik ke lantai-lantai berikutnya.

Sendi plastis berakhir di step ke-9 yang merupakan step terakhir dimana step berhenti secara otomatis dikarenakan elemen struktur mengalami sendi plastis pada tingkat E. Sendi plastis pada step ke-9 dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Mekanisme Sendi Plastis Step 9

Pada step ke-9 yang merupakan step terakhir, struktur sudah tidak mampu lagi menerima beban dorong atau dinyatakan *collapse* sehingga step otomatis berhenti.

Pada Tabel 7 di bawah ini merupakan hasil persebaran sendi plastis yaitu hasil running analisis *pushover*, yang merupakan hubungan antara gaya dan perpindahan terhadap struktur.

Tabel 7. Persebaran Sendi Plastis

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	5534	20	0	0	0	5554	0	0	0	5554
1	0,118	25,1348	5534	20	0	0	0	5554	0	0	0	5554
2	51,518	10781,4581	5283	271	0	0	0	5554	0	0	0	5554
3	102,631	20718,8703	4947	607	0	0	0	5553	1	0	0	5554
4	154,924	30274,29	4685	869	0	0	0	5551	1	0	2	5554
5	210,771	38294,7119	4393	1161	0	0	0	5519	32	0	3	5554
6	261,831	45033,5677	4218	1336	0	0	0	5399	150	1	4	5554
7	312,891	51699,5228	4094	1460	0	0	0	5328	218	2	6	5554
8	363,951	58301,8725	3949	1605	0	0	0	5267	276	1	10	5554
9	389,68	61582,0401	3862	1691	1	0	0	5239	301	2	12	5554

Dari hasil analisis *pushover* yang menghasilkan persebaran sendi plastis seperti pada Tabel 7 di atas, dapat diketahui bahwa *pushover* pada arah x menghasilkan 9 step sebelum dinyatakan *collapse*. Pada step ke-0 belum mengalami perpindahan, kemudian pada step ke-1 sudah mengalami perpindahan dan terjadi kenaikan nilai *displacement* sebesar 0,118 mm dengan nilai *base shear* sebesar 25,1348 kN.

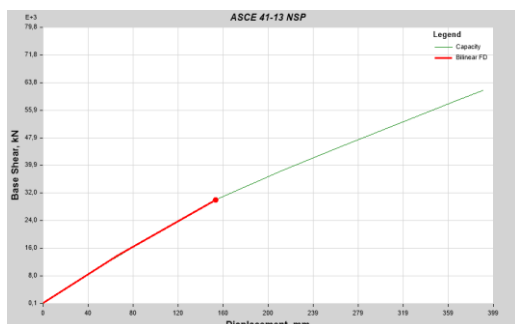
Sendi plastis mulai muncul pada step ke-1 pada level B-C, yang kemudian akan terus meningkat hingga mencapai step ke-9 yang merupakan step terakhir, dimana struktur sudah tidak mampu lagi menerima beban dorong karena struktur *collapse* sehingga akan dihentikan secara otomatis oleh program.

Dari hasil persebaran sendi plastis, dimana sendi plastis pertama kali terjadi pada balok lantai 2 sebelum

akhirnya terbentuk sendi plastis pada kolom, dapat dinyatakan bahwa struktur gedung Rumah Sakit Mulya Medika sudah memenuhi konsep struktur *strong column – weak beam*.

3.3. Level Kinerja Struktur FEMA 356

Kurva kapasitas hasil analisis pushover selanjutnya diubah menjadi kurva biner dengan memodifikasi respon elastis linear dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien sehingga diperoleh beberapa parameter untuk menghitung target perpindahan. Kurva biner yang dihasilkan oleh analisis pushover dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Kurva Biner Pushover

Dari kurva biner tersebut tersebut didapat nilai target perpindahan sebesar 153,371 mm atau 0,153371 meter. dari hasil target perpindahan kemudian dihitung nilai drift aktual.

$$\text{Drift aktual} = \frac{\delta_T}{h} = 0,006 \text{ m}$$

Berdasarkan batasan simpangan untuk level kinerja menurut FEMA 356, struktur gedung dengan nilai **drift aktual = 0,006 m** termasuk level kinerja *Immediate Occupancy*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

