

PR

Publikasi Riset



TEKSI

rientasi Teknik Sipil

Penggunaan Algoritma Genetika untuk Penentuan Durasi Optimum pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Brawijaya Malang
Achmad Yulianto, Eko Prasetyo

Perbandingan Penggunaan Fly Ash dengan Kalsium Karbonat Sebagai Bahan Tambah Semen
Arusmalem Ginting, Bing Santosa, Imam Syarif Hidayatulloh, Resqi Prananda.

Analisis Prilaku Kembang Susut Tanah Lempung Fakfak yang Distabilisasi dengan Kapur
Nurul Muhlisah, Jusmawandi, Risma Niswati Tarmam.

Evaluasi Efektivitas Reviu Harga Perkiraan Sendiri oleh Inspektorat Kabupaten Jombang Guna Mengurangi Potensi Korupsi (Studi Kasus 10 Proyek Strategis Daerah Kabupaten Jombang Tahun Anggaran 2023)
Elsa Khoirun Nisa, Maulidya Octaviani B., Wisnu Abiarto N.

Kajian Manajemen Pemeliharaan Jalan Berdasarkan Korelasi Nilai Kerusakan Terhadap Nilai Roughness Jalan Berbasis Roadlab Pro
Wiki Yulandi, Elsa Eka Putri, Purnawan.

Analisis Perencanaan Saluran Terbuka pada Lokasi Amblesan Jalur Kereta Api di KM 206+100 - KM 206+5650 Emplasen Gilas Divre IV Tanjung Karang
Yogi Peranata, Henggar Risa Destania, Ghina Amalia.

Analisis Strategi Perbaikan Jaringan Irigasi Ngudikan Kiri Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process
Egha Stevania Sutopo, Bambang Sujatmiko, Dayat Indri Yuliasuti.

Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada PT. XYZ Menggunakan Metode Job Safety Analysis (JSA) dan Hazard Identification Risk Assessment (HIRA)
Rezi Berliana Yasinta, Farhan Ahmad, Adi Darmawan, Zaki Al Fattah Putra Firmansyah.

Evaluasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) Berbasis Metode HIRARC untuk Meningkatkan Kinerja para Pekerja pada Proyek Pengeboran SUMUR Eksplorasi di PT. X

Rezi Berliana Yasinta, Nandiva Aurellia Putri Said, Adinda Chaesa, Mifthah Alvito Mulya, Keny Islam Nuresa, Teuku Rizky Ananda.

Analisis Dampak Lalu Lintas Jalan Zaenal Zakse Akibat Aktivitas Pasar Kebalen di Kota Malang
Rifky Aldila Primasworo, Andy Kristafi Arifianto, Blima Oktaviastuti, Gilberd Herdani Hau Pia.

Sebaran Perjalan Bus Berdasarkan Asal Tujuan Penumpang Terminal di Kota Surabaya untuk Pergerakan Perjalanan di Wilayah Jawa Timur
R. Endro Wibisono, Kusuma Refa Haratama.

Analisis Kapasitas Rumah Pompa Pulpopancikan dalam Upaya Pengendalian Banjir di Kabupaten Gresik
Anna Rosytha, Sayat Indri Yuliasuti, Arifien Nursandah, Mochamad Ismianto.

Analisis Kinerja Simpang APILL pada Simpang Empat Jl. Pemuda Timur - Jl. Ngampel dan Jl. Lisman - Jl. Veteran Kabupaten Bojonegoro
Alfia Nur Rahmawati, Yulis Wighiastuti, Andy Yanuar Putra Riyadi.

Identification and Evaluation of Risks in Construction Projects in Archipelagic Areas Using Failure Mode Effect and Analysis (FMEA) Method: A Case Study of East Sumba, Indonesia

Ahmad Fraid Ardiansyah.

Analisa Kinerja Ruas Jalan Tukad Pakerisan Denpasar Selatan Menggunakan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023

Luh Putu Merta Karunia Putri, I Gede Fery Surya Tapa, I Putu Kresna Suputra, Carolina Susana Putri Nahak, Putu Ariawan, Putu Budiarnaya.

Published by
Jurusan Teknik Sipil
Gedung A4
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Ketintang
Jalan Ketintang, Surabaya
60231

Website
<https://journal.unesa.ac.id/index.php/proteksi>

Email
jurnalproteksi@unesa.ac.id

Contact
087849941119

Kata Pengantar

Jurnal Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI) Universitas Negeri Surabaya (UNESA) ini telah mendapatkan e-ISSN dari LIPI dan Proteksi saat ini menduduki peringkat SINTA 4 (Indeks Sains dan Teknologi) [ranked SINTA 4 \(Science and Technology Index\) published in Director Decree SK no. 72/E/KPT/2024](#). Proteksi menerbitkan Volume 7, Nomor 2, Desember 2025. Penerbitan jurnal ini dimaksudkan untuk memberikan informasi ilmiah mengenai perkembangan ilmu teknik sipil yang meliputi hasil penelitian, kajian pustaka dan telaah kritis pada kasus-kasus ilmu ketekniksipil. Pada Volume 7, Nomor 2 ini menerbitkan 15 judul artikel ilmiah yang kami sajikan. Penulis pada Volume 7, Nomor 2 ini merupakan sivitas akademika dari dalam maupun luar Universitas Negeri Surabaya. Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para mitra bestari dan penyunting yang telah menyediakan waktunya untuk menyunting naskah artikel yang dimuat. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para penulis dan semua pihak yang telah membantu hingga terbitnya jurnal ini. Kami sangat mengharapkan peran aktif semua pihak sebagai penulis artikel, baik dari lingkungan akademisi maupun praktisi dan lain-lain khususnya bidang teknik sipil. Semoga materi yang disampaikan dapat berguna bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan secara umum. Kritik dan saran sangat redaksi harapkan untuk perbaikan penerbitan berikutnya. Terimakasih dan Selamat Membaca.

Volume 7, No. 2, Desember 2025

E-ISSN : 2655-6421

Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI)

Pimpinan Redaksi :

Nurul Jannah Asid, S.T., M.T. (UNESA)

Editor :

Danayanti Azmi Dewi Nusantara S.T., M.T. (UNESA)
Hendro Sutowijoyo, S.T., M.T. (Universitas Narotama)
Audinda Virsa Leinia, S.T., M.Sc. (UNESA)
Anita Intan Nura Diana, S.T., M.T. (UNIJA)
Siti Talitha Rachma, S.T., M.Sc. (UNESA)
Maulidya Octaviani Bustamin, S.T., M.MT. (UNITOMO)
Irfan Prasetyo Loekito, S.T., M.Sc. (UNESA)

Mitra Bestari :

Prof. Dr. Ir. Erina Rahmadyanti, S.T., M.T. (UNESA)
Ir. Arie Wardhono, S.T., M.MT., M.T., Ph.D. (UNESA)
Dr. Ir. Indra Komara, S.T., M.T. (ITATS)
Dr. Eng. Ir. Mohammad Ferdaus Noor Aulady, S.T., M.T., M.Sc., IPM., ASEAN Eng (ITATS)
Ir. Purwo Mahardi, S.T., M.Sc. (UNESA)
Rizki Astri Aprilianai, S.T., M.T. (UNITOMO)
Dwi Deshariyanto, S.T., M.T. (Universitas Wiraraja)
Ach. Desmantri Rahmanto, S.T., M.T. (Universitas Wiraraja)
Dr. Adhi Muhtadi, S.T., S.E., M.Si., M.T. (Universitas Narotama)
Safrin Zuraidah, S.T., M.T. (UNITOMO)

Alamat Penerbit :

Jurusan Teknik Sipil
Gedung A4, Fakultas Teknik
Universitas Negeri Surabaya
Telp. (031) 8280009
Website: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/proteksi/index>
Email : jurnalproteksi@unesa.ac.id
Frekuensi terbit setahun 2 kali (Juni dan Desember)

Jurnal Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil merupakan suatu wadah karya tulis ilmiah para dosen dan praktisi yang bergerak dibidang teknik sipil meliputi struktur, lingkungan, rekayasa jalan, rekayasa tanah, rekayasa air, manajemen kontruksi sebagai perwujudan tri darma perguruan tinggi.

DAFTAR ISI

PROTEKSI

Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil

Halaman Judul.....	i
Kata Pengantar.....	ii
Susunan Dewan Redaksi.....	iii
Daftar Isi.....	iv

Penggunaan Algoritma Genetika untuk Penentuan Durasi Optimum pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Brawijaya Malang	
Achmad Yulianto, Eko Prasetyo.....	112-118
Perbandingan Penggunaan <i>Fly Ash</i> dengan Kalsium Karbonat Sebagai Bahan Tambah Semen	
Arusmalem Ginting, Bing Santosa, Imam Syarif Hidayatulloh, Resqi Prananda	119-124
Analisis Prilaku Kembang Susut Tanah Lempung Fakfak yang Distabilisasi dengan Kapur	
Nurul Muhlisah, Jusmawandi, Risma Niswati Tarman	125-130
Evaluasi Efektivitas Reviu Harga Perkiraan Sendiri oleh Inspektorat Kabupaten Jombang Guna Mengurangi Potensi Korupsi (Studi Kasus 10 Proyek Strategis Daerah Kabupaten Jombang Tahun Anggaran 2023)	
Elsa Khoirun Nisa, Maulidya Octaviani B., Wisnu Abiarto N	131-140
Kajian Manajemen Pemeliharaan Jalan Berdasarkan Korelasi Nilai Kerusakan Terhadap Nilai <i>Roughness</i> Jalan Berbasis <i>Roadlab Pro</i>	
Wiki Yulandi, Elsa Eka Putri, Purnawan	141-149
Analisis Perencanaan Saluran Terbuka pada Lokasi Amblesan Jalur Kereta Api di KM 206+100 – KM 206+5650 Emplasen Gilas Divre IV Tanjung Karang	
Yogi Peranata, Henggar Risa Destania, Ghina Amalia	150-158
Analisis Strategi Perbaikan Jaringan Irigasi Ngudikan Kiri Menggunakan Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i>	
Egha Stevania Sutopo, Bambang Sujatmiko, Dayat Indri Yuliasuti	159-168
Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada PT. XYZ Menggunakan Metode <i>Job Safety Analysis</i> (JSA) dan <i>Hazar Identification Risk Assesment</i> (HIRA)	
Rezi Berliana Y., Farhan Ahmad, Adi Darmawan, Zaki Al Fattah Putra F.....	169-181
Evaluasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) Berbasis Metode HIRARC untuk Meningkatkan Kinerja para Pekerja pada Proyek Pengeboran SUMUR Eksplorasi di PT. X	
Rezi Berliana Yasinta, Nandiva Aurellia Putri Said, Adinda Chaesa, Mifthah Alvito Mulya, Keny Islam Nuresa, Teuku Rizky Ananda	182-189
Analisis Dampak Lalu Lintas Jalan Zaenal Zakse Akibat Aktivitas Pasar Kebalen di Kota Malang	
Rifky Aldila P., Andy Kristafi A., Blima Oktaviastuti, Gilbert Herdani Hau Pia	190-195
Sebaran Perjalanan Bus Berdasarkan Asal Tujuan Penumpang Terminal di Kota Surabaya untuk Pergerakan Perjalanan di Wilayah Jawa Timur	
R. Endro Wibisono, Kusuma Refa Haratama	196-201

Analisis Kapasitas Rumah Pompa Pulo Pancikan dalam Upaya Pengendalian Banjir di Kabupaten Gresik

Anna Rosytha, Sayat Indri Yuliasuti, Arifien Nursandah, Mochamad Ismianto202-208

Analisis Kinerja Simpang APILL pada Simpang Empat Jl. Pemuda Timur – Jl. Ngampel dan Jl. Lisman – Jl. Veteran Kabupaten Bojonegoro

Alfia Nur Rahmawati, Yulis Wighiastuti, Andy Yanuar Putra Riyadi.....209-215

Identification and Evaluation of Risks in Construction Projects in Archipelagic Areas Using Failure Mode Effect and Analysis (FMEA) Method: A Case Study of East Sumba, Indonesia

Ahmad Farid Ardiansyah216-227

Analisa Kinerja Ruas Jalan Tukad Pakerisan Denpasar Selatan Menggunakan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023

Luh Putu Merta Karunia Putri, I Gede Fery Surya Tapa, I Putu Kresna Suputra, Carolina Susana Putri Nahak, Putu Ariawan, Putu Budiarnaya228-233

Penggunaan Algoritma Genetika Untuk Penentuan Durasi Optimum Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Brawijaya Malang

The Use of Genetic Algorithms to Determine the Optimum Duration of the Construction Project of the Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan, Brawijaya University, Malang

Achmad Yulianto¹ Eko Prasetyo²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya, Jl A. Yani 114 Surabaya. Telp (031) 8285602. Email : yulianto@ubhara.ac.id

¹Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya, Jl A. Yani 114 Surabaya. Telp (031) 8285602.

Abstrak

Algoritma genetika digunakan untuk menentukan durasi terbaik untuk setiap aktivitas dalam proyek sehingga menghasilkan durasi optimum, yaitu durasi proyek yang menghasilkan total biaya proyek minimum. Penelitian ini bertujuan menentukan durasi optimum proyek dan Total Biaya Proyek minimum pada proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Brawijaya. Data sekunder diperoleh dari PT Citra Mandiri Cipta selaku kontraktor. Populasi awal terbentuk dari 16 kromosom, setiap kromosom mengandung 57 gen, setiap gen berisi data durasi setiap aktivitas yang diperoleh secara acak. Setiap kromosom menyediakan informasi tentang durasi dan total biaya proyek dengan menggunakan perhitungan PDM. Hubungan antara fitness dan total biaya proyek adalah semakin rendah total biaya proyek, semakin besar nilai fitnessnya. Untuk memunculkan nilai fitness yang lebih baik, crossover dan mutasi dilakukan pada setiap siklus (generasi). Setelah dilakukan pengulangan sebanyak 500 generasi, diperoleh durasi optimum sebesar 238 hari dan total biaya proyek sebesar Rp 36.653.132.882,00, sehingga terjadi penghematan biaya sebesar Rp22.397.054 dan percepatan durasi selama 7 hari. Total biaya proyek dan durasi optimum dengan perhitungan Time Cost Trade Off memberikan hasil yang sama.

Kata Kunci: *Genetic Algorithm; Precedence Diagram Method; optimum duration*

Abstract

Genetic algorithms are used to determine the best duration for each activity in the project so as to produce the optimum duration, namely the project duration that produces the minimum total project cost. This study determine the optimum project duration and the minimum Total Project Cost in the Faculty of Health Sciences Building Construction project, Brawijaya University. Secondary data were obtained from PT Citra Mandiri Cipta as the contractor. The initial population is formed from 16 chromosomes, each chromosome contains 57 genes, each gene contains data on the duration of each activity obtained randomly. Each chromosome provides information about the duration and total cost of the project using the PDM calculation. The relationship between fitness and total project cost is that the lower the total project cost, the greater the fitness value. To produce a better fitness value, crossover and mutation are carried out in each cycle (generation). After 500 generations of repetition, the optimum duration was obtained at 238 days and the total project cost was Rp 36,653,132,882.00, resulting in cost savings of Rp22,397,054 and a duration acceleration of 7 days. The total project cost and optimum duration with the Time Cost Trade Off calculation gave the same results.

Keywords: *Genetic Algorithm; Precedence Diagram Method; optimum duration*

PENDAHULUAN

Algoritma genetika merupakan salah satu metode dalam menentukan optimasi yang banyak digunakan dalam beberapa disiplin ilmu.

Proyek adalah aktivitas yang bersifat sementara yang bertujuan untuk mendapatkan produk dengan kriteria spesifik yang berlangsung dalam rentang waktu khusus dengan alokasi sumber daya yang terbatas, dimana total biaya yang diperlukan dalam penyelesaian suatu proyek terdiri dari biaya langsung dan biaya tidak langsung. Precedence Diagramming Method (PDM) merupakan jaringan kerja yang baik digunakan pada proyek yang memiliki banyak kegiatan tumpang tindih.

Algoritma genetika digunakan untuk menentukan durasi kegiatan proyek terbaik sehingga menghasilkan total durasi proyek yang optimum yaitu durasi yang menghasilkan total biaya minimum. Pada penelitian ini, untuk menjalankan proses algoritma genetika, penulis menggunakan pemrograman python dengan editor Visual Studio Code versi 1.91.1.

Tujuan penelitian ini untuk menentukan durasi proyek optimum pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan, total biaya proyek, serta selisih biaya sebelum dan sesudah optimasi.

Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah metode pemecahan masalah matematis kompleks yang menggunakan seleksi alam dan teori evolusi (Mayyani, Nurbaiti, Supriyo, Aman, Silalahi, 2023). Algoritma genetika sering diaplikasikan dalam optimasi pemecahan masalah seperti sistem pengambilan keputusan, penentuan jarak terdekat, juga dipakai untuk metode penjadwalan yang kompleks. Aloritma Genetika lebih unggul dalam keserdahanaan dan kemampuan penyelesaian masalah yang rumit. (Andriyadi, Halimah, Yuliawati, Saleh, 2022).

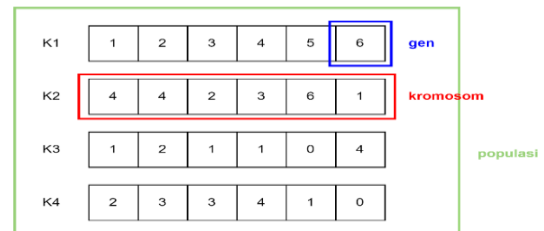
Kromosom

Kromosom dibentuk oleh beberapa gen dan sejumlah kromosom dibuat untuk membentuk populasi (Mayyani, Nurbaiti, Supriyo, Aman, Silalahi, 2023). Jumlah gen pada setiap kromosom harus sama dan setiap kromosom memberikan satu alternatif solusi permasalahan, lihat Gambar 1 dan Tabel 1. Tingkat kualitas suatu kromosom untuk memberikan solusi direpresentasikan oleh fitness (Abdy, Wahyuni, Ilmi, 2016). Kromosom yang lebih

berkualitas akan memiliki kans untuk tetap bertahan hidup (survive) serta melakukan reproduksi keturunan (crossover) (Bakhtiar, 2020).

Populasi Awal

Populasi awal yang terbentuk dari sejumlah kromosom ini dimunculkan secara random untuk



Gambar 1. Ilustrasi Populasi, Kromosom, dan Gen (Mayyani, Nurbaiti,

Tabel 1. Penjelasan Istilah dalam Algoritma Genetika (Christian, Sujaini, Negara, 2017).

Istilah	Keterangan
Populasi	sekumpulan individu yang akan diproses bersama dalam siklus evolusi.
Kromosom	gabungan gen-gen yang membentuk nilai tertentu. Kumpulan dari beberapa gen.
Gen	sebuah nilai yang menyatakan satuan dasar yang membentuk suatu arti tertentu dalam satu kesatuan yang dinamakan kromosom.
Fitness	menyatakan seberapa baik nilai dari suatu individu atau solusi yang didapatkan. tertinggi adalah solusi terbaik
Generasi	merupakan satu siklus proses evolusi atau satu iterasi di dalam algoritma genetika.

memberikan kemungkinan solusi terbaik (Widyastuti, Hamzah, 2018). Representasi Populasi awal dilustrasikan pada Tabel 2. Jumlah kromosom ini harus tetap konstan dan selanjutnya akan selalu dipakai dalam proses komputasi dan disebut ukuran

populasi. Untuk dapat menentukan kromosom terbaik yang merupakan solusi suatu masalah maka diperlukan proses evaluasi. Proses evaluasi ini diperlukan agar dapat menentukan nilai fitness yang dimiliki oleh setiap kromosom.

Tabel 2. Representasi Populasi awal
(Pangestu, Suryawan, Latipah, 2023)

Kro	G1	G2	G3	G4	G5
	t,w	t,w	t,w	t,w	t,w
K1	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3
K2	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3
K3	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3
K4	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3
K5	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3	t1,w3

Crossover

Setelah proses evaluasi selesai dilakukan maka akan dilanjutkan dengan proses seleksi dan crossover dalam upaya mempertahankan serta meningkatkan nilai fitness kromosom-kromosom. Metode roda roulette (roulette wheel) dipilih karena probabilitas nilai fitness yang besar memiliki kans yang besar untuk terpilih (Setiawan, Herwindiati, Sutrisno, 2019). Crossover dilakukan oleh dua kromosom dan akan memunculkan dua kromosom anak (offspring) (Abdy, Wahyuni, Ilmi, 2016). Proses crossover ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi One Point crossover
(Suryaputra, Lubis, Sutrisno, 2018)

Mutasi

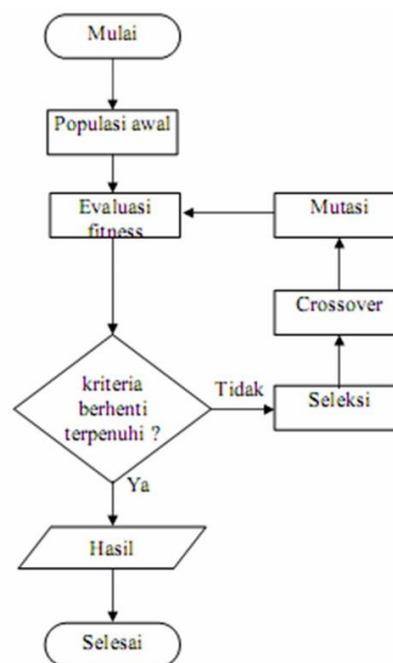
Proses mutasi ini meniru kehidupan alamiah yaitu kemungkinan terjadinya mutasi genetik. Mutasi merupakan proses mengubah nilai dari satu atau beberapa gen dalam kromosom (Hasan, Hermanto, Muttaqin, 2018). Tabel 3 mengilustrasikan proses mutasi. Gen yang mengalami mutasi terpilih secara acak.

Tabel 3. Ilustrasi Mutasi (Nazarius, Pratama, Soebagijo, Priskila, Pranatawijaya, 2024)

Sebelum Mutasi	Sesudah Mutasi
1, 20, 2, 4, 3	2, 20, 2, 4, 3

Pengulangan Proses

Algoritma Genetika akan melakukan berulang kali proses evaluasi, seleksi, reproduksi, serta mutasi sampai mendapatkan kromosom dengan fitness terbaik seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Proses Algoritma Genetika
(Shita, Subandi, 2017)

Precedence Diagramming Method

Precedence Diagramming Method (PDM) merupakan jaringan kerja yang baik untuk proyek yang terdapat pekerjaan tumpang tindih (overlapping). PDM memiliki banyak macam konstrain, yang menggambarkan model hubungan antar kegiatan (Marbun, Gawei, Puspasari, 2023).

Slope Biaya

Cost slope (slope biaya) merupakan perbandingan antara selisih biaya dan beda durasi dirumuskan dengan persamaan [1] (Nuciferani, Aulady, Wibowo, 2019)

$$\text{slope biaya} = \frac{\text{Biaya dipersingkat} - \text{Biaya Normal}}{\text{Waktu normal} - \text{Waktu dipersingkat}} \dots [1]$$

Proyek merupakan kumpulan kegiatan yang saling berhubungan yang memiliki titik awal dan titik akhir serta target khusus oleh karena itu proyek biasanya membutuhkan aneka keahlian dari berbagai profesi dan organisasi. Proyek adalah usaha yang kompleks, tidak rutin, yang dibatasi oleh waktu, anggaran, sumber daya, dan spesifikasi kinerja yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. (Sunatha, Lestari, Soneta, 2021).

Precedence Diagramming Method (PDM)

PDM memiliki konstrain seperti SS, SF, FS dan FF sehingga mampu mengilustrasikan kegiatan tumpang tindih menjadi lebih sederhana (Khaidir, Ayu, Andriani, 2022). Dalam menentukan durasi proyek secara keseluruhan dilakukan dengan cara perhitungan maju dan Mundur (Rahayu, Nurwan, Wungguli, 2022)

Hitungan Maju

Persamaan [2] dan [3] digunakan dalam hitungan maju dalam menentukan durasi proyek (Safitri, Basriati, Hanum, 2019).

$$ES(j) = \text{Pilih terbesar} \begin{bmatrix} ES(i) + SS(i - j) \\ ES(i) + SF(i - j) - D(j) \\ EF(i) + FS(i - j) \\ EF(i) + FF(i - j) - D(j) \end{bmatrix} \dots \dots \dots [2]$$

$$EF(j) = ES(j) + D(j) \dots \dots \dots [3]$$

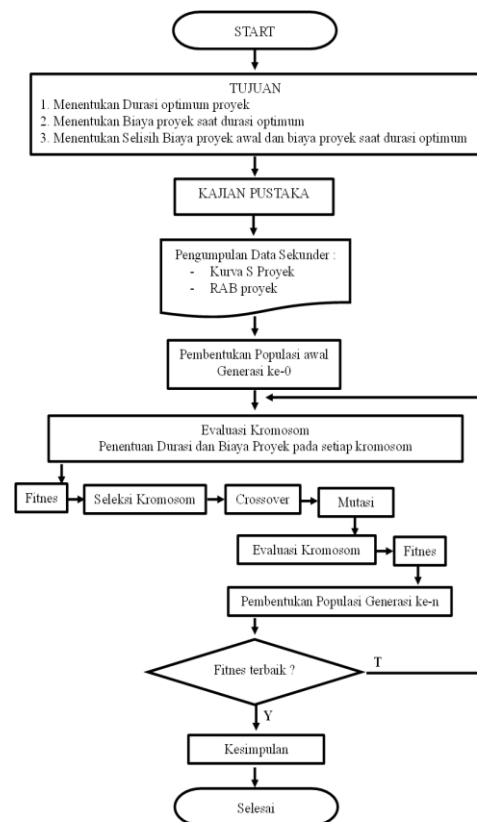
Hitungan Mundur

Persamaan [4] dan [5] digunakan dalam hitungan mundur dalam menentukan durasi proyek (Safitri, Basriati, Hanum, 2019)

$$LF(i) = \text{Pilih angka terkecil dari} \begin{bmatrix} LF(j) - FF(i - j) \\ LS(j) - FS(i - j) \\ LF(j) - SF(i - j) + D(i) \\ LS(j) - SS(i - j) + D(j) \end{bmatrix} \dots \dots \dots [4]$$

$$LS(i) = LF(i) - D(i) \dots \dots \dots [5]$$

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data kuantitatif. Data sekunder pada penelitian ini diperoleh dari kontraktor pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Brawijaya. Gambar 4. mengilustrasikan diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Data Sekunder

Kurva-S dan RAB yang merupakan data sekunder diperoleh dari PT. Citra Mandiri Cipta sebagai kontraktor utama pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan adalah Universitas Brawijaya.

Pembentukan Populasi Awal

Populasi awal terbentuk dari 16 kromosom, masing-masing kromosom berisi 57 gen, dalam hal ini isi gen adalah nilai integer yang merepresentasikan durasi dari masing-masing kegiatan. Dan Kromosom pertama (nomor 1 dari 16 kromosom) pada generasi ke-0 dimunculkan untuk merepresentasikan durasi setiap kegiatan yang ada

pada proyek, sedangkan kromosom no 2 sampai nomor 16, durasinya diisi secara random dengan tetap memperhatikan batas minimum dan maksimum durasi dari setiap kegiatan.

Evaluasi Kromosom

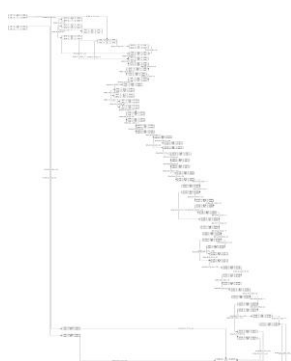
Pada proses evaluasi kromosom terdapat dua perhitungan, yaitu perhitungan durasi proyek dan total biaya proyek. Gambar 5 mengilustrasikan jaringan kerja/network PDM untuk kromosom nomor satu pada generasi ke-0 dan total durasi proyek dihitung dengan menggunakan persamaan [2], [3], [4], dan [5]. Dan total biaya proyek merupakan jumlah dari biaya langsung dan biaya tidak langsung seperti pada persamaan [6].

$$\text{Total Biaya} = A + B$$

$$A = \sum_{i=1}^n (cn_i + (dn_i - dur_i) \times cs_i) \dots\dots\dots [6]$$

$$B = oh \times \sum_{i=1}^n dur_i$$

cn = biaya normal (awal)
dn = durasi normal (awal)
cs = slope biaya mengikuti persamaan [1]
dur = durasi item kegiatan proyek
oh = biaya overhead per hari Rp 3.729.762
i = nomor kegiatan item pekerjaan
n = jumlah gen dalam satu kromosom



Gambar 5. Diagram network PDM untuk kromosom nomor satu pada generasi ke-0

Fitness

Hasil dari proses evaluasi kromosom (total biaya) digunakan untuk perhitungan fitness. Tingkat kualitas suatu kromosom untuk memberikan solusi direpresentasikan oleh nilai fitness. Kromosom yang lebih berkualitas akan memiliki kans untuk tetap

bertahan hidup (survive) serta melakukan reproduksi keturunan, kromosom yang tidak berkualitas akan keluar dari populasi. Pada penelitian ini nilai fitness dirumuskan dengan persamaan [7]. di mana total biaya mengikuti persamaan [6]. Penggunaan perkalian 10^{11} agar nilai fitness tidak terlalu kecil karena total biaya lebih dari 3×10^{10} .

$$fitness = \frac{10^{11}}{\text{total biaya}} \dots\dots\dots [7]$$

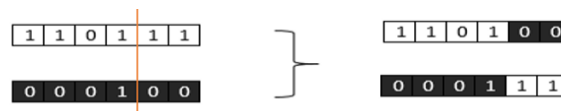
Seleksi Kromosom

Kromosom yang memiliki nilai fitness yang baik dipilih untuk melakukan crossover (penyilangan) yang diharapkan hasil crossover tersebut akan menciptakan solusi baru yang lebih baik. Pada penelitian ini metode Roulette wheel selection dipilih karena probabilitas nilai fitness yang besar akan memiliki kans lebih besar untuk terpilih (Setiawan, Herwindiati, Sutrisno, 2019). Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- Pemunculan bilangan acak random r antara 0 dan 1.
- Jika $r < \frac{fitness_1}{\sum_{j=1}^{ukuran\ populasi} fitness_j}$ maka pilih kromosom pertama atau jika $\frac{\sum_{j=1}^{i-1} fitness_j}{\sum_{j=1}^{ukuran\ pop} fitness_j} \leq r < \frac{\sum_{j=1}^i fitness_j}{\sum_{j=1}^{ukuran\ pop} fitness_j}$ maka pilih kromosom ke- i
- Ulangi langkah a dan b pada setiap kromosom dalam populasi.

Crossover

Crossover dari dua kromosom diharapkan dapat memunculkan dua kromosom baru yang memberikan solusi yang lebih baik. Dalam penelitian ini, metode One Point crossover dipilih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 One Point crossover (Suryaputra, Lubis, Sutrisno, 2018)

Mutasi

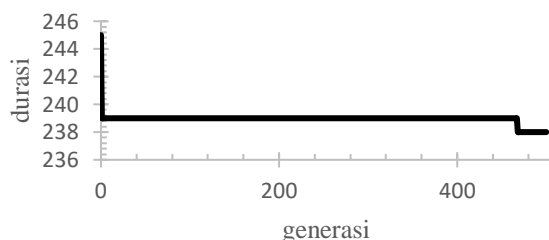
Pada penelitian ini, probabilitas gen yang mengalami mutasi (pm) sebesar 10% (Zukhri, 2014). Gen yang mengalami mutasi dipilih secara acak, lalu mengubah isi gen terpilih dengan membangkitkan

Pembentukan Populasi Baru

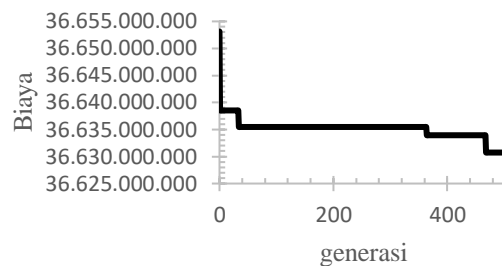
Setelah proses mutasi kromosom baru hasil crossover, maka dilakukan evaluasi kromosom kembali untuk mengetahui nilai fitness dari kromosom hasil crossover. Pembentukan populasi kromosom baru terbentuk dari 16 kromosom yang memiliki fitness terbaik. Jika fitness terbaik dari populasi baru ini belum tercapai, perlu dilakukan pengulangan proses sampai tercapai fitness terbaik seperti pada Gambar_4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

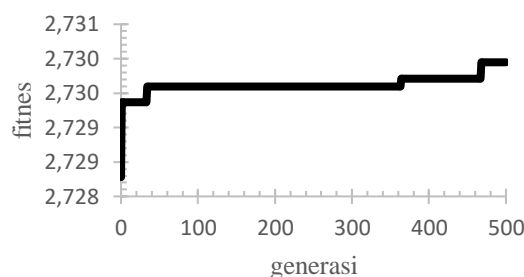
Durasi Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Brawijaya adalah 245 hari dengan memerlukan dana Rp 36.653.132.882,00 yang merupakan jumlah dari biaya langsung (Rp. 35.739.341.217,00) dan biaya tidak langsung (Rp. 913.791.665,00). Terdapat 16 durasi kegiatan yang bisa dipercepat yaitu kegiatan nomor 1, 2, 3, 14, 27, 28, 29, 32, 33, 37, 51, 52, 53, 54, 55, 56. Percepatan durasi kegiatan dengan penambahan jumlah pekerja, sehingga biaya upah kegiatan meningkat, sedangkan biaya bahan material tetap. Akibat penambahan biaya upah tersebut, menimbulkan slope biaya yang mengikuti persamaan [1]. Dari 500 generasi, durasi proyek optimum adalah 238 hari dan total biaya sebesar Rp. 36.630.735.828.089, sehingga penghematan total biaya proyek sebesar Rp. 22.397.053,91. Durasi proyek dan total biaya proyek untuk setiap generasi seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8. Sedangkan Gambar 9 melukiskan fitness terbaik untuk tiap generasi. Hasil tersebut sama jika dibandingkan hasil perhitungan metode Time Cost Trade Off seperti pada Gambar 10.



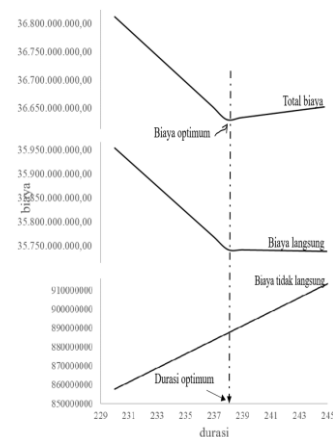
Gambar 7. Hubungan Durasi Proyek dan Generasi



Gambar 8. Hubungan Total Biaya Proyek dan Generasi



Gambar 9. Fitness Terbaik setiap generasi



Gambar 10. Durasi optimum dan Biaya optimum

KESIMPULAN

Hasil analisis menggunakan kombinasi Algoritma Genetika dan PDM memunculkan kesimpulan bahwa durasi optimum selama 238 hari, total biaya proyek sebesar Rp. 36.630.735.828,09 sehingga selisih total biaya proyek setelah optimasi dan sebelum optimasi senilai Rp. 22.397.053,91. Hasil analisis tersebut sama dan tidak berbeda dengan perhitungan metode Time Cost Trade Off.

REFERENSI

- Abdy, Muhammad. Wahyuni, Sari, Maya. Ilmi, Nur. 2016. "Algoritma Genetika dan Penerapannya dalam Mencari Akar Persamaan Polinomial", *Jurnal Saintifik*, Vol.2 No.1, Januari.
- Andriyadi, Anggi. Halimah, Yuliawati, Dona. Saleh, Sushanty. 2022. "Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Sidang Dan Seminar IIB Darmajaya", *Prosiding Seminar Nasional Darmajaya*, vol. 1, Agustus
- Bakhtiar, Yusuf, Muhammad. 2020. "Klasifikasi Penelitian Dosen Menggunakan Naïve Bayes Classifier Dan Algoritma Genetika", *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, Vol. 5 No. 2, Desember.
- Christian, Andreas. Sujaini, Herry. Negara, Putra, Bijaksana, Arif. 2017. "Implementasi Sistem Penjadwalan Akademik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Menggunakan Metode Algoritma Genetika", *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, Vol. 5, No. 2.
- Hasan, Umar. Hermanto, TI. Muttaqin, MR. 2018. *Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Algoritma Genetika Di STT Wastukencana Purwakarta*, *Jurnal Teknologi dan Informasi*, Vol. 8 No. 2, September
- Khaidir, I. Ayu, E.S. Andriani, D.P.A. 2022. "Implementasi Metode Precedence Diagram Method (PDM) Dalam Pengendalian Proyek Konstruksi", *Jurnal REKAYASA*, Vol. 12. No. 02, Desember
- Marbun, VV. Gawei, A.B.P. Puspasari, V.P. 2023. "Penjadwalan Proyek Pada Pembangunan Puskesmas Kota Besi", *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, Vol.6 No. 2, April.
- Mayyani, H. Nurbaiti, M. Supriyo, P.T. Aman, A. Silalahi, B.P. 2023. "Penerapan Algoritma Genetika Dengan Metode Roulette Wheel Dan Replacement Pada Masalah Memaksimumkan Omzet", *Journal of Mathematics and Its Applications JMA*, Vol. 19 No. 2, Desember
- Naniek Widyastuti, Amir Hamzah. 2007 "Peningkatan Kinerja Fuzzy Clustering Untuk Pengenalan Pola", *Berkala Ilmiah MIPA*, Vol. 17 No. 2 Mei.
- Nazarius, A. Pratama, R.D. Soebagijo, RA. Priskila, R. Pranatawijaya, V.H. 2024. "Pengimplementasian Algoritma Genetika Dalam Sistem Penjadwalan Praktikum", *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, Vol. 8 No. 3, Juni.
- Nuciferani, F.T. Aulady, M.F.N. Wibowo, P.A. 2019. "Pengurangan Risiko Pinalti Dengan Time Cost Trade Off Pada Proyek Konstruksi". *Jurnal Qua Teknika*, Vol. 9 No. 2, September
- Pangestu, Aji, Lintang. Suryawan, Harits, Sayekti. Latipah, Johar, Asslia. 2023. "Penerapan Algoritma Genetika Dalam Penjadwalan Mata Pelajaran", *Jurnal Informatika*, Vol. 10 No. 2 Oktober
- Rahayu, S. Nurwan, dan Wungguli, D. 2022. "Analisis Critical Path Method Dan Time Cost Trade Off Dalam Optimasi Waktu Dan Biaya Pengerjaan Proyek Pembangunan Rumah Sakit", *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*, Vol. 19 No. 2, Desember
- Safitri, E. Basriati, S. Hanum, L. 2019. "Optimasi Penjadwalan Proyek menggunakan CPM dan PDM (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Balai Nikah dan Manasik Haji KUA Kecamatan Kateman Kabupaten Indragiri Hilir)", *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, Vol. 5 No. 2, Juli.
- Setiawan, Yaputra, Jessen. Herwindiati, Erny, Dyah. Sutrisno, Tri. 2019. "Algoritma Genetika Dengan Roulette Wheel Selection Dan Arithmetic Crossover Untuk Pengelompokan", *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi*, Vol. 7 No. 1, Januari.
- Shita, R.T. Subandi. 2017. "Implementasi Algoritma Genetika Pada Aplikasi Pemetaan Distribusi Barang Berbasis Web", *Jurnal TELEMATIKA MKOM*, Vol. 9 No. 3, November
- Sunatha, I.G.N. Lestari, I.G.A.A.I. Soneta, YA. 2021. "Analisis Optimalisasi Waktu Kegiatan Pada Proyek Pembangunan Gedung C SMPN 14 Denpasar Dengan Microsoft Project 2007". 2021. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik* Vol. 10, No. 2, November
- Suryaputra, Judah. Lubis, Chairisni. Sutrisno, Tri. 2018. "Pemilihan crossover pada algoritma genetika untuk program aplikasi pengenalan karakter tulisan tangan", *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi*, vol. 6 No. 1, Januari
- Zukhri, Zainudin. 2014. "Algoritma Genetika Metode Komputasi Evalusioner Untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi", C.V. ANDI OFFSET, Yogyakarta

Perbandingan Penggunaan *Fly Ash* Dengan Kalsium Karbonat Sebagai Bahan Tambah Semen

Comparison of the Utilization of Fly Ash with Calcium Carbonate as Supplementary Cementitious Materials

Arusmalem Ginting¹, Bing Santosa², Imam Syarif Hidayatulloh³, Resqi Prananda⁴

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: aginting@janabadra.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: bing@janabadra.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: syarifimam75@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: resqinanda@gmail.com

Abstrak

Bahan tambah semen yang sering digunakan diantaranya adalah *fly ash* dan kalsium karbonat. Berdasarkan hal tersebut maka perlu diteliti perbandingan penggunaan *fly ash* dengan kalsium karbonat sebagai bahan tambah semen. Penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Setiap variasi terdiri dari 2 buah benda uji silinder beton, dan total benda uji 18 buah. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian nilai *slump* dan kuat tekan. Dari hasil penelitian didapat: *fly ash* yang dipakai tergolong pozzolan kelas C, sedangkan kalsium karbonat tidak termasuk pozzolan. Penambahan semen dengan *fly ash* dan juga kalsium karbonat 5% sampai 20% meningkatkan nilai *slump*. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih rendah dari penambahan kalsium karbonat 10% sampai 20%, dan lebih tinggi pada 5%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dan kalsium karbonat lebih rendah dari beton normal sampai penambahan semen 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari penambahan kalsium karbonat sampai 20%.

