

JURNAL TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN

Evaluasi Kondisi Fisik Bendungan Sempor Kabupaten Kebumen Dalam Penentuan Prioritas Pemeliharaan Sebagai Upaya Memperpanjang Usia Operasional

Aan Andriawan, Iskahar, Teguh Marhendi

Analisis Keseimbangan Air Irigasi Untuk Kesesuaian Pola Tanam Padi Daerah Irigasi Baturraden

Vanda Nahdlia Islamy, Teguh Marhendi, M. Agus Salim Al Fathoni

Analisis Kondisi dan Pemetaan Kerusakan Jalan Berbasis Sistem Informasi Geografis Ruas Jalan Ijo - Jatijajar Kebumen

Nelly Suhayutianlin, Sulfah Anjarwati, Cremona Ayu Novita Sari

Analisis Kadar BOD, Amonia, TSS, dan Kekeruhan di Perairan Air Laut Penerima Limbah Cair Tambak Udang Vaname di Pantai Cemara Udang, Kabupaten Bantul

Ratieh Puteri Ryani, Haryono, Bambang Suwerda

Analisis Pengaruh Stabilisasi Kapur Terhadap Nilai CBR pada Subgrade Jalan Perumahan Mentas Gemilang Residence Kecamatan Tenjo, Bogor

Siska Dewi, Aristya Hartanto, Dhika Bagus, Muhamad Hassan, Nawan, Rani Ulpa, Herdiansah, Asep Maulana

Analisis Dilatasi pada Bangunan Tak Beraturan Tipe L (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Tower dan Multazam Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gombong)

Hanif Muhammad Ihsaan, Arif Kurniawan Suksmono, Mukti Agung Wibowo

Analisis Biaya dan Waktu Dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Gedung Food Court pada Kawasan Lapangan Eks Batalyon Cilacap

Azhar Aditama, Amris Azizi, Dewi Laras Sulastri Ningsih

Hidrologi Forensik terhadap Peristiwa Banjir Ekstrem di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan

Muhammad Hakiem Sedo Putra, Zainal Alim, M. Ridho Ulya

Penerapan Struktur Komposit Sederhana Sebagai Pengganti PCI pada Jembatan Basin

Ruth Maria Momot, Lilis Zulaicha, Marwanto

Analisis Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Dengan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 (Studi Kasus Jl. Rafflesia, Jl. Kebun Veteran, dan Jl. Seruni)

Elmas Elona Reski, Makmun Reza Razali, Agustin Gunawan, Samsul Bahri, Rena Misliniyati



**Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto**



CIVeng

Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan

Terbit pertama kali tahun 2020
SK Rektor Nomor A11.IV/373-S.Kep./UMP/VIII/2020
e-ISSN 2774-8413

Publisher

Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Editor in Chief

Cremona Ayu Novita Sari, S.T., M.T.

Editorial Board

Amris Azizi, S.T., M.Si.
Aan Andriawan, S.T., M.T., MCE., IPP.

Peer Reviewers

Moechamad Agus Salim Al Fathoni, S.T., M.T. (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Dr. T. Ir. Iskahar, S.T., M.T. (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Dr. Juanita, S.T., M.T., ACPE. (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Dr. Dyah Ari Wulandari, S.T., M.T. (Universitas Diponegoro)
Dr. Yulita Arni Priastiwi, S.T., M.T. (Universitas Diponegoro)
Dr. Endah Safitri, S.T., M.T. (Universitas Sebelas Maret)
Dr. Henny Herawati, S.T., M.T. (Universitas Tanjungpura)
Dr. Subekti, S.T., M.T. (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)

Layout Editor

Ibnu Fata, S.T.
P. Budi Prasetyo, S.T.

Address

Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. K. H. Ahmad Dahlan PO Box 202, Purwokerto 53182
Telp. 0281-636751 Ext.165

<http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/civeng>

Email : jurnalciveng@ump.ac.id

CIVeng diterbitkan oleh Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Sains Universitas Muhammadiyah Purwokerto sebagai media informasi dan forum pembahasan masalah Teknik Sipil dan Lingkungan, berisi tulisan-tulisan ilmiah hasil penelitian serta gagasan-gagasan baru yang orisinal. Redaksi mengundang para ahli, peneliti, dan praktisi untuk berdiskusi dan menulis secara bebas dan kreatif. CIVeng terbit dua kali setahun setiap bulan Januari dan Juli

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
Evaluasi Kondisi Fisik Bendungan Sempor Kabupaten Kebumen Dalam Penentuan Prioritas Pemeliharaan Sebagai Upaya Memperpanjang Usia Operasional Aan Andriawan, Iskahar, Teguh Marhendi	(1 – 10)
Analisis Keseimbangan Air Irigasi Untuk Kesesuaian Pola Tanam Padi Daerah Irigasi Baturraden Vanda Nahdliia Islamy, Teguh Marhendi, M. Agus Salim Al Fathoni	(11 – 18)
Analisis Kondisi dan Pemetaan Kerusakan Jalan Berbasis Sistem Informasi Geografis Ruas Jalan Ijo - Jatijajar Kebumen Nelly Suhayutianlin, Sulfah Anjarwati, Cremona Ayu Novita Sari	(19 – 26)
Analisis Kadar BOD, Amonia, TSS, dan Kekeruhan di Perairan Air Laut Penerima Limbah Cair Tambak Udang Vaname di Pantai Cemara Udang, Kabupaten Bantul Ratih Puteri Ryani, Haryono, Bambang Suwerda	(27 – 32)
Analisis Pengaruh Stabilisasi Kapur Terhadap Nilai CBR pada Subgrade Jalan Perumahan Mentas Gemilang Residence Kecamatan Tenjo, Bogor Siska Dewi, Aristya Hartanto, Dhika Bagus, Muhamad Hassan, Nawan, Rani Ulpa, Herdiansah, Asep Maulana	(33 – 38)
Analisis Dilatasi pada Bangunan Tak Beraturan Tipe L (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Tower dan Multazam Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gombong) Hanif Muhammad Ihsaan, Arif Kurniawan Suksmono, Mukti Agung Wibowo	(39 – 46)
Analisis Biaya dan Waktu Dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Gedung Food Court pada Kawasan Lapangan Eks Batalyon Cilacap Azhar Aditama, Amris Azizi, Dewi Laras Sulastris Ningsih	(47 – 54)
Hidrologi Forensik terhadap Peristiwa Banjir Ekstrem di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan Muhammad Hakiem Sedo Putra, Zainal Alim, M. Ridho Ulya	(55 – 60)
Penerapan Struktur Komposit Sederhana Sebagai Pengganti PCI pada Jembatan Basin Ruth Maria Momot, Lilis Zulaicha, Marwanto	(61 – 72)
Analisis Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Dengan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 (Studi Kasus Jl. Raflesia, Jl. Kebun Veteran, dan Jl. Seruni) Elmas Elona Reski, Makmun Reza Razali, Agustin Gunawan, Samsul Bahri, Rena Misliniyati	(73 – 84)

Evaluasi Kondisi Fisik Bendungan Sempor Kabupaten Kebumen Dalam Penentuan Prioritas Pemeliharaan Sebagai Upaya Memperpanjang Usia Operasional

Evaluation of the Physical Condition of the Sempor Dam in Kebumen Regency For Determining Maintenance Priorities As an Effort to Extend its Operational Life

Aan Andriawan¹, Iskahar², Teguh Marhendi³
^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Artikel

Dikirim, 10 Desember 2025
Direvisi, 14 Januari 2026
Diterima, 19 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Aan Andriawan
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah
Purwokerto
Jl. K.H. Ahmad Dahlan
Purwokerto, 53182
Email:
aanandriawan@ump.ac.id

ABSTRAK

Selain memberikan manfaat bagi manusia, bendungan juga menimbulkan potensi bahaya yang besar bagi sekitarnya. Potensi bahaya tersebut adalah runtuhnya bangunan bendungan yang dapat mengakibatkan banjir disekitarnya. Penilaian kondisi bendungan diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan bendungan dan sebagai bahan pertimbangan untuk kegiatan pemeliharaan dan rehabilitasi bendungan. Lokasi Penelitian ini adalah Bendungan Sempor. Bendungan Sempor terletak di Desa Sempor, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen, Propinsi Jawa Tengah. Terletak kira-kira 8 Km arah utara Kabupaten Gombong. Manfaat bendungan Sempor adalah untuk irigasi, pembangkit tenaga listrik, pengendali banjir, perikanan dan rekreasi. Luas layanan irigasi adalah 6.600 Ha. Pembangunan bendungan ini dilaksanakan pada Tahun 1975 dan selesai pada Tahun 1978. Secara umum bendungan Sempor terdiri dari bendungan utama, bangunan pelengkap, dan bendungan pembantu (*Auxiliary Dam*). Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan menentukan skala prioritas menggunakan metode ANP dan menggunakan *Software Super Decision* sebagai alat bantu analisis. Menganalisis dan menghitung penilaian kondisi fisik dan fungsi bendungan agar didapatkan hasil penilaian kondisi bendungan. Berdasarkan dari analisis penilaian Bendungan Sempor diperoleh penilaian B, yang berarti Bendungan Sempor memiliki kondisi rusak ringan jika nilai kondisi 80–90% dan nilai tingkat kerusakan 10–20% dari kondisi awal bangunan.

Kata Kunci : Bendungan, Pemeliharaan, Skala Prioritas, ANP

ABSTRACT

In addition to providing benefits to humans, dams also pose significant potential dangers to their surroundings. One such potential hazard is the collapse of the dam structure, which can cause flooding in nearby areas. An assessment of the dam's condition is necessary to determine its safety level and to serve as a consideration for maintenance and rehabilitation activities. The location of this study is the Sempor Dam. Sempor Dam is located in Sempor Village, Sempor District, Kebumen Regency, Central Java Province, approximately 8 km north of Gombong Regency. The Sempor Dam provides benefits for irrigation, electricity generation, flood control, fisheries, and recreation. The irrigated service area covers 6,600 hectares. The construction of the dam began in 1975 and was completed in 1978. In general, the Sempor Dam consists of the main dam, supporting structures, and an auxiliary dam. This research is a quantitative descriptive study that determines priority scales using the ANP method and the Super Decision software as an analytical tool. It analyzes and calculates the assessment of the dam's physical condition and functionality to obtain the final condition rating. Based on the analysis of the Sempor Dam assessment, a rating of B was obtained, indicating that the Sempor Dam is in lightly damaged condition, with a condition value of 80–90% and a damage level of 10–20% from its original condition.

Keyword : Dam, Maintenance, Priority Scale, ANP

1. PENDAHULUAN

Secara umum bendungan dibangun untuk menampung air di dalam waduk yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai keperluan antara lain kebutuhan irigasi, air baku, air minum, pembangkit tenaga listrik, pengendali banjir, objek pariwisata dan lain sebagainya.

Selain manfaat seperti tersebut di atas, bendungan menyimpan potensi bahaya bila tidak dikelola dengan baik, sehingga apabila terjadi keruntuhan (kerusakan) dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar. Untuk menghindari hal tersebut, perlu dilakukan operasi & pemeliharaan bendungan sesuai dengan syarat teknik dan Panduan Operasi dan Pemeliharaan yang berlaku pada bendungan tersebut.

Bendungan Sempor terletak di Desa Sempor, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen, Propinsi Jawa Tengah. Terletak kira-kira 8 Km arah utara Kabupaten Gombong. Manfaat bendungan Sempor adalah untuk irigasi, pembangkit tenaga listrik, pengendali banjir, perikanan dan rekreasi. Luas layanan irigasi adalah 6.600 Ha. Pembangunan bendungan ini dilaksanakan pada Tahun 1975 dan selesai pada Tahun 1978. Secara umum bendungan Sempor terdiri dari bendungan utama, bangunan pelengkap, dan bendungan pembantu (Auxiliary Dam).

Penilaian kondisi bendungan diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan bendungan dan sebagai bahan pertimbangan untuk kegiatan rehabilitasi bendungan. Berdasarkan permasalahan tersebut diatas maka perlu dilakukan penilaian kinerja Bendungan Sempor, yang dapat digunakan dalam penelitian.

1.1 Pengelolaan Bendungan

Tujuan utama pembangunan bendungan adalah untuk menjamin tersedianya air dalam menunjang dan memenuhi kebutuhan sesuai dengan prioritasnya, apakah untuk keperluan air minum dan rumah tangga (municipal water supply), air irigasi (irrigation water requirement), pembangkit tenaga listrik (power generation), kebutuhan air industri (water requirement for industry), dan lain-lain. Bendungan dibangun oleh Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah, Badan Usaha Milik Negara dan Badan Usaha Swasta.

Menurut Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010, tentang Bendungan, Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Anonim, 2010).

M. Marzulian Ramli dan Bambang E. Yuwono (2015). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa (1) Faktor dominan pengelolaan waduk yang mempengaruhi kinerja waduk adalah Pelaksanaan kalibrasi secara rutin, perencanaan SOP, pelaksanaan SOP, evaluasi penggunaan air waduk, pemeliharaan dan penggantian peralatan, kelengkapan SOP, pemeliharaan alat penduga sedimentasi, pendataan DAS, proses pengerukan waduk, debit inflow, pengerukan debit sedimentasi, (2) Perencanaan pengelolaan waduk berpengaruh terhadap kinerja waduk 30,60%, (3) Pelaksanaan pengelolaan waduk berpengaruh terhadap kinerja waduk sebesar 30,20%, (4) Secara Parsial evaluasi penggunaan air waduk pemeliharaan dan penggantian peralatan dan proses pengerukan waduk memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja waduk, dan (5) Alternatif upaya pengelolaan waduk yang dapat dilakukan meliputi berbagai aspek yaitu pengelolaan hulu waduk, daerah sekitar waduk dan waduk.

Mohammed Ehteram, dkk, (2017) Operasi waduk bertujuan mengatur pemberian air untuk berbagai keperluan secara optimum, pengaturan ini didasarkan pada aliran masuk, besarnya tampungan dan kebutuhan yang harus dilayani dengan langkah waktu berjalan. Operasi waduk dibuat dengan memperkirakan kebutuhan air, data statistik aliran masuk ke waduk dengan total energi yang dihasilkan oleh sistem operasi waduk tersebut.

1.2 Penilaian Kondisi Waduk

Dalam Pedoman Penilaian Kondisi Fisik Bendungan beserta Waduknya yang dikeluarkan atau diterbitkan oleh Balai Bendungan pada tahun 2010. Pedoman ini mengatur mengenai tata cara penilaian dan langkah-langkah dalam penilaian Bendungan beserta Waduknya. Dalam pemeliharaan bendungan yang baik dan benar diperlukanlah penilaian kondisi suatu bendungan yang tertuang dalam Pedoman Penilaian Kondisi Fisik Bendungan yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010, tentang Bendungan.

Pembobotan tiap komponen dan sub komponen pada penilaian kondisi fisik bendungan adalah sebagai acuan dalam menghitung indeks kerusakan pada tiap komponen dan sub komponen di bendungan. Kontribusi nilai bobot tiap komponen terhadap kondisi keseluruhan fisik bendungan beserta waduknya tidak sama, bobot tiap komponen disusun berdasarkan besarnya pengaruh komponen tersebut terhadap kegagalan bangunan, Komponen dan bobot penilaian pada setiap bendungan beserta waduknya menurut Standart Pedoman Penilaian Kondisi Fisik Bendungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pembobotan Kondisi Fisik Bendungan

No	Komponen	Bobot %
1	Waduk	10
2	Tubuh Bendungan	40
3	Bangunan Pelengkap	40
4	Instrumentasi Bendungan	10
Jumlah		100

Sumber: Pedoman Penilaian Kondisi Bendungan 2010 (Anonim, 2010)

Klasifikasi penilaian kondisi ditentukan berdasarkan pada permasalahan dan tingkat kerusakan bendungan beserta waduknya. Adapun klasifikasi penilaian kondisi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Kondisi komponen waduk

No.	Kondisi	Penjelasan
1	Baik	Jika nilai kondisi >90% dan nilai tingkat kerusakan <10% dari kondisi awal bangunan.
2	Rusak ringan	Jika nilai kondisi 80-89% dan nilai tingkat kerusakan 10-20% dari kondisi awal bangunan.
3	Rusak sedang	Jika nilai kondisi 60-79% dan nilai tingkat kerusakan 21-40% dari kondisi awal bangunan.
4	Rusak berat	Jika nilai kondisi <60% dan nilai tingkat kerusakan >40% dari kondisi awal bangunan.

Sumber: Pedoman Penilaian Kondisi Bendungan 2010 (Anonim, 2010)

Hasil identifikasi dan analisis kerusakan merupakan bahan untuk pengisian formulir atau daftar penilaian kondisi fisik bendungan beserta waduknya. Hasil penilaian merupakan rekapitulasi kondisi yang berisi kesimpulan tentang kondisi fisik bendungan beserta waduknya secara keseluruhan.

1.3 Skala Prioritas Penanganan Bendungan

Metode yang digunakan untuk pengambilan keputusan pada penelitian ini adalah metode Analytic Network Process (ANP) dengan bobot skala prioritas mengacu pada Pedoman Penilaian Kondisi Fisik Bendungan Beserta Waduknya yang dikeluarkan atau diterbitkan oleh Balai Bendungan pada tahun 2010. ANP merupakan metode pengambilan keputusan yang mampu menangkap pengaruh antar komponen secara timbal balik, mengkombinasikan dan membandingkan nilai-nilai intangible dan judgement subyektif dengan data-data kuantitatif yang konsisten dalam skala rasio, sehingga mampu menghasilkan indikator pengaruh positif dan negatif serta mampu mensintesis semua pengaruh antar komponen menjadi satu kesatuan yang utuh (Saaty, 2003).

ANP mempunyai tiga konsep dasar yaitu dekomposisi, penilaian komparasi dan sintesis dari prioritas. Dekomposisi adalah tahap dimana masalah dimodelkan ke dalam kerangka ANP. Konsep penilaian komparasi menunjukkan bahwa pada ANP pengambilan keputusan diawali dengan membuat perbandingan antara dua pasangan elemen yang berhubungan dengan menggunakan skala. Konsep mengenai sintesis dari prioritas menjelaskan bahwa dalam ANP dihasilkan satu sintesis mengenai prioritas global.

Menurut Saaty (2006) penentuan nilai kriteria dalam metode mengacu pada skala fundamental ANP yang berupa angka dari 1-9. Penjelasan lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.

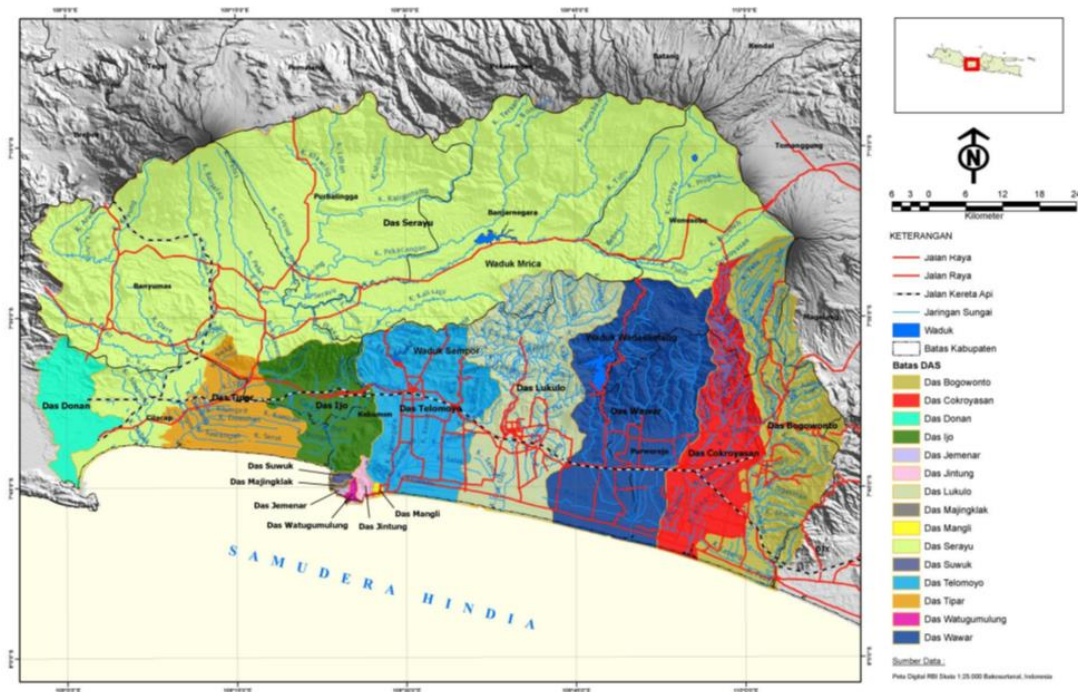
Tabel 3. Tabel Skala dalam ANP

Nilai	Definisi	Keterangan
1	<i>Equal importance</i>	Dua elemen yang dibandingkan memiliki kontribusi epentingan yang sama terhadap tujuan
2	<i>Weak</i>	Nilai kompromi di antara nilai yang berdekatan 1 dan 3
3	<i>Moderate Importance</i>	Pengalaman dan penilaian sedikit mendukung satu eleme dibandingkan elemen yang lain
4	<i>Moderate plus</i>	Nilai kompromi di antara nilai yang berdekatan 3 dan 5
5	<i>Strong importance</i>	Pengalaman dan penilaian kuat mendukung satu elemen dibandingkan elemen yang lainnya
6	<i>Strong plus</i>	Nilai kompromi di antara nilai yang berdekatan 5 dan 7
7	<i>Very strong or demonstrated importance</i>	Satu elemen sangat lebih dibandingkan elemen lainnya dan dominan ditunjukan dalam praktik
8	<i>Very, very strong</i>	Nilai kompromi di antara nilai yang berdekatan 7 dan 9
9	<i>Extreme importance</i>	Bukti-bukti yang memihak satu elemen lainnya memiliki bukti yang tingkat kemungkinannya afirmasinya tertinggi

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Bendungan Sempor terletak di Desa Sempor, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen, Propinsi Jawa Tengah. Terletak kira-kira 8 Km arah utara Kabupaten Gombong. Manfaat bendungan Sempor adalah untuk irigasi, pembangkit tenaga listrik, pengendali banjir, perikanan dan rekreasi. Luas layanan irigasi adalah 6.600 Ha. Pembangunan bendungan ini dilaksanakan pada Tahun 1975 dan selesai pada Tahun 1978. Secara umum bendungan Sempor terdiri dari bendungan utama, bangunan pelengkap, dan bendungan pembantu (*Auxiliary Dam*). Lokasi penelitian terdapat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Parameter dan Variabel

Parameter dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdapat Tabel 4.

Tabel 4. Parameter dan Variabel Penelitian

NO	URAIAN	KETERKAITAN ANALISIS	SUMBER DATA
I	Parameter dalam Penelitian		
1	Data Inventaris Bendungan	Inventarisasi	Data Sekunder
2	Data Kondisi Komponen Bendungan	Kondisi Fisik dan Fungsi	Data Primer
II	Variabel dalam Penelitian		
1	Bobot Penilaian	Bobot yang Diberikan Setiap Komponen	Data Primer
2	Jenis dan Tingkat Kerusakan	Penentuan Kerusakan	Data Primer
3	Penilaian Kondisi Bendungan	Penilaian dari Fisik dan Fungsi Setiap Komponen	Data Primer

2.3. Tahap Penelitian

Tahapan analisis dalam penelitian ini terdiri antara lain:

a. Inventarisasi Komponen Bendungan

Survei terhadap instansi yang terkait, dengan maksud memperoleh data inventaris komponen bendungan, sehingga penilaian dapat disesuaikan dengan data yang ada pada lapangan.

b. Analisa Kerusakan Setiap Komponen Bendungan

Survei lapangan diperlukan sebagai cara dalam menginventarisasi kerusakan dan penilaian kondisi fisik bendungan. Hasil yang didapatkan dari survey lapangan ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi Fisik Bendungan.
2. Penilaian Kondisi Fisik Bendungan.

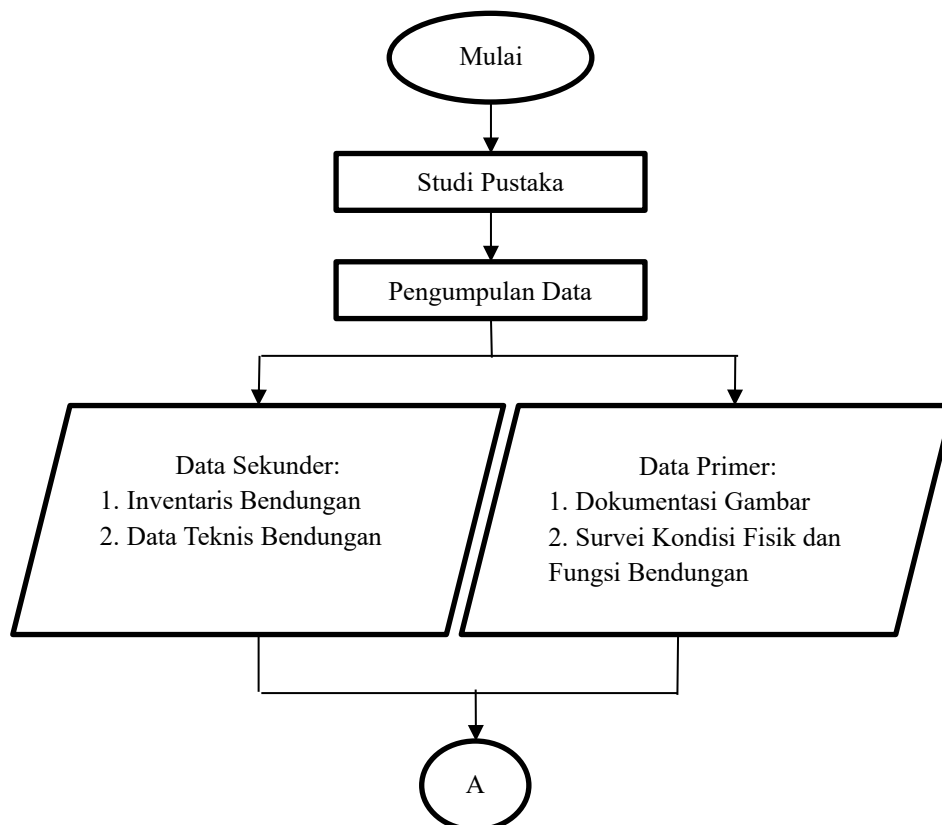
c. Penilaian Kondisi Fisik dan Fungsi Komponen Bendungan

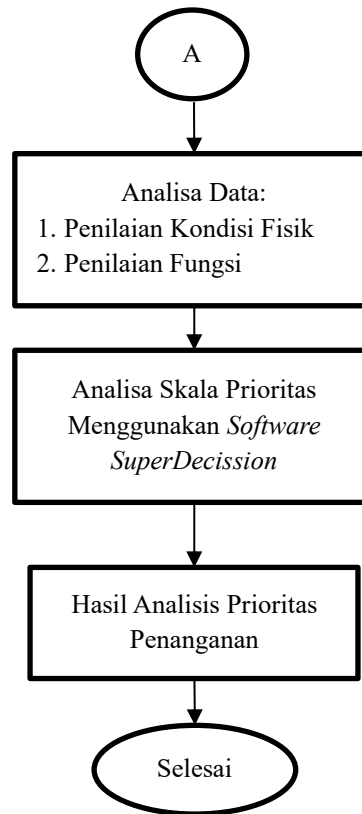
Menganalisa dan menghitung penilaian kondisi fisik dan fungsi bendungan agar didapatkan hasil penilaian kondisi bendungan. Penilaian fisik komponen dimaksudkan mengukur tingkat kerusakan pada komponen. Selain menilai dari kondisi fisik penilaian fungsi juga termasuk penting, karena setiap komponen seringkali berubah fungsi yang tidak sesuai dengan dasar pembuatan komponen.

d. Skala Prioritas Komponen Bendungan

Analisis penentuan prioritas pada penelitian ini menggunakan metode ANP dan menggunakan software Super Decision sebagai alat bantu analisis. Analisis penentuan skala prioritas terdiri dari 6 tahap yaitu:

- Bobot, Kriteria dan Subkriteria
Bobot kriteria dan subkriteria diperoleh berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan dan merupakan salah satu nilai yang diinput kedalam *software Super Decision*.
- Penilaian Kondisi
Penilaian kondisi dilakukan pada alternatif terhadap setiap subkriteria. Penilaian dilakukan berdasarkan acuan dari peraturan yang ada. Hasil penilaian kondisi digunakan sebagai data dalam analisis bobot kondisi dan nilai relatif.
- Bobot Kondisi dan Nilai Relatif
Bobot kondisi dan nilai relatif dihitung, nilai relatif digunakan dalam sebagai nilai yang diinput kedalam *software Super Decision*.
- Pembuatan Model ANP
Pembuatan model dilakukan menggunakan *software Super Decision*.
- Melakukan Input Data
Nilai yang diinput kedalam *software Super Decision* adalah bobot, kriteria, bobot sub kriteria, dan nilai relatif.
- Perhitungan Matriks Dan Penentuan Skala Prioritas
Perhitungan matriks menggunakan *software Super Decision*.





Gambar 2. Tahapan Proses Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Skala Prioritas Penanganan Bendungan

Kondisi alternatif pada setiap kriteria diperoleh berdasarkan survei di lapangan. Pembagian serta nilai subsubkriteria dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kriteria Waduk

Penilaian Bendungan Sempor terhadap kriteria waduk disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Penilaian Berdasar Kriteria Waduk

Nama	Waduk		
	Sedimentasi	Daerah Sabuk Hijau	Inflow Waduk
B. Sempor	80	70	85

2. Kriteria Tubuh Bendungan

Penilaian Bendungan Sempor terhadap kriteria tubuh bendungan disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Penilaian Berdasar Kriteria Waduk

Nama	Tubuh Bendungan				
	Lereng Hulu	Puncak	Lereng Hilir	Bidang Tumpuan	Rembesan Bangunan
B. Sempor	85	70	90	80	80

3. Kriteria Bangunan Pelengkap

Penilaian Bendungan Sempor terhadap kriteria bangunan pelengkap disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Penilaian Berdasar Kriteria Waduk

Nama	Bangunan Pelengkap		
	Pengambilan	Bangunan Pengeluaran	Bangunan Pelimpah
B. Sempor	80	85	70

4. Kriteria Instrumentasi

Penilaian Bendungan Sempor terhadap kriteria instrumentasi disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Penilaian Berdasar Kriteria Waduk

Nama	Instrumentasi			
	Pengukur Rembesan	Pengukur Tekanan Pori	Pengukur Pergerakan	Sumur Pengamatan
B. Sempor	40	40	50	80

3.2. Bobot dan Penilaian

Metode penentuan nilai kriteria pada penelitian ini berdasarkan nilai data kriteria yang berupa data numerik. Nilai data kriteria dapat berupa jumlah, harga, kecepatan, dan data kuantitatif lainnya. Pada metode direct priorities nilai akhir yang dimasukkan dalam model ANP yang diberi simbol N, diperoleh dengan persamaan 3.1

$$N = \frac{x_n}{\sum_1^n x} \quad (3.1)$$

Dengan,

N = nilai kriteria skala prioritas ANP

x = data nilai kriteria

Penilaian kondisi waduk diperoleh dari survei langsung dilapangan. Perhitungan bobot kondisi dan nilai relatif adalah sebagai berikut:

$$\text{Bobot Kondisi} = \frac{x}{x_{max}} \times 100\%$$

$$\text{Bobot Kondisi} = \frac{80}{85} \times 100\%$$

$$= 94.12\%$$

$$N = \frac{x_n}{\sum_1^n x}$$

$$N = \frac{94.12}{276,47}$$

$$N = 0,34$$

Hasil pengolahan data kriteria komponen ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Bobot Kondisi dan Nilai Penilaian

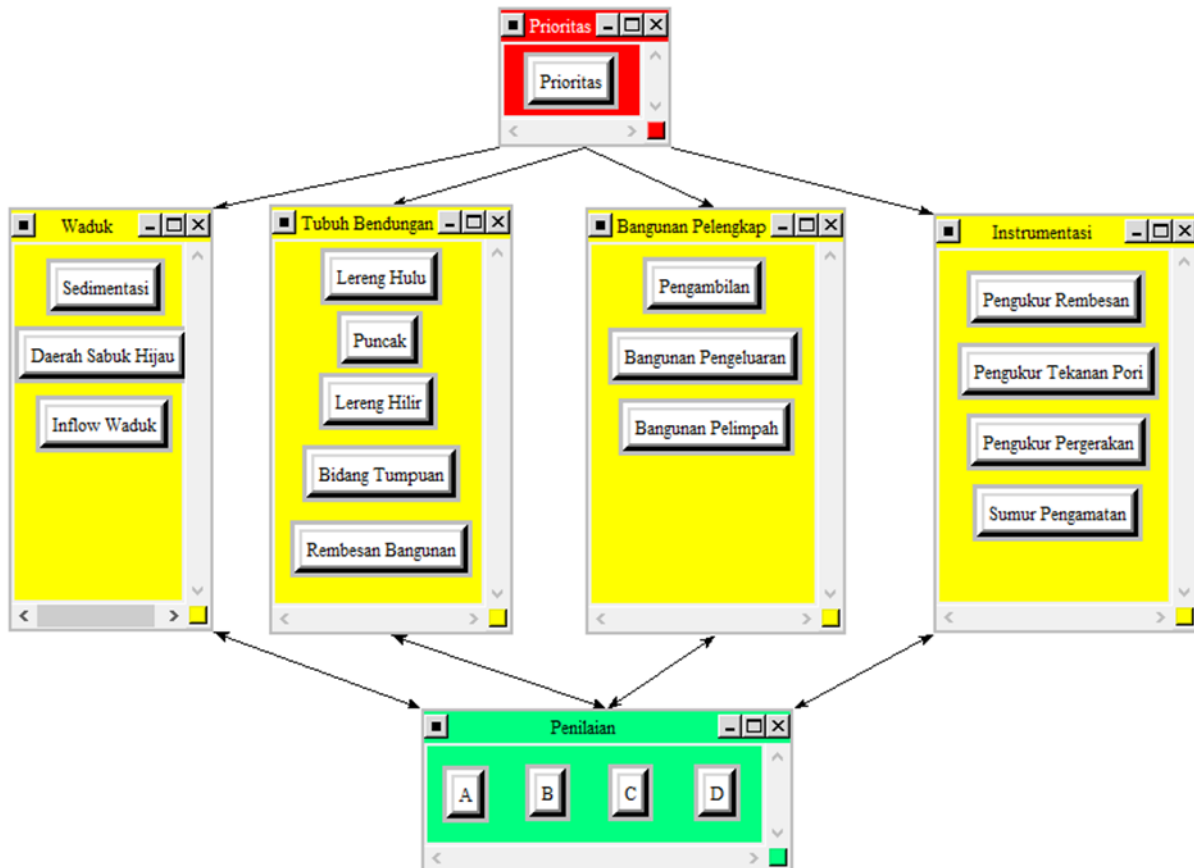
Sub Kriteria	Penilaian	Nilai	Kondisi (%)	N
Kondisi Waduk	Sedimentasi	80,0	94,12	0,34
	Daerah Sabuk Hijau	70,0	82,35	0,30
	Inflow Waduk	85,0	100,00	0,36
	Jumlah		276,47	1,00
Kondisi Tubuh Bendungan	Lereng Hulu	85,0	94,44	0,21
	Puncak	70,0	77,78	0,17
	Lereng Hilir	90,0	100,00	0,22
	Bidang Tumpuan	80,0	88,89	0,20
	Rembesan Bangunan	80,0	88,9	0,2
Jumlah		450,0	1,0	
Kondisi Pelengkap	Pengambilan	80	94,12	0,34
	Bangunan Pengeluaran	85	100,00	0,36
	Bangunan Pelimpah	70	82,35	0,30
Jumlah		276,47	1,00	
Kondisi Instrumentasi	Pengukur Rembesan	40	50,00	0,19
	Pengukur Tekanan Pori	40	50,00	0,19
	Pengukur Pergerakan	50	62,50	0,24
	Sumur Pengamatan	80	100,00	0,38
	Jumlah		262,50	1,00

Sumber: Analisis

3.3. Model Penentuan Skala Prioritas pada *Software Superdecision*

Penentuan skala penilaian bendungan menggunakan metode ANP dengan bantuan software Super Decision dengan metode input data kriteria *direct priorities*. Terdapat empat kriteria dan yang digunakan dalam penelitian ini. Kriteria tersebut terdiri dari kriteria kondisi waduk, tubuh bendungan, pelengkap, dan instrumentasi.

Model penentuan skala prioritas disusun berdasarkan hubungan antar kriteria terhadap prioritas dan alternatif. Model penentuan skala prioritas yang disusun dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Dalam model tersebut terdapat bentuk jaringan hirarki dan feedback, jaringan hirarki terjadi pada hubungan antara prioritas dengan setiap kriteria sedangkan jaringan feedback terjadi pada hubungan antara kriteria dan subkriteria dengan alternatif. Hubungan hirarki ditunjukkan dengan adanya panah tunggal sedangkan hubungan feedback ditunjukkan dengan adanya tanda panah dua arah.



Gambar 3. Model Penentuan Skala Prioritas pada *Software Superdecision*

3.4. Bobot Nilai Kriteria

Nilai relatif subkriteria ANP di input dengan metode *direct priorities* dengan cara sebagai berikut:

- Membuka menu *pairwise comparison*.
- Lalu memilih pilihan *node* subkriteria yang dikehendaki untuk menentukan bobot antara subkriteria dan alternatif.
- Kemudian memilih menu *direct*.
- Data yang dimasukkan merupakan hasil pengolahan bobot subkriteria.

3.5. Bobot Nilai Kondisi

Nilai relatif subkriteria ANP di input dengan metode *direct priorities* dengan cara sebagai berikut:

- Membuka menu *pairwise comparison*.
- Lalu memilih pilihan *node* alternatif yang dikehendaki untuk menentukan bobot kondisi alternatif.
- Kemudian memilih menu *direct*.
- Data yang dimasukkan merupakan hasil pengolahan bobot kondisi.