Evaluasi *tier 2* pada Gedung Rumah Sakit Mulya Medika berdasarkan FEMA 310 memberikan hasil bahwa struktur gedung yang ditinjau berdasarkan pemeriksaan kriteria penerimaan struktur, hampir seluruh balok dan kolom memenuhi kriteria penerimaan level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) dan beberapa balok yang tidak memenuhi yaitu B25/45 pada lantai 2, B30/55 dan B20/30 pada lantai 3. Selain itu, berdasarkan hasil pemeriksaan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) menunjukkan bahwa seluruh balok dan kolom memiliki nilai $DCR \leq 2$. Berdasarkan FEMA 356, jika nilai DCR semua komponen $\leq 2,0$, maka prosedur linear berlaku dan dapat digunakan.

Hasil evaluasi *tier 3* dengan analisis *pushover* berupa kurva kapasitas struktur dan persebaran sendi plastis. Dari hasil analisis pushover yang menghasilkan persebaran sendi plastis, dapat diketahui bahwa pushover pada arah x menghasilkan 9 step sebelum

dinyatakan *collapse*. Sendi plastis pertama kali terjadi pada step ke-1 dengan nilai *displacement* sebesar 0,118 mm dengan nilai *base shear* sebesar 25,1348 kN, yang kemudian akan terus meningkat hingga mencapai step ke-9 yang merupakan step terakhir. Dari hasil persebaran sendi plastis, dimana sendi plastis pertama kali terjadi pada balok lantai 2 sebelum akhirnya terbentuk sendi plastis pada kolom, dapat dinyatakan bahwa struktur gedung Rumah Sakit Mulya Medika sudah memenuhi konsep struktur *strong column – weak beam*.

Berdasarkan metode FEMA 356, didapatkan nilai target perpindahan (δ_t) sebesar 0,153371 m. Dari nilai target perpindahan kemudian dapat dihitung nilai drift aktual pada struktur dan didapat nilai drift aktual struktur sebesar 0,006 m. Berdasarkan batasan simpangan untuk level kinerja menurut FEMA 356, struktur gedung dengan nilai drift aktual = 0,006 termasuk level kinerja *Immediate Occupancy* yang berarti tidak ada kerusakan berat pada komponen struktural, kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi sebelum struktur dilanda gempa, sehingga pada kondisi pascagempa gedung masih tergolong aman untuk dihuni.

Berdasarkan hasil analisis pada kesimpulan, diketahui bahwa struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda sudah memenuhi kriteria level kinerja struktur. Dimana fungsi gedung sebagai rumah sakit, yang merupakan bangunan yang diklasifikasikan sebagai fasilitas penting dan harus dievaluasi berdasarkan level kinerja *Immediate Occupancy*. Pada pemeriksaan nilai DCR seluruh balok dan kolom juga sudah memenuhi seperti yang diisyaratkan pada FEMA 356. Sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika aman dalam evaluasi kinerja struktur berdasarkan FEMA 310.

6. Daftar Rujukan

- [1] Asmarini, "26 Gempa Bumi Merusak 2021, Rekor Tertinggi selama 20 Tahun!", CNBC Indonesia, 2022. [Online]. Tersedia: [26 Gempa Bumi Merusak 2021, Rekor Tertinggi Selama 20 Tahun!](#). [Diakses:21 Maret 2024].
- [2] Sucipto, "Timur Kalimantan pun Berpotensi Gempa dan Tsunami", Kompas.id, [Online]. 2021. Tersedia: [Timur Kalimantan Pun Berpotensi Gempa dan Tsunami - Kompas.id](#). [Diakses: 21 Maret 2024].
- [3] D. I. Cahyani., dkk., "Analisis Pushover untuk Performance Based Design pada Struktur Beton Bertulang dengan Menggunakan ETABS (Studi Kasus: Proyek Hotel Fox Lite di Jln. S. Parman, Kota Samarinda, Kalimantan Timur)". *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Vol. 6, no.1, hal.30-37, Mei 2022.
- [4] Y. P. A. Rumbyarso, "Kinerja Struktur Gedung Office 36 Lantai: Analisis Time History dan Pushover", Banyumas: *Amerta Media*, 2024. [Online] Tersedia: <https://repository.unkris.ac.id/eprint/2932/>.
- [5] M. R. Saputra, dkk., "Evaluasi Kinerja Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi akibat Beban Gempa". *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 8, no. 5, hal. 679-686, Agustus 2020. Tersedia: [Jurnal Sipil Statik](#)