Kata Kunci: Bahan tambah semen; *Fly ash*; Kalsium karbonat; Kuat tekan; Nilai *slump*

Abstract

Commonly used supplementary cementitious materials include fly ash and calcium carbonate. Based on this, necessary to study the comparison of the use fly ash with calcium carbonate as supplementary cementitious materials. The addition of cement with fly ash and calcium carbonate is 5%, 10%, 15% and 20% of the weight of the cement. Each variation consists of 2 concrete cylinder specimens, and a total of 18 specimens. The tests carried out were slump value and compressive strength tests. The results of the study showed that the fly ash used is classified as class C pozzolan, while calcium carbonate is not included in pozzolan. The addition of cement with fly ash and also calcium carbonate 5% to 20% increases the slump value. The addition of cement with fly ash produces a lower slump value than the addition of 10% to 20% calcium carbonate, and higher at 5%. The compressive strength of concrete with the addition of cement with fly ash is higher and calcium carbonate is lower compared to normal concrete up to an addition of 20%. The compressive strength of concrete with the addition of cement with fly ash is higher than the addition of calcium carbonate up to 20%.

Keywords: Calcium carbonate; Compressive strength; Fly ash; Supplementary cementitious materials; Slump value

PENDAHULUAN

Bahan tambah semen atau *Supplementary Cementitious Materials* (SCM) ditambahkan ke campuran beton dengan berbagai tujuan seperti: meningkatkan daya tahan, mengurangi permeabilitas, mengurangi reaktivitas alkali, dan meningkatkan sifat beton melalui aktivitas hidraulik atau pozolan atau keduanya. SCM ditambahkan ke beton sebagai bahan tambah atau sebagai substitusi parsial semen atau semen campuran (*blended cements*). SCM yang sering digunakan diantaranya adalah *fly ash* dan kalsium karbonat. *Fly ash* merupakan SCM yang paling banyak digunakan dalam beton dan merupakan produk sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik. Kalsium karbonat adalah bahan pengisi berupa kapur yang dapat membantu mempercepat hidrasi semen, kekuatan awal tinggi, dan meningkatkan ketahanan beton (EUCD, n.d.). Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian perbandingan penggunaan *fly ash* dengan kalsium karbonat sebagai bahan tambah semen.

Penambahan *fly ash* pada umumnya meningkatkan sifat beton. Penggunaan *fly ash* meningkatkan *workability*, mengurangi *bleeding*, dan membuat beton tahan lama (*durable*) (Marthong dan Agrawal, 2012). Penambahan *fly ash* meningkatkan kepadatan pasta pengikat melalui reaksi pozolan (Saha, 2018).

Kuat tekan beton dan *workability* meningkat pada penambahan *fly ash* dari 2% sampai 20%. Penyerapan air paling rendah terjadi pada penambahan *fly ash* 13% (Adinna dkk., 2023). Penggunaan *fly ash* sampai 20% berpengaruh positif pada karakteristik material dan penggunaan yang melebihi 20% dapat menurunkan kinerja komposit. *Fly ash* dapat menurunkan kekuatan awal tetapi dapat diatasi dengan aktivasi kimia dan penambahan nanomaterial. *Fly ash* dapat meningkatkan keawetan dan sifat-sifat mekanik beton jangka panjang (Li dkk., 2022).

Fly ash dapat meningkatkan sifat mekanik dan fisik beton jika digunakan sebagai bahan substitusi semen dosis optimumnya adalah 10% (Muñoz-Pérez dkk., 2024). Penggunaan *fly ash* mengakibatkan peningkatan *workability* (Hygrive dkk., 2017). Kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi semen sebesar 20%, 25%, dan 30% lebih rendah dari kuat tekan beton normal. Semakin besar persentase *fly ash* mengakibatkan kuat tekan beton semakin menurun. Penggunaan *fly ash* sebesar 20% menghasilkan kuat tekan yang terbaik. Penggunaan *fly ash* yang tepat sebagai bahan tambah berkisar antara 20%-30% (Pangestuti dkk., 2018). Penggantian semen dengan *fly ash* optimum sebesar

20%. Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *workability* dan kuat tekan beton (Das dan Reza, 2019).

Penggunaan kalsium karbonat meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton (John dkk., 2019). Nano CaCO_3 memiliki potensi untuk menggantikan *fly ash* baik secara ekonomi, lingkungan, maupun teknis dalam industri semen dan beton (Poudyal dkk., 2021). Nano- CaCO_3 meningkatkan kekuatan tekan dan kuat lentur beton (Sun dkk., 2020).

Penggantian semen dengan debu kalsium karbonat dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur, terutama pada beton dengan faktor air semen yang rendah (Saini dan Singh, 2018). Penggantian semen dengan kalsium karbonat optimum sebesar 15%. Penggunaan kalsium karbonat dapat meningkatkan *workability* dan kuat tekan beton (Das dan Reza, 2019).

METODE

Bahan susun beton terdiri dari: semen, pasir, dan batu pecah (*split*). Bahan tambah semen yang digunakan adalah *fly ash* dan kalsium karbonat (CaCO_3). Pasir dan batu pecah (*split*) bersumber dari Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Fly ash* bersumber dari Tanjung Jati B Power Plant, Kabupaten Jepara. Kalsium karbonat merupakan produk dari PT. Omya Indonesia.

Pengujian pendahuluan dilakukan untuk pasir dan batu pecah (*split*) sebelum membuat perancangan adukan beton (*mix design*). Pengujian *X-Ray Fluorescence* dilakukan terhadap *fly ash* dan kalsium karbonat. *Fly ash* dan kalsium karbonat pada penelitian ini seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Fly ash dan kalsium karbonat

Penambahan semen dengan *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Penambahan semen dengan kalsium karbonat sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Variasi penambahan semen pada penelitian ini seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Benda uji

Kode	Semen (%)	Fly Ash (%)	CaCO ₃ (%)	Jumlah benda uji
PF ₀ C ₀	100	0	0	2
PF ₅ C ₀	100	5	0	2
PF ₁₀ C ₀	100	10	0	2
PF ₁₅ C ₀	100	15	0	2
PF ₂₀ C ₀	100	20	0	2
PF ₀ C ₅	100	0	5	2
PF ₀ C ₁₀	100	0	10	2
PF ₀ C ₁₅	100	0	15	2
PF ₀ C ₂₀	100	0	20	2
Jumlah benda uji				18

Kuat tekan yang disyaratkan ditetapkan sebesar 20 MPa pada umur 28 hari. Perancangan campuran (*mix design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000. Dari hasil *mix design* didapat untuk 1 m³ beton digunakan 205 liter air : 427 kg semen : 730 kg pasir : 1029 kg batu pecah.

Faktor air semen (fas) dari hasil *mix design* 0,48. Pada penelitian ini digunakan faktor air semen (fas) tetap dengan jumlah semen total adalah jumlah semen ditambah *fly as* atau jumlah semen ditambah kalsium karbonat. Penambahan semen dengan *fly ash* atau kalsium karbonat diikuti dengan penambahan air untuk mempertahankan faktor air semen.

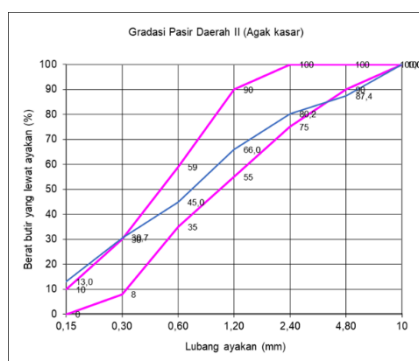
Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *slump* dan kuat tekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pasir seperti pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Hasil pengujian pasir

No	Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Satuan
1	Kadar lumpur	3,296	%
2	Berat jenis (SSD)	2,777	-
3	Berat isi	1,284	gr/cm ³
4	MHB	2,777	-
5	Kadar air	3,432	%
6	Penyerapan	2,207	%

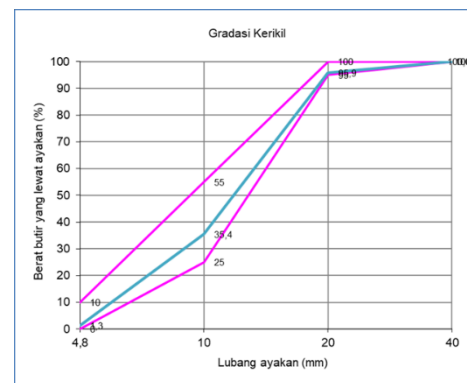


Gambar 2. Gradasi pasir

Hasil pengujian batu pecah (*split*) seperti pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Tabel 3. Hasil pengujian batu pecah (*split*)

No	Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Satuan
1	Berat jenis (SSD)	2,598	-
2	Berat isi	1,317	gr/cm ³
3	MHB	6,611	-
4	Keausan	40,85	%
5	Kadar air	2,912	%
6	Penyerapan	2,721	%



Gambar 3. Gradasi batu pecah (*split*)

Hasil pengujian X-Ray *Flourescence fly ash* seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil X-Ray *Flourescence fly ash*

Senyawa	Hasil Uji	Batasan (ASTM C618-12a, 2012)		
	Fly Ash (%)	Class N (%)	Class F (%)	Class C (%)
Silicon Oxide (SiO ₂)	21,501	-	-	-
Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃)	6,900	-	-	-
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	25,506	-	-	-
Sum (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)	53,907	Min 70	Min 70	Min 50
Sulfur Trioxide (SO ₃)	0,702	Max 4	Max 5	Max 5
Calcium Oxide (CaO)	6,957	-	-	-
Magnesium Oxide (MgO)	0,171	-	-	-
Sodium Oxide (Na ₂ O)	1,506	-	-	-
Potassium Oxide (K ₂ O)	1,918	-	-	-
Sodium Oxide Equivilant (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	2,768	-	-	-
Moisture Content	-	Max 3	Max 3	Max 3
Loss on ignition	-	Max 10	Max 6	Max 6

Berdasarkan ASTM C618-12a (Tabel 4) diketahui bahwa *fly ash* pada penelitian ini termasuk pozolan kelas C karena jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 50% dan SO_3 kurang dari 5%.

Hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* kalsium karbonat (CaCO_3) seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil *X-Ray Fluorescence* kalsium karbonat

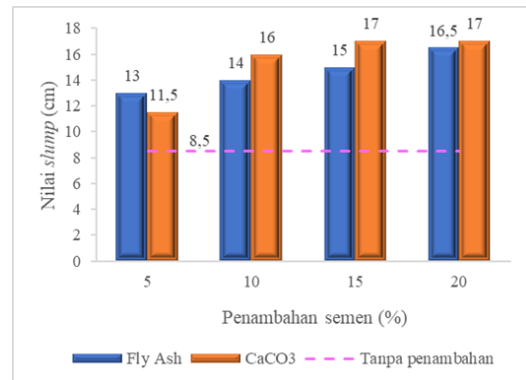
Senyawa	Hasil Uji	Batasan (ASTM C618-12a, 2012)		
	<i>Fly Ash</i> (%)	Class N (%)	Class F (%)	Class C (%)
<i>Silicon Oxide</i> (SiO_2)	0,01788	-	-	-
<i>Aluminum Oxide</i> (Al_2O_3)	0,35900	-	-	-
<i>Iron Oxide</i> (Fe_2O_3)	0,04892	-	-	-
<i>Sum</i> ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$)	0,42581	Min 70	Min 70	Min 50
<i>Sulfur Trioxide</i> (SO_3)	0,08962	Max 4	Max 5	Max 5
<i>Calcium Oxide</i> (CaO)	83,5990	-	-	-
<i>Magnesium Oxide</i> (MgO)	0,03104	-	-	-
<i>Sodium Oxide</i> (Na_2O)	2,01000	-	-	-
<i>Potassium Oxide</i> (K_2O)	0,07065	-	-	-
<i>Sodium Oxide Equivalent</i> ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$)	2,05649	-	-	-
<i>Moisture Content</i>	-	Max 3	Max 3	Max 3
<i>Loss on ignition</i>	-	Max 10	Max 6	Max 6

Berdasarkan ASTM C618-12a (Tabel 5), kalsium karbonat (CaCO_3) tidak termasuk pozolan karena jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ jauh lebih kecil dari 50%, tetapi senyawa *Calcium Oxide* (CaO) sangat tinggi yaitu 83,599%.

Nilai *slump* campuran beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat adalah seperti pada Tabel 6 dan Gambar 4.

Tabel 6. Nilai *slump* campuran beton

Kode	Penambahan semen (%)	Semen (%)	<i>Fly ash</i> (%)	CaCO_3 (%)	Nilai <i>slump</i> (cm)
SF ₀ C ₀	0	100	0	0	8,5
SF ₅ C ₀	5	100	5	0	13
SF ₁₀ C ₀	10	100	10	0	14
SF ₁₅ C ₀	15	100	15	0	15
SF ₂₀ C ₀	20	100	20	0	16,5
SF ₀ C ₅	5	100	0	5	11,5
SF ₀ C ₁₀	10	100	0	10	16
SF ₀ C ₁₅	15	100	0	15	17
SF ₀ C ₂₀	20	80	0	20	17



Gambar 4. Nilai *slump* campuran beton

Dari Tabel 6 dan Gambar 4, nilai *slump* campuran beton normal tanpa penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 8,5 cm. Nilai *slump* campuran dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih besar dari nilai *slump* beton normal. Semakin besar persentase penambahan semen dengan *fly ash* semakin tinggi nilai *slump*.

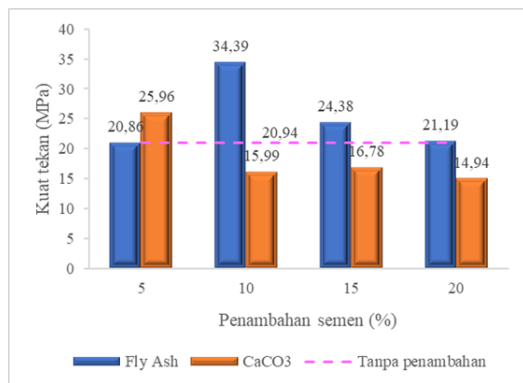
Dari Tabel 6 dan Gambar 4, nilai *slump* campuran dengan substitusi semen dengan kalsium karbonat (CaCO_3) lebih tinggi dari nilai *slump* beton normal. Semakin besar persentase penambahan semen dengan kalsium karbonat semakin tinggi nilai *slump*.

Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih rendah dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 10%, 15%, dan 20%. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih tinggi dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 5%.

Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat adalah seperti pada Tabel 7 dan Gambar 5.

Tabel 7. Kuat tekan beton

Kode	Penambahan semen (%)	Semen (%)	<i>Fly ash</i> (%)	CaCO_3 (%)	Kuat tekan (MPa)
SF ₀ C ₀	0	100	0	0	20,94
SF ₅ C ₀	5	100	5	0	20,86
SF ₁₀ C ₀	10	100	10	0	34,39
SF ₁₅ C ₀	15	100	15	0	24,38
SF ₂₀ C ₀	20	100	20	0	21,19
SF ₀ C ₅	5	100	0	5	25,96
SF ₀ C ₁₀	10	100	0	10	15,99
SF ₀ C ₁₅	15	100	0	15	16,78
SF ₀ C ₂₀	20	80	0	20	14,94



Gambar 5. Kuat tekan beton

Dari Tabel 7 dan Gambar 5, kuat tekan beton normal tanpa penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 20,94 MPa. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih kecil dari kuat tekan beton normal pada penambahan semen 5%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih besar dari kuat tekan beton normal pada substitusi 10%, 15%, dan 20%. Secara umum kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%.

Dari Tabel 7 dan Gambar 5, kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO_3) lebih rendah dari kuat tekan beton normal pada penambahan semen 10%, 15%, dan 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO_3) lebih tinggi dari kuat tekan beton normal pada penambahan semen 5%. Secara umum kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO_3) lebih rendah dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%.

Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 5%. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 10%, 15%, dan 20%. Secara umum kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO_3) sampai penambahan semen 20%.

KESIMPULAN

Fly ash yang dipakai pada penelitian ini termasuk pozolan kelas C sedangkan kalsium karbonat tidak termasuk kelompok pozolan. Penambahan semen dengan *fly ash* sebesar 5%

sampai 20% meningkatkan nilai *slump*. Penambahan semen dengan kalsium karbonat sebesar 5% sampai 20% meningkatkan nilai *slump*. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih rendah dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 10% sampai 20%, dan lebih tinggi pada 5%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat lebih rendah dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat sampai penambahan semen 20%.

REFERENSI

- Adinna, B.O., Chijioke, C., and Uzodinma, F.C., 2023, "Addition of Fly Ash in Small Quantity to Concrete: Effects on Strength, Workability and Water Absorption", *Nnamdi Azikiwe University Journal of Civil Engineering (NAUJCVE)*, 1(1), 32–36. www.naujcve.com
- ASTM C618–12a., 2012, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete", In *ASTM International* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1520/C0618>
- Das, A., and Reza, M., 2019, "Experimental Study of Ultrafine Calcium Carbonate Powder and Flyash in Concrete", *Global Journal of Engineering Science and Researches*, 6(5), 541–551.
- EUCD., n.d., "Supplementary Cementitious Materials, Technical Bulletin AD-01", Retrieved September 6, 2024, from www.euclidchemical.com
- Hygrive, M.S.K., Kishore, I.S., and Chari, K.J.B., 2017, "Comparative study on compressive strength of fly ash concrete", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 1737–1745.
- John, W., Oghenekume, A.O., and Zahemen, T.L., 2019, "The Effect of Calcium Carbonate Filler on Self-Compacting Concrete Using Different Aggregate Sizes", *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(9), 9–16. <https://doi.org/10.24018/ejers.2019.4.9.1485>
- Li, G., Zhou, C., Ahmad, W., Usanova, K.I., Karelina, M., Mohamed, A.M., and Khallaf, R., 2022, "Fly Ash Application as Supplementary Cementitious Material: A Review", *Materials*, 15(7), 1–23. <https://doi.org/10.3390/ma15072664>

- Marthong, C., and Agrawal, T.P., 2012, "Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties", *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* WwW.Ijera.Com, 2(4), 1986–1991. www.ijera.com
- Muñoz-Pérez, S.P., Lozano-Sánchez, J.J., Ramírez-Silva, D.M., Vallejos-Medianero, J.E., and Iturregui, J.D.D.M., 2024, "Use and effect of fly ash in concrete: a literature review", *Revista Facultad de Ingenieria*, 111, 105–118. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20230927>
- Pangestuti, E.K., Handayani, S., Purnomo, M., Silitonga, D.C., and Fathoni, M.H., 2018, "The Use of Fly Ash as Additive Material to High Strength Concrete", *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 20(2), 65–70. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v20i2.16274>
- Poudyal, L., Adhikari, K., and Won, M., 2021, "Nano calcium carbonate (Caco3) as a reliable, durable, and environment-friendly alternative to diminishing fly ash", *Materials*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/ma14133729>
- Saha, A.K., 2018, "Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete", *Sustainable Environment Research*, 28(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.09.001>
- Saini, U., and Singh, S.K., 2018, "Performance Evaluation of Concrete using Ultra Fine Calcium Carbonate Powder", *International Journal of Advance Research in Science and Engineering (IJARSE)*, 07(03), 22–23. <https://www.researchgate.net/publication/325283740>
- SNI 03-2834-2000., 2000, "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal".
- Sun, Y., Zhang, P., Guo, W., Bao, J., and Qu, C., 2020, "Effect of Nano-CaCO₃ on the Mechanical Properties and Durability of Concrete Incorporating Fly Ash", *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, <https://doi.org/10.1155/2020/7365862>

Analisis Perilaku Kembang Susut Tanah Lempung Fakfak yang Distabilisasi dengan Kapur

Analysis of Swelling Behavior of Fakfak Clay Soils Stabilized with Lime

Nurul Muhlisah¹, Jusmawandi², Risma Niswati Tarman³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Fakfak, Jl. Imam Bonjol Atas, Fakfak

Email : nurulumhlishah@polinef.id

Abstrak

Tanah sebagai bahan konstruksi yang mendukung suatu struktur memerlukan sifat dan daya dukung yang baik, namun seringkali tanah lempung memiliki sifat yang bermasalah. Tanah lempung yang memiliki sifat bermasalah adalah tanah lempung ekspansif yang memiliki sifat kembang susut dan dipengaruhi oleh kandungan air. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pencampuran tanah dengan kapur pada perilaku kembang susut tanah. Metode yang digunakan adalah mencampur tanah Lempung Fakfak dengan kapur dengan presentase campuran 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%, masa pemeraman 3 hari. Tanah asli yang digunakan adalah tanah OH atau A-7-5 dengan kadar air rata-rata sebesar 50,51%, berat isi 0,612 gr/cm³, berat jenis 2,3, batas cair sebesar 61,59%, batas plastis 48,86%, dan batas susut 32,94%, dengan indeks plastisitas 12,73%, kategori tanah plastisitas sedang dan sifat kohesif. Pada pencampuran tanah dengan kapur 2%, 4%, 6%, dan 8%, diperoleh hasil bahwa plastisitas tanah menurun seiring bertambahnya kadar kapur, dengan nilai terkecil pada campuran kapur 8% sebesar 1,04%. Batas susut terbesar terdapat pada campuran kapur 2% (33,27%), sedangkan terkecil pada campuran kapur 8% (28,77%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencampuran kapur efektif dalam memperbaiki kondisi tanah, dengan campuran kapur 8% menunjukkan komposisi yang aman terhadap kembang susut tanah dibandingkan dengan tanah asli dan campuran kapur lainnya.

Kata Kunci: kapur; kembang susut; lempung; plastisitas; sifat indeks tanah.

Abstract

Clay soils often exhibit problematic characteristics. Expansive clay, which has swelling and shrinkage properties that are influenced by its moisture content. The study analyze the effect of lime mixing on the swelling and shrinkage behavior of soil. The method used involves mixing Fakfak clay with lime in proportions of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8%, with a curing period of 3 days. The original soil used is classified as OH or A-7-5, with an average moisture content of 50.51%, a bulk density of 0.612 g/cm³, a specific gravity of 2.3, a liquid limit of 61.59%, a plastic limit of 48.86%, and a shrinkage limit of 32.94%, with a plasticity index of 12.73%, classified as medium plasticity and cohesive. The results showed that soil plasticity decreased with increasing lime content, with the lowest value found at 8% lime (1.04%). The largest shrinkage limit was found in the 2% lime mixture (33.27%), while the smallest was in the 8% lime mixture (28.77%). The conclusion lime mixing is effective in improving the soil's condition, with the 8% lime mixture demonstrating a stable composition with respect to the swelling behavior, compared to both the original soil and other lime mixtures.

Keywords: lime; swelling; clay; plasticity; soil index properties.

PENDAHULUAN

Tanah lempung yang memiliki sifat yang bermasalah adalah tanah lempung ekspansif, tanah ini merupakan tanah yang bermasalah, dan sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang ada disekitarnya. Sifat utama tanah ini adalah memiliki potensi kembang susut ketika terdapat fluktuasi kadar air yang tinggi, yaitu tanah akan mengembang saat musim hujan dan akan menyusut saat musim kemarau. Jenis tanah yang mudah berubah volumenya ini adalah tanah yang banyak

mengandung lempung, terutama yang mengandung mineral montmorillonite (Hardiyatmo, 2014). Suatu tanah lempung dapat diperkirakan ekspansif apabila memiliki indeks plastisitas (PI) $\geq 20\%$ (Bowles dan Hainim, 1993 dalam Nur dkk, 2019. Menurut Wesley (2017) jenis mineral lempung yang paling sering terdapat di lapangan adalah kaolinite, illite, dan momorillonite dengan besaran butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Mineral lempung inilah yang menghasilkan sifat lempung yang khusus, yaitu kohesi dan plastisitas. Potensi kembang susut pada

tanah lempung ini dapat merusak struktur yang ada di atasnya, kerusakan dapat berupa retakan dan dapat berakibat fatal dan bangunan tidak dapat berfungsi dengan normal. Proses alam turut andil dalam kondisi ini (Surjandari dkk, 2021). Permasalahan utama tanah ekspansif adalah sangat sensitive terhadap perubahan kadar air, karena itu diperlukan stabilisasi tanah yang bertujuan untuk menurunkan sensitifitas tanah terhadap air.

Stabilisasi tanah adalah salah satu cara untuk memperbaiki sifat tanah asli dengan menambahkan bahan tertentu yang mengakibatkan perubahan sifat tanah asli (harianto dan Masri, 2016). Dari sifat teknisnya stabilisasi dibagi menjadi 3 jenis, yaitu stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi yang murah dan efektif yaitu dengan menambahkan bahan kimia tertentu yang bertujuan untuk mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga dapat mengurangi sifat kembang susut tanah lempung (Yunus dan Irwan, 2018).

Kapur atau kalsium oksida (CaO) dibuat dari batuan karbonat yang dipanaskan pada suhu yang tinggi. Kapur umumnya berasal dari batu kapur (limestone). Kapur merupakan salah satu bahan yang telah banyak dipakai sebagai bahan bangunan dan digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. Pada saat tanah dicampur dengan kapur dan ditambah air, dalam tanah berbutir halus timbul pertukaran kation dengan cepat dan terjadi reaksi penggumpalan yang menghasilkan perubahan struktur, dan membentuk partikel-partikel tanah dengan ukuran yang lebih besar. Pertukaran kation dan flokulasi menyebabkan perbaikan dengan cepat terhadap plastisitas tanah, kemudahan dikerjakan (workability), kekuatan, dan sifat-sifat tegangan-deformasinya (Hardiyatmo, 2014).

Mempelajari perilaku kembang susut tanah lempung Fakfak dengan akurat diharapkan menjadi data base untuk penentuan karakteristik geoteknik tanah lempung di wilayah Fakfak sehingga dapat digunakan langsung dalam perhitungan maupun desain geoteknik untuk tanah lempung sehingga dapat bermanfaat dalam Pembangunan infrastruktur di Kabupaten Fakfak.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi dan Peck, 1987).

Lempung ekspansif memiliki sifat khusus yaitu kapasitas pertukaran ion yang tinggi yang akan mengakibatkan lempung jenis ini memiliki potensi pengembangan yang cukup tinggi apabila perubahan kadar air. Jika kadar air bertambah, tanah lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan kenaikan tekan air pori dan tekanan pengembangannya. Sebaliknya, jika dengan kadar air turun sampai dengan batas susutnya, lempung ekspansif akan mengalami penyusutan yang cukup tinggi. Atau dengan kata lain, lempung ekspansif memiliki kepekaan yang sangat tinggi terhadap penambahan kadar air.

Tanah lempung ekspansif terjadi akibat fenomena *shrink-swell* (kembang-susut) karena perubahan kadar air didalam tanah lempung. *Montmoillon* termasuk jenis lempung yang mempunyai potensial pengembangan sangat tinggi.

Karakteristik umum dari tanah ekspansif adalah:

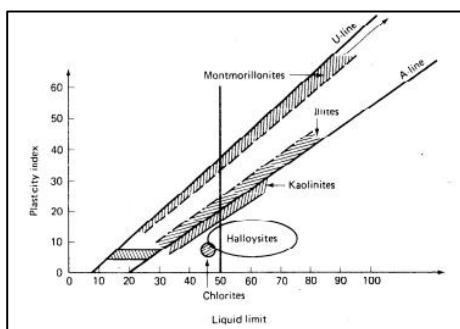
1. Mempunyai harga Indeks Plastisitas (IP) yang tinggi ($> 75\%$)
2. *Cation exchange capacity* umumnya lebih besar dari 80 meq/100 gr.
3. Mempunyai nilai *activity* tinggi (sekitar 6-7)
4. *Specific surface* total 700 m²/gr.
5. *Swelling index* (Cs) relatif tinggi (0,07)
6. *Swelling pressure* yang ditimbulkan sangat tinggi (> 500 kPa)
7. *Percentage free swelling* $> 250\%$

Atterberg Limit Tanah

Sebagai penilaian awal sifat mekanik pada tanah lempung, maka digunakan batas-batas Atterberg (*Atterberg limit*) untuk mengidentifikasi, mendeskripsikan, dan mengklasifikasikan tanah ini. *Atterberg limit* dikembangkan oleh Albert Atterberg (1911;1916) yang melakukan penelitian tentang sifat konsistensi pada tanah berbutir halus. Selanjutnya Terzaghi (1925) menyatakan bahwa hasil dari *Atterberg limit* tergantung dari faktor fisik yang ditentukan oleh ketahanan dan permeabilitas tanah namun dengan cara yang lebih kompleks. Berbeda dengan tanah granular, pada tanah kohesif sangat dipengaruhi oleh air. Casagrande (1932) mengembangkan standar alat untuk menentukan batas cair (*liquid limit*) dan menemukan bahwa untuk mineral bukan lempung tidak memberikan hasil walaupun ukuran partikelnya di bawah 2 μ m. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Casagrande menunjukkan bahwa *Atterberg limit* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah berbutir halus (Holtz dkk., 2011, dan Mithcell dan Soga, 2005).

Dalam praktik geoteknik pengujian *Atterberg limit* yang sering digunakan mencakup pengujian batas cair tanah (*liquid limit*), batas plastis tanah (*plastic limit*), dan batas susut tanah (*shrinkage limit*). Batas cair (LL) adalah batas kadar air suatu tanah berubah dari keadaan cair (*liquid*) menjadi

plastis (*plastic*). Batas plastis (PL) adalah kadar air dimana tanah mulai retak ketika digulung menjadi kecil atau kadar air batas suatu tanah berubah dari keadaan plastis (*plastic*) menuju *semi solid*, sedangkan batas susut (SL) adalah kadar air dimana volume tanah tidak lagi mengalami perubahan dengan hilangnya air (evaporasi) atau kadar air batas tanah berubah dari keadaan *semi solid* menjadi *brittle solid*. Ilustrasi ketiga Atterberg limit ini dapat dilihat pada gambar II.5 (Holtz dkk., 2011 dan Terzaghi dkk., 1996)..



Gambar 1. Atterberg limit (Holtz dkk., 2011).

Selain ketiga Atterberg limit diatas, Atterberg juga mendefinisikan indeks yang disebut indeks plastisitas (*plasticity index*) yang menjelaskan rentang kadar air apakah tanah tersebut plastis ataukah tidak. Nilai *plasticity index* (PI) diperoleh dari selisih antara batas cair dan batas plastis. *Plasticity index* sangat berguna dalam mengklasifikasi tanah berbutir halus dan banyak sifat teknis tanah yang berkorelasi dengan dengan PI. *Plasticity index* ini diplot terhadap batas cair (*liquid limit*) dalam *plasticity chart*. *Plasticity chart* menunjukkan berbagai zona yang berbeda dan mineral yang berbeda (Holtz dkk., 2011).

Ambang batas tanah plastisitas dapat dilihat pada Tabel 3, dimana batas tanah plastis dan batas cair berbeda, dan batas cair merupakan batas terbesar diantara batas plastis tersebut. Menurut prinsip plastis, semakin jelas nilai numeriknya, semakin jelas pula susutnya selama proses menjadi kering.

Sebagaimana dikemukakan oleh Atterberg dan dikutip oleh Krabs & Walker (1971), plastis di darat diklasifikasikan menjadi delapan kelompok menurut indeks PI (plastisitasnya) yang berkisar antara 0 hingga signifikan 17%. Hal ini terlihat pada Tabel 3

Tabel 1. Batasan mengenai PI, sifat macam tanah dan kohesi

PI (%)	Sifat	Macam tanah	kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	lempung	kohesif

Kapur

Kapur memiliki sifat sebagai bahan ikat yaitu sifat plastis baik (tidak getas), mudah dan cepat mengeras, *workability* baik dan mempunyai daya ikat baik untuk batu dan bata (Tjokrodinuljo,1992). Bahan dasar kapur adalah batu kapur atau dolomit, yang mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO_3). Pengertian kapur sebagai bahan stabilisasi mengacu pada mineral kapur berupa kalsium hidroksida (Ca(OH)_2), kalsium oksida (CaO) dan kalsium karbonat (CaCO_3). Penggunaan yang paling efektif dan aman dalam pelaksanaan konstruksi adalah menggunakan kalsium hidroksida (kapur padam) yang disarankan berupa bubuk, karena sangat penting untuk proses hidrasi dan mengurangi masalah yang timbul, kalsium karbonat kurang efektif dipergunakan untuk bahan campuran, sedangkan kalsium oksida (*quick lime*) lebih baik dalam proses kimianya namun beberapa kelemahan dari kalsium oksida ini dapat mempermudah terjadinya korosi pada peralatan dan sangat berbahaya bagi kulit pelaksana konstruksi (Ingless dan Metcalf,1992).

Karakteristik Batu Kapur (*limestone*) Warna putih, putih kecoklatan, dan ada yang putih keabuan Memiliki bidang belahan yang tidak teratur Tingkat kekerasan 2,7 sampai 3,4 skala mohs Berat jenis batu kapur 2,387 Ton/ meter kubik Sifat batuan ini keras dan ada yang yang berongga.

METODE

Tanah yang diambil sebagai benda uji adalah tanah lempung dalam kondisi terganggu di Kabupaten Fakfak. Secara garis besar tahapan penelitian adalah: perencanaan dan persiapan, survey pemilihan lokasi penelitian, pengambilan sampel di lapangan, pengujian di laboratorium, Analisa data, dan kesimpulan. Pengujian yang dilaksanakan menggunakan tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan kapur. Pengujian pada tanah lempung asli adalah pengujian kadar air, berat

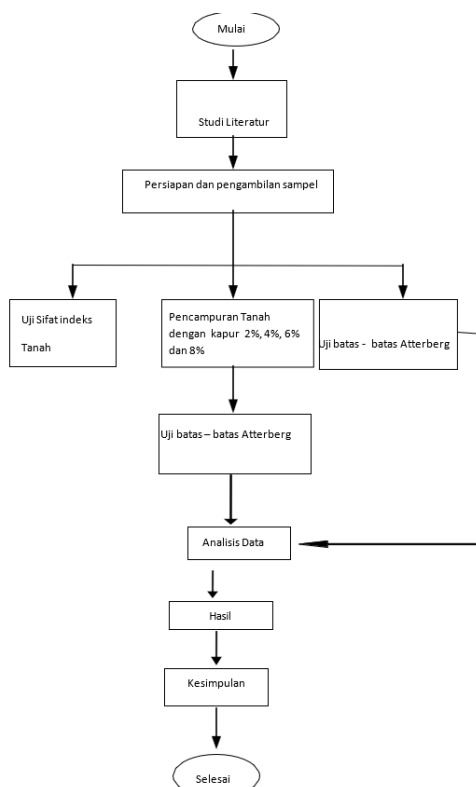
volume, berat jenis, batas-batas Atterberg, gradasi ukuran butiran tanah dan klasifikasi tanah. Selanjutnya dilaksanakan pencampuran tanah asli dengan kapur dengan presentase campuran sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Kapur yang digunakan adalah kapur padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Dengan waktu pemeraman 3 (tiga) hari kemudian dilaksanakan pengujian batas-batas atterberg tanah

Pada campuran benda uji di penelitian ini dilakukan pencampuran untuk 5 variasi campuran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2. Analisis utama dalam penelitian ini terdiri dari:

- Pengujian Sifat Indeks Tanah (Kadar air, berat isi, berat jenis, angka pori, porositas) ASTM
- Pengujian Atterberg Limit mengacu pada standar ASTM D4318

Tabel 2. Proporsi campuran benda uji

keterangan	Berat Campuran (kg)	Tanah (kg)	Kapur (%)
Sampel 1	10kg	10kg	0%
Sampel 2	10kg	9,98kg	2%
Sampel 3	10kg	9,96kg	4%
Sampel 4	10kg	9,94kg	6%
Sampel 5	10kg	9,92kg	8%



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sifat Indeks Tanah

Dari pengujian sifat indeks tanah yang dilakukan di laboratorium diperoleh nilai kadar air rata-rata dari tanah asli sebesar 50,51%, dengan berat isi sebesar 0,612 gr/cm^3 , berat jenis tanah diperoleh sebesar 2,3, porositas sebesar 41,31%, dengan angka pori sebesar 70,53% dan derajat kejenuhan sebesar 72,66%. Dari pengujian sifat indeks tanah diperoleh pula jenis tanah asli menurut klasifikasi tanah metode USCS diperoleh tanah berupa OH yaitu lempung organik dengan plastisitas tinggi sedangkan menurut metode AASHTO diperoleh tanah ini berupa tanah A-7-5 yaitu tanah lempung. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Sifat Indeks Tanah Asli

Pengujian	Satuan	Nilai
Kadar Air	%	50,51
Berat Isi	Gr/cm^3	0,613
Berat Jenis	-	2,3
Jenis Tanah (USCS)	-	OH
Jenis Tanah (AASHTO)	-	A-7-5
Porositas	%	41,31
Angka Pori	%	70,53
Derajat Kejenuhan	%	72,66

2. Batas-batas Atterberg Tanah (Plastisitas Tanah)

Adapun hasil pengujian plastisitas tanah asli dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Batas-batas Atterberg Tanah Asli

Parameter	Satuan	Nilai
Batas Cair	%	61,59
Batas Plastis	%	48,86
Batas Susut	%	32,94
Indeks Plastisitas	%	12,73

Pengujian batas atterberg pada tanah asli diperoleh batas cair sebesar 61,59% dan batas plastis sebesar 48,86%, dari kedua pengujian ini diperoleh nilai Indeks plastisitas sebesar 12,73%, dari tabel plastisitas diperoleh tanah ini masih dalam kategori plastisitas sedang namun sudah memiliki sifat tanah kohesif. Dari pengujian batas susut diperoleh nilai batas susut yang masih cukup besar yaitu di 32,94%.