Hasil penilaian dengan menggunakan Software Super Decision di bendungan Sempor terdapat dalam Tabel 10.

Tabel 10. Prioritas Penanganan Jalan

Penilaian	Ideal	Ranking
A	0.22671	2
B	0.36377	1
C	0.19593	4
D	0.21359	3

Sumber: Analisis

Dari tabel 10 menunjukkan bahwa Penilaian A menjadi penilaian yang dikeluarkan dalam aplikasi *SuperDecisions*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari analisis penilaian Bendungan Sempor diperoleh penilaian B, yang berarti Bendungan Sempor memiliki kondisi rusak ringan jika nilai kondisi 80–90% dan nilai tingkat kerusakan 10–20% dari kondisi awal bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2010, Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010, Tentang Bendungan, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [2] Aan Andriawan, 2020 "Teknik Pengambilan Keputusan Pada Penentuan Skala Prioritas Pemeliharaan Kondisi Fisik Waduk Tirtomarto Dengan Aplikasi Analytical Hierarchy Process dan Expert Choice 11" Jurnal Kacapuri Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, Volume 3 Nomor 2 Edisi Desember 2020, Hal 83-97
- [3] Aurelia Talon dan Corinne Curt, 2016, Selection of appropriate defuzzification methods: Application to the assessment of dam performance. International Journal www.elsevier.com/locate/eswa, Page: 160-174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2016.09.004>
- [4] Andersen G.R., Luc E. Chouinard, William H. Hover, Chad W. Cox, 2001, Risk Indexing Tool To Assist In Prioritizing Improvements To Embankment Dam Inventories, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering
- [5] Curt C., Peyras L., Boissier D., 2010, A Knowledge formalisation and aggregation-based method for the assessment of dam performance, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering
- [6] Fell R., Bowles D.S., 2000, The status of methods for estimation of the probability of failure of dams for use in quantitative risk assessment, ANCOLD Risk Workshop
- [7] Nany Helfira. 2013. Identifikasi Parameter Dalam Penentuan Prioritas Penanganan Masalah Sistem Drainase di Wilayah Kota Pekanbaru Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau
- [8] Prasetya Kurniawan, Edwin.2016. Prioritas Perbaikan Saluran Drainase Dengan Metode Analytic Network Process (ANP) Di Kelurahan Kadipiro Bagian Barat. Jurnal. Surakarta: Fakultas Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret
- [9] M. Marzulian Ramli dan Bambang E. Yuwono, 2015, Identifikasi Faktor Dominan Pengelolaan Waduk Yang Berpengaruh Terhadap Kinerja Waduk, Seminar Nasional Teknik Sipil V Tahun 2015 –UMS
- [10] Yohanes Meluk. 2015. Penyusunan Skala Prioritas Program Rehabilitasi Embung Kecil di Kabupaten Kupang Provinsi NTT. Jurnal Magister Teknik Sipil Vol. III No.1. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- [11] Zainudin, 2010. Pengaturan dan Konsepsi Keamanan Bendungan, Balai Bendungan. Jakarta

Analisis Keseimbangan Air Irigasi Untuk Kesesuaian Pola Tanam Padi Daerah Irigasi Baturraden

Analysis of Irrigation Water Balance for the Suitability of Rice Crop Pattern in Baturraden

Vanda Nahdliya Islamy¹, Teguh Marhendi², M. Agus Salim Al Fathoni³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Artikel

Dikirim, 12 Mei 2025
Direvisi, 21 Januari 2026
Diterima, 22 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Vanda Nahdliya Islamy
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah
Purwokerto
Jl. K.H. Ahmad Dahlan
Purwokerto, 53182
Email:
vandaislamy@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara agraris sangat bergantung pada sektor pertanian, khususnya komoditas padi yang memerlukan pasokan air irigasi yang stabil. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi adalah ketidakseimbangan air, terutama pada musim kemarau, di mana kebutuhan air pertanian sering kali melebihi debit air yang tersedia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keseimbangan antara ketersediaan air dan kebutuhan air irigasi, serta mengevaluasi kesesuaian pola tanam padi berdasarkan debit andalan di Daerah Irigasi Muntu, Desa Kemitug Lor, Kecamatan Baturraden. Metode *F.J. Mock* digunakan untuk menghitung ketersediaan air, sedangkan kebutuhan air dihitung menggunakan perangkat lunak *Cropwat 8.0* dengan pendekatan *Penman-Monteith*. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat defisit air pada bulan-bulan kering, yang berpengaruh terhadap efektivitas distribusi irigasi. Oleh karena itu, diperlukan strategi penyesuaian pola tanam berbasis keseimbangan air agar efisiensi penggunaan air meningkat dan seluruh lahan pertanian dapat terairi secara optimal. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi petani dan pengelola irigasi dalam menyusun strategi pengelolaan air yang efisien dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan, serta dapat diterapkan pada wilayah lain dengan karakteristik hidrologi yang serupa.

Kata Kunci : Keseimbangan Air, Irigasi, Kebutuhan Air, Pola Tanam Padi, *F.J. Mock*

ABSTRACT

Indonesia, as an agrarian country, relies heavily on the agricultural sector, particularly rice farming which requires a consistent supply of irrigation water. One of the main issues faced is the imbalance between irrigation water availability and crop water demand, especially during the dry season when water shortages often occur. This study aims to analyze the balance between water supply and irrigation demand and evaluate the suitability of rice cropping patterns based on dependable flow in the Muntu Irrigation Area, Kemitug Lor Village, Baturraden District. The *F.J. Mock* method was used to estimate water availability, while water demand was calculated using *Cropwat 8.0* software with the *Penman-Monteith* method. The results showed that significant water deficits occur during several dry months, affecting irrigation scheduling and agricultural productivity. Therefore, it is necessary to adjust cropping patterns based on water balance analysis to improve water use efficiency and ensure optimal irrigation coverage. This study is expected to serve as a reference for farmers and irrigation managers in developing water management strategies that are efficient, field-appropriate, and applicable to other areas with similar hydrological characteristics.

Keyword : Water Balance, Irrigation, Water Demand, Rice Cropping Pattern, *F.J. Mock*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya menggantungkan hidup pada sektor pertanian. Salah satu faktor penting dalam mendukung keberhasilan usaha tani adalah ketersediaan air irigasi. Namun, pada musim kemarau, sering terjadi ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air, sehingga distribusi air tidak dapat berjalan secara optimal. Kebutuhan air irigasi merupakan jumlah air yang dibutuhkan tanaman dengan memperhitungkan kehilangan dan sumber alami, sedangkan irigasi bertujuan meningkatkan produktivitas pertanian secara efisien [1] [2].

Penelitian terkait kebutuhan air irigasi umumnya hanya berfokus pada perhitungan kebutuhan air tanaman dan evaluasi pola tanam metode KP-01 yang menekankan pada analisis evapotranspirasi, curah hujan efektif, kebutuhan air maksimum serta kelayakan pola tanam padi dan palawija [3] [4] [5]. Penelitian-penelitian tersebut belum mengkaji keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air irigasi secara komprehensif dengan mengintegrasikan metode F.J. Mock untuk ketersediaan air dan software CropWat 8.0 untuk kebutuhan air, sehingga diperlukan penelitian ini untuk menentukan kesesuaian pola tanam padi berbasis analisis surplus dan defisit air di Daerah Baturraden.

Daerah Irigasi Muntu yang terletak di Desa Kemutug Lor, Kecamatan Baturraden, Kabupaten Banyumas, memiliki luas lahan pertanian sekitar 68 hektar dan memanfaatkan aliran Sungai Belot sebagai sumber air irigasi. Pada musim hujan, sistem irigasi dapat berfungsi secara normal, namun saat musim kemarau debit air menurun drastis dan tidak dapat memenuhi seluruh kebutuhan irigasi. Akibatnya, hanya sebagian sawah yang dapat ditanami, sementara sisanya tidak mendapat pasokan air yang cukup. Oleh karena itu, diperlukan analisis keseimbangan air antara ketersediaan dan kebutuhan irigasi untuk mengevaluasi pola tanam yang sesuai dengan kondisi debit air yang tersedia, agar distribusi air dapat berjalan lebih optimal dan luas tanam dapat dimaksimalkan.

1.1 Irigasi

Istilah irigasi menurut PP No. 77 tahun 2001 adalah usaha manusia di dalam menyediakan dan pengaturan air untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi bawah tanah, irigasi pompa dan irigasi tambak.[6]. Irigasi memegang peranan penting dalam mendukung produktivitas pertanian, khususnya tanaman padi. Efisiensi irigasi sangat dipengaruhi oleh kehilangan air melalui infiltrasi dan evaporasi. Oleh karena itu, analisis ketersediaan dan kebutuhan air menjadi langkah penting dalam pengelolaan irigasi yang efisien.[7][8]

1.2 Ketersediaan Air

Ketersediaan air adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi (bendung atau bangunan air lainnya) di sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu. Ketersediaan air pada dasarnya terdiri atas tiga bentuk yaitu air hujan, air permukaan, dan air tanah. [9]. Ketersediaan air ini berasal dari berbagai sumber, yaitu air hujan, aliran permukaan (*runoff*), serta simpanan air tanah, yang secara bersama-sama membentuk pasokan utama dalam sistem irigasi. Dalam perencanaan sistem irigasi, analisis terhadap ketersediaan air dilakukan untuk mengetahui seberapa besar debit air yang mampu disuplai dari sumber alami, seperti sungai, waduk, atau saluran induk, baik pada musim hujan maupun musim kemarau.

1.3 Kebutuhan Air

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evaporasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah.[10]. Dalam konteks irigasi, kebutuhan air tidak hanya mencakup air yang digunakan langsung oleh tanaman (evapotranspirasi tanaman), tetapi juga mempertimbangkan kerugian air selama distribusi, efisiensi sistem irigasi, dan kontribusi air dari hujan efektif.

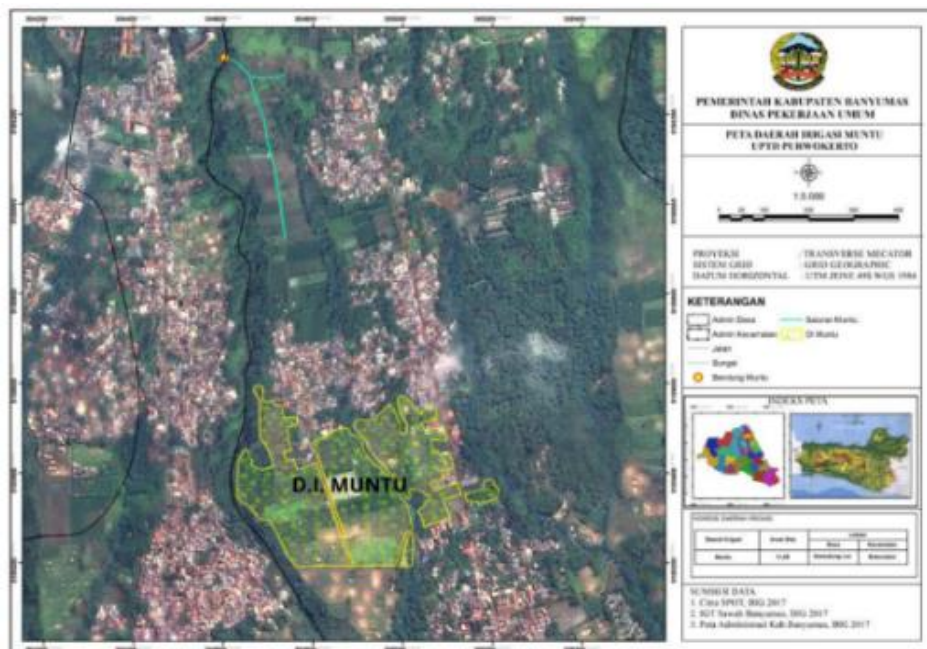
1.4 Keseimbangan Air

Menurut FAO konsep keseimbangan air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk (*inflow*) dan yang keluar (*outflow*) dalam suatu proses sirkulasi air pada periode tertentu[11]. Keseimbangan air yang di analisis adalah perbandingan antara ketersediaan air irigasi dengan kebutuhan air irigasi

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Daerah Irigasi Muntu yang berlokasi di Desa Kemutug Lor, Kecamatan Baturraden, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah, pada koordinat 7°20'21" LS, 109°13'55" BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Data Penelitian

Data yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer meliputi pola tanam dan jenis padi pada lapangan yang diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara. Sedangkan data sekunder meliputi skema jaringan, curah hujan, klimatologi, dan surat pola tanam yang diperoleh dari instansi-instansi seperti Dinas Pekerjaan Umum, Balai Pengelolaan Sumber Daya Air, Badan Meteorologi klimatologi dan Geofisika.

2.3. Analisa Data

1. Analisis ketersediaan air

Perhitungan ketersediaan air menggunakan metode *F.J. Mock*, dengan menghitung evapotranspirasi berdasarkan metode *Penman Modifikasi* (FAO). Data yang diperlukan berupa: temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan udara dan lama penyinaran matahari, serta menggunakan data-data yang dijadikan sebagai parameter dalam menghitung debit air sungai, antara lain: data jumlah curah hujan, data jumlah hari hujan dan evapotranspirasi

2. Analisis kebutuhan air

Perhitungan kebutuhan air menggunakan *software Cropwat 8.0* dengan menghitung evapotranspirasi menggunakan metode *Penman Monteith* sebagai faktor dasar untuk mengetahui kebutuhan air yang diperlukan tanaman padi. Perhitungan kebutuhan air irigasi mengacu pada buku Standar Perencanaan Irigasi.

3. Analisis keseimbangan air

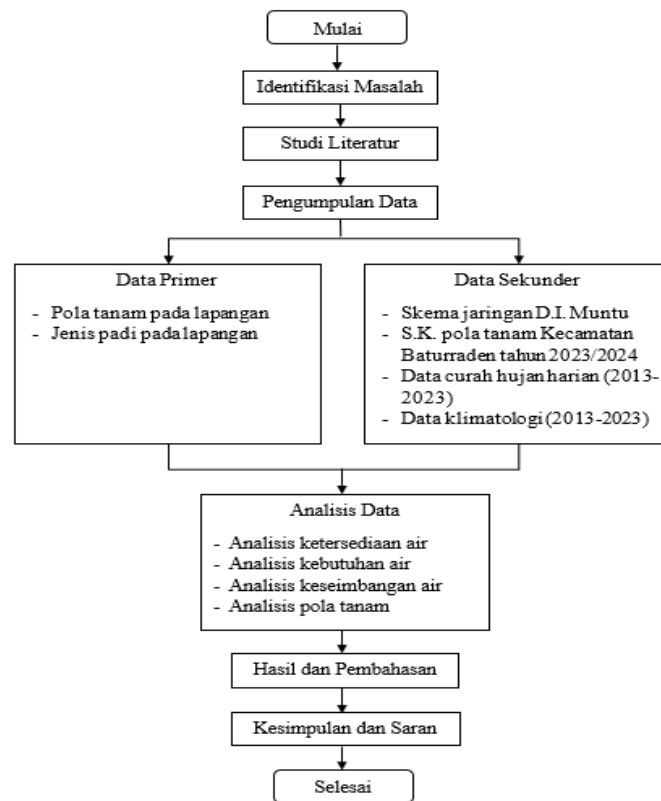
Keseimbangan air yang di analisis adalah perbandingan antara ketersediaan air irigasi dengan kebutuhan air irigasi. Jika *surplus* ketersediaan air berlebih maka dapat digunakan dengan maksimal untuk pemanfaatan kebutuhan air irigasi, jika defisit maka ketersediaan air kekurangan untuk memenuhi kebutuhan air di sawah.

4. Analisis pola tanam

Kesesuaian pola tanam menyesuaikan dengan ketersediaan air yang ada agar tidak menimbulkan masalah seperti berkurangnya hasil panen, rentan terhadap serangan hama maupun perebutan air untuk lahan sawah. Sehingga solusinya yaitu dengan cara mencari pola tanam terbaik maupun sistem golongan untuk memenuhi kebutuhan air disawah sesuai dengan ketersediaan air yang ada.

2.4. Tahapan Penelitian

Tahapan prosedur penelitian seperti tergambar dalam diagram alir penelitian sebagai berikut



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Irigasi Muntu merupakan salah satu daerah irigasi jenis tersier yang digunakan sebagai pengairan lahan pertanian tanaman padi oleh masyarakat di Desa Kemutug Lor, Kecamatan Baturraden, Kabupaten Banyumas yang terletak pada koordinat 7°20'21" LS, 109°13'55" BT. Daerah Irigasi Muntu memiliki luas sekitar 11,85 ha. Suplai air irigasi berasal dari sungai Belot dengan luas DAS 8 km².

3.1. Analisis Evapotranspirasi

Pada analisis evapotranspirasi untuk ketersediaan air menggunakan metode *Penman* Modifikasi FAO dengan rumus : $ET0 = c [W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)]$

Untuk menghitung besarnya evapotranspirasi dibutuhkan data-data klimatologi 10 tahun terakhir (2014-2023). Perhitungan evapotranspirasi pada bulan Januari tahun 2023 dengan data sebagai berikut : Temperatur udara 25,44 °C, kecepatan angin 159,77 km/hari, lama penyinaran matahari 22,18%, dan kelembaban udara relatif 83,07%. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Perhitungan Evapotranspirasi

Parameter	Sat	Ket	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Temperatur suhu udara (T)	°C	Data	25,44	25,18	25,14	24,72	24,98	25,38	25,08	23,93	24,93	25,40	25,77	25,61
Kecepatan angin (U)	km/hari	Data	159,77	183,96	175,98	121,79	160,27	161,23	231,97	216,71	286,80	226,93	187,33	167,96
Lama penyinaran matahari (n/N)	%	Data	22,18	15,36	28,36	25,86	32,93	28,68	29,84	33,07	36,80	36,90	26,82	29,23
Kelembaban udara relatif (RH)	%	Data	83,07	83,77	82,93	83,68	80,87	84,10	83,66	84,70	82,80	82,90	83,73	80,00
C		Tabel	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
ea	mbar	Tabel	32,53	32,04	31,96	31,16	31,66	32,42	31,85	29,68	31,56	32,46	33,16	32,85
ed = ea × RH/100	mbar	Perhit	27,02	26,84	26,50	26,07	25,60	27,27	26,64	25,14	26,13	26,91	27,77	26,28
(ea - ed)	mbar	Perhit	5,51	5,20	5,46	5,09	6,06	5,15	5,21	4,54	5,43	5,55	5,39	6,57
f(u) = 0,27 (1 + u/100)	km/hari	Perhit	0,70	0,77	0,75	0,60	0,70	0,71	0,90	0,86	1,04	0,88	0,78	0,72
W		Tabel	0,74	0,75	0,75	0,74	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75
Ra	mm/hari	Tabel	15,99	16,06	15,33	14,50	13,20	12,53	12,83	13,80	14,93	15,76	15,93	15,89
Rs = (0,25+0,50 × n/N) × Ra	mm/hari	Perhit	5,77	5,25	6,01	5,50	5,47	4,93	5,12	5,73	6,48	6,85	6,12	6,29
Rns = (1-α) × Rs (α = 0,25)	mm/hari	Perhit	4,33	3,94	4,50	4,13	4,11	3,70	3,84	4,30	4,86	5,14	4,59	4,72
f(T)		Tabel	15,76	15,69	15,68	15,58	15,64	15,74	15,67	15,38	15,63	15,75	15,84	15,8
f(ed) = 0,34 - 0,44 √ed	mbar	Perhit	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
f (n/N) = 0,1+0,9 × n/N		Perhit	0,30	0,24	0,36	0,33	0,40	0,36	0,37	0,40	0,43	0,43	0,34	0,36
Rn1 = f (T) × f (ed) × f (n/N)		Perhit	0,53	0,42	0,63	0,60	0,73	0,62	0,65	0,73	0,78	0,76	0,58	0,66
Rn = Rns - Rn1	mm/hari	Perhit	3,80	3,51	3,93	3,52	3,37	3,07	3,19	3,56	4,08	4,37	3,95	4,02
ET0 = c × [W × Rn + (1-w) × f(u) × (ea-ed)]	mm/hari	Perhit	4,20	3,99	3,96	3,06	3,23	2,89	3,20	3,64	4,94	4,95	4,41	4,62

Sumber : Analisis Data, 2024

3.2. Analisis Ketersediaan Air

Untuk menghitung nilai ketersediaan air pada DAS Belot dapat dilakukan perhitungan debit dengan menerapkan metode *F.J. Mock* dengan rumus $Q = \left(\frac{TRO \times A}{n}\right)$.

Perhitungan jumlah debit air pada bulan Januari tahun 2023 menggunakan beberapa data yaitu: curah hujan bulanan 440,0 mm, jumlah hari hujan 19 hari, jumlah hari 1 bulan 31 hari. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Ketersediaan Air

Uraian	Satuan	Ket	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Data Meteorologi														
Hujan Bulanan (R)	mm/bln	Data	440,0	472	503	244	269	204	225	3	14	41	588	479
Jumlah Hari Hujan (n)	Hari	Data	19	17	21	18	10	10	8	2	5	7	20	11
Jumlah Hari 1 Bulan	Hari	Data	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Evapotranspirasi	mm/hari	Data	4,20	3,99	3,96	3,06	3,23	2,89	3,20	3,64	4,94	4,95	4,41	4,62
Evaporasi Aktual (Ea)														
ET0 = Evapotranspirasi × Jmlh hari 1 bln	mm/bln	Data	130,21	111,78	122,88	91,71	100,20	86,70	99,30	112,96	148,28	153,53	132,29	143,33
m = (Luas lahan/luas DAS)/100%	%	Perhit	1,45	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
ET0/Ea = m/20 × (18-n)	%	Perhit	-0,07	0,08	-0,23	0,00	0,63	0,63	0,78	1,25	1,02	0,86	-0,16	0,55
Ee = ET0 × (m/20) × (18-n)/100	mm/bln	Perhit	-0,09	0,09	-0,29	0,00	0,63	0,54	0,78	1,41	1,51	1,32	-0,21	0,79
Ea = ET0 - Ee	mm/bln	Perhit	130,30	111,69	123,17	91,71	99,58	86,16	98,52	111,55	146,77	152,21	132,49	142,55
Keseimbangan Air														
ΔS = R - Ea	mm/bln	Perhit	309,70	360,31	379,83	152,29	169,42	117,84	126,48	-108,55	-132,77	-111,21	455,51	336,45
Limpasan Badai (PF = 5%)		Perhit	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,7	2,05	0	0
Kandungan Air Tanah (SS)	mm/bln	Perhit	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,65	2	0	0
Kapasitas Kelembaban Air Tanah (SMC)	mm/bln	Perhit	200	200	200	200	200	200	200	0,1	0,65	2	0	0
Kelebihan Air (WS)	mm/bln	Perhit	309,70	360,31	379,83	152,29	169,42	117,84	126,48	-108,65	-133,42	-113,21	455,51	336,45
Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah														
Faktor Infiltrasi (i)		Ketent	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Faktor Resesi Air Tanah (K)		Ketent	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
I = i × WS	mm/bln	Perhit	123,88	144,12	151,93	60,92	67,77	47,14	50,59	-43,46	-53,37	-45,28	182,20	134,58
G = 0,5 (1+K) × I	mm/bln	Perhit	99,10	115,30	121,55	48,73	54,22	37,71	40,47	-34,77	-42,69	-36,23	145,76	107,66
L = K (Vn-1)		Perhit	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Vn = G + L		Perhit	159,10	175,30	181,55	108,73	114,22	97,71	100,47	25,23	17,31	23,77	205,76	167,66
ΔVn = Vn - (Vn-1)		Perhit	59,10	75,30	81,55	8,73	14,22	-2,29	0,47	-74,77	-82,69	-76,23	105,76	67,66
BF = I - ΔVn	mm/bln	Perhit	64,78	68,82	70,39	52,18	53,55	49,43	50,12	31,31	29,33	30,94	76,44	66,92
DRO = WS - I	mm/bln	Perhit	185,82	216,18	227,90	91,37	101,65	70,70	75,89	-65,19	-80,05	-67,93	273,30	201,87
TRO = BF + DRO	mm/bln	Perhit	250,60	285,01	298,28	143,56	155,21	120,13	126,01	-33,88	-50,72	-36,98	349,75	268,79
Luas DAS (A)	km ²	Data	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Q = (TRO × A)/n	m ³ /dtk	Perhit	0,75	0,94	0,89	0,44	0,46	0,37	0,38	-0,10	-0,16	-0,11	1,08	0,80

Sumber : Analisis Data, 2024

3.3. Analisis Kebutuhan Air

Untuk menghitung kebutuhan air dibutuhkan data klimatologi dan data curah hujan, kemudian data tersebut di *input* ke dalam *software Cropwat*. Kemudian *input* data karakteristik tanaman yaitu padi sesuai pada lapangan dan data tanah yang diambil dari *database* FAO. Dengan menggunakan simulasi *software Cropwat* hasil dari nilai kebutuhan irigasi yang diperoleh dikalikan dengan luasan area dari D.I. Muntu yaitu 11,85 ha. Perhitungan kebutuhan air dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Kebutuhan Air

Musim	Jenis Tanam	Jenis Tanaman	Bulan	Periode	IR		DR	
					(mm/dec)	(mm/hari)	(lt/dt/ha)	(m ³ /dt)
I	Padi		Sep	1	75,0	7,5	0,87	1,03
				2	34,5	3,5	0,40	0,47
				3	166,9	16,7	1,93	2,29
			Okt	1	37,5	3,8	0,43	0,51
				2	37,7	3,8	0,44	0,52
				3	11,0	1,1	0,13	0,15
			Nov	1	0,0	0,0	0,00	0,00
				2	0,0	0,0	0,00	0,00
				3	0,0	0,0	0,00	0,00
			Des	1	0,0	0,0	0,00	0,00
				2	0,0	0,0	0,00	0,00
				3	0,0	0,0	0,00	0,00
			Jan	1	0,0	0,0	0,00	0,00
				2	0,0	0,0	0,00	0,00
				3	0,0	0,0	0,00	0,00
			Feb	1	-	-	-	-
				2	-	-	-	-
				3	-	-	-	-

		1	-	-	-	-
	Mar	2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-
		1	74,6	7,5	0,86	1,02
	Apr	2	0,0	0,0	0,00	0,00
		3	80,0	8,0	0,93	1,10
		1	0,0	0,0	0,00	0,00
	Mei	2	0,0	0,0	0,00	0,00
		3	0,0	0,0	0,00	0,00
		1	0,0	0,0	0,00	0,00
II	Padi	2	0,0	0,0	0,00	0,00
		3	0,0	0,0	0,00	0,00
		1	0,0	0,0	0,00	0,00
	Jul	2	0,0	0,0	0,00	0,00
		3	0,0	0,0	0,00	0,00
		1	30,6	3,1	0,35	0,42
	Agt	2	30,9	3,1	0,36	0,42
		3	21,3	2,1	0,25	0,29

Sumber : Analisis Data, 2024

3.4. Analisis Keseimbangan Air

Keseimbangan air yang di analisis adalah perbandingan antara ketersediaan air irigasi dengan kebutuhan air irigasi. Secara umum persamaan keseimbangan air dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta S = I - O$$

Apabila jumlah air masuk (*Inflow*) dianggap sebagai debit ketersediaan dan jumlah air keluar (*Outflow*) sebagai debit kebutuhan maka:

$$Q_{ketersediaan} - Q_{kebutuhan} = + (\text{surplus})$$

$$Q_{ketersediaan} - Q_{kebutuhan} = - (\text{defisit})$$

Perhitungan keseimbangan air pada bulan Januari tahun 2023.
 Keseimbangan (ΔS) = ketersediaan air (I) – kebutuhan air (O)
 = 0,75 – 0,00
 = 0,75 m³/dt

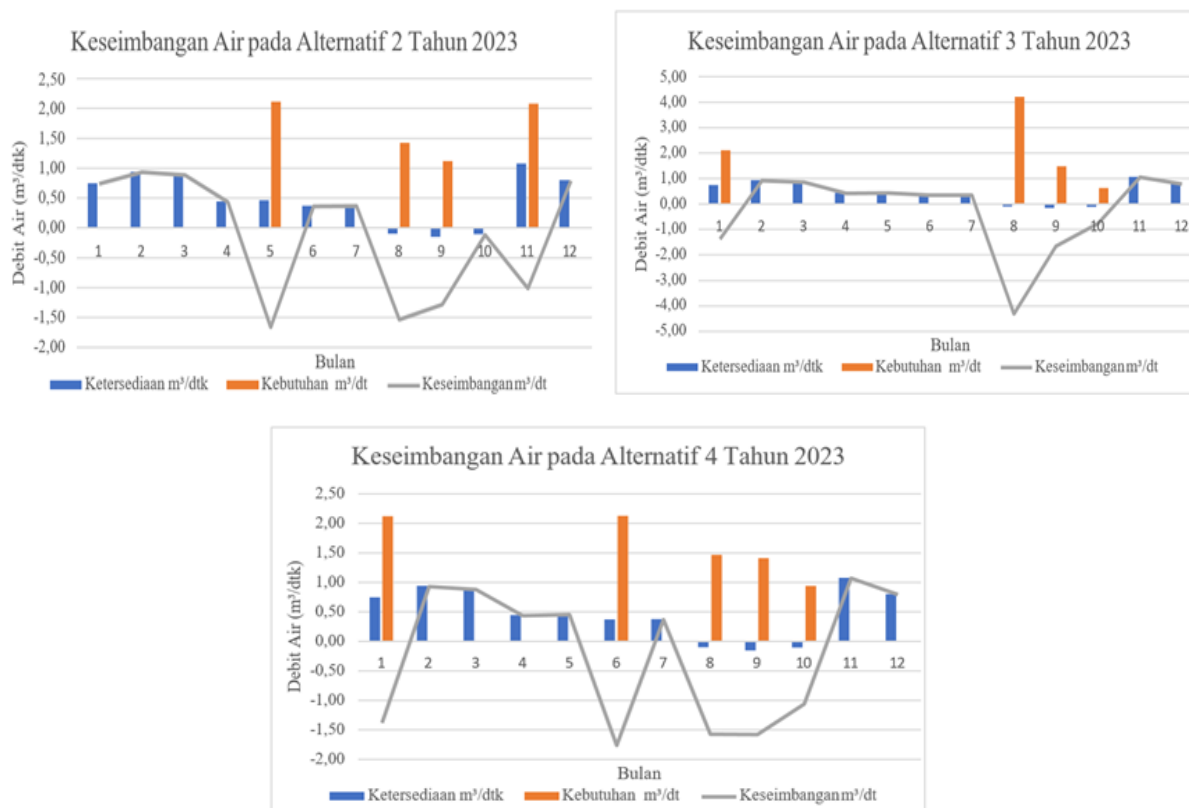
Karena hasil yang didapatkan bernilai (+) maka surplus, artinya ketersediaan air berlebih. Penulis mencoba beberapa alternatif perhitungan keseimbangan pada masa tanam 1 dan masa tanam 2 yang berbeda-beda setiap bulannya, guna untuk mencari waktu dan jenis pola tanam yang sesuai dengan ketersediaan debit air.

Tabel 4. Perhitungan Keseimbangan Air pada Alternatif I tahun 2023

Alternatif 1 (MT I = 30/09 - 27/01, MT II = 30/04 - 28/08)				
Bulan	Ketersediaan	Kebutuhan	Keseimbangan	Keterangan
Jan	0,75	0,00	0,75	Surplus
Feb	0,94	0,00	0,94	Surplus
Mar	0,89	0,00	0,89	Surplus
Apr	0,44	2,12	-1,68	Defisit
Mei	0,46	0,00	0,46	Surplus
Jun	0,37	0,00	0,37	Surplus
Jul	0,38	0,00	0,38	Surplus
Agt	-0,10	1,14	-1,24	Defisit
Sep	-0,16	3,79	-3,95	Defisit
Okt	-0,11	1,18	-1,29	Defisit
Nov	1,08	0,00	1,08	Surplus
Des	0,80	0,00	0,80	Surplus

Sumber : Hasil Analisis Perhitungan, 2024

Selanjutnya untuk keseimbangan air pada Alternatif 2, 3 dan 4 tahun 2023 sebagaimana Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Keseimbangan Air pada tahun 2023

Sumber : Hasil Analisis Perhitungan, 2024

3.5. Analisis Pola Tanam

Pola tanam adalah rencana urutan jadwal penanaman jenis tanaman yang telah disusun selama satu tahun. Berdasarkan keseimbangan debit air yang telah dihitung kebutuhan air irigasi, ditemukan bahwa rata-rata ketersediaan air sebesar 73,01 m³/detik selama periode 2014 – 2023 pada Daerah Irigasi Muntu Kecamatan Baturraden didapatkan pola tanam padi – bera – padi yaitu pada perhitungan alternatif 3 memberikan hasil keseimbangan air yang paling optimal, dengan kebutuhan air maksimum sebesar 9,39 m³/detik., di mana masa tanam I dilakukan pada bulan Januari – Mei dan waktu bera pada bulan Juni dan Juli serta masa tanam II dilakukan pada bulan Agustus – Desember. Pola ini dipilih karena paling sesuai dengan perubahan jumlah debit air sepanjang tahun, di mana jumlah air melimpah saat musim hujan dan berkurang pada musim kemarau. Dengan menyesuaikan waktu tanam terhadap kondisi tersebut, efisiensi penggunaan air dapat ditingkatkan, dan risiko kekurangan air dapat diminimalkan, terutama pada periode kering.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan pada Daerah Irigasi, diperoleh kesimpulan Ketersediaan air di Daerah Irigasi Muntu selama periode 2014 – 2023 rata-rata sebesar 73,01 m³/detik, dengan debit maksimum terjadi pada bulan November dan minimum pada bulan Agustus. Analisis kebutuhan air berdasarkan empat alternatif pola tanam menunjukkan bahwa alternatif ketiga, dengan masa tanam I pada Januari – Mei dan masa tanam II pada Agustus–Desember, memiliki kebutuhan maksimum terendah yaitu 9,39 m³/detik. Alternatif ini juga memberikan hasil keseimbangan air terbaik dengan nilai surplus sebesar 86 dan defisit 34, dibandingkan dengan alternatif lainnya. Oleh karena itu, pola tanam Padi – Bera – Padi pada alternatif ketiga direkomendasikan sebagai pola yang paling sesuai diterapkan di Daerah Irigasi Muntu, karena selaras dengan ketersediaan debit air tahunan dan mendukung efisiensi pengelolaan irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sosrodarsono, Suyono, dan Kensaku Takeda. 2003. Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [2] Firdaus, Mileni Wahidah, Indriyanti, Muh Yunus Ali, dan Fausiah Latif. 2023. "Analisis Kebutuhan Air Irigasi pada

-
- Daerah Irigasi Bayang-bayang Kabupaten Bulukumba.” *Jurnal Teknik Sipil* 9 (2): 63–73.
- [3] Rahman, Susanti. 2021. “Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi Menggunakan Kp-01 D.I. Akedaga Tutiling Meja Kecamatan Wasile Timur.” *Jurnal Teknik* 14 (1): 57–66.
- [4] Pamungkas TH, Ardana PDH, Soriarta K, Suardika IW. Analisis Kebutuhan Air Irigasi Untuk Daerah Irigasi Auman Bodog Di Kecamatan Selat Dan Kecamatan Sidemen Kabupaten Karangasem. *JUTEKS - Jurnal Teknil Sipil*. 2022;VII(II):94–101.
- [5] Zain, Alfath, Rizky Ismail, Arniza Fitri, Vanita Kesumawati, dan I Gede Agung Andya. 2023. “Analisis Kebutuhan Air Irigasi di Daerah Irigasi Way Tebu III, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu.” *Jurnal Sendi* 4 (1): 72–78.
- [6] Anonim, *Peraturan Pemerintah No. 77 Tahun 2001 Tentang Irigasi*. 2001.
- [7] Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01*. 2010.
- [8] S. Sidharta, *Irigasi dan Bangunan Air*. Jakarta: Gunadarma, 1997.
- [9] Anonim, *Standar Perencanaan Irigasi : Kriteria Perencanaan Bagian Saluran*. Bandung: CV. Galang Persada, 1986.
- [10] S. Sosrodarsono dan K. Takeda, *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2003.
- [11] FAO, *CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management*, no. 46. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992.

Analisis Kondisi dan Pemetaan Kerusakan Jalan Berbasis Sistem Informasi Geografis Ruas Jalan Ijo - Jatijajar Kebumen

An Analysis of Condition and Road Damage Mapping Using Geographic Information Systems (GIS) on the Ijo - Jatijajar Road Segment, Kebumen

Nelly Suhayutianlin¹, Sulfah Anjarwati², Cremona Ayu Novita Sari³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Artikel

Dikirim, 9 Juni 2025
Direvisi, 21 Januari 2026
Diterima, 22 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Nelly Suhayutianlin
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah
Purwokerto
JL. K.H. Ahmad Dahlan
Purwokerto, 53182
Email:
nellysuhayutianlin1@gmail.com

ABSTRAK

Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen termasuk dalam daerah yang rawan bencana banjir, dikarenakan daerah tersebut berada di dataran rendah sehingga rentan terjadi banjir apabila intensitas curah hujan tinggi. Selain itu jalan tersebut juga dilewati kendaraan baik kendaraan ringan maupun kendaraan berat. Hal tersebut yang menyebabkan kerusakan di beberapa ruas jalan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan kerusakan jalan pada ruas jalan Ijo – Jatijajar Kebumen dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) serta menilai kondisi kerusakan jalan dengan metode *Surface Distress Index* (SDI). Metode penelitian ini menggunakan metode *Surface Distress Index* (SDI) dan metode Sistem Informasi Geografis (SIG). Berdasarkan hasil analisa, penelitian ini dilakukan sepanjang 9,25 km yang memiliki kerusakan sedang maupun rusak ringan. Hasil penelitian ini terdapat jalan dengan kondisi baik dengan persentase sebesar 91%, kondisi sedang dengan persentase sebesar 8%, kondisi rusak ringan dengan persentase sebesar 1%. Berdasarkan hasil analisis diperoleh rata-rata nilai SDI pada ruas Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen sebesar 13,49 dengan kondisi “Baik”. Dari hasil pemetaan menggunakan Arcgis 10.8 didapat jenis informasi dalam data koordinat kerusakan yang mana terdapat 135 titik kerusakan lubang dengan persentase sebesar 61%, 73 titik kerusakan retak dengan persentase sebesar 32%, dan 15 titik kerusakan kedalaman bekas roda dengan persentase 7%.