- [6] Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. 2019.
- [7] FEMA-310, *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandard. Fema 310*, 1998.
- [8] E. F. Nurhidayatullah and M. Teguh, “Kinerja Seismik Struktur pada Tipe Gedung dengan Ketidakberaturan Ketinggian dan Denah”. *Jurnal Teknisia*, vol. XXIII, no.1, hal.450-462, Mei 2018. Tersedia: <https://journal.uii.ac.id/teknisia/article/view/11031>
- [9] N. K. Handayani, “Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Eksisting tujuh Lantai dengan Fema 310”, *Jurnal Teknik Sipil*, vol.7, no.1, hal. Pp. 1-14, April 2021. Tersedia: <http://jurnal.utu.ac.id/jtsipil/article/view/3252>.
- [10] FEMA-356, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building. Federal Emergency Management Agency*, hal.1-518, 2000.
- [11] Tavio and U. Wijaya, *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*, Edisi ke-2, Yogyakarta: ANDI, 2018.
- [12] Departemen Pekerjaan Umum, *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987)*, 1987.
- [13] Badan Standarisasi Nasional, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*, 2020.
- [14] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat *Desain Spektra Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, 2021.



Evaluasi Sistem Proteksi Kebakaran di Gedung B PLN UID Jawa Timur

Revita Dea Sari¹, Deny Nurcahyo Hari Prastya², Tri Martiana³, Denny Ardyanto⁴, Parlan⁵

^{1,2}Program Magister Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga

^{3,4}Departemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga

⁵Biro K3 Lingkungan dan Keamanan, PT. PLN Unit Induk Distribusi Jawa Timur, Surabaya

¹revitadeas04@gmail.com*, ²deny.prastya@yahoo.com, ³tri.martiana@fkm.unair.ac.id, ⁴denny.ardyanto@fkm.unair.ac.id,

⁵parlantgk@pln.co.id

Abstract

This study evaluates the fire protection system in Building B of PLN UID East Java. Fire incidents in work environments are often caused by electrical short circuits and improper waste burning, leading to both material and non-material losses, such as loss of life and operational disruptions. PLN UID East Java, being a vital national object, requires an effective fire protection system to safeguard against such risks. The evaluation covers three primary components: fire extinguishers (APAR), hydrants, and fire alarm systems. The evaluation methodology includes direct observation and comparison with established safety standards like NFPA 10, NFPA 14, and NFPA 72. The results showed that the APAR system met 85% of the standards, the hydrant system 83.12%, and the fire alarm system 79.29%. Despite being relatively well-equipped, there were several areas for improvement, such as updating expired fire extinguishers, providing clear hydrant usage instructions, and conducting fire alarm simulations more frequently. Enhancing these aspects is essential to ensure maximum safety for the building's occupants and the continuity of operations.

Keywords: Fire, Fire Protection System, Fire Extinguisher (APAR), Safety Evaluation, NFPA.

Abstrak

Kebakaran menjadi salah satu ancaman serius bagi bangunan, terutama objek vital nasional seperti Gedung B PLN UID Jawa Timur. Evaluasi sistem proteksi kebakaran, yang meliputi Alat Pemadam Api Ringan (APAR), sistem hidran, dan Fire Alarm System (FAS), penting untuk memastikan kesiapan dan kesesuaian perangkat dalam menghadapi potensi kebakaran. Penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung dan membandingkan hasil dengan standar keselamatan internasional seperti NFPA 10, NFPA 14, dan NFPA 72. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian APAR sebesar 85%, sistem hidran 83,12%, dan FAS 79,29%. Meskipun sebagian besar elemen sistem proteksi kebakaran sudah memenuhi standar, perbaikan diperlukan terutama pada aksesibilitas hidran, pemeliharaan APAR, dan pelaksanaan simulasi alarm kebakaran. Evaluasi ini memberikan masukan penting untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan operasional di Gedung B PLN UID Jawa Timur.

Kata kunci: Kebakaran, Sistem Proteksi Kebakaran, Alat Pemadam Api Ringan (APAR), Evaluasi Keselamatan, NFPA.