3. Sifat Tanah dengan Campuran Kapur

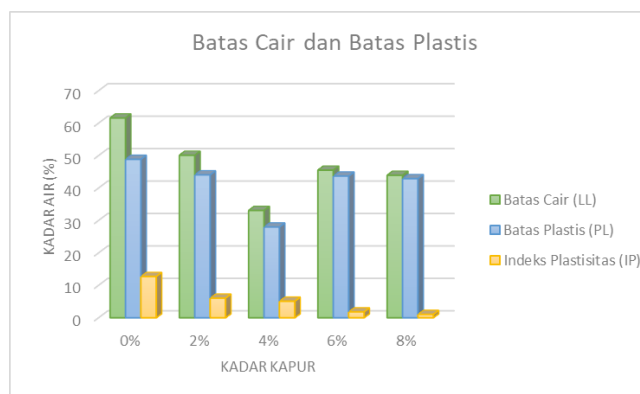
Dari pengujian batas cair dan batas plastis diperoleh nilai plastisitas tanah yang telah dicampur

dengan beberapa kadar kapur seperti yang terlihat pada tabel 5 dan gambar 3.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil batas-batas Atterberg pada tanah

Jenis Pengujian	Satuan	Presentase Kapur				
		0%	2%	4%	6%	8%
Kadar Air	%	50,51	2,61	6,35	2,46	5,96
Batas Cair (LL)	%	61,59	50,10	33,08	45,50	43,93
Batas Plastis (PL)	%	48,86	44,06	27,98	43,68	42,90
Indeks Plastisitas (PI)	%	12,73	6,05	5,10	1,82	1,04
Batas Susut	%	32,94	33,27	31,01	32,71	28,77

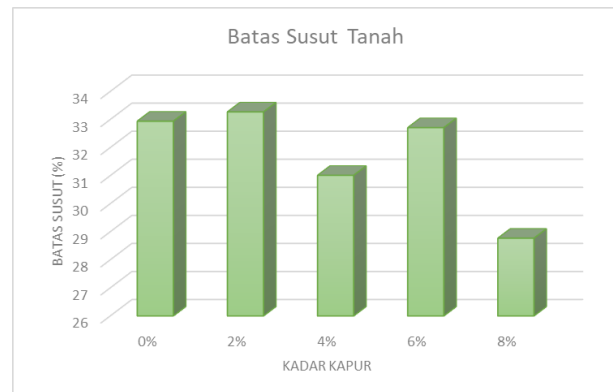
Dari gambar 3 terlihat bahwa nilai batas cair dan batas plastis terbesar ada pada tanah asli dengan kadar kapur 0% yaitu sebesar 61,59% dan 48,86% sedangkan nilai terkecil ada pada campuran 4% kapur yaitu sebesar 33,08% dan 27,98%. Namun untuk mengetahui kondisi plastisitas tanah atau kemampuan tanah untuk berubah bentuk atau volume karena kandungan air maka harus memperhatikan nilai indeks plastisitas.



Gambar 3. Grafik perbandingan batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai plastisitas terbesar ada pada kandungan kapur 0% kemudian berturut-turut plastisitas makin mengecil dengan penambahan kapur hingga mencapai nilai terkecil yaitu pada campuran kapur 8% dengan nilai indeks plastisitas sebesar 1,04%, nilai ini menunjukkan tanah dengan campuran kapur 8% memiliki nilai plastisitas yang sangat rendah. Dengan demikian untuk mendapatkan batas cair dan batas plastis terkecil dapat menggunakan kadar kapur 4% namun untuk mendapatkan nilai plastisitas yang kecil atau kemampuan untuk kembang susut

makin mengecil dapat menambahkan kadar kapur dimana nilai plastisitas terkecil yaitu pada campuran kapur 8%.



Gambar 4. Perbandingan nilai batas susut tanah dengan beberapa campuran kadar kapur

Perbandingan nilai batas susut tanah dapat dilihat pada grafik di atas Dimana terlihat bahwa nilai batas susut berbeda-beda tiap campuran kadar kapur. Nilai batas susut terbesar ada pada tanah dengan campuran kapur 2% yaitu sebesar 33,27%, kemudian menurun pada tanah asli sebesar 32,94%, selanjutnya makin menurun pada kadar 6% yaitu 32,71%, batas susut kemudian semakin kecil pada campuran kapur 4% dengan nilai 31,01% dan nilai batas susut terkecil ada pada campuran kadar kapur 8% yaitu sebesar 28,77%. Dari hasil ini disimpulkan bahwa kadar kapur 8% merupakan campuran kapur terbaik untuk mendapatkan batas susut terkecil. Dari pengujian ini juga terlihat bahwa dengan campuran kadar kapur 8% maka penurunan volume tanah atau penyusutan tidak begitu besar dibandingkan dengan kadar campuran yang lain.

Dari pengujian Atterberg limit diperoleh nilai terbaik campuran kapur ada pada campuran 8%, Dimana pada campuran ini merupakan komposisi yang cukup aman terhadap kembang susut tanah dibandingkan tanah asli.

KESIMPULAN

Sifat indeks tanah diperoleh nilai kadar air rata-rata dari tanah asli sebesar 50,51%, dengan berat isi sebesar 0,612 gr/cm³, berat jenis tanah diperoleh sebesar 2,3, porositas sebesar 41,31%, dengan angka pori sebesar 70,53%. Jenis tanah asli adalah tanah OH atau A-7-5. Selain itu diperoleh nilai batas cair sebesar 61,59% dan batas plastis sebesar 48,86%, batas susut sebesar 32,94%. Indeks plastisitas tanah asli sebesar 12,73%, dari tabel plastisitas diperoleh tanah ini masih dalam kategori plastisitas sedang dengan sifat kohesif.

Pada pencampuran tanah dengan kapur dengan kadar 2%,4%,6%, dan 8% diperoleh Nilai plastisitas

tanah terbesar ada pada kandungan kapur 0% kemudian berturut-turut plastisitas makin mengecil mencapai nilai terkecil pada campuran kapur 8% sebesar 1,04%. Nilai batas susut terbesar ada pada tanah dengan campuran kapur 2% yaitu sebesar 33,27%, dan nilai batas susut terkecil ada pada campuran kadar kapur 8% yaitu sebesar 28,77%.

Dari pengujian Atterberg limit diperoleh bahwa campuran kapur cukup efektif untuk memperbaiki kondisi tanah, Dimana nilai terbaik campuran kapur ada pada campuran 8%, pada campuran ini merupakan komposisi yang cukup aman terhadap kembang susut tanah dibandingkan tanah asli dan campuran kadar kapur yang lain.

REFERENSI

- Alatas, I. M., Kamaruddin, S. A., Nazir, R., Irsyam, M., dan Himawan, A. (2015): Shear strength degradation of Semarang-Bawen clay-shale due to weathering process, *Jurnal Teknologi*, **126(1)**, 15–31.
- Das, B.M dan Sobhan K. 2015. *Principles of Geotechnical engineering*. Edisi 8 Amerika Serikat: Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. 1996. *Teknik Pondasi 1*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah I*. Edisi Ke V Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2014. *Tanah Ekspansif: Permasalahan dan Penanganan*. Edisi Pertama Cetakan Pertama. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hariato T., Masri A., 2016. Karakteristik Mekanis Tanah Kembang Susut Yang Distabilisasi Dengan Limbah Marmer. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016 ISSN: 2459-9727 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*. 25 Mei 2016. Surakarta. Indonesia. 293-300.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., dan Sheahan, T. C. .2011. *An Introduction to Geotechnical Engineering (Second)*. Canada: Pearson Prentice Hall.
- Mithcell, J. K., dan Soga, K. (2005).: *Fundamental of Soil Behaviour*, John Wiley & Son, INC, Canada.
- Nur, A., Utomo, S.H.T., Irawan, M.Z., 2019. Stabilisasi Tanah Ekspansif Menggunakan Kapur Dan Spent Catalyst Untuk Tanah Dasar Perkerasan. *Jurnal Transportasi*. 19 (1) 21-30.
- Refi, A., Elvanisa. 2016. Pengaruh Variasi Abu Cangkang Sawit Terhadap Kembang Susut Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil ITP.3* (2). 1-10.
- Surjandari, N.S., Fitri, S.N., Djarwanti, N., Purwana, Y. M., Setiawa B., Indrabaskara, R. H. D. H., Prakosa, B.B. 2021. *Kajian Potensi Kembang Susut Tanah Ekspansif Di Beberapa Wilayah Solo Raya*. Edisi Pertama Cetakan Pertama, Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Terzaghi, K., Peck, R. B., dan Mesri, G. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Canada: John Wiley & Son, INC.
- Wesley, L.D. 2017. *Mekanika Tanah*. Edisi Kedua. Terjemahan. Yogyakarta: Andi
- Yunus, M., Rauf I., 2018. Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Nilai Plastisitas Tanah Lempung Di Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. *Jurnal Logic*. 18 (1) 2018. 26-31.

Evaluasi Efektivitas Reviu Harga Perkiraan Sendiri oleh Inspektorat Kabupaten Jombang Guna Mengurangi Potensi Korupsi (Studi Kasus 10 Proyek Strategis Daerah Kabupaten Jombang Tahun Anggaran 2023)

Evaluation of Owner Estimated Reviews Effectiveness by Inspektorat Kabupaten Jombang to Reduce Corruption Potential (Case Study on 10 Regional Strategic Projects of Kabupaten Jombang In 2023 Financial Year)

Elsa Khoirun Nisa¹, Maulidya Octaviani B.², Wisnu Abiarto N.³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya, Jln. Semolowaru No.84, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60283. Telp (031) 5925970. Email : elsairunn@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya, Jln. Semolowaru No.84, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60283. Telp (031) 5925970. Email : lidyaocta@unitomo.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya, Jln. Semolowaru No.84, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60283. Telp (031) 5925970. Email : wisnu.abiarto@gmail.com

Abstrak

Reviu Harga Perkiraan Sendiri dilakukan untuk memberikan keyakinan terbatas bahwa HPS yang disusun oleh Pejabat Pembuat Komitmen telah sesuai dengan tata cara penyusunan HPS yang benar, disusun dengan harga yang wajar, dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku, tidak ada penggelembungan HPS, dan tidak ada item biaya yang tidak diperlukan. Untuk memastikan tujuan penugasan reviu dapat tercapai digunakan langkah kerja yang akan menjadi panduan (*guidance*) bagi tim reviu dalam melaksanakan penugasan reviunya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis komparatif atas korelasi hasil Reviu HPS yang dilakukan oleh Inspektorat dengan Laporan Hasil Pemeriksaan yang dilakukan oleh Badan Pemeriksa Keuangan. Digunakan juga langkah kerja reviu sebagai media dalam membuat simpulan hasil reviu melalui prosedur reviu yang telah dilaksanakan secara sistematis. Reviu HPS yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang telah menganalisa penggunaan harga satuan, telah menganalisa relevansi antara item pekerjaan dengan objek pekerjaan, dan telah menganalisa penggunaan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang digunakan dalam penyusunan HPS. Telah optimal dalam penggunaan anggaran karena meskipun terdapat efisiensi namun pekerjaan dapat terlaksana dengan baik. Dan memiliki efektivitas dalam mengurangi potensi korupsi berdasarkan studi kasus pada 10 proyek strategis daerah Kabupaten Jombang Tahun Anggaran 2023 dengan persentase sebesar 90%.

Kata kunci: Badan Pemeriksa Keuangan; harga perkiraan sendiri; Inspektorat; potensi korupsi; reviu.

Abstract

Owner Estimated Reviews are conducted to provide limited assurance that Owner Estimated was prepared by Pejabat Pembuat Komitmen with correct procedures, reasonable price, accounted with applicable regulations, no additional price, and no unnecessary cost items. To ensure the review can be achieved, work steps are used to guide for review review assignment. The method that used in this research is comparative analysis of the results of the Owner Estimated Reviews are conducted by Inspektorat with the Audit Reports are conducted by Badan Pemeriksa Keuangan. The review work steps are also used as a media for make review result conclusions through review procedures that have been carried out systematically. Owner Estimated Reviews that conducted by Inspektorat Kabupaten Jombang has analyzed the use of unit prices, the relevance between work items and work objects, and the use of the Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) that used in making Owner Estimated. It has been optimal in the use of the finance because even though there is efficiency, but the work can be conducted well by contractor. And it has effectiveness to reduce corruption potential based on case study 10 Regional Strategic Projects of Kabupaten Jombang In 2023 Financial Year with percentage of 90%.

Keywords: Badan Pemeriksa Keuangan; corruption potential; Inspektorat; owner estimated: review.

PENDAHULUAN

Inspektorat Kabupaten Jombang merupakan unsur pengawas penyelenggaraan Pemerintah Daerah Kabupaten Jombang. Dipimpin oleh Inspektur Kabupaten Jombang yang dalam melaksanakan tugasnya bertanggung jawab kepada Bupati Jombang melalui Sekretaris Daerah Kabupaten Jombang. Salah satu tugas pokok Inspektorat yaitu melaksanakan Reviu Harga Perkiraan Sendiri dimana tugas pokok ini dilaksanakan oleh Bidang Pembangunan. (Peraturan Bupati Jombang Nomor 95 Tahun 2021 Tentang Kedudukan, Susunan Organisasi, Uraian Tugas Pokok Dan Fungsi Serta Tata Kerja Inspektorat Kabupaten Jombang).

Tujuan dari Reviu Harga Perkiraan Sendiri adalah untuk memberikan keyakinan terbatas bahwa HPS yang disusun oleh Pejabat Pembuat Komitmen telah sesuai dengan tata cara penyusunan HPS yang benar, disusun dengan harga yang wajar, dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku, tidak ada penggelembungan HPS, dan tidak ada item biaya yang tidak diperlukan.

Pada saat ini kegiatan reviu HPS telah dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang pada 10 proyek konstruksi dari 13 proyek konstruksi yang telah ditetapkan melalui (Keputusan Bupati Jombang Nomor: 188.4.45/41/415.10.1.3/2023 Tentang Daftar Kegiatan Strategis Daerah Tahun Anggaran 2023. Pemilihan 10 proyek konstruksi untuk dilakukan reviu HPS sesuai dengan Pedoman Penilaian *Monitoring Center of Prevention* (MCP) Tahun 2023, Area 2: Pengadaan Barang dan Jasa, Indikator Pengendalian Pengadaan, Sub Indikator Pencegahan Korupsi Proyek Strategis Daerah bahwa Reviu HPS dilakukan oleh Aparat Pengawasan Intern Pemerintah pada 10 proyek strategis.

Menurut *Monitoring Center of Prevention* (MCP) Tahun 2023 yang disusun oleh Tim Bersama Penyusun MCP 2023 beranggotakan Komisi Pemberantasan Korupsi (KPK), Kementerian Dalam Negeri, dan Badan Pengawasan Keuangan dan Pembangunan (BPKP), berdasarkan Evaluasi Pencegahan Korupsi di Daerah Tahun 2022 bahwa instansi dengan pelaku korupsi tertinggi yaitu Pemerintah Daerah (Provinsi dan Kabupaten/Kota) sebesar 54%. Dengan 277 kasus merupakan perkara pengadaan barang dan jasa atau terkait dengan kerugian keuangan negara (Area Pengadaan Barang dan Jasa). (Pedoman Penilaian *Monitoring Center for Prevention* (MCP) TAHUN 2023).

Diawal Tahun 2024, 9 dari 10 proyek konstruksi yang telah dilakukan Reviu Harga Perkiraan Sendiri menjadi objek pemeriksaan fisik oleh Badan Pemeriksa Keuangan (BPK) Perwakilan

Provinsi Jawa Timur. Dari 10 proyek konstruksi hanya 9 paket pekerjaan yang dilakukan pemeriksaan dikarenakan 1 paket pekerjaan tidak selesai hingga akhir tahun anggaran 2023, yaitu pada paket pekerjaan Rehabilitasi Gedung Puskesmas Blimbing Kesamben (DBHCHT).

Oleh karena itu penting untuk menilai efektivitas dari proses Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) dalam konteks proyek strategis daerah.

Rumusan masalah dalam penelitian ini mencakup tiga aspek utama terkait ketepatan penyusunan HPS di Kabupaten Jombang. Pertama penelitian ini akan menganalisa harga satuan, relevansi antara item pekerjaan dengan objek pekerjaan, dan ketepatan Analisa Harga Satuan Pekerjaan yang digunakan dalam penyusunan HPS. Kedua, reviu HPS yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang apakah telah mengoptimalkan penggunaan anggaran untuk mendukung pencapaian kinerja. Ketiga, masih adakah potensi temuan dari pemeriksaan yang dilakukan Badan Pemeriksa Keuangan (BPK) Perwakilan Provinsi Jawa Timur atas Proyek Konstruksi Strategis Daerah Tahun Anggaran 2023 yang sebelumnya sudah dilakukan reviu HPS oleh Inspektorat Kabupaten Jombang.

TINJAUAN TEORI

Harga Perkiraan Sendiri

Harga Perkiraan Sendiri yang selanjutnya disingkat HPS adalah perkiraan harga barang/jasa dari hasil perhitungan volume tiap pekerjaan yang dikalikan dengan harga satuan masing-masing pekerjaan yang ditetapkan oleh Pejabat Pembuat Komitmen yang telah memperhitungkan biaya tidak langsung, keuntungan, dan pajak pertambahan nilai. (Pasal 1 ayat 33 Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2021 Tentang Perubahan Atas Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah)

Fungsi HPS sebagaimana diatur dalam Pasal 16 ayat 5 (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2021 Tentang Perubahan Atas Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah, 2021) digunakan sebagai alat untuk menilai kewajaran harga penawaran dan/atau kewajaran harga satuan; dasar untuk menetapkan batas tertinggi penawaran yang sah dalam Pengadaan Barang/Pekerjaan Konstruksi/Jasa Lainnya; dan dasar untuk menetapkan besaran nilai Jaminan Pelaksanaan bagi penawaran yang nilainya lebih rendah 80% (delapan puluh persen) dari nilai HPS.

Penyusunan Harga Perkiraan Sendiri

Penyusunan HPS merupakan salah satu langkah strategis dalam pengadaan barang/jasa yang digunakan untuk melihat kewajaran harga penawaran serta sebagai batas harga tertinggi agar penyedia dapat melakukan penawaran.

Pedoman dalam penyusunan HPS diatur dalam Peraturan Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2021 Tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Melalui Penyedia, yaitu:

1. Penentuan Kebutuhan dan Spesifikasi Barang/Jasa. Langkah awal dalam penyusunan Harga Perkiraan Sendiri (HPS) adalah menentukan kebutuhan dan spesifikasi barang/jasa yang akan diadakan. Kebutuhan ini harus dirinci secara jelas dan detail untuk memastikan bahwa barang/jasa yang dibutuhkan sesuai dengan standar dan kualitas yang diinginkan.
2. Pengumpulan Data Harga Pasar. Setelah kebutuhan dan spesifikasi ditetapkan, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data harga pasar. Data harga ini dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti katalog, harga pasar, survei pasar, informasi harga dari asosiasi industri, dan referensi harga dari proyek serupa.
3. Analisis Harga Pasar. Data harga pasar yang telah dikumpulkan perlu dianalisis untuk memastikan bahwa harga yang diperoleh adalah wajar dan sesuai dengan kondisi pasar terkini. Analisis ini juga membantu dalam mengidentifikasi fluktuasi harga dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.
4. Penyusunan Dokumen HPS. Berdasarkan analisis harga pasar, dokumen HPS disusun dengan mencantumkan rincian harga untuk setiap item barang/jasa yang akan diadakan. Dokumen ini harus disusun secara transparan dan akuntabel, serta didukung oleh data dan informasi yang valid.
5. Reviu dan validasi HPS sebelum digunakan, HPS perlu direviu dan divalidasi oleh tim yang berkompeten untuk memastikan akurasi dan kewajaran harga yang tercantum. Reviu ini dapat melibatkan berbagai pihak seperti auditor internal, inspektorat, atau konsultan independen.
6. Penetapan dan Pengesahan HPS. Setelah melalui proses reviu dan validasi, HPS ditetapkan dan disahkan oleh pejabat yang berwenang. Penetapan ini memastikan bahwa HPS dapat digunakan sebagai acuan dalam proses pengadaan barang/jasa.
7. Dokumentasi dan Penyimpanan HPS. HPS yang telah disahkan harus didokumentasikan dan

disimpan dengan baik sebagai bagian dari arsip pengadaan. Dokumentasi ini penting untuk keperluan audit dan pengawasan di masa mendatang.

Proses penyusunan HPS yang sistematis dan transparan ini bertujuan untuk mengurangi risiko penyimpangan dan potensi korupsi dalam pengadaan barang/jasa. Dengan adanya HPS yang akurat, diharapkan penawaran harga dari penyedia barang/jasa dapat lebih kompetitif dan sesuai dengan harga pasar yang wajar.

Reviu Harga Perkiraan Sendiri

Reviu Harga Perkiraan Sendiri adalah untuk memberikan keyakinan terbatas bahwa Harga Perkiraan Sendiri yang disusun oleh Pejabat Pembuat Komitmen telah sesuai dengan tata cara penyusunan Harga Perkiraan Sendiri yang benar, disusun dengan harga yang wajar, dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku, tidak ada penggelembungan Harga Perkiraan Sendiri, dan tidak ada item biaya yang tidak diperlukan.

Proses reviu HPS dimulai dari *Engineer's Estimate* yang disusun oleh konsultan perencana, kemudian diserahkan kepada PPK dinas terkait selaku *Owner's Estimate*. Setelah itu PPK mengesahkan HPS tersebut untuk nantinya diserahkan kepada Inspektorat untuk dilakukan reviu. Reviu HPS oleh Inspektorat dilakukan paling lama 28 hari kerja setelah ditetapkan oleh PPK, mengingat salah satu ketentuan HPS yaitu harus ditetapkan paling lama 28 hari kerja sebelum batas akhir pemasukan penawaran untuk pemilihan dengan pascakualifikasi atau pemasukan dokumen kualifikasi untuk pemilihan dengan prakualifikasi. Setelah dilakukan reviu HPS oleh Inspektorat, dokumen HPS dikembalikan kepada PPK untuk dilakukan tindak lanjut rekomendasi dan kemudian di sahkan kembali menjadi dokumen HPS.

Harga Satuan

Harga Satuan adalah harga satuan komponen dari harga satuan pekerjaan per satuan tertentu (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, 2022).

Item Pekerjaan

Item pekerjaan merujuk pada seluruh pekerjaan yang harus dilaksanakan dalam suatu proyek, yang kemudian dihitung biayanya untuk menyusun HPS. Identifikasi dan pengelompokan item pekerjaan yang

tepat akan sangat berpengaruh terhadap keakuratan dan keandalan HPS. Dengan mengidentifikasi dan menyusun item pekerjaan secara akurat dan detail, Inspektorat Kabupaten Jombang dapat melakukan rewiu HPS secara efektif, yang pada gilirannya akan membantu mengurangi potensi korupsi dalam pelaksanaan proyek strategis daerah. Pendekatan sistematis dalam mengidentifikasi item pekerjaan juga memungkinkan untuk evaluasi dan pemantauan yang lebih baik selama pelaksanaan proyek, sehingga memastikan bahwa proyek dapat diselesaikan sesuai dengan anggaran dan waktu yang telah ditetapkan.

Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Analisa Harga Satuan Pekerjaan yang selanjutnya disingkat AHSP adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan untuk mendapatkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan tertentu (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat).

Langkah Kerja Reviu

Untuk memastikan tujuan penugasan rewiu dapat tercapai perlu disusun langkah kerja yang akan menjadi panduan (*guidance*) bagi tim rewiu dalam melaksanakan penugasan rewiunya.

Langkah kerja rewiu merupakan rancangan prosedur dan teknik yang disusun secara sistematis yang harus dilaksanakan oleh tim rewiu dalam penugasan rewiu untuk mencapai tujuan rewiu. Langkah kerja rewiu digunakan sebagai media dalam membuat simpulan hasil rewiu melalui prosedur rewiu yang telah dilaksanakan secara sistematis.

Tabel 1. Langkah Kerja Penyusunan dan Penetapan HPS

No.	Uraian
1	Dapatkan dokumen HPS
2	Dapatkan informasi bahwa HPS Barang/jasa ditetapkan oleh PPK
3	Dapatkan informasi bahwa <i>Engineer's Estimate</i> disusun oleh konsultan perencana
4	Dapatkan informasi bahwa spesifikasi teknis sesuai dengan KAK/hasil pengkajian RUP
5	Dapatkan informasi bahwa HPS ditetapkan paling lama 28 (dua puluh delapan) hari kerja sebelum batas akhir pemasukan penawaran untuk pemilihan dengan pascakualifikasi atau pemasukan dokumen kualifikasi untuk pemilihan dengan prakualifikasi
6	Dapatkan informasi bahwa HPS disusun untuk pengadaan barang/jasa dengan pagu anggaran diatas Rp10.000.000,00 (sepuluh juta rupiah)

No.	Uraian
7	Dapatkan informasi bahwa HPS disusun tidak untuk pengadaan barang/jasa dengan <i>E-Purchasing</i> dan tender pekerjaan terintegrasi
8	Dapatkan informasi bahwa HPS dihitung secara keahlian dan menggunakan data/informasi yang dapat dipertanggungjawabkan
9	Dapatkan informasi bahwa survei harga pasar dilakukan menjelang dilaksanakannya pengadaan
10	Dapatkan informasi bahwa penyusunan HPS mempertimbangkan data/informasi yang meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - harga pasar setempat yaitu harga barang/jasa di lokasi barang/jasa diproduksi/diserahkan/dilaksanakan menjelang dilaksanakannya pemilihan penyedia; - informasi biaya/harga satuan yang dipublikasikan secara resmi oleh Kementerian/Lembaga/Pemerintah Daerah; - informasi biaya/harga satuan yang dipublikasikan secara resmi oleh asosiasi; - daftar harga/biaya/tarif barang/jasa setelah dikurangi rabat/potongan harga (apabila ada) yang dikeluarkan oleh pabrikan/ distributor/agen/pelaku usaha - inflasi tahun sebelumnya, suku bunga pinjaman tahun berjalan dan/atau kurs tengah Bank Indonesia valuta asing terhadap Rupiah; - hasil perbandingan biaya/harga satuan barang/jasa sejenis dengan kontrak yang pernah atau sedang dilaksanakan; - perkiraan perhitungan biaya/harga satuan yang dilakukan oleh konsultan perencana (<i>engineer's estimate</i>); - informasi biaya/harga satuan barang/jasa di luar negeri untuk tender/seleksi internasional; dan/atau - informasi lain yang dapat dipertanggungjawabkan (antara lain survei, norma index, data/informasi dari BPS).
11	Lakukan pengujian dan dapatkan informasi bahwa HPS tidak memperhitungkan biaya tak terduga, biaya lain-lain, dan Pajak Penghasilan (PPH)
12	Dapatkan informasi bahwa Total HPS merupakan hasil perhitungan HPS ditambah Pajak Pertambahan Nilai (PPN)
13	Dapatkan informasi bahwa perhitungan HPS untuk barang telah memperhitungkan komponen biaya antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - harga barang; - biaya pengiriman; - keuntungan dan biaya <i>overhead</i>; - biaya instalasi; - suku cadang; - biaya operasional dan pemeliharaan; atau - biaya pelatihan
14	Dapatkan informasi bahwa perhitungan HPS untuk pekerjaan konstruksi berdasarkan hasil perhitungan biaya harga satuan yang dilakukan oleh konsultan perencana (<i>Engineer's Estimate</i>) berdasarkan rancangan rinci (<i>Detail Engineering Design</i>) yang berupa gambar dan spesifikasi teknis
15	Dapatkan informasi bahwa perhitungan HPS untuk pekerjaan konstruksi telah memperhitungkan keuntungan dan biaya <i>overhead</i> yang wajar sebesar 15% (lima belas persen)
16	Dapatkan informasi bahwa perhitungan HPS untuk Jasa Konsultansi dapat menggunakan: <ol style="list-style-type: none"> 1) Metode perhitungan berbasis biaya (<i>cost-based rates</i>) yang terdiri dari biaya langsung personel

No.	Uraian
	(remuneration) dan biaya langsung non personel (<i>direct reimbursable cost</i>)
2)	Metode perhitungan berbasis pasar (<i>market-based rates</i>) yang dilakukan dengan membandingkan biaya untuk menghasilkan keluaran pekerjaan/output dengan tarif/harga yang berlaku di pasar
3)	Metode perhitungan berbasis keahlian (<i>value-based rates</i>) yang dilakukan dengan menilai tarif berdasarkan ruang lingkup keahlian/reputasi/hak eksklusif yang disediakan/dimiliki jasa konsultan tersebut
17	Dapatkan informasi bahwa perhitungan HPS untuk Jasa Lainnya harus memperhitungkan komponen biaya sesuai dengan ruang lingkup pekerjaan antara lain: 1) Upah tenaga kerja; 2) Penggunaan bahan/material/ peralatan; 3) Keuntungan dan biaya <i>overhead</i> ; 4) Transportasi; dan 5) Biaya lain berdasarkan jenis jasa lainnya.
18	Dapatkan informasi bahwa PPK telah mendokumentasikan data riwayat dan informasi pendukung dalam rangka penyusunan HPS
19	Lakukan pengujian untuk memastikan bahwa tidak terdapat kesalahan aritmatik dalam penghitungan
20	Dapatkan informasi bahwa PPK telah menetapkan HPS dengan menandatangani pada lembar persetujuan/ penetapan
21	Dapatkan informasi bahwa dokumen HPS yang sah telah ditandatangani oleh PPK
22	Lakukan pengujian dan dapatkan informasi bahwa Nilai HPS paling tinggi sama dengan Nilai Pagu Anggaran
23	Buat simpulan hasil revidu

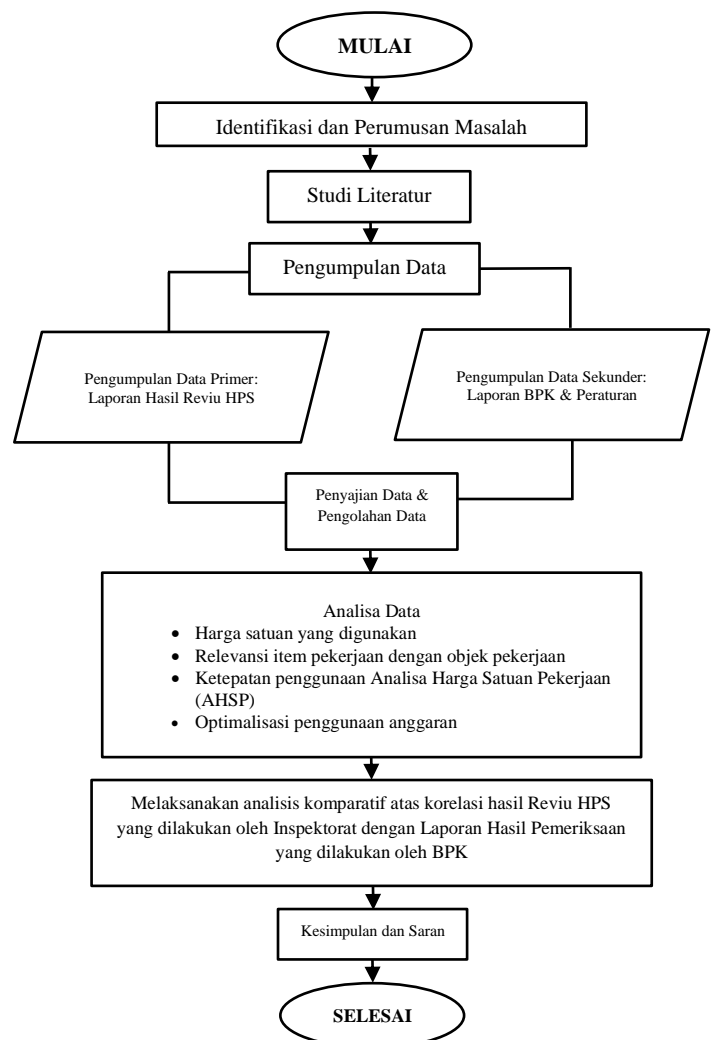
Laporan Hasil Pemeriksaan atas Laporan Keuangan Pemerintah Kabupaten Jombang Tahun 2023.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 15 Tahun 2004 tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara dan Undang-Undang Nomor 15 Tahun 2006 tentang Badan Pemeriksa Keuangan, BPK telah memeriksa Laporan Keuangan Pemerintah Kabupaten Jombang yang terdiri dari Neraca dan Laporan Perubahan Saldo Anggaran Lebih per tanggal 31 Desember 2023, Laporan Realisasi Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah dan Laporan Arus Kas untuk tahun yang berakhir sampai dengan 31 Desember 2023, Laporan Operasional dan Laporan Perubahan Ekuitas untuk periode yang berakhir sampai dengan 31 Desember 2023, serta Catatan atas Laporan Keuangan Tahun 2023.

Tanggungjawab BPK adalah untuk menyatakan suatu opini atas laporan keuangan berdasarkan pemeriksaan BPK. BPK melaksanakan pemeriksaan berdasarkan Standar Pemeriksaan Keuangan Negara. Standar tersebut mengharuskan BPK mematuhi kode etik BPK, serta merencanakan dan melaksanakan pemeriksaan untuk memperoleh keyakinan yang memadai apakah laporan keuangan tersebut bebas dari kesalahan penyajian material.

Suatu pemeriksaan meliputi pengujian bukti-bukti yang mendukung angka-angka dan pengungkapan dalam laporan keuangan. Prosedur yang dipilih mendasarkan pada pertimbangan profesional pemeriksa, termasuk penilaian risiko salah saji yang material dalam laporan keuangan, baik yang disebabkan oleh kecurangan maupun kesalahan. Dalam melakukan penilaian risiko, Pemeriksa mempertimbangkan pengendalian intern yang relevan dengan penyusunan dan penyajian wajar laporan keuangan Pemerintah Kabupaten Jombang untuk merancang prosedur pemeriksaan yang tepat sesuai dengan kondisi yang ada, tetapi bukan untuk tujuan menyatakan opini atas efektivitas pengendalian intern Pemerintah Kabupaten Jombang. Pemeriksaan yang dilakukan BPK juga mencakup evaluasi atas ketepatan kebijakan akuntansi yang digunakan dan kewajaran estimasi akuntansi yang dibuat oleh Pemerintah Kabupaten Jombang, serta evaluasi atas penyajian laporan keuangan secara keseluruhan.

METODE Bagan Alir Penelitian





Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Google Maps, 2024

Teknik Pengumpulan Data

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis komparatif atas korelasi hasil Reviu HPS yang dilakukan oleh Inspektorat dengan Laporan Hasil Pemeriksaan yang dilakukan oleh BPK. Digunakan juga langkah kerja reviu sebagai media dalam membuat simpulan hasil reviu melalui prosedur reviu yang telah dilaksanakan secara sistematis.

1. Data Primer

Laporan Hasil Reviu HPS yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang.

Tabel 2. Informasi Umum Proyek 1

Satuan Kerja	: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Ruang Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Gudo - Kesemen
Lokasi Kegiatan	: Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp2.173.640.000,00
Nilai HPS	: Rp2.173.640.000,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Gudo - Kesemen, 2023)

Tabel 3. Informasi Umum Proyek 2

Satuan Kerja	: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Ruang Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Kabuh - Tapan
Lokasi Kegiatan	: Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp6.419.179.100,00
Nilai HPS	: Rp6.419.179.100,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Kabuh - Tapan, 2023)

Tabel 4. Informasi Umum Proyek 3

Satuan Kerja	: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Ruang Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rekonstruksi Jalan K.H. Romli Tamim
Lokasi Kegiatan	: Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp3.575.065.008,00
Nilai HPS	: Rp3.573.077.000,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rekonstruksi Jalan K.H. Romli Tamim, 2023)

Tabel 5. Informasi Umum Proyek 4

Satuan Kerja	: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Ruang Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Made - Asemgede
Lokasi Kegiatan	: Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp1.886.959.767,00
Nilai HPS	: Rp1.886.482.370,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Made - Asemgede, 2023)

Tabel 6. Informasi Umum Proyek 5

Satuan Kerja	: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Ruang Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Sentul - Kesamben
Lokasi Kegiatan	: Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp3.391.174.768,00
Nilai HPS	: Rp3.390.961.000,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Sentul - Kesamben, 2023)

Tabel 7. Informasi Umum Proyek 6

Satuan Kerja	: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Ruang Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rehabilitasi Jalan Cukir - Godong
Lokasi Kegiatan	: Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp2.441.263.204,00
Nilai HPS	: Rp2.441.063.204,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rehabilitasi Jalan Cukir - Godong, 2023)

Tabel 8. Informasi Umum Proyek 7

Satuan Kerja	: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Ruang Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rehabilitasi Jalan Wonosalam - Jabung
Lokasi Kegiatan	: Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp1.961.332.465,00
Nilai HPS	: Rp1.960.901.758,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rehabilitasi Jalan Wonosalam - Jabung, 2023)

Tabel 9. Informasi Umum Proyek 8

Satuan Kerja	: Dinas Perumahan dan Permukiman Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	: Kabupaten Jombang
Nama Kegiatan	: Pekerjaan Rehabilitasi Drainase/Trotoar Jl. K.H. Abdurrahman Wahid
Lokasi Kegiatan	: Jl. K.H. Abdurrahman Wahid Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp4.135.963.785,00
Nilai HPS	: Rp4.054.733.000,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rehabilitasi

Drainase/Trotoar Jl. KH. Abdurrahman Wahid, 2023)

Tabel 10. Informasi Umum Proyek 9

Satuan Kerja	: Dinas Kesehatan Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	
Nama Kegiatan	: Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten
Lokasi Kegiatan	: Kecamatan Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp4.135.963.785,00
Nilai HPS	: Rp4.135.963.785,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten, 2023)

Tabel 11. Informasi Umum Proyek 10

Satuan Kerja	: Dinas Kesehatan Kabupaten Jombang
Perangkat Daerah	
Nama Kegiatan	: Rehabilitasi Puskesmas Blimbing Kecamatan Kesamben
Lokasi Kegiatan	: Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang
Anggaran Kegiatan	: Rp4.135.963.785,00
Nilai HPS	: Rp4.135.963.785,00

Sumber: (Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rehabilitasi Gedung Puskesmas Blimbing Kecamatan Kesamben, 2023)

2. Data Sekunder

Data sekunder berasal dari Laporan Hasil Pemeriksaan Badan Pemeriksa Keuangan atas Laporan Keuangan Pemerintah Kabupaten Jombang Tahun 2023 dan Peraturan Perundang-undangan yang relevan dengan penelitian.

Teknik Analisis Data

Alat bantu yang dipergunakan untuk pengolahan data yaitu program Microsoft Excel dan Microsoft Word guna menganalisa berbagai data.

1. Perbandingan langkah kerja penyusunan HPS dengan Laporan Hasil Reviu HPS.
2. Bagan tiap langkah kerja penyusunan HPS.
3. Diagram hasil perbandingan langkah kerja penyusunan HPS dengan Laporan Hasil Reviu HPS.
4. Diagram hasil observasi langkah kerja penyusunan HPS pada 10 proyek.
5. Perbandingan nilai HPS dengan nilai HPS setelah reviu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Penyusunan HPS dalam Reviu HPS.

Berdasarkan Laporan Hasil Reviu HPS pada 10 proyek strategis terdapat 7 langkah kerja penyusunan HPS dari 19 langkah yang paling banyak tidak dilakukan (skala 8 hingga 10), yaitu:

- 1) Langkah 2
- 2) Langkah 5
- 3) Langkah 9

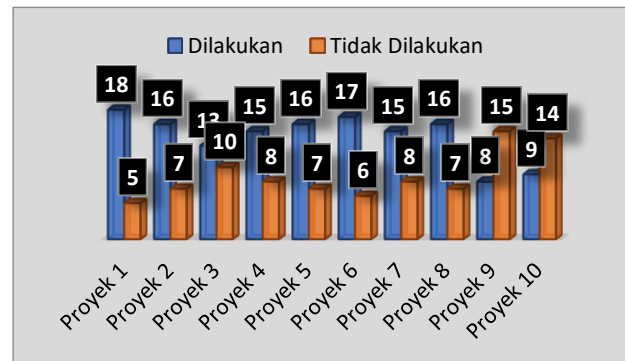
4) Langkah 10

5) Langkah 19

6) Langkah 20

7) Langkah 21

*disajikan secara rinci dalam Tabel 1 Langkah Kerja Penyusunan dan Penetapan HPS



Gambar 3. Diagram Hasil Observasi Langkah Kerja Penyusunan HPS pada 10 Proyek

Dari diagram di atas diketahui bahwa langkah kerja yang paling banyak tidak dilakukan adalah pada proyek 9 yaitu pekerjaan Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten dengan 15 langkah dan proyek 10 pekerjaan Rehabilitasi Puskesmas Blimbing Kecamatan Kesamben dengan 14 langkah.

Dari seluruh analisa di atas, didapati bahwa reviu HPS atas 10 Proyek Strategis Daerah Tahun Anggaran 2023 yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang telah:

- 1) Menganalisa penggunaan harga satuan yang digunakan dalam penyusunan HPS.
- 2) Menganalisa relevansi antara item pekerjaan dengan objek pekerjaan meskipun seluruh proyek pekerjaan terdapat kesalahan aritmatik dalam penghitungan.
- 3) Menganalisa penggunaan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) meskipun seluruh proyek pekerjaan terdapat kesalahan aritmatik dalam penghitungan.