Kata Kunci : Kerusakan Jalan, SIG, Pemetaan

ABSTRACT

The Ijo-Jatijajar road segment in Kebumen is located in a flood-prone area due to its position in a lowland region, making it vulnerable to inundation during periods of high rainfall intensity. Additionally, the road is frequently traversed by both light and heavy vehicles, contributing to the deterioration of several sections. This study aims to model road damage along the Ijo-Jatijajar segment using a Geographic Information System (GIS) and to assess the road condition utilizing the Surface Distress Index (SDI) method. The research employed a combination of the Surface Distress Index (SDI) method and GIS-based spatial analysis. The assessment covered a 9.25 km stretch of road exhibiting both moderate and minor damage. The results showed that 91% of the road was in good condition, 8% in moderate condition, and 1% in slightly damaged condition. The average SDI score for the IjoJatijajar road segment was 13.49, which corresponds to a "Good" classification. Spatial mapping using ArcGIS 10.8 generated coordinate-based damage data, identifying 135 pothole points (61%), 73 crack points (32%), and 15 rutting points (7%). These findings provide a comprehensive overview of the road condition and serve as a valuable reference for future maintenance planning.

Keyword : Road Damage, GIS, Mapping

1. PENDAHULUAN

Jalan memiliki peran penting sebagai infrastruktur pendukung mobilitas dan kelancaran lalu lintas [1]. Seperti pergerakan manusia ataupun barang dari satu wilayah ke wilayah lain yang ada di darat selalu menggunakan system transportasi untuk mewujudkan pemerataan perkembangan dan pembangunan di tiap wilayah. Semakin berkurang umur rencana jalan, maka kondisi jalan akan semakin menurun. Kerusakan jalan yang parah dapat menghambat mobilisasi yang terjadi di daerah tertentu. Semakin berkurang umur rencana jalan, maka kondisi jalan akan semakin menurun. Jenis konstruksi perkerasan terdapat perkerasan lentur, perkerasan kaku dan komposit [2]. Kerusakan jalan yang parah dapat menghambat mobilisasi yang terjadi di daerah tertentu [3]. Jalan yang rusak harus segera diperbaiki untuk mencegah kerusakan lebih lanjut dan menghindari biaya perbaikan yang lebih besar [4].

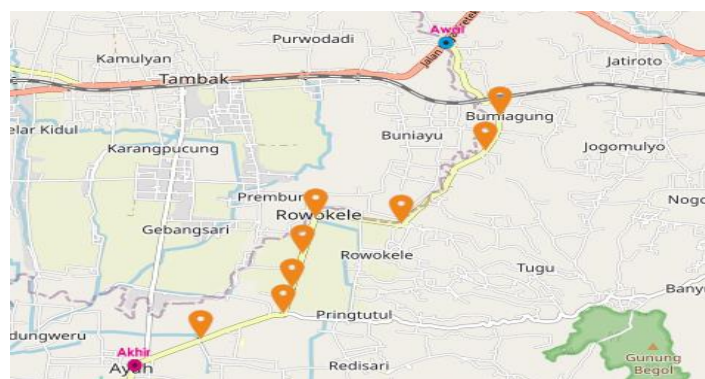
Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode Surface Distress Index (SDI) untuk mengevaluasi kerusakan jalan dan menentukan jenis pemeliharaan yang tepat [5], selain itu juga dapat menggunakan metode International Roughness Index (IRI), Pavement Condition Index (PCI) dan Surface Distress Index (SDI) [6] [7] [8]. Penilaian kondisi jalan berdasarkan Index SDI dan kondisi jalan berdasarkan pada nilai index yang sudah ditetapkan dalam Bina Marga [9]. Untuk menganalisis kerusakan jalan juga dapat menggunakan inventarisasi dalam GIS [10]. Dengan lokasi geografis. SIG (Sistem Informasi Geografis) memanfaatkan peta sebagai antarmuka untuk menyajikan informasi dalam bentuk visual yang grafis sehingga memudahkan pengguna untuk memahami dan menganalisis data spasial [11].

Meskipun berbagai metode seperti SDI, IRI dan inventarisasi berbasis GIS telah banyak digunakan untuk mengevaluasi kerusakan jalan, penelitian yang memetakan tingkat kerusakan jalan secara spasial berbasis SIG pada ruas jalan non terbagi masih terbatas. Penelitian dilakukan pada ruas Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen yang terdiri dari 2 lajur 2 arah tidak terbagi (2/2 UD), dengan panjang jalan yaitu 9,25 Km. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi kerusakan perkerasan jalan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG), sehingga dapat memberikan gambaran akurat tentang tingkat kerusakan pada ruas Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di ruas Jalan Ijo – Jatijajar Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah. merupakan jalan desa dengan 2 lajur 2 arah tidak terbagi (2/2 UD). Panjang jalan Ijo – Jatijajar yaitu 9,25 Km. Dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Pengumpulan Data

a. Data Primer

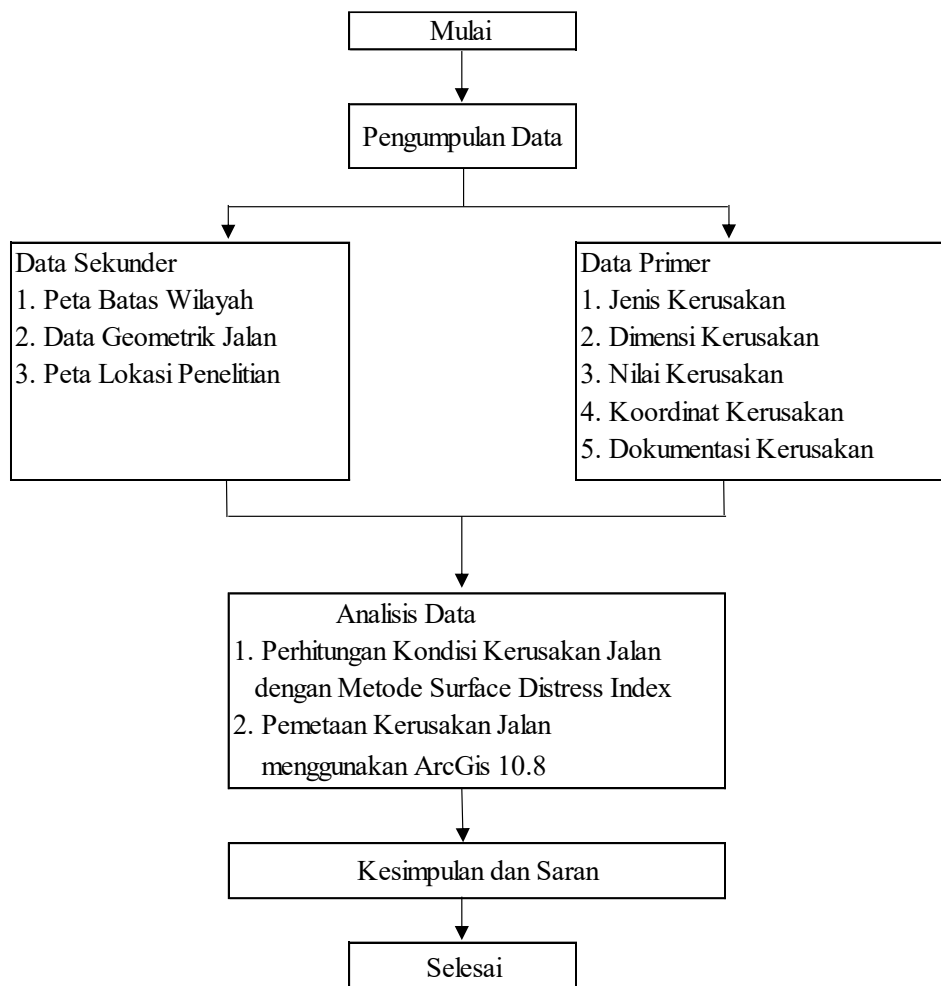
Data primer ini diperoleh dengan cara melakukan pengambilan data secara langsung di lapangan. Pembagian segmen jalan yaitu 9,25 Km kemudian akan dibagi menjadi 93 segmen dengan panjang per segmen yaitu 100 m. Data yang diambil antara lain, dimensi kerusakan, stasioning kerusakan jalan, koordinat kerusakan dan dokumentasi kerusakan.

b. Data Sekunder

- 1) Peta RBI Kabupaten Kebumen yang didapatkan dari website Badan Informasi Geospasial digunakan untuk memetakan kondisi kerusakan jalan.
- 2) Data geometrik jalan yang didapatkan dari Bina Marga Kebumen digunakan untuk mengetahui panjang dan lebar perkerasan jalan Ijo – Jatijajar Kebumen.
- 3) Peta lokasi penelitian didapatkan dari website Bina Marga Kebumen.

2.3. Tahapan Penelitian

Bagan alir penelitian terdapat dalam Gambar 2 sebagai berikut



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Dalam analisis data menggunakan metode SDI dengan langkah sebagai berikut :

- a. Menentukan nilai SDI 1 (Luas retak)
Dari hasil survey lapangan didapatkan nilai dimensi kerusakan. Nilai SDI 1 didapatkan dari total luas retakan pada lapisan perkerasan yang dapat dihitung menggunakan persamaan $\text{Luas retak (\%)} = \text{Luas total retak} / (100/\text{lebar jalan})$. Setelah memperoleh persentase retak maka selanjutnya menganalisis persentase tersebut masuk kedalam bobot
- b. Menentukan nilai SDI 2 (Lebar retak)
Setelah memperoleh nilai SDI 1, maka selanjutnya mencari nilai SDI 2 dengan cara memasukan nilai SDI 1 untuk menentukan bobot total lebar retak pada permukaan perkerasan jalan.
- c. Menentukan nilai SDI 3 (Jumlah lubang)
Setelah mendapatkan nilai SDI 2, selanjutnya memasukkan nilai kedalam perhitungan SDI 3 untuk menghitung bobot jumlah lubang pada permukaan perkerasan jalan.
- d. Menentukan nilai SDI 4 (Kedalaman bekas roda)
Untuk mendapatkan nilai SDI 4 selanjutnya memasukkan hasil nilai SDI 3 kedalam perhitungan SDI 4 untuk menentukan bobot kedalaman bekas roda pada permukaan perkerasan jalan.
- e. Penilaian kondisi jalan
Kondisi jalan dinilai dengan mengakumulasikan data kerusakan pada perkerasan jalan, sehingga dapat menentukan kondisi jalan sesuai dengan klasifikasi yang tercantum Bina Marga

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Data Metode Surface Distress Index (SDI)

Berikut hasil perhitungan Surface Distress Index (SDI) pada ruas Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen. Data dan bobot dari masing-masing kerusakan jalan didapatkan pada saat melaksanakan survey di lapangan, selanjutnya melakukan penilaian kondisi untuk menentukan nilai SDI tiap segmen. Berikut perhitungan penilaian Surface Distress Index (SDI) pada Sta 0+000 – 0+100.

- 1) Luas Retak sebesar 39,26 m² dengan persentase kerusakan sebesar 7,85 %, masuk dalam kategori <10%, maka. $SDI\ 1 = 5$
- 2) Lebar Retak dengan rata-rata sebesar 11,86 mm, masuk kategori > 5 mm, maka. $SDI\ 2 = SDI\ 1 \times 2$
 $= 5 \times 2 = 10$
- 3) Jumlah Lubang 19, masuk kategori 10 – 50, maka. $SDI\ 3 = SDI\ 2 + 75$
 $= 10 + 75 = 85$
- 4) Bekas Roda dengan rata-rata sebesar 1,5 cm, masuk kategori 1 – 3 cm, maka. $SDI\ 4 = SDI\ 3 + 5 \times 2$
 $= 85 + 5 \times 2 = 95$

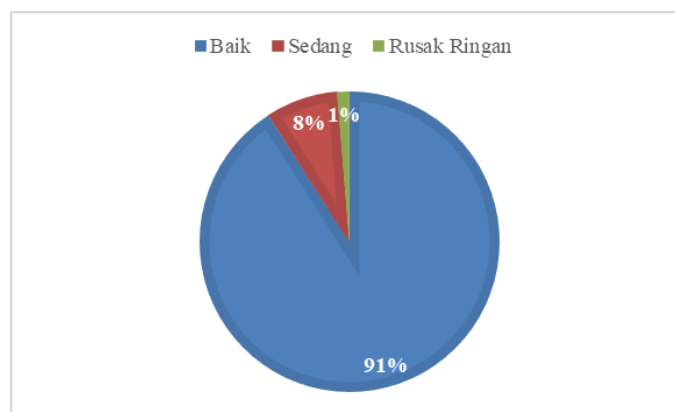
Dari perhitungan SDI pada sta 0+000 – 0+100 diperoleh nilai SDI sebesar 95, dimana kondisi jalan tersebut masuk dalam kategori Sedang.

Tabel 1. Hasil Nilai SDI

Segmen	Perhitungan Kerusakan				Nilai SDI	Kondisi Permukaan
	Luas Retak	Lebar Retak	Jumlah Lubang	Kedalaman Bekas Roda		
1	5	10	85	95	95	Sedang
2	5	10	85	95	95	Sedang
3	5	10	85	95	95	Sedang
4	5	10	85	95	95	Sedang
5	5	10	85	95	95	Sedang
6	0	0	15	115	115	Rusak Ringan
7	5	10	85	95	95	Sedang
8	0	0	15	15	15	Baik
9	5	10	25	25	25	Baik
10	5	10	25	25	25	Baik
11	0	0	15	15	15	Baik
12	0	0	15	15	15	Baik
13	0	0	15	15	15	Baik
14	0	0	15	15	15	Baik
15	20	40	40	40	40	Baik
16	0	0	0	0	0	Baik
17	0	0	15	15	15	Baik
18	0	0	0	0	0	Baik
19	0	0	15	15	15	Baik
20-22	0	0	0	0	0	Baik
23	5	10	10	10	10	Baik
24-28	0	0	0	0	0	Baik
29	5	10	10	10	10	Baik
30-31	0	0	0	0	0	Baik
32	0	0	15	15	15	Baik
33-34	0	0	0	0	0	Baik
35	5	10	10	10	10	Baik
36-37	0	0	0	0	0	Baik
38	0	0	15	15	15	Baik
39-40	5	10	10	10	10	Baik
41-43	0	0	0	0	0	Baik
44	5	10	10	10	10	Baik
45	0	0	15	15	15	Baik
46-48	5	10	10	10	10	Baik
49-55	0	0	0	0	0	Baik
56-63	5	10	10	10	10	Baik
64	5	5	5	5	5	Baik
65	0	0	0	0	0	Baik

Segmen	Perhitungan Kerusakan				Nilai SDI	Kondisi Permukaan
	Luas Retak	Lebar Retak	Jumlah Lubang	Kedalaman Bekas Roda		
66-68	5	10	10	10	10	Baik
69	40	80	80	80	80	Sedang
70	20	40	40	40	40	Baik
71	5	5	5	5	5	Baik
72-93	0	0	0	0	0	Baik
	Rata-rata				13.49	Baik

Sumber : Hasil Analisis (2025)



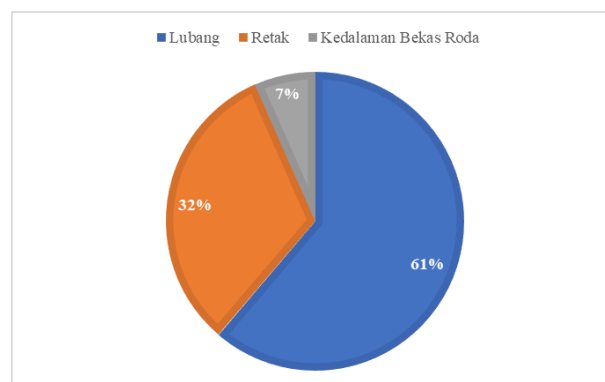
Gambar 3. Grafik Persentase Kondisi Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen

Sumber : Hasil Analisis (2025)

Hasil analisis setiap segmen ruas jalan penelitian, berdasarkan penilaian SDI oleh Bina Marga, menggambarkan kondisi jalan yang ada saat ini. Ruas jalan dengan kondisi baik terdapat 85 segmen dengan persentase sebesar 91%, kondisi sedang terdapat 7 segmen dengan persentase sebesar 8%, dan kondisi rusak ringan terdapat 1 segmen dengan persentase sebesar 1%. Berdasarkan hasil analisis pada tabel 4.6, diperoleh rata-rata nilai SDI pada ruas Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen sebesar 13,49 dengan kondisi “**Baik**”.

3.2. Pemetaan Kerusakan Jalan Menggunakan ArcGis 10.8

Setelah dilakukan penelitian dan dianalisis menggunakan metode Surface Distress Index terdapat 135 titik kerusakan lubang dengan persentase sebesar 61%, 73 titik kerusakan retak dengan persentase sebesar 32%, dan 15 titik kerusakan kedalaman bekas roda dengan persentase 7%. Berikut grafik persentase kerusakan Jalan Ijo - Jatijajar Kebumen dari sta 0+000 – 9+250.

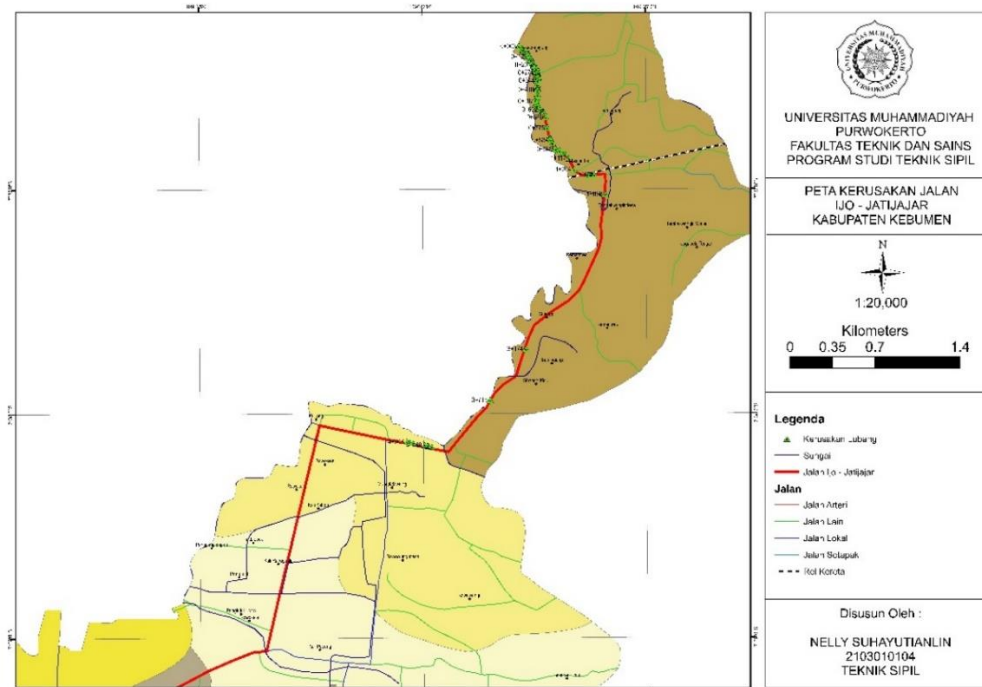


Gambar 4. Persentase Jumlah Kerusakan

Sumber : Hasil Analisis (2025)

Selanjutnya untuk pemetaan kerusakan jalan dikategorikan menjadi 3 yaitu kerusakan lubang dengan simbol segitiga warna hijau, kerusakan retak dengan simbol segitiga warna kuning, dan kerusakan kedalaman bekas roda dengan simbol segitiga warna biru.

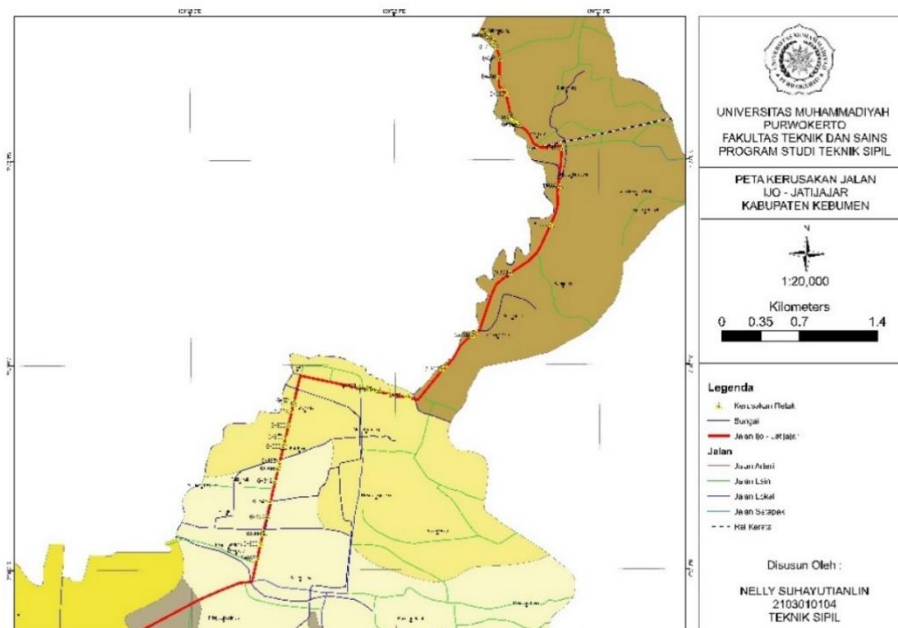
a. Peta kerusakan lubang



Gambar 5. Peta Kerusakan Lubang
Sumber : Hasil Analisis (2025)

Dari peta diatas diketahui bahwa terdapat 135 titik kerusakan lubang dengan persentase sebesar 61%.

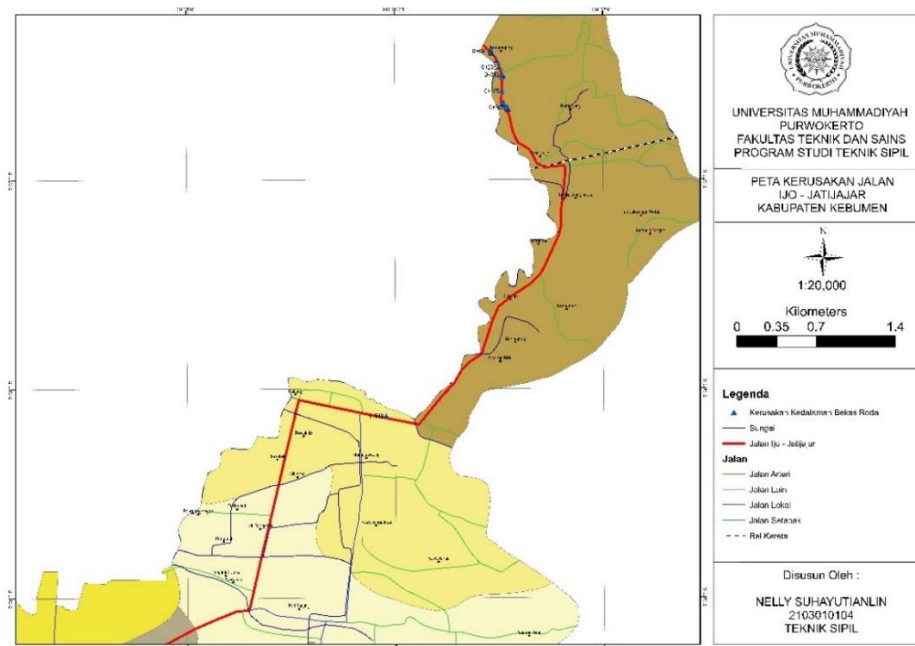
b. Peta kerusakan retak



Gambar 6. Peta Kerusakan Retak
Sumber : Hasil Analisis (2025)

Dari peta diatas diketahui bahwa terdapat 73 titik kerusakan retak dengan persentase sebesar 32%.

c. Peta kerusakan kedalaman bekas roda



Gambar 7. Peta Kerusakan Kedalaman Bekas Roda
Sumber : Hasil Analisis (2025)

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini terdapat jalan dengan kondisi baik dengan persentase sebesar 91%, kondisi sedang dengan persentase sebesar 8%, kondisi rusak ringan dengan persentase sebesar 1%. Berdasarkan hasil analisis diperoleh rata-rata nilai SDI pada ruas Jalan Ijo – Jatijajar Kebumen sebesar 13,49 dengan kondisi “Baik”. Dari hasil pemetaan menggunakan Arcgis 10.8 didapat jenis informasi dalam data koordinat kerusakan yang mana terdapat 135 titik kerusakan lubang dengan persentase sebesar 61%, 73 titik kerusakan retak dengan persentase sebesar 32%, dan 15 titik kerusakan kedalaman bekas roda dengan persentase 7%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang - Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022, Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah 1 (2022).
- [2] Sukirman, S. (1999). Perkerasan Jalan Lentur. In *Perkerasan Jalan Lentur* (pp. 1–129).
- [3] Farhan, M. (2022). Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Lintas Pantai Timur Sumatera). *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(2), 1–10. <http://ilmuteknik.org/index.php/ilmuteknik/article/view/73>
- [4] Agusria, Y., Fadhly, N., & Rusdi, M. (2021). Analisis kerusakan jalan menggunakan video image dan geographic information system (GIS) (studi kasus jalan banda aceh-krueng raya sta 0+000 s/d sta 13+700). *Journal of The Civil Engineering Student*, 3(2), 190–196.
- [5] Barid, F., Subkhan, M. F., & Marjono, M. (2021). Evaluasi Kerusakan Perkerasan Jalan Metode SDI (Studi Kasus Ruas Jalan Bogo Kidul – Jalan Borolor, Kabupaten Kediri). *Jurnal JOS-MRK*, 2(3), 162–167.
- [6] Nisumanti, S., & Prawinata, D. (2021). Penilaian Kondisi Jalan Menggunakan Metode International Roughness Index (IRI) Dan Surface Distress Index (SDI) Pada Ruas Jalan Akses Terminal Alang-Alang Lebar (Studi Kasus: Sp. Soekarno Hatta - Bts. Kota Palembang Km 13). *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 9(2), 57–62.
- [7] Desei, F. L., Kadir, Y., & Ende, A. Z. (2023). Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Metode Surface Distress Index dan International Roughness Index. *Jurnal Konstruksia*, 15(1), 67–77.
- [8] Fadila, I., Alamsyah, W., & Basrin, D. (2023). Pemodelan Pemetaan Jaringan Jalan dan Tingkat Kerusakan Jalan Menggunakan Pavement Condition Index (PCI). *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 6(2), 219–231
- [9] Bina Marga. (2011). Manual Konstruksi dan Bangunan No.001-01/BM/2011 Tentang Survei Kondisi Jalan Untuk Pemeliharaan Rutin. In *Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga* (Issue 001, pp. 1–134).
- [10] Yastawan, I. N., Wedagama, D. M. P., & Ariawan, I. M. A. (2021). Penilaian Kondisi Jalan Menggunakan Metode Sdi (Surface Distress Index) Dan Inventarisasi Dalam Gis (Geographic Information System) Di Kabupaten Klungkung. *Jurnal Spektran*, 9(2), 181
- [11] Hamdani, M. A., & Utomo, S. (2021). Sistem Informasi Geografis (Sig) Pariwisata Kota Bandung Menggunakan Google Maps Api Dan Php. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 11(1).

Analisis Kadar BOD, Amonia, TSS, dan Kekeruhan di Perairan Air Laut Penerima Limbah Cair Tambak Udang Vaname di Pantai Cemara Udang, Kabupaten Bantul

Analysis of BOD, Ammonia, TSS, and Turbidity Levels in Seawater Receiving Vaname Shrimp Pond Liquid Waste at Cemara Udang Beach, Bantul Regency

Ratieh Puteri Ryani¹, Haryono², Bambang Suwerda³

¹Jurusan Kesehatan Lingkungan

²Program Studi Sanitasi Program Diploma Tiga, Kesehatan Lingkungan
Poltekkes Kemenkes Yogyakarta

Informasi Artikel

Dikirim, 3 Juli 2025
Direvisi, 20 Januari 2026
Diterima, 22 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Ratieh Puteri Ryani
Program Studi Sanitasi
Program Diploma Tiga
Poltekkes Kemenkes
Yogyakarta
Jl. Tata Bumi No.3, Area
Sawah, Banyuraden, Kec.
Gamping, Kabupaten Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta
55293
Email:
puteriryani92@gmail.com

ABSTRAK

Mengetahui kadar BOD, Amonia, TSS, dan Kekeruhan di perairan air laut penerima limbah cair tambak udang Vaname di Pantai Cemara Udang, Kabupaten Bantul. Jenis penelitian menggunakan metode survei deskriptif. Obyek penelitian meliputi: (1) Kadar BOD (2) Kadar Amonia, (3) Kadar TSS, dan (4) Kekeruhan. Pengumpulan data dilakukan secara langsung di lapangan. Sampel yang diambil berupa air laut penerima limbah cair tambak udang vaname. Metode sampling menggunakan metode Purposive Sampling dengan menetapkan 3 titik pengambilan sampel dan pengulangan 3 kali. Kualitas air laut penerima limbah cair tambak udang vaname memiliki nilai rata-rata kadar BOD sebesar 6,23 mg/L, kadar Amonia sebesar 0,5404 mg/L, kadar TSS sebesar 16,67 mg/L, dan kadar Kekeruhan 16,23 ntu. Kualitas air laut penerima limbah cair tambak udang vaname di Pantai Cemara Udang untuk parameter BOD dan TSS memenuhi baku mutu, sedangkan parameter Amonia dan Kekeruhan melebihi baku mutu Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari.

Kata Kunci : Tambak Udang, Limbah Cair, Kualitas Air Laut

ABSTRACT

Determining the levels of BOD, Ammonia, TSS, and Turbidity in seawater receiving liquid waste from Vaname shrimp ponds at Cemara Udang Beach, Bantul Regency. The type of research uses a descriptive survey method. The research objects include: (1) BOD levels (2) Ammonia levels, (3) TSS levels, and (4) Turbidity. Data collection was carried out directly in the field. The samples taken were seawater receiving liquid waste from vaname shrimp ponds. The sampling method used the Purposive Sampling method by determining 3 sampling points and repeating 3 times. The quality of seawater receiving liquid waste from vaname shrimp ponds has an average BOD content of 6.23 mg/L, Ammonia content of 0.5404 mg/L, TSS content of 16.67 mg/L, and Turbidity content of 16.23 ntu. The quality of seawater receiving liquid waste from vaname shrimp ponds at Cemara Udang Beach for BOD and TSS parameters meets the quality standards, while the Ammonia and Turbidity parameters exceed the quality standards of the Regulation of the Governor of the Special Region of Yogyakarta Province Number 3 of 2010 concerning Seawater Quality Standards for Marine Tourism.

Keyword : Shrimp Pond, Liquid Waste, Sea Water Quality

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir selatan memiliki beberapa daya tarik yang merupakan perbatasan wilayah antara daratan dan lautan. Kekayaan pesisir sebagian besar digunakan untuk wisata bahari, karena didukung dengan keragaman dan keindahannya. Pertentangan penggunaan daratan untuk kegiatan manusia, seperti budidaya tambak udang masih terjadi, karena limbah yang dihasilkan dapat mengganggu fungsi pantai, sehingga perlu adanya kerja sama antara masyarakat dengan pemerintah untuk menjadikan sebuah wisata bahari yang baik (Darmawan, 2021).

Berdasarkan data produksi udang tiap tahun di Kabupaten Bantul tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan produksi dari tahun ke tahun yang diambil dari data Bappedda Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Peningkatan produksi udang tersebut memberikan pengaruh positif dan negatif bagi masyarakat serta lingkungan. Pengaruh positif bagi masyarakat yaitu dapat meningkatkan perekonomian penduduk di pesisir selatan dengan terciptanya lapangan kerja yang baru. Selain itu, pesatnya budidaya tambak udang memberikan beberapa dampak bagi lingkungan dan pengunjung pesisir pantai selatan, terutama masalah limbah cair yang dihasilkan.

Dampak limbah cair dari budidaya tambak udang di pesisir pantai yaitu dapat menyebabkan pencemaran air, pencemaran tanah, dan pencemaran udara. Limbah cair yang dibuang langsung ke laut dengan pengolahan yang belum maksimal dapat menyebabkan pencemaran udara, yang dibuktikan dengan keluhan pengunjung pantai akibat bau yang menyengat. Selain itu, hal tersebut juga dapat menyebabkan pencemaran tanah atau pasir, yang terlihat dari adanya buih di sekitar area pembuangan limbah cair tambak udang. Pencemaran air juga terjadi dengan ditandai keruhnya kualitas fisik air dan bau yang tidak sedap (Isman, dkk, 2022). Dampak limbah cair industri tambak udang terhadap kesehatan masyarakat sangat besar, maka setiap industri tambak udang diharuskan mengolah limbahnya sampai memenuhi persyaratan standar baku mutu yang berlaku yakni sesuai Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 tahun 2016 Tentang Baku Mutu Limbah.

Berdasarkan uji pendahuluan pemeriksaan sampel yang peneliti lakukan di tanggal 29 Juli 2024 pada buangan limbah cair PT Indokor Bangun Desa, beberapa masih melebihi ambang baku mutu. Hasil pemeriksaan laboratorium yang dilakukan di BBLABKESMAS Yogyakarta didapatkan hasil kadar BOD sebesar 129 mg/L, TSS sebesar 24 mg/L, Amonia sebesar 4,4070 mg/L, dan pH sebesar 6,8. Beberapa hasil tersebut melebihi ambang persyaratan baku mutu yang telah ditetapkan, berdasarkan Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk kegiatan Industri Lainnya yaitu BOD sebesar 50 mg/L, TSS sebesar 200 mg/L, Amonia sebesar 1 mg/L, dan pH sebesar 6-9. Berdasarkan data sekunder dan data primer yang didapatkan tersebut hasil pemeriksaan limbah cair tambak udang vaname (*Litopenaeus Vannamei*) masih fluktuatif, namun demikian keduanya masih melebihi ambang batas baku mutu.

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah survey deskriptif. Sampel diambil secara *purposive sampling* yaitu diambil sesuai ketentuan yang ditetapkan oleh peneliti sesuai ciri-ciri tertentu untuk mendapatkan sampel yang sesuai dengan tujuan penelitian. Objek penelitian adalah air laut penerima limbah cair tambak udang Vaname, dengan parameter uji: BOD, Amoniak, TSS, dan Kekeruhan. Sampling dilakukan pada zona perairan pesisir dengan 3 titik pengamatan yaitu, titik satu pada awal buangan limbah cair yang tercampur oleh air laut dengan kedalaman <1 m, titik dua pada kedalaman <1 m dengan jarak 10 m ke kanan dari titik satu, dan titik tiga pada kedalaman <1 m dengan jarak 10 m ke kiri dari titik satu, pengambilan sampel dilakukan di 3 titik dengan pengulangan setiap minggu sebanyak 3 kali. Sesuai SNI Nomor 6964 bagian 8 Tahun 2015 tentang metode pengambilan contoh uji air laut, lokasi titik pengambilan contoh uji di perairan pesisir dilakukan berdasarkan kedalaman. Teknik pengumpulan data dengan observasi dan pemeriksaan laboratorium. Baku mutu kualitas air laut ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemeriksaan Kualitas Air Laut

Hasil laboratorium untuk parameter BOD, Amoniak, TSS, dan Kekeruhan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Hasil laboratorium untuk parameter BOD, Amoniak, TSS, dan Kekeruhan

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pemeriksaan Rata-rata	Baku Mutu	Ket
1	BOD	mg/L	Titik 1 : 6,23 mg/L Titik 2 : 6 mg/L Titik 3 : 5,83 mg/L	10	MS
2	Amonia	mg/L	Titik 1 : 0,5404 mg/L Titik 2 : 0,3157 mg/L	nihil	TMS

			Titik 3 : 0,2641 mg/L		
3	TSS	mg/L	Titik 1 : 16,67 mg/L Titik 2 : 4 mg/L Titik 3 : 4,3 mg/L	20	MS
4	Kekeruhan	ntu	Titik 1 : 16,23 mg/L Titik 2 : 8,36 mg/L Titik 3 : 8,76 mg/L	5	TMS

3.2. BOD Air Laut

Berdasarkan hasil uji laboratorium BOD rata-rata pada titik satu sebesar 6,23 mg/L, titik dua sebesar 6 mg/L, dan titik tiga sebesar 5,83 mg/L. Kadar BOD tertinggi terdapat pada pengambilan sampel dititik satu yaitu sebesar 6,23 mg/L. Meskipun limbah tambak udang yang tidak dilakukan pengolahan secara maksimal, tetapi kadar BOD tersebut sudah memenuhi baku mutu air laut yang telah ditetapkan. Kadar BOD dibandingkan dengan kadar maksimal yang diperbolehkan berdasarkan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari dengan nilai konsentrasi BOD paling tinggi sebesar 10 mg/L.

Pada titik satu memiliki kadar BOD paling tinggi dibandingkan dengan titik dua dan titik tiga. Berdasarkan hal tersebut, dikarenakan titik satu merupakan titik pertemuan outlet limbah tambak udang dengan air laut, sehingga memiliki kadar BOD yang lebih tinggi. Kemudian, pada titik dua dan titik tiga memiliki kadar BOD yang sudah mulai rendah, dikarenakan sampel diambil pada jarak 10 meter dengan titik satu. Penurunan kadar BOD tersebut dikarenakan adanya proses self purification yang terjadi pada air laut yang dapat membersihkan diri secara alami tanpa adanya campur tangan manusia. Selain itu, penelitian dilakukan pada saat musim hujan, sehingga memungkinkan terjadinya pengenceran limbah cair oleh air hujan di perairan air laut dan bahan organik yang terdapat pada perairan air laut telah menurun akibat terjadinya aerasi secara alami oleh air hujan.