Diterima Redaksi : 2025-01-20 | Selesai Revisi : 2025-02-03 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Faktor kebakaran terbanyak adalah dipicu oleh korsleting listrik dan imbas membakar sampah [1]. Kebakaran merupakan suatu peristiwa bencana yang berasal dari api yang tidak dapat dikehendaki, yang dapat menimbulkan kerugian materi (harta benda, bangunan fisik, depot, fasilitas sarana dan prasarana) maupun kerugian non-materi (rasa takut, trauma) hingga kehilangan nyawa atau cacat tubuh. Menurut UU No. 1 Tahun 1970, aktivitas mencegah, mengurangi, dan memadamkan kebakaran di tempat kerja merupakan persyaratan dalam terciptanya keselamatan kerja [2]. Hal tersebut juga dimaksudkan pada bangunan gedung guna melindungi tenaga kerja dari potensi bahaya

kebakaran pada gedung. Megacu data dari Dinas Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan (DPKP), di tahun 2023 sebanyak 793 kasus kebakaran yang terjadi di Surabaya [3].

Objek vital nasional adalah kawasan/lokasi, bangunan/instalasi dan/atau usaha yang menyangkut hajat hidup orang banyak, kepentingan negara dan/atau sumber pendapatan negara yang bersifat strategis yang dirawat oleh perangkat otoritas dari obyek vital nasional [4]. Objek vital nasional merupakan tempat-tempat penting secara nasional memainkan peran strategis dalam pembangunan nasional [5]. Salah satu contoh objek vital nasional di Surabaya adalah Gedung PLN UID Jawa Timur yang menjadi pusat operasional



Lisensi

Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

penting dalam penyediaan dan distribusi tenaga listrik bagi wilayah Jawa Timur, sehingga setiap gangguan yang terjadi, termasuk kebakaran, dapat mengakibatkan konsekuensi yang luas, baik dari segi keselamatan manusia maupun gangguan operasional.

Oleh karena itu, diperlukan adanya sistem proteksi kebakaran yang memadai menjadi elemen kritis dalam upaya pencegahan kebakaran dan mitigasi risiko. Di dalam gedung, penggunaan APAR, sistem hidran, dan *fire alarm system* merupakan komponen utama dari keseluruhan sistem proteksi kebakaran. Evaluasi terhadap sistem-sistem ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap perangkat berfungsi optimal, telah memenuhi standar keselamatan, dan siap digunakan dalam situasi darurat.

1. APAR: Menurut SNI 180-1 Tahun 2022 alat pelindung api ringan (APAR) adalah alat pemadam api portabel yang mudah dibawa oleh satu orang untuk memadamkan api [6]. Apar memiliki beberapa jenis diantaranya jenis cairan (air), jenis busa, jenis tepung kering, dan jenis gas (hydrocarbon berhalogen dan sebagainya) [7].
2. Sistem Hidran merupakan peralatan yang dilengkapi dengan slang dan mulut pancar nozel untuk mengalirkan air bertekanan yang digunakan bagi keperluan pemadaman kebakaran [8]. Hidran biasanya dilengkapi dengan selang (firehouse) yang disambungkan dengan kepala selang (nozzle) yang tersimpan di dalam suatu kotak baja dengan cat warna merah [9].
3. *Fire Alarm System: Fire Alarm System (FAS)* adalah sistem yang terdiri dari perangkat pemberi sinyal alarm, yang secara otomatis mendeteksi dan mengirimkan informasi tentang kebakaran, tetapi juga penerima alarm kebakaran dan penerima sinyal kerusakan [10]. Sistem proteksi kebakaran pada gedung dan lingkungan adalah sistem yang terdiri dari peralatan, kelengkapan, dan sarana, baik yang terpasang maupun terbangun pada bangunan yang digunakan untuk sistem proteksi aktif, sistem proteksi pasif, dan cara-cara pengelolaan dalam rangka melindungi bangunan dan lingkungannya dari bahaya kebakaran [11]. Komponen yang terdapat dalam *Fire Alarm System* salah satunya yaitu detektor. Menurut SNI 03-3985-2000 Detektor terbagi menjadi 3 macam jenis antara lain yaitu: detektor asap (*smoke detector*), detektor panas (*heat detector*), dan detektor api (*flame detector*) [12].