2. Analisis Optimalisasi Penggunaan Anggaran

Atas analisis penyusunan HPS dalam reviu HPS yang dilakukan Inspektorat Kabupaten Jombang, diketahui bahwa beberapa syarat penyusunan HPS masih belum dilakukan dengan benar. Terdapat beberapa koreksi aritmatik, baik dari kesalahan penulisan volume, kesalahan harga satuan, hingga kesalahan pemilihan AHSP yang mengakibatkan terjadinya efisiensi anggaran. Efisiensi anggaran 10 proyek yang dilakukan reviu HPS dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

*1) Pada proyek pekerjaan Rekonstruksi Jalan K.H. Romli Tamim tidak didapati nilai HPS setelah

direviu karena HPS yang disusun masih belum memadai untuk proses pengadaan barang/jasa tahap selanjutnya dikarenakan terdapat kesalahan yang cukup signifikan yang mengakibatkan HPS tidak dapat diimplementasikan sehingga PPK harus memerintahkan kepada konsultan perencana untuk melakukan *redesign*. Secara umum catatan dari reviu HPS proyek pekerjaan tersebut adalah:

- 1) Harga item barang yang digunakan dalam menyusun HPS belum sesuai dengan ketentuan;
- 2) Penggunaan AHSP dalam penyusunan HPS tidak sesuai dengan ketentuan maupun kebutuhan;
- 3) Perhitungan back up volume pekerjaan belum didukung dengan dasar yang memadai;
- 4) Masih terdapat kekurangan dokumen yang belum dilengkapi.

*2) Pada proyek pekerjaan Rekonstruksi Jalan Made – Asemgede tidak didapati efisiensi nilai HPS setelah direviu karena hasil reviu oleh PPK dengan mempertimbangkan rekomendasi hasil reviu Inspektorat terdapat penambahan sebesar Rp.117.630,00 dimana nilai ini masih di bawah nilai pagu anggaran.

*3) Pada proyek pekerjaan Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten tidak didapati nilai HPS setelah direviu karena HPS yang disusun terdapat kesalahan yang cukup signifikan sehingga tidak dapat dilanjutkan proses pengadaan barang/jasa tahap selanjutnya. Catatan atas hasil reviu, yakni:

- 1) Terdapat kesalahan pada perhitungan pembebanan bangunan yang belum dimasukkan sebagai beban struktur bangunan;
- 2) Terdapat perbedaan konstruksi atap pada permodelan struktur di program Analisa struktur (SAP) dengan gambar desain yang disajikan, pada Analisa struktur menggunakan permodelan rangka baja ringan dan baja WF, sedangkan pada gambar hanya menggunakan konstruksi baja WF.

*4) Pada proyek pekerjaan Rehabilitasi Puskesmas Blimbing Kecamatan Kesamben tidak didapati nilai HPS setelah direviu. Reviu HPS tidak dapat dilanjutkan karena ada ketidaksesuaian desain struktur bangunan yang secara signifikan akan merubah nilai perhitungan di HPS. Catatan atas hasil reviu, yakni:

- 1) Terdapat ketidaksesuaian analisa struktur dengan desain yang dilampirkan, konstruksi kuda-kuda pada SAP diletakkan pada kolom utama, sedangkan pada gambar desain konstruksi kuda-kuda menumpang pada talang beton, sehingga punter pada balok belum diperhitungkan;
- 2) Belum didapati dasar perhitungan penentuan besaran beban yang dicantumkan pada analisa strukturnya;

- 3) Terdapat ketidaksesuaian analisa struktur pada sambungan baja ringan, yang seharusnya dihitung secara khusus perlakuan pada setiap sambungan bajanya;
- 4) Terdapat ketidaksesuaian penentuan besaran tegangan leleh (fy) dan tegangan putus (fu) pada material baja ringan;
- 5) Terdapat ketidaksesuaian design struktur pada SAP dengan gambar design dan back up volume yang dilampirkan, antara lain: Pondasi, Kolom, Balok, dan Desain Penulangan.

Dari seluruh analisa di atas didapati bahwa reviu HPS atas 10 Proyek Strategis Daerah Tahun Anggaran 2023 yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang telah optimal dalam penggunaan anggaran karena meskipun terdapat efisiensi namun pekerjaan dapat terlaksana dengan baik. Nilai efisiensi terbesar pada pekerjaan Rehabilitasi Drainase/Trotoar Jl. K.H. Abdurrahman Wahid dengan nilai Rp.246.215.131,42 atau 6,07% dari nilai HPS awal.

3. Analisis Potensi Temuan dari Pemeriksaan BPK

Berdasarkan hasil pemeriksaan fisik dan dokumen pendukung pembayaran yang dituangkan dalam Laporan Hasil Pemeriksaan atas Laporan Keuangan Pemerintah Kabupaten Jombang Tahun 2023 secara uji petik atas proyek pekerjaan strategis menunjukkan bahwa pekerjaan tersebut telah dibayar lunas. Fokus pemeriksaan fisik dilakukan dengan pengujian kuantitas berupa pengukuran dimensi-dimensi hasil pekerjaan serta analisis dokumen *as built drawing*, *back-up volume* dan foto dokumentasi pelaksanaan pekerjaan untuk menguji kesesuaian dimensi dan spesifikasi teknis hasil pekerjaan.

Hasil analisis dokumen pendukung pembayaran dan hasil pemeriksaan fisik yang didampingi Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) atau Pejabat Pelaksana Teknis Kegiatan (PPTK), Penyedia, Pengawas, dan Inspektorat menunjukkan bahwa terdapat kekurangan volume pekerjaan dan pekerjaan tidak sesuai spesifikasi teknis pada proyek Pekerjaan Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten.

Dari hasil analisis di atas didapati bahwa reviu HPS yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang memiliki tingkat efektivitas dalam mengurangi potensi korupsi berdasarkan studi kasus pada 10 proyek strategis daerah Kabupaten Jombang Tahun Anggaran 2023 dengan persentase sebesar 90%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil reviu HPS yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang dapat memberikan dampak yang signifikan dalam pencegahan korupsi. Dari hasil analisis atas 10

proyek strategis daerah yang telah dilakukan reuview HPS, hanya terdapat 1 proyek pekerjaan yang berpotensi menimbulkan kerugian keuangan negara/daerah berdasarkan Laporan Keuangan Pemerintah Kabupaten Jombang Tahun 2023 yang diterbitkan oleh Badan Pemeriksa Keuangan (BPK), yaitu pada proyek pekerjaan Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten, sedangkan atas 9 proyek pekerjaan lainnya tidak terdapat permasalahan yang berarti.

KESIMPULAN

Tujuan dari Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) adalah untuk memberikan keyakinan terbatas bahwa HPS yang disusun oleh Pejabat Pembuat Komitmen telah sesuai dengan tata cara penyusunan HPS yang benar, disusun dengan harga yang wajar, dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku, tidak ada penggelembungan HPS, dan tidak ada item biaya yang tidak diperlukan.

Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa reuview HPS yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang:

1. Telah menganalisa penggunaan harga satuan yang digunakan dalam penyusunan HPS. Harga satuan yang digunakan dalam penyusunan HPS belum seluruhnya berdasarkan data/informasi yang dapat dipertanggungjawabkan, telah menganalisa relevansi antara item pekerjaan dengan objek pekerjaan meskipun seluruh proyek pekerjaan terdapat kesalahan aritmatik dalam penghitungan, dan telah menganalisa penggunaan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) meskipun seluruh proyek pekerjaan terdapat kesalahan aritmatik dalam penghitungan.
2. Telah optimal dalam penggunaan anggaran karena meskipun terdapat efisiensi namun pekerjaan dapat terlaksana dengan baik. Nilai efisiensi terbesar pada pekerjaan Rehabilitasi Drainase/Trotoar Jl. K.H. Abdurrahman Wahid dengan nilai Rp.246.215.131,42 atau 6,07% dari nilai HPS awal.
3. Memiliki tingkat efektivitas dalam mengurangi potensi korupsi berdasarkan studi kasus pada 10 proyek strategis daerah Kabupaten Jombang Tahun Anggaran 2023 dengan persentase sebesar 90%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil reuview HPS yang dilakukan oleh Inspektorat Kabupaten Jombang dapat memberikan dampak yang signifikan dalam pencegahan korupsi. Dari hasil analisis atas 10 proyek strategis daerah yang telah dilakukan reuview HPS, hanya terdapat 1 proyek pekerjaan yang berpotensi menimbulkan kerugian keuangan negara/daerah berdasarkan Laporan Keuangan Pemerintah Kabupaten

Jombang Tahun 2023 yang diterbitkan oleh Badan Pemeriksa Keuangan (BPK), yaitu pada proyek pekerjaan Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten, sedangkan atas 9 proyek pekerjaan lainnya tidak terdapat permasalahan yang berarti.

REFERENSI

- Alfianto, D. (2019). Peran Aparat Pengawas Intern Pemerintah (APIP) Untuk Mewujudkan Good Governance Dalam Pencegahan Tindak Pidana Korupsi di Bidang Penyediaan Barang dan Jasa. <http://wartakota.tribunnews.com/2018/03/07/kpk-modus-korupsi-terbanyak->
- Keputusan Bupati Jombang Nomor: 188.4.45/41/415.10.1.3/2023 tentang Daftar Kegiatan Strategis Daerah Tahun Anggaran 2023. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Kabupaten. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rehabilitasi Drainase/Trotoar Jl. KH. Abdurrahman Wahid. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rehabilitasi Gedung Puskesmas Blimbing Kecamatan Kesamben. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Kabuh - Tapen. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rekonstruksi Jalan K.H. Romli Tamim. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Paket Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Made - Asemgede. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rehabilitasi Jalan Cukir - Godong. (2023).
- Laporan Hasil Reuview Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rehabilitasi Jalan Wonosalam - Jabung. (2023).

- Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Gudo - Kesemen. (2023).
- Laporan Hasil Reviu Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pekerjaan Rekonstruksi Jalan Sentul - Kesamben. (2023).
- Peraturan Badan Pengawas Keuangan dan Pembangunan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2019 Tentang Pedoman Pengawasan Intern Atas Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. (2019). www.peraturan.go.id
- Peraturan Bupati Jombang Nomor 44 Tahun 2024 tentang Pembinaan dan Pengawasan Penyelenggaraan Pemerintahan Daerah Oleh Inspektorat. (2024).
- Peraturan Bupati Jombang Nomor 95 Tahun 2021 tentang Kedudukan, Susunan Organisasi, Uraian Tugas Pokok dan Fungsi Serta Tata Kerja Inspektorat Kabupaten Jombang. (2021).
- Peraturan Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2021 Tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Melalui Penyedia. (2021).
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2008 Tentang Sistem Pengendalian Intern Pemerintah. (2008).
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2021 Tentang Perubahan Atas Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. (2021).
- Rachmania, S. N. (2020). Kesalahan Penyusunan Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Dalam Pengadaan Barang / Jasa Pemerintah Yang Berimplikasi Tindak Pidana. *Jurist-Diction*, 3(3), 1123. <https://doi.org/10.20473/jd.v3i3.18641>
- Rakhmadian, F. (2022). Penyusunan dan Penetapan Harga Perkiraan Sendiri (HPS) Pengadaan Barang/Jasa Pekerjaan Konstruksi Di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu.
- Riyanto, W. (2022). Identifikasi Permasalahan dan Rekomendasi Tindak Lanjut pada Tahap Reviu Dokumen Persiapan Pengadaan Barang / Jasa Pemerintah. In *JPBJ* (Vol. 1, Issue 2). <https://journal.ifpi.or.id/index.php/jpbjp86Journalthomepage:https://journal.ifpi.or.id/index.php/jpbj>
- Pedoman Penilaian Monitoring Center For Prevention (MCP) TAHUN 2023. (2023).
- Tjahjono, M. E. S., & Adawiyah, D. R. (2019). Pengaruh Kompetensi Auditor, Pengalaman Auditor dan Motivasi Auditor Terhadap Kualitas Audit (Vol. 12, Issue 2).

KAJIAN MANAJEMEN PEMELIHARAAN JALAN BERDASARKAN KORELASI NILAI KERUSAKAN TERHADAP NILAI ROUGHNESS JALAN BERBASIS ROADLAB-PRO

ROAD MAINTENANCE MANAGEMENT STUDY BASED ON THE CORRELATION BETWEEN DAMAGE VALUES AND ROAD ROUGHNESS VALUES USING ROADLAB-PRO

Wiki Yulandi¹, Elsa Eka Putri^{1*}, Purnawan¹

¹ Departemen Teknik Sipil Universitas Andalas

*elsaeka@eng.unand.ac.id

Abstrak

Pemeliharaan jalan penting dilakukan untuk menjaga keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Survei diperlukan untuk mengetahui kondisi jalan lintas. Manajemen pemeliharaan jalan beserta anggaran biaya berdasarkan hasil korelasi antara nilai metode IRI (International Roughness Index) berbasis Software Roadlab Pro terhadap nilai kerusakan permukaan jalan dengan metode PCI (Pavement Condition Index) dan Bina Marga dapat dilakukan untuk tujuan mempermudah proses survei dalam mengevaluasi kondisi jalan dan cara penanganan kerusakan yang tepat pada ruas Jalan Pondok-pulau sangkar di kabupaten kerinci. Nilai IRI berdasarkan Roadlab Pro dapat digunakan untuk menilai kondisi ruas jalan berdasarkan metode PCI karena mempunyai nilai yang saling mempengaruhi satu sama lain berdasarkan hasil analisis regresi korelasi dengan nilai koefisien 88,7%. Penetapan anggaran pemeliharaan jalan dibuat berdasarkan 3 usulan skenario yang meliputi pemeliharaan sesuai dengan kebutuhan atau saat terjadi kerusakan, pemeliharaan setiap tahun, dan pemeliharaan secara berkala berupa peningkatan pada tahun pertama, pemeliharaan rutin pada tahun kedua, serta pemeliharaan berkala dari tahun ketiga sampai kelima.

Kata kunci: Anggaran, IRI, PCI, Roadlab-pro, Roughness

Abstract

Road maintenance is important to maintain the safety and comfort of road users. Surveys are needed to determine the condition of cross-country roads. Road maintenance management along with budget costs based on the results of the correlation between the IRI method values (International Roughness Index) Software-based Roadlab Pro against the value of road surface damage by the PCI method (Pavement Condition Index) and Bina Marga can be done for the purpose of simplifying the survey process in evaluating road conditions and how to properly handle damage to the Pondok-Pulau Sangkar road section in Kerinci Regency. IRI value based on Roadlab Pro can be used to assess road conditions based on the PCI method because it has values that influence each other based on the results of correlation regression analysis with a coefficient value of 88.7%. Determination of the road maintenance budget is made based on 3 proposed scenarios which include maintenance according to needs or when damage occurs, maintenance every year, and periodic maintenance in the form of improvements in the first year, routine maintenance in the second year, and periodic maintenance from the third to the fifth year.

Keywords: Budget, IRI, PCI, Roadlab-pro, Roughness

PENDAHULUAN

Pemerintah menjadi satu-satunya pelaksana penyediaan dan pengelolaan jalan yang merupakan kewajibannya dalam penyediaan pelayanan publik (Oglesby, 1954 dalam Devithri, 2014). Akses jalan raya yang baik akan sangat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi, sosial, budaya, dan politik suatu wilayah. Jaringan jalan yang menghubungkan

antar wilayah harus memenuhi standar Syarat Pelayanan Minimal (SPM). Syarat Pelayanan Minimal (SPM) yang baik harus menyediakan kenyamanan, keselamatan, pelayanan kepada pengguna jalan dan kemampuan struktur dalam menahan beban lalu lintas serta pengaruh kondisi lingkungan yang ada (Soelistijo dan Hadi, 2019).

Untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan pengemudi, sangat penting untuk menjaga kondisi

perkerasan jalan supaya selalu dalam keadaan baik sehingga pelayanan ruas jalan selalu dalam keadaan optimal sehingga diperlukan tata kelola jalan atau pemeliharaan yang benar dan efektif. Oleh karena itu, pengelolaan pemeliharaan jalan menjadi sangat penting, mengingat jalan yang dibangun tanpa pemeliharaan yang efektif dan tepat akan menimbulkan kerusakan sehingga memerlukan perkerasan baru. Pemeliharaan dan perbaikan juga dianggap sebagai serangkaian tindakan yang diperlukan untuk mempertahankan struktur perkerasan pada tingkat pelayanan yang diharapkan dan untuk menjaga stabilitas jalan sesuai umur yang diharapkan.

Untuk mewujudkan jalan yang handal, diperlukan rencana pemeliharaan jalan yang berkelanjutan dan tepat. Sebelum memutuskan tindakan pemeliharaan, kualitas jalan harus dievaluasi terlebih dahulu dengan melakukan survei terhadap kondisi jalan. Hasil survei dapat dijadikan sebagai langkah awal untuk menentukan lokasi yang perlu dipertimbangkan lebih lanjut. Evaluasi kinerja fungsional jalan dapat ditentukan dengan 2 (dua) cara, yaitu secara objektif dan subjektif. Secara objektif, kinerja perkerasan diperoleh dari suatu pengukuran dengan menggunakan alat ukur roughness, sedangkan untuk cara subjektif didasarkan pada hasil pengamatan beberapa ahli langsung di lapangan (Hasibuan & Surbakti, 2019).

Metode yang sering digunakan sebagai evaluasi kondisi jalan pada metode IRI (*International Roughness Index*) adalah dengan alat ukur NAASRA (Hasrudin & Maha, 2024). Akan tetapi alat NAASRA ini masih jarang tersedia, karena tidak semua daerah di wilayah Indonesia memilikinya. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi telah banyak dilakukan inovasi terbaru dalam mempermudah pengukuran kerataan jalan ini, salah satunya adalah dibuatnya alat pengukuran kerataan jalan berbasis *smartphone* yaitu Aplikasi Roadlab Pro. Roadlab pro termasuk alat pengukuran IRI kelas 3, klasifikasi ini didasarkan pada penggunaan sensor *smartphone* (*gyroscope* dan akselerasi), yang umumnya tidak lebih baik dari kelas 1 dan 2. Aplikasi ini sangat mudah untuk digunakan karena hanya membutuhkan perangkat *smartphone*, *Software* Roadlab Pro dan kendaraan untuk melakukan pergerakan sehingga biaya yang dibutuhkan tidak sebesar dari survei berbasis alat yang lain seperti NAASRA (Widianto dkk., (2022).

Selain itu penilaian secara subjektif juga dapat membantu untuk melakukan penilaian kondisi kerusakan perkerasan. Metode subjektif adalah metode yang menilai kerusakan perkerasan secara visual langsung kelapangan sehingga menghasilkan

penilaian yang detail dan mengurangi resiko kesalahan saat penilaian. Adapun metode subjektif yang sering digunakan di Indonesia diantaranya adalah Metode *Pavement Condition Index* (PCI) (Termimi dkk., 2021) dan Bina Marga (Muryanto, 2019). PCI adalah metode yang digunakan untuk mengukur tingkat keparahan kerusakan perkerasan merupakan fungsi dari 3 faktor utama, yaitu: tipe kerusakan, tingkat keparahan kerusakan, jumlah atau kerapatan kerusakan (Yamali dkk., 2020, Yunardi dkk., 2018). Metode subjektif ini digunakan sebagai masukan pengukuran yang lebih detail untuk masing-masing kerusakan yang terjadi pada struktur perkerasan sehingga penerapannya lebih efektif dari metode yang lain, Akan tetapi pelaksanaannya kurang efisien karena membutuhkan waktu yang lama (Nashruddin dan Buana, 2021).

Baik metode objektif IRI (*International Roughness Index*) dengan menggunakan *Software* Roadlab Pro maupun metode subjektif PCI (*Pavement Condition Index*) dan Bina Marga, mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penggunaan metode IRI (*International Roughness Index*) dengan menggunakan *Software* Roadlab Pro yang dipasang pada suatu kendaraan hanya dapat mencatat nilai kerataan permukaan jalan yang dilewati oleh kendaraan yang menunjukkan tingkat kenyamanan bagi pengguna jalan, sedangkan metode PCI (*Pavement Condition Index*) dan Bina Marga dapat menggambarkan kerusakan jalan secara keseluruhan, namun pelaksanaannya membutuhkan waktu yang lama. Disamping itu metode PCI dan Bina Marga kurang cocok untuk lalu lintas yang ramai karena menimbulkan problem lalu lintas seperti kemacetan maupun resiko keselamatan (Rahmanto, 2016).

Dengan adanya kelebihan dan kekurangan dari kedua metode tersebut, maka dibutuhkan hubungan antara nilai ketidakerataan jalan dengan nilai kerusakan permukaan jalan. Sehingga hasil pemodelan yang diperoleh dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi jalan untuk menentukan penanganan pemeliharaan jalan secara efektif dan efisien.

Rumah Sakit Tipe D Bukit Kerman adalah salah satu fasilitas kesehatan penting yang terletak di Kabupaten Kerinci. Dibangun pada tahun 2023, rumah sakit ini menjadi bagian integral dari infrastruktur kesehatan di wilayah tersebut. Lokasinya yang strategis, tepat di sepanjang Ruas Jalan Pondok-Pulau Sangkar, menjadikannya akses utama bagi masyarakat menuju layanan kesehatan di rumah sakit ini. Sebagai rumah sakit tipe D, fasilitas ini menyediakan layanan kesehatan yang luas dan komprehensif, termasuk pelayanan rawat inap dan

rawat jalan, serta fasilitas diagnostik dan terapi. Ketersediaan akses yang lancar dan aman menuju rumah sakit ini sangat penting untuk memastikan pelayanan kesehatan yang efektif dan efisien bagi masyarakat Kerinci dan sekitarnya. Oleh karena itu, pemeliharaan yang optimal terhadap Ruas Jalan Pondok-Pulau Sangkar menjadi prioritas, dengan tujuan untuk memastikan akses yang lancar dan aman bagi pasien, keluarga, dan petugas medis yang menuju atau meninggalkan rumah sakit ini. Salah satu langkah dini yang bisa dilakukan sebelum rumah sakit ini beroperasi pada tahun 2024/2025 adalah melakukan survei terhadap kerusakan ruas jalan ini sehingga diperoleh manajemen penanganan yang tepat dan rancangan anggaran biaya.

Berdasarkan dari latar belakang permasalahan ini maka penulis mencoba menetapkan manajemen pemeliharaan jalan beserta anggaran biaya berdasarkan hasil korelasi antara nilai metode IRI (*International Roughness Index*) berbasis Software Roadlab Pro terhadap nilai kerusakan permukaan jalan dengan metode PCI (*Pavement Condition Index*) dan Bina Marga. Dengan tujuan agar dapat mempermudah proses survei dalam mengevaluasi kondisi jalan dan cara penanganan kerusakan yang tepat pada ruas Jalan Pondok-pulau sangkar di kabupaten kerinci sehingga dapat diperoleh manajemen pemeliharaan dan anggaran biaya berdasarkan korelasi antara nilai Roughness dan kerusakan permukaan jalan pada ruas jalan Pondok-pulau sangkar Kecamatan Bukit Kerman Kabupaten Kerinci.

METODE

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Metode kuantitatif dapat diartikan sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, teknik pengambilan sampel pada umumnya dilakukan secara random, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan.

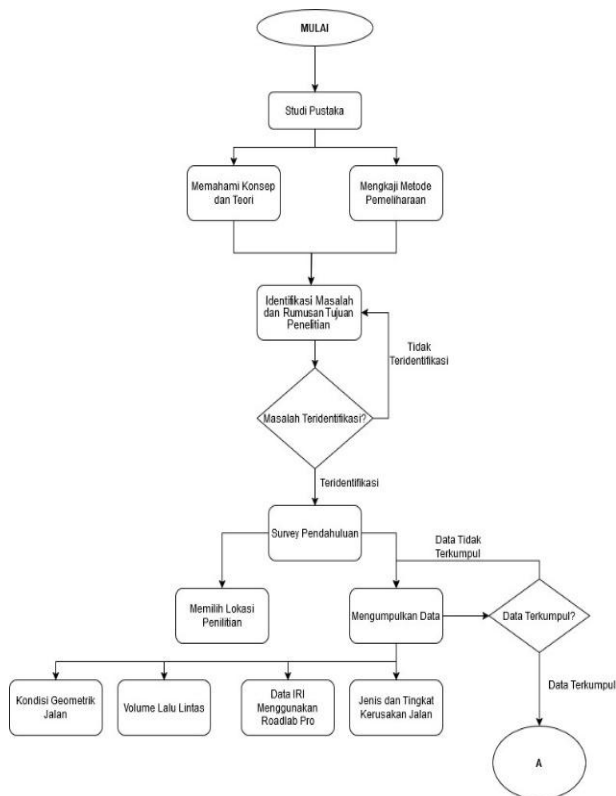
Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif, Menurut sugiyono (2017) metode penelitian deskriptif dilakukan untuk mengetahui pengaruh keberadaan variabel, baik pada satu atau lebih variabel tanpa melakukan perbandingan dari variabel itu dan mencari hubungan suatu variabel dengan variabel lainnya. Sehingga strategi pada penelitian kali ini bertujuan untuk memberikan penjelasan apakah nilai IRI

Roadlab yang digunakan menunjukkan pengaruh terhadap nilai kerusakan jalan PCI dan Bina Marga.

Lokasi penelitian dilakukan pada ruas Jalan Pondok sampai Jalan Pulau Sangkar, Kecamatan Bukit Kerman, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Penelitian ini mencakup sepanjang ± 3000 meter, dengan lebar jalan 5 meter, dimulai dari Kantor Camat Kecamatan Bukit Kerman sebagai STA awal hingga perbatasan Desa Pulau Sangkar-Pondok Kecamatan Bukit Kerman. Jalan ini menggunakan jenis perkerasan lentur aspal, dan waktu pengambilan data berlangsung selama 1 minggu. Selain itu, di sekitar lokasi penelitian, terdapat Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) tipe D Kabupaten Kerinci yang telah selesai dibangun pada tahun 2024

Pertama, dilakukan studi pustaka untuk memahami konsep dan teori terkait evaluasi kondisi jalan serta metode pemeliharaan yang ada. Setelah itu, dilakukan identifikasi masalah dan merumuskan tujuan penelitian, yang mencakup pemahaman hubungan antara metode evaluasi objektif dan subjektif dalam menilai kondisi jalan terhadap akses ke layanan kesehatan di sekitar Rumah Sakit Tipe D Bukit Kerman. Selanjutnya, dilakukan survei pendahuluan untuk memilih lokasi penelitian dan mengumpulkan informasi tentang kondisi jalan, termasuk data geometrik jalan, volume lalu lintas, dan data IRI menggunakan aplikasi Roadlab Pro, serta data jenis tingkat kerusakan jalan. Setelah data terkumpul, data jenis dan tingkat kerusakan diolah menggunakan metode PCI dan Bina Marga (Gambar 3.1). Survei yang dilakukan untuk pengumpulan data di lapangan berupa survei geometrik jalan, survei volume lalu lintas, dan survei kerusakan jalan.

Peneliti menetapkan hasil PCI sebagai variabel Y1 (dependen 1), hasil Bina Marga sebagai Y2 (dependen 2), dan data IRI dari Roadlab sebagai variabel X (independen) untuk dilakukan regresi linear sederhana. Selanjutnya, dilakukan uji normalitas, linearitas, dan heterodasitas pada data Y1 terhadap X dan Y2 terhadap X. Jika data tersebut normal dan tidak ada masalah pada heterodasitas, maka dilanjutkan dengan regresi korelasi Pearson untuk mengetahui tingkat hubungan variabel Y1 terhadap X dan Y2 terhadap X. Hasil yang diharapkan adalah jika hubungan korelasi variabel Y1 terhadap X atau Y2 terhadap X setidaknya memiliki kekuatan korelasi yang bernilai moderat (sedang).



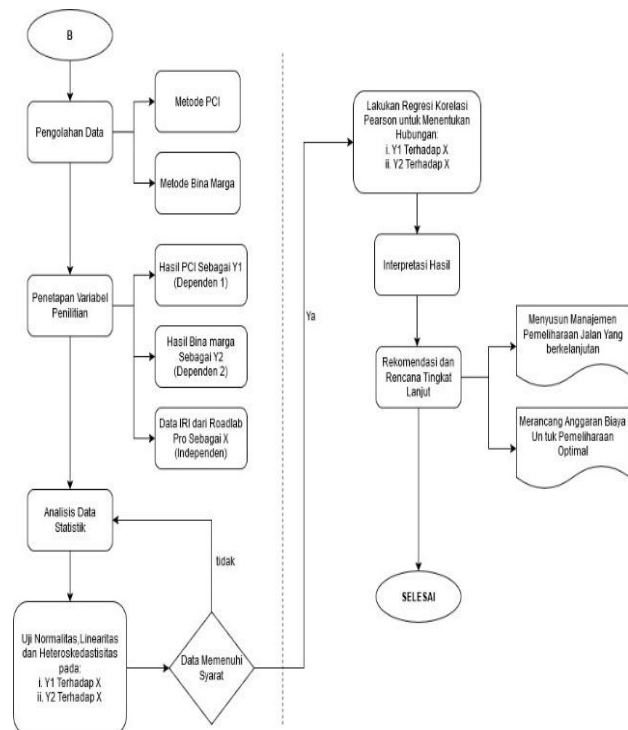
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian Tahap Awal

Selanjutnya, berdasarkan hasil penelitian, akan disusun manajemen pemeliharaan jalan yang berkelanjutan dan tepat, serta rancangan anggaran biaya yang memadai untuk memastikan pemeliharaan yang optimal terhadap Ruas Jalan Pondok-Pulau Sangkar, sehingga akses yang lancar dan aman bagi pasien, keluarga, dan petugas medis Rumah Sakit Tipe D Bukit Kerman dapat terjamin (Gambar 3.2). Data yang dihasilkan terdiri dari dua jenis yaitu data primer dan data sekunder. Data dianalisis menggunakan SPSS versi 26 untuk menganalisis data yang sudah didapatkan dari hasil survei yang telah diolah dengan metode IRI Roadlab, PCI, dan Bina marga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan kondisi perkerasan lentur (*flexible pavement*) secara visual menggunakan metode Bina Marga (Tabel 1) dan PCI (Tabel 2) serta pengambilan data IRI terlihat pada Tabel 3.

Menurut metode pengukuran Bina marga dibutuhkan pemeliharaan rutin sebanyak 26 titik (86,6%), pemeliharaan berkala 4 titik (13,3%) dan Peningkatan 0 titik (0%). Distribusi jenis pemeliharaan jalan pondok – pulau sangkar menurut metode Bina marga disajikan pada Tabel 4.19.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian Tahap Analisis data

Tabel 1. Kondisi Penanganan berdasarkan metode Bina Marga

Jenis Pemeliharaan	Jumlah titik	Persen (%)
Pemeliharaan Rutin	26	86.6
Pemeliharaan Berkala	4	13.3
Peningkatan	0	0.00
Total	30	100.00

Pada metode Bina Marga (BM) ini jenis kerusakan yang perlu diperhatikan saat melakukan survei kerusakan jalan adalah retak, alur, tambalan, lubang, kerusakan permukaan dan ambblas. Tahap awal perhitungan tingkat kerusakan jalan dengan metode Bina Marga yaitu dengan menentukan nilai kelas jalan dengan menghitung jumlah LHR pada jalan tersebut, lalu menghitung angka kerusakan jalan sehingga mendapatkan nilai kondisi jalan, dan hitung nilai prioritas kondisi jalan dengan menggunakan rumus urutan prioritas. Berdasarkan urutan prioritas yang telah dihitung didapatkan nilai prioritas kondisi jalan adalah minimum 4 dan maksimum 11.

Tabel menunjukkan distribusi jenis pemeliharaan jalan pondok – pulau sangkar menurut metode PCI disajikan pada tabel 4. Total nilai PCI yang didapat yaitu sebesar 1031, dengan nilai PCI_f 34,37. Dengan demikian berdasarkan analisis kondisi jalan dengan menggunakan metode PCI pada ruas jalan tersebut tergolong buruk (*Poor*).

Menurut metode pengukuran PCI dibutuhkan pemeliharaan rutin sebanyak 0 titik (0%), pemeliharaan berkala preventif 2 titik (6,7%) dengan kondisi “good”, pemeliharaan korektif 10 titik (33,3%) dengan kondisi “Fair”, Rehabilitasi 11 titik (36,7%) dengan kondisi “Poor”, dan Peningkatan 7 titik (23,3%) dengan kondisi “Very poor” hingga “Failed”.

Tabel 2 Kondisi Penanganan berdasarkan metode PCI

Jenis pemeliharaan	Jumlah titik	Persentase Jumlah Titik
Pemeliharaan Rutin	0	0,00%
Pemeliharaan Berkala Preventif	2	6,70%
Pemeliharaan Berkala Korektif	10	33,30%
Rehabilitasi	11	36,70%
Pembangunan Kembali/Peningkatan	7	23,30%
Total	30	100%

Tabel 4.21 Distribusi frekuensi kerataan jalan dengan metode IRI berdasarkan titik pengamatan mayoritas titik pengamatan menunjukkan kerataan jalan kategori sangat buruk yaitu 10% dan kategori buruk yaitu mencapai 60%. Walaupun demikian masih terdapat 9 titik (30%) dengan kerataan jalan cukup baik (Fair).

Tabel 3 Distribusi frekuensi kerataan jalan pondok – Pulau sangkar.

Kondisi Jalan	Kerataan	Jumlah	Persen (%)
Very poor		3	10
Poor		18	60
Fair		9	30
Jumlah		30	100

Ruas jalan Pondok – Pulau sangkar memiliki nilai rata-rata kerataan jalan sebesar 8,92 (Poor/Buruk) berdasarkan metode IRI. Nilai tersebut menerangkan bahwa secara rata-rata jalan Pondok – Pulau sangkar tergolong kerataan buruk. Informasi tersebut hanya mewakili nilai rata, gambaran tentang kondisi real masing-masing segmen tentang kerataan jalan akan lebih kelihatan secara detail melalui distribusi frekuensi data.

Analisis kondisi jalan metode bina marga terdapat 26 titik yang harus dilakukan pemeliharaan rutin dan 4 titik masuk dalam pemeliharaan berkala.

Menurut analisis kondisi jalan metode PCI pada 26 titik yang perlu dilakukan pemeliharaan rutin menurut metode bina marga terdapat 1 titik tergolong Good, 8 titik tergolong Fair, 10 titik tergolong Poor, 3 titik tergolong Very Poor dan 4 titik tergolong Failed. Sehingga 26 titik tersebut sudah seharusnya dilakukan pemeliharaan Berkala preventif, pemeliharaan korektif, rehabilitasi dan peningkatan jalan. Menurut analisis kondisi jalan metode PCI pada 4 titik yang perlu dilakukan pemeliharaan berkala menurut metode bina marga terdapat 1 titik masuk kategori Good pemeliharaan berkala preventif, 2 titik masuk kategori Fair pemeliharaan korektif dan 1 titik masuk kategori Poor Rehabilitasi. Tabulasi silang perbandingan kondisi kerusakan jalan dengan metode bina marga dan PCI disajikan pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan perbedaan yang jelas antara analisis kondisi jalan metode bina marga dan metode PCI. Analisis Regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara metode visual dan kerataan jalan Roadlab pro.

Tabel 4 Tabulasi Silang Perbandingan kondisi jalan metode bina marga dan PCI

Bina Marga	PCI					Jumlah
	Failed	Very Poor	Poor	Fair	Good	
Pemeliharaan Rutin	4	3	10	8	1	26
Pemeliharaan Berkala	0	0	1	2	1	4
Jumlah	4	3	11	10	2	30

Hasil analisis regresi antara kerataan residual terhadap nilai absolut residual pada metode PCI diperoleh nilai sig. P sebesar 0,873 dan metode bina marga sebesar 0,588. Nilai signifikansi tersebut besar dari 0,05 yang berarti bahwa persamaan regresi yang terbentuk antara kerataan jalan terhadap kerusakan jalan bersifat *homokedastisitas*. Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa baik metode PCI maupun metode bina marga memiliki persamaan regresi yang bebas dari bias atau persamaan tersebut dapat digunakan untuk memperkiraan kerusakan jalan melalui variabel kerataan jalan.

Hasil koefisien regresi pada metode PCI bernilai negatif yang artinya semakin baik kerataan jalan semakin menurun peluang tingkat kerusakan jalan atau semakin rata kondisi jalan maka semakin lambat jalan mengalami kerusakan. Sebaliknya bernilai positif pada metode PCI yang berarti bahwa semakin baik kerataan jalan semakin baik nilai prioritas penanganan kondisi jalan bina marga.

Analisis linearitas pengaruh tingkat kerataan jalan terhadap tingkat kerusakan jalan menurut metode PCI dan metode bina marga masing-masing

menunjukkan nilai F hitung 9,512 dan 1,520. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa tingkat kerataan jalan linear terhadap tingkat kerusakan jalan dengan menggunakan metode PCI dan bina marga.

Peluang jalan rusak seiring dengan peningkatan kerataan jalan pada metode bina marga cenderung memberikan dampak kecil dibandingkan dengan

menggunakan metode PCI. Besarnya pengaruh tingkat kerataan jalan terhadap tingkat kerusakan jalan dengan menggunakan metode PCI yaitu sebesar 0,887, sedangkan dengan menggunakan metode bina marga sebesar 0,374. Hal ini berarti dengan menggunakan metode PCI 88% tingkat kerusakan jalan dipengaruhi oleh faktor tingkat kerataan jalan. Sedangkan dengan menggunakan

metode bina marga menunjukkan 37,44% tingkat kerataan jalan mempengaruhi tingkat kerusakan jalan.

Setelah dilakukan perhitungan regresi diperoleh bahwa hubungan PCI cenderung kuat terhadap hasil IRI Roadlab Pro dengan tingkat koefisien determinasinya mencapai 87% dan membentuk suatu model persamaan berupa $PCI = 95,694 - 6,88 \times IRI$ Roadlab. Diharapkan dengan adanya persamaan ini dapat mempermudah kegiatan survei kerusakan jalan. Tabel 4.29 merupakan hasil PCI setelah persamaan regresi yang digunakan pada Roadlab survei.

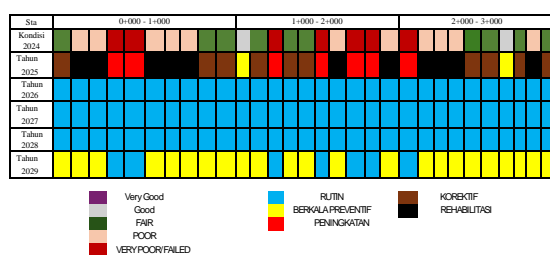
Tabel 5 Hasil implementasi persamaan terhadap PCI

No Sampel	IRI X	PCI Sebelum Regresi Y	PCI sesudah regresi Y'	Kondisi	Jenis pemeliharaan	Nilai
1	7	51	47	FAIR	Pemeliharaan Korektif	Mantap
2	8,94	38	34	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap
3	10	32	27	POOR VERY	Rehabilitasi	Tidak Mantap
4	11	20	21	POOR	Peningkatan	Tidak Mantap
5	13	0	5	FAILED	Peningkatan	Tidak Mantap
6	9	38	35	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap
7	10	36	30	POOR VERY	Rehabilitasi	Tidak Mantap
8	10,61	25	23	POOR	Peningkatan	Tidak Mantap
9	7,41	47	45	FAIR	Pemeliharaan Korektif	Mantap
10	8,73	40	36	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap
11	4,42	66	65	GOOD	Pemeliharaan berkala preventif	Mantap
12	5,81	51	56	GOOD VERY	Pemeliharaan berkala preventif	Mantap
13	11,42	12	17	POOR	Peningkatan	Tidak Mantap
14	6,46	50	51	FAIR	Pemeliharaan Korektif	Tidak Mantap
15	4,99	53	61	GOOD VERY	Pemeliharaan berkala preventif	Mantap
16	11	21	21	POOR	Peningkatan	Tidak Mantap
17	9,68	35	29	POOR VERY	Rehabilitasi	Tidak Mantap
18	12	0	15	POOR VERY	Peningkatan	Tidak Mantap
19	12,15	0	12	POOR	Peningkatan	Tidak Mantap
20	10,14	31	26	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap
21	13	0	3	FAILED VERY	Peningkatan	Tidak Mantap
22	10	25	24	POOR VERY	Peningkatan	Tidak Mantap
23	10	28	24	POOR	Peningkatan	Tidak Mantap

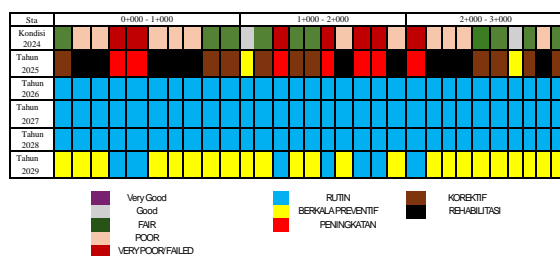
24	9,29	38	32	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap
25	8	52	39	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap
26	6	52	57	GOOD	Pemeliharaan berkala preventif	Mantap
27	4	58	65	GOOD	Pemeliharaan berkala preventif	Mantap
28	8	48	41	FAIR	Pemeliharaan Korektif	Mantap
29	9,73	32	29	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap
30	5,2	52	60	GOOD	Pemeliharaan berkala preventif	Mantap
Total	8,92	34,37	34,33	POOR	Rehabilitasi	Tidak Mantap

Berdasarkan hasil dari persamaan regresi yang diperoleh terlihat ada sedikit selisih yang masih dapat diterima dari angka PCI real dan PCI perhitungan, sehingga nilai IRI dengan menggunakan Roadlab bisa digunakan sebagai penilaian kondisi jalan dikarenakan nilainya sama dengan nilai PCI ketika menggunakan persamaan yang didapatkan .