Pemurnian diri (Self Purification) air laut adalah usaha alami laut untuk membersihkan dirinya sendiri dari zat-zat pencemar yang masuk dalam air laut. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, self purification merupakan upaya yang dilakukan oleh air untuk pembersihan diri dari zat yang berbahaya tanpa adanya campur tangan manusia sehingga dilakukan secara alami. Pada hal ini dapat menjadi alasan kenapa kualitas air laut yang jauh dari titik outlet limbah tambak udang cenderung memiliki kandungan BOD yang rendah (Hidayah, 2024).

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Norasyikin (2024), pada badan air buangan limbah tambak udang di Kulon Progo dengan hasil sebesar 13,4 mg/L yang berarti memenuhi persyaratan baku mutu. Sedangkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Isman (2022) juga memenuhi baku mutu pada kawasan wisata bahari di Pantai Lombeng dengan hasil penelitian sebesar 3,40 mg/L.

BOD dalam limbah cair tambak udang Indokor Bangun Desa berasal dari sisa-sisa pakan dan kotoran udang. Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium, dapat diketahui bahwa kadar BOD perairan air laut Pantai Cemara Udang masih berada di bawah angka baku mutu yang telah ditetapkan. Kadar BOD yang masih di bawah baku mutu disebabkan karena terjadinya proses self purification pada perairan air laut. Sehingga, dengan rendahnya kadar BOD tersebut masih mendukung kehidupan biota di perairan laut. Namun, menurut penelitian oleh Atima, dkk (2015) jika kadar BOD di suatu perairan masih memenuhi baku mutu, belum bisa disimpulkan bahwa perairan tidak tercemar, bila kadar parameter yang lainnya belum diketahui (Atima, 2015).

3.3. Amonia Air Laut

Berdasarkan hasil uji laboratorium Amonia rata-rata pada titik satu sebesar 0,5404 mg/L, titik dua sebesar 0,3157 mg/L, dan titik tiga sebesar 0,2641 mg/L. Kadar Amonia tertinggi terdapat pada pengambilan sampel dititik satu yaitu sebesar 0,5404 mg/L. Pengolahan limbah tambak udang yang belum maksimal menyebabkan kadar Amonia masih melebihi baku mutu air laut yang telah ditetapkan. Kadar Amonia dibandingkan dengan kadar maksimal yang diperbolehkan berdasarkan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari dengan nilai konsentrasi Amonia paling tinggi sebesar nihil mg/L.

Pada titik satu memiliki kadar Amonia paling tinggi dibandingkan dengan titik dua dan titik tiga. Berdasarkan hal tersebut, dikarenakan titik satu merupakan titik pertemuan outlet limbah tambak udang dengan air laut, sehingga memiliki kadar Amonia yang lebih tinggi. Kemudian, pada titik dua dan titik tiga memiliki kadar Amonia yang sudah mulai rendah, dikarenakan sampel diambil pada jarak 10 meter dengan titik satu. Penurunan kadar Amonia tersebut dikarenakan adanya proses self purification yang terjadi pada air laut yang dapat membersihkan diri. Self purification air laut merupakan usaha alami laut untuk membersihkan dirinya sendiri dari zat-zat pencemar yang masuk dalam air laut (Hidayah, 2024).

Penyebab dari tingginya kadar Amonia disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu adanya unsur nitrogen organik yang terdapat dalam limbah tambak udang yang berasal dari sisa-sisa pakan yang tidak dikonsumsi, sehingga terdapat kandungan protein yang tinggi. Berdasarkan hasil pengambilan sampel pada perairan air laut tertinggi yaitu sebesar 0,5404 mg/L yang berarti melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga air laut disekitar pembuangan limbah tambak udang menjadi tercemar. Amonia adalah senyawa yang berasal dari sisa metabolisme makhluk hidup dan proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme. Amonia termasuk bahan yang dapat mencemari lingkungan perairan dan berbahaya bagi lingkungan laut terutama untuk biota laut (Aini and Parmi, 2022).

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Putri (2020) yang melakukan pemeriksaan kadar Amonia pada kawasan pantai di Kabupaten Kulon Progo dan Bantul dengan hasil sebesar 0,65 yang berarti melebihi baku mutu. Sedangkan penelitian yang dilakukan Isman (2022) terhadap kawasan wisata bahari di Pantai Lombeng sudah memenuhi baku mutu dengan hasil 0,04 mg/L, dikarenakan kadar Amonia di perairan dapat menghilang melalui proses volatilisasi.

Dampak yang ditimbulkan dari tingginya kadar Amonia di perairan air laut yaitu dapat meningkatkan kandungan nitrit yang bersifat toksik bagi organisme laut. Selain itu, kadar Amonia yang tinggi dapat terjadi peningkatan suhu perairan yang menyebabkan kenaikan populasi bakteri sehingga biota laut dapat terserang penyakit. Pertumbuhan alga yang berlebih juga disebabkan karena kadar Amonia yang tinggi. Pada perairan Pantai Cemara Udang perlu dilakukan perbaikan agar tidak menyebabkan dampak yang parah pada perairan (Septory, dkk, 2021).

3.4. TSS Air Laut

Berdasarkan hasil uji laboratorium TSS rata-rata pada titik satu sebesar 16,67 mg/L, titik dua sebesar 4 mg/L, dan titik tiga sebesar 4,3 mg/L. Kadar TSS tertinggi terdapat pada pengambilan sampel dititik satu yaitu sebesar 16,67 mg/L. Meskipun limbah tambak udang yang tidak dilakukan pengolahan secara maksimal, tetapi kadar TSS tersebut sudah memenuhi baku mutu air laut yang telah ditetapkan. Kadar TSS dibandingkan dengan kadar maksimal yang diperbolehkan berdasarkan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari dengan nilai konsentrasi TSS paling tinggi sebesar 20 mg/L.

Pada titik satu memiliki kadar TSS paling tinggi dibandingkan dengan titik dua dan titik tiga. Berdasarkan hal tersebut, dikarenakan titik satu merupakan titik pertemuan outlet limbah tambak udang dengan air laut, sehingga memiliki kadar TSS yang lebih tinggi. Kemudian, pada titik dua dan titik tiga memiliki kadar TSS yang sudah mulai rendah, dikarenakan sampel diambil pada jarak 10 meter dengan titik satu. Penurunan kadar TSS tersebut dikarenakan adanya proses self purification yang terjadi pada air laut yang dapat membersihkan diri secara alami tanpa adanya campur tangan manusia. Selain itu, penelitian dilakukan pada saat musim hujan, sehingga memungkinkan terjadinya pengenceran limbah cair oleh air hujan di perairan air laut dan bahan organik seperti sisa pakan dan kotoran yang terdapat pada perairan air laut telah menurun akibat terjadinya aerasi secara alami oleh air hujan.

Pemurnian diri (Self Purification) air laut adalah usaha alami laut untuk membersihkan dirinya sendiri dari zat-zat pencemar yang masuk dalam air laut. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, self purification merupakan upaya yang dilakukan oleh air untuk pembersihan diri dari zat yang berbahaya tanpa adanya campur tangan manusia sehingga dilakukan secara alami. Pada hal ini dapat menjadi alasan kenapa kualitas air laut yang jauh dari titik outlet limbah tambak udang cenderung memiliki kandungan TSS yang rendah (Hidayah, dkk, 2024).

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Isman (2022) yang melakukan pemeriksaan pada kawasan wisata bahari di Pantai Lombeng dengan hasil sebesar 91,25 mg/L yang berarti melebihi baku mutu. Sedangkan, penelitian yang dilakukan oleh Norasyikin (2024) sudah memenuhi baku mutu dengan hasil sebesar 16,67 mg/L, dikarenakan terjadi pengenceran limbah cair oleh air hujan sehingga bahan organik dan anorganik yang ada dalam badan air telah menurun.

Kadar TSS yang rendah di perairan air laut terjadi karena padatan tersuspensi pada limbah cair tambak udang mengalami pengenceran oleh air laut dan penelitian dilakukan pada musim hujan sehingga bahan organik pada limbah cair sudah mengalami penurunan. Dampak yang ditimbulkan dari tingginya kadar TSS di perairan air laut yaitu produktivitas suatu perairan menurun karena akan meningkatkan kekeruhan yang menyebabkan masuknya cahaya matahari terhambat dan proses fotosintesis tumbuhan laut terganggu. Selain itu, tingginya kadar TSS pada perairan air laut dapat menyebabkan pengurangan kandungan oksigen dalam air laut dan air laut akan terlihat keruh (Isman, dkk, 2022).

3.5. Kekeruhan Air Laut

Berdasarkan hasil uji laboratorium Kekeruhan rata-rata pada titik satu sebesar 16,23 ntu, titik dua sebesar 8,36 ntu, dan titik tiga sebesar 8,76 ntu. Kadar Kekeruhan tertinggi terdapat pada pengambilan sampel dititik satu yaitu sebesar 16,23 ntu. Pengolahan limbah tambak udang yang belum maksimal menyebabkan kadar Kekeruhan masih melebihi baku mutu air laut yang telah ditetapkan. Kadar Kekeruhan dibandingkan dengan kadar maksimal yang diperbolehkan berdasarkan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari dengan nilai konsentrasi Kekeruhan paling tinggi sebesar 5 ntu.

Pada titik satu memiliki kadar Kekeruhan paling tinggi dibandingkan dengan titik dua dan titik tiga. Berdasarkan hal tersebut, dikarenakan titik satu merupakan titik pertemuan outlet limbah tambak udang dengan air laut, sehingga memiliki kadar TSS yang lebih tinggi. Kemudian, pada titik dua dan titik tiga memiliki kadar TSS yang sudah mulai rendah, dikarenakan sampel diambil pada jarak 10 meter dengan titik satu. Penurunan kadar TSS tersebut dikarenakan adanya proses self purification yang terjadi pada air laut yang dapat membersihkan diri secara alami tanpa adanya campur tangan manusia. Selain itu, penelitian dilakukan pada saat musim hujan, sehingga memungkinkan terjadinya pengenceran limbah cair oleh air hujan di perairan air laut dan bahan organik seperti sisa pakan dan kotoran yang terdapat pada perairan air laut telah menurun akibat terjadinya aerasi secara alami oleh air hujan.

Pemurnian diri (Self Purification) air laut adalah usaha alami laut untuk membersihkan dirinya sendiri dari zat-zat pencemar yang masuk dalam air laut. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, self purification merupakan upaya yang dilakukan oleh air untuk pembersihan diri dari zat yang berbahaya tanpa adanya campur tangan manusia sehingga dilakukan secara alami. Pada hal ini dapat menjadi alasan kenapa kualitas air laut yang jauh dari titik outlet limbah tambak udang cenderung memiliki kandungan TSS yang rendah (Hidayah, dkk, 2024).

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Isman (2022) yang melakukan pemeriksaan pada kawasan wisata bahari di Pantai Lombeng dengan hasil sebesar 19,46 ntu yang berarti melebihi baku mutu, dikarenakan gelombang dan arus air laut yang besar. Sedangkan, penelitian yang dilakukan oleh Notonegoro (2023), sudah memenuhi baku mutu dengan hasil sebesar 0,719 ntu.

Dampak yang ditimbulkan dari tingginya kadar Kekeruhan di perairan air laut yaitu terganggunya kualitas air di perairan, menghambat pertumbuhan organisme laut, dan penurunan nilai estetika karena air laut tampak keruh. Selain itu, kadar Kekeruhan yang tinggi membuat cahaya matahari terhambat masuk ke dalam air, sehingga menyebabkan proses fotosintesis tumbuhan air menjadi terganggu (Isman, dkk, 2022).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan keempat parameter uji kualitas air laut, pada dua parameter uji BOD dan TSS telah memenuhi baku mutu, sedangkan dua parameter lainnya yaitu Amonia dan Kekeruhan tidak memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aini, M. and Parmi, H.J., 2022. Analisis tingkat pencemaran tambak udang di sekitar perairan laut desa padak guar kecamatan sambelia kabupaten lombok timur. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1(2), pp.67-75.
- [2] Anas, P., Sudinno, D. and Jubaedah, I., 2015. Daya Dukung Perairan Untuk Budidaya Udang Vannamei Sistem Semi Intensif Dalam Pemanfaatan Wilayah Pesisir Kabupaten Pematang. *Jurnal Penyuluhan Perikanan Dan Kelautan*, 9(2), pp.29-46.
- [3] Darmawan, I., 2021. Pendekatan Kolaboratif dalam Menangani Konflik Spasial Kawasan Pesisir di Pantai Selatan Yogyakarta. *Atrium: Jurnal Arsitektur*, 7(1), pp.71-84.
- [4] Hidayah, E.N., 2024. Kajian Kualitas Air Laut dan Sebaran Indeks Pencemaran di Pesisir Utara Kecamatan Palang-Tuban pada Musim Kemarau. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 6(1), pp.59-72.
- [5] Isman, H., Rupiwardani, I. and Sari, D., 2022. Gambaran Pencemaran Limbah Cair Industri Tambak Udang Terhadap Kualitas Air Laut di Pesisir Pantai Lombeng. *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*, 4(5), pp.3531-3541.
- [6] Norasyikin, A., 2024. Pemantauan Kualitas Badan Air Penerima Limbah Cair Tambak Udang Vaname (Litopenaeus Vannamei) Di Banaran, Galur, Kulon Progo Tahun 2024 (Doctoral Dissertation, Poltekkes Kemenkes Yogyakarta).
- [7] Notonegoro, H. and Priyambada, A., 2023. Evaluasi Mutu Kualitas Air Kolam IPAL Tambak Udang Skala Rakyat Desa Kurau Barat, Kabupaten Bangka Tengah. *Jurnal Enggano*, 8(2), pp.172-180.
- [8] Peraturan Daerah DIY., 2016. Peraturan Daerah DIY Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Peraturan Daerah DIY Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah, 1-53. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/11581>.
- [9] Peraturan Gubernur DIY. Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Laut, 1-8. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/27257/pergub-prov-diy-no-3-tahun-2010>
- [10] Putri, R.S., 2020. Analisis Potensi Pencemaran Amonia (NH3) pada Tambak Udang di Sepanjang Pantai Selatan

- Yogyakarta.
- [11] Septory, R., Nasukha, A., Sudewi, S., Setiadi, A. and Mahardika, K., 2021. Sebaran vertikal total nitrogen, total fosfat, dan amonia pada perairan pesisir yang berdekatan dengan kawasan budidaya laut di Bali utara. *Jurnal Riset Akuakultur*, 16(2), pp.125-134.

Analisis Pengaruh Stabilisasi Kapur Terhadap Nilai CBR pada Subgrade Jalan Perumahan Mentas Gemilang Residence Kecamatan Tenjo, Bogor

Analysis of The Effect of Lime Stabilisation on CBR Value of Subgrade in Mentas Gemilang Residence, Tenjo District, Bogor

Siska Dewi¹, Aristya Hartanto², Dhika Bagus³, Muhamad Hassan⁴
Nawan⁵, Rani Ulpa⁶, Herdiansah⁷, Asep Maulana⁸
Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Tangerang Raya

Informasi Artikel

Dikirim, 21 Agustus 2025
Direvisi, 21 Januari 2026
Diterima, 22 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Siska Dewi
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Tangerang Raya
Komp. Perum. Sudirman
Indah Jl. Ki Mas Laeng No 25
Katomas Tigaraksa Kab.
Tangerang
Email:
ariztyahartanto96@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kapur terhadap peningkatan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) pada tanah dasar (*subgrade*) di wilayah Perumahan Mentas Gemilang Residence, Kecamatan Tenjo, Bogor. Sampel tanah diambil dari kedalaman 0,00 – 0,050 meter, kemudian diuji dalam kondisi alami atau tanah asli serta ditambahkan kapur sebanyak 3%, 6%, dan 9% dari berat keringnya. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kapur 6% menghasilkan peningkatan nilai CBR *soaked* yang paling tinggi, dari 4,5% (Tanah asli) menjadi 7,35%, serta penurunan nilai potensi pengembangan (*swelling*) dari 1,35% menjadi 0,035%. Penambahan kapur diatas 6% tidak memberikan peningkatan lebih lanjut, bahkan cenderung menurunkan nilai CBR. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar kapur 6% merupakan titik optimum dalam upaya stabilisasi dilokasi tersebut.

Kata Kunci : kapur, stabilisasi tanah, *subgrade*, CBR

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effect of lime stabilization on improving the California Bearing Ratio (CBR) value of subgrade soil in Mentas Gemilang Residence area, Tenjo District, Bogor. Soil samples were collected from a depth of 0,00 – 0,50 meters and tested both in their natural condition and after being mixed with 3%, 6%, and 9% lime by dry weight. The test result showed that a 6% lime composition produced the highest increase in soaked CBR value, from 4,5% (natural soil) to 7,35% along with a significant reduction in swelling potential from 1,35% to 0,0035%. Lime addition above 6% did not provide further improvement and tended to decrease the CBR value. These findings indicate that 6% is the optimum dosage for soil stabilization at the study location.

Keyword : lime, soil stabilization, *subgrade*, CBR

1. PENDAHULUAN

Seringkali, material tanah yang ditemukan di lapangan tidak memenuhi standar untuk konstruksi jalan karena kualitasnya yang rendah. Untuk mengatasi hal ini, sifat teknis tanah dapat ditingkatkan kekuatannya melalui stabilisasi, yaitu dengan menambahkan bahan serbuk pengikat. Tanah yang telah diperbaiki ini kemudian bisa dimanfaatkan sebagai lapisan fondasi pada konstruksi jalan, sehingga secara signifikan mengurangi risiko kegagalan struktur [14].

Penambahan kapur dalam tanah lempung diketahui mampu menurunkan plastisitas, memperbaiki susunan partikel, serta meningkatkan kekuatan geser dan daya dukungnya. Namun kadar kapur yang efektif bisa berbeda tergantung pada karakteristik tanah yang diteliti. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi besarnya pengaruh penambahan kapur terhadap nilai CBR dan sifat pengembangan tanah di lokasi Perumahan Mentas Gemilang Residence, Kecamatan Tenjo, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat.

Penelitian ini bertujuan menentukan nilai CBR tanah campuran dilaboratorium pada kadar air optimal dari dari pengujian pemadatan. CBR adalah perbandingan beban penetrasi sampel terhadap beban penetrasi standar pada kedalaman dan kecepatan yang sama.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan pengambilan sampel tanah dari lokasi Perumahan Mentas Gemilang Residence, Kecamatan Tenjo, Kabupaten Bogor, pada kedalaman 0,00 – 0,50 meter. Sampel diuji dalam kondisi alami (natural soil) dan setelah dicampur dengan kapur sebanyak 3%, 6%, dan 9% dari berat kering tanah. Pengujian laboratorium meliputi identifikasi sifat fisik tanah (klasifikasi tanah, batas Atterberg), uji pemadatan (standard proctor), serta uji CBR dalam kondisi terendam (soaked) dan tidak terendam (unsoaked), serta pengujian terhadap nilai potensi pengembangan (swelling) yang didapat dari uji CBR rendam.

Dalam pelaksanaan pengujian, Khususnya dilaboratorium, diperlukan serangkaian prosedur yang harus diikuti secara sistematis agar hasil yang diperoleh mencerminkan kondisi sebenarnya dari sampel yang diuji. Jenis-jenis pengujian yang dilakukan meliputi:

2.1. Pengujian Sifat Indeks Tanah (Index Properties)

a. Kadar air

Kadar air berperan penting dalam menentukan sifat dan perilaku tanah, terutama dalam proses pengembangannya. Menurut Supriyono (1993), lempung dengan kadar air rendah cenderung memiliki potensi mengembang yang lebih besar dibandingkan lempung dengan kadar air tinggi.

b. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Uji ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis partikel tanah, dengan mengacu pada standard ASTM / D854-92 / SNI 1964:2008.

c. Analisis Saringan (Sieves Analysis)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir yang di dalam tanah.

d. Batas Atterberg

Pengujian dilakukan terhadap sampel tanah terganggu untuk menentukan nilai batas cair, batas plastis, batas susut, indeks plastisitas, serta aktivitas tanah. Pengujian ini mengikuti standard ASTM D4318 / SNI 1966:2008.

e. Analisa Hidrometer

Digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel halus dari tanah, khususnya partikel yang lolos saringan No. 200.

2.2. Uji Pemadatan Standar (Standar Compaction Test)

Pemadatan adalah proses pengurangan volume tanah dengan memberikan energi mekanik seperti tekanan atau getaran, sehingga udara dalam pori – pori tanah keluar. Di lapangan proses ini bisa dilakukan melalui penggilasan sedangkan di laboratorium digunakan metode seperti *Standar Compaction Test* atau

2.3. Uji California Bearing Ratio (CBR)

Kemampuan tanah dalam menahan beban sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan kadar air, sistem drainase, dan factor lainnya. Tanah yang memiliki tingkat kepadatan tinggi umumnya mengalami perubahan volume yang minimal saat kadar air berubah serta memiliki daya dukung yang lebih besar di bandingkan tanah dengan jenis yang sama namun kepadatannya lebih rendah. Penilaian daya dukung tanah dasar (*Subgrade*) untuk tanah lempung dalam perencanaan kekuatan dilakukan menggunakan nilai CBR.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan CBR tanah asli maupun tanah yang telah dicampur bahan stabilisasi di laboratorium dengan menggunakan kadar air optimum yang telah diperoleh dari hasil uji pemadatan sebelumnya. Nilai CBR sendiri merupakan rasio antara beban penetrasi tanah terhadap beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Dalam uji ini nilai CBR diukur pada kedalaman penetrasi 2,5mm

dan 5mm masing – masing dibandingkan dengan beban standar sebesar 1000 dan 1500 pound. Nilai CBR yang dianggap memenuhi syarat harus lebih dari 2% bila hasilnya kurang dari itu maka perlu dilakukan perbaikan tanah agar daya dukungnya meningkat. Uji CBR yang dilakukan dilaboratorium sering disebut juga CBR laboratorium menggunakan Sampel tanah dasar (*Subgrade*) yang dipadatkan hingga mencapai 95% dari kepadatan maksimum. Nilai CBR ini menggambarkan kemampuan lapisan tanah untuk menahan bebansetelah dipadatkan. Pengujian ini biasanya dilakukan tanpa perendaman atau dikenal sebagai *unsoaked design CBR*

2.4. Pembuatan Sampel Uji

Sampel benda dibuat dari tanah lempung yang berasal dari *subgrade* jalan Perumahan Mentas Gemilang Residence, Kecamatan Tenjo, Kabupaten Bogor. Tanah ini dicampur dengan kapur dan air, dengan persentase kapur sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% dari berat tanah kering. Pengambilan dan persiapan sampel tanah merupakan tahap awal dalam penelitian ini.

Adapun hal-hal yang dilakukan pada pengambilan sampel tanah terganggu sebagai berikut:

- Pengambilan sampel tanah asli dilokasi penelitian menggunakan cangkul dan memasukkannya kedalam karung, untuk kemudian dikirim ke laboratorium mekanika tanah.
- Memisahkan sebagian sampel kedalam plastik sampel untuk pengujian *index* dan *engineering properties* pada tanah asli.
- Penjemuran sampel tanah asli dibawah sinar matahari selama ± 1 minggu, dilakukan untuk menghilangkan kadar airnya.
- Bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian adalah **kapur**, yang mudah didapatkan dari pasar tradisional. Pekerjaan laboratorium, yang dilakukan setelah tahap persiapan lapangan, dilaksanakan di Laboratorium Pengujian dan Peralatan PT. Pratama Widya Engineering, Tangerang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian *Index Properties* Tanah Asli

Jenis tanah dilokasi penelitian diklasifikasikan sebagai tanah lempung berplastisitas rendah (CL), dengan sifat-sifat fisik tanah asli diperoleh $W_n = 36,65\%$, $GS = 2,651$, $LL = 45\%$, $PL = 15,18\%$, $IP = 29,82\%$, butiran lolos saringan No.200 (butir tanah halus) = 69%, butiran tertahan saringan No.200 (butir tanah kasar) = 31%.

Tabel 1. Hasil Uji *Indeks Properties* Tanah Asli

No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan	Standar Acuan Pengujian
1	Kadar Air (W_n)	36,65	%	ASTM D2216 / SNI 1965:2019
2	Berat Jenis (GS)	2,651		ASTM / D854-92 / SNI 1964:2008
3	Analisa Saringan dan Hidrometer			
	a. Gravel	5		
	b. Pasir	26	%	ASTM D422 / SNI 3423:2008
	c. Lanau	40	%	
	d. Lempung	29	%	
4	Batas – batas Atteberg			
	a. Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	45	%	
	b. Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	15,18	%	ASTM D4318 / SNI 1966:2008
	c. Indeks Plastis (<i>Plasticity Index</i>)	29,82	%	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PT.Pratama Widya Engineering, 2025

3.2. Hasil Pengujian *Engineering Properties* Tanah Asli

Dari hasil uji pemadatan yang di laboratorium di dapatkan berat isi kering optimum (MDD) sebesar $1,395T/m^3$, dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 22,44% .

Nilai CBR *soaked* (terendam) dari tanah asli adalah 4,5%, dan dalam kondisi *unsoaked* (tidak terendam) sebesar 9%, serta nilai potensi pengembangan (*swelling*) dari hasil uji CBR rendam adalah 1,35%.

Tabel 2. Hasil Uji *Engineering Properties* Tanah Asli

No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan	Standar Acuan Pengujian
1	Uji Pemadatan (<i>Standard Proctor</i>)			
	a. Kadar Air Optimum (OMC)	22,44	%	ASTM D698/SNI 1742:2008
	b. Berat Isi Kering Optimum (MDD)	1,395	T/m^3	
2	CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)			
	a. CBR Tanpa Rendam (<i>Unsoaked</i>)	9	%	ASTM D1883/SNI 1744:2012
	b. CBR Rendam (<i>Soaked</i>)	4,5	%	

Analisis Pengaruh Stabilisasi Kapur Terhadap Nilai CBR pada Subgrade Jalan Perumahan Mentas Gemilang Residence Kecamatan Tenjo, Bogor (Siska Dewi)

c. Potensi Pengembangan (*Swelling*) 1,35 %

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PT.Pratama Widya Engineering, 2025

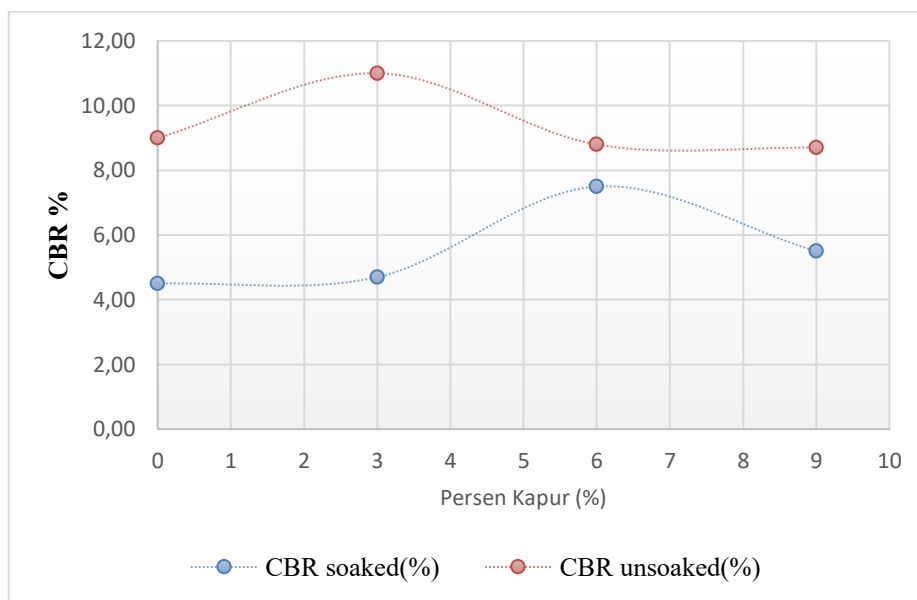
3.3. Hasil Pengujian Pencampuran Kapur

Tanah dicampur dengan kapur dalam proporsi yang berbeda: 0%, 3%, 6%, dan 9%. Selanjutnya, campuran ini akan menjalani pengujian sifat fisis dan mekanis. Dari hasil uji CBR laboratorium didapatkan hasil uji seperti yang ditambillkan pada grafik dan tabel berikut:

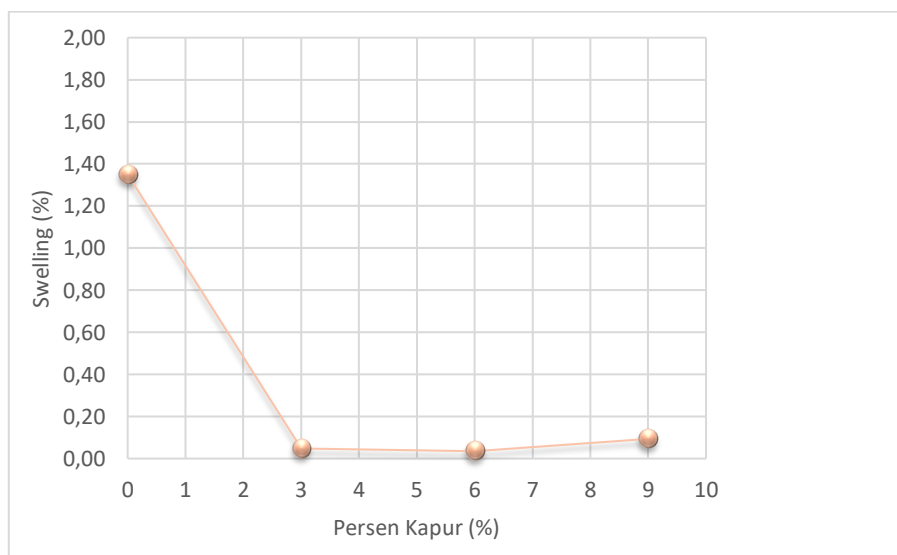
Tabel 3. Perbandingan Nilai CBR dan Swelling Setelah Pencampuran Kapur

Variasi Campuran	CBR Unsoaked (%)	CBR Soaked (%)	Swelling (%)
Tanah Asli + Kapur 0%	9	4,5	1,35
Tanah Asli + Kapur 3%	11	4,7	0,047
Tanah Asli + Kapur 6%	11,37	7,35	0,035
Tanah Asli + Kapur 9%	8,7	5,5	0,094

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PT.Pratama Widya Engineering, 2025



Gambar 1. Grafik Hubungan Persen Kapur Terhadap Nilai CBR



Gambar 2. Grafik Hubungan Persen Kapur Terhadap Potensi Pengembangan (*Swelling*)

Variasi campuran 0% (Tanah Asli) didapatkan nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* sebesar 9,0% dan 4,5%, serta potensi pengembangan (*swelleing*) sebesar 1,35%. Pada variasi campuran 3% didapatkan nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* sebesar 11,0% dan 4,7%, serta potensi pengembangan (*swelleing*) sebesar 0,047%. Pada variasi campuran 6% didapatkan nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* sebesar 11,37% dan 7,35%, serta potensi pengembangan (*swelleing*) sebesar 0,035%. Pada variasi campuran 9% didapatkan nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* sebesar 8,7% dan 5,5%, serta potensi pengembangan (*swelling*) sebesar 0,094%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Tanah dasar (*subgrade*) dilokasi penelitian merupakan tanah lempung kelanauan dengan plastisitas rendah (CL) yang mempunyai daya dukung kurang optimal, sehingga memerlukan stabilisasi.

Variasi kadar kapur sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% secara signifikan memengaruhi nilai CBR tanah lempung, dengan peningkatan cbr *soaked* dari 4,5% (0% kapur), menjadi 4,7% (3% kapur), dan mencapai puncaknya pada 7,35% (6% kapur), namun menurun Kembali menjadi 5,5% pada 9% kapur.

Persentase kapur optimal yang paling efektif meningkatkan nilai CBR pada sampel tanah lempung berlanau dari lokasi penelitian adalah 6%, yang menghasilkan nilai CBR *soaked* tertinggi sebesar 7,35% dan penurunan *swelling* terendah hingga 0,035%.

Peningkatan nilai CBR hasil stabilisasi ini mengimplikasikan potensi desain tebal perkerasan jalan yang lebih efisien dan ekonomis di lokasi penelitian, berkat daya dukung tanah dasar yang jauh lebih kuat dan stabil setelah distabilisasi dengan kadar kapur optimal 6%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hardiyatmo HC. Mekanika Tanah I. Yogyakarta: Gajah Mada University Press; 2002.
- [2] Das BM. Principle of Geotechnical Engineering. 8th ed. Stamford, CT: Cengage Learning; 2014.
- [3] Sukirman S. Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan. Bandung: Nova; 1999.
- [4] Sukirman S. Perencanaan Tebal Stuktur Perkerasan Lentur. Bandung: Nova; 2010.
- [5] Sari KI. Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Kapur (CaO) Ditinjau dari Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test). Buletin Utama Teknik. 2021;17(1):90-97.
- [6] Amrulloh FN, Azizi A. Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan Dan Daya Dukung Tanah Lempung Berlanau (Studi Kasus : Jalan Banjarparakan – Meganti). CIVENG. 2022 Jan;3(1):33-4.
- [7] Riwayanti RRS, Yuniar R. Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Kontruksi. Jurnal Teknik Sipil UNPAL. 2018 Nov;8(2):104-111.
- [8] BSN. SNI 1965:2019. Metode Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah Dan Batuan Dilaboratorium. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional;2019.
- [9] BSN. SNI 1964:2008. Cara Uji Berat Jenis Tanah. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional;2008.
- [10] BSN. SNI 3423:2008. Cara Uji Cara Uji Ukuran Butir Tanah. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional;2008.
- [11] BSN. SNI 1966:2008. Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional;2008.
- [12] BSN. SNI 1742:2008. Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional;2008.
- [13] BSN. SNI 1744:2012. Metode Uji CBR Laboratorium. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional;2012.
- [14] Panitia Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil. Pedoman Perencanaan Stabiliasi Tanah Dengan Serbuk Pengikat Untuk Konstruksi Jalan. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum;2007.

Analisis Dilatasi pada Bangunan Tak Beraturan Tipe L (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Tower dan Multazam Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gombong)

Analysis of Dilatation in Irregular L-Shaped Buildings (A Case Study of Construction Project of the Tower and Multazam Buildings at PKU Muhammadiyah Hospital, Gombong)

Hanif Muhammad Ihsaan¹, Arif Kurniawan Suksmono², Mukti Agung Wibowo³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Artikel

Dikirim, 30 April 2024
Direvisi, 23 Januari 2026
Diterima, 28 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Hanif Muhammad Ihsaan
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah
Purwokerto
JL. K.H. Ahmad Dahlan
Purwokerto, 53182
Email: hanifmuhammadihsaan@
gmail.com

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan peristiwa yang sering terjadi di Indonesia. Akibat dari gempa bumi tersebut adalah terjadinya getaran searah horizontal pada permukaan tanah. Maka itu perlu ditambahkannya beban gempa untuk memperkuat struktur tersebut. Selain itu, dilatasi juga menjadi salah satu cara untuk meminimalisir dampak dari gempa bumi tersebut. Namun bagaimana jika jarak dilatasi yang direncanakan berbeda dengan yang dilaksanakan di lapangan. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Metode ini akan dibantu dengan software ETABS Versi 20 yang digunakan untuk melakukan pemodelan struktur dan menganalisis perilaku struktur dari pemodelan yang sudah dibuat terhadap secara akurat. Selain itu hasil dari analisis struktur tersebut menggunakan software ETABS bisa digunakan untuk menganalisis dilatasi dalam studi kasus di proyek penelitian ini. Nilai simpangan antar lantai terbesar pada arah X dan arah Y di gedung Tower adalah 64,889mm dan 67,494mm, di gedung Multazam 1 adalah 48,889mm dan 47,407mm, dan di gedung Multazam 2 adalah 47,110mm dan 47,131mm. Hasil dari jarak dilatasi terhadap struktur yang ditinjau (Tower dan Multazam 1) adalah 60mm pada perencanaan dan 150mm pada pelaksanaan. Nilai simpangan terbesar pada struktur yang ditinjau (Tower dan Multazam 1) pada arah X dan arah Y adalah 64,889mm dan 67,494mm. Berdasarkan nilai simpangan terbesar tersebut didapatkan jarak dilatasi sebesar 132,383mm, dimana jarak dilatasi tersebut lebih besar dari jarak dilatasi rencana (tidak aman) dan lebih kecil dari jarak dilatasi pelaksanaan (aman)

Kata Kunci : Gempa Bumi, Bangunan Tak Beraturan, Dilatasi

ABSTRACT

Earthquakes are frequent events in Indonesia. The result of the earthquake is the occurrence of horizontal directional vibrations on the ground surface. Therefore, it is necessary to add earthquake loads to strengthen the structure. In addition, dilatation is also one way to minimize the impact of the earthquake. The research method used in this study is a quantitative method. This method will be assisted by ETABS Version 20 software which is used to model the structure and analyze the structural behavior of the modeling that has been made accurately. In addition, the results of the structural analysis using ETABS software can be used to analyze the dilatation in the case study in this research object. The largest inter-floor deviation values in the X direction and Y direction in the Tower building are 64.889mm and 67.494mm, in the Multazam 1 building are 48.889mm and 47.407mm, and in the Multazam 2 building are 47.110mm and 47.131mm. The result of the dilation distance to the structure under review (Tower and Multazam 1) is 132.383mm. The largest deviation values in the structure under review (Tower and Multazam 1) in the X direction and Y direction are 64.889mm and 67.494mm. Based on the largest deviation value, a dilation distance of 132.383mm is obtained, where the dilation distance is greater than the plan dilation distance (unsafe) and smaller than the implementation dilation distance (safe)

Keyword : Earthquake, Irregular Building, Dilatation

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan peristiwa alam yang terjadi karena pergerakan lempeng yang ada di bawah permukaan bumi. Indonesia adalah salah satu negara yang biasa terjadi gempa bumi. Akibat dari gempa bumi tersebut adalah terjadinya suatu getaran dengan arah horizontal pada permukaan tanah. Salah satu contoh dari dampak gempa bumi adalah kerusakan terhadap bangunan gedung.