PLN UID Jawa Timur harus mematuhi peraturan keselamatan kebakaran yang ditetapkan oleh pemerintah serta standar industri terkait proteksi kebakaran. Melalui evaluasi terhadap sistem proteksi kebakaran di gedung B ini, pihak manajemen dapat memastikan bahwa peralatan sudah sesuai standar yang berlaku, dilakukan pemeliharaan berkala, dan dalam kondisi siap pakai. Evaluasi ini juga memberikan kesempatan untuk

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i1.1101>

mengidentifikasi potensi masalah atau kekurangan dalam sistem yang ada sehingga dapat diperbaiki sebelum terjadi insiden kebakaran.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mareta & Hidayat pada evaluasi penerapan sistem keselamatan kebakaran pada gedung-gedung umum di Kota Payakumbuh menggunakan metode kuantitatif untuk mengukur nilai keandalan sistem keselamatan bangunan (NKS KB) terhadap bahaya kebakaran [13]. Berdasarkan buku pedoman (pd-T-11- 2005-C) menunjukkan hasil NKS KB pada gedung Rumah Sakit (A1) sebesar 81,81% termasuk dalam kategori baik (B), gedung kantor pemerintahan (A2) 68,05% termasuk dalam kategori cukup (C) dan gedung kantor organisasi perangkat daerah (A3) sebesar 59,19% termasuk dalam kategori kurang (K) [14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem proteksi kebakaran di Gedung B PLN UID Jawa Timur dengan standar keselamatan internasional seperti NFPA 10, NFPA 14, dan NFPA 72. Evaluasi ini dapat memberikan masukan penting untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan operasional di Gedung B PLN UID Jawa Timur

Dengan demikian, evaluasi sistem proteksi kebakaran di Gedung PLN UID Jawa Timur merupakan langkah proaktif dalam menjaga keselamatan karyawan, perlindungan aset, dan kelancaran operasional penyediaan listrik di wilayah Jawa Timur.

2. Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah observasi secara langsung. Penelitian dimulai dengan studi literatur terkait acuan dan standar yang akan digunakan sebagai evaluasi sistem proteksi kebakaran. Selanjutnya, pengambilan data dilakukan secara langsung melalui observasi di Gedung B PLN UID Jawa Timur yang berlokasi di Jl. Embong Trengguli No. 19 – 21, Surabaya. Pengambilan data primer didapatkan melalui observasi secara langsung untuk mendapatkan data yang dibutuhkan sesuai standar yang digunakan sebagai acuan. Data sekunder didapatkan dari denah lokasi, daftar sistem proteksi kebakaran.

Pengolahan data dilakukan dengan cara data yang diperoleh hasil *checklist* dibandingkan menggunakan standar yang diacu pada masing-masing sistem proteksi kebakaran dengan nilai hasil terinterpretasi sesuai dengan klasifikasi pada Tabel 1.

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{Jumlah nilai} - \text{nilai}}{\text{Banyak data (n)}} \quad (1)$$

$$\text{Persentase kesesuaian} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

x : Skor pemenuhan item

n : Banyak data

Tabel 1. Tabel Kesesuaian

Nilai	Kesesuaian	Keandalan
80 – 100%	Sesuai Persyaratan	Baik
60 – 79,9%	Terpasang tetapi ada sebagian kecil instalasi yang tidak sesuai persyaratan	Cukup
<60%	Kurang sesuai dengan persyaratan	Kurang

3. Hasil dan Pembahasan

APAR

Dari data pada Tabel 2 tersebut, maka kita dapat menentukan tingkat kesesuaian jumlah dan jenis APAR pada Gedung B PLN UID Jawa Timur berdasarkan *form checklist* yang berdasarkan NFPA. Pembahasan lebih jelas mengenai kesesuaian APAR dapat dilihat pada Tabel 2 [15].