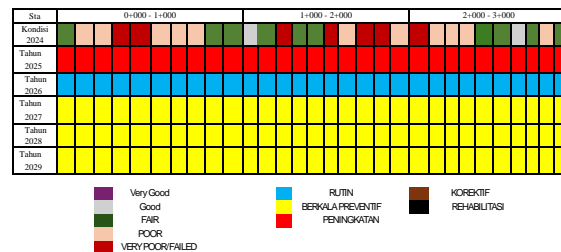
Berdasarkan analisis kedua metode maka didapatkan tiga skenario pemeliharaan jalan yaitu skenario 1, skenario 2, dan skenario 3. Skenario 1 melalui pemeliharaan dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan atau saat terjadi kerusakan (Gambar 4.31), skenario 2 melaksanakan pemeliharaan setiap tahun (Gambar 4.32), dan skenario 3 melakukan pemeliharaan pada tahun pertama, lalu pemeliharaan rutin pada tahun kedua, dan tahun berikutnya melakukan perbaikan terhadap kerusakan (Gambar 4.33).



Gambar 3 Rencana Skenario 1



Gambar 4 Rencana skenario 2



Gambar 5 Rencana skenario 3

Analisis regresi korelasi menunjukkan bahwa metode PCI mempunyai hubungan yang kuat terhadap hasil dari kerataan jalan dengan menggunakan *software* Roadlab Pro. maka sebab itu untuk perhitungan Rancangan anggaran biaya akan dihitung berdasarkan jenis dan volume kerusakan menurut metode PCI (Pratama & Suryanto, 2019). Berdasarkan perhitungan diperoleh total biaya untuk peningkatan jalan untuk 7 titik jalan yang diperlukan peningkatan jalan adalah sebesar Rp. 5.707.520.000.00, biaya tersebut berupa biaya umum ditambah dengan pekerjaan tanah dan pekerjaan perkerasan aspal serta telah termasuk PPN.

Rancangan biaya untuk peningkatan jalan per 1 sampel atau 100 meter dan terdapat item pekerjaan diantaranya adalah pada sub Umum terdapat item mobilisasi, sistem manajemen keselamatan konstruksi, alat pelindung diri, personil keselamatan konstruksi, fasilitas sarana prasarana alat P3K, rambu dan perlengkapan lalu lintas atau manajemen lalu lintas dan kegiatan dan peralatan pengendalian risiko keselamatan konstruksi. Pada sub pekerjaan tanah terdapat item galian, penyiapan badan jalan dan pondasi. Pada sub pekerjaan aspal terdapat item perkerasan penutup aspal yang terdiri dari latakton lapis aus (HRS- WC), latakton lapis pondasi (HRS-Base), Lapis *prime coat*, lapisan *Tack coat* dan cat marka jalan *thermoplastic*.

Berdasarkan perhitungan diperoleh total biaya untuk peningkatan jalan per 1 sampel atau 100 meter adalah untuk sub umum Rp. 98.110.030,00 dan untuk sub pekerjaan tanah Rp. 321.500.166,70

sedangkan untuk sub pekerjaan aspal sebesar Rp. 236.328.863,72.

Total biaya untuk pemeliharaan jalan untuk 11 titik jalan yang diperlukan rehabilitasi adalah sebesar Rp. 2.998.309.052,72. Biaya tersebut berupa biaya umum ditambah dengan biaya rehabilitasi serta telah termasuk PPN.

Rancangan biaya untuk rehabilitasi untuk setiap sampel, berdasarkan tabel diatas terdapat item pekerjaan diantara-Nya adalah pada sub Umum terdapat item mobilisasi, alat pelindung diri, fasilitas P3K, rambu dan perlengkapan lalu lintas atau manajemen lalu lintas. Pada sub pekerjaan tanah terdapat item galian, penyiapan badan jalan dan pondasi. Pada sub pekerjaan pemeliharaan berkala terdapat penutup aspal yang terdiri dari laston lapis aus (HRS- WC), laston lapis pondasi (HRS-Base), Lapis *prime coat*, lapisan *Tack coat* dan cat marka jalan *thermoplastic*.

Berdasarkan perhitungan diperoleh total biaya untuk adalah untuk sub umum Rp.23.700.030,00 dan untuk sub pekerjaan Pemeliharaan berkala untuk 11 titik Rp.2.599.617.500,91 sedangkan total setelah ditambahkan untuk PPN sebesar Rp. Rp.2.911.882.459,30.

Rancangan biaya untuk pemeliharaan korektif jalan untuk setiap sampel, berdasarkan tabel diatas terdapat item pekerjaan diantaranya adalah pada sub Umum terdapat item mobilisasi, alat pelindung diri, fasilitas P3K, rambu dan perlengkapan lalu lintas atau manajemen lalu lintas. Pada sub pekerjaan pemeliharaan korektif terdapat item perbaikan asbuton campuran panas hamparan dingin, residu bitumen (*crack seal/coat seal*) untuk pemeliharaan, pengabutan (*Fog seal*) dengan aspal emulsi yang mengikat lebih cepat (CQ8-1h A atau Q8-1h), penghamparan lapis penutup bubuk aspal (*Slurry seal*), lapis tambah (HRS-WC). Berdasarkan perhitungan diperoleh total biaya untuk sub umum adalah Rp. 32.085.030,00 dan untuk sub pekerjaan

Pemeliharaan Korektif untuk 10 titik Rp. 464.023.958,89 sedangkan total setelah ditambahkan untuk PPN sebesar Rp. Rp. 550.680.977,67.

Rancangan biaya untuk pemeliharaan berkala preventif jalan untuk setiap sampel, berdasarkan tabel diatas terdapat item pekerjaan diantara-Nya adalah pada sub Umum terdapat item mobilisasi, alat pelindung diri, fasilitas P3K, rambu dan perlengkapan lalu lintas atau manajemen lalu lintas. Pada sub pekerjaan pemeliharaan berkala terdapat item perbaikan asbuton campuran panas hamparan dingin, residu bitumen (*crack seal/coat seal*) untuk pemeliharaan, pengabutan (*Fog seal*) dengan aspal emulsi yang mengikat lebih cepat (CQ8-1h A atau Q8-1h), penghamparan lapis penutup bubuk aspal

(*Slurry seal*). Berdasarkan perhitungan diperoleh total biaya untuk adalah untuk sub umum Rp. 12.196.030,00 dan untuk sub pekerjaan Pemeliharaan Korektif untuk 2 titik Rp. 39.906.863,49 sedangkan total setelah ditambahkan untuk PPN sebesar Rp. Rp. 57.833.101,77. Untuk pemeliharaan rutin direncanakan berupa pembabatan rumput di sepanjang jalan.

Rancangan biaya untuk pemeliharaan berkala preventif jalan untuk setiap sampel, berdasarkan tabel diatas terdapat item pekerjaan yang meliputi sub Umum terdapat item mobilisasi, alat pelindung diri dan perlengkapan lalu lintas atau manajemen lalu lintas. Pada sub pekerjaan pemeliharaan rutin terdapat item pembabatan rumput hingga didapatkan total Rp. 928.512,00 untuk sub Umum dan sub pekerjaan Pemeliharaan rutin sebesar Rp. 3.951.032 sedangkan total setelah ditambahkan untuk PPN sebesar Rp.5.416.293,84.

Perhitungan RAB diatas menjadi acuan dalam memperoleh rekapitulasi biaya total pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala dan peningkatan jalan per 1 sampel atau 100 meter untuk skenario 1, 2, dan 3 terlihat pada Tabel 4.56. Hasil perkiraan biaya perbaikan jalan skenario 1, 2, dan 3 tahun 2025-2029.

Skenario 1 diketahui pada tahun 2025 memerlukan biaya tertinggi untuk perbaikan jalan dikarenakan terdapat pembuatan jalan baru yang memerlukan biaya tinggi, tahun 2026 sampai 2028 dilakukan pemeliharaan rutin yang tidak memerlukan biaya sebanyak tahun 2025. di tahun 2029 terjadi pemeliharaan berkala akibat menurunnya kinerja jalan dengan biaya yang lebih tinggi dari tahun 2026 sampai 2028, tetapi tidak lebih tinggi dari tahun 2025.

Pada skenario 2 diketahui tahun 2025 menggunakan biaya tertinggi untuk masing-masing jenis perbaikan dengan pembagian merata. untuk pembuatan jalan baru biaya yang diperlukan masih sama dengan skenario 1, sedangkan untuk pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala preventif, pemeliharaan korektif mengalami peningkatan yang signifikan dikarenakan biaya yang dipakai adalah biaya tertinggi dari skenario 1 sebelumnya. adapun skema perbaikan masih sama seperti skenario 1 yang membedakan hanya dari segi biaya yang digunakan. Sedangkan skenario 3 diketahui pada tahun 2025 menggunakan peningkatan disemua sampel jalan. Sedangkan pada tahun 2026 dilakukan pemeliharaan rutin disemua sampel jalan dengan biaya merata dan 2027-2029 dilakukan pemeliharaan berkala untuk meremajakan jalan yang telah direkonstruksi pada tahun 2025.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data metode yang paling tepat untuk menggambarkan manajemen pemeliharaan jalan berdasarkan korelasi nilai kerusakan jalan terhadap nilai roughness jalan berbasis roadlab pro adalah metode PCI. Metode PCI mempunyai hubungan yang kuat terhadap hasil dari kerataan jalan dengan menggunakan software Roadlab Pro. Hasil analisis korelasi regresi PCI dan IRI pada ruas jalan Pondok- Pulau sangkar menunjukkan nilai PCI dan IRI memiliki hubungan yang sangat kuat yaitu memiliki hubungan berbanding terbalik. Berdasarkan analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai IRI berdasarkan Roadlab Pro dapat digunakan untuk menilai kondisi ruas jalan berdasarkan metode PCI karena mempunyai nilai yang saling mempengaruhi satu sama lain. Oleh karena itu, perhitungan Rancangan anggaran biaya dihitung berdasarkan jenis dan volume kerusakan menurut metode PCI. Rancangan anggaran yang dibuat terdiri dari 3 skenario usulan yaitu skenario 1 pemeliharaan dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan atau saat terjadi kerusakan, skenario 2 pemeliharaan dilakukan setiap tahun, dan skenario 3 memiliki skema berupa pemeliharaan peningkatan pada tahun pertama, pemeliharaan rutin pada tahun kedua, serta pemeliharaan berkala dari tahun ketiga sampai kelima.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2017. *"Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2017."*
- Devithri, H. 2014.. "Peran Serta Masyarakat Dalam Pembiayaan Pemeliharaan Jalan (Studi Kasus Jalan Lingkungan Di Kecamatan Koto Tangah Kota Padang." *Thesis*. Universitas Andalas.
- Hasibuan, R. P., & Surbakti, M. S. 2019. "Study Of Pavement Condition Index (Pci) Relationship With International Roughness Index (Iri) On Flexible Pavement." *Matec Web of Conferences*, 03019: 1-6.
- Hasrudin, L., Maha, I. 2024. "Analisis Penilaian Kondisi Perkerasan Jalan Dengan Metode Pci (Pavement Condition Index), Sdi (Surface Distress Index) Dan Iri (International Roughness Index)." *Journal Syntac Idea*, 6(04):1881-1898.
- Muryanto, D., & Dwi, R. S. 2019. "Evaluasi Kerusakan Ruas Jalan Kalimas Baru Kota Surabaya Dengan Menggunakan Metode Bina Marga." *Jurnal Mitsu*, 7(1): 24-30.
- Nashruddin, A.Z., Buana, C. 2021. "Analisis Penilaian Kerusakan Jalan dan Perbaikan Perkerasan pada Jalan Raya Roomo, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik." *Jurnal Teknik ITS*, 10(01): 27-34.
- Pratama, T.O., Suryanto, H.S.M. 2019. "Analisa Kerusakan Jalan Dan Teknik Perbaikan Berdasarkan Metode Pavement Condition Index (Pci) Beserta Rencana Anggaran Biaya Pada Ruas Jalan Gempol – Pandaan." *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 7(3): 1-12.
- Rahmanto, A. 2016. "Evaluasi Kerusakan Jalan Dan Penanganan Dengan Metode Bina Marga Pada Ruas Jalan Banjarejo – Ngawen." *Simetris*, 10(1): 17-24.
- Soelistijo, A., Hasi, P.L. 2019. "Penyusunan Standar Pelayanan Minimal Jalan Nasional." *Jurnal HPJI*, 5(2): 85-96.
- Temimi, A. R., Hadi M. Ali, F. A., & H. F. Obaidi, A. 2021. "The Pavement Condition Index (PCI) method for evaluating pavement distresses of the roads in Iraq - A case study in Al-Nasiriyah city." *University of Thi-Qar Journal for Engineering Sciences*, 11(2): 17-23.
- Widianto, B. W., Elkhassnet, Rifky, A. 2022. "Kondisi dan Penanganan Perkerasan Jalan Berdasarkan Metode SDI, RCI dan IRI dengan Menggunakan Aplikasi Roadlab Pro". *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 8(02):100-110.
- Yamali, F. R., Handayani, E., Sirait, E. E. 2020. "Penilaian Kondisi Jalan dengan Metode Pci (Pavement Condition Index)". *Jurnal Talenta Sipil*, 3(1):47-50.
- Yunardi, H., Alkas, M. J., Sutanto, H. 2018. "Analisa Kerusakan Jalan Dengan Metode Pci Dan Alternatif Penyelesaiannya (Studi Kasus : Ruas Jalan D.I. Panjaitan)." *Jurnal Teknologi Sipil*, 2(2): 38-47.

Analisis Perencanaan Saluran Terbuka pada Lokasi Amblesan Jalur Kereta Api di KM 206+100 - KM 206+560 Emplasemen Gilas Divre IV Tanjung Karang

Analysis of Open Channel Design at The Railway Subsidiary Location at KM 206+100 - KM 206+560 of The Tanjung Karang Divre IV Gilas Emplacement

Yogi Peranata¹, Henggar Risa Destania¹, Ghina Amalia¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri,
Jl. Jend. Sudirman Km.4 No. 62, 20 Ilir D. IV, Kec. Ilir Tim. I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30129
Email: 202250045p@students.uigm.ac.id

Abstrak

Amblesan pada jalur kereta api di Km 206+100–Km 206+560 Emplasemen Gilas Divre IV Tanjung Karang terjadi akibat interaksi antara kondisi geoteknis tanah yang jenuh air, elevasi muka air tanah yang tinggi, serta sistem drainase permukaan yang tidak berfungsi optimal. Hasil investigasi memperlihatkan bahwa lapisan tanah pada kedalaman 0–5 m didominasi lempung dengan indeks plastisitas tinggi, sehingga mudah mengalami perubahan volume akibat fluktuasi kadar air. Pada kedalaman 5–10 m terdapat lempung berpasir, dan di bawah 10 m berupa pasir lanau. Data geolistrik menunjukkan muka air tanah berada 1,5 m di bawah kop rel, menyebabkan tanah jenuh dan memicu efek pumping saat dilewati beban dinamis kereta. Kondisi tersebut mempercepat terbentuknya bidang gelincir yang menurunkan faktor keamanan lereng ($SF < 1,5$). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menganalisis kebutuhan perbaikan sistem drainase melalui perencanaan saluran terbuka. Hasil perhitungan menunjukkan kapasitas saluran rencana sebesar $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$, lebih besar dari debit limpasan area A1 sebesar $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dimensi saluran eksisting sepanjang area pengaliran juga memenuhi kebutuhan hidrolis. Selain itu, perencanaan saluran bawah tanah (subsurface drainage) dan vertical drain diperlukan untuk menurunkan muka air tanah agar stabilitas lereng tetap terjaga. Diameter pipa HDPE yang digunakan adalah 14 inci, berdasarkan hasil analisis kebutuhan debit dan ketersediaan di lapangan.

Kata Kunci: Berikan 3-5 kata kunci berdasarkan urutan alphabetic; kata kunci dipisahkan dengan titik koma

Abstract

Railway track subsidence at Km 206+100–Km 206+560 of the Gilas Emplacement, Divre IV Tanjung Karang, is caused by the interaction between saturated soil conditions, high groundwater levels, and an underperforming drainage system. Field investigations show that the 0–5 m soil layer is dominated by high-plasticity clay, while the 5–10 m layer consists of sandy clay, and the layer below 10 m is silty sand. Geoelectrical data indicate groundwater levels as shallow as 1.5 m below the rail head, causing soil saturation and resulting in pumping effects under dynamic train loading. This accelerates the formation of slip surfaces and decreases slope safety factors ($SF < 1.5$). This study evaluates drainage improvements by designing an open drainage channel system. Calculations show that the planned channel capacity is $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$, exceeding the runoff discharge in Area A1 ($2.5 \text{ m}^3/\text{s}$). Existing channel dimensions are also adequate to convey runoff. Additionally, subsurface drainage and vertical drain systems are required to lower groundwater levels and maintain slope stability. The recommended HDPE pipe diameter is 14 inches, adjusted to field availability.

Keywords: Subsidence, Drainage, Open Chanel, groundwater, slope stability.

PENDAHULUAN

Drainase memiliki fungsi penting dalam menjaga kualitas infrastruktur transportasi, termasuk jalan dan jalur kereta api. Sistem drainase berperan

mengalirkan air hujan atau limpasan permukaan agar tidak menggenangi badan jalan, sehingga tidak menurunkan daya dukung tanah maupun merusak struktur (Hasmar, 2012). Genangan air pada permukaan jalan dapat menimbulkan bahaya seperti

berkurangnya gaya gesek ban dan risiko aquaplaning (Muliantara dkk., 2015). Pada jalur kereta api, gangguan pada pengaliran air dapat menyebabkan kerusakan yang lebih serius karena terkait langsung dengan kestabilan tanah dasar dan keselamatan operasional kereta

Keselamatan merupakan prioritas utama PT Kereta Api Indonesia (Persero), sebab gangguan kecil pada struktur rel dapat memengaruhi keseluruhan perjalanan kereta (Peraturan Dinas No.10 PJKA, 1986). Insiden amblesnya jalur kereta di Km 206+100 – Km 206+560 Emplasemen Gilas Divre IV Tanjung Karang pada 27 April 2023 mempertegas pentingnya faktor tersebut. Pengamatan awal menunjukkan bahwa tanah didominasi oleh lempung yang memiliki kemampuan mengikat air tinggi dan buruk dalam mengalirkan air, sehingga rentan jenuh dan tidak stabil (Wibowo & Saputro, 2022). Data geolistrik menunjukkan bahwa muka air tanah berada hanya 1,5 meter di bawah kop rel, sehingga memicu pumping effect ketika dilintasi kereta. Dalam jangka panjang, kondisi ini menghasilkan bidang gelincir dan amblesan dengan nilai faktor keamanan turun di bawah 1,5, yang menunjukkan kondisi tidak aman secara geoteknis.

Kejadian amblesan serupa juga pernah terjadi pada Km 112+000 – Km 114+000 antara Cempaka – Ketapang Divre IV Tanjung Karang pada tahun 2022. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa amblesan tersebut dipicu oleh buruknya sistem drainase yang menyebabkan air hujan menggenang, meresap hingga tanah dasar, dan meningkatkan kadar air tanah (Saputro dkk., 2022). Tanah yang jenuh akan mengalami penurunan kekuatan, peningkatan tekanan pori, dan menimbulkan mud pumping, terutama saat dilewati beban dinamis kereta (Siregar dkk., 2021). Hal ini menggambarkan korelasi kuat antara kerusakan jalur rel (amblesan) dengan ketidakmampuan sistem drainase dalam mengendalikan air limpasan.

Dengan demikian, hubungan antara amblesan dan drainase sangat jelas: kegagalan sistem pengaliran air menyebabkan peningkatan kadar air tanah, penurunan daya dukung tanah dasar, serta deformasi vertikal yang memicu amblesan jalan rel. Oleh sebab itu, perbaikan sistem drainase, khususnya melalui pemasangan saluran drainase terbuka, menjadi langkah teknis yang wajib dilakukan untuk meminimalkan risiko kerusakan dan meningkatkan keselamatan jalur kereta api (Peraturan Dinas No.10 PJKA, 1986).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perencanaan saluran terbuka sebagai solusi penanganan amblesan

di Km 206+100 – Km 206+560 Emplasemen Gilas Divre IV Tanjung Karang. Fokus penelitian meliputi Menganalisis debit limpasan dan kapasitas saluran eksisting dan menentukan dimensi saluran drainase terbuka yang optimal berdasarkan perbandingan kapasitas saluran eksisting dengan debit rancangan pada area terdampak amblesan.

METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif, yaitu menggambarkan kondisi lapangan secara faktual dan melakukan analisis numerik untuk menentukan kapasitas hidrolis saluran. Proses perhitungan mengikuti standar teknis hidrologi dan hidrolika yang berlaku di Indonesia seperti SNI 03-3424, SNI 2415:2016, dan pedoman drainase Kementerian PUPR.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada jalur kereta api di Km 206+100 – Km 206+560 Emplasemen Gilas Divre IV Tanjungkarang, yaitu kawasan yang mengalami amblesan dan diduga terkait dengan ketidakefisienan sistem drainase.



Gambar 1. Lokasi Penelitian KM 206+100 – 206+560

Jenis dan Sumber Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian terdiri atas

a. Data Primer

Adapun metode pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi data primer yang diperoleh melalui dokumentasi lapangan berupa foto dan catatan kondisi aktual sebagai bahan pendukung analisis, serta pengukuran kondisi eksisting saluran drainase yang diambil dari hasil survei pendahuluan, mencakup elevasi tanah dan panjang saluran yang ada.

b. Data Sekunder

Penelitian ini memanfaatkan data curah hujan maksimum bulanan yang diperoleh dari stasiun BMKG Sumatera Selatan untuk periode 2013–2022 sebagai dasar analisis hidrologi. Selain itu, penentuan masa ulang hujan mengacu pada Peraturan Dinas Perkeretaapian Indonesia No. 10, di

mana periode ulang ditetapkan berdasarkan kelas jalan rel pada lokasi penelitian sehingga sesuai dengan standar perencanaan konstruksi jalan rel.

Tabel 1. Penentuan Masa Ulang Hujan

Kelas Jalan Rel	Fasilitas Pematusan wajar (%) (Tahun)	Fasilitas Pematusan Lebih Penting (Tahun)
1	15	25
2	10	15
3	7	10
4	3	5
5	3	5

Sumber : Peraturan Dinas No.10, PJKA,1986

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk menentukan debit limpasan rencana (Q) dengan menghitung curah hujan rencana menggunakan beberapa distribusi statistik seperti Normal, Log-Normal, Gumbel, dan *Log Pearson Tipe III*. Setiap distribusi diuji menggunakan metode goodness of fit Kolmogorov-Smirnov dan *Chi-Square* untuk memperoleh distribusi yang paling sesuai. Distribusi terbaik inilah yang digunakan sebagai dasar penentuan intensitas hujan rencana sebelum dihitung lebih lanjut dalam analisis debit limpasan.

Berdasarkan hasil pengujian, metode yang paling tepat dipilih untuk menentukan curah hujan rencana, yang kemudian digunakan sebagai input dalam perhitungan debit banjir rencana. Adapun rumus perhitungan distribusi normal adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S \dots \dots \dots [1]$$

Dimana:

X_T = Debit rencana dengan periode ulang T tahun (mm)

\bar{X} = Nilai rata-rata dari data hujan (mm)

K_T = Faktor frekuensi lainnya tergantung dari "T"
= nilai yang didapatkan dari tabel variasi reduksi Gauss

S = Standar deviasi dari data hujan (mm)

Rumus perhitungan Log Normal sebagai berikut:

$$\log X_T = \log \bar{X} + K_T \times S \log X \dots \dots \dots [2]$$

Dimana:

$\log X_T$ = Nilai Logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)

Long \bar{X} = Nilai rata - rata = $\frac{\sum_{i=1}^n (mm)}{n}$

S Log X = Deviasi Standar = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n)(\log x - \log \bar{x})^2}{n-1}}$

K_T = Faktor frekuensi sini lainnya tergantung dari "t", nilai yang didapatkan dari tabel variasi reduksi Gauss.

Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam adalah:

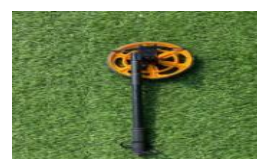
a. Total Station



Gambar 2. Total Station

b. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur panjang lokasi saluran drainase.



Gambar 3. Meteran

Rumus yang Digunakan

a. Rumus Perhitungan Gumbel

$$X_T = \bar{X} + \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \cdot S_d \dots \dots \dots [3]$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots [4]$$

Dimana :

X_T = Hujan dengan return periode T (mm)

\bar{X} = Curah hujan maksimum rata - rata

N = Banyak data tahunan

S_d = Standar Deviasi

Y_n = Reduced mean (hubungan dengan banyak data)

Y_t = Reducate variate

S_n = Reduced standar deviation (hubungan dengan banyaknya data, n)

b. Rumus Perhitungan Log Pearson III

$$\log X_T = \log \bar{X} + K_T \cdot S \log X \dots \dots \dots [5]$$

Dimana:

$\log X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan perode ulang T tahun (mm)

$\log X$ = Nilai rata - rata Log X_i (mm)

c. Perhitungan Debit Limpasan

Rumus metode rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots \dots \dots [6]$$

Dimana:

Q = Debit limpasan (m³/s)

C = koefisien limpasan
I = Intensitas hujan (mm/jam)
A = luas DAS (km²)

Sedangkan untuk menghitung Intensitas Hujan (I) digunakan rumus Mononobe sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3} \dots\dots\dots [7]$$

Dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)
t_c = Waktu konsentrasi (jam)

d. Analisis Kapasitas Saluran Eksisting

Analisis kapasitas saluran menggunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$Q = V.A$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots [8]$$

Dimana:

Q = debit limpasan (m³/s)
V = kecepatan aliran (m/s)
A = luas penampang saluran (m²)
R = jari jari hidraulik (m)
P = keliling basah saluran (m)
S = kemiringan memanjang saluran
n = koefisien *manning*

Analisis Hidrolika

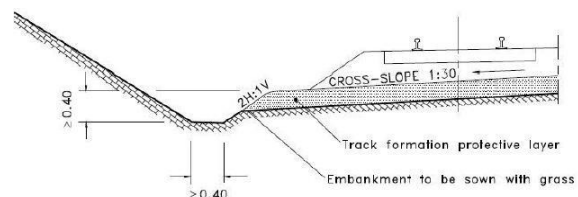
Analisis hidrolika berkaitan dengan pola aliran serta ukuran saluran drainase. Dengan kata lain, setelah menentukan besaran banjir berdasarkan analisis hidrologi, dimensi saluran dapat dirancang untuk memprediksi profil muka air dalam saluran tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting Penelitian

Pada Pada lokasi penelitian terdapat lima area aliran, yaitu A1, A2, A3, A4, dan A5 yang seluruhnya berperan sebagai daerah pengumpul limpasan permukaan. Area A1, A2, dan A5 mewakili saluran eksisting yang sudah terbangun, sedangkan area A3 dan A4 mewakili saluran yang perlu didesain ulang. Perhitungan debit dari masing-masing area menunjukkan bahwa apabila saluran tidak memiliki kapasitas yang memadai, limpasan akan meluap dan meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah dasar jalur kereta. Kondisi ini memperbesar kejenuhan tanah, menaikkan tekanan air pori, serta menurunkan kuat geser tanah sehingga memicu terjadinya amblesan.

Oleh karena itu, analisis kapasitas saluran baik saluran eksisting maupun saluran rencana menjadi bagian penting dalam memahami penyebab amblesan dan menentukan desain drainase yang mampu mengalirkan debit limpasan secara efektif sehingga dapat mengurangi potensi deformasi dan penurunan tanah di lokasi penelitian.



Gambar 4. Drainase Permukaan

Analisis Data Hidrologi

Kondisi hidrologi di lokasi penelitian ditinjau dari besarnya curah hujan, luas daerah pengaliran sungai (DPS) serta besarnya debit limpasan yang terjadi disetiap DPS tersebut. Besarnya debit yang terjadi akan menjadi input pada analisis dan desain daluran drainase yang dibutuhkan.

Tabel 2. Data Curah Hujan

Bulan	DATA CURAH HUJAN									Maks Bulanan
	2013	2014	2015	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Januari	309	309	221.6	254.1	228.8	109.1	114.1	235.7	258	309
Februari	333	333	132.2	214.1	263.5	307.4	298.5	181.4	223	348
Maret	613	613	390.5	406.5	452.8	484.5	367.9	251.9	373	613
April	368	368	375.6	307	324.6	349.5	396.5	127.6	331	420
Mei	119	119	177.9	207.1	137.4	166.9	264.7	144.8	168	33.6
Juni	150	150	170.2	186.5	172.7	119.8	133	60	131	199
Juli	86	86	21.4	82.2	43.4	96	73.4	124.7	113	124.7
Agustus	154	154	21.2	55.9	95.3	0.5	48.6	116.1	73	212.6
September	282	282	5.3	90.1	77.9	14.9	136.3	229	196	371
Oktober	191	191	0.2	280.9	214.8	75.9	251.1	118.1	308	472.1
November	281	281	193.4	268.2	310.1	67.7	333.6	421.4	346	650
Desember	494	494	323	331.8	211.5	242.2	228	587.5	587	587.5
Hujan Maksimum Tahunan	613	613	390.5	406.5	452.8	484.6	396.5	587.5	587	

Sumber: BMKG Sumatera Selatan



Gambar 5. Hujan Maksimum Bulanan

Sumber: BMKG Sumatera Selatan

Analisis Frekuensi Curah Hujan Rencana

Setelah mengumpulkan data curah hujan maksimum tahunan, dilakukan perhitungan curah hujan rencana menggunakan empat metode, yaitu Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III. Tingkat kesesuaian masing-masing metode

kemudian dievaluasi melalui uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov. Hasil pengujian ini menentukan metode yang paling sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan debit banjir rencana.

Tabel 3. Perhitungan Metode Log Normal

No	Tahun	X (mm)	Log Xi	(Log Xi – Log Xi) ²
1	2013	613	2.787	0.007
2	2014	613	2.787	0.007
3	2015	390,5	2.592	0.012
4	2016	2.674	2.674	0.001
5	2017	406,5	2.656	0.002
6	2018	452,8	2.656	0.002
7	2019	484,6	2.685	0.000
8	2020	396,5	2.598	0.011
9	2021	587,5	2.769	0.005
10	2022	587	2.769	0.005
Log Xi			2.701	0,086

Menghitung nilai Standar Deviasi:

$$Slog X = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\log Xi - \overline{\log Xi})^2}{n - 1} \right)^{0.5}$$

$$Slog X = \left(\frac{0.086}{14 - 1} \right)^{0.5} = 0.081$$

Menghitung nilai X_T :

$$\log X_T = \overline{\log X} + K_T x Slog X$$

$$\log X_T = 2.701 + 0 \times 0.081 = 2.701$$

$$X_T = 502.73 \text{ mm}$$

Menghitung nilai X_T :

$$\log X_T = \overline{\log X} + K_T x Slog X$$

$$\log X_T = 2.701 + 0 \times 0.081 = 2.701$$

$$X_T = 502.73 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diambil metode Log Normal sebagai input hasil analisis. Hal tersebut diambil berdasarkan uji statistik.

Masa Ulang Hujan

Menurut Peraturan Dinas Perkeretaapian Indonesia No. 10 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel, pemilihan periode ulang hujan ditentukan berdasarkan kelas jalan rel di lokasi pekerjaan. Berdasarkan klasifikasi tersebut, jalur rel pada lokasi penelitian termasuk dalam Kelas Jalan Rel 1, sehingga secara teoritis memerlukan periode ulang hujan 25 tahun sebagai dasar perencanaan. Namun, dengan mempertimbangkan aspek efektivitas, efisiensi desain, serta kondisi eksisting drainase di

lapangan, maka perencanaan saluran pada penelitian ini menggunakan hujan desain dengan periode ulang 2 tahun, yang dinilai telah memadai untuk memenuhi kebutuhan kapasitas drainase di area penelitian.

Debit Limpasan

Perhitungan Perhitungan debit limpasan dilakukan pada setiap Daerah Pengaliran Sungai (DPS) menggunakan Metode Rasional. Dalam metode ini, variabel independen yang digunakan meliputi koefisien limpasan (C), intensitas hujan (I) dalam mm/jam, dan luas DPS (A) dalam km², sementara variabel dependennya adalah debit limpasan (Q). Nilai intensitas hujan dan luas DPS diperoleh dari hasil analisis hidrologi pada subbab sebelumnya. Adapun nilai koefisien limpasan (C) untuk wilayah perbukitan pada lokasi penelitian ditetapkan sebesar 0,4 berdasarkan referensi standar koefisien limpasan.

Tabel 4. Nilai C (koefesien limpasan)

No	Kondisi Permukaan Tanah	C
1	Lereng	
	-tanah berbutir halus	0.40 -0.65
	-tanah berbutir kasar	0.10-0.30
	-tanah batuan keras (hardrock)	0.70 -0.85
	-tanah batuan lunak (softrock)	0.50 - 0.75
2.	Turl	
	-Diselimuti tanah berpasir	
	-Kemiringan 0,2 %	0.05 – 0.10
	-Kemiringan 2-7%	0.10-0.15
	- Kemiringan >7%	0.15 – 0.20
3.	Daerah Perbukitan	0.30 – 0.50
4.	Daerah Pegunungan	0.50 – 0.70
5.	Sawah dan genangan air	0.70 – 0.80
6.	Padang Olahan	0.10 -0.30

Metode Rasional & Perhitungan Debit Limpasan Rumus rasional sebagai berikut:

Perhitungan debit limpasan pada setiap Daerah Pengaliran Sungai (DPS) dilakukan menggunakan Metode Rasional, yang secara luas digunakan untuk memperkirakan debit puncak pada DAS berukuran kecil hingga menengah. Metode ini mengasumsikan bahwa debit limpasan (Q) dipengaruhi oleh tiga variabel utama, yaitu koefisien limpasan (C), intensitas hujan (I), dan luas daerah aliran sungai (A). Dalam konteks penelitian ini, C, I, dan A dianggap sebagai variabel independen, sedangkan Q merupakan variabel dependen.

Langkah pertama adalah menghitung Waktu Konsentrasi (Tc) dengan rumus :

$$T_c = \frac{(0,87 \times L^2)^{0,385}}{(100 \times S)} \dots\dots\dots[9]$$

Dimana:

L = Panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau (m)

S = Kemiringan rata – rata lintasan air

$$I = \frac{R24}{24} \times \left(\frac{24}{T_c}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{510.86}{24} \times \left(\frac{24}{0.016}\right)^{\frac{2}{3}} = 2759.09 \text{ mm/jam}$$

Nilai I = 2759.09 mm/jam

Dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

Tc = waktu konsentrasi (jam)

Perhitungan debit limpasan permukaan dilakukan menggunakan persamaan rasional, yaitu $Q = 0,278 \times C \times I \times A$. Koefisien aliran permukaan (C) ditetapkan sebesar 0,4 sesuai karakteristik lahan yang memiliki kemampuan infiltrasi sedang. Intensitas hujan (I) yang digunakan adalah 2759,09 mm/jam, diperoleh dari analisis hidrologi pada periode ulang tertentu. Luas daerah aliran (A) sebesar 0,0079 km² dihitung dari batas catchment area pada lokasi penelitian. Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut, diperoleh debit limpasan sebesar 2,43 m³/s. Nilai ini menggambarkan besarnya aliran permukaan yang harus ditangani oleh sistem drainase agar tidak menyebabkan genangan maupun potensi amblesan pada area sekitar.

Tabel 5. Perhitungan Debit Limpasan

Area	A1	A2	A3	A4	A5
(A)(Km ²)	0.007938	0.004730	0.003200	0.001589	0.000456
(C)	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
(L)(m)	47	64	44	44	2
(S)	0.085	0.094	0.045	0.045	0.050
(Tc)(jam)	0.016	0.20	0.020	0.020	0.002
R2 (mm)	510.587	510.5858	510.857	510.857	510.857
(I) (mm/jam)	2759.090	1685.248	1696.300	1696.300	8496.444
(Q)(m ³ /s)	2.435	0.886	0.604	0.300	0.434

Analisis Kapasitas Saluran Eksisting

Pada tahap ini, dilakukan analisis kapasitas saluran yang telah dibangun serta perhitungan dimensi untuk saluran yang direncanakan.

Untuk menghitung kapasitas saluran yang sudah terbangun digunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$Q = V.A$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots[10]$$

Dimana:

Q = Debit limpasan (m³/s)

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang saluran (m²)

R = Jari – jari hidraulis (m)

P = Keliling basah saluran (m)

S = Kemiringan memanjang saluran

n = koefisien manning

Koefisien manning dapat dilihat dari:

Tabel 6. Koefisien Manning

Tipe Pematasan	Permukaan saluran	Koefisien Kekasaran
Tidak diperkuat	Tanah	0.02 – 0.025
	Pasir dan kerikil	0.25 -0.04
	Cadas	0.025-0.035
Dibuat ditempat	Plesteran semen	0.01 -0.013
	Beton	0.013 – 0.018
	“Rubble wet mortar masonry”	0.015 -0.03
Pracetak	“Pipa beton bertulang sentrifugal”	0.01 – 0.014
	Pipa beton	0.012 – 0.016
	Pipa baja gelombang	0.016 - 0.025

Perhitungan kapasitas saluran dilakukan menggunakan Persamaan Manning dengan penampang trapezium. Parameter hidraulis yang ditentukan meliputi luas penampang basah (A), keliling basah (P), jari-jari hidraulis (R), dan kecepatan aliran (V). Nilai-nilai tersebut dihitung berdasarkan geometri saluran, yaitu lebar dasar (B), tinggi aliran (h), serta kemiringan dinding saluran (m). Seluruh parameter hidraulis kemudian diintegrasikan ke dalam persamaan untuk memperoleh kapasitas debit (Q).

Bentuk penampang trapezium dipilih karena stabil secara struktur dan sesuai untuk kondisi lapangan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas saluran yang direncanakan telah memenuhi kebutuhan debit rencana pada lokasi penelitian.

Kemudian dimasukan seluruh nilai yang diketahui kedalam rumus tersebut.

$$Q = V.A$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{(B + mh)h}{B + 2h(m^2 + 1)^{0.5}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot (B + mh)h$$

$$Q = \frac{1}{0.01} \cdot \left(\frac{(0.6 + 0.12 \cdot 0.7)0.7}{0.6 + 2 \cdot 0.7 (0.12^2 + 1)^{0.5}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0.01^{\frac{1}{2}} \cdot (0.6 + 0.12 \cdot 0.7)0.7 = 2.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Berdasarkan dimensi gorong-gorong yang direncanakan, diperoleh luas penampang basah dan keliling basah tertentu yang kemudian digunakan dalam perhitungan debit. Dengan memasukkan tinggi aliran sebesar 0,7 m, faktor tambahan 0,12, serta parameter penampang lainnya, nilai debit rencana yang dihasilkan adalah sekitar 2,6 meter kubik per detik. Nilai ini menunjukkan bahwa gorong-gorong yang direncanakan mampu menyalurkan aliran dengan kapasitas 2,6 m³/s sehingga masih memenuhi kebutuhan hidrolis pada lokasi studi.