Ada cara untuk meminimalisir dampak dari gempa bumi yaitu dilatasi pada struktur bangunan gedung tersebut. Dilatasi struktur ini adalah pemisahan struktur yang biasa diterapkan di bangunan yang besar, luas, dan tidak beraturan. Bangunan tidak beraturan disini adalah bangunan yang tidak memiliki bentuk yang tidak simetris seperti T, H, U, L, dan lain-lain. Dilatasi struktur ini fungsinya buat memisahkan struktur yang terlalu panjang, supaya kalau ada gempa atau tanah bergerak, strukturnya tidak patah akibat dimensinya sendiri. Karena dilatasi merupakan pemisahan struktur, maka akan terdapat jarak yang dihasilkan pada dilatasi tersebut. Jarak dilatasi ini berfungsi agar struktur bangunan tersebut tidak menimbulkan benturan apabila terjadi suatu gempa dan meminimalisir terjadinya kerusakan.

Namun, bagaimana jika saat mengerjakan proyek tersebut dilatasi yang digunakan tidak sama dengan yang telah direncanakan sebelumnya. Maka dari itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan jawaban mengenai kasus tersebut dengan cara menganalisis dilatasi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan dilatasi yang sudah diterapkan yang dipaparkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Analisis Dilatasi Pada Bangunan Tak Beraturan Tipe L (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Tower dan Multazam Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gombong) berada di lingkungan RS PKU Muhammadiyah Gombong, beralamat di Jalan Yos Sudarso No. 461, Sangkalputung, Kec. Gombong, Kab. Kebumen, Jawa Tengah, 54412.



Gambar 1. Peta Lokasi Proyek

Batas – Batas dari lokasi proyek :

- Batas Utara : Jalan Yos Sudarso, Sangkalputung, Gombong
- Batas Selatan : Jalur lintas Kereta Api Stasiun Gombong dan Persawahan
- Batas Barat : Gedung ICU PKU Muhammadiyah Gombong
- Batas Timur : Lahan Persawahan

2.2. Pengumpulan Data

a. Data Umum Proyek Penelitian

Data umum pada penelitian ini berisikan informasi proyek yang akan ditinjau dan berfungsi untuk membantu peneliti dalam memperdalam penelitiannya. Berikut data-data umum pada proyek penelitian :

Nama	: Proyek Pembangunan Gedung Tower dan Multazam Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gombong
Deskripsi	: Bangunan Gedung 5 Lantai dan 1 Basement
Luas Tanah	: 8109,94 m ²
Luas Bangunan	
1. Basement	3445,85 m ²
2. Lantai 1	4417,83 m ²

3. Lantai 2	4775,43 m ²
4. Lantai 3	7744,74 m ²
5. Lantai 4	7744,74 m ²
6. Lantai 5	3945 m ²
Wilayah Gempa	: Zona Asuransi Gempa 4 dengan tingkat Kawasan Rawan Bencana Tinggi

b. Data Material Mutu Proyek Penelitian

Data material pada penelitian kali ini berfungsi sebagai sumber data pada saat melakukan pemodelan struktur bangunan gedung yang diteliti. Berikut data-data material yang dibutuhkan:

Spesifikasi Material Beton :

Jenis Beton	: Beton Ready Mix dari PT. Aneka Bangun Sarana
Mutu Beton	: K-350 / f'_c 29,05 MPa
Nilai Slump	: 10 ± 2 cm

Spesifikasi Material Besi :

Tulangan Pokok	: BJTD 40 (f_y 400 MPa dan f_u 500 MPa) dari PT. Lautan Steel Indonesia;
Tulangan Sengkang	: BJTD 40 (f_y 400 MPa dan f_u 500 MPa) dari PT. Lautan Steel Indonesia;
Tulangan Pengikat	: BJTD 40 (f_y 400 MPa dan f_u 500 MPa) dari PT. Lautan Steel Indonesia;

2.3. Analisa Data

Analisis yang akan dihasilkan dalam penelitian ini yaitu membandingkan perilaku dua struktur bangunan gedung tak beraturan tipe L dengan dua dilatasi yang berbeda. Dilatasi pada penelitian ini adalah dilatasi antar balok kantilever pada bangunan eksisting (Gedung Multazam) dan bangunan baru (Gedung Tower).

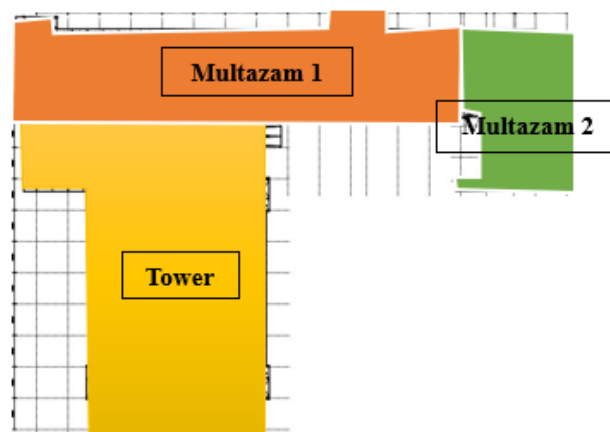
Pemodelan struktur dilakukan menggunakan software ETABS Versi 20. Selain digunakan untuk melakukan pemodelan struktur, software ini bisa digunakan untuk menganalisis perilaku struktur terhadap beban mati, hidup, angin, dan gempa secara akurat.

Untuk membantu dalam menganalisis dilatasi pada bangunan gedung yang ditinjau, pada penelitian ini akan menggunakan analisis beban gempa dinamik yang dibantu oleh website Desain Spektra Indonesia untuk mengetahui nilai SS, S1, Sds, Sd1, dan lain-lain

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

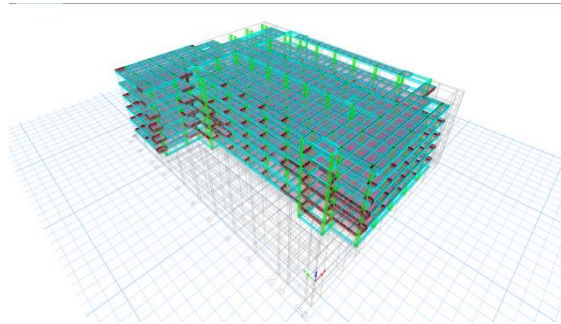
3.1. Pemodelan Bangunan

Pemodelan struktur akan dimodelkan menggunakan software ETABS Ver.20 dimana akan ada 3 pemodelan sesuai dengan pemisahan struktur atau dilatasi yang ada.

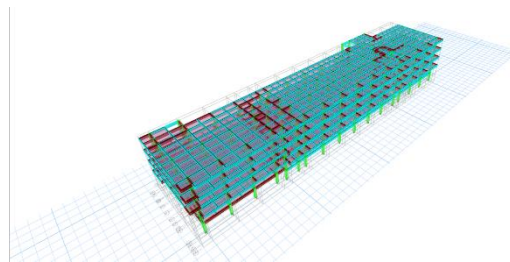


Gambar 2. Rencana Pemodelan Gedung Tower dan Multazam

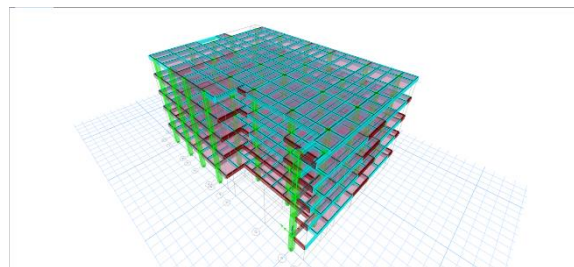
Hasil dari pemodelan struktur Tower, Multazam 1, dan Multazam 2 bisa dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



Gambar 3. Pemodelan Struktur Tower



Gambar 4. Pemodelan Struktur Multazam 1



Gambar 5. Pemodelan Struktur Multazam 2

3.2. Simpangan Antar Lantai

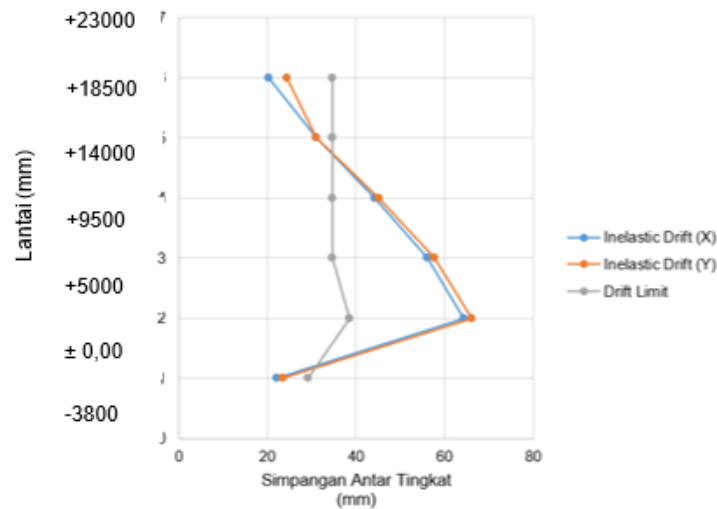
Simpangan antar tingkat yang di rencanakan tidak boleh melebihi dari simpangan antar tingkat izin menurut SNI 1726 – 2019. Batas simpangan antar tingkat izin disesuaikan dengan kategori risiko pada struktur bangunan tersebut.

Namun, ada beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat melakukan perhitungan simpangan antar tingkat, yaitu untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkatnya (Δ) harus kurang dari simpangan antar tingkat izin dibagi dengan faktor redundansi (Δ/ρ).

Faktor redundansi (ρ) untuk kategori desain seismik D harus bernilai 1,3, kecuali ada beberapa syarat yang terpenuhi, maka akan bernilai 1,0. Pada struktur kali ini faktor tersebut tidak terpenuhi, oleh karena itu faktor redundansi akan bernilai 1,3.

Tabel 1. Hasil Simpangan Antar Lantai Tower

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek	Keterangan
	δe_x (mm)	δe_y (mm)	δe_x (mm)	δe_y (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)			
6	64,889	67,494	5,534	6,628	4500	20,291	24,303	34,615	OK	$\Delta < \text{Drift Limit}$
5	59,355	60,866	8,428	8,471	4500	30,903	31,060	34,615	OK	$\Delta < \text{Drift Limit}$
4	50,927	52,395	12,035	12,295	4500	44,128	45,082	34,615	NOT OK	$\Delta > \text{Drift Limit}$
3	38,892	40,1	15,317	15,701	4500	56,162	57,570	34,615	NOT OK	$\Delta > \text{Drift Limit}$
2	23,575	24,399	17,530	18,003	5000	64,277	66,011	38,462	NOT OK	$\Delta > \text{Drift Limit}$
1	6,045	6,396	6,045	6,396	3800	22,165	23,452	29,231	OK	$\Delta < \text{Drift Limit}$

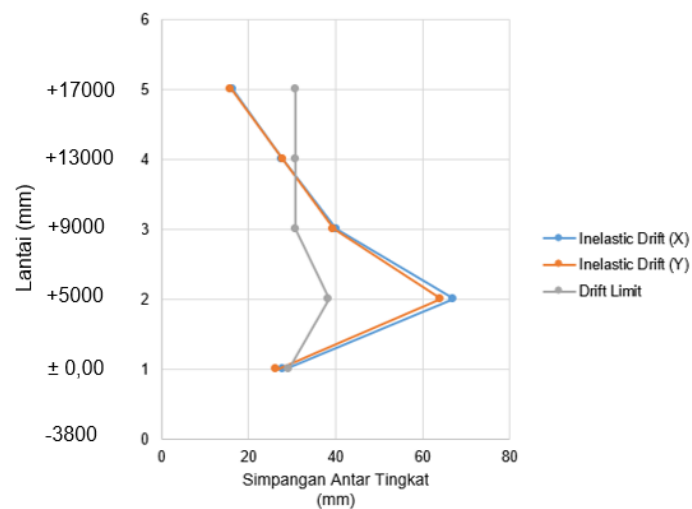


Gambar 6. Grafik Simpangan Antar Lantai Tower

Berdasarkan hasil dari analisis simpangan antar lantai Struktur Tower, didapatkan lantai 1, lantai 5, dan lantai 6 sudah memenuhi syarat izin simpangan antar lantai sesuai SNI 1726-2019 sebesar 34,615 mm, dengan nilai simpangan antar lantai arah X terbesar 64,889 mm dan arah Y terbesar 67,494 mm.

Tabel 2. Hasil Simpangan Antar Lantai Multazam 1

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek	Keterangan
	δe_x (mm)	δe_y (mm)	δe_x (mm)	δe_y (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)			
5	48,899	47,407	4,445	4,327	4000	16,298	15,866	30,769	OK	$\Delta <$ Drift Limit
4	44,454	43,08	7,556	7,610	4000	27,705	27,903	30,769	OK	$\Delta <$ Drift Limit
3	36,898	35,47	10,963	10,776	4000	40,198	39,512	30,769	NOTOK	$\Delta >$ Drift Limit
2	25,935	24,694	18,307	17,485	5000	67,126	64,112	38,462	NOTOK	$\Delta >$ Drift Limit
1	7,628	7,209	7,628	7,209	3800	27,969	26,433	2,9231	OK	$\Delta <$ Drift Limit

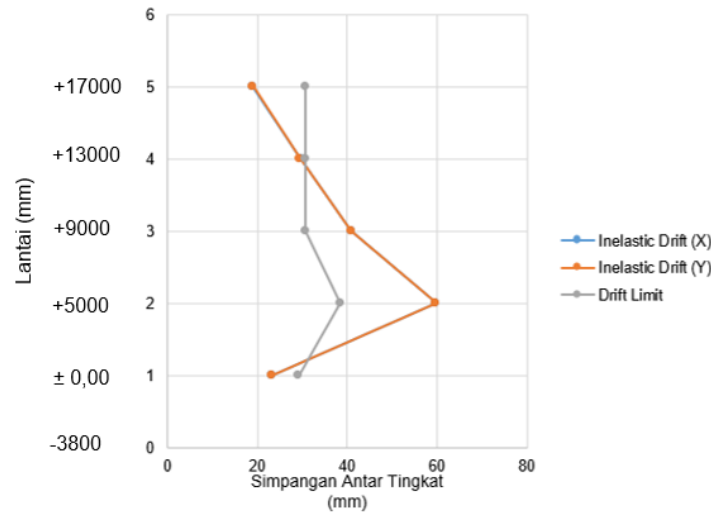


Gambar 7. Grafik Simpangan Antar Lantai Multazam 1

Berdasarkan hasil dari analisis simpangan antar lantai Struktur Multazam 1, didapatkan lantai 1, lantai 4, dan lantai 5 sudah memenuhi syarat izin simpangan antar lantai sesuai SNI 1726-2019 sebesar 30,769 mm, dengan nilai simpangan antar lantai arah X terbesar 48,899 mm dan arah Y terbesar 47,407 mm.

Tabel 3. Hasil Simpangan Antar Lantai Multazam 2

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek	Keterangan
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)			
5	47,11	47,131	5,177	5,206	4000	18,982	19,089	30,769	OK	$\Delta < \text{Drift Limit}$
4	41,933	41,925	8,081	8,073	4000	29,63	29,601	30,769	OK	$\Delta < \text{Drift Limit}$
3	33,852	33,852	11,147	11,160	4000	40,872	40,920	30,769	NOTOK	$\Delta > \text{Drift Limit}$
2	22,705	22,692	16,335	16,323	5000	59,895	59,851	38,462	NOTOK	$\Delta > \text{Drift Limit}$
1	6,37	6,369	6,370	6,369	3800	23,357	23,353	29,231	OK	$\Delta < \text{Drift Limit}$



Gambar 8. Grafik Simpangan Antar Lantai Multazam 2

Berdasarkan hasil dari analisis simpangan antar lantai Struktur Multazam 2, didapatkan lantai 1, lantai 4, dan lantai 5 sudah memenuhi syarat izin simpangan antar lantai sesuai SNI 1726-2019 sebesar 30,759 mm, dengan nilai simpangan antar lantai arah X terbesar 47,110 mm dan arah Y terbesar 47,131 mm.

Hasil dari simpangan antar lantai tersebut terlihat bahwa ada beberapa lantai yang mengalami simpangan tak memenuhi izin sesuai SNI 1726 – 2019. Hal tersebut bisa terjadi karena pada pemodelan bangunan yang telah dilakukan, tidak memodelkan struktur shearwall, corewall, dinding penahan tanah dan juga tangga

Shearwall, Corewall, dan dinding penahan tanah disini sangat berpengaruh terhadap simpangan antar lantai yang terjadi pada setiap lantainya karena fungsi dari Shearwall, corewall, dan dinding penahan tanah salah satunya adalah sebagai penahan dari beban lateral yang bekerja. Oleh karena itu, simpangan antar lantai yang tidak memenuhi izin tersebut diakibatkan karena tidak dimodelkannya struktur shearwall, corewall, dan dinding penahan tanah.

3.3. Dilatasi

Sesuai dengan studi kasus yang ada pada Proyek Pembangunan Gedung Tower Rumah Sakit PKU Muhammadiyah PKU Muhammadiyah Gombong, terdapat perbedaan jarak dilatasi pada struktur tower dan struktur multazam Perbedaan jarak tersebut adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jarak dilatasi rencana} &= 6 \text{ cm} = 60 \text{ mm} \\ \text{Jarak dilatasi lapangan} &= 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berikut perhitungan kontrol terhadap jarak kedua dilatasi pada struktur yang ditinjau yaitu struktur Tower dan struktur Multazam 1

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &= X_{max} + Y_{max} < \text{jarak dilatasi} \\ \text{Kontrol rencana (Sumber DED)} &= 64,889 + 67,494 < 60 \text{ mm} \\ &= 132,383 < 60 \text{ mm (Tidak OK)} \\ \text{Kontrol lapangan (Pelaksanaan)} &= 64,889 + 67,494 < 150 \text{ mm} \\ &= 132,383 < 150 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil dari kontrol tersebut terlihat bahwa pada jarak dilatasi rencana lebih dari 60 mm, sedangkan pada jarak dilatasi pada lapangan kurang dari 150 mm. Hasil pada kontrol rencana tersebut menandakan

bahwa pada jarak dilatasi rencana tidak aman yang akan menimbulkan antara struktur tower dan struktur multazam 1 akan bertabrakan. Hasil pada kontrol lapangan menandakan bahwa pada jarak dilatasi lapangan aman yang dimana tidak akan adanya tabrakan yang terjadi antara struktur tower dan struktur multazam 1 apabila terjadi suatu gempa. Catatan bahwa struktur tersebut dibuat tanpa adanya struktur *shearwall*, *corewall*, dan *dinding penahan tanah*.

4. KESIMPULAN

Hasil pada analisis dilatasi yang sudah dilakukan pada bab pembahasan, didapatkan kesimpulan Nilai simpangan antar lantai struktur tower terbesar arah X adalah 64,889 mm dan arah Y sebesar 67,494 mm, dengan syarat izin simpangan antar lantai sesuai SNI 1726-2019 sebesar 34,615 mm. Nilai simpangan antar lantai struktur multazam 1 terbesar terbesar arah X sebesar 48,889 mm dan arah Y sebesar 47,407 mm, dengan syarat izin simpangan antar lantai sesuai SNI 1726-2019 sebesar 30,769 mm. Nilai simpangan antar lantai struktur multazam 1 terbesar arah X sebesar 47,110 mm dan Arah Y sebesar 47,131 mm, dengan syarat izin simpangan antar lantai sesuai SNI 1726-2019 sebesar 30,769 mm. Jarak minimum dilatasi yang didapatkan dari hasil analisis simpangan antar lantai sebesar 132,383 mm, dimana nilainya lebih dari jarak dilatasi rencana sebesar 60 mm yang berarti tidak aman dan kurang dari jarak dilatasi lapangan sebesar 150 mm yang berarti aman dan tidak akan terjadi tabrakan antar struktur yang ditinjau (Towe dan Multazam I). Menurut peraturan SNI 1726-2019 syarat minimal jarak dilatasi yang diterapkan sebesar 2,5% dari tinggi tiap lantainya, yaitu 125 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amalia, dkk. (2022). Respom Struktur Akibat Penempatan Dilatasi Pada Bangunan Dengan Ketidakberaturan Horizontal. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, 8.
- [2] Arif Durachman, H. M. (2022). Analisis Jarak Dilatasi Struktur Bangunan Menggunakan Sistem Dilatasi Dua Kolom. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 11.
- [3] Baehaki, S. A. (2018). Analisis Perilaku Struktur Gedung Lab Terpadu UNTIRTA Berdasarkan Peraturan SNI 1726:2012. *Jurnal Fondasi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, 12.
- [4] Hermawan, D. (2022). Analisis Pengaruh Dilatasi Bangunan Gedung Tinggi Menggunakan ETABS Pada Bangunan 6 Lantai Berdenah T. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat*, 93.
- [5] Nugroho, A. (den 4 June 2022). *Sistem dilatasi Bangunan/Pemisah Struktur Terlengkap*. Hämtat från Tempat.org: <https://tempat.org/dilatasi-bangunan/>
- [6] Prihandoyo, R. (2021). Evaluasi Pengaruh Dilatasi Pada Gedung Baja Empat Terhadap Beban Gempa Menggunakan Metode Statik Pushover. 69.
- [7] SNI 1726-2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Inonesia.
- [8] SNI 1727-2020. (2020). *Pembebanan Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [9] SNI 2847-2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [10] Syano Verdio Juvientrian, H. M. (2014). Analisis Bangunan Asimetris Terhadap Tinjauan Delatasi Akibat Gaya Horizontal. *Jurnal Konstruksi*, 13.
- [11] Trikanada, M. (2021). Analisis Perbandingan Efektivitas Penggunaan Dilatasi Balok Kantilever dan Dilatasi 2 kolom Pada Proyek Gedung Parkir Bertingkat Kampus B Universitas Airlangga. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Jember*, 47.

Analisis Biaya dan Waktu Dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Gedung Food Court pada Kawasan Lapangan Eks Batalyon Cilacap

Analysis Cost and Time Using the Time Cost Trade Off Method in the Food Court Building Construction Project in the Ex-Battalion Cilacap Field Area

Azhar Aditama¹, Amris Azizi², Dewi Laras Sulastri Ningsih³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Artikel

Dikirim, 1 Agustus 2025
Direvisi, 29 Januari 2026
Diterima, 29 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Azhar Aditama
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah
Purwokerto
Jl. K.H. Ahmad Dahlan
Purwokerto, 53182
Email:
Azhar.aditama12@gmail.com

ABSTRAK

Pelaksanaan Proyek konstruksi seringkali menghadapi kendala keterlambatan waktu dan pembengkakan biaya. Oleh karena itu, diperlukan metode optimasi untuk mencapai efisiensi dalam penyelesaian proyek. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi waktu dan biaya melalui metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada proyek pembangunan Gedung Food Court di Kawasan Lapangan Eks Batalyon Cilacap. Data yang digunakan diperoleh dari time schedule, RAB, dan laporan mingguan antara minggu ke-14 hingga minggu ke-20. Analisis dilakukan dengan metode Precedence diagram Method, teknik Crashing, dan penerapan TCTO untuk mendapatkan durasi optimal dan biaya minimum proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa melalui penambahan jam kerja (lembur) dan penerapan metode TCTO, proyek dapat diselesaikan lebih cepat dibandingkan jadwal normal, dengan efisiensi biaya yang signifikan.

Kata Kunci : *Time Cost Trade Off*, Biaya, Waktu.

ABSTRACT

Construction projects frequently encounter delays and cost overruns. Therefore, optimization methods are required to ensure efficiency in project completion. This study aims to analyze time and cost efficiency through the Time Cost Trade Off (TCTO) method in the construction project of a Food Court building at the Ex-Battalion Field Area, Cilacap. The data used were obtained from the time schedule, budget plan (RAB), and weekly reports from weeks 14 to 20. The analysis employed the Precedence Diagram Method (PDM), crashing techniques, and TCTO to determine the project's optimal duration and minimum cost. The results indicate that by implementing overtime and applying the TCTO method, the project can be completed faster than the normal schedule with significant cost efficiency. These findings contribute to the planning of accelerated projects that are both efficient and economical.

Keyword : *Time Cost Trade Off*, Cost, Time.

1. PENDAHULUAN

Perencanaan proyek konstruksi yang efektif menuntut optimalisasi terhadap dua aspek utama, yakni waktu dan biaya. Keduanya harus diselenggarakan agar pelaksanaan proyek dapat berjalan efisien sekaligus menguntungkan. Meski demikian, realita di lapangan sering kali terjadi berbagai permasalahan yang mengakibatkan keterlambatan penyelesaian proyek [1] [2]. Keterlambatan dalam pelaksanaan pekerjaan umum terjadi akibat kendala teknis, cuaca, tenaga kerja, atau manajerial. Hal ini berpotensi menyebabkan pembengkakan biaya dan gangguan terhadap tenggat waktu proyek. Oleh karena itu, strategi percepatan proyek menjadi penting untuk dipertimbangkan. Salah satu pendekatan yang relevan adalah metode Time Cost Trade Off, yaitu analisis pertukaran antara waktu dan biaya untuk memperoleh kombinasi yang paling efisien.

Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan metode Time Cost Trade Off telah banyak diterapkan untuk optimalisasi waktu dan biaya pada berbagai proyek konstruksi. Penambahan jam lembur maupun tenaga kerja mampu mempercepat penanganan proyek namun berdampak pada peningkatan biaya secara langsung [2] [3]. Dengan penerapan TCTO efektif menentukan kombinasi waktu dan biaya yang optimal melalui identifikasi lintasan kritis [4] [5]. Pendekatan lain yang digunakan yaitu cash program untuk meminimalkan keterlambatan pekerjaan [6]. Selain itu metode TCTO juga dapat diterapkan pada proyek infrastruktur lainnya [7] [8]. Keberhasilan dari TCTO bergantung pada kondisi aktual proyek dan waktu pelaksanaannya [9]. Penelitian sebelumnya belum ada kajian yang secara spesifik menganalisis percepatan proyek pada fase kritis menjelang PHO dengan membandingkan kondisi normal, crashing, dan hasil TCTO secara simultan berdasarkan data aktual mingguan proyek.

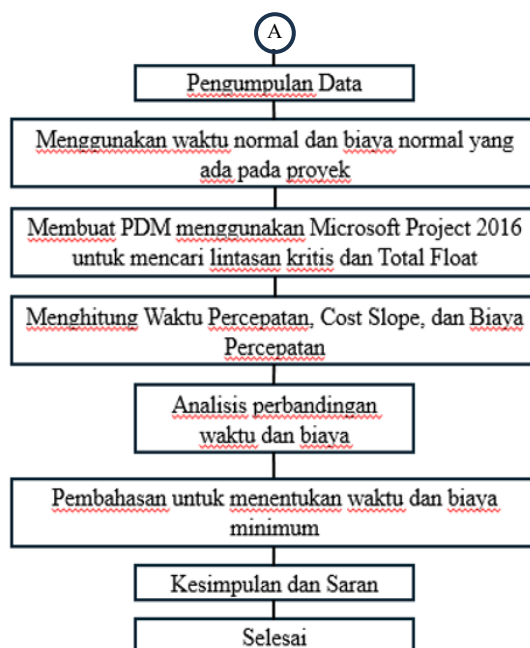
Sebagai studi kasus, proyek pembangunan Gedung Food Court di kawasan Lapangan Eks Batalyon Cilacap mengalami keterlambatan dari rencana awal 153 hari dengan nilai kontrak sebesar Rp 4.520.000.000, sehingga perlu dianalisis strategi percepatan yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi durasi pelaksanaan proyek yang paling optimal, menganalisis selisih waktu setelah penambahan jam kerja lembur hingga batas akhir PHO (Provisional Hand Over), mengevaluasi efisiensi waktu dan biaya pasca penerapan lembur, serta membandingkan kondisi proyek dalam tiga skenario: kondisi normal, kondisi setelah crashing, dan kondisi hasil metode TCTO. Penelitian difokuskan pada minggu ke-14 hingga ke-20 pelaksanaan proyek. Data yang digunakan mencakup dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB), time schedule, dan laporan mingguan yang diperoleh langsung dari pelaksana proyek. Analisis dilakukan dengan pendekatan Precedence Diagram Method (PDM), teknik crashing, dan metode TCTO. Penggunaan Microsoft Project 2016 mendukung proses pemetaan diagram jaringan aktivitas, identifikasi total float, serta penentuan lintasan kritis (critical path).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode Time Cost Trade Off (TCTO) untuk menganalisis efisiensi antara waktu dan biaya pada pelaksanaan proyek konstruksi. Studi dilakukan pada proyek pembangunan Gedung Food Court di Kawasan Lapangan Eks Batalyon Cilacap yang mengalami keterlambatan dari rencana awal. Melalui metode TCTO, proyek dianalisis untuk menentukan durasi optimal dengan biaya total serendah mungkin. Metode ini melibatkan identifikasi durasi normal, estimasi crash duration (waktu percepatan), perhitungan crash cost, serta pemodelan kombinasi waktu dan biaya melalui tahapan perhitungan sistematis.

Data penelitian dikumpulkan secara sekunder melalui dokumen proyek, seperti Rencana Anggaran Biaya (RAB), time schedule, laporan mingguan, dan kurva-S progres. Data waktu diperoleh dari laporan konsultan pengawas, sementara data biaya diperoleh dari kontraktor pelaksana. Selanjutnya, dilakukan penyusunan network diagram menggunakan metode Precedence Diagram Method (PDM) untuk mengidentifikasi lintasan kritis (critical path). Proyek kemudian dianalisis melalui proses crashing pada aktivitas lintasan kritis dengan penerapan sistem kerja tiga shift, dilanjutkan dengan perhitungan cost slope dan penerapan metode TCTO.





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Langkah akhir dari penelitian meliputi evaluasi hasil analisis TCTO guna memilih kombinasi waktu dan biaya paling efisien. Hasil tersebut digunakan sebagai rekomendasi teknis untuk proyek, sekaligus menjadi masukan strategis dalam pengelolaan proyek serupa di masa mendatang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Crash Duration

Pekerjaan pembuatan Balok Latte 10/15 dengan volume 70,32 meter memiliki durasi normal selama 28 hari atau setara dengan 196 jam kerja. Berdasarkan data tersebut, diperoleh produktivitas kerja dalam kondisi normal sebesar 2,51 meter per hari atau 0,36 meter per jam. Untuk mempercepat penyelesaian pekerjaan, diterapkan sistem lembur selama 3 jam per hari dengan efisiensi 90%. Dengan asumsi ini, crash duration dihitung menggunakan rumus pembagian antara volume pekerjaan dengan total produktivitas gabungan dari jam kerja normal dan lembur. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa crash duration yang diperoleh adalah sekitar 20,21 hari, yang kemudian dibulatkan menjadi 20 hari. Artinya, pekerjaan tersebut dapat diselesaikan 8 hari lebih cepat dibandingkan dengan durasi normalnya. Selisih ini disebut sebagai crashing, yaitu selisih antara durasi normal dan crash duration, yang mencerminkan penghematan waktu yang dicapai akibat percepatan. Perhitungan crash duration ini difokuskan pada pekerjaan-pekerjaan yang berada di jalur kritis proyek karena secara langsung memengaruhi waktu penyelesaian keseluruhan proyek. Sebagai alternatif evaluasi, perbandingan juga dilakukan dengan menggunakan crash duration minimum, yaitu percepatan hanya 1 hari sehingga durasi menjadi 27 hari. Dengan demikian, proyek tetap mengalami percepatan walau hanya sebesar 1 hari. Analisis seperti ini penting untuk menilai tingkat efisiensi percepatan dan menjadi dasar dalam menentukan kombinasi waktu dan biaya yang paling optimal.

3.2. Crash Cost

Durasi crashing maksimal selama 8 hari (3 jam lembur/hari) menghasilkan total lembur 24 jam. Biaya lembur untuk seluruh tenaga kerja adalah Rp 1.414.285,71. Biaya normal pekerjaan ini sebesar Rp 7.364.993,46, sehingga total crash cost maksimal menjadi:

$$\text{Rp } 7.364.993,46 + \text{Rp } 1.414.285,71 = \text{Rp } 8.779.279,17$$

Sementara itu, untuk durasi crashing minimal selama 1 hari (3 jam lembur), total biaya lembur hanya Rp 176.785,71. Dengan biaya normal yang sama, total crash cost minimal adalah:

$$\text{Rp } 7.364.993,46 + \text{Rp } 176.785,71 = \text{Rp } 7.541.779,17$$

Hasil ini menunjukkan bahwa setiap alternatif percepatan berdampak langsung terhadap peningkatan biaya, sebanding dengan jumlah hari dan jam lembur yang diterapkan.

Percepatan pekerjaan melalui penambahan jam kerja (lembur) menyebabkan peningkatan biaya langsung (crash cost) dibandingkan dengan kondisi normal. Pada durasi crashing maksimal selama 8 hari, total biaya percepatan mencapai Rp 8.779.279,17, sedangkan pada crashing minimal selama 1 hari, biaya percepatan tercatat sebesar Rp 7.541.779,17. Selisih biaya tersebut menunjukkan bahwa semakin besar upaya percepatan, semakin tinggi tambahan biaya lembur yang dibutuhkan. Oleh karena itu, penentuan strategi percepatan harus mempertimbangkan keseimbangan antara penghematan waktu dan efisiensi biaya agar tetap optimal secara teknis dan ekonomis.

3.3. Cost Slope

Cost slope merupakan pertambahan biaya langsung untuk mempercepat suatu aktivitas per satuan waktu. Pertambahan biaya tersebut berbanding lurus dengan nilai crash cost. Semakin besar crash cost-nya maka semakin besar nilai cost slope-nya dan sebaliknya. Durasi yang direncanakan juga mempengaruhi besarnya nilai biaya percepatan ini. Berikut perhitungan cost slope untuk pekerjaan Pembuatan Balok Latte 10/15 dengan durasi crashing maksimal:

$$\text{Cost Slope/hari} = \text{Rp } 565.714,29$$

$$\begin{aligned} \text{Cost Slope dengan crashing 8 hari} &= (\text{Rp } 565.714,29 \times 8) \\ &= \text{Rp } 4.525.714,32 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan cost slope untuk pekerjaan Pembuatan Balok Latte 10/15 dengan durasi crashing minimal:

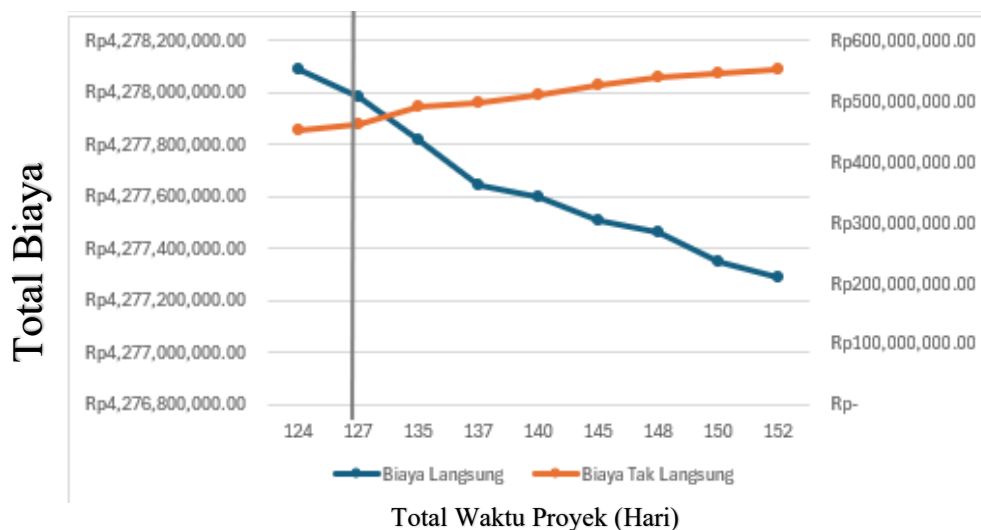
$$\text{Cost Slope/hari} = \text{Rp } 6.547,62$$

$$\begin{aligned} \text{Cost Slope dengan crashing 1 hari} &= (\text{Rp } 6.547,62 \times 1) \\ &= \text{Rp } 6.547,62 \end{aligned}$$

Setelah diketahui cost slope (penambahan biaya akibat percepatan) per hari maka langkah selanjutnya adalah menghitung cost slope dengan durasi crashing yang ada. Berdasarkan perhitungan untuk pekerjaan Pembuatan Balok Latte 10/15, untuk durasi crashing 8 hari didapatkan cost slope sebesar Rp 4.525.714,32, kemudian untuk durasi crashing 1 hari didapatkan cost slope sebesar Rp 6.547,62.

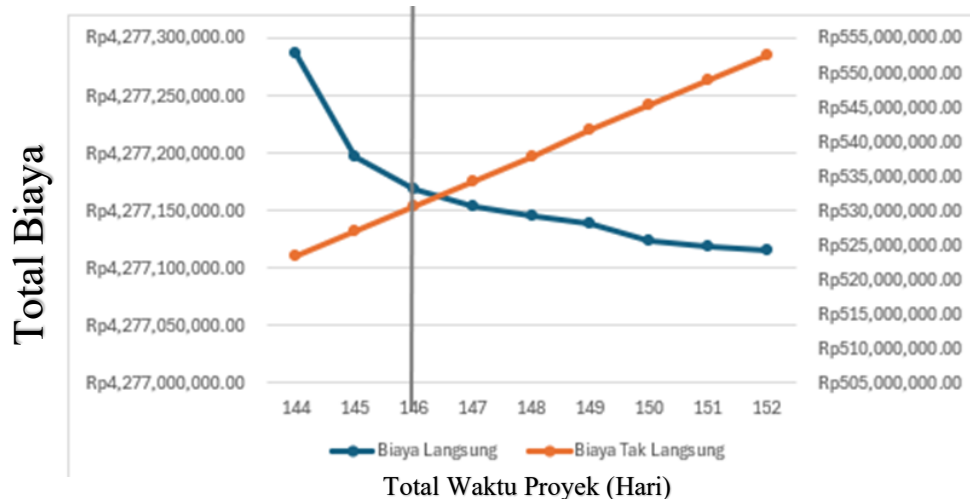
3.4. Time Cost Trade Off Analysis

Analisis *Time Cost Trade Off* (TCTO) dilakukan untuk menentukan kombinasi optimal antara durasi proyek dan total biaya dengan melakukan percepatan (*crashing*) pada aktivitas-aktivitas lintasan kritis. Langkah awal dilakukan dengan menghitung *cost slope* setiap aktivitas untuk mengidentifikasi efisiensi biaya percepatan. Aktivitas dengan *cost slope* terendah diprioritaskan dalam proses kompresi karena menawarkan tambahan biaya minimal untuk setiap hari percepatan. Dua pendekatan TCTO diterapkan dalam studi ini, yaitu *crashing maksimal* dan *crashing minimal*.