Tabel 2. Tabel Kesesuaian APAR

No.	Persyaratan	Kesesuaian		Skor
		Ya	Tidak	
1	APAR yang digunakan sesuai dengan jenis dan klasifikasi api.	✓		90
2	Ada segel yang harus dalam kondisi baik dan tutup tabung terpasang.	✓		80
3	Ditempatkan secara mencolok, mudah diakses, dan ditempatkan di sepanjang normal penyeberangan jalan.	✓		90
4	Berat APAR yang tidak lebih dari 18,14 kg harus dipasang di ketinggian tidak lebih dari 1,53 m dari atas lantai. Berat APAR lebih dari 18,14 kg harus dipasang pada ketinggian tidak lebih dari 1,07 m di atas lantai.	✓		80
5	APAR yang berada di luar bangunan, harus memiliki pelindung kotak dan tertutup.	✓		80
6	APAR harus selalu dalam posisi kondisi dan siap untuk operasi.		✓	70
7	Setiap 200 meter ² ada 1 APAR dan <200 meter dari semua posisi.	✓		90
8	Tabung dan selang pemadam kebakaran tidak bocor.	✓		90
9	Penempatan APAR	✓		80

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i1.1101>

No.	Persyaratan	Kesesuaian		Skor
		Ya	Tidak	
	disertai dengan tanda atau simbol.			
10	Mencatat bulan, tahun, dan nama petugas inspeksi bulanan APAR.	✓		90
Persentase kesesuaian (%)				85,00%

Penjelasan persentase pemenuhan APAR secara keseluruhan pada Gedung B PLN UID Jawa Timur dapat dihitung dengan perhitungan berikut ini.

$$X = \frac{X1 + X2 + \dots + X10}{10} \times 100\%$$

$$X = \frac{90 + 90 + 90 + 80 + 80 + 70 + 90 + 90 + 80 + 90}{10} \times 100\%$$

$$X = 85,00 \%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka nilai pemenuhan APAR pada Gedung B PLN UID Jawa Timur sebesar 85%.

Hidran

Gedung B PLN UID Jawa Timur memiliki hidran sebanyak 12 buah. Pada lantai 1 sebanyak 6 buah, lantai 2 sebanyak 4 buah, dan lantai 3 sebanyak 2 buah. Setelah melakukan observasi secara langsung, didapatkan bahwa kondisi box hidran masih dalam kondisi baik. Namun, terdapat 11 buah box hidran dalam keadaan sulit dibuka dan masih tidak terdapat petunjuk penggunaan. Beberapa hidran juga terhalang oleh suatu barang sehingga menyulitkan untuk dijangkau.

Standar yang digunakan pada evaluasi hidran yaitu NFPA 14, *Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems*. Pembahasan lebih jelas mengenai kesesuaian hidran dapat dilihat pada Tabel 3 [15].

Tabel 3. Tabel Kesesuaian Hidran

No.	Persyaratan	Kesesuaian		Skor
		Ya	Tidak	
1	Box hidran dapat dengan mudah dijangkau, dibuka, dan mudah dilihat		✓	70
2	Terdapat petunjuk pengoperasian yang terpasang di sekitar alat		✓	75
3	Box hidran hanya berisi peralatan pemadam	✓		90
4	Setiap box hidran memiliki warna yang mudah dikenali oleh mata	✓		90
5	Setiap box hidran harus terdapat selang, sambungan selang, nozzle, dan coupling	✓		85

No.	Persyaratan	Kesesuaian		Skor
		Ya	Tidak	
6	Setiap box hidran dan sambungan selang harus tidak boleh terhambat dari sesuatu	✓		80
7	Seluruh pompa hidran harus terpasang dan diletakkan pada struktur pondasi yang kuat	✓		90
8	Hidran halaman harus dalam kondisi yang baik dan siap untuk digunakan	✓		85
Persentase kesesuaian (%)				83,12%

Persentase pemenuhan hidran secara keseluruhan pada Gedung B PLN UID Jawa Timur dapat dihitung dengan perhitungan berikut ini.

$$X = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_8}{8}$$

$$X = \frac{70 + 75 + 90 + 90 + 85 + 80 + 90 + 85}{8}$$

$$X = 83,12\%$$

Fire Alarm System

Gedung B PLN UID Jatim sudah dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran berupa *Fire Alarm System* (FAS). Sistem ini telah terintegrasi sehingga mudah diakses oleh petugas, dengan setiap gedung memiliki *junction box* yang terhubung ke MCFA di pos satpam utama, memungkinkan pemantauan rutin oleh petugas.