Tabel 7. perhitungan Gorong-gorong

θ	257.96
R (m)	0.05
l rad	57.32
N	0.01
P (m)	25.91
S	0.02
Dimensi saluran	2.5002409
Q (m ³ /s)	1.9234924
V (m/s)	1.299844
A(m ²)	0.2 m
D	0.16 m

Dimensi yang dibutuhkan untuk menampung debit limpasan di lokasi adalah 0.2 m. Sedangkan dimensi yang terpasang di lapangan adalah 1 m dengan kapasitas saluran 180 m³/s, sehingga dapat dikatakan sudah memenuhi kebutuhan.

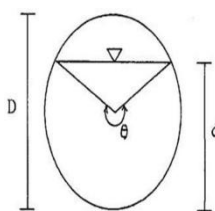
Perencanaan Saluran Terbuka

Tipe saluran yang direncanakan sama seperti saluran yang sudah terbangun dengan pertimbangan mudah dalam pengerjaan dan mendapatkan material saluran, yaitu saluran trapesium dengan material pasangan batu kali dan lining dasar saluran dengan beton. Rencana design saluran seperti Gambar 6. dibawah ini.

Tabel 8. Ukuran Rencana Design Saluran

	Saluran	Panjang (m)
1	A1	62.8 m
2	A2	163.8 m
3	A3	20.6 m
4	A4	126.4 m
5	A5	71.2 m

Perhitungan kapasitas saluran area A3 dengan menggunakan rumus manning.



Gambar 6. Sketsa saluran terbuka dan pipa HDPE

$$Q = V \cdot A$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{(B + mh)h}{B + 2h(m^2 + 1)^{0.5}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot (B + mh)h$$

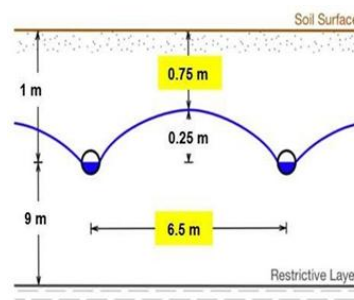
$$0.754 = \frac{1}{0.01} \cdot \left(\frac{(0.6 + 1h)h}{0.6 + 2h(1^2 + 1)^{0.5}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0.01^{\frac{1}{2}} \cdot (0.6 + 1h)h$$

Kemudian dihitung nilai h dengan cara *trial & error* atau dengan bantuan *tools Goal Seek* pada *Microsoft Excel* sampai dengan didapat nilai ruas kanan sama dengan nilai di ruas kiri. Dari hasil hitungan didapat nilai h = 0.5 m, kemudian tinggi saluran harus ditambah dengan ambang bebas (W), tinggi ambang bebas ditambah 15 cm atau menyesuaikan secara hidrolis sehingga tinggi saluran menjadi = 0.6 m. Untuk saluran yang menampung debit limpasan pada area A4 digunakan dimensi saluran rencana yang sama dengan saluran penampang pada area A3 yaitu B = 0.4 m dan h = 0.6 m.

1. Desain Pengendalian Elevasi Muka Air Tanah

Pada lokasi KM 206+100 s.d 206+560 terdapat indikasi elevasi muka air tanah yang tinggi, dari hasil analisis kondisi eksisting didapat bahwa elevasi muka air tanah mempengaruhi kestabilan lereng akan tetapi tidak signifikan. Untuk mengantisipasi kondisi yang berbahaya maka elevasi muka air tanah tetap harus dikendalikan, salah satu upaya pengendaliannya adalah dengan membuat kombinasi saluran bawah tanah (sub surface drainage) dan vertical drain.

Berikut adalah hasil perhitungan dimensi pipa dan jarak pipa untuk pengendalian muka air tanah di KM 206+1/2.



Gambar 9. jarak pipa drain dan saluran bawah

2. Hasil Perhitungan Debit Limpasan Pada Saluran Bawah

Luas daerah aliran air tanah (A) pada penelitian dipersyaratkan pada PD 10 yaitu 0.75 meter. Dengan ini diasumsikan sebesar 0,001 km² atau 1.000 m². Asumsi asumsi demikian diharapkan saat terjadinya fluktuasi air ini digunakan karena tidak tersedianya data detail tanah yang ekstrim, level muka air tanah tetap bisa mengenai kondisi sebaran air bawah tanah pada lokasi dikendalikan sesuai dengan standar yang diinginkan. penelitian. Intensitas hujan (I) yang digunakan Sehingga nilai tinggi muka air dari pipa subdrain (h) merupakan intensitas untuk kala ulang 25 tahun, yaitu adalah hasil W – H yaitu 1 meter. Nilai jarak lapisan sebesar 19,4948 mm/jam, yang diperoleh dari hasil tanah dan as pipa subdrain (D) didapat dari hasil analisis hidrologi. pengurangan kedalaman total lapisan tanah keras (Y)

Nilai koefisien aliran (C) ditetapkan sebesar 0,5, berdasarkan data sondir dikurangi dengan kedalaman ang menggambarkan karakteristik permukaan lahan pipa (W) sehingga D= Y- W = 18- 2 = 16 meter. Nilai dalam mengalirkan air hujan menjadi limpasan. kedalaman ekivalen lapisan dibawah level drainase (d) Berdasarkan parameter tersebut, debit limpasan yang merupakan fungsi dari L merupakan nilai yang permukaan (Q) yang dihitung adalah sebesar 0,00271 ditentukan sebesar 0.7 m. Dari data yang sudah diketahui m³/s. Sementara itu, kecepatan aliran rata-rata (q) diatas kemudian dilakukan perhitungan jarak pipa diperoleh sebesar 0,0000027 m/s, yang menunjukkan subdrain (L), sebagai berikut:

L = Spasi pipa (m)

W = Kedalaman pipa (m)

H= Ketinggian elevasi muka air tanah yang dipertahankan (m)

h = Kedalaman Muka air tanah dari as Pipa(m)

D = Kedalaman tanah impermeable (m)

d = Kedalaman Ekivalen lapisan dibawah level drainase (m), fungsi dari L

K = Konduktivitas Hidrolik Jenuh (m/s)

q = Kecepatan debit rata – rata (m/s)

Ditentukan nilai K berdasarkan kelas permeabilitas pada tabel dibawah:

Tabel 9. kelas permeabilitas

Keterangan	Laju permeabilitas cm/jam	Simbol angka
Sangat lambat	<0.13	1
Lambat	0.13-0.15	2
Agak lambat	0.51-2.00	3
Sedang	2.00-6.35	4
Agak cepat	6.35-12.70	5
Cepat	12.70-25.40	6
Sangat cepat	>25.40	7

Diasumsikan nilai K dengan laju permeabilitas sangat cepat yaitu 25 cm/jam atau 0.0000706 m/s. pengambilan asumsi laju permeabilitas sangat cepat bertujuan agar desain sub drain dapat secara cepat mengalirkan dan menurunkan muka air tanah disaat hujan turun. Untuk nilai kedalaman pipa subrain (W) diambil 2 meter. Dengan kedalaman 2 meter juga akan menjadikan fungsi subdrain sebagai vertical drain. Sehingga diharapkan dapat mengalihkan aliran air bawah tanah dari lereng dan dari arah bawah atau yang terindikasi ada mata air. Tinggi muka air yang dipertahankan (H) adalah 1 meter dibawah tanah asli. Nilai ini diambil sebagai pengaman atau penambahan jarak aman dari tinggi muka air tanah yang

$$L^2 = \frac{8Kdh + 4Kh^2}{q}$$

$$L^2 = \frac{8.0.0000706.0.7.1 + 4.0.0000706.1^2}{0.00000841}$$

$$L^2 = 32 \text{ m}^2$$

$$L = 5.6 \text{ m} - 6 \text{ m}$$

Dari hasil hitungan didapat bahwa pipa untuk sub surface drainage dipasang pada kedalaman 2 meter atau 16 meter diatas lapisan tanah keras. Kemudian jarak antara pipa (L) adalah ≤ 8 m. Dengan konfigurasi tersebut dapat menurunkan muka air tanah (water table) ± 1 meter dibawah muka tanah asli. Jika pipa dipasang dengan jarak yang semakin dekat (L < 8 meter), maka muka air tanah dapat diturunkan lebih dalam lagi (H > 1 meter). Akan tetapi sebaliknya jika pipa dipasang dengan jarak lebih dari 8 meter (L > 8 meter), muka air tanah dapat diturunkan kurang dari 1 meter (H < 1m). Untuk perhitungan diameter pipa digunakan rumus manning untuk saluran lingkaran Dengan uraian dibawah ini:

$$Q = V.A$$

$$R = \frac{1}{4} D$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Digunakan saluran bentuk lingkaran (pipa)

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Dimana:

A = luas penampang saluran (m²)

R = Jari – jari hidrauls (m)

B = Lebar saluran (m)

D = diameter pipa (m)

h = tinggi saluran (m)

$Q = V.A$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1}{4}D\right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{2} \pi D^2$$

$$0.0084 = \frac{1}{0.009} \cdot \left(\frac{1}{4}D\right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0.001 \cdot \frac{1}{2} \pi D^2$$

Kemudian dihitung nilai D dengan cara trial & error atau dengan bantuan tools Goal Seek pada Microsoft Excel sampai dengan didapat nilai diruas kanan sama dengan nilai di ruas kiri. Dari hasil hitungan didapat nilai $D = 0.318$ m atau 13 inch, menyesuaikan dengan ukuran pipa yang ada dipasaran maka bisa dipakai pipa HDPE dengan Diameter 14 Inch. Saluran terbuka dan pipa HDPE

Dari hasil perhitungan didapat hasil akhir seperti:

Tabel 10. Hasil Akhir

Nama Saluran	Kapasitas Saluran	Keterangan
A1	2.5 m ³ /s	Memenuhi
A2	180 m ³ /s	Memenuhi
A3	Dimensi saluran B=0.4 m H=0.6 m	Memenuhi
A4	Dimensi saluran B=0.4 m H=0.6 m	Memenuhi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di lokasi amblesan jalur kereta api di km 206+100 – km 206+560 emplasemen gilid divre iv tanjung karang, dapat disimpulkan sebagai berikut: 1. Kapasitas saluran terbuka yang baru dibuat adalah 2.6 m³ /s sedangkan debit limpasan yang dihasilkan oleh area A1 adalah 2.5 m³ /s. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa saluran terbuka yang baru dibuat kapasitasnya sudah memenuhi. 2. Dari hasil perhitungan dimensi yang dibutuhkan untuk mengakomodir debit limpasan di lokasi adalah 0.2 m, sedangkan dimensi yang terpasang di lapangan adalah 1 m dengan kapasitas saluran 180 m³ /s,

REFERENSI

- Hasmar, H.A. Halim. (2012). Drainase Terapan. UII Press.
- Wesli. (2008). Drainase Perkotaan. Graha Ilmu.
- Basuki, I. W., & Adhyani, N. L. (2009). Analisis periode ulang hujan maksimum dengan berbagai metode. Jurnal IPB, 23(2). <https://journal.ipb.ac.id/index.php/agromet/article/download/3512/2405/>
- Hasmar, H. A. H. (2012). Drainase terapan. UII Press.
- Karim, A. A. (2020). Normalisasi Batang Jirak pada DAS Batang Arau Kota Padang (Skripsi Sarjana, Universitas Bung Hatta). <http://repo.bunghatta.ac.id/2008/>
- Muliantara, A., et al. (2015). Analisis keselamatan jalan akibat genangan air dan aquaplaning. Jurnal Transportasi, 17(2), 101–110.
- Perusahaan Jawatan Kereta Api. (1986). Perencanaan konstruksi jalan rel (Peraturan Dinas No. 10).
- Salim, N. (2014). Evaluasi drainase kawasan pada areal stasiun kereta api Jember. Jurnal Ilmiah, 4(19). <http://repository.unmuhjember.ac.id/1146/1/10.%20Evaluasi%20Drainase%20Kawasan%20pada%20Areal%20Stasiun%20Kereta%20Api%20Jember.pdf>
- Saputro, W. A. (2022). Penanganan amblesan jalan kereta api pada Km. 112+000–Km. 114+000 antara Cempaka–Ketapang lintas Tarahan–Tanjung Enim. Jurnal Profesi Insinyur, 3(2). <https://jpi.eng.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/82/43>
- Siregar, A. M. (2021). Studi penanganan amblesan jalan kereta api di Km. 467+000–Km. 467+500 antara Bungamas–Sukaraja lintas Lahat–Lubuk Linggau. Jurnal Profesi Insinyur. http://repository.lppm.unila.ac.id/36325/1/SN_IP_Amril_Oke.pdf
- Syarifudin, A. (2023). Sistem drainase perkotaan berwawasan lingkungan. Bening Media Publishing.
- Wesli. (2008). Drainase perkotaan. Graha Ilmu.
- Wibowo, S., & Saputro, A. (2022). Karakteristik tanah lempung terhadap kestabilan jalur rel kereta api. Jurnal Geologi dan Infrastruktur, 5(2), 77–86.

Analisis Strategi Perbaikan Jaringan Irigasi Ngudikan Kiri Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus: Jaringan Irigasi Ngudikan Kiri Kabupaten Nganjuk)

Analysis of Improvement Strategies for the Ngudikan Kiri Irrigation Network Using the Analytical Hierarchy Process (Case Study: Ngudikan Kiri Irrigation System, Nganjuk Regency)

Egha Stevania Sutopo¹, Bambang Sujatmiko², Dayat Indri Yuliasuti³

¹Program Studi Teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya Jln. Semolowaru No. 84, Surabaya
Email : stevaniaegha@gmail.com

²Program Studi Teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya Jln. Semolowaru No. 84, Surabaya
Email : bambang.sujatmiko@unitomo.ac.id

³Program Studi Teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya Jln. Semolowaru No. 84, Surabaya
Email : dayatindri@unitomo.ac.id

Abstrak

Irigasi yang efisien sangat penting bagi produktivitas pertanian di Kabupaten Nganjuk. Jaringan irigasi Ngudikan Kiri seluas 645 hektar dipilih sebagai objek penelitian karena belum berfungsi optimal dan berpotensi menghambat distribusi air bagi petani. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja jaringan menggunakan pedoman KP-01 (2013) serta merumuskan strategi perbaikan melalui metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Data diperoleh melalui survei lapangan, dokumentasi, dan wawancara, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian digunakan untuk menentukan prioritas perbaikan yang paling sesuai dengan kondisi di lapangan. Hasil analisis Water Balance menunjukkan defisit air tertinggi pada musim tanam padi mencapai 7,58 m³/detik pada bulan Mei I, sedangkan pada masa tanam palawija defisit maksimum sebesar 1,56 m³/detik terjadi pada November I. Analisis AHP mengungkapkan bahwa kriteria dukungan sosial memiliki bobot tertinggi sebesar 0,23, dengan prioritas utama pada rehabilitasi saluran (0,24), diikuti irigasi berjadwal (0,23) dan pintu air terukur (0,20). Studi ini menegaskan perlunya perbaikan pengelolaan irigasi melalui peningkatan infrastruktur dan pengaturan distribusi air yang lebih efisien agar sistem irigasi berfungsi optimal dan mendukung produktivitas pertanian yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Irigasi, Efisiensi, Evaluasi, AHP.

Abstract

Efficient irrigation is essential for supporting agricultural productivity in Nganjuk Regency. The Ngudikan Kiri irrigation network, covering 645 hectares, was selected as the research object due to its suboptimal performance, which affects water distribution to farmers. This study aims to evaluate the network's performance using the KP-01 (2013) guidelines and to formulate improvement strategies through the Analytical Hierarchy Process (AHP). Data were collected through field surveys, documentation, and interviews, and analyzed using a descriptive quantitative approach. The results provide priority recommendations for improvement strategies that align with actual field conditions. The results of the Water Balance analysis show that the highest water deficit during the rice planting season reached 7.58 m³/second in May I, while the maximum deficit during the secondary crop planting season was 1.56 m³/second in November I. AHP analysis revealed that the social support criterion has the highest weight of 0.23, with the main priority on channel rehabilitation (0.24), followed by scheduled irrigation (0.23) and measured water gates (0.20). This study emphasizes the need for improvements in irrigation management through infrastructure enhancement and more efficient water distribution regulation so that the irrigation system functions optimally and supports sustainable agricultural productivity.

Keywords: Irrigation, Efficiency, Evaluation, AHP.

PENDAHULUAN

Lahan pertanian sawah di Kabupaten Nganjuk, Provinsi Jawa Timur, mencakup sekitar 46.072 hektar, atau sekitar 37,63% dari total luas wilayah, menurut data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Nganjuk pada tahun 2023. Dengan sebagian besar penduduknya bekerja di sektor pertanian, daerah ini sangat bergantung pada keberadaan sistem irigasi yang kuat dan efektif untuk mendukung produksi pertanian dan menjaga ketahanan pangan masyarakat (BPS Kabupaten Nganjuk, 2023). Namun, di lapangan masih banyak ditemukan permasalahan terkait distribusi air irigasi yang tidak merata dan kurang efektif, terutama pada musim kemarau ketika debit air di saluran irigasi menurun drastis. Permasalahan tersebut diperparah dengan adanya kebocoran air pada jaringan irigasi, baik yang disengaja oleh petani yang mengambil air secara langsung dari saluran induk untuk kebutuhan lahannya, maupun yang tidak disengaja akibat kerusakan atau kebocoran fisik pada jaringan irigasi. Kebocoran air ini menyebabkan penurunan kinerja distribusi air irigasi yang berdampak pada berkurangnya pasokan air ke sawah-sawah di hilir, sehingga produktivitas pertanian menjadi terhambat dan ketahanan pangan masyarakat pun ikut terpengaruh (Muhammad Haerul et al., 2024).

Melihat permasalahan ini, dibutuhkan evaluasi kinerja jaringan irigasi yang komprehensif, disertai dengan rencana perbaikan yang matang, untuk memastikan distribusi air berjalan efektif dan kerugian air dapat diminimalkan. Evaluasi ini penting agar perencanaan distribusi air dapat disusun lebih tepat sasaran, sesuai dengan kebutuhan air tanaman di setiap musim, sehingga potensi air yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal. Dalam penelitian ini, selain menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) sebagai alat bantu evaluasi, juga digunakan acuan KP-01 2013 (Kriteria Penilaian Kinerja Sistem Irigasi) yang diterbitkan oleh Kementerian PUPR, yang memuat indikator teknis untuk menilai kinerja sistem irigasi secara standar dan objektif. Standar KP-01 tersebut banyak digunakan di Indonesia sebagai pedoman dalam evaluasi sistem irigasi karena mencakup aspek-aspek penting seperti kondisi fisik saluran, distribusi air, serta tingkat kebocoran.

Metode AHP dalam penelitian ini digunakan untuk membantu pengambilan keputusan yang lebih objektif, dengan memprioritaskan solusi perbaikan berdasarkan faktor-faktor penting seperti biaya implementasi, efektivitas distribusi air, daya tahan jaringan, dan dampak lingkungan yang ditimbulkan (Kusuma, 2019). Dengan demikian, metode AHP

sangat relevan digunakan untuk mendukung standar KP-01 dalam mengevaluasi dan memberikan rekomendasi perbaikan sistem irigasi.

Selain itu, secara teoritik, irigasi memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung keberhasilan kegiatan pertanian. Berbagai jenis irigasi seperti irigasi permukaan, irigasi bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak telah terbukti mampu meningkatkan produktivitas tanaman jika dikelola dengan baik dan sesuai kebutuhan air tanaman (Muhammad Haerul et al., 2024). Oleh karena itu, pengelolaan distribusi air harus dilakukan dengan hati-hati agar semua lahan pertanian dapat terairi secara adil dan optimal. Untuk menjaga agar distribusi air berjalan efisien dan efektif, evaluasi tahunan terhadap kinerja sistem irigasi menjadi langkah penting yang tidak boleh diabaikan (Putri et al., 2023). Hasil evaluasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam perencanaan perbaikan dan rehabilitasi jaringan irigasi agar masalah kebocoran atau kerusakan jaringan dapat segera diatasi. Namun, di lapangan, proses evaluasi kinerja sering kali masih bergantung pada pengalaman dan pengamatan petugas lapangan yang bersifat subjektif, sehingga hasilnya seringkali tidak konsisten. Oleh karena itu, metode Analytical Hierarchy Process (AHP) diharapkan mampu membantu proses evaluasi menjadi lebih objektif dan terukur, sehingga pengambilan keputusan dapat dilakukan secara lebih tepat dan akurat (Putri et al., 2023).

Dengan adanya metode ini yang dikombinasikan dengan standar KP-01, diharapkan hasil penelitian ini dapat menawarkan strategi perbaikan yang lebih efektif untuk meningkatkan kinerja jaringan irigasi, meminimalkan kehilangan air, serta mendukung peningkatan produktivitas pertanian di wilayah penelitian secara berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif diukur dengan menggunakan nilai R_{80} , yang merupakan jumlah curah hujan yang dapat terlampaui dalam 80% kejadian, atau dengan kata lain, terlampaui dalam 8 dari 10 kali kejadian. Dengan demikian, curah hujan yang lebih kecil dari R_{80} memiliki kemungkinan sebesar 20%.

$$R_{80} = \frac{m}{n+1} \rightarrow m = R_{80} \times (n + 1) \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan:

R_{80} = Curah Hujan 80%

n = Jumlah Data

m = Ranking curah hujan yang dipilih.

Curah hujan efektif untuk tanaman padi adalah 70% dari curah hujan rata-rata pertengahan bulanan. Sementara itu, untuk tanaman palawija, curah hujan efektif ditetapkan berdasarkan periode bulanan (dengan terpenuhi 50%) dan disesuaikan dengan tabel ET tanaman bulanan serta curah hujan rata-rata.

Untuk Padi

$$Re\ padi = \frac{(R80 \times 0.7)}{\text{periode pengamatan}} \dots\dots\dots [2]$$

Untuk Palawija

$$Re\ palawija = \frac{(R80 \times 0.5)}{\text{periode pengamatan}} \dots\dots\dots [3]$$

Penyiapan Lahan

Perhitungan kebutuhan irigasi pada saat penyiapan lahan digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1968) yang didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt/ha selama periode penyiapan lahan.

$$IR = Me^k / (e^k - 1) \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan:

IR = Kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang dijenuhkan

$$M = Eo + P \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan:

Eo = Kebutuhan air untuk mengimbangi kehilangan air akibat evaporasi

P = Perkolasi

$$K = M.T/S \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan:

T = Jangka waktu penyiapan lahan

S = Kebutuhan air untuk penjenuhan

Berdasarkan acuan KP-01 tahun 2013, kebutuhan air untuk penjenuhan tanaman padi adalah sebesar 250 mm per musim tanam, sedangkan untuk palawija sebesar 100 mm per musim tanam.

Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan Air Irigasi Untuk Tanaman Padi dan Palawija

$$IR = (Etc + P - R_{eff} + W)/I \dots\dots\dots [7]$$

Keterangan:

Etc = Evapotranspirasi potensial

P = Perkolasi

R_{eff} = Curah Hujan Efektif

W = Pergantian Lapisan Air

I = Efisiensi irigasi

Tabel 1. Besar Koefisien Tanaman Padi

Periode 15 Hari Ke	Nedeco / Prosida		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
1	1.20		1.10	
2	1.20	1.20	1.10	1.10
3	1.32	1.27	1.10	1.10
4	1.40	1.33	1.10	1.05
5	1.35	1.30	1.10	1.05
6	1.24	0.00	1.05	0.95
7	1.12	-	0.95	0.00
8	0.00	-	0.00	-

Sumber: Kriteria Perencanaan Irigasi, KP-01, 2013

Tabel 2. Besar Koefisien Tanaman Palawija

Setengah Bulan Ke	Koefisien Tanaman					
	Kedelai	Jagung	Kacang Tanah	Bawang	Buncis	Kapas
1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
2	0.75	0.59	0.51	0.51	0.64	0.50
3	1.00	0.96	0.66	0.69	0.89	0.58
4	1.00	1.05	0.85	0.90	0.95	0.75
5	0.82	1.02	0.95	0.95	0.88	0.91
6	0.45	0.95	0.95			1.04
7			0.55			1.05
8			0.55			1.05
9						1.05
10						0.78
11						0.65
12						0.65
13						0.65

Sumber: Kriteria Perencanaan Irigasi, KP-01, 2013

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Teknik AHP adalah salah satu metode yang banyak direkomendasikan untuk menentukan keputusan ketika terdapat beberapa alternatif yang ingin dipilih. Metode ini memiliki tiga prinsip dasar, yaitu memecah masalah secara keseluruhan menjadi unsur-unsurnya dalam beberapa tingkat hierarki, melakukan perbandingan antar elemen dalam setiap tingkat hierarki menggunakan matriks, dan menghasilkan prioritas utama dari alternatif-alternatif yang tersedia sebagai hasil akhirnya.

Pada hierarki dalam penelitian ini, level 1 (puncak) dikenal sebagai tujuan atau "goal" hierarki, sehingga level ini hanya berisi satu elemen. Level 2 disebut "Kriteria Utama" yang digunakan untuk

menilai tujuan pada level 1. Level 3 disebut "Subkriteria".

Tabel 3. Model Matematis AHP

Kriteria	A1	A2	...	An
A1	w1/w1	w1/w2	...	w1/wn
A2	w2/w1	w2/w2	...	w2/wn
...
An	wn/w1	wn/w2	...	wn/wn

Sumber : Saaty, 1994

Keterangan:

A1...An = kriteria / sub kriteria / alternatif program
w1...wn = bobot dari kriteria / sub kriteria / alternatif program

Saaty (1994) menetapkan skala kuantitatif dari 1 hingga 9 untuk menilai tingkat kepentingan relatif antar elemen. Nilai dan arti dari skala perbandingan Saaty ini dapat dievaluasi dengan menggunakan tabel 4.

Tabel 4. Skala Penilaian Tingkat Kepentingan Pasangan Faktor

Nilai dengan angka	Skala Kepentingan	Keterangan
1	Sama Penting	Kedua faktor mempunyai dukungan yang sama pentingnya terhadap tujuan
3	Sedikit lebih penting	Terlihat nyata pentingnya faktor tersebut dibanding faktor lainnya, tetapi tidak meyakinkan
5	Perlu dan kuat kepentingannya	Jelas dan nyata faktor tersebut lebih penting dari yang lainnya
7	Menyolok kepentingannya	Jelas, nyata dan terbukti faktor tersebut jauh lebih penting dari yang lain
9	Mutlak penting	Jelas, nyata dan terbukti secara meyakinkan faktor tersebut secara penting dalam pemufakatan
2,4,6,8	Nilai tengah antara dua pertimbangan yang berdekatan	Jika diperlukan nilai kompromistis

Sumber : Saaty, 1994

Consistency Indeks (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \dots \dots \dots [8]$$

Keterangan:

CI = Indeks Konsistensi
 λ_{maks} = nilai eigen vektor terbesar
n = orde matrik

Consistency Ratio (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots \dots \dots [9]$$

Keterangan:

RI = Random Indeks

Syaratnya adalah $CR \leq 0,1$, yang berarti bahwa jika $CR \leq 0,1$, maka penilaian yang diberikan dianggap cukup konsisten. Namun, jika $CR > 0,1$, penilaian dianggap kurang konsisten, sehingga perlu dilakukan penilaian ulang dengan metode AHP. Nilai RI dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Random Indeks (RI)

n	RI
1	0
2	0
3	0.52
4	0.89
5	1.11
6	1.25
7	1.35
8	1.4
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.54
13	1.56
14	1.57
15	1.58

Sumber: Saaty,1994

METODOLOGI PENELITIAN

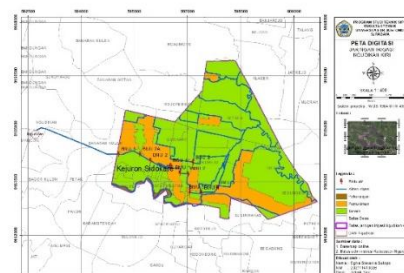
Tahap Persiapan

Hal yang termasuk pada tahapan ini adalah:

1. Survei dan Identifikasi Permasalahan
2. Studi Literatur
3. Pengumpulan data

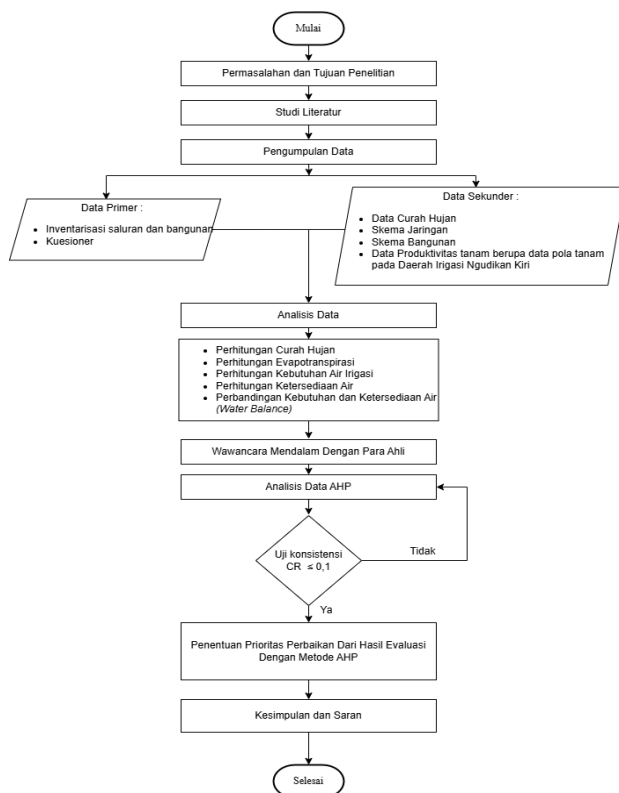
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:

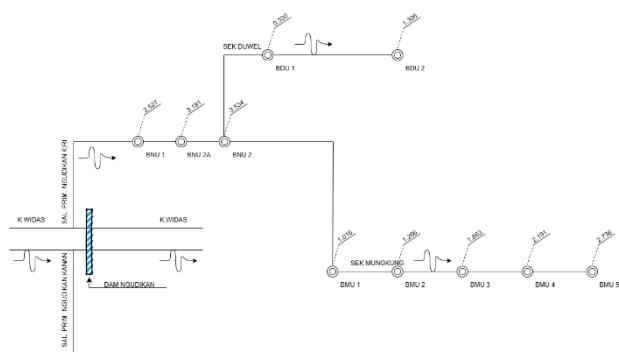


Gambar 1. Peta Digitasi Lokasi Penelitian

Evaluasi dan Strategi Perbaikan Jaringan Irigasi Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* memiliki susunan langkah-langkah dalam pengerjaannya dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan Peta Skema Konstruksi



Gambar 3. Peta Skema Konstruksi Ngudikan Kiri

Lokasi : Jaringan Irigasi Ngudikan Kiri
Luas Pengairan : 645 Ha
Keterangan :
BNU 1 : Bangunan Ngudikan 1
: Banaran Kulon, Kendalrejo, Sidokare
BNU 2A : Bangunan Ngudikan 2A
: Sidokare, Banaran Wetan

BNU 2 : Bangunan Ngudikan 2
: Sidokare, Mojorembun, Sukorejo, Gemenggeng
BDU 1 : Bangunan Duwel 1
: Sukorejo
BDU 2 : Bangunan Duwel 2
: Sukorejo, Mojorembun
BMU 1 : Bangunan Mungkung 1
: Gemenggeng
BMU 2 : Bangunan Mungkung 2
: Sukorejo, Gemenggeng
BMU 3 : Bangunan Mungkung 3
: Gemenggeng
BMU 4 : Bangunan Mungkung 4
: Gemenggeng, Sukorejo
BMU 5 : Bangunan Mungkung 5
: Mungkung, Setren, Sukorejo, Gempol, Kedungdowo

HASIL DAN PEMBAHASAN

Curah Hujan Efektif (R80)

Tabel 6. Perhitungan Curah Hujan Efektif

Urut an	Probability = $m/(n+1)$	Jan			Feb		
		I	II	III	I	II	III
1	9%	202.0	230.0	195.0	233.0	202.0	174.0
2	18%	177.0	213.0	182.0	161.0	170.0	158.0
3	27%	159.0	142.0	171.0	128.0	164.0	136.0
4	36%	126.0	116.0	128.0	86.0	159.0	101.0
5	45%	120.0	100.0	69.0	74.0	132.0	92.0
6	55%	115.0	100.0	55.0	64.0	117.0	72.0
7	64%	39.0	95.0	54.0	58.0	76.0	50.0
8	73%	29.0	64.0	45.0	44.0	70.0	43.0
9	82%	27.0	58.0	39.0	33.0	49.0	38.0
10	91%	10.0	53.0	8.0	31.0	32.0	23.0
R80		27.4	59.2	40.2	35.2	53.2	39

Curah Hujan Efektif Tanaman Padi

Tabel 7. Perhitungan Curah Hujan Efektif (Padi)

	Jan			Feb		
	I	II	III	I	II	III
R80	27.4	59.2	40.2	35.2	53.2	39
Re (mm)	19.18	41.44	28.14	24.64	37.24	27.3
Hari	10	10	11	10	10	8
Re Harian (mm/hari)	1.92	4.14	2.56	2.46	3.72	3.41

Curah Hujan Efektif Tanaman Palawija

Tabel 8. *Perhitungan Curah Hujan Efektif (Bawang)*

Keterangan	JAN I	JAN II	JAN III	FEB I	FEB II	FEB III
Hujan (R80) (mm)	27.4	59.2	40.2	35.2	53.2	39
ET0 (mm/hari)	9.1	9.7	10.7	8.0	10.4	10.6
Kc	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Jumlah Hari	10	10	11	10	10	8
Etc (mm)	81.5	87.3	106.3	71.9	94.0	76.6
Koreksi Hujan Efektif (mm)	18	41	28	27	35	27
Faktor	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
Tampung Hujan Efektif (mm)	19.3	43.9	29.96	28.9	37.5	28.89
Re (mm/hari)	1.93	4.39	2.72	2.89	3.75	3.61

Evapotranspirasi

Tabel 9. *Perhitungan Evapotranspirasi*

No	Data Bulanan	Satuan	JAN I	JAN II	JAN III
I	Data				
1	Temperatur (T)	(°C)	24.0	24.4	23.9
2	Kelembapan Udara Relatif (RH)	(%)	87.6	83.5	86.6
3	Lama Penyinaran (n/N)	(%)	15.3	17.3	21.9
4	Kecepatan Angin (U)	(km/jam)	3.6	4.3	3.9
5	Letak Lintang		7.735	7.735	7.735
6	c		1.1	1.1	1.1
7	ea (interpolasi)	(mbar)	29.8	30.6	29.6
8	ed = ea x RH/100	(mbar)	26.1	25.5	25.7
9	ea-ed	(mbar)	3.7	5.0	4.0
10	f(u) = 0.27(1+u/100)	(km/hari)	0.3	0.3	0.3
11	W (interpolasi)		0.7	0.7	0.7
12	(1-W)*(f(u))*(ea-ed)	(mm/hari)	0.3	0.4	0.3
13	Radiasi Lapisan Atmosfer (Ra) (interpolasi)	(mm/hari)	16.1	16.1	16.1
14	Rs = (0.25+0.5 x n/N%) x Ra	(mm/hari)	5.2	5.4	5.8
15	a		0.3	0.3	0.3
16	Rns = (1-a) Rs		3.9	4.0	4.3
17	Pengaruh Temperatur F(T) (interpolasi)		15.4	15.5	15.4
18	f(ed) = 0.34 - 0.44 x √ed	(mbar)	-1.9	-1.9	-1.9
19	F (n/N) = 0,1 +0,9 (n/N)		0.2	0.3	0.3
20	Rnl = f(T) x f(ed) x f(n/N)		-7.0	-7.4	-8.6
21	Rn = Rns - Rnl		10.9	11.5	13.0
22	Eto = C.(W.Rn+((1-W).f(U).(ea-ed))	(mm/hari)	9.1	9.7	10.7

Ketersediaan Air

Informasi ketersediaan air diambil dari data debit Jaringan Irigasi Ngudikan Kiri, dengan menggunakan nilai Q80 untuk tanaman padi dan Q50 untuk palawija. Nilai debit tersebut diperoleh melalui proses interpolasi, yang diawali dengan menyusun data debit dari yang tertinggi hingga terendah.