Gambar 2. Grafik Hubungan Waktu dan Biaya Dipersingkat Pada TCTO Maksimal

Pada pendekatan maksimal, proyek berhasil dipercepat dari 153 hari menjadi 131 hari. Total biaya pada durasi ini adalah Rp 4.740.724.868, menunjukkan penghematan sebesar Rp 92.408.054 dibanding kondisi normal. Efisiensi biaya ini terutama berasal dari penurunan biaya tidak langsung akibat pemangkasan durasi proyek, meskipun terdapat sedikit peningkatan biaya langsung akibat lembur.



Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu dan Biaya Dipersingkat Pada TCTO Minimal

Sementara itu, pada pendekatan *crashing minimal*, percepatan dilakukan secara bertahap dan konservatif, menghasilkan durasi optimal 146 hari dengan total biaya terendah sebesar Rp 4.807.752.838. Penghematan sebesar Rp 25.380.084 dicapai dengan tetap menjaga efisiensi biaya langsung dan menekan biaya tidak langsung secara progresif. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan durasi proyek secara terencana mampu menghasilkan efisiensi anggaran. Grafik hubungan antara waktu dan biaya menunjukkan bahwa meskipun biaya langsung meningkat selama percepatan, tren penurunan biaya tidak langsung secara keseluruhan memberikan efek penghematan total. Titik efisiensi optimal tercapai pada durasi 131 hari untuk *crashing maksimal*, dan 146 hari untuk *crashing minimal*, masing-masing mencerminkan dua strategi pengendalian waktu yang efektif sesuai kebutuhan proyek.

Berdasarkan hasil analisis TCTO maksimal dan minimal, diperoleh bahwa kombinasi waktu dan biaya paling optimal tercapai pada pendekatan *crashing maksimal*, yaitu dengan durasi proyek 131 hari dan total biaya sebesar Rp 4.740.724.868,37. Dibandingkan dengan durasi normal selama 153 hari, terjadi percepatan sebesar 22 hari dan penghematan biaya sebesar Rp 92.408.054 dari total biaya kondisi normal (Rp 4.833.132.922,27). Efisiensi ini terutama berasal dari penurunan biaya tidak langsung akibat pemangkasan waktu proyek. Selain keuntungan biaya, percepatan ini juga memberikan ruang waktu yang lebih fleksibel untuk penyelesaian administrasi seperti *Provisional Hand Over* (PHO). Dengan waktu PHO standar 22 hari, proyek dapat diselesaikan lebih awal, memberikan cadangan waktu yang cukup bagi tahapan administratif. Oleh karena itu, durasi 131 hari dengan pendekatan *crashing maksimal* dapat disimpulkan sebagai skenario paling efisien secara teknis dan ekonomis dalam proyek ini.

3.5. Hitungan Efisiensi Waktu dan Biaya Proyek

Efisiensi proyek dihitung dengan membandingkan durasi dan total biaya antara kondisi normal dan kondisi setelah percepatan melalui penambahan jam kerja (lembur) secara optimum. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa durasi proyek berkurang dari 153 hari menjadi 131 hari, sementara total biaya menurun dari Rp 4.833.132.922,27 menjadi Rp 4.740.724.868,37. Efisiensi waktu yang dicapai sebesar 14,38%, setara dengan pengurangan durasi selama 22 hari. Sementara itu, efisiensi biaya mencapai 1,91%, atau penghematan sebesar Rp 92.408.054. Hasil ini menegaskan bahwa strategi percepatan dengan lembur optimal terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi waktu sekaligus memberikan penghematan anggaran proyek secara keseluruhan.

3.6. Analisis Network Diagram

Penyusunan *network diagram* dalam proyek pembangunan Gedung Food Court memiliki peran penting dalam mengelola kompleksitas item pekerjaan yang saling bergantung. Dengan menggunakan pendekatan *Precedence Diagram Method* (PDM), perencanaan proyek dilakukan secara sistematis untuk memetakan hubungan antar aktivitas, menghitung *total float*, dan mengidentifikasi lintasan kritis (*critical path*). Implementasi

PDM dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Project 2016, yang berfungsi tidak hanya untuk menyusun diagram preseden, tetapi juga untuk menghitung durasi percepatan (*crash duration*), biaya percepatan (*crash cost*), dan *cost slope* sebagai dasar dalam analisis *Time Cost Trade Off* (TCTO). Hasil penyusunan menunjukkan bahwa durasi proyek dapat dikurangi dari 153 hari menjadi 131 hari melalui strategi percepatan berbasis aktivitas kritis, dengan efisiensi waktu sebesar 14,38% dan efisiensi biaya sebesar 1,91%.

Tidak seperti kurva-S yang bersifat deskriptif kumulatif, network diagram memberikan kemampuan analitis dalam mengidentifikasi aktivitas kritis yang tidak memiliki kelonggaran waktu ($\text{total float} = 0$) dan aktivitas non-kritis yang masih dapat dijadwalkan ulang. Dengan demikian, sumber daya dapat dialokasikan secara lebih tepat untuk mencegah keterlambatan lanjutan pada jalur kritis. Pendekatan ini membuktikan bahwa pemanfaatan network diagram berbasis PDM mampu meningkatkan akurasi perencanaan dan pengawasan proyek, serta mendukung pengambilan keputusan strategis terkait percepatan proyek dan efisiensi anggaran secara menyeluruh.

3.7. Analisis Percepatan Proyek

Analisis percepatan proyek dilakukan sebagai respons terhadap deviasi pelaksanaan yang teridentifikasi berdasarkan kurva-S, khususnya pada minggu ke-18 hingga minggu ke-24, dengan akumulasi keterlambatan mencapai 40,80%. Untuk menanggulangi keterlambatan ini, diterapkan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) dengan pendekatan *Precedence Diagram Method* (PDM), yang disusun menggunakan perangkat lunak Microsoft Project 2016. Identifikasi aktivitas kritis dilakukan untuk menentukan pekerjaan yang memiliki potensi percepatan melalui teknik *crashing*. Strategi yang digunakan dalam penelitian ini adalah penambahan jam kerja lembur sebanyak 3 jam per hari sejak awal pelaksanaan proyek, tanpa penambahan tenaga kerja atau alat berat tambahan. Pendekatan ini dipilih karena dinilai lebih efisien secara biaya dengan memanfaatkan sumber daya yang telah tersedia di lapangan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi percepatan ini mampu mengurangi durasi proyek dari kondisi normal selama 153 hari menjadi 144 hari pada skenario *crashing* minimal, dan menjadi 131 hari pada skenario *crashing* maksimal. Selain pengurangan durasi, pendekatan *crashing* maksimal juga memberikan efisiensi biaya dengan total anggaran proyek sebesar Rp 4.740.724.868, yang berarti terdapat penghematan sebesar Rp 92.408.054 dibandingkan dengan kondisi normal (Rp 4.833.132.922). Lebih lanjut, percepatan ini juga memberikan kelonggaran waktu untuk menyelesaikan tahapan administratif seperti *Provisional Hand Over* (PHO). Namun, perlu dicatat bahwa strategi percepatan yang dianalisis terbatas pada satu skenario lembur, sehingga alternatif strategi percepatan lain seperti penambahan 1–2 jam kerja atau peningkatan kapasitas sumber daya belum dievaluasi lebih lanjut. Hal ini menjadi catatan penting untuk pengembangan penelitian lanjutan yang lebih komprehensif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dengan pendekatan *Time Cost Trade Off* dan metode *Precedence Diagram Method* (PDM), durasi optimal penyelesaian proyek pembangunan Gedung Food Court di Lapangan Eks Batalyon Cilacap berhasil ditetapkan dari kondisi awal 153 hari menjadi 131 hari. Percepatan ini dilakukan dengan menerapkan strategi lembur 3 jam per hari pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis, sehingga menghasilkan efisiensi waktu sebesar 14,38% atau penghematan waktu selama 22 hari. Percepatan ini juga memungkinkan penyelesaian proyek lebih awal dari batas administratif *Provisional Hand Over* (PHO) sebesar 22 hari, memberi ruang aman untuk penyelesaian dokumen dan serah terima proyek.

Metode PDM secara efektif mengidentifikasi jalur kritis serta menghitung total float dari setiap aktivitas. Hasil analisis menunjukkan bahwa strategi *crashing* memberikan pengaruh langsung terhadap efisiensi waktu dan biaya. Pada kondisi normal, total biaya proyek sebesar Rp 4.833.132.922,27. Setelah dilakukan *crashing* maksimal, biaya turun menjadi Rp 4.740.724.868,37, menghasilkan efisiensi biaya sebesar 1,91% atau penghematan Rp 92.408.054, yang berasal terutama dari penurunan biaya tidak langsung akibat pemangkasan durasi proyek.

Perbandingan tiga skenario menunjukkan bahwa: (1) kondisi normal menyelesaikan proyek dalam 153 hari dengan biaya Rp 4.833.132.922,27, (2) *crashing* minimal menyelesaikan proyek dalam 144 hari dengan biaya Rp 4.808.602.405,55 (efisiensi waktu 5,88%, biaya 0,51%), dan (3) *crashing* maksimal menyelesaikan proyek dalam 131 hari dengan biaya Rp 4.740.724.868,37 (efisiensi waktu 14,38%, biaya 1,91%). Dengan demikian, strategi *crashing* maksimal menjadi alternatif paling efisien dalam hal penghematan waktu dan biaya pelaksanaan proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khaidir, I. (2013). Analisis faktor-faktor penyebab keterlambatan pelaksanaan proyek konstruksi. *Jurnal Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta*, 1(1), 1–10.
- [2] Sofia, D. A., & Putri, A. A. E. (2021). Analisis Perbandingan Penambahan Jam Kerja dan Tenaga Kerja terhadap Waktu dan Biaya Proyek dengan Metode *Time Cost Trade Off*. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 12, pp. 846-854).

-
- [3] Vebiola, N. E., & Waskito, J. P. H. (2020). Analisis Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Basement Kawasan Balai Pemuda). *axial: jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, 8(2), 113-120.
 - [4] Rudianto, A. T. A., Munasih, M., & Winanda, L. A. R. (2020). Analisa Percepatan Waktu Pelaksanaan Proyek Dengan Metode Time Cost Trade Off (TCTO). *Student Journal GELAGAR*, 2(2), 217-223.
 - [5] Saroni, T. B. (2022). Analisis Pertukaran Waktu Dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off (Tcto) Pada Proyek Pembangunan Kantor Kelurahan Sidodadi Kota Samarinda. *Kurva Mahasiswa*, 12(2), 108-127.
 - [6] Salasa, B. S., Sari, D. P., Sudiby, A., Nur, A. R., & Dosen, J. T. S. (2023). Optimasi Waktu Dan Biaya Pelaksanaan Proyek Jalan Dengan Metode Crash Program (Studi Kasus: Pemeliharaan Jalan Kecamatan Tenggarong Seberang Dan Tenggarong). *Rekayasa Sipil*, 17(1), 47-53.
 - [7] Angelia, C., Mulyatno, I. P., & Chrismianto, D. (2021). Aplikasi Metode Time Cost Trade Off Akibat Keterlambatan Bagian Mesin Pada Proyek Pembangunan Mooring Boat Milik PT. Pertamina Trans Kontinental. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(3).
 - [8] Maharani, D. P., Setyawan, A., & Setiono, S. (2024). Time and Cost Optimization Analysis of Reservoir Building Work in Wosusokas Regional SPAM Project using Time Cost Trade Off Method. *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(4), 12-12.
 - [9] Pratiwi, R., Devi, S. M., Marini, A., & Sari, H. M. (2022). Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) Pada Proyek Penambahan Bangunan Pasar Rakyat. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Transukma*, 4(2), 93-105.

Hidrologi Forensik terhadap Peristiwa Banjir Ekstrem di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan

Forensic Hydrology of Extreme Flood Events in Way Pisang Subwatershed, Way Kanan Regency

Muhammad Hakiem Sedo Putra¹, Zainal Alim², M. Ridho Ulya³

¹Program Studi Rekayasa Tata Kelola Air Terpadu Institut Teknologi Sumatera

² Perum Jasa Tirta I, Malang

³Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Lampung

Informasi Artikel

Dikirim, 10 Juli 2025
Direvisi, 29 Januari 2026
Diterima, 29 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Muhammad Hakiem Sedo
Putra
Program Studi Rekayasa Tata
Kelola Air Terpadu
Institut Teknologi Sumatera
Email:
muhammad.sedo@tka.itera.ac.id

ABSTRAK

Hidrologi forensik merupakan pendekatan ilmiah untuk mengungkap penyebab, kronologi, dan dampak dari peristiwa hidrologi ekstrem, seperti banjir besar, yang sering menimbulkan kerusakan infrastruktur dan kerugian sosial ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peristiwa banjir ekstrem yang terjadi di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan, dengan menggunakan pendekatan forensik berbasis data hujan, data debit sungai, dokumentasi lapangan, dan wawancara masyarakat. Analisis dilakukan untuk merekonstruksi waktu puncak banjir, menganalisis kecepatan dan volume aliran, serta mengaitkannya dengan kerusakan infrastruktur yang terjadi, khususnya jembatan dan tanggul sungai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kejadian banjir disebabkan oleh hujan ekstrem dengan intensitas >150 mm/hari yang terjadi secara berturut-turut, ditambah dengan buruknya sistem drainase dan hilangnya vegetasi bantaran. Pendekatan hidrologi forensik terbukti dapat memberikan gambaran menyeluruh atas rangkaian peristiwa dan memperkuat dasar ilmiah untuk perencanaan mitigasi bencana ke depan.

Kata Kunci : banjir, hidrologi forensik, kerusakan infrastruktur, rekonstruksi kejadian, sub DAS

ABSTRACT

Forensic hydrology is a scientific approach to investigating the causes, chronology, and impacts of extreme hydrological events, such as major floods, which often result in severe infrastructure damage and socio-economic losses. This study aims to analyze an extreme flood event in the Way Pisang Sub-Watershed, Way Kanan Regency, using a forensic approach based on rainfall data, river discharge records, field documentation, and community interviews. The analysis focuses on reconstructing the flood peak timing, flow velocity, and water volume, and correlating them with the observed infrastructure damage, particularly to bridges and riverbanks. The results indicate that the flood was triggered by extreme rainfall exceeding 150 mm/day over consecutive days, exacerbated by poor drainage systems and the degradation of riparian vegetation. Forensic hydrology proves to be an effective framework for understanding the sequence of flood events and serves as a scientific foundation for future disaster risk mitigation planning.

Keyword : flood, forensic hydrology, infrastructure damage, event reconstruction, sub-watershed

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia, dengan tren yang cenderung meningkat baik dari segi frekuensi maupun dampaknya. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sepanjang tahun 2023 terjadi lebih dari 1.300 kejadian banjir di berbagai wilayah Indonesia [1], menyebabkan kerusakan rumah, lahan pertanian, serta infrastruktur vital seperti jembatan, jalan nasional, dan tanggul sungai. Bencana ini tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi, tetapi juga menimbulkan trauma sosial, gangguan aktivitas masyarakat, bahkan korban jiwa [2].

Salah satu wilayah yang terdampak secara berulang adalah Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Di wilayah ini, terutama di kawasan Sub DAS Way Pisang[3], peristiwa banjir besar terjadi pada awal tahun 2023 dan 2024, dengan luapan air yang menyebabkan kerusakan pada badan jalan, jembatan penghubung antar kampung, serta menyebabkan lumpuhnya aktivitas ekonomi warga. Meskipun kejadian ini telah menjadi perhatian pemerintah daerah, investigasi terhadap penyebab dan kronologi banjir umumnya masih bersifat naratif, bersandar pada keterangan saksi dan observasi lapangan tanpa didukung analisis hidrologis yang mendalam [4].

Sebagian besar kajian banjir di tingkat lokal berfokus pada upaya tanggap darurat dan rehabilitasi, bukan pada proses investigasi teknis yang dapat menjelaskan “mengapa” dan “bagaimana” banjir terjadi. Padahal, untuk menyusun strategi mitigasi dan adaptasi yang tepat, dibutuhkan analisis retrospektif yang mampu mengungkap sebab-akibat suatu peristiwa banjir secara ilmiah dan berbasis data [5].

Dalam konteks inilah, hidrologi forensik (*forensic hydrology*) menjadi pendekatan yang sangat relevan. Hidrologi forensik adalah metode ilmiah untuk merekonstruksi peristiwa hidrologi ekstrem melalui penggabungan data curah hujan, debit sungai, bukti visual, jejak kerusakan infrastruktur, serta keterangan masyarakat. Pendekatan ini tidak hanya menjelaskan kejadian banjir dari sisi waktu dan lokasi, tetapi juga mampu mengidentifikasi faktor-faktor penyebab utama, seperti perubahan tata guna lahan, hilangnya vegetasi bantaran, kerusakan sistem drainase, hingga kegagalan struktur pengendali banjir [6].

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan pendekatan hidrologi forensik dalam menganalisis peristiwa banjir ekstrem yang terjadi di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan. Fokus utama meliputi: (1) rekonstruksi kronologi dan pola kejadian banjir, (2) analisis keterkaitan antara curah hujan ekstrem, kapasitas sungai, dan kerusakan infrastruktur, serta (3) perumusan rekomendasi teknis berbasis data untuk mendukung perencanaan mitigasi banjir di masa mendatang.

Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan informasi yang komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah sebagai dasar untuk advokasi kebijakan tata ruang, penguatan sistem peringatan dini, serta edukasi masyarakat terhadap risiko banjir yang terus meningkat di tengah perubahan iklim dan degradasi lingkungan [7].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Way Pisang yang terletak di Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Wilayah ini dipilih berdasarkan kejadian banjir besar yang terjadi pada awal tahun 2024, yang menyebabkan kerusakan pada jembatan penghubung, badan jalan desa, dan lahan pertanian. Penelitian berlangsung selama Februari–Mei 2025, dengan cakupan kegiatan mulai dari pengumpulan data sekunder, survei lapangan, hingga analisis data hidrologi dan spasial [8].

2.2. Pendekatan dan Tahapan Penelitian

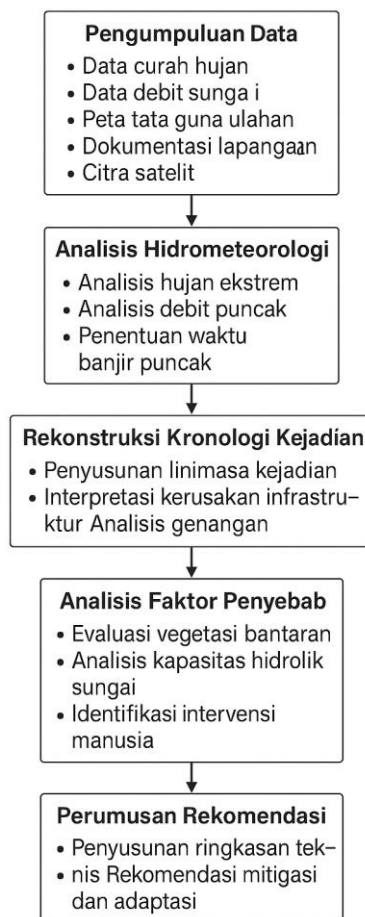
Penelitian menggunakan pendekatan hidrologi forensik yang bertujuan merekonstruksi kejadian banjir secara sistematis dan ilmiah. Tahapan penelitian terdiri atas:

1. Pengumpulan Data
 - a. Data curah hujan harian dan intensitas ekstrem (3–5 hari sebelum kejadian) dari BMKG.
 - b. Data debit sungai dan tinggi muka air dari Balai Wilayah Sungai (BWS) dan PUPR setempat.
 - c. Peta tata guna lahan multi-temporal (5 tahun terakhir).
 - d. Dokumentasi lapangan dan wawancara warga.
 - e. Citra satelit resolusi menengah (Sentinel-2) untuk analisis genangan dan perubahan penutup lahan.
2. Analisis Hidrometeorologi
 - a. Identifikasi hujan ekstrem menggunakan kriteria curah hujan harian >100 mm/hari.
 - b. Analisis debit puncak dengan metode rasional dan HEC-HMS (jika data memungkinkan).
 - c. Penentuan waktu banjir puncak (lag time) dan durasi genangan.
3. Rekonstruksi Kronologi Kejadian
 - a. Penyusunan linimasa kejadian banjir (rainfall–runoff–damage chronology)
 - b. Interpretasi kerusakan fisik infrastruktur dan genangan dari dokumentasi lapangan dan data spasial.
 - c. Identifikasi titik-titik kritis kerusakan.

4. Analisis Faktor Penyebab
 - a. Evaluasi kondisi vegetasi bantaran dan penggunaan lahan.
 - b. Analisis kapasitas hidrolik sungai (cross section dan slope).
 - c. Identifikasi intervensi manusia (penyempitan, sedimentasi, pengurangan, dll).
5. Perumusan Rekomendasi
 - a. Penyusunan ringkasan teknis temuan forensik.
 - b. Rekomendasi teknis dan kebijakan untuk mitigasi dan adaptasi.

2.3. Diagram Alur Penelitian

Berikut adalah alur metodologi yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Alur Pendekatan Hidrologi Forensik dalam Penelitian

Diagram alur dalam Gambar 1 menggambarkan tahapan pendekatan hidrologi forensik yang diterapkan dalam penelitian ini. Proses dimulai dari pengumpulan data primer dan sekunder, yang mencakup data meteorologis (curah hujan harian dan intensitas hujan ekstrem), data hidrologis (debit sungai dan tinggi muka air), peta penggunaan lahan, dokumentasi lapangan, dan citra satelit resolusi menengah. Data ini dikumpulkan dari berbagai sumber resmi dan lapangan, serta diperkuat dengan wawancara mendalam kepada warga terdampak [9].

Tahap selanjutnya adalah analisis hidrometeorologis, di mana data hujan dianalisis untuk mengidentifikasi intensitas dan pola hujan ekstrem yang memicu kejadian banjir. Data debit dianalisis untuk menentukan laju aliran dan waktu puncak banjir (lag time). Tahap ini juga mencakup analisis hidrograf dan estimasi kapasitas tampung sungai berdasarkan kondisi eksisting.

Setelah itu, dilakukan rekonstruksi kronologi kejadian. Proses ini menggabungkan data waktu hujan, aliran sungai, puncak genangan, dan dokumentasi visual untuk menyusun linimasa kejadian banjir secara detail. Pendekatan ini memungkinkan pemetaan hubungan antara intensitas hujan, respons DAS, dan dampak kerusakan [10].

Tahap berikutnya adalah analisis faktor penyebab, baik dari aspek biofisik (kemiringan lahan, perubahan vegetasi, sedimentasi sungai) maupun antropogenik (perubahan tata guna lahan, penyempitan sungai, kondisi drainase). Analisis spasial dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik kritis meluapnya sungai dan daerah terdampak genangan.

Terakhir, hasil investigasi digunakan sebagai dasar dalam perumusan rekomendasi teknis dan kebijakan mitigatif. Rekomendasi difokuskan pada upaya peningkatan kapasitas sungai, restorasi vegetasi bantaran, desain ulang infrastruktur, serta peringatan dini berbasis data [11].

Dengan pendekatan sistematis ini, penelitian diharapkan mampu menghasilkan informasi yang tidak hanya bersifat retrospektif, tetapi juga memberikan arah tindakan preventif dan adaptif dalam pengelolaan risiko banjir [12].

2.4. Teknik Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif mencakup:

- Perhitungan debit puncak menggunakan metode rasional atau transformasi unit hydrograph (jika tersedia data rinci).
- Analisis curah hujan ekstrem berdasarkan distribusi frekuensi hujan (Gumbel, Log Pearson III).
- Perbandingan debit aktual dan kapasitas saluran untuk mengidentifikasi titik-titik meluap.
- Overlay spasial antara area terdampak dan peta penggunaan lahan dengan bantuan QGIS atau perangkat lunak sejenis.

Sementara itu, analisis kualitatif mencakup:

- Kronologi kejadian berdasarkan wawancara dan dokumentasi waktu peristiwa.
- Identifikasi kerusakan infrastruktur melalui observasi visual dan pencatatan lokasi.
- Interpretasi visual genangan dari citra Sentinel-2 dengan penajaman indeks NDWI (Normalized Difference Water Index) [13].

2.5. Validasi dan Triangulasi Data

Untuk meningkatkan keandalan hasil, dilakukan triangulasi data, yaitu:

- Perbandingan antara data curah hujan dari BMKG dengan laporan warga (ground check).
- Verifikasi peta genangan dari citra satelit dengan dokumentasi lapangan dan kesaksian warga.
- Analisis debit sungai dibandingkan dengan kondisi geometrik sungai hasil pengukuran langsung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kronologi Kejadian Banjir

Banjir ekstrem di Sub DAS Way Pisang terjadi pada tanggal 2 Februari 2024, diawali oleh hujan dengan intensitas tinggi yang berlangsung sejak 31 Januari malam hingga 2 Februari pagi. Hasil wawancara menunjukkan bahwa genangan mulai merata pukul 04.00 WIB, dan puncak aliran terjadi sekitar pukul 06.30 WIB. Tinggi muka air di pemukiman warga mencapai 1,2–1,8 meter, dan mulai surut secara signifikan pukul 12.00 WIB.

Banjir menyebabkan kerusakan pada satu unit jembatan gantung, dua titik badan jalan desa yang terputus, serta melumpuhkan akses warga selama lebih dari 12 jam.

3.2. Analisis Curah Hujan dan Debit

Data curah hujan dari stasiun terdekat (BMKG Blambangan Umpu) menunjukkan bahwa curah hujan kumulatif selama 3 hari mencapai 292 mm, dengan puncak intensitas harian sebesar 156 mm/hari pada 1 Februari 2024. Nilai ini melebihi ambang hujan ekstrem berdasarkan klasifikasi BMKG (>100 mm/hari).

Tabel 1. Rekapitulasi Curah Hujan Sebelum Kejadian Banjir

Tanggal	Curah Hujan (mm)
30 Januari 2024	48
31 Januari 2024	88
1 Februari 2024	156
Total	292

Sumber : Data Sekunder 2024

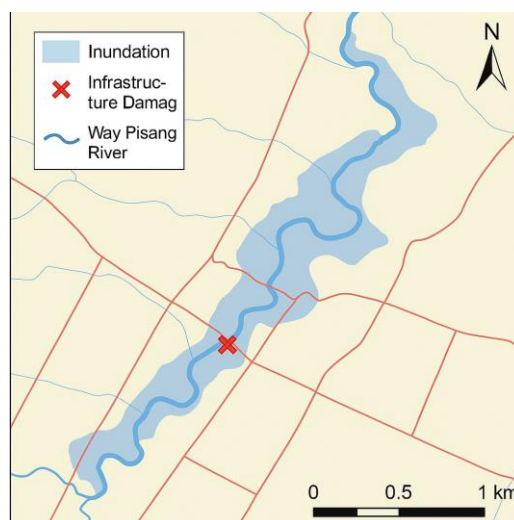
Menggunakan metode rasional, debit puncak dihitung berdasarkan luas DAS ±23,5 km², intensitas hujan 100 mm/jam, dan koefisien limpasan 0,6.

$$Q = C \times i \times A = 0,6 \times 100 \times 23,5 = 1.410 \text{ m}^3/\text{detik} \dots \dots \dots (1)$$

Debit ini jauh melebihi kapasitas sungai Way Pisang yang diperkirakan hanya ± 500 m³/detik, sehingga banjir besar tak terhindarkan.

3.3. Analisis Spasi dan Kerusakan Infrastruktur

Analisis spasial berbasis citra Sentinel-2 dan observasi lapangan menunjukkan bahwa banjir merendam area seluas 87 hektar, mencakup lahan pertanian dan permukiman. Overlay antara peta genangan dan jaringan infrastruktur menunjukkan bahwa kerusakan paling parah terjadi di dekat tikungan sungai dan lokasi penyempitan saluran.



Gambar 2. Peta Area Genangan Banjir dan Titik Kerusakan Infrastruktur

Kerusakan jembatan terjadi akibat erosi fondasi dan scouring pada pangkal abutmen yang tidak dilindungi. Sementara itu, jalan desa terputus di dua titik akibat gaya angkat (uplift) dan aliran permukaan deras yang melampaui badan jalan tanpa drainase lateral yang memadai.

3.4. Evaluasi Faktor Penyebab

Investigasi menunjukkan bahwa banjir dipicu oleh kombinasi faktor:

- Curah hujan ekstrem selama tiga hari berturut-turut.
- Peningkatan limpasan permukaan akibat alih fungsi lahan dari semak dan hutan rakyat menjadi kebun jagung dan sawit.
- Sedimentasi sungai yang mempersempit lebar penampang basah di titik-titik kritis.
- Ketiadaan infrastruktur pengendali air seperti sabo dam atau kolam retensi di hulu.

Citra penggunaan lahan menunjukkan bahwa area tutupan vegetasi berkurang 35% dalam lima tahun terakhir. Hal ini secara langsung meningkatkan koefisien aliran dan mengurangi kemampuan infiltrasi tanah.

3.5. Implikasi dan Pembelajaran

Pendekatan hidrologi forensik dalam studi ini terbukti mampu memberikan narasi kronologis dan identifikasi teknis atas banjir yang terjadi. Hasil ini sangat relevan bagi:

- Pemerintah daerah, untuk menyusun kebijakan tata ruang berbasis risiko banjir.
- Insinyur dan perencana, dalam mendesain ulang struktur infrastruktur yang lebih adaptif.
- Masyarakat, untuk memahami dan memitigasi risiko melalui rehabilitasi vegetasi dan kesadaran lokal.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan hidrologi forensik efektif dalam mengungkap penyebab dan kronologi kejadian banjir ekstrem di Sub DAS Way Pisang. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan:

Banjir yang terjadi pada awal Februari 2024 dipicu oleh curah hujan ekstrem berturut-turut dengan akumulasi lebih dari 290 mm dalam tiga hari, yang melampaui ambang hujan ekstrem regional.

Debit aliran puncak mencapai sekitar 1.410 m³/detik, jauh melebihi kapasitas sungai eksisting, yang berkontribusi langsung terhadap luapan dan genangan seluas ± 87 hektar.

Faktor penyebab non-klimatik seperti perubahan tata guna lahan, sedimentasi sungai, dan buruknya infrastruktur pengendali air memperparah dampak banjir.

Infrastruktur rusak terutama karena scouring dan gaya angkat air yang tidak tertahan, diperparah oleh desain struktural yang tidak mempertimbangkan perubahan karakteristik aliran.

Pendekatan hidrologi forensik membantu menyusun kronologi kejadian secara rinci dan menghasilkan basis ilmiah yang dapat digunakan dalam evaluasi desain, mitigasi risiko, dan perencanaan adaptif..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Karakteristik *et al.*, “Korelasi karakteristik fisik rumah dan tingkat kerentanan sosio-ekonomi di tepian sungai kapuas Pontianak,” *researchgate.net*, 2021, doi: 10.14710/jwl.9.1.50-62.
- [2] R. Nandini, A. K.- Land, and undefined 2022, “Land Use Improvement as the Drought Mitigation to Manage Climate Change in the Dodokan Watershed, Lombok, Indonesia,” *mdpi.com*, Accessed: Dec. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/7/1060>
- [3] M. Hakiem and S. Putra, “Analisis Kebutuhan Air Irigasi Menggunakan Software Cropwat 8.0 (Studi Kasus: Daerah Irigasi Sekampung Batanghari),” *MEDIA Komun. Tek. SIPIL*, vol. 30, no. 2, pp. 246–255, Mar. 2025, doi: 10.14710/MKTS.V30I2.66772.
- [4] R. T. Napitupulu and M. H. S. Putra, “PENGARUH BOD, COD DAN DO TERHADAP LINGKUNGAN DALAM PENENTUAN KUALITAS AIR BERSIH DI SUNGAI PESANGGRAHAN,” *CIVeng J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 5, no. 2, pp. 79–82, Jul. 2024, doi: 10.30595/CIVENG.V5I2.17878.
- [5] E. Rizqullah, Y. Feriska, M. T.-J. P. Tambusai, and undefined 2023, “Analisis Tata Kelola Drainase Perkotaan Sigeleng dalam Mengatasi Banjir di Kecamatan Brebes,” *jptam.org*, Accessed: Oct. 31, 2024. [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/7946>
- [6] H. Setiawan *et al.*, “Analisis penyebab banjir di kota Samarinda,” *ejournal.upi.edu*, vol. 20, no. 1, 2020, Accessed: Apr. 17, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.upi.edu/index.php/gea/article/view/22021/0>
- [7] R. Balahanti, W. Mononimbar, P. G.- Spasial, and undefined 2023, “Analisis tingkat kerentanan banjir di kecamatan singkil kota manado,” *ejournal.unsrat.ac.id*, vol. 11, p. 2023, Accessed: Oct. 22, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/spasial/article/view/51447>
- [8] M. H. S. Putra, “Analisa Komposisi Sampah yang Dihasilkan Berdasarkan Sifat dan Karakternya di Kampus Institut Teknologi Sumatera 2023,” *CIVeng J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 13–18, Jan. 2025, doi: 10.30595/CIVENG.V6I1.24156.
- [9] H. Di, K. Pasar, P. Pagi, K. K. Anwar, and G. Leuser, “Evaluasi dan Rencana Pengembangan Sistem Drainase di Kecamatan Tegal Barat, Kota Tegal,” *jurnal.eraliterasi.com*, vol. 3, no. 1, pp. 7–12, 2022, Accessed: Oct. 31, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.eraliterasi.com/index.php/erasains/article/view/99>
- [10] N. Nasution, “Peran komunikator Pembangunan dalam pemberdayaan masyarakat Program KOTAKU di Desa Aek Tuhul Kecamatan Padangsidimpuan Batunadua Kota,” 2023, Accessed: Jun. 26, 2025. [Online]. Available: <http://etd.uinsyahada.ac.id/id/eprint/10708>
- [11] M. Hakiem, S. Putra,] * Program, S. Rekayasa, T. Kelola, and A. Terpadu, “Potential of the Rainwater Harvesting Method in Fulfilling Domestic Water Needs at SD Negeri 02 Gunung Terang Bandar Lampung,” *J. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 1, pp. 01–11, Apr. 2023, doi: 10.28932/JTS.V19I1.5112.
- [12] D. E. N. Siagian and M. H. S. Putra, “SERAT ALAM SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN,” *CIVeng J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 5, no. 1, pp. 55–60, Jan. 2024, doi: 10.30595/CIVENG.V5I1.17879.
- [13] M. P.-R. J. I. F. Teknik and undefined 2021, “Penerapan Rain Water Harvesting dalam Menyediakan Air Domestik dan Mengurangi Debit Drainase di Daerah Perkotaan,” *rekayasa.ft-sipil.unila.ac.id*, vol. 25, no. 2, pp. 42–45, doi: 10.23960/rekrjits.v25i2.38.

Penerapan Struktur Komposit Sederhana Sebagai Pengganti PCI pada Jembatan Basin

Application of Simple Composite Structures as a Replacement for PCI on Basin Bridges

Ruth Maria Momot¹, Lilis Zulaicha², Marwanto³

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Informasi Artikel

Dikirim, 21 Juli 2025
Direvisi, 2 Februari 2026
Diterima, 3 Februari 2026

Korespondensi Penulis:

Ruth Maria Momot
Program Studi Teknik Sipil
Institut Teknologi Nasional
Yogyakarta
JL. Babarsari, Sleman,
Daerah istimewa Yogyakarta
Email: ruthmomot05@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan ini merupakan bagian dari proyek pembangunan Jalan Tol Solo–Yogyakarta, yang dibangun melintasi sebuah sungai di Desa Basin, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah. Wilayah ini dikategorikan sebagai daerah dengan aktivitas seismik sedang hingga tinggi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa struktur komposit baja-beton memiliki performa seismik yang lebih baik dibandingkan struktur beton konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang struktur atas jembatan dengan mengganti gelagar Precast Concrete I (PCI) menjadi struktur komposit baja-beton sederhana, mengacu pada SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya dalam maksimum yang terjadi adalah momen lentur sebesar 755,477 kNm dan gaya geser sebesar 260,197 kN. Perencanaan tulangan mencakup Ø13-200 mm untuk parapet dan kombinasi Ø13-200 mm serta Ø16-200 mm untuk pelat lantai. Gelagar memanjang menggunakan profil IWF 500.300.18.11, gelagar melintang menggunakan profil IWF 400.400.21.13, dan wind bracing bawah menggunakan profil IWF 150.150.10.7. Sambungan dirancang menggunakan pelat sudut sama sisi dengan dimensi 90.90.11 mm.

Kata Kunci : struktur atas jembatan, jembatan komposit, SAP2000, komposit baja-beton

ABSTRACT

The bridge is part of the Solo–Yogyakarta Toll Road construction project, built across a river located in Basin Village, Klaten Regency, Central Java Province. This area is categorized as having moderate to high seismic activity. Previous studies have shown that steel-concrete composite structures exhibit better seismic performance compared to conventional concrete structures. Therefore, this study aims to redesign the bridge superstructure by replacing Precast Concrete I (PCI) girders with a simple steel-concrete composite structure, referring to SNI 1725:2016 and SNI 2833:2016. Structural analysis was carried out using SAP2000 software. The analysis results indicate that the maximum internal forces are a bending moment of 755.477 kNm and a shear force of 260.197 kN. The reinforcement design includes Ø13-200 mm for the parapet and a combination of Ø13-200 mm and Ø16-200 mm for the deck slab. Longitudinal girders use IWF 500.300.18.11 profiles, transverse girders use IWF 400.400.21.13 profiles, and bottom wind bracing uses IWF 150.150.10.7 profiles. The connections are designed using equal angle plates with dimensions of 90.90.11 mm.