Standar yang digunakan pada evaluasi *Fire Alarm System* yaitu NFPA 72 *National Fire Alarm and Signaling Code* [16]. Mengacu standar tersebut terdapat beberapa poin kesesuaian *Fire Alarm System* pada Tabel 4. berikut:

Tabel 4. Tabel Kesesuaian *Fire Alarm System*

No.	Persyaratan	Kesesuaian		Skor
		Ya	Tidak	
1	Panel kontrol utama dalam kondisi baik dan bekerja dengan benar.	✓		90
2	Sumber daya utama dan cadangan (baterai) tersedia dan berfungsi.	✓		90
3	Alarm suara memiliki tekanan suara yang cukup (sesuai standar, minimal 15 dB di atas kebisingan latar belakang).	✓		85
4	Semua pull station mudah diakses dan berfungsi dengan baik.	✓		80

No.	Persyaratan	Kesesuaian		Skor
		Ya	Tidak	
5	Detektor asap/panas dipasang di area strategis seperti koridor, ruang umum, dan ruang risiko tinggi.	✓		85
6	Simulasi alarm kebakaran telah dilakukan dan dicatat setidaknya 2 kali setahun.		✓	60
7	Pengujian sensitivitas detektor dilakukan secara rutin sesuai jadwal.		✓	65
Persentase kesesuaian (%)				79,29%

Persentase pemenuhan *Fire Alarm System* secara keseluruhan pada Gedung B PLN UID Jawa Timur dapat dihitung dengan perhitungan berikut ini.

$$X = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_7}{7}$$

$$X = \frac{90 + 90 + 85 + 80 + 85 + 60 + 65}{7}$$

$$X = 79,29\%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka nilai pemenuhan *Fire Alarm System* pada Gedung B PLN UID Jawa Timur sebesar 72,29%.

4. Kesimpulan

Gedung B PT PLN UID Jawa Timur telah dilengkapi dengan berbagai sistem proteksi kebakaran yang telah dievaluasi sesuai dengan standar keselamatan kebakaran internasional, diantaranya:

1. APAR

Terdapat 28 unit APAR jenis *Clean Agent* yang tersebar di tiga lantai gedung. Berdasarkan evaluasi menggunakan standar NFPA 10 (2018), penggunaan APAR di Gedung B sudah sesuai dengan klasifikasi bahaya kebakaran yang ada. Namun, terdapat beberapa kendala seperti APAR yang kedaluwarsa dan mengalami *over pressure* di lantai 1, rambu yang belum dipasang kembali di lantai 2, serta penataan ulang APAR di lantai 3 yang perlu diperbaiki. Tingkat kesesuaian keseluruhan APAR mencapai 89%, menunjukkan perlunya perbaikan di beberapa area untuk memastikan keamanan optimal.

2. Hidran

Gedung ini memiliki 10 hidran yang tersebar di lantai 1 dan lantai 2. Berdasarkan standar NFPA 14 (2019), kondisi fisik *box* hidran masih baik, namun 9 hidran sulit dibuka dan beberapa terhalang barang, sehingga tidak mudah diakses. Selain itu, tidak terdapat petunjuk

penggunaan yang seharusnya tersedia di sekitar alat. [5] Persentase kesesuaian sistem hidran adalah 72,8%, menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar aspek sudah memenuhi standar, masih perlu dilakukan perbaikan aksesibilitas dan kelengkapan petunjuk penggunaan.

3. Fire Alarm System (FAS)

Sistem *Fire Alarm* di Gedung B telah terintegrasi dengan baik dan memungkinkan pemantauan rutin oleh petugas keamanan melalui panel kontrol utama yang terhubung ke pos satpam utama. Berdasarkan evaluasi menggunakan standar NFPA 72 (2022), sebagian besar elemen FAS, seperti panel kontrol, sumber daya, dan detektor, sudah berfungsi sesuai standar. Namun, simulasi alarm kebakaran hanya dilakukan satu kali per tahun, bukan dua kali seperti yang dipersyaratkan. Tingkat kesesuaian sistem ini mencapai 83,66%, menunjukkan bahwa meskipun sistem FAS sudah cukup baik, masih ada ruang untuk meningkatkan kepatuhan terhadap standar keselamatan.