Tabel 10. *Perhitungan Ketersediaan Air*

No	Probability	Jan		
		I	II	III
1	14.29%	4.38	4.38	4.82
2	28.57%	3.58	3.58	4.38
3	42.86%	3.58	3.58	3.94
4	57.14%	3.50	3.58	3.85
5	71.43%	2.16	3.50	3.52
6	85.71%	2.16	2.50	2.38
	Q80%	2.16	2.90	2.83
	Q50%	3.54	3.58	3.89

Kebutuhan Air Tanaman Padi

Tabel 11. *Perhitungan Kebutuhan Air (Padi)*

PERIODE				JAN I	JAN II	JAN III
Penman	Eto	(mm/hari)		9.06	9.70	10.73
Eo	1.1*Eto	(mm/hari)		9.97	10.67	11.81
Perkolasi	P	(mm/hari)		2.00	2.00	2.00
Penggantian lapisan air	W	(mm/hari)		3.30	3.30	3.30
Re		(mm/hari)		1.92	4.14	2.56
Koefisien Tanaman Padi						
	1	1.10		10.9	11.74	12.99
	2	1.10		10.9	11.74	12.99
Kc x Eo	3	1.05		10.5	11.20	12.40
	4	1.05	(mm/hari)	10.5	11.20	12.40
	5	0.95		9.47	10.13	11.22
	6	0.00		0.00	0.00	0.00
PENGOLAHAN TANAH/PENYIAPAN LAHAN						
Pengolahan tanah/penyiapan lahan 10 harian	IR	mm/hari		15.7	16.21	17.06
	IR-Re.1 [A]	A	mm/hari	13.8	12.07	14.50
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.60	1.40	1.68
PERTUMBUHAN						
Kebutuhan Air 10 harian ke 1	Etc.1-Re.4+P+W	A	mm/hari	14.3	12.89	15.73
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.66	1.50	1.82
Kebutuhan Air 10 harian ke 2	Etc.1-Re.4+P+W	A	mm/hari	14.3	12.89	15.73
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.66	1.50	1.82
Kebutuhan Air 10 harian ke 3	Etc.1-Re.4+P+W	A	mm/hari	13.9	12.36	15.14
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.61	1.43	1.76
Kebutuhan Air 10 harian ke 4	Etc.1-Re.4+P+W	A	mm/hari	13.9	12.36	15.14
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.61	1.43	1.76
Kebutuhan Air 10 harian ke 5	Etc.1-Re.4+P+W	A	mm/hari	12.9	11.29	13.96
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.49	1.31	1.62
Kebutuhan Air 10 harian ke 6	Etc.1-Re.4+P+W	A	mm/hari	3.38	1.16	2.74
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	0.39	0.13	0.32

Kebutuhan Air Tanaman Palawija

Tabel 12. *Perhitungan Kebutuhan Air (Bawang)*

PERIODE				JAN I	JAN II	JAN III
Penman	Eto	(mm/hari)		9.06	9.70	10.73
Eo	1.1*Eto	(mm/hari)		9.97	10.67	11.81
Perkolasi	P	(mm/hari)		2.00	2.00	2.00
Re		(mm/hari)		1.93	4.39	2.72

PERIODE				JAN I	JAN II	JAN III
Koefisien Tanaman Bawang						
Kc x Eo	1	0.50		4.98	5.33	5.90
	2	0.51		5.08	5.44	6.02
	3	0.69	(mm/hari)	6.88	7.36	8.15
	4	0.90		8.97	9.60	10.63
	5	0.95		9.47	10.13	11.22
PENGOLAHAN TANAH/PENYIAPAN LAHAN						
Pengolahan tanah/penyiapan lahan 10 harian	IR		mm/hari	12.3	12.96	14.03
	IR-Re.1[A]	A	mm/hari	10.4	8.57	11.31
	[B]=[A]x0.116	B	lt/dt/ha	1.20	0.99	1.31
PERTUMBUHAN						
Kebutuhan Air 10 harian ke 1	Etc.1-Re+P	A	mm/hari	5.06	2.95	5.18
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	0.59	0.34	0.60
Kebutuhan Air 10 harian ke 2	Etc.1-Re+P	A	mm/hari	5.16	3.05	5.30
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	0.60	0.35	0.61
Kebutuhan Air 10 harian ke 3	Etc.1-Re+P	A	mm/hari	6.95	4.97	7.42
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	0.81	0.58	0.86
Kebutuhan Air 10 harian ke 4	Etc.1-Re+P	A	mm/hari	9.04	7.21	9.90
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.05	0.84	1.15
Kebutuhan Air 10 harian ke 5	Etc.1-Re+P	A	mm/hari	9.54	7.75	10.49
	[B]=[A] x 0.116	B	lt/dt/ha	1.11	0.90	1.22

Water Balance

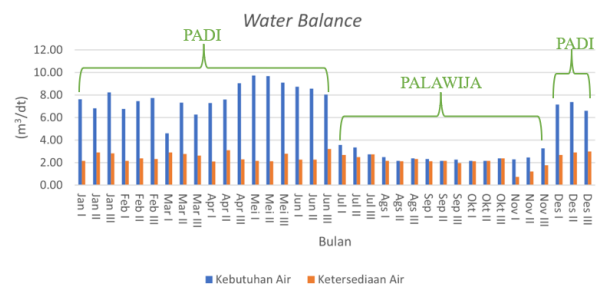
Tabel 13. Kebutuhan dan Ketersediaan Air Di Sawah

Bulan	10 harian ke-	Kebutuhan Air (m ³ /dt)	Ketersediaan Air (m ³ /dt)	Surplus
Januari	1	7,64	2,16	-5,48
	2	6,83	2,90	-3,93
	3	8,23	2,83	-5,40
Februari	1	6,77	2,15	-4,61
	2	7,46	2,38	-5,07
	3	7,73	2,32	-5,41
Maret	1	4,59	2,90	-1,69
	2	7,33	2,78	-4,55
	3	6,26	2,62	-3,64
April	1	7,30	2,10	-5,19
	2	7,60	3,10	-4,50
	3	9,04	2,30	-6,74
Mei	1	9,74	2,16	-7,58
	2	9,67	2,12	-7,55
	3	9,11	2,79	-6,32
Juni	1	8,73	2,26	-6,47
	2	8,58	2,26	-6,32
	3	8,05	3,22	-4,82
Juli	1	3,58	2,70	-0,88
	2	3,35	2,50	-0,85
	3	2,75	2,75	0,00
Agustus	1	2,50	2,16	-0,34
	2	2,16	2,12	-0,04
	3	2,38	2,34	-0,04
September	1	2,32	2,12	-0,20
	2	2,16	2,15	-0,01
	3	2,26	1,97	-0,29
Oktober	1	2,16	2,12	-0,04

Bulan	10 harian ke-	Kebutuhan Air (m ³ /dt)	Ketersediaan Air (m ³ /dt)	Surplus
November	2	2,16	2,16	0,00
	3	2,38	2,38	0,00
	1	2,30	0,74	-1,56
	2	2,47	1,22	-1,25
	3	3,16	1,76	-1,51
Desember	1	7,15	2,70	-4,45
	2	7,37	2,90	-4,47
	3	6,59	3,00	-3,58

Perhitungan neraca air (*water balance*) dilakukan untuk mengevaluasi keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Dalam analisis ini, perbandingan difokuskan pada ketersediaan air dan kebutuhan irigasi di Jaringan Irigasi Ngudikan Kiri, Pola tanam yang diterapkan adalah padi-palawija-padi, dengan pertimbangan ketersediaan air yang memadai pada musim hujan. Tanaman padi ditanam dua kali, yaitu pada periode Desember-Juni dan kembali pada periode berikutnya setelah palawija, sementara tanaman palawija ditanam pada bulan Juli-November saat ketersediaan air mulai menurun, dapat dilihat pada Gambar 4.

Perhitungan surplus air untuk tanaman diperoleh dengan mengurangi kebutuhan air dari ketersediaan air. Jika hasilnya bernilai negatif (-), hal tersebut menunjukkan terjadinya defisit air atau kekurangan pasokan. Berikut ini disajikan hasil perhitungan neraca air (*water balance*).



Gambar 4. Perbandingan Kebutuhan dan Ketersediaan Air (*Water Balance*)

Berdasarkan tabel 6 dan gambar 4 Pola tanam padi-palawija-padi yang diterapkan sudah disesuaikan dengan dinamika ketersediaan air sepanjang tahun di daerah irigasi. Pada periode Desember hingga Juni, meskipun merupakan saat ketersediaan air tertinggi, data menunjukkan bahwa kebutuhan air untuk tanaman padi masih jauh lebih tinggi dibandingkan dengan ketersediaannya dengan defisit tertinggi 7,58 m³/detik (Mei I), sehingga menyebabkan kondisi defisit air hampir sepanjang musim tanam padi. Selanjutnya, pada bulan Juli hingga November, ketersediaan air yang lebih rendah

dimanfaatkan untuk menanam palawija, yang relatif lebih toleran terhadap kekurangan air dengan defisit tertingginya hanya 1,56 m³/detik (November I).

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Penentuan informan dilakukan dengan teknik purposive sampling, yaitu memilih informan yang memiliki kompetensi dan pengalaman langsung dalam pengelolaan jaringan irigasi Daerah Irigasi Ngudikan Kiri. Informan dipilih karena dianggap mampu memberikan penilaian objektif terhadap kriteria dan alternatif strategi perbaikan jaringan.

Adapun informan yang diwawancarai terdiri dari:

1. Kepala UPTD PSDA Widas Kabupaten Nganjuk
2. Juru Pengairan UPTD PSDA Widas Kabupaten Nganjuk

Kriteria

Tabel 14. Perhitungan AHP (Kriteria)

	ET	KE	SD	KI	DS	KB	Jmh	PV	MxP	Kns
ET	0,14	0,21	0,15	0,22	0,10	0,11	0,9	0,15	0,95	6,12
KE	0,07	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,7	0,11	0,95	8,76
SD	0,20	0,20	0,22	0,15	0,31	0,21	1,3	0,22	0,95	4,39
KI	0,08	0,11	0,18	0,12	0,14	0,10	0,7	0,12	0,95	7,94
DS	0,29	0,22	0,15	0,19	0,22	0,29	1,4	0,23	0,95	4,19
KB	0,22	0,16	0,18	0,20	0,13	0,17	1,1	0,18	0,95	5,39

Keterangan:

ET : Efisiensi Teknis
KE : Kelayakan Ekonomi
SD : Sumber Daya Lokal
KI : Kemudahan Implementasi
DS : Dukungan Sosial
KB : Keberlanjutan
Jmh : Jumlah
PV : *Priority Vector*
MxP : *Matriks x Priority*
Kns : Konsistensi

Tabel 15. Perhitungan *Consistent Ratio* (Kriteria)

λ maks	6.13
CI ((λ maks-N)/(N-1))	0.03
RI	1.25
CR	0.02 (Konsisten)

Berdasarkan tabel 7. hasil perhitungan, urutan prioritas antar kriteria dalam pengambilan keputusan menunjukkan bahwa dukungan sosial merupakan kriteria paling penting dengan bobot 0,23, disusul oleh sumber daya lokal sebesar 0,22,

keberlanjutan sebesar 0,18, efisiensi teknis sebesar 0,15, kemudahan implementasi sebesar 0,12, dan yang paling rendah adalah kelayakan ekonomi dengan bobot 0,11.

Alternatif

Tabel 16. Perhitungan AHP (Alternatif)

	PAT	RS	IB	PG	THA	Jmh	PV	MxP	Kns
PAT	0.20	0.19	0.17	0.19	0.24	0.98	0.20	1.04	5.28
RS	0.25	0.23	0.30	0.28	0.12	1.18	0.24	1.04	4.39
IB	0.28	0.19	0.24	0.28	0.18	1.17	0.23	1.04	4.46
PG	0.16	0.13	0.10	0.15	0.31	0.85	0.17	1.04	6.12
THA	0.12	0.27	0.19	0.10	0.14	0.82	0.16	1.04	6.36

Keterangan:

PAT : Pintu Air Terukur
RS : Rehabilitas Saluran
IB : Irigasi Berjadwal
PG : Pelatihan GHIPPA
THA : Teknologi Hemat Air
Jmh : Jumlah
PV : *Priority Vector*
MxP : *Matriks x Priority*
Kns : Konsistensi

Tabel 17. Perhitungan *Consistent Ratio* (Alternatif)

λ maks	5.32
CI ((λ maks-N)/(N-1))	0.08
RI	1.11
CR	0.07 (Konsisten)

Berdasarkan tabel 9. hasil perhitungan, urutan prioritas alternatif dalam pengambilan keputusan menunjukkan bahwa rehabilitasi saluran menempati posisi paling penting dengan bobot sebesar 0,24, diikuti oleh irigasi berjadwal sebesar 0,23, pintu air terukur sebesar 0,20, pelatihan GHIPPA sebesar 0,17, dan yang terendah adalah teknologi hemat air dengan bobot 0,16.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis Water Balance, pola tanam padi-palawija-padi yang telah disesuaikan dengan pola ketersediaan air sepanjang tahun menunjukkan bahwa penanaman padi dilakukan pada periode Desember hingga Juni, saat ketersediaan air relatif tinggi. Namun, hasil evaluasi menunjukkan bahwa kebutuhan air untuk tanaman padi tetap melebihi jumlah air yang tersedia, sehingga terjadi defisit air hampir sepanjang musim tanam padi. Defisit tertinggi tercatat pada bulan Mei I sebesar 7,58 m³/detik, sedangkan pada masa tanam palawija defisit tertinggi hanya 1,56 m³/detik pada bulan November I. Ketimpangan ini

mengindikasikan bahwa sistem irigasi Ngudikan Kiri belum mampu mengalirkan air secara optimal. Ketidakmampuan jaringan dalam memenuhi kebutuhan air, khususnya pada bulan-bulan kritis, menandakan rendahnya efisiensi distribusi air. Apabila distribusi air irigasi dapat dikelola lebih baik, maka defisit air seharusnya dapat ditekan sehingga produktivitas pertanian dapat tercapai secara optimal.

Hasil analisis AHP dalam penelitian ini menempatkan *rehabilitasi saluran* sebagai prioritas utama dalam pengambilan keputusan pengelolaan irigasi, diikuti oleh *irigasi berjadwal* dan *pintu air terukur*. Dari sisi kriteria, *dukungan sosial* memperoleh bobot tertinggi, diikuti oleh *sumber daya lokal* dan *keberlanjutan*. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian (E. W. S. Putri, 2020) di Daerah Irigasi Jragung, yang juga menggunakan metode AHP dan menempatkan rehabilitasi jaringan irigasi sebagai prioritas utama dalam upaya peningkatan kinerja jaringan irigasi. Kesamaan hasil ini memperkuat urgensi perlunya perbaikan fisik jaringan irigasi dan peningkatan partisipasi sosial dalam pengelolaan irigasi.

KESIMPULAN

1. Hasil analisis Water Balance menunjukkan bahwa pola tanam padi-palawija-padi belum dapat didukung oleh ketersediaan air yang ada. Sepanjang musim tanam padi terjadi defisit air, dengan nilai tertinggi sebesar 7,58 m³/detik pada Mei I, sedangkan defisit pada palawija jauh lebih kecil, yaitu 1,56 m³/detik pada November I. Kondisi ini menegaskan bahwa ketersediaan air tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan tanaman terutama pada bulan-bulan kritis.
2. Evaluasi kinerja jaringan irigasi mengonfirmasi bahwa sistem irigasi Ngudikan Kiri belum berfungsi optimal, ditandai dengan ketidakseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Defisit yang terus berlangsung menunjukkan rendahnya efisiensi distribusi air sehingga jaringan belum mampu mendukung pola tanam yang direncanakan.
3. Hasil AHP menunjukkan bahwa Dukungan Sosial merupakan kriteria paling berpengaruh dalam penentuan strategi perbaikan, dengan bobot tertinggi 0,23, disusul Sumber Daya Lokal dan Keberlanjutan. Pada alternatif strategi, Rehabilitasi Saluran menjadi prioritas utama (0,24), menunjukkan bahwa peningkatan kondisi fisik jaringan merupakan langkah paling mendesak untuk mengatasi permasalahan yang ditemukan.

REFERENSI

- Ardana, P. D. H., Astariani, N. K., & Armada, I. W. Y. (2021). *Evaluasi Kinerja Jaringan Irigasi Daerah Irigasi*. 13(01), 1–11.
- Irwansyah, I., Azmeri, A., & Syamsidik, S. (2022). Evaluasi Kinerja Jaringan Utama Daerah Irigasi Jeuram Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 4(2), 69–79.
<https://doi.org/10.24815/jarsp.v4i2.16724>
- Ishizaka, A., & Labib, A. (2009). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14336–14345.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143>
- Jamir, M., Hidayat, T. Al, Maricar, F., & ... (2023). Evaluasi Kinerja Bendung Bettu Dalam Pemenuhan Ketersediaan Air Pada Daerah Irigasi Bettu. *Journal of ...*, 2(1), 52–59.
<https://journal.unismuh.ac.id/index.php/jumpte/article/view/10335%0Ahttps://journal.unismuh.ac.id/index.php/jumpte/article/download/10335/6921>
- KP-01. (2013). *Standar perencanaan irigasi kp-01*.
- Kusuma, O. P. U. (2019). *Evaluasi Indeks Kinerja Jaringan Irigasi Mlilir Kabupaten Nganjuk. Vol. 3 No. 2 (2019): TECNOSCIENZA*.
- Moleong, L. J. (2019). *Metodologi Penelitian Kualitatif* (Edisi Revi). Remaja Rosdakarya.
- Muhammad Haerul, S. ., Dwi Santoso, S.TP., M. S., & Sudirman Sirait, S.TP., M. S. (2024). Pengenalan Irigasi Pertanian. In *Eureka Media Aksara*. [http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB 2.pdf](http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB%202.pdf)
- Nurul Jannah Asid, S. H. (2021). Fakultas teknik universitas Dr. Soetomo - Surabaya. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil*, 9(1), 1–8.
- Partama, I. G. N. E., Diasa, I. W., & Adnyana, I. M. T. (2020). Tungku Kecamatan Mengwi, Kabupaten Badung. *Fakultas Teknik UNR, Gradien*, 12(2), 1–15.
<https://media.neliti.com/media/publications/345163-evaluasi-kinerja-jaringan-irigasi-pada-d-65e877d3.pdf>
- Putri, E. W. S. (2020). *Prioritas Alternatif dalam Upaya Peningkatan Kinerja Jaringan Irigasi*

*Menggunakan Metode AHP (Studi Kasus:
Daerah Irigasi Jragung, Kabupaten
Semarang).* <https://repository.ub.ac.id/158905/>

Putri, P. I. D., Suputra, P. A., & Suryanti, I. (2023).
Penilaian Kinerja Dan Penanganan Sistem
Irigasi Pada Daerah Irigasi Ubud Bali. *Jurnal
Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 6(2),
125–135.
<https://doi.org/10.24815/jarsp.v6i2.31559>

Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the
Analytic Hierarchy Process. *International
Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
<https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

Riduwan, dan Kuncoro, Engkos, A. 2008. *Cara
Menggunakan dan Memaknai
Analisis Jalur (Path Analysis)*. Bandung:
Alfabeta.

Saaty, Thomas L. (1994). *Fundamentals of Decision
Making and Priority Theory*.
Pittsburgh: RWS Publications.

Saaty, Thomas L. (2008). “*Decision Making With
Analytical Hierarchy Process*”.
International journal service science. Vol. 1,
No 1, page 83-98

Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada PT. XYZ Menggunakan Metode *Job Safety Analysis* (JSA) Dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA)

Analysis of Occupational Accident Risk Control Efforts at PT. XYZ Using the Job Safety Analysis (JSA) and Hazard Identification Risk Assessment (HIRA) Methods

Rezi Berliana Yasinta¹, Farhan Ahmad², Adi Darmawan³, Zaki Al Fattah Putra Firmansyah⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka Raya No.11, Kel. Rawamangun, Kec. Pulo Gadung, Kota Jakarta Timur, DKI Jakarta 13220. Telp: (021) 4898486. Email : reziberlianayasinta@unj.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kecelakaan kerja yang terjadi pada bagian produksi PT. XYZ yang merupakan perusahaan manufaktur otomotif. Analisis risiko kecelakaan kerja dilakukan dengan menggunakan metode *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA). Data utama berupa data kecelakaan kerja dari PT. XYZ merupakan data sekunder yang menyatakan bahwa pada tahun 2023, terdapat total 61 kecelakaan kerja. Data-data lain yang dibutuhkan sebagai informasi yang memvalidasi penelitian ini didapat melalui pengumpulan data dari literatur lain. Hasil dari penelitian ini berupa hasil *risk ranking* yang berisi nilai risiko kecelakaan kerja yang didapat melalui analisis metode HIRA dan informasi upaya pengendalian yang didapat melalui analisis metode JSA. Adapun kesimpulan yang didapat berdasarkan hasil analisis risiko kecelakaan kerja PT. XYZ yang telah dilakukan adalah 4 jenis kecelakaan kerja memiliki nilai risiko kecelakaan kerja rendah, 2 jenis kecelakaan kerja memiliki nilai risiko kecelakaan kerja *medium* atau sedang, dan upaya pengendalian untuk rata-rata jenis kecelakaan kerja berupa meningkatkan kesadaran dan pengasapan pekerja untuk menggunakan APD sesuai SOP sebagai bentuk pemenuhan aspek K3 dalam perusahaan.

Kata Kunci: *Job Safety Analysis* (JSA); Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3); Kecelakaan Kerja; *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA)

Abstract

This study aims to analyze the risk of occupational accidents occurring in the production section of PT. XYZ, an automotive manufacturing company. The risk analysis was conducted using the Job Safety Analysis (JSA) and Hazard Identification Risk Assessment (HIRA) methods. The primary data, which consists of occupational accident records from PT. XYZ, is secondary data indicating that in 2023, a total of 61 workplace accidents occurred. Additional data required to validate this research were obtained through literature review. The results of this study include a risk ranking that contains the risk values of occupational accidents obtained through the HIRA method and information on control efforts obtained through the JSA method. The conclusion drawn from the analysis shows that four types of workplace accidents are classified as low-risk, two types as medium-risk, and the control efforts for most types of accidents involve increasing worker awareness and supervision regarding the use of personal protective equipment (PPE) in accordance with standard operating procedures (SOPs), as part of fulfilling occupational health and safety (OHS) aspects in the company.

Keywords: *Job Safety Analysis* (JSA); Occupational Health and Safety (OHS); Workplace Accidents; *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA)

PENDAHULUAN

Sumber daya manusia (SDM) merupakan salah satu unsur perusahaan yang menjadi faktor dengan peran besar dalam memajukan perusahaan (Wangi, dkk. 2020). Untuk mencapai tujuan perusahaan secara optimal, dibutuhkan SDM dengan kinerja yang optimal. Kualitas tingkat optimal dari SDM pun menjadi salah satu tanggung jawab yang harus dipenuhi perusahaan dengan cara memastikan keutuhan dan kesempurnaan jasmaniah maupun rohaniah dari SDM tersebut. Adapun Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu konsep pemikiran dan upaya menjaga keutuhan dan kesempurnaan baik jasmaniah maupun rohaniah dari seseorang, khususnya tenaga kerja atau SDM (Wangi, dkk., 2020). Konsep ini hadir sebagai upaya memenuhi hak asasi tiap tenaga kerja yang terikat secara legal ke suatu perusahaan, perusahaan pun bersifat wajib untuk memenuhi serta terus meningkatkan elemen - elemen pendukung Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

Dalam berbagai sektor di dunia yang melibatkan pekerjaan yang memiliki risiko kecelakaan, sudah menjadi kewajiban bagi perusahaan untuk meninjau elemen K3 secara mendalam agar memenuhi kebutuhan tenaga kerja. Berdasarkan riset yang dilakukan badan dunia *International Labour Organization* (ILO) yang sebagaimana dikutip oleh Delvika (2017), dalam tiap harinya, rata - rata terdapat 6.000 orang meninggal akibat sakit atau kecelakaan yang berkaitan dengan pekerjaan mereka. Menurut data kecelakaan kerja oleh Satudata Kemnaker (Kementrian Ketenagakerjaan, 2023), pada tahun 2023, terdapat total 370.743 kasus kecelakaan yang terjadi di Indonesia. Muhammad & Susilowati (2021) juga menyebutkan bahwa di Indonesia, industri manufaktur bersamaan dengan konstruksi menyumbang data kecelakaan tertinggi dalam pekerjaannya, yakni mencapai angka 63,6% tercatat pada tahun 2020. Data - data tersebut mengharuskan berbagai perusahaan untuk terus meningkatkan kebijakan K3 dalam lingkup pekerjaan perusahaan tersebut dan perlu menyingkirkan stigma bahwa peningkatan K3 merupakan pemborosan perusahaan (Dewi & Sundari, 2021).

Industri manufaktur, khususnya yang berfokus pada bidang otomotif, merupakan salah satu sektor yang dalam pekerjaannya menggunakan mesin - mesin yang melibatkan adanya aktifitas berisiko bahaya bagi tenaga kerja, seperti membengkokkan, meregangkan,

mengangkat, dan menarik benda berat (Ubongeh, 2022). Risiko mekanis yang mencakup terjepit, tergiling, terpotong alat terdapat pada lingkup kerja sektor manufaktur (Zulkarnaen & Ramdhan, 2023). Faktor - faktor penyebab kecelakaan pun terbagi menjadi tiga klasifikasi, yakni faktor manusia yang meliputi umur, masa kerja, jenis kelamin, tingkat pendidikan, ketrampilan kerja, kelelahan, sikap dan perilaku, lalu faktor manajemen yang meliputi kebijakan organisasi, sosialisasi K3, pelatihan, dan prosedur, lalu faktor lingkungan kerja yang meliputi pencahayaan, housekeeping, ventilasi, kebisingan tanda, warna, dan laber peringatan (ILO, 1998).

Perusahaan XYZ merupakan perusahaan multi nasional di Indonesia yang bergerak di bidang manufaktur otomotif yang berdiri sejak tahun 2017 (Zulkarnaen & Ramdhan, 2023). Selama berjalannya operasional perusahaan tersebut, tercatat data laporan internal yang menyatakan bahwa pada tahun 2019 - 2022, terjadi 17 kecelakaan kerja yang 14 di antaranya terjadi pada bagian produksi. Lalu, pada penelitian yang dilakukan oleh Zulkarnaen dan Ramdhan ke perusahaan XYZ pada tahun 2023 yang dilakukannya dengan tujuan mengetahui hubungan faktor risiko penyebab kecelakaan kerja dengan kecelakaan kerja pada pekerja bagian produksi di PT. XYZ dan diketahuinya faktor penyebab kecelakaan kerja yang paling banyak terjadi pada pekerja bagian produksi di PT. XYZ, tercatat terdapat total 61 kecelakaan kerja yang didapatnya melalui kuisioner yang diisi oleh para tenaga kerja perusahaan tersebut.

Berdasarkan data kecelakaan kerja pada PT. XYZ yang dilakukan oleh Zulkarnaen & Ramdhan (2023), telah diketahui hubungan antara berbagai variabel penelitian seperti umur, jenis kelamin, pendidikan, masa kerja, shift kerja, sikap, pengetahuan, tindakan tidak aman, kelelahan, kondisi fisik, pengawasan, pelatihan, sosialisasi, APD tidak tepat, housekeeping dan kondisi tidak aman dengan kecelakaan kerja yang terjadi. Namun, penelitian yang dilakukan oleh Zulkarnaen & Ramdhan (2023) tersebut belum menyajikan pemetaan tingkat prioritas risiko (*risk ranking*) secara spesifik, sehingga perusahaan tidak memiliki standar acuan yang tepat untuk menyusun prioritas mitigasi.

Dalam upaya memenuhi dan meningkatkan aspek K3 yang wajib dipenuhi oleh pihak perusahaan, yang dalam konteks ini merupakan PT. XYZ, diperlukannya data berupa tinjauan mendalam berisi upaya pengendalian risiko kecelakaan kerja dan indeks risiko kecelakaan

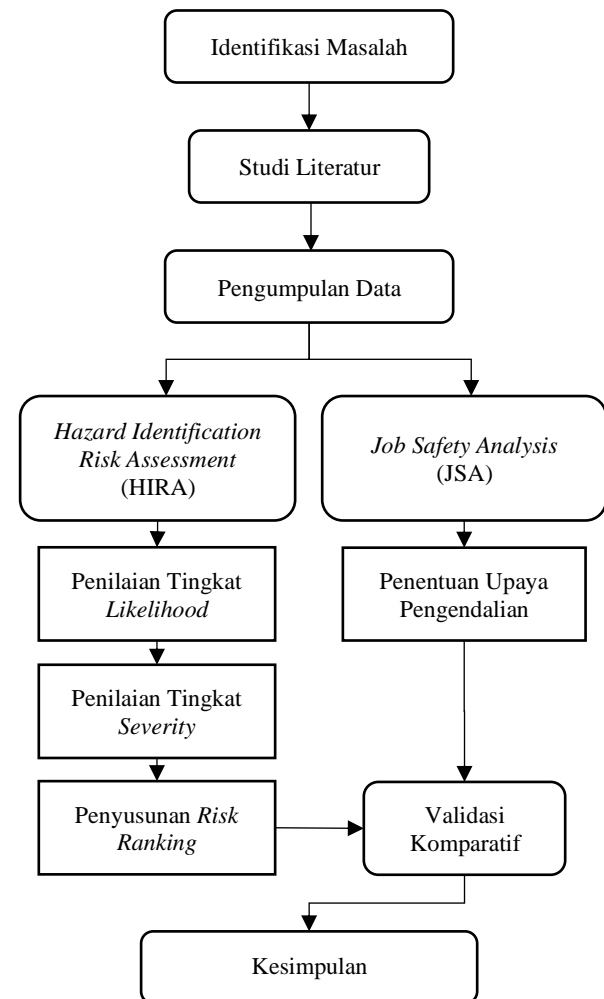
kerja yang dapat dijadikan acuan bagi perusahaan untuk meminimalisir risiko bahaya kecelakaan kerja. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kecelakaan kerja yang berpotensi terjadi di PT. XYZ. Adapun hasil atau *output* untuk analisis kecelakaan kerja dalam penelitian ialah kajian upaya pengendalian risiko kecelakaan menggunakan metode *Job Safety Analysis* (JSA), metode yang berfokus pada perumusan strategi pengendalian risiko operasional yang konkret berbasis langkah kerja untuk meminimalisir potensi terulangnya kecelakaan. Lalu, untuk meninjau indeks risiko kecelakaan kerja pada PT. XYZ, digunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA) yang dapat mengevaluasi tingkat kritikalitas risiko melalui parameter *risk severity & likelihood*. Dengan data hasil akhir dari penelitian kecelakaan kerja yang dilakukan menggunakan JSA dan HIRA ini, maka tercipta suatu kajian hasil analisis kecelakaan kerja yang dapat digunakan untuk bahan evaluasi mitigasi kecelakaan kerja untuk perusahaan yang tertuju, yang dalam konteks ini ialah PT. XYZ.

METODE

Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA) lalu didukung dengan tahapan - tahapan pengumpulan serta analisis data secara umum lainnya. Data - data kecelakaan dari PT. XYZ merupakan data sekunder yang bersumber dari penelitian yang dilakukan Zulkarnaen & Ramdhan (2023). Adapun data - data atau informasi lain yang dibutuhkan dalam menganalisis dan menyusun upaya pengendalian risiko kecelakaan kerja juga berupa data sekunder yang didapat melalui hasil perhimpunan dari studi literatur yang juga merupakan salah satu tahapan dalam metode penelitian yang digunakan.

Sehubungan dengan sifat penelitian ini yang berbasis data sekunder, validitas data dipastikan melalui mekanisme triangulasi sumber. Penulis membandingkan karakteristik kecelakaan di PT. XYZ dengan tren kecelakaan pada industri manufaktur otomotif serupa dari berbagai literatur untuk menjustifikasi penilaian parameter *Likelihood* dan *Severity*. Adapun keterbatasan penelitian ini adalah tidak dilakukannya observasi lapangan secara langsung untuk memverifikasi kondisi aktual lingkungan kerja, sehingga analisis sangat bergantung pada akurasi pencatatan data historis sumber utama.

Tahapan metode penelitian untuk menyusun upaya pengendalian risiko kecelakaan kerja yakni meliputi identifikasi masalah, studi literatur,



pengumpulan data, *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA), dan kesimpulan.

Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah mencakup analisis permasalahan K3 yang sedang terjadi atau dialami suatu pihak, yang dalam kasus ini merupakan permasalahan kecelakaan kerja dalam perusahaan XYZ selaku perusahaan manufaktur otomotif. Pada tahapan ini, dilakukan analisis mendalam pada data kecelakaan dalam sebuah jurnal yang secara khusus membahas kecelakaan kerja perusahaan XYZ dan penyusunan perencanaan upaya yang dapat dilakukan sebagai solusi dari permasalahan.

Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan penelusuran informasi - informasi yang dibutuhkan dalam melakukan analisis kecelakaan kerja dengan metode *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA). Pada tahapan ini, informasi - informasi yang dibutuhkan diperoleh melalui jurnal maupun buku elektronik yang relevan dengan kasus yang sedang dianalisis, yakni K3, JSA, dan HIRA.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap perhimpunan informasi - informasi yang telah diperoleh melalui sumber data sekunder utama berupa pekerjaan rutin pada bagian produksi perusahaan XYZ yang didapat melalui jurnal penelitian dan informasi lain yang dibutuhkan terkait K3, JSA, dan HIRA. Data - data yang diperoleh tersebut kemudian digunakan dalam proses analisis dan penyusunan upaya pengendalian dan penilaian indeks risiko kecelakaan kerja yang dapat digunakan sebagai acuan perusahaan. Berikut merupakan data kecelakaan kerja PT. XYZ yang dihimpun melalui studi literatur terhadap penelitian yang dilakukan Zulkarnaen & Ramdhan (2023) :

Tabel 1. Data Jenis Kecelakaan Kerja PT. XYZ

Jenis Kecelakaan Kerja	Jumlah	
	n	Persentase (%)
Terjepit	28	48,9
Tersayat	13	21,3
Terbentur	7	11,7
Terjatuh	2	3,3
Tergores, Terkena Pemanas	3	4,9
Terjepit, Terbentur	2	3,3
Tersayat, Terbentur	4	6,6
Terjepit, Tersayat, Terbentur	2	3,3
Total	61	100

Mengacu pada penelitian oleh Zulkarnaen & Ramdhan (2023) yang data dalam hasil penelitiannya digunakan sebagai data sekunder utama pada analisis kecelakaan kerja ini, kecelakaan – kecelakaan pada PT. XYZ tersebut merupakan data kecelakaan yang didapat melalui proses pengisian kuisioner pada pekerja dalam bagian produksi PT. XYZ. Semua kecelakaan tersebut terjadi akibat dari pekerjaan yang berkaitan dengan pengoperasian atau pemeliharaan mesin produksi.

Job Safety Analysis (JSA) dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA)

Dalam pelaksanaan metode penelitian JSA dan HIRA, terdapat beberapa tahapan yang tersusun secara komprehensif sehingga dapat menghasilkan upaya pengendalian risiko kecelakaan yang maksimal. Berikut merupakan tahapan analisis perhitungan risiko kecelakaan kerja menggunakan metode *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA) :

1. Pengolahan Data

Tahapan yang mencakup menganalisis data berupa perhitungan nilai risiko kecelakaan kerja atau risiko kuantitatif dari data kecelakaan kerja perusahaan XYZ. Hasil perhitungan dari RK tersebut kemudian dapat digunakan sebagai tolak ukur dari prioritas jenis pekerjaan atau *risk ranking*. Untuk menghitung nilai RK, diperlukan 2 nilai parameter pendukung, yakni *likelihood* (L) atau frekuensi terjadinya kecelakaan kerja dan *severity* (S) atau tingkat keparahan risiko kecelakaan kerja. Nilai dari kedua parameter tersebut dapat ditinjau secara kuantitatif melalui tabel skala ukur sebagai berikut :

Tabel 2. Skala Ukur Likelihood Secara Kuantitatif

Level	Deskripsi	Definisi
A	<i>Almost</i>	Kejadian yang dapat terjadi kapan saja
B	<i>Likely</i>	Mungkin terjadi hampir di tiap keadaan
C	<i>Moderate</i>	Dapat terjadi sewaktu - waktu
D	<i>Unlikely</i>	Kemungkinan terjadi jarang
E	<i>Rare</i>	Hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu

Tabel 3. Skala Ukur *Severity* Secara Kuantitatif

Ting- kat	Penjelasan	Definisi
1	<i>Insignificant</i>	Tidak ada cedera, kerugian materi sangat kecil
2	<i>Minor</i>	Memerlukan perawatan P2K3, penanganan dilakukan tanpa bantuan pihak luar, kerugian materi sedang
3	<i>Moderate</i>	Memerlukan perawatan medis, penanganan membutuhkan bantuan pihak luar, kerugian materi besar
4	<i>Major</i>	Cedera yang mengakibatkan cacat/hilang fungsi tubuh secara total, kerugian materi besar

5	<i>Catastrophic</i>	Menyebabkan kematian, kerugian materi sangat besar hingga kematian
---	---------------------	--


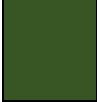


Apabila dalam informasi literatur data sekunder utama tidak terdapat informasi terkait tingkat *severity* kecelakaan kerja, maka dibutuhkan data sekunder berupa informasi tambahan dari literatur lain terkait asumsi cedera yang terjadi dari jenis kecelakaan kerja. Proses penelusuran informasi tersebut dapat dilakukan pada tahap pengumpulan data.

Data informasi skala ukur *likelihood* dan *severity* tersebut kemudian dapat digunakan untuk mengukur skala risiko kecelakaan (RK) melalui matriks skala risiko kecelakaan sebagai berikut :

Tabel 4. Matriks Skala Risiko Kecelakaan

<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>				
	<i>Insignificant</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
	1	2	3	4	5
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

Keterangan :

	: Risiko rendah, diatasi dengan prosedur rutin
	: Risiko sedang, diatasi dengan pengawasan khusus oleh pihak manajemen
	: Risiko besar, dibutuhkan perhatian dari manajemen puncak
	: Sangat berisiko, dibutuhkan tindakan secepatnya dari manajemen puncak

Sebagai contoh perhitungan untuk menentukan tingkat risiko kecelakaan dengan tujuan membuat metode penelitian menjadi lebih aplikatif, dilakukan contoh analisis kasus sederhana secara numerik sebagai berikut :

Kecelakaan kerja dalam bentuk terjepit mesin produksi tercatat menunjukkan kejadian sebanyak 28 kasus dalam setahun (dengan persentase sebesar 48,9% dari keseluruhan kecelakaan kerja selama setahun). Berdasarkan pendekatan berupa data pendukung dari sumber penelitian lain, dapat dikategorikan bahwa kasus kecelakaan kerja tersebut memiliki nilai *likelihood* 3. Kemudian, berdasarkan pendekatan melalui pemerolehan data dari penelitian relevan lain, didapat nilai *severity* 1.

Dengan demikian, berikut merupakan analisis numerik untuk menentukan tingkat risiko dari kecelakaan kerja berdasarkan parameter yang telah diperoleh :

$$TR = L \times S = 3 \times 1 = 3$$

Berdasarkan nilai yang telah diperoleh dari perhitungan numerik tersebut, maka apabila mengacu pada Tabel 4., jenis kecelakaan kerja tersebut teridentifikasi memiliki risiko rendah dan dapat diatasi dengan prosedur rutin.

2. Penyusunan Upaya Pengendalian

Tahapan akhir dalam menganalisis risiko kecelakaan kerja menggunakan metode *Job Safety Analysis* (JSA) adalah menyusun upaya pengendalian terkait jenis pekerjaan yang mengalami kecelakaan kerja. Penentuan upaya pengendalian pada tiap jenis kecelakaan kerja merupakan hasil pencocokan data sekunder hasil analisis kecelakaan kerja dari penelitian lain yang bersifat valid dan serupa dengan jenis kecelakaan kerja yang sedang dianalisis. Sehingga, *output* atau hasil akhir dari analisis kecelakaan kerja ini akan tersusun dalam tabel yang berisi data terkait *risk ranking* yang diperoleh melalui rekapitulasi data *likelihood* & *severity* dan upaya pengendalian dari jenis pekerjaan untuk meminimalisir tingkat keparahan risiko kecelakaan kerja.

Tahapan akhir dari metode penelitian ini adalah menyusun penutup yang berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Pada bagian kesimpulan berisi hasil rekapitulasi akhir dari data hasil penelitian yang merupakan bentuk jawaban dari tujuan dilaksanakannya penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis risiko kecelakaan kerja pada PT. XYZ disajikan dalam bentuk tabel yang berisi hasil penilaian skala ukur tingkat *likelihood*, *severity*, skor risiko kuantitatif, dan upaya pengendalian jenis kecelakaan.

Penilaian Tingkat *Likelihood* (L)

Nilai dari tingkat skala ukur *likelihood* didapat melalui peninjauan frekuensi dari tiap jenis kecelakaan kerja berdasarkan data sekunder kecelakaan kerja yang tersedia. Selain itu, digunakan data sekunder dari hasil penelitian relevan lain terkait tingkat *likelihood* pada jenis

kecelakaan yang serupa sebagai data pendukung untuk validasi hasil analisis. Berdasarkan analisis pada tahap pengolahan data yang telah dilakukan,

berikut merupakan hasil analisis tingkat *likelihood* dari data kecelakaan kerja PT. XYZ :

Tabel 5. Hasil Analisis *Likelihood*

No	Aktivitas	Potensi Bahaya	Potensi Risiko	L	Sumber
1	Mengoperasikan, mengangkat, dan membersihkan mesin produksi	Bobot mesin produksi yang berat, terjadi <i>error</i> pada mesin, dan terdapat cacat fisik pada mesin	Bagian terjepit	tubuh 3	(Balili & Yuamita, 2022)
2	Melakukan pemeliharaan pada bahan tajam seperti gergaji dan pisau industri	Kurangnya fokus pada saat pelaksanaan aktifitas	Bagian tersayat	tubuh 3	(Sulistiyowati & Herdiman, 2023)
3	Mengangkat alat berat pada ruang yang sempit dan menjangkau alat/benda keras di tempat yang tinggi	Sedikitnya ruang untuk bergerak dan alat keras terjatuh dari tempat tinggi	Terbentur alat keras dan berat	2	(Widyadhana & Apsari, 2023)
4	Mengambil benda dari tempat tinggi tanpa tangga yang memadai, melintasi lantai basah atau berminyak, dan menyeimbangkan beban berat saat berjalan	Lantai yang licin dan belum dibersihkan dan bobot beban berat yang melebihi kapasitas kekuatan pekerja	Terjatuh	2	(Afnella & Utami, 2021)
5	Menyesuaikan suhu mesin atau pemanas tanpa pelindung yang memadai	Terjadi <i>error</i> pada sistem suhu mesin kurangnya fokus pada saat proses penyesuaian suhu mesin	Terkena pemanas dengan suhu tinggi	1	(Maritza, 2024)
6	Menghaluskan permukaan logam tajam	Kurangnya fokus pada saat beraktifitas	Anggota tergores	tubuh 1	(Aini & Nuryono, 2020)

Pekerjaan yang berkaitan dengan mengoperasikan dan pemeliharaan mesin produksi pada PT. XYZ seperti pada jenis pekerjaan nomor 1 pada tabel 5. umum terjadi akibat bobot mesin yang cenderung berat bagi pekerja. Dengan melihat data frekuensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan yang berkaitan dengan mesin, khususnya terjepit dengan jumlah kecelakaan kerja berdasarkan hasil penelitian Zulkarnaen & Ramdhan (2023) sebanyak 28, dan dengan didukung oleh hasil penelitian oleh Balili & Yuamita (2022), maka dapat diidentifikasi bahwa besar nilai *likelihood* untuk kecelakaan kerja terjepit mesin produksi adalah 3. Kecelakaan kerja bagian tubuh tersayat benda tajam pada alat bagian produksi di PT. XYZ memiliki frekuensi terjadi sebanyak 13 kali, lalu didukung dengan data penelitian oleh Sulistiyowati & Herdiman (2023), maka kecelakaan kerja tersebut teridentifikasi memiliki nilai *likelihood* 3.