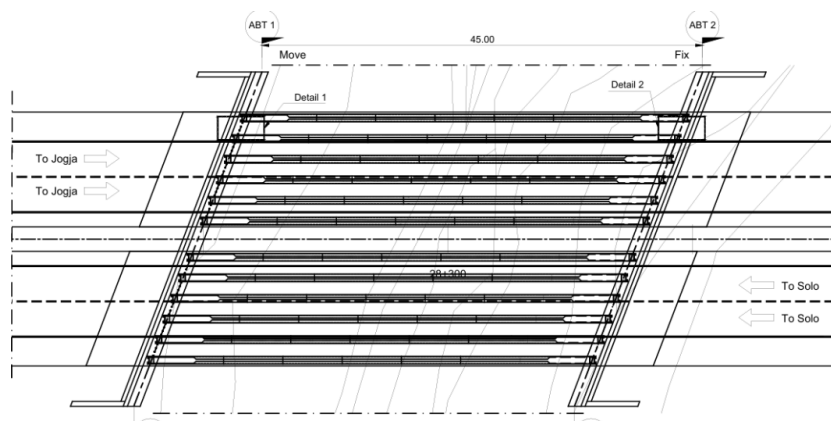
Keyword : bridge superstructure, composite bridge, SAP2000, steel-concrete composite

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang yang aktif dalam pembangunan infrastrukturnya. Pembangunan infrastruktur ini merupakan salah satu yang paling penting dilakukan. Tujuan utama dilakukan pembangunan infrastruktur ini yaitu dapat meningkatkan konektivitas, aksesibilitas, kualitas hidup serta membantu mendorong sektor pertumbuhan ekonomi dan sosial di berbagai daerah. Infrastruktur pembangunan salah satunya seperti pembangunan jembatan. Secara umum jembatan dapat didefinisikan sebagai salah satu infrastruktur pembangunan yang menghubungkan dua tempat atau titik terpisah. Pembagian komponen jembatan dibagi menjadi struktur atas jembatan dan struktur bawah jembatan.

Penelitian ini dilakukan pada struktur atas jembatan Basin yang merupakan jembatan PCI (*Precast Concrete I girder*) dengan panjang bentang 45,8 meter. Jembatan ini merupakan jembatan yang dibangun melewati sungai yang berada pada desa Basin, kabupaten Klaten dan merupakan bagian dari pembangunan pada Proyek Jalan Tol Solo – Yogyakarta. Berdasarkan peta respons spektrum sesuai SNI 2833:2016 tentang standar ketahanan gempa untuk jembatan menunjukkan wilayah kabupaten Klaten tergolong dalam wilayah dengan tingkat zona gempa sedang hingga tinggi.

Kondisi pada wilayah tersebut menjadi dasar perencanaan sistem struktur yang responsif terhadap pembebanan yang terjadi. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah dengan menerapkan struktur komposit sederhana sebagai pengganti PCI. Analisis struktur atas jembatan dilakukan dengan bantuan *software* SAP2000 V.22.00 dengan acuan peraturan yang digunakan dalam penelitian ini adalah SNI 1725:2016 tentang “Pembebanan untuk jembatan” dan SNI 2833:2016 tentang “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan”.



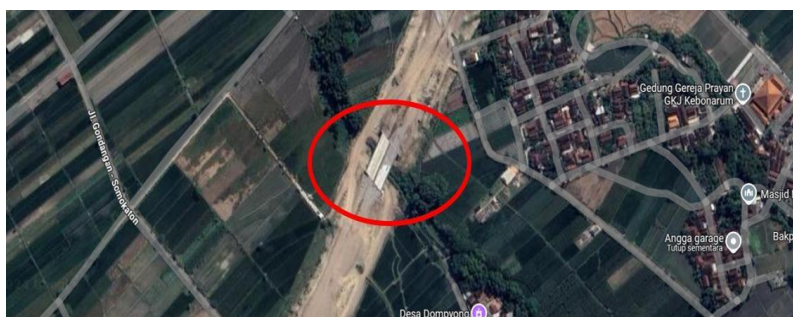
Gambar 1. Struktur Jembatan PCI

2. METODE PENELITIAN

Perencanaan struktur atas jembatan PCI menjadi komposit untuk mengetahui efisiensi dari jembatan komposit dalam menerima beban yang bekerja. Tahapan perencanaannya dilakukan dengan pengumpulan data, metode pengumpulan data yang digunakan yaitu metode observasi dan studi pustaka. pengolahan dan analisis data digunakan bantuan *software* SAP2000.

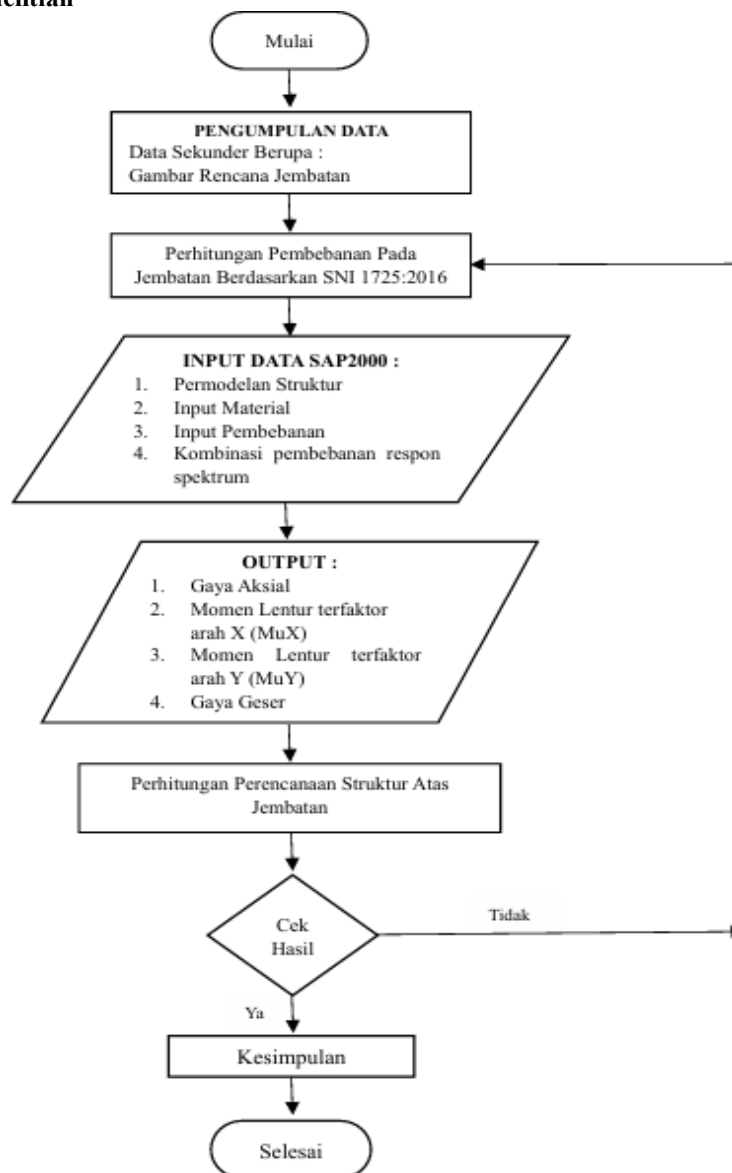
2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi objek penelitian yang berlokasi pada Desa Basin, Kecamatan Kebonarum, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah. Struktur yang ditinjau yaitu jembatan pada daerah Basin yang merupakan jembatan yang dibangun untuk melintasi Proyek Jalan Tol Solo – Jogja.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

2.2. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Perencanaan Jembatan

Tabel 1. Data Jembatan

Tipe Gelagar	:	IWF (1 Wide Flange)
Panjang total jembatan	:	45,8 m
Panjang bentang	:	11,45 m
Lebar jembatan	:	26,9 m
Tebal aspal (ta)	:	10 cm
Tebal pelat (ts)	:	20 cm
Jarak antar gelagar (s)	:	2 m
Jarak antar diafragma	:	5,72 m
Mutu beton (f_c')	:	30 MPa
Mutu baja	:	Bj 50
Gelagar memanjang	:	500.300.18.11
Gelagar melintang	:	400.400.21.13
Ikatan angin bawah	:	150.150.10.7

3.2. Pembebanan Jembatan

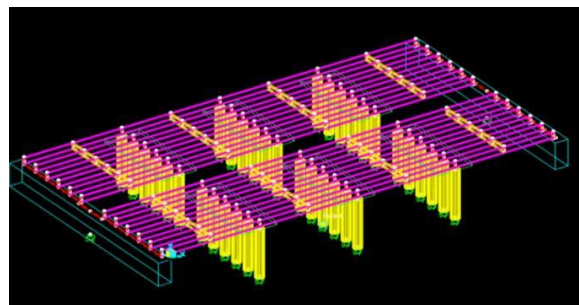
Pada perencanaan ulang jembatan komposit diperlukan perhitungan pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan. Perhitungan pembebanan berdasarakan SNI 1725:2016, beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban lajur, beban truk, beban angin dan beban gempa.

Tabel 2. Hasil Perencanaan Beban

Beban Mati (MS)	
Pelat lantai	: 6,5 kN/m
Gelagar memanjang	: 128 kg/m
Gelagar melintang	: 172 kg/m
Beban Mati Tambahan (MA)	
Aspal	: 4,4 kN.m
Sandaran	: 0,185 kN
Air hujan	: 0,98 kN/m
Beban Hidup	
Beban truk	: 112,5 kN (SNI 1725:2016)
Beban lajur	: BTR = 9,0 kN/m ² BGT = 68,6 kN/m
Beban Aksi Lingkungan	
Beban angin	: 0,751 KN
Beban gempa	: SNI 2833:2016

3.3. Analisis Struktur

Berdasarkan hasil analisis menggunakan bantuan software SAP2000 didapatkan output data yang digunakan dalam perencanaan elemen – elemen pada struktur jembatan. Output yang dihasilkan berupa momen ultimit (Mu), Gaya geser (Vu) dan gaya aksial (P).



Gambar 4. Permodelan SAP2000

3.4. Hasil Output

Dari hasil analisis menggunakan software SAP2000 didapatkan momen yang terjadi pada pelat arah memanjang (M11) = 1,896 kNm, pelat arah melintang (M22) = 9,451 kNm. Momen yang terjadi pada gelagar yaitu 755,477 kNm dan gaya geser yang terjadi pada gelagar melintang yaitu 260,197 kN.

3.5. Perencanaan Sandaran

Lebar (b) = 1000 mm

Tinggi (h) = 150 mm

Selimut beton (d) = 25 mm

Diameter tulangan = 13 mm

Momen ultimit (Mu) = 2,051 kNm

Momen nonimal (ϕM_n) = M_u / ϕ

$$= 2,051 \times 10^{0,8}$$

$$= 2563671,204 \text{ Nmm}$$

Tinggi efektif (d') = $h - d - (0,5 \times \phi \text{tulangan})$

$$= 300 - 30 - (0,5 \times 13)$$

$$= 263,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio penulangan penampang seimbang } (\rho_b) &= 0,85 \times (\beta \times f_c' / f_y) \times (600 / 600 + f_y) \\ &= 0,85 \times (0,85 \times 30 / 240) \times (600 / 600 + 240) \\ &= 0,0645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio penulangan maksimum } (\rho_{maks}) &= 0,75 \times (\rho_b) \\ &= 0,75 \times 0,0645 \\ &= 0,0484 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor tahanan } (R_n) &= M_n / b x d^2 \\ &= 2563671,204 / 1000 \times 263,5^2 \\ &= 0,0369 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio penulangan minimum } (\rho_{min}) &= 1,4 / f_y \\ &= 1,4 / 240 \\ &= 0,016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio penulangan } (\rho) &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,41} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 0,0369}{240}} \right) \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

Dengan syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks} = 0,016 < 0,0002 < 0,0484$
Digunakan $\rho_{min} = 0,016$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan diperlukan } (A_s) &= \rho \times b \times d \\ &= 0,016 \times 1000 \times 263,5 \\ &= 4252,213 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan } (s) &= \pi / 4 \times \emptyset^2 \\ &= \pi / 4 \times 13^2 \\ &= 132,665 \text{ mm,} \\ \text{Digunakan tulangan } \emptyset 13 - 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penulangan gaya geser } V_u &= 1,67 \text{ kN} \\ &= 1670 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser beton } V_c &= 1/6 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 1/6 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 263,5 \\ &= 240541,49 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser tereduksi } \emptyset V_c &= 0,6 \times V_c \\ &= 0,6 \times 240541,49 \\ &= 180406,12 \text{ N} \end{aligned}$$

$\emptyset V_c > V_u = 180406,12 \text{ N} > 1670 \text{ N}$; maka tidak diperlukan sengkang
Digunakan sengkang praktis $\emptyset 8 - 200 \text{ mm}$

3.6. Perencanaan Pelat Lantai

Momen arah memanjang = 1,897 kNm
Momen arah melintang = 9,451 kNm
Tegangan leleh (f_y) = 420 Mpa
Selimut beton (d) = 35 mm
Tinjauan pelat beton selebar = 1000 mm
Diameter tulangan pokok = 16 mm
Tinggi efektif (d') = $h - d - (0,5 \times \emptyset)$

$$= 200 - 35 - (0,5 \times 16)$$

$$= 157 \text{ mm}$$

$$\text{Rasio penulangan penampang seimbang } (\rho_b) = 0,85 \times (\beta \times f_c' / f_y) \times (600 / 600 + f_y)$$

$$= 0,85 \times (0,85 \times 30 / 420) \times (600 / 600 + 420)$$

$$= 0,030$$

$$\text{Rasio penulangan maksimum } (\rho_{maks}) = 0,75 \times (\rho_b)$$

$$= 0,75 \times 0,030$$

$$= 0,022$$

$$\text{Rasio penulangan minimum } (\rho_{min}) = 1,4 / f_y$$

$$= 1,4 / 420 = 0,0035$$

$$\text{Momen nominal rencana } (M_n) = M_u / \phi$$

$$= 1,897 \times 10^6 / 0,9$$

$$= 2107777,778 \text{ Nmm}$$

$$\text{Faktor tahanan } (R_n) = M_n / b x d^2$$

$$= 2107777,778 / 1000 \times 157^2$$

$$= 0,0855 \text{ Nmm}$$

$$\text{Rasio penulangan } (\rho) = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$= \frac{1}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,0855}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,000203$$

$$P_{min} < P_{perlu} < P_{maks} = 0,0033 < 0,000203 < 0,0227$$

Digunakan $P_{min} = 0,003$

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan } A_s \text{ Perlu} = p \times b \times d$$

$$= 0,003 \times 1000 \times 157$$

$$= 523,333 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ } \phi 16 = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2$$

$$= 200,96$$

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = A_s \text{ perlu} / A_s \phi 16$$

$$= 523,333 / 200,96$$

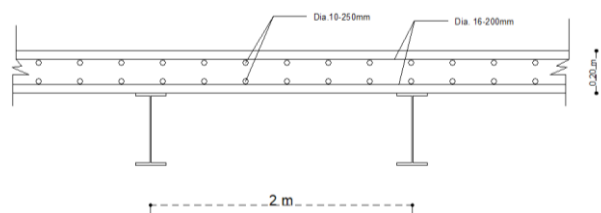
$$= 2,604 \approx 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan } (s) = b / h$$

$$= 1000 / 5$$

$$= 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D16 – 200mm



Gambar 5. Penuulangan Pelat lantai Kendaraan

3.7. Perencanaan Gelagar Memanjang

Berat profil baja (w) = 128 kg/m
 Tinggi (h) = 500 mm
 Lebar (b) = 300 mm
 Tebal badan (t_w) = 11 mm
 Tebal sayap (t_f) = 18 mm
 Tahanan momen (Z_x) = 3194864 mm³
 Luas penampang (A) = 16350 mm²



Sebelum Komposit :

Beban pelat lantai = 6,5 kN/m
 Beban hidup = 100 x 2
 = 200 kg/m \approx 2 kN/m
 Total = 6,5 + 2 = 8,461 kN/m

Beban terfaktor (q) = (1,1DL) + (1,0 LL)
 = (1,1 x 6,5) + (1,0 x 2)
 = 9,1113 kN/m

Momen ultimit (M_u) = $1/8 \times q \times l^2$
 = $1/8 \times 9,1113 \times 11,45^2$
 = 52,162 kN/m

Kapasitas momen = $Z_x \times F_y$
 = 3194864 x 290
 = 926510560 Nmm \approx 926510,56 Nm

ϕM_n = (0,9 x 926510,56)/1000
 = 833,8595 kNm

Kontrol : $\phi M_n > M_n = 833,8595 \text{ kNm} > 149,315 \text{ kNm} \dots \text{OK}$
 Sesudah Komposit

Kuat tekan pada lantai beton C = $0,85 \times f_c' \times B_e \times T_p + (A \cdot f_y)c$
 = $(0,85 \times 30 \times 20000 \times 200) + (6 \times (1/4 \times 3,14 \times (16^2) \times 290))$
 = 10549670,4 N

Kuat tarikan pada gelagar
 $T = (A_f y) b f + (A_f y) t f + (A_f y) w$
 = $((300 \text{ mm} \times 290 \text{ MPa}) 18 \text{ mm}) + ((300 \text{ mm} \times 290 \text{ MPa}) 18 \text{ mm}) + (500 - (2 \times 18 \text{ mm}) \times 290 \text{ MPa}) \times 11 \text{ mm}$
 = 2170360,00 N

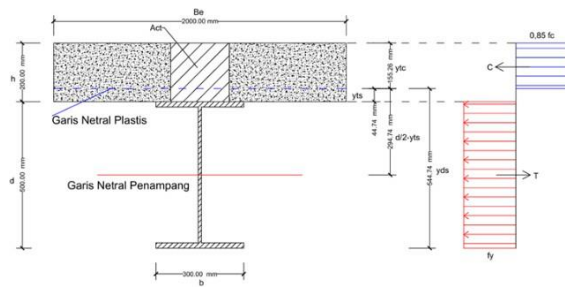
$C = 10549670,4 \text{ N} > T = 2170360,00 \text{ N}$, maka garis netral berada pada lantai beton
 Karena garis betral berada dekat dari tepi atas lantai maka, tulangan bawah memikul tekanan dari atas Lengan gaya

$D1 = h/2 + t - a/2$
 = $((500/2) + 200) - (2,440 / 2)$
 = 447,559 mm

Kuat momen nominal $M_n = C \times d1$
 = $10549670,4 \times 447,559$
 = 4721602293 Nmm

Kuat nominal rencana $\phi M_n = 0,9 \times 4721602293$
 = 4249442063,7 Nmm

Syarat : $\phi M_n > M_u = 4721602293 \text{ Nmm} > (755,477 \times 1000000)$
 $= 4249442063,44 \text{ Nmm} > 755477485,2 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$



Gambar 6. Garis Netral Komposit

Kontrol profil gelagar memanjang

Kontrol penampang badan :

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$h/t_w \leq 3,76 \times \sqrt{(E/f_y)}$$

$$500/11 \leq 3,76 \times \sqrt{(210000/290)}$$

$$45,454 \leq 101,18 \dots \text{OK (Penampang Kompak)}$$

Sayap :

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$b/(2.t_f) \leq 0,56 \times \sqrt{(E/f_y)}$$

$$300/2.18 \leq 0,56 \times \sqrt{(210000/290)}$$

$$8,333 \leq 15,069 \dots \text{OK (Penampang Kompak)}$$

Kontrol pelat badan

$$6,37 \times \sqrt{(E/f_y)} = 6,37 \times \sqrt{(210000/290)}$$

$$= 171,4154964$$

$$h/t_w = 500/11$$

$$= 45,454 \text{ sehingga,}$$

$$h/t_w < 6,37 \times \sqrt{(E/f_y)}$$

$$45,454 < 171,415 \text{ (tidak perlu pengaku)}$$

Kontrol pengaruh tekuk lokal :

$$M_n = M_p$$

$$= f_y \times Z_x$$

$$= 290 \text{ Nmm}^2 \times 3194864 \text{ mm}^3$$

$$= 926510560 \text{ Nmm} = 926510,56 \text{ Nm}$$

Kontrol momen terhadap tekuk lokal :

$$\phi M_n > M_u$$

$$(0,9 \times 926510,56) / 1000 > 755,4775 \text{ kNm}$$

$$833,8595 \text{ kNm} > 755,4775 \text{ kNm} \dots \text{OK}$$

Kontrol momen terhadap tekuk lateral :

$$\phi M_n > M_u$$

$$0,9 \times 19144,49334 > (755,477 \times 1000) / 9,81$$

$$83386 \text{ kgm} > 77010,957 \text{ kgm}$$

$$833,859 \text{ kNm} > 755,477 \text{ kNm} \dots \text{OK}$$

Kontrol geser :

$$V_u = 260,1976 \text{ kN}$$

$K_n = 5 + [5 / ((a/h)^2)]$ dikarenakan tidak ada pengangku, maka :

$$K_n = 5$$

$$1,10 \sqrt{((k_n \cdot E) / f_y)} = 1,10 \sqrt{(5 \cdot 200000 / 290)} = 66,1894$$

Dengan demikian :

$$\begin{aligned} h/tw &< 1,10\sqrt{(kn.E)/fy} = 500/11 < 1,10\sqrt{(66,189 \times 210000)/290} \\ &= 45,454 < 66,1894 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times fy \times A_w \\ &= 0,6 \times 290 \times (500 \times 11) \\ &= 957000 \text{ Kg} = 9388,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times 9388,17 \\ &= 8449,353 \text{ Kn} \end{aligned}$$

$$V_u < \phi V_n = 260,1976 \text{ kN} < 8449,353 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

3.8. Perencanaan Gelagar Melintang

Berat profil baja (w) = 172 kg/m

Tinggi (h) = 400 mm

Lebar (b) = 400 mm

Tebal badan (tw) = 13 mm

Tebal sayap (tf) = 21 mm

Tahanan momen (Z_x) = 3600133 cm^4

Luas penampang (A) = 218,7 cm^2

Kontrol profil gelagar memanjang Kontrol penampang badan :

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$h/tw \leq 3,76 \times \sqrt{(E/fy)}$$

$$500/11 \leq 3,76 \times \sqrt{(210000/290)}$$

$$45,454 \leq 101,181 \dots \text{OK (Penampang Kompak)}$$

Sayap :

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$b/(2 \cdot tf) \leq 0,56 \times \sqrt{(E/fy)}$$

$$300/2 \cdot 18 \leq 0,56 \times \sqrt{(210000/290)}$$

$$8,333 \leq 15,069 \dots \text{OK (Penampang Kompak)}$$

Kontrol pelat badan

$$\begin{aligned} 6,37 \times \sqrt{(E/fy)} &= 6,37 \times \sqrt{(210000/290)} \\ &= 171,4154964 \end{aligned}$$

$$h/tw = 500/11$$

$$= 45,454 \text{ sehingga,}$$

$$h/tw < 6,37 \times \sqrt{(E/fy)}$$

$$45,454 < 171,415 \text{ (tidak perlu pengaku)}$$

Kontrol pengaruh tekuk lokal :

$$M_n = M_p$$

$$= fy \times Z_x$$

$$= 290 \text{ Nmm}^2 \times 3194864 \text{ mm}^3$$

$$= 926510560 \text{ Nmm} = 926510,56 \text{ Nm}$$

Kontrol momen terhadap tekuk lokal :

$$\phi M_n > M_u$$

$$(0,9 \times 926510,56) / 1000 > 755,4775 \text{ kNm}$$

$$833,8595 \text{ kNm} > 755,4775 \text{ kNm} \dots \text{OK}$$

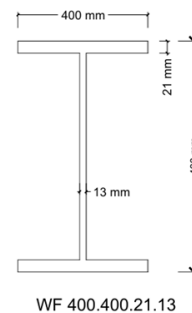
Kontrol momen terhadap tekuk lateral :

$$\phi M_n > M_u$$

$$0,9 \times 19144,49334 > (755,477 \times 1000) / 9,81$$

$$83386 \text{ kgm} > 77010,957 \text{ kgm}$$

$$833,859 \text{ kNm} > 755,477 \text{ kNm} \dots \text{OK}$$



Kontrol geser :

$$V_u = 260,1976 \text{ kN}$$

$K_n = 5 + [5 / ((a/h)^2)]$ dikarenakan tidak ada pengangku, maka :

$$K_n = 5$$

$$1,10 \sqrt{(k_n \cdot E) / f_y} = 1,10 \sqrt{(5 \cdot 200000 / 290)} \\ = 66,1894$$

Dengan demikian :

$$h/t_w < 1,10 \sqrt{(k_n \cdot E) / f_y} = 500 / 11 < 1,10 \sqrt{(66,189 \times 210000) / 290} \\ = 45,454 < 66,1894 \dots \text{OK}$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w$$

$$= 0,6 \times 290 \times (500 \times 11)$$

$$= 957000 \text{ Kg} = 9388,17 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 9388,17$$

$$= 8449,353 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi V_n = 260,1976 \text{ kN} < 8449,353 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

3.9. Perencanaan Ikatan Angin

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 diperoleh gaya dalam yang terjadi yaitu momen maksimum (M_u)

= 101,688 kNm, Gaya geser maksimum (V_u)=113,85 kN dan gaya aksial (P)=11,267 kN. Berat profil baja (w) = 31,5 kg/m

$$\text{Tinggi (h)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (b)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal badan (t}_w) = 7 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal sayap (t}_f) = 10 \text{ mm}$$

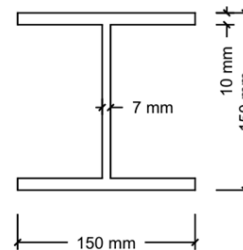
$$\text{Luas penampang (A)} = 40,14 \text{ cm}^2$$

Kontrol profil :

Kontrol kelangsingan

$$\lambda_x \geq \lambda_c$$

$$L_{kx} / I_x \geq L_{cx} / I_y = (1 \times 572) / 6,39 \geq (1 \times 200) / 3,75 \\ = 89,514 \geq 53,333$$



Kontrol aksial :

Gaya aksial berdasarkan data diatas yaitu :

$$P_u = 11,567 \text{ kN}$$

$$P_u < P_n$$

$$11,567 < (0,8 \times F_y \times A) / 6,28$$

$$11,567 < 1575,56$$

Kontrol momen :

Momen berdasarkan data diatas yaitu :

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi M_n = \phi M_p$$

$$= \phi \times 1,12 \times S_x \times F_y$$

$$= 0,9 \times 1,12 \times 219 \times 290$$

$$= 640181 \text{ Kgcm}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$640181 \text{ Kgcm} \geq 103657,4924 \text{ Kgcm}$$

Kontrol gaya geser :

Gaya geser berdasarkan data diatas yaitu :

$$V_u = 113,85 \text{ kN}$$

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w$$

$$= 0,6 \times 290 \times (150 - 2 \times 7)$$

$$= 236640 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi V_n \\
 11605,5 &< 0,9 \times 236640 \\
 11605,5 \text{ kg} &< 212976 \text{ Kg} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

3.10. Perencanaan Sambungan Baut

Perencanaan Baut Pada Gelagar Memanjang

$$\begin{aligned}
 A_b &= 1/4 \times \pi \times \phi_{\text{baut}}^2 \\
 &= 1/4 \times 3,14 \times 2^2 \\
 &= 3,14 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat geser desaiian

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= (0,6 \times F_{nv}) \times r_1 \times A_b \times m \\
 &= (0,6 \times 4690) \times 0,4 \times 3,14 \times 2 \\
 &= 7068,768 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah baut :

$$\begin{aligned}
 N &= V_u / \phi R_n \\
 &= 26523,709 / 7068,768 \\
 &= 3,75 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jarak baut :

Diambil jarak baut (S) = 7 cm dan diambil jarak tepi baut = 4cm

Perencanaan Baut Pada Gelagar Melintang :

$$\begin{aligned}
 A_b &= 1/4 \times \pi \times \phi_{\text{baut}}^2 \\
 &= 1/4 \times 3,14 \times 2^2 \\
 &= 3,14 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat geser desaiian

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= (0,6 \times F_{nv}) \times r_1 \times A_b \times m \\
 &= (0,6 \times 4690) \times 0,4 \times 3,14 \times 2 \\
 &= 7068,768 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah baut :

$$\begin{aligned}
 N &= V_u / \phi R_n \\
 &= 26523,709 / 7068,768 \\
 &= 3,75 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jarak baut :

Diambil jarak baut (S) = 7 cm dan diambil jarak tepi baut = 4cm

4. KESIMPULAN

Struktur atas jembatan Basin yang semula merupakan desain struktur tipe PCI (*Precats Concrete I- Girder*) telah direncanakan ulang menjadi jembatan tipe komposit baja beton. Pada penelitian ini struktur jembatan direncanakan dengan menggabungkan balok profil baja dengan pelat lantai beton bertulang. Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan ulang, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Spesifikasi material terdiri dari beton bermutu sedang $f_c' = 30 \text{ MPa}$ dan baja profil dengan mutu tinggi BJ 50.

Perencanaan ulang jembatan menggunakan tebal pelat 20 cm dengan tulangan lapangan menggunakan diameter tulangan pokok $\phi 16-200\text{mm}$, tulangan bagi $\phi 10-250\text{mm}$ dan tulangan tumpuan diameter tulangan pokok $\phi 16-70\text{mm}$, tulangan bagi $\phi 10-50\text{mm}$.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software SAP2000* didapatkan gaya dalam berupa Momen Ultimit (M_u) = 755,477 kNm dan Gaya Geser (V_u) = 260,197 kN.

Gelagar memanjang digunakan profil IWF 500.300.18.11, dari hasil perhitungan didapatkan $\phi M_n = 833,859 \text{ kNm} > M_u = 755,477 \text{ kNm}$. Kontrol gaya geser diperoleh $\phi V_n = 8449,353 > V_u = 260,197 \text{ kN}$.

Gelagar melintang digunakan profil IWF 400.400.21.13, dari hasil perhitungan didapatkan $\phi M_n = 939,634 \text{ kNm} > M_u = 755,477 \text{ kNm}$, kontrol gaya geser diperoleh $\phi V_n = 7988,479 \text{ kN} > V_u = 260,197 \text{ kN}$.

Ikatan angin bawah digunakan profil IWF 150.150.10.7. berdasarkan hasil analisis didapatkan momen maksimum (M_u) = 101,688 kNm, gaya geser (V_u) = 113, 85 kN, didapatkan hasil perhitungan $\phi M_n = 640181$ Kgcm > $M_u = 103657,492$ kgcm dan gaya geser $\phi V_n = 212976$ kg > $V_u = 11605,5$ kg.

Sambungan baut digunakan profil pelat siku sama kaki dengan ukuran 90.90.11. Mutu baut yang digunakan A490, diameter baut yaitu $\varnothing 20$ mm. Jumlah baut pada gelagar memanjang sebanyak 4 buah dan gelagar melintang sebanyak 4 buah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdurahman Helmi, Fery Desromi, Lucyana. (2022). *Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Komposit*. Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil, 1, 18-23.
- [2] Abraham Setiawan Umbu Hina, (2024). *Analisis Kekuatan Pada Struktur Atas Jembatan Komposit Kiringan (studi Kasus;Kecamatan Imogiri,Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta)*. Yogyakarta.
- [3] Badan Standarisasi Nasional . (SNI 1725:2016.). *Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. (SNI 2833:2016).*Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan*. Jakarta.
- [5] Henok Pangkurei . (2024). *Perencanaan Ulang STuktur Atas Jembatan Kenet Selopamioro, Imogiri, Bantul Menggunakan Rangka Baja Tipe Warren Truss Beradsarkan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016*. Yogyakarta.
- [6] Lailatul Umroniah. (2023). *Perencanaan Jembatan Rangka Baja Tipe Parker Bentang 78 Meter Menggunakan SNI 1725:2016 dan SNI 1729:2020*. Surabaya.

Analisis Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Dengan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 (Studi Kasus : Jl. Raflesia, Jl. Kebun Veteran, dan Jl. Seruni)

Performance Analysis of Unsignalized Intersections Using the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines Method (Case Studies: Jl. Raflesia, Jl. Kebun Veteran, and Jl. Seruni)

Elmas Elona Reski¹, Makmun Reza Razali², Agustin Gunawan³, Samsul Bahri⁴, Rena Misliniyati⁵
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Informasi Artikel

Dikirim, 22 Juli 2025
Direvisi, 3 Februari 2026
Diterima, 4 Februari 2026

Korespondensi Penulis:

Elmas Elona Reski
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Bengkulu
Jl. WR. Supratman Kandang
Limun, Muara Bangkahulu,
Kota Bengkulu
Email:
elmaselona@gmail.com

ABSTRAK

Persimpangan Jalan Raflesia - Jalan Kebun Veteran - Jalan Seruni merupakan salah satu persimpangan tak bersinyal di Kota Bengkulu. Persimpangan ini sering mengalami kemacetan akibat banyaknya kendaraan bermotor, mobil, pedagang kaki lima dan kawasan sekolah di sekitar persimpangan. Tujuannya ialah menentukan kinerja persimpangan dan tingkat layanan persimpangan. Metode yang digunakan adalah Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023. Data lalu lintas diperoleh dengan menghitung jumlah kendaraan di lapangan selama dua hari pada jam sibuk. Hasil analisis volume lalu lintas mengalami arus puncak pada hari Senin sebanyak 6.768 kendaraan dengan volume 2.512 SMP/jam. Hasil analisis kinerja persimpangan menunjukkan nilai kapasitas 3.465 SMP/jam, tundaan 8,3 detik, peluang antrian 21%-43%, derajat kejenuhan 0,73 dan tingkat layanan persimpangan dikategorikan sebagai E. Alternatif untuk memperoleh tingkat layanan yang lebih baik adalah memperlebar Jalan Bandar Raya menjadi 9 m. Hasil yang diperoleh menunjukkan kapasitas persimpangan sebesar 2514,22 SMP/jam, tundaan sebesar 13,79 detik, peluang antrian sebesar 27,72% - 54,89%, derajat kejenuhan 0,83, dan tingkat layanan persimpangan yang diperoleh, dengan merujuk pada kriteria tingkat layanan yang sesuai dengan standar, persimpangan tanpa lampu lalu lintas di Jalan Rafflesia diklasifikasikan ke dalam kategori tingkat layanan B, yang menunjukkan bahwa aliran lalu lintas berada dalam kondisi aliran stabil dengan kecepatan awal yang dibatasi

Kata Kunci : volume lalu lintas, kinerja persimpangan, tingkat layanan persimpangan

ABSTRACT

The intersection of Raflesia Street, Kebun Veteran Street, and Seruni Street is one of the unsignalized intersections in Bengkulu City. This intersection often experiences congestion due to the large number of motor vehicles, cars, street vendors, and schools in the surrounding area. The objective is to determine the performance of the intersection and the level of service at the intersection. The method used is the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines. Traffic data was collected by counting the number of vehicles on-site over two days during peak hours. The traffic volume analysis revealed a peak flow of 6,768 vehicles on Monday, with a volume of 2,512 vehicles per hour. The intersection performance analysis results showed a capacity value of 3,465 vehicles per hour, a delay of 8.3 seconds, a queue probability of 21%-43%, a saturation degree of 0.73, and an intersection service level categorized as E. An alternative to achieve a better service level is to widen Jalan Bandar Raya to 9 meters. The results obtained show an intersection capacity of 2,514.22 vehicles per hour, a delay of 13.79 seconds, a queue probability of 27.72% - 54.89%, a degree of saturation of 0.83, and an intersection service level obtained, with reference to service level criteria in accordance with standards, the intersection without traffic lights on Jalan Rafflesia is classified into service level category B, which indicates that traffic flow is in a stable flow condition with limited initial speed.

Keyword : traffic volume, intersection performance, intersection service level

1. PENDAHULUAN

Kota Bengkulu merupakan sebuah Kota yang berada di Provinsi Bengkulu dan satu- satunya Kota yang ada di Provinsi Bengkulu. Jumlah penduduk yang ada di Kota Bengkulu pada tahun 2020 yaitu sebanyak 373,60 ribu jiwa dan sampai tahun 2023 jumlah penduduk Kota Bengkulu 391,12 ribu jiwa (Badan pusat Statistik kota Bengkulu). Untuk jumlah penduduk pada tahun 2024 dapat di asumsikan sekitar 395 ribu jiwa.

Perkembangan Kota Bengkulu memberikan dampak pada sistem transportasi, dimana dapat mempengaruhi peningkatan arus lalu lintas. Simpang merupakan salah satu bagian jalan yang dapat menyebabkan terjadinya konflik lalu lintas karena daerah tersebut merupakan bertemunya dua atau lebih ruas jalan sehingga mengakibatkan gangguan pada pergerakan kendaraan yang dapat memicu terjadinya kemacetan.

Persimpangan merupakan daerah yang penting dalam melayani arus lalu lintas terutama pada persimpangan tak yang tak bersinyal. Pada tipe simpang tak bersinyal sering dijumpai titik-titik konflik arus lalu lintas yang mengakibatkan kemacetan arus lalu lintas terutama pada saat hari kerja. Sebagai kasus di kota Bengkulu terjadi pada persimpangan Jalan Raflesia - Jalan Kebun Veteran - Jalan Seruni. Kemacetan arus pada simpang ini, dominan dipengaruhi oleh banyaknya kendaraan bermotor, mobil dan penjual kaki lima yang beroperasi di sekitar persimpangan dan tidak adanya rambu-rambu lalu lintas di persimpangan tersebut. Akibatnya terjadinya penurunan kecepatan, peningkatan tundaan, dan antrian kendaraan yang mengakibatkan naiknya biaya operasi kendaraan dan menurunnya kualitas lingkungan.