Secara keseluruhan, meskipun sistem proteksi kebakaran di Gedung B PLN UID Jawa Timur sudah cukup memadai, beberapa perbaikan pada APAR, hidran, dan FAS perlu dilakukan untuk meningkatkan tingkat kepatuhan terhadap standar keselamatan kebakaran dan memastikan keamanan maksimal di gedung tersebut.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak manajemen PLN UID Jawa Timur yang telah memberikan izin dan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pembimbing akademik serta rekan sejawat yang telah memberikan masukan dan dukungan berharga dalam penyelesaian artikel ini. Akhirnya, penghargaan khusus kami sampaikan kepada keluarga dan teman-teman atas motivasi yang tiada henti selama proses penelitian dan penulisan manuskrip ini.

Daftar Rujukan

- [1] SINDOnews.com, "Jakarta Dilanda 1.122 Kebakaran Sepanjang Tahun 2023." [Daring]. Tersedia pada: <https://metro.sindonews.com/read/1176987/170/jakarta-dilanda-1122-kebakaran-sepanjang-tahun-2023-1692130137>
- [2] Pemerintah Republik Indonesia, "Undang-undang No 1 Tahun 1970 Tentang Keselematan Kerja," *Pemerintah Republik Indonesia*. Jakarta, 1970.
- [3] kumparan.com, "Ini Penyebab 793 Kasus Kebakaran di Surabaya Sepanjang 2023." Diakses: 25 September 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://kumparan.com/beritaanaksurabaya/ini-penyebab-793-kasus-kebakaran-di-surabaya-sepanjang-2023-21wMnwmZN6J>
- [4] Keputusan Presiden RI, *Keputusan Presiden RI Nomor 63 Tahun 2004 Tentang Pengamanan Obyek Vital Nasional*. Indonesia, 2004. [Daring]. Tersedia pada: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/55738/keppres-no-63-tahun-2004>

- [5] E. Soesanto, A. S. Utami, J. A. Chantica, R. A. Nabila, dan T. S. Ricki, "Peran Objek Vital Nasional Dalam Pengamanan File dan Cyber Security pada PT Freeport Indonesia," *IJM Indones. J. Multidiscip.*, vol. 1, no. 2 SE-Articles, Jun 2023, [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.csspublishing.com/index.php/ijm/article/view/155>
- [6] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 180-1:2022 Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Alat Pemadam Api Portabel (APAP)." Jakarta, 2022.
- [7] Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia, "Permennakertrans No : 04/MEN/1980 tentang Syarat-Syarat Pemasangan dan Pemeliharaan Alat Pemadam Api Ringan," *Republik Indonesia*. 1980.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03-1735-2000 Tata Cara Perencanaan Akses Bangunan dan Akses Lingkungan Untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran Pada Bangunan Gedung." Jakarta, 2000.
- [9] P. N. Q. Fitriyanti, "Evaluasi sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung hotel bertingkat," *JITSi J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, hal. 43–52, 2020.
- [10] J. Paś, T. Klimeczak, A. Rosiński, dan M. Stawowy, "The analysis of the operational process of a complex fire alarm system used in transport facilities," *Build. Simul.*, vol. 15, no. 4, hal. 615–629, 2022, doi: 10.1007/s12273-021-0790-y.
- [11] B. Fatkhurrozi dan S. Nisworo, "Perencanaan Sistem Fire Alarm Semi-Addressable dan Sprinkler pada Bangunan Gedung Fakultas Teknik 3 Universitas Tidar," *ULIL ALBAB J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 3, no. 2, hal. 458–470, 2024.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03-3985-2000: Tata Cara Perencanaan, Pemasangan dan Pengujian Sistem Deteksi dan Alarm Kebakaran untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung." Jakarta, 2000.
- [13] Y. Mareta dan B. Hidayat, "Evaluasi Penerapan Sistem Keselamatan Kebakaran Pada Gedung-gedung umum di Kota Payakumbuh," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 16, hal. 65, Apr 2020, doi: 10.25077/jrs.16.1.65-76.2020.
- [14] National Fire Protection Association, "NFPA-10: Standard for Portable Fire Extinguisher," *NFPA*. 2022. [Daring]. Tersedia pada: www.nfpa.org.
- [15] N. F. P. A. (NFPA), *NFPA 14, Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems: 2024 Edition*. National Fire Protection Association, 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.co.id/books?id=WZOqzWEACAAJ>
- [16] N. F. P. Association, A. N. S. Institute, dan R. Roux, *NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code*. National Fire Protection Association, 2015. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.co.id/books?id=h1MWvgEACAAJ>

JACEIT