Tipe lingkungan jalan sekitar simpang ruas Jalan Raflesia - Jalan Kebun Veteran - Jalan Seruni merupakan daerah komersial, hal ini bisa dilihat karena adanya pertokoan, perkantoran, rumah makan dan juga berdekatan dengan SD Negeri 32 Bengkulu yang mengakibatkan kemacetan pada simpang tersebut. Terdapat aktivitas pada pendekatan simpang seperti kendaraan yang keluar masuk di samping jalan dari lingkungan sekitar simpang. Dari permasalahan di atas, perlu dilakukan survei volume lalu lintas dan analisis kinerja simpang empat tak bersinyal ruas Jalan Raflesia- Jalan Kebun Veteran - Jalan Seruni Kota Bengkulu.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dipilih adalah simpang empat Jalan Raflesia- Jalan Kebun Veteran - Jalan Seruni Kota Bengkulu, Kelurahan Nusa Indah, Kecamatan Ratu Agung, Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu. Peta lokasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian

2.2. Tahapan Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa data kuantitatif. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data primer dan data sekunder.

2.2.1. Data Primer

Data primer didapatkan dengan melakukan survei atau pengamatan dilokasi peneltian yang dilakukan selama dua hari yaitu pada hari Minggu dan Senin pada pukul 06.30-08.30 WIB, 12.00-14.00 WIB, 16.00-18.00 WIB dengan interval waktu per 15 (lima belas) menit, adapun survei yang dilakukan yaitu survei geometri, volume lalu lintas, hambatan samping, kecepatan arus, panjang antrian, dan waktu tundaan.

2.2.2. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi data peta lokasi dan ruas jalan yang diteliti data ini diperoleh dari Google Earth dan Google Maps.

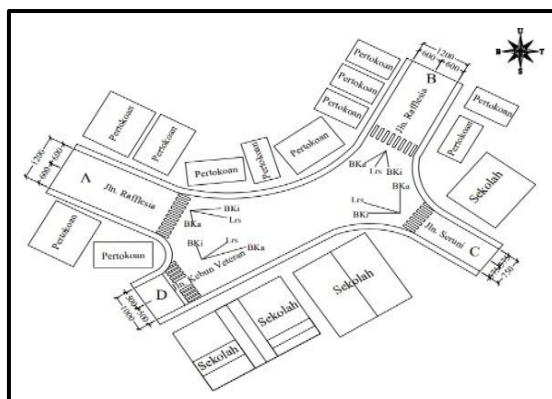
2.3. Metode Analisis Data

Untuk dapat melakukan analisis data, maka semua data yang dibutuhkan harus sudah diperoleh. Data yang dibutuhkan adalah data jumlah arus lalu lintas yang didapatkan dari hasil perhitungan jumlah Sepeda Motor (SM), Mobil Penumpang (MP) atau Kendaraan Ringan (KS), Kendaraan Sedang (KS) atau Kendaraan Berat (KB), yang melewati lokasi penelitian. data yang diperoleh diolah dengan menggunakan program Spreadsheet yaitu berupa Microsoft Exel berdasarkan pada persamaan yang ada dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dengan cara bertahap. Proses pengolahan datanya seperti memasukkan data ke dalam program Spreadsheet, menghitung volume lalu lintas, menghitung kapasitas, dan terakhir menghitung kinerja lalu lintas seperti drajat kejenuhan, tundaan dan peluang antrian yang terjadi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Geometri Jalan

Pengukuran langsung di lapangan dilakukan menggunakan alat ukur berupa rolmeter untuk memperoleh data geometrik simpang secara rinci. Pengukuran dilakukan pada setiap pendekatan guna mendapatkan informasi terkait dimensi dan karakteristik fisik jalan. Data geometrik yang dikumpulkan meliputi nama jalan, lebar efektif masing- masing lajur, serta klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya. Hasil pengukuran ini disajikan dalam bentuk Tabel untuk memudahkan analisis lebih lanjut. Seluruh data geometrik pada simpang tak bersinyal, yang meliputi setiap pendekatan, dapat dilihat dalam Tabel 1. Kondisi eksisting simpang dan Gambar potongan jalan pada setiap pendekatan dapat dilihat pada Gambar 2. sampai dengan 6.

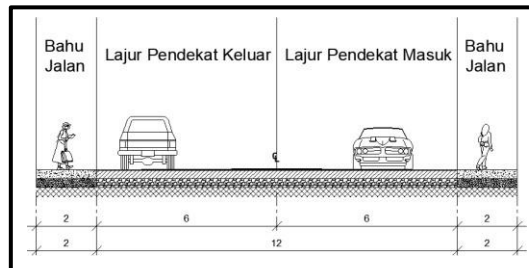


Gambar 2. Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

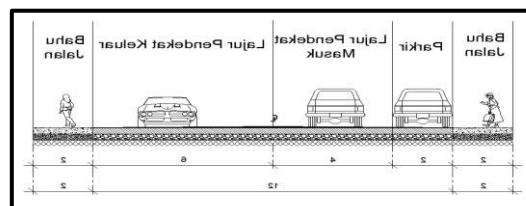
Tabel 1. Data Geometrik Pendekat Simpang Tak Bersinyal

Jalan Rafflesia Pendekat A		
No	Uraian	Keterangan
1	Klasifikasi Jalan	Jalan Kolektor Primer
2	Lebar Lajur Kiri	6 m
3	Lebar Lajur Kanan	7 m
4	Lebar Total Lajur 1 Arah	12 m
Jalan Rafflesia Pendekat B		
No	Uraian	Keterangan
1	Klasifikasi Jalan	Jalan Kolektor Primer
2	Lebar Lajur Kiri	6 m
3	Lebar Lajur Kanan	6 m
4	Lebar Total Lajur 1 Arah	12 m
Jalan Rafflesia Pendekat C		
No	Uraian	Keterangan
1	Klasifikasi Jalan	Jalan Lokal Primer
2	Lebar Lajur Kiri	3,75 m
3	Lebar Lajur Kanan	3,75 m
4	Lebar Total Lajur 1 Arah	7,5 m

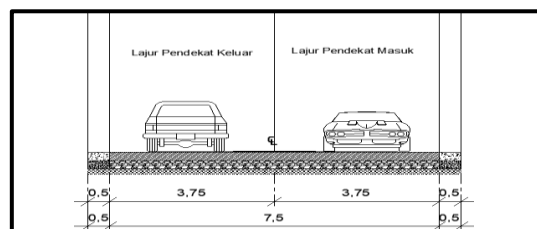
Jalan Rafflesia Pendekat D		
No	Uraian	Keterangan
1	Klasifikasi Jalan	Jalan Lokal Primer
2	Lebar Lajur Kiri	5 m
3	Lebar Lajur Kanan	5 m
4	Lebar Total Lajur 1 Arah	10 m



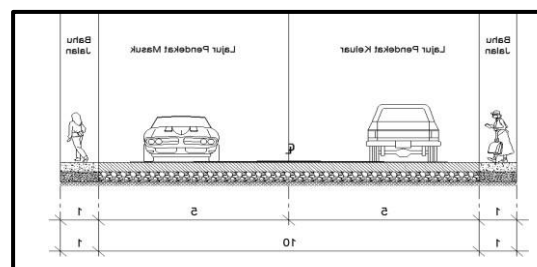
Gambar 3. Potongan Jalan Rafflesia Pendekat A



Gambar 4. Potongan Jalan Rafflesia Pendekat B



Gambar 5. Potongan Jalan Seruni Pendekat C



Gambar 6. Potongan Jalan Kebun Veteran Pendekat D

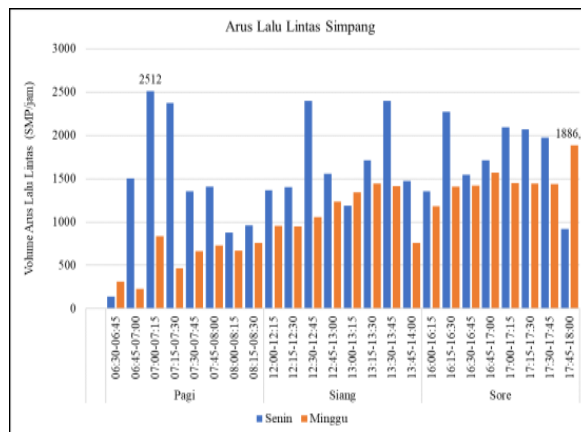
Penelitian dilakukan pada hari libur dan hari kerja yaitu pada hari Minggu 23 Februari 2025 dan hari Senin 24 Februari 2025.

3.2. Analisis Arus Lalu Lintas Simpang Tak Bersinyal

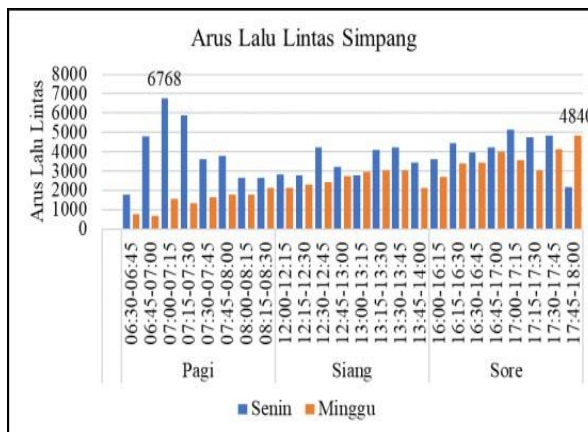
Data arus lalu lintas simpang empat tak bersinyal yang telah diperoleh pada pengamatan kemudian dilakukan analisis, hasil survei yang dilakukan selama 2 hari yaitu pada hari Senin 24 Februari 2025 dan hari Minggu 23 Februari 2025 menunjukkan bahwa arus lalu lintas jam puncak terjadi pada hari Senin dimana pada hari Senin arus lalu lintas dalam rentang waktu 07:00 – 07:15 dengan jumlah 1692 kend/15 menit atau setara dengan 6768 kend/jam jika dibandingkan dengan hari Minggu arus jam puncak tercatat dalam rentang waktu 17:45 – 18:00 dengan jumlah 1210 kend/ 15 menit atau setara dengan 4840 kend/jam termasuk arus dengan kepadatan sedang.

Arus lalu lintas tertinggi yaitu terjadi pada hari Senin pukul 07:00 – 07:15 dengan arus lalu lintas sebesar 6768 kend/jam, kemudian data ini akan digunakan untuk menentukan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) sehingga masuk kedalam kategori arus total yang memasuki simpang >1000 kend/jam, sehingga dapat ditetapkan nilai EMPnya dengan nilai untuk mobil penumpang (MP) adalah 1, kendaraan sedang (KS) adalah 1,80 dan untuk sepeda motor 0,20.

Hasil perhitungan data arus lalu lintas disajikan dalam bentuk Tabel, yang memuat informasi lengkap mengenai arus lalu lintas selama dua hari, yaitu hari Minggu dan hari Senin, pada tiga sesi waktu: pagi, siang, dan sore. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. dan Tabel 3. Untuk perhitungan lebih rinci, dapat merujuk ke lampiran 3. Berdasarkan hasil analisis, volume arus lalu lintas tertinggi pada jam puncak tercatat sebesar 628 smp/15 menit, atau setara dengan 2.512 SMP/jam, yang terjadi pada hari Senin dalam rentang waktu pukul 07:00 - 07:15 WIB. Selain itu, perbandingan arus lalu lintas pada hari Minggu dan hari Senin juga divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk memudahkan interpretasi, sebagaimana disajikan pada Gambar 7. dan Gambar 8. Diagram tersebut memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai fluktuasi arus lalu lintas pada kedua hari tersebut di setiap sesi pengamatan.



Gambar 7. Data Arus Lalu Lintas Simpang Tak Bersinyal (smp/jam)



Gambar 8. Data Arus Kendaraan Lalu Lintas Simpang Tak Bersinyal (kend/jam)

Tabel 2. Data Arus Lalu Lintas

Waktu Senin 30-09-2024	Data Volume Arus lalu lintas kendaraan (SMP/jam)												Qtot SMP/15'	Qtot SMP/jam
	Jln. Seruni			Jln. Kebun Veteran			Jln. Rafflesia A			Jln. Rafflesia B				
	Kiri	Lurus	Kanan	Kiri	Lurus	Kanan	Kiri	Lurus	Kanan	Kiri	Lurus	Kanan		
06:30-06:45	13	87	12	9	64	13	61	38	8	34	58	28	136,6	136,6
06:45-07:00	30	176	127	30	157	30	126	96	42	120	134	134	375,6	1502,4
07:00-07:15	25	185	32	25	185	32	25	185	32	242	243	137	628	2512
07:15-07:30	27	100	25	25	100	27	280	136	195	280	136	195	592,8	2371,2
07:30-07:45	15	75	5	4	75	16	167	184	30	137	88	103	339	1356
07:45-08:00	23	69	67	6	69	20	171	202	46	109	63	101	351,6	1406,4
08:00-08:15	20	57	3	8	57	15	147	132	35	72	49	66	219,4	877,6

08:15-08:30	15	65	3	6	65	12	128	142	30	75	45	72	240,4	961,6
	Qmi =					673,6			Qma =			2209,8	2883,4	11533,6
12:00-12:15	9	22	45	123	22	4	132	133	33	123	22	37	341	1364
12:15-12:30	7	17	51	140	17	39	78	110	35	140	17	39	350,8	1403,2
12:30-12:45	12	43	108	76	90	72	159	165	24	143	90	76	599,6	2398,4
12:45-13:00	11	28	90	119	14	6	148	172	18	119	14	61	389,6	1558,4
13:00-13:15	3	62	52	15	78	11	125	133	33	57	25	98	297,6	1190,4
13:15-13:30	6	112	62	17	112	18	227	216	35	66	42	114	428,6	1714,4
13:30-13:45	6	119	64	5	45	14	206	235	54	91	7	99	599,6	2398,4
13:45-14:00	7	130	45	16	14	14	235	186	42	45	20	101	367,8	1471,2
	Qmi =					1094,4			Qma =			2103,2	3197,6	12790,4
16:00-16:15	8	122	108	9	73	10	120	110	34	117	15	120	339	1356
16:15-16:30	15	187	215	17	100	7	89	100	24	134	23	197	568	2272
16:30-16:45	1	93	123	14	100	15	149	135	29	131	28	167	385,8	1543,2
16:45-17:00	5	130	140	22	89	15	263	161	32	112	29	62	428	1712
17:00-17:15	2	181	120	24	133	4	253	190	43	132	27	179	523,2	2092,8
17:15-17:30	16	45	115	13	95	5	279	235	51	131	36	168	517,8	2071,2
17:30-17:45	10	117	74	17	100	5	238	255	38	134	18	197	494,2	1976,8
17:45-18:00	4	103	36	9	18	0	88	65	27	112	16	62	229,6	918,4
	Qmi =					1173,6			Qma =			2331	3504,6	14018,4

Tabel 3. Data Arus Lalu Lintas

Waktu Senin 29-09-2024	Data Volume Arus lalu lintas kendaraan (SMP/jam)													Qtot SMP/15'	Qtot SMP/jam
	Jln. Seruni			Jln. Kebun Veteran			Jln. Rafflesia A			Jln. Rafflesia B					
	Kiri	Lurus	Kanan	Kiri	Lurus	Kanan	Kiri	Lurus	Kanan	Kiri	Lurus	Kanan			
06:30-06:45	3	5	8	2	15	1	72	17	9	13	15	37	77,8	311,2	
06:45-07:00	3	24	24	2	10	0	41	9	2	5	12	38	57,2	228,8	
07:00-07:15	3	16	36	12	20	0	68	29	107	18	19	59	208,6	834,4	
07:15-07:30	0	20	43	15	33	3	74	43	5	74	43	5	116	464	
07:30-07:45	1	18	47	13	39	0	99	45	9	37	40	60	165,6	662,4	
07:45-08:00	3	26	39	10	37	1	122	53	14	28	52	61	182,8	731,2	
08:00-08:15	2	33	47	16	41	1	106	52	14	25	48	59	167,2	668,8	
08:15-08:30	1	33	45	18	47	2	122	86	20	41	49	65	189	756	
	Qmi =					286			Qma =			878,2	1164,2	4656,8	
12:00-12:15	6	54	57	8	18	10	58	85	60	55	49	73	238,6	954,4	
12:15-12:30	5	46	60	7	48	6	65	92	72	49	52	71	237	948	
12:30-12:45	10	51	57	9	49	6	76	73	79	57	62	82	263,8	1055,2	
12:45-13:00	14	56	70	11	69	4	148	65	49	59	60	76	309	1236	
13:00-13:15	13	44	77	14	51	5	157	92	54	60	57	117	336,2	1344,8	
13:15-13:30	15	59	70	10	70	3	155	121	43	41	58	117	361,2	1444,8	
13:30-13:45	18	57	81	23	50	5	164	102	50	43	56	110	353,2	1412,8	
13:45-14:00	9	83	94	25	68	5	172	114	58	32	46	82	189	756	
	Qmi =					728			Qma =			1699,2	4616,4	9152	
16:00-16:15	10	68	88	14	72	8	126	92	17	47	44	86	295,2	1180,8	
16:15-16:30	12	119	111	15	70	8	138	87	21	47	66	159	351,4	1405,6	
16:30-16:45	10	85	94	17	58	9	185	95	10	50	73	175	354,6	1418,4	
16:45-17:00	1	112	96	15	74	6	183	105	24	69	74	239	392,4	1569,6	
17:00-17:15	14	96	78	15	67	4	197	112	24	33	80	171	363	1452	
17:15-17:30	6	145	126	19	86	5	219	131	16	53	96	210	361,2	1444,8	
17:30-17:45	6	92	101	14	68	2	247	144	34	28	88	208	359,2	1436,8	
17:45-18:00	12	89	142	22	68	8	264	180	50	34	110	231	471,6	1886,4	
	Qmi =					981,8			Qma =			2041,6	2948,6	11794,4	

3.3. Analisis Kapasitas Simpang Tak Bersinyal

Kapasitas simpang mengacu pada kemampuan suatu simpang untuk mengakomodasi arus lalu lintas maksimum dalam satuan waktu, dinyatakan dalam smp/jam. Kapasitas dihitung untuk setiap pendekatan atau kelompok lajur yang terdapat di dalam pendekatan tersebut, mencakup total arus yang masuk dari seluruh lengan simpang yang ada. Nilai kapasitas ini diperoleh dengan mengalikan kapasitas dasar (C0) dalam kondisi ideal

dengan sejumlah faktor koreksi yang mempertimbangkan perbedaan antara kondisi lingkungan dan kondisi ideal.

Perhitungan kapasitas pada simpang tak bersinyal mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, perhitungan kapasitas berdasarkan parameter Kapasitas Dasar (C_0), Faktor Koreksi Lebar Rata-Rata Pendekat (F_{LP}), Faktor Koreksi Tipe Median (F_M), Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK}), Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{HS}), Faktor Koreksi Rasio Arus Belok Kiri (F_{Bki}), Faktor Koreksi Arus Belok Kanan (F_{Bka}) dan Faktor Koreksi Arus dari Jalan Minor (F_{Rmi}), setelah nilai dari semua parameter telah didapatkan dari perhitungan maupun pengukuran langsung dari lapangan maka dapat diketahui nilai kapasitas simpang tak bersinyal, nilai-nilai parameter dan kapasitas simpang tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai-Nilai Parameter dan Kapasitas Simpang

Co (SMP/jam)	Kinerja lalu lintas							Kapasitas C (SMP/jam)
	F_{LP}	F_M	F_{UK}	F_{HS}	F_{Bki}	F_{Bka}	F_{Rmi}	
2900	1,13	1	0,88	0,86	1,41	1	1	3465

Perhitungan analisis kapasitas simpang sebagai berikut :

1. Kapasitas Dasar (C_0)

Berdasarkan hasil dari analisis maka dapat diketahui tipe simpang untuk tipe simpang yaitu 422 dengan 4 lajang, 2 lajur jalan minor dan 2 lajur dengan nilai kapasitas dasar yaitu 2900 SMP/jam.

2. Faktor Koreksi Lebar Rata-Rata Pendekat (F_{LP})

Berdasarkan analisis untuk mencari Faktor Koreksi Lebar Rata-Rata Pendekat (F_{LP}) dapat dihitung dengan Persamaan 2.2. Nilai Lebar Ruang Pergerakan (L_{RP}) dihitung dengan membagi lebar lajang simpang menjadi 2. jika pada pendekatan tersebut sering terdapat aktivitas parkir, maka lebar pergerakan efektif (LP) perlu dikurangi sebesar 2,0 meter atau sesuai dengan lebar area parkir yang ada di lapangan. Pada kondisi eksisting Lebar Langan pendekat B Jalan Rafflesia dengan lebar total jalan 10 meter, lebar lajur kiri 4 meter yang telah dikurangi 2 meter sebagai area parkir kendaraan dan lebar lajur kanan 6 meter. Untuk menentukan nilai F_{LP} dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$L_{RP} = (L_{dc} + L_{ab})/2$$

$$L_{RP} = (4,38+5,5)/2$$

$$L_{RP} = 4,94 \text{ m}$$

Maka,

$$F_{LP} = 0,70 + 0,0866 \times L_{RP}$$

$$F_{LP} = 0,70 + 0,0866 \times 4,94$$

$$F_{LP} = 1,13$$

3. Faktor Koreksi Tipe Median (F_M)

Berdasarkan hasil survei pada simpang tak bersinyal nilai faktor koreksi tipe median pada jalan mayor (F_M) tidak terdapat median sehingga nilai faktor koreksi tipe median adalah 1,0.

4. Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bengkulu, jumlah penduduk Kota Bengkulu mencapai 391,120 jiwa pada tahun 2023, maka nilai faktor ukuran kota berdasarkan populasi penduduk juta jiwa maka diperoleh nilai (F_{UK}) adalah 0,88. Sehingga dikategorikan sebagai kota berukuran kecil.

5. Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{HS})

Untuk menentukan nilai F_{HS} dengan catatan aktivitas di sekitar persimpangan terhadap kapasitas dasar digabungkan menjadi satu nilai yang disebut faktor koreksi hambatan samping F_{HS} . hasil dari pengamatan lokasi penelitian ini terletak di lingkungan jalan komersial dan termasuk dalam kategori hambatan samping tinggi, dengan hambatan samping KTB pada hari Senin 30 September 2024, Pukul 06:30- 07:30 adalah 539 kend/jam, sehingga rasio kendaraan tak bermotor (RKTb) yang di dapatkan sebesar 0,08, jika dibandingkan dengan hari Minggu 29 September 2024 hambatan samping termasuk rendah dengan nilai KTB berjumlah 63 kend/jam dengan rasio kendaraan tak bermotor (RKTb) adalah 0,01. Nilai Rasio Kendaraan Tak Bermotor (RKTb) didapatkan dengan membagi total hambatan samping (q_{KTB}) kend/jam dibagi dengan total arus kendaraan (q_{KB}) yang memasuki simpang dengan satuan kend/jam, untuk perhitungan lebih lengkap dapat

dilihat pada lampiran 3. Berdasarkan analisis hambatan samping jika nilai RKTB sudah didapatkan maka dilanjutkan dengan mencari nilai faktor koreksi hambatan samping F_{HS} , jika nilai RKTB tidak terdapat didalam acuan maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai F_{HS} yang lebih akurat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} RKTB &= q_{KB} / q_{KTb} \\ &= 539 / 6768 \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

Maka,

Interpolasi RKTB Hambatan Samping

$$\begin{aligned} y &= y_1 + (x - x_1) \times \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \\ y &= 0,88 + (0,08 - 0,05) \times \frac{(0,84 - 0,88)}{(0,10 - 0,05)} \\ y &= 0,86 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Interpolasi Simpang Tak Bersinyal

0,05	0,88
0,08	0,86
0,1	0,84

Maka nilai F_{HS} yang didapatkan pada simpang tak bersinyal dari hasil interpolasi adalah, $y = 0,86$ keterangan :

x = nilai q_{KTb} / q_{KB}

y = nilai F_{HS} sesungguhnya

y_1, y_2 = rasio kendaraan tak bermotor RKTb

x_1, x_2 = rasio kendaraan tak bermotor RKTb

6. Faktor Koreksi Rasio Arus Belok Kiri (F_{Bki})

Berdasarkan hasil perhitungan nilai F_{Bki} , Parameter yang digunakan adalah total kendaraan belok kiri (Q_{Bki}) serta total arus lalu lintas SMP/jam dari jalan minor dan jalan mayor pada jam sibuk hari Senin 30 September 2024 Pukul 07:00 – 07:15 WIB, dimana parameter ini dihitung dengan total arus lalu lintas belok kiri (Q_{Bki}) dibagi dengan total arus lalu lintas dari jalan mayor dan jalan minor.

$$\begin{aligned} R_{Bki} &= Q_{Bki} / Q_{Total} \\ &= 892 / 2512 \\ &= 0,36 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} F_{Bki} &= 0,84 + 1,61 \times R_{Bki} \\ &= 0,84 + 1,61 \times 0,36 \\ &= 1,41 \end{aligned}$$

7. Faktor Koreksi Arus Belok Kanan (F_{BKa})

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, nilai Faktor Koreksi Arus Belok Kanan (F_{BKa}) karena lokasi penelitian pada simpang empat maka nilai F_{BKa} adalah 1,0.

8. Faktor Koreksi Arus dari Jalan Minor (F_{Rmi}), Berdasarkan hasil perhitungan nilai dari

Faktor Koreksi Arus dari Jalan Minor (F_{Rmi}), dengan tipe simpang 422 dan nilai rasio arus dari jalan minor, perhitungan lebih rinci sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R_{mi} &= Q_{mi} / Q_{Total} \\ &= 515,2 / 2512 \\ &= 0,21 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} F_{Rmi} &= 1,19 \times R_{mi,2} + 1,19 \times R_{mi} + 1,19 \\ &= 1,19 \times 0,21^2 + 1,19 \times 0,21 + 1,19 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Setelah semua nilai parameter didapatkan maka nilai kapasitas simpang sebagai berikut

$$\begin{aligned} C &= C_0 \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \times F_{Rmi} \\ &= 2900 \times 1,13 \times 1 \times 0,88 \times 0,86 \times 1,41 \times 1 \times 1 \\ &= 3465 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan analisis didapatkan nilai kapasitas simpang pukul 07:00 – 07:15 WIB pada arus kendaraan jam puncak pada kondisi eksisting adalah 3465 SMP/jam.

3.4. Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal

Analisis kinerja simpang jalan bertujuan untuk mengetahui sejauh mana suatu simpang jalan mampu mengakomodasi volume lalu lintas yang ada, sehingga dengan adanya analisis ini dapat diketahui kinerja simpang dalam keadaan baik atau buruk. Dalam analisis ini beberapa parameter yang dianalisis meliputi Derajat Kejenuhan (D_J), Tundaan (T), Tundaan Lalu Lintas (T_{LL}), Tundaan Lalu Lintas Jalan Mayor (T_{LLma}), Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor (T_{LLmi}), Tundaan Geometri (TG) dan Peluang Antrian (PA), berikut hasil perhitungan kinerja simpang pada volume arus lalu lintas jam puncak pada hari Senin 30 September 2024 Pukul 07:00 – 07:15 WIB.

Tabel 6. Hasil Analisis Perhitungan Simpang Tak Bersinyal

qtot (smp/jam)	Kinerja lalu lintas							
	D_J	T_{LL} (detik/kend)	T_{LLma} (detik/kend)	T_{LLmi} (detik/kend)	TG (detik/SMP)	T (detik/SMP)	PA (%)	
							Batas Bawah	Batas Atas
2512	0,73	8,3	6,17	16,33	2,14	10	21	43

Perhitungan analisis lebih rinci pada simpang empat tak bersinyal sebagai berikut.

1. Derajat Kejenuhan (D_J)

Derajat Kejenuhan merupakan indikator utama yang digunakan untuk melihat kinerja simpang berdasarkan volume arus lalu lintas pada jam puncak hari Senin Pukul 07:00 – 07:15 WIB, derajat kejenuhan (D_J) sebagai berikut.

$$D_J = \frac{q}{C}$$

$$D_J = \frac{2512}{3465}$$

$$D_J = 0,73$$

2. Tundaan Lalu Lintas (T_{LL})

Berdasarkan analisis perhitungan nilai derajat kejenuhan $> 0,60$, maka tundaan lalu lintas dapat dihitung sebagai berikut.

$$T_{LL} = \frac{1,0504}{(0,2742 - 0,2042 \times D_J)} - (1 - D_J)^2$$

$$T_{LL} = \frac{1,0504}{(0,2742 - 0,2042 \times 0,73)} - (1 - 0,73)^2$$

$$T_{LL} = 8,3 \text{ detik/kend}$$

3. Tundaan Lalu Lintas Jalan Mayor (T_{LLma})

Berdasarkan analisis perhitungan, Persamaan yang digunakan untuk menghitung Tundaan Lalu Lintas Jalan

Mayor (T_{LLma}) dengan memperhatikan nilai derajat kejenuhan $> 0,60$.

$$T_{LLma} = \frac{1,0503}{(0,3460 - 0,2460 \times D_j)} - (1 - D_j)^{1,8}$$

$$T_{LLma} = \frac{1,0503}{(0,3460 - 0,2460 \times 0,73)} - (1 - 0,73)^{1,8}$$

$$T_{LLma} = 6,17 \text{ detik/kend}$$

4. Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor (T_{LLmi})
Menghitung Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor (T_{LLmi}).

$$T_{LLmi} = \frac{q_{KB} \times T_{LL} - q_{ma} \times T_{LLma}}{q_{mi}}$$

$$T_{LLmi} = \frac{2512 \times 8,25 - 1996,8 \times 6,17}{515,2}$$

$$T_{LLmi} = 16,33 \text{ detik/kend}$$

5. Tundaan Geometri (TG)
Berdasarkan analisis perhitungan untuk menganalisis Tundaan Geometri (TG) sebagai berikut

$$\begin{aligned} TG &= (1 - D_j) \times \{6 R_B + 3 (1 - R_B)\} + 4 \times D_j \\ &= (1 - 0,73) \times \{6 \times 0,63 + 3 (1 - 0,63)\} + 4 \times 0,73 \\ &= 2,14 \text{ kend/detik} \end{aligned}$$

Maka, Tundaan (T) yang terjadi pada simpang sebagai berikut.

$$T = T_{LL} + T_G$$

$$T = 8,25 + 2,14$$

$$T = 10 \text{ kend/detik}$$

6. Peluang Antrian (PA)
Analisis perhitungan peluang antrian (PA).

Peluang antrian,

Batas atas peluang antrian :

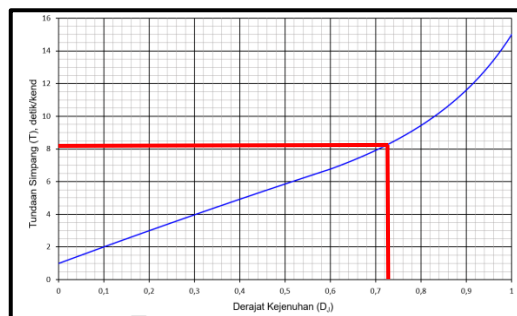
$$\begin{aligned} PA &= 47,71 D_j - 24,68 \times D_j^2 + 56,47 \times D_j^3 \\ &= (47,71 \times 0,73) - (24,68 \times 0,73^2) + (56,47 \times 0,73^3) \\ &= 43 \% \end{aligned}$$

Batas bawah peluang antrian :

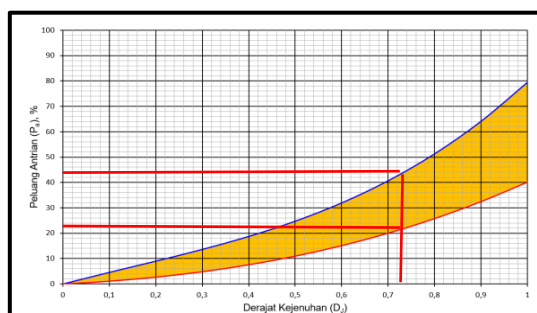
$$\begin{aligned} PA &= 9,02 \times D_j - 20,66 \times D_j^2 + 10,49 \times D_j^3 \\ &= (9,02 \times 0,73) - (20,66 \times 0,73^2) + (10,49 \times 0,73^3) \\ &= 21 \% \end{aligned}$$

3.5. Analisis Tingkat Pelayanan Simpang Tak Bersinyal

Berdasarkan hasil survei serta analisis perhitungan terhadap simpang tak bersinyal, tingkat pelayanan jalan dapat diidentifikasi melalui parameter derajat kejenuhan (D_j). Nilai D_j ini diukur untuk menggambarkan kapasitas dan kondisi arus lalu lintas yang terjadi di simpang tersebut. Berdasarkan nilai D_j yaitu 0,73 SMP/jam pada jam puncak pukul 07:00 - 07:15 WIB dengan volume arus lalu lintas 2512 SMP/jam sehingga tingkat pelayanan simpang yang diperoleh dan mengacu pada kriteria tingkat pelayanan yang sesuai dengan standar, simpang tak bersinyal di Jalan Rafflesia tergolong ke dalam kategori tingkat pelayanan B, yang mencerminkan bahwa arus lalu lintas di simpang ini berada pada kondisi arus stabil dengan kecepatan mulai terbatas. Tingkat pelayanan ini memberikan indikasi terhadap efisiensi dan kenyamanan pengendara dalam melewati simpang.



Gambar 9. Grafik Hubungan Derajat Kejenuhan (D_j) dan Tundaan Lalu Lintas (T_{LL})



Gambar 10. Grafik Hubungan Derajat Kejenuhan (D_j) dan Peluang Antrian (PA)

Berdasarkan grafik pada Gambar 9 antara Derajat Kejenuhan (D_j) dan Tundaan (T) didapatkan Tundaan Lalu Lintas pada simpang yaitu 8,3 kend/jam dan pada Gambar 10. Peluang Antrian (PA) untuk bawah dan batas atas maka didapatkan sebesar 21 - 43% dengan peluang antrian minimum terjadi sebesar 21% dan peluang antrian maksimum terjadi pada 41%. Derajat kejenuhan (D_j) adalah perbandingan antara volume kendaraan dan kapasitas simpang. Jika nilai D_j semakin mendekati 1, lalu lintas menjadi padat, dan kendaraan sulit bergerak dengan lancar. Akibatnya, tundaan (T), yaitu waktu kendaraan harus menunggu, menjadi lebih lama. Selain itu, Peluang Antrian (PA), yaitu kemungkinan kendaraan harus berhenti di simpang, juga semakin tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan pada simpang tak bersinyal yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

Berdasarkan survei arus lalu lintas yang dilakukan selama dua hari yaitu hari Senin dan hari Minggu dan hasil dari analisis perhitungan volume arus lalu lintas dengan arus lalu lintas tertinggi terjadi pada hari Senin 24 Februari 2025, pada jam puncak Pukul 07:00 – 07:15 WIB, volume lintas simpang tak bersinyal 2512 SMP/jam pada arus menjalin volume lalu lintas sebesar 3720 SMP/jam, dengan perbandingan kapasitas (C) eksisting masing-masing analisis pada simpang tak bersinyal adalah 3465 SMP/jam.

Kinerja pada pada simpang tak bersinyal dapat diketahui berdasarkan dari nilai derajat kejenuhan sebesar 0,73, tundaan lalu lintas 8,3 detik/kend, dan peluang antrian sebesar 21 – 43%. Berdasarkan hasil analisis perhitungan tingkat pelayanan dapat diklasifikasikan pada simpang tak bersinyal adalah B, dengan arus stabil dan kecepatan mulai terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amin, U. P. (2019). *Analisis kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal (Studi Kasus Jalan Borong Raya – Jalan Todoppuli Raya Timur – Jalan Batua Raya)* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- [2] Anshari, A. S. (2014). *Volume Lalu Lintas Ruas Jalan Pangalengan–Rancabuaya*. E-Journal Graduate Unpar,
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [4] Databoks. 2024. Jumlah Penduduk Kota Bengkulu Per 2024. <http://databoks.katadata.co.id>. 20 Januari 2025, 21.16 wib.
- [5] Gunawan Azar, 2022. *Analisis Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
- [6] Hadijah, I., & Dkk. (2018). Analisis kinerja simpang tidak bersinyal kota metro. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), hal : 8-14.
- [7] Ilham, I., Masril, M., & Ishak, I. (2022). *Analisis Simpang Tiga Bersinyal Tugu Adipura Kota Payakumbuh menggunakan Metode MKJI 1997*. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*,.
- [8] Kuncoro, H. B. B., Intari, D. E., & Rahmayanti, R. (2019). *Analisis kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal (Studi Kasus: Simpang Tiga Jalan Raya Serang Km 24–Jalan Akses Tol Balaraja Barat, Balaraja, Kabupaten Tangerang, Banten)*. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*,

Analisis Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Dengan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 (Studi Kasus : Jl. Raflesia, Jl. Kebun Veteran, dan Jl. Seruni) (Elmas Elona Reski)

-
- [9] Lubis, K. (2009). *Analisa Kinerja Simpang Tak Bersinyal*. Universitas Medan Area.
- [10] Morlok, E.K., 1978, *Introduction to Transportation Engineering and Planning*, McGraw-Hill, New York.
- [11] Novi, L., & Tri S. 2019. Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Jalan Raya Dramaga-Bubulak Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Teknik Sipil Institut Pertanian Bogor*. 4(1):69-78.
- [12] Peraturan Menteri Perhubungan No.14. (2006). *Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas*. Lembaga Negara Republik Indonesia. Jakarta.
- [13] Pratama dan Susilo. (2019). *Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Pada Lintasan Kereta Api di Jalan Abdul Rahman Saleh*. Jurnal Teknik Sipil, Volume 15, Nomor 1.
- [14] Universitas Kristen Maranatha. Prayitno, E. A., Abidin, Z., & Huda, M. (2019). Analisis Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Raya Nginden - Jl. Raya Panjang Jiwo Menggunakan PKJI 2014. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*
- [15] Putri, D. A. P. A. G., Herin, K. M. K., & Ariawan, P. (2023). *Analisis kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Hang Tuah-Danau Beratan): Performance Analysis of the Three Junction Section (Case Study of Hangtuah Junction â€“Danau Beratan)*. Spektrum Sipil,
- [16] Soedirdjoe. (2002). *Rekayasa Lalulintas*. Bandung: Penerbit ITB.



CIVeng

JURNAL TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN

Sekretariat : Program Studi Teknik Sipil
Gedung Teknik Lt.1 Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. K. H. Ahmad Dahlan PO Box 202, Purwokerto 53182
Telp. 0281-636751 Ext.165
Email : jurnalciveng@ump.ac.id