Jenis kecelakaan kerja terbentur alat keras pada bagian produksi PT. XYZ memiliki besar frekuensi sebanyak 7 kali yang cenderung lebih sedikit dibandingkan dua pekerjaan pada pembahasan sebelumnya. Lalu, dengan data dukungan dari penelitian Widyadhana & Apsari (2023), maka jenis kecelakaan kerja terbentur alat keras teridentifikasi memiliki nilai *likelihood* 2. Kecelakaan kerja terjatuh dari ketinggian atau terjatuh akibat lantai licin cenderung memiliki nilai

frekuensi yang kecil, yakni 2. Lalu, dengan data dukungan dari penelitian Afnella & Utami (2021), maka kecelakaan kerja terjatuh teridentifikasi memiliki nilai *likelihood* 2.

Kecelakaan kerja terkena pemanas dengan suhu tinggi pada PT. XYZ memiliki nilai frekuensi yang cenderung kecil, yakni kurang dari 3. Lalu dengan dukungan data dari penelitian oleh Maritza (2024), maka kecelakaan kerja terkena pemanas bersuhu tinggi teridentifikasi memiliki nilai *likelihood* 1. Kecelakaan kerja anggota tubuh tergores pada PT. XYZ memiliki nilai frekuensi yang rendah, yakni kurang dari 3. Lalu, dengan data dukungan dari penelitian oleh Aini & Nuryono (2020), maka kecelakaan kerja tergores teridentifikasi memiliki nilai *likelihood* 1.

Penilaian Tingkat *Severity* (S)

Penentuan nilai tingkat *severity* untuk tiap jenis kecelakaan kerja pada PT. XYZ didapat melalui proses studi literatur berupa peninjauan dan pencocokan hasil penelitian lain yang relevan dengan analisis yang sedang dilakukan. Penelitian relevan lain yang dimaksud adalah penelitian yang mencakup hasil analisis nilai tingkat *severity* dari jenis kecelakaan kerja yang serupa atau sama dengan jenis kecelakaan kerja yang dianalisis dalam penelitian ini. Pada penelitian ini, kecelakaan kerja terjadi pada lingkup bagian produksi industri

manufaktur otomotif yang jenis pekerjaannya berkaitan erat dengan pengoperasian dan pemeliharaan mesin produksi. Dengan demikian, maka literatur relevan lain yang dibutuhkan merupakan literatur lain yang mencakup hasil analisis nilai tingkat *severity* pada jenis kecelakaan kerja yang berkaitan dengan mesin.

Proses penelusuran dan peninjauan data penelitian relevan lain dilakukan pada tahap pengumpulan data dan pengolahan data. Berikut merupakan hasil analisis penilaian tingkat *severity* dari jenis kecelakaan kerja pada PT. XYZ :

Tabel 6. Hasil Analisis Severity

No	Aktivitas	Potensi Bahaya	Potensi Risiko	S	Sumber
1	Mengoperasikan, mengangkat, dan membersihkan mesin produksi	Bobot mesin produksi yang berat, terjadi <i>error</i> pada mesin, dan terdapat cacat fisik pada mesin	Bagian tubuh terjepit	1	(Balili & Yuamita, 2022)
2	Melakukan pemeliharaan pada bahan tajam seperti gergaji dan pisau industri	Kurangnya fokus pada saat pelaksanaan aktifitas	Bagian tubuh tersayat	2	(Sulistiyowati & Herdiman, 2023)
3	Mengangkat alat berat pada ruang yang sempit dan menjangkau alat/benda keras di tempat yang tinggi	Sedikitnya ruang untuk bergerak dan alat keras terjatuh dari tempat tinggi	Terbentur alat keras dan berat	2	(Widyadhana & Apsari, 2023)
4	Mengambil benda dari tempat tinggi tanpa tangga yang memadai, melintasi lantai basah atau berminyak, dan menyeimbangkan beban berat saat berjalan	Lantai yang licin dan belum dibersihkan dan bobot beban berat yang melebihi kapasitas kekuatan pekerja	Terjatuh	2	(Afnella & Utami, 2021)
5	Menyesuaikan suhu mesin atau pemanas tanpa pelindung yang memadai	Terjadi <i>error</i> pada sistem suhu mesin kurangnya fokus pada saat proses penyesuaian suhu mesin	Terkena pemanas dengan suhu tinggi	3	(Maritza, 2024)
6	Menghaluskan permukaan logam tajam	Kurangnya fokus pada saat beraktifitas	Anggota tubuh tergores	2	(Aini & Nuryono, 2020)

Menurut data penelitian serupa oleh Balili & Yuamita (2022), jenis kecelakaan kerja bagian tubuh terjepit yang diakibatkan oleh jenis pekerjaan yang berkaitan dengan pengoperasian dan pemeliharaan mesin produksi yang terjadi pada PT. XYZ memiliki tingkat keparahan atau *severity* sebesar 1. Nilai *severity* tersebut mengindikasikan bahwa jenis kecelakaan kerja terjepit tidak memiliki cedera yang sangat ringan dan tidak ada kerugian material. Jenis kecelakaan kerja bagian tubuh tersayat, dengan memanfaatkan dukungan data oleh Sulistiyowati & Herdiman (2023), memiliki nilai *severity* 2 yang mengindikasikan bahwa jenis kecelakaan kerja tersebut memerlukan perawatan P2K3.

Jenis kecelakaan kerja terbentur alat keras, dengan memanfaatkan dukungan data dari penelitian oleh Widyadhana & Apsari (2023), memiliki nilai *severity* 2 yang mengindikasikan bahwa jenis kecelakaan kerja tersebut memerlukan perawatan P2K3 dan terdapat kerugian materi yang kecil. Jenis kecelakaan kerja terjatuh dari ketinggian atau diakibatkan lantai yang licin, dengan memanfaatkan dukungan data dari penelitian oleh Afnella & Utami (2021), memiliki nilai *severity* 2 yang mengindikasikan bahwa jenis

kecelakaan kerja tersebut memerlukan perawatan P2K3 dan terdapat kerugian materi yang kecil.

Jenis kecelakaan kerja bagian tubuh terkena pemanas dengan suhu tinggi, dengan memanfaatkan dukungan data dari penelitian oleh Maritza (2024), memiliki nilai *severity* 3 yang mengindikasikan bahwa jenis kecelakaan kerja tersebut memerlukan perawatan medis. Jenis kecelakaan kerja bagian anggota tubuh tergores, dengan memanfaatkan dukungan data oleh Aini & Nuryono (2020), memiliki nilai *severity* 2 yang mengindikasikan bahwa jenis kecelakaan kerja tersebut memerlukan perawatan P2K3 dan terdapat kerugian materi yang kecil.

Penilaian Tingkat Risiko Kecelakaan (RK)

Penilaian tingkat risiko kuantitatif dari kecelakaan kerja atau yang selanjutnya disebut sebagai risiko kecelakaan (RK) merupakan hasil rekapitulasi dari dua parameter berupa nilai tingkat *likelihood* dan *severity* dari tiap jenis kecelakaan kerja. Dengan menggabungkan kedua parameter jenis kecelakaan kerja tersebut secara kuantitatif, maka hasil kombinasi yang didapat akan disesuaikan dengan informasi nilai tingkat risiko kecelakaan yang terdapat dalam tabel 4. Hasil

analisis risiko kecelakaan tersebut kemudian dapat dijadikan sebagai bentuk klasifikasi tingkat prioritas jenis kecelakaan kerja yang selanjutnya disebut sebagai *risk ranking*. Berikut merupakan

hasil analisis risiko kecelakaan (RK) pada jenis pekerjaan PT. XYZ dalam bentuk tabel *risk ranking* :

Tabel 7. Hasil Analisis Tingkat Risiko Kecelakaan Kerja

No	Aktivitas	Potensi Bahaya	Potensi Risiko	L	S	Tingkat Risiko	Keterangan
1	Mengoperasikan, mengangkat, dan membersihkan mesin produksi	Bobot mesin produksi yang berat, terjadi <i>error</i> pada mesin, dan terdapat cacat fisik pada mesin	Bagian tubuh terjepit	3	1	3	Risiko rendah
2	Melakukan pemeliharaan pada bahan tajam seperti gergaji dan pisau industri	Kurangnya fokus pada saat pelaksanaan aktifitas	Bagian tubuh tersayat	3	2	6	Risiko sedang
3	Mengangkat alat berat pada ruang yang sempit dan menjangkau alat/benda keras di tempat yang tinggi	Sedikitnya ruang untuk bergerak dan alat keras terjatuh dari tempat tinggi	Terbentur alat keras dan berat	2	2	3	Risiko rendah
4	Mengambil benda dari tempat tinggi tanpa tangga yang memadai, melintasi lantai basah atau berminyak, dan menyeimbangkan beban berat saat berjalan	Lantai yang licin dan belum dibersihkan dan bobot beban berat yang melebihi kapasitas kekuatan pekerja	Terjatuh dari ketinggian	2	2	3	Risiko rendah
5	Menyesuaikan suhu mesin atau pemanas tanpa pelindung yang memadai	Terjadi <i>error</i> pada sistem suhu mesin kurangnya fokus pada saat proses penyesuaian suhu mesin	Terkena pemanas dengan suhu tinggi	1	3	3	Risiko rendah
6	Menghaluskan permukaan logam tajam	Kurangnya fokus pada saat beraktifitas	Anggota tubuh tergores	1	2	2	Risiko rendah

Berdasarkan hasil rekapitulasi data dalam bentuk penggabungan antara parameter *likelihood* dan *severity* yang diperoleh dari hasil analisis numerik, dapat teridentifikasi tingkatan – tingkatan risiko kecelakaan untuk tiap pekerjaannya. Rata – rata yang diperoleh dari analisis risiko kecelakaan pun menunjukkan bahwa PT. XYZ memiliki lingkungan kerja dengan potensi kecelakaan dengan tingkat dalam rentang risiko rendah hingga risiko sedang.

Penggabungan parameter secara kuantitatif yang dapat terlihat pada Tabel 7 pun dapat memvisualisasikan pola yang umum terjadi untuk tiap kecelakaan kerjanya; terdapat kecelakaan kerja yang memiliki nilai *likelihood* yang cenderung tinggi namun dengan tingkat keparahan rendah. Terdapat pula kasus kecelakaan kerja yang memiliki nilai *likelihood* rendah namun dengan tingkat keparahan tinggi. Dengan melihat pola tersebut, dapat dipahami pentingnya untuk memahami dan menganalisis hubungan antara *likelihood* dan *severity* dari suatu kasus kecelakaan kerja untuk meningkatkan aspek K3 lingkungan pekerjaan, yang tentunya dapat dilakukan dengan menyusun bahan evaluasi berdasarkan data – data valid yang ada.

Sebagai tahap lanjutan dari validasi data tingkat risiko kecelakaan yang telah diperoleh, dilakukan elaborasi dalam bentuk perbandingan antara nilai yang telah didapat dengan beberapa penelitian relevan lain yang menganalisis kasus serupa. Dalam penelitian Balili & Yuanita (2022), khususnya pada hasil penelitiannya terkait nilai risiko kecelakaan pada pekerjaan yang berkaitan dengan jepit, nilai risiko kecelakaan kerja dari peristiwa terjepit oleh mesin adalah *low* atau *high*, bergantung pada frekuensi dari data kecelakaan. Apabila dibandingkan dengan data kecelakaan kerja pada PT. XYZ yang menyatakan bahwa kecelakaan terjepit merupakan jenis kecelakaan kerja yang paling sering terjadi, lalu mengacu pada penelitian Balili & Yuamita (2022) yang menyatakan bahwa kecelakaan terjepit memiliki *severity* rendah, maka dapat teridentifikasi bahwa kecelakaan kerja terjepit mesin memiliki risiko kecelakaan yakni risiko rendah, sejalan dengan penelitian relevan terkemuka. Lalu, untuk kecelakaan kerja bagian tubuh tersayat, parameter *likelihood* dinyatakan dalam nilai 3 dikarenakan pertimbangan tingkat frekuensi kejadiannya pada PT. XYZ yang berada di urutan kedua setelah kecelakaan terjepit. Lalu, mengacu pada penelitian oleh Sulistiyowati & Herdiman (2023), nilai

likelihood untuk kecelakaan tersayat adalah 3 dan memiliki nilai *severity* 2. Sehingga, sesuai dengan analisis numerik risiko kecelakaan, kecelakaan kerja jenis tersayat tervalidasi memiliki nilai 6 atau risiko sedang dan sejalan dengan penelitian terkemuka yang.

Untuk kecelakaan kerja jenis terbentur alat keras dan terjatuh dari ketinggian, nilai *likelihood* 2 ditentukan berdasarkan pertimbangan tingkat frekuensi terjadinya kecelakaan kerja dalam rentang 1 tahun dan penelitian relevan lain, yakni Widyadhana & Apsari (2023) dan Afnella & Utami (2021). Pada penelitian Widyadhana & Apsari (2023), temuan bahaya yang berkaitan dengan bagian tubuh yang terbentur mesin teridentifikasi memiliki nilai *likelihood* pada rentang 1-2, lalu memiliki nilai *severity* pada rentang 1-2, dan memiliki rentang risiko kecelakaan *low* hingga *medium*. Dengan demikian, hasil analisis numerik yang dilakukan pada Tabel 7 sejalan oleh penelitian Widyadhana & Apsari (2023). Kemudian untuk kecelakaan kerja jenis terjatuh dari ketinggian, pada penelitian Afnella & Utami (2021) dijelaskan bahwa kecelakaan tersebut memiliki nilai *likelihood* pada rentang *low* hingga *average*, lalu memiliki nilai *severity* pada rentang *slightly harmful* hingga *harmful*. Dengan demikian, apabila dilakukan perbandingan antara nilai risiko kecelakaan kerja yang diperoleh melalui penelitian dan pencocokan dengan sumber relevan lain, maka kecelakaan kerja terbentur dan terjatuh sejalan dengan hasil penelitian terkemuka.

Kecelakaan kerja dengan jenis terkena pemanas, sesuai dengan data rekap kecelakaan kerja pada PT. XYZ di tahun 2023, memiliki tingkat frekuensi terjadinya peristiwa yang cenderung rendah, yakni berada pada persentase di bawah 4,9%, sehingga teridentifikasi memiliki nilai *likelihood* 1. Lalu, didukung oleh penelitian relevan yang dilakukan oleh Maritza (2024) yang mengemukakan bahwa kecelakaan kerja terkena pemanas memiliki risiko tingkat *severity* yang cenderung tinggi, yakni 3. Peneliti lain tersebut pun juga mengklasifikasikan kecelakaan kerja terkena pemanas sebagai kecelakaan yang memiliki risiko sedang. Sedangkan, dalam penelitian ini, berdasarkan hasil analisis numerik dari nilai *likelihood* dan *severity*, maka dapat diperoleh hasil bahwa nilai risiko kecelakaan untuk terkena pemanas adalah rendah. Perbedaan klasifikasi tersebut disebabkan oleh adanya perbedaan nilai pada parameter *likelihood* yang perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang sedang diteliti. Terakhir, untuk kecelakaan kerja jenis tergores pada anggota tubuh, nilai *likelihood* 1 diperoleh

dari data frekuensi kecelakaan kerja pada PT. XYZ yang cenderung rendah, yakni di bawah 4,9%. Adapun nilai *severity* 2 diperoleh berdasarkan informasi pendukung dari penelitian terkemuka, yakni penelitian oleh Aini & Nuryono (2020). Dalam penelitiannya, didapatkan hasil nilai risiko kecelakaan tergores adalah *medium*, sementara pada penelitian ini terklasifikasi memiliki nilai rendah/*low* sehubungan dengan tingkat frekuensinya yang rendah.

Melihat beberapa perbedaan anatara hasil penelitian yang dilakukan dalam konteks lingkungan kerja PT. XYZ dengan beberapa penelitian relevan lain, maka dapat disimpulkan analisis klasifikasi prioritas kecelakaan kerja berdasarkan metode HIRA perlu mempertimbangkan beberapa aspek. Aspek pertama yang perlu dipertimbangkan ialah memiliki data valid terkait informasi – informasi yang relevan kecelakaan kerja pada suatu lingkungan pekerjaan, yang selanjutnya bersifat krusial dalam penentuan nilai *likelihood* maupun *severity*.

Dengan nilai risiko kecelakaan pada tiap jenis kecelakaan kerja pada PT. XYZ, selanjutnya dapat dilakukan penyusunan prioritas mitigasi yang tepat berdasarkan data yang telah didapat. Sebagai langkah keberlanjutan, tiap – tiap langkah mitigasi yang direncanakan untuk tiap pekerjaannya memerlukan standar acuan yang tepat pula, sehingga perlu adanya analisis secara mendalam kembali terkait upaya – upaya yang perlu dilakukan untuk mitigasi kecelakaan kerja pada tiap pekerjaannya. Sehingga, luaran yang diperoleh melalui analisis HIRA ini hanya terbatas untuk memberikan gambaran atau acuan yang tepat bagi pihak PT. XYZ untuk mengklasifikasikan pekerjaannya sesuai potensi kecelakaan kerja yang ada.

Penentuan Upaya Pengendalian

Penentuan dan penyusunan upaya pengendalian untuk tiap jenis kecelakaan kerja memiliki tujuan untuk memberikan evaluasi upaya pengendalian yang tepat untuk diterapkan pada tiap jenis pekerjaan agar terhindar dari tingginya risiko kecelakaan kerja. Penentuan upaya pengendalian didapat melalui penelusuran dan pencocokan informasi yang relevan dengan jenis penelitian yang sedang dilakukan, yang dalam kasus ini ialah jenis pekerjaan dan kecelakaan kerja pada bagian produksi industri manufaktur. Dengan demikian, maka informasi berupa data sekunder upaya pengendalian yang bersumber dari literatur lain

harus merupakan upaya pengendalian kecelakaan kerja yang pekerjaannya berkaitan dengan mesin produksi. Berikut merupakan hasil analisis dan

penentuan upaya pengendalian yang tepat untuk jenis kecelakaan kerja pada PT. XYZ :

Tabel 8. Hasil Analisis Upaya Pengendalian

No	Aktivitas	Potensi Bahaya	Potensi Risiko	Upaya Pengendalian	Sumber
1	Mengoperasikan, mengangkat, dan membersihkan mesin produksi	Bobot mesin produksi yang berat, terjadi <i>error</i> pada mesin, dan terdapat cacat fisik pada mesin	Bagian tubuh terjepit	1. Memperhatikan posisi tangan sebelum mengoperasikan mesin 2. Membuat sop penggunaan mesin 3. Membuat tulisan peringatan yang mencolok 4. Menggunakan sarung tangan	(Bramasto & Zainafree, 2015)
2	Melakukan pemeliharaan pada bahan tajam seperti gergaji dan pisau industri	Kurangnya fokus pada saat pelaksanaan aktifitas	Bagian tubuh tersayat	1. Tidak tergesa – gesa saat melakukan pekerjaan 2. Pengecekan rutin pada peralatan 3. Memakai <i>safety gloves</i> dan plester jari	(Indiyanti & Prastawa, 2024)
3	Mengangkat alat berat pada ruang yang sempit dan menjangkau alat/benda keras di tempat yang tinggi	Sedikitnya ruang untuk bergerak dan alat keras terjatuh dari tempat tinggi	Terbentur alat keras dan berat	1. Memastikan lingkungan kerja aman dan tidak ada pekerja lain saat akan memindahkan alat keras 2. Selalu menggunakan APD helm	(Harahap, dkk., 2022)
4	Mengambil benda dari tempat tinggi tanpa tangga yang memadai, melintasi lantai basah atau berminyak, dan menyeimbangkan beban berat saat berjalan	Lantai yang licin dan belum dibersihkan dan bobot beban berat yang melebihi kapasitas kekuatan pekerja	Terjatuh	1. Apabila berada di ketinggian, gunakan APD <i>fullbody harness</i> oleh pekerja yang di atas, APD helm untuk pekerja di bawah, dan pasang <i>safety line</i> di sekitar area kerja 2. Selalu bersihkan jalur pekerja dari berbagai kotoran	(Marfiana, dkk., 2019; Sinaga, dkk., 2024)
5	Menyesuaikan suhu mesin atau pemanas tanpa pelindung yang memadai	Terjadi <i>error</i> pada sistem suhu mesin kurangnya fokus pada saat proses penyesuaian suhu mesin	Terkena pemanas dengan suhu tinggi	1. Meningkatkan pengawasan bagi pekerja untuk menggunakan <i>wearpack</i> , sarung tangan, masker, dan <i>safety shoes</i>	(Maritza, 2024)
6	Menghaluskan permukaan logam tajam	Kurangnya fokus pada saat beraktifitas	Anggota tubuh tergores	1. Selalu menggunakan APD sarung tangan	(Ikhsan, 2022)

Informasi upaya pengendalian yang telah disajikan pada tabel 8 merupakan hasil tahapan perhimpunan dan pengolahan data yang telah dilalui sesuai dengan metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini. Secara keseluruhan, mengacu pada upaya pengendalian yang telah disusun pada tabel 8, dapat dilihat bahwa peningkatan kesadaran pekerja dan pengawasan bagi pekerja untuk selalu menggunakan APD sesuai dengan SOP pekerjaan merupakan aspek penting dalam memenuhi K3.

Sebagai upaya validasi tingkat akurasi dari upaya pengendalian, dilakukan analisis lanjutan dengan menyandingkan upaya berbagai jenis – jenis kecelakaan kerja dengan teori *Hierarchy of Control* yang merupakan metode – metode untuk

mengendalikan risiko mulai metode yang memiliki efektivitas paling rendah hingga tinggi. Ditinjau melalui pendekatan teori *Hierarchy of Control*, usulan pengendalian yang dirumuskan pada Tabel 8 mayoritas berfokus pada level Pengendalian Administratif (seperti pembuatan SOP dan pemasangan rambu peringatan) serta penggunaan Alat Pelindung Diri (APD). Meskipun level pengendalian ini berada di tingkatan terbawah dalam hierarki efektivitas, pendekatan ini dinilai paling *feasible* untuk diterapkan saat ini di PT. XYZ mengingat bahaya tidak dapat dieliminasi sepenuhnya karena karakteristik mesin yang manual atau memerlukan tindakan manusia untuk mengoperasikannya. Penguatan pada level administratif diharapkan mampu meminimalisir

faktor *unsafe act* yang menjadi pemicu utama tingginya frekuensi kecelakaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis risiko kecelakaan kerja pada PT. XYZ menggunakan metode *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA) yang telah dilakukan dengan tahapan yangurut sesuai dengan metode penelitian yang telah direncanakan, telah didapat berbagai informasi yang dapat digunakan dalam penyusunan *risk ranking* pada jenis kecelakaan kerja dan informasi evaluasi yang dapat dilakukan pihak perusahaan untuk dapat meningkatkan elemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam prosedur pekerjaannya. Secara spesifik, informasi – informasi terkait K3 tersebut terdiri dari nilai *likelihood*, *severity*, dan upaya pengendalian pada tiap jenis kecelakaan kerja PT. XYZ yang disusun dengan dukungan data dari penelitian serupa lain yang memiliki isi bahasan relevan dengan penelitian yang dilakukan untuk PT. XYZ. Secara keseluruhan, berikut merupakan kesimpulan yang didapat dari penelitian ini :

1. PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur otomotif yang memiliki informasi data kecelakaan kerja pada bagian produksi yang didapat melalui penelitian yang dilakukan oleh Zulkarnaen & Ramdhan (2023). Pengumpulan data kecelakaan kerja tersebut didapat oleh peneliti terkait melalui metode penyebaran kuisioner langsung kepada pekerja bagian produksi. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, analisis dilakukan berbasis data sekunder historis tanpa validasi observasi lapangan secara langsung, sehingga penilaian kondisi lingkungan kerja sangat bergantung pada akurasi pencatatan data sumber utama. Kedua, penilaian parameter *likelihood* dan *severity* dilakukan melalui pendekatan komparasi literatur relevan lain yang memungkinkan untuk terjadinya bias subjektivitas dibandingkan jika dilakukan melalui analisis langsung di lokasi.
2. Nilai *likelihood* atau tingkat frekuensi terjadinya kecelakaan kerja yang merupakan salah satu parameter yang ditinjau atau diamati pada proses analisis risiko kecelakaan kerja menggunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA). Nilai *likelihood* untuk tiap jenis data kecelakaan kerja pada PT. XYZ didapat melalui peninjauan frekuensi terjadinya jenis kecelakaan kerja dan ditambah dengan

dukungan data nilai *likelihood* pada jenis kecelakaan kerja yang serupa dalam hasil penelitian relevan lain. Jenis kecelakaan kerja terjepit dan bagian tubuh tersayat memiliki nilai *likelihood* C yang mengindikasikan kecelakaan kerja tersebut dapat terjadi sewaktu – waktu. Jenis kecelakaan kerja terbentur alat keras dan terjatuh memiliki nilai *likelihood* D yang mengindikasikan kecelakaan kerja tersebut memiliki tingkat kemungkinan terjadi yang cenderung rendah. Jenis kecelakaan kerja terkena pemanas dengan suhu tinggi dan bagian tubuh tergores memiliki nilai *likelihood* E yang mengindikasikan kecelakaan kerja tersebut hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu.

3. Nilai *severity* atau tingkat keparahan yang dialami setelah terjadinya kecelakaan kerja merupakan salah satu parameter yang ditinjau pada proses analisis risiko kecelakaan kerja menggunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA). Nilai *severity* untuk tiap jenis kecelakaan kerja ditentukan dengan melakukan pencocokan data jenis kecelakaan kerja serupa pada penelitian relevan lain yang telah didapatkan nilai *severity*-nya setelah melalui proses analisis *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA). Setelah dilalui proses analisis nilai *severity* pada PT. XYZ, jenis kecelakaan kerja bagian tubuh terjepit memiliki nilai *severity* 1 yang mengindikasikan tidak adanya cedera dan tidak ada kerugian material. Jenis kecelakaan kerja bagian tubuh tersayat, terbentur alat keras, terjatuh dari ketinggian, dan anggota tubuh tergores memiliki nilai *severity* 2 yang mengindikasikan risiko kecelakaan kerja memerlukan perawatan P2K3, penanganan dilakukan tanpa bantuan pihak luar, kerugian materi sedang. Sedangkan, jenis kecelakaan kerja terkena pemanas dengan suhu tinggi memiliki nilai *severity* 3 yang mengindikasikan risiko kecelakaan kerja memerlukan perawatan medis, penanganan membutuhkan bantuan pihak luar, kerugian materi besar.
4. Meninjau nilai dari parameter *likelihood* dan *severity* bersamaan secara kuantitatif dapat memberikan nilai risiko kecelakaan untuk tiap jenis kecelakaan kerja. Nilai dari risiko kecelakaan tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk *risk ranking* atau mengurutkan tingkat prioritas dari jenis pekerjaan berdasarkan besar tingkat nilai risiko kecelakaan yang didapat. Setelah dilakukan proses analisis terhadap indeks risiko kecelakaan kerja untuk tiap jenis kecelakaan

kerja pada PT. XYZ, telah didapat hasil bahwa indeks risiko kecelakaan kerja untuk jenis kecelakaan kerja bagian tubuh terjepit mesin produksi, terbentur alat keras, terjatuh dari ketinggian, dan anggota tubuh tergores adalah *low* atau memiliki rendah yang mengindikasikan jenis – jenis kecelakaan kerja tersebut dapat diatasi dengan prosedur rutin. Jenis kecelakaan kerja bagian tubuh tersayat dan terkena pemanas dengan suhu tinggi memiliki indeks risiko kecelakaan *medium* atau sedang yang mengindikasikan jenis – jenis kecelakaan kerja tersebut dapat diatasi dengan pengawasan khusus oleh pihak manajemen.

5. Upaya pengendalian kerja merupakan bentuk hasil analisis akhir atau *output* yang didapat melalui proses analisis kecelakaan kerja menggunakan metode *Job Safety Analysis* (JSA). Upaya pengendalian kerja yang disusun selanjutnya dapat dijadikan bahan evaluasi terhadap penerapan elemen K3 pada perusahaan terkait yang dalam kasus penelitian ini adalah PT. XYZ. Secara praktis, hasil pemetaan risiko ini memberikan implikasi strategis bagi manajemen PT. XYZ untuk mereformasi prosedur pengawasan. Mengingat dominasi risiko berada pada level pengendalian administratif (SOP dan APD), direkomendasikan agar dokumen JSA yang telah disusun tidak hanya menjadi arsip, melainkan diintegrasikan ke dalam materi *Safety Briefing* harian sebelum *shift* dimulai. Selain itu, prioritas anggaran K3 sebaiknya dialokasikan untuk peremajaan APD pada stasiun kerja dengan risiko *medium* (pemeliharaan benda tajam dan pemanas), serta pemasangan rambu visual yang lebih tegas di area mesin produksi.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Analisis dilakukan berbasis data sekunder historis tanpa validasi observasi lapangan secara langsung, sehingga penilaian kondisi lingkungan kerja sangat bergantung pada akurasi pencatatan data sumber utama. Lalu, penilaian parameter *likelihood* dan *severity* dilakukan melalui pendekatan komparasi literatur relevan lain yang memungkinkan untuk terjadinya bias subjektivitas dibandingkan jika dilakukan melalui analisis langsung di lokasi.

Saran

Berdasarkan keterbatasan – keterbatasan pada sifat penelitian ini yang dapat menyebabkan terjadinya bias subjektivitas dan bersifat ketergantungan dengan akurasi pencatatan data sumber utama, maka diperlukan suatu terobosan yang memungkinkan adanya suatu proses penelitian yang berbasis sistem terintegrasi. Teknologi yang sekarang ini memungkinkan untuk digunakan untuk penunjang keterbatasan tersebut adalah penerapan sistem pemantauan K3 berbasis *real-time monitoring* menggunakan sensor IoT untuk mendeteksi bahaya secara langsung, serta pengembangan platform digital HIRA-JSA yang dapat meningkatkan akurasi data dan mempercepat respons pengendalian risiko di lapangan.

REFERENSI

- Afnella, W., & Utami, T. N., 2021, “Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Metode HIRA (Hazard Identification and Risk Assessment) di PT. X”, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol. 5 No. 2, pp. 1004-1012.
- Balili, S., & Yuamita, F., 2022, “Analisis Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Bagian Mekanik Pada Proyek PLTU Ampana (2x3 MW) Menggunakan Metode Job Safety Analysis (JSA)”, *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, Vol. 1 No. 2, pp. 61-69.
- Bramasto, T., & Zainafree, I., 2015, “Penggunaan Job Safety Analysis dalam Identifikasi Risiko Kecelakaan Kerja di Bagian Workshop PT. Total Dwi Daya Kota Semarang”, *Unnes Journal of Public Health*, Vol. 4 No. 4.
- Delvika, Y., 2017, “Penerapan Sistem Manajemen Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Pada Pabrik Pakan Ternak Di Kota Medan”, *Jurnal Sistem Teknik Industri*, Vol. 19 No. 2, pp. 58-64.
- Dewi, N. N., & Sundari, S., 2021, “Pengaruh (K3) Dan Motivasi Terhadap Kinerja Karyawan Di Perusahaan”, *IQTISHADEquity jurnal MANAJEMEN*, Vol. 3 No. 2, pp. 278-289.
- Harahap, I. M., Purwandito, M., Samudra JI, U., Syarief Thayeb, P., & Lama, L., 2022, “Analisis risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) melalui metode HIRADC dan metode JSA pada proyek lanjutan pembangunan rumah sakit regional Langsa”, *Menara J Tek Sipil*, Vol. 17 No. 2, pp. 43-50.
- Ikhsan, M. Z., 2022, “Identifikasi Bahaya, Risiko Kecelakaan Kerja Dan Usulan Perbaikan

- Menggunakan Metode Job Safety Analysis (JSA)”, *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, Vol. 1 No. 1, pp. 42-52.
- ILO., 1998, “Encyclopedia of Occupational Health and Safety”, Volume 1-4. 4th Edition. Stellman, Jeane Mager (ed). Geneva., http://www.ilo.org/safework_bookself - accessed: 19-06-25.
- Indriyanti, L. A., & Prastawa, H., 2024, “Analisis Risiko Kerja Menggunakan Job Safety Analysis (Jsa) Dengan Pendekatan Hazard Identification, Risk Assessment, Risk Control (Hirarc) Pada Bagian Converting Pt Jawasurya Kencana Indah”, *Industrial Engineering Online Journal*, Vol. 13 No. 1.
- Irfan, M., & Susilowati, I. H., 2021, “Analisa manajemen risiko K3 dalam industri manufaktur di Indonesia: literature review”, *PREPOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol. 5 No. 1, pp. 335-343.
- Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia., 2023, “Kecelakaan Kerja Tahun 2023”, Satu Data Ketenagakerjaan, <https://satudata.kemnaker.go.id/data/kumpulan-data/1728> - accessed: 19-06-25.
- Marfiana, P., Ritonga, H. K., & Salsabiela, M., 2019, “Implementasi job safety analysis (JSA) sebagai upaya pencegahan kecelakaan kerja”, *Jurnal Migasian*, Vol. 3 No. 2, pp. 25-32.
- Maritza, A. P., 2024, “Analisis Bahaya Kerja Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Pada Pekerja Pemeliharaan Lokomotif menggunakan Hazard Identification and Risk Assesment (HIRA), dan Job Safety Analysis (JSA) PT Kereta Api Indonesia (Persero) Upt Balai Yasa Yogyakarta”, (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Nuryono, A., & Aini, M. N., 2020, “Analisis bahaya dan resiko kerja di industri pengolahan teh dengan metode HIRA atau IBPR”, *Journal of Industrial and Engineering System*, Vol. 1 No. 1, pp. 65-74.
- Sinaga, G., Septarini, I. R., & Sembiring, A. C., 2024, “Implementasi Job Safety Analysis dan Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control untuk meminimalkan Bahaya Kecelakaan Kerja di Stasiun Rebusan Pabrik PTPN III PKS Rambutan (Persero)”, *Jurnal Ilmiah Teknik Industri Prima (JURITI PRIMA)*, Vol. 7 No. 2.
- Sulistiyowati, R., & Herdiman, L., 2023, “Analisis keselamatan dan kesehatan kerja pada kegiatan praktikum menggunakan metode HIRA”, *Indonesian Journal of Laboratory*, Vol. 1 No. 1, pp. 52-59.
- Ubongeh, 2022, “The Importance of Health and Safety in Automotive Industry”, <https://hsewatch.com/importance-of-health-and-safety-in-the-automotive-industry/> - accessed: 19-06-25.
- Wangi, V. K. N., Bahiroh, E., & Imron, A., 2020, “Dampak Kesehatan Dan Keselamatan Kerja, Beban Kerja, Dan Lingkungan Kerja Fisik Terhadap Kinerja Karyawan”, *Jurnal Manajemen Bisnis*, Vol. 7 No. 1, pp. 40-50.
- Widyadhana, A. N., & Apsari, A. E., 2023, “Analisis keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dengan metode hira dan scat (studi kasus: pt. Surya Karya Setiabudi)”, (Doctoral dissertation, Tesis doktoral, University of Technology Yogyakarta).
- Zulkarnaen, Z., & Ramdhan, D. H., 2023, “Analisis Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Kecelakaan Kerja Pada Pekerja Bagian Produksi Di PT. XYZ”, *Jurnal Cahaya Mandalika ISSN 2721-4796 (online)*, Vol. 3 No. 2, pp. 728-741.

Evaluasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) Berbasis Metode HIRARC untuk Meningkatkan Kinerja Para Pekerja pada Proyek Pengeboran Sumur Eksplorasi di PT.X

Evaluation of Occupational Health and Safety (OHS) Based on HIRARC Method to Improve Workers' Performance on Exploration Well Drilling Project at PT.X

Rezi Berliana Yasinta¹, Nandiva Aurellia Putri Said², Adinda Chaesa³, Mifthah Alvito Mulya⁴, Keny Islam Nuresa⁵, Teuku Rizky Ananda⁶

^{1,2,3,4,5,6} Gedung L Kampus A Universitas Negeri Jakarta, Jln. Rawamangun Muka, Daerah Khusus Ibukota Jakarta Timur 13220. Telp: (62-21) 4751523. Email : reziberlianayasinta@unj.ac.id¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi penerapan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) menggunakan pendekatan *HIRARC* (*Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control*) guna meningkatkan kinerja para pekerja di lingkungan proyek pengeboran sumur eksplorasi TTN-001 PT. X. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif melalui penyebaran kuesioner, observasi lapangan, wawancara, dan analisis dokumen. Sebanyak 80 responden dari tenaga kerja lapangan menjadi sampel penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi bahaya tertinggi berasal dari aktivitas kerja di ketinggian, pengelasan tanpa pelindung mata, dan paparan kebisingan tinggi. Risiko dinilai menggunakan matriks risiko berdasarkan tingkat kemungkinan dan dampak. Kontrol risiko dilakukan berdasarkan hierarki pengendalian yang meliputi eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, administratif, dan penggunaan APD sebagai upaya terakhir. Evaluasi menunjukkan bahwa meskipun APD telah disediakan, kepatuhan penggunaannya masih rendah. Rekomendasi diberikan berupa penguatan pelatihan, audit HSE berkala, peningkatan pengawasan dan pengadaan APD yang lebih ergonomis.

Kata Kunci: HIRARC; Alat Pelindung Diri; K3; Risiko Kerja; Proyek Konstruksi

Abstract

This study aims to analyze and evaluate the application of Occupational Health and Safety (OHS) using the HIRARC (Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control) approach to improve the performance of workers in the environment of PT X's TTN-001 exploration well drilling project. The research method used is a descriptive quantitative approach through distributing questionnaires, field observations, interviews, and document analysis. A total of 80 respondents from the field workforce became the research sample. The results showed that the highest potential hazards came from work activities at heights, welding without eye protection, and high noise exposure. Risks were assessed using a risk matrix based on likelihood and impact levels. Risk control is carried out based on the control hierarchy which includes elimination, substitution, engineering, administrative, and the use of PPE as a last resort. The evaluation showed that although PPE had been provided, compliance with its use was still low. Recommendations were given in the form of strengthening training, periodic HSE audits, increased supervision and procurement of more ergonomic PPE.

Keywords: HIRARC; Personal Protective Equipment; OHS; Occupational Risk; Construction Project

PENDAHULUAN

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek yang sangat fundamental dalam

dunia kerja, khususnya pada sektor industri konstruksi dan pengeboran yang memiliki tingkat risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Dalam konteks proyek pengeboran

sumur eksplorasi yang dilakukan oleh PT. X, berbagai aktivitas kerja yang melibatkan peralatan berat, lingkungan kerja yang ekstrem, dan paparan zat berbahaya menjadikan perlindungan terhadap tenaga kerja sebagai prioritas utama perusahaan. Namun, data menunjukkan bahwa meskipun perusahaan telah menyediakan Alat Pelindung Diri (APD), masih terdapat kejadian kecelakaan ringan hingga sedang yang disebabkan oleh ketidakpatuhan pekerja dalam menggunakan APD secara tepat dan konsisten (Gultom, 2018).

Masalah penggunaan APD bukan semata-mata pada ketersediaannya, tetapi juga menyangkut aspek perilaku pekerja, budaya keselamatan di lingkungan kerja, dan sistem manajemen risiko yang diterapkan. Selama ini pendekatan yang digunakan cenderung bersifat normatif-administratif, dengan penekanan pada sosialisasi dan pengawasan. Pendekatan tersebut terbukti kurang mampu mengidentifikasi secara komprehensif berbagai sumber bahaya (*hazard*) yang ada, menilai potensi risiko (*risk assessment*), serta menetapkan strategi pengendalian (*risk control*) yang berbasis pada tingkat risiko aktual di lapangan (Gultom, 2018).

Untuk itu, dibutuhkan pendekatan yang lebih sistematis dan terstruktur dalam upaya peningkatan keselamatan kerja di lingkungan proyek, yakni melalui penerapan metode HIRARC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control*). Metode ini memberikan kerangka kerja yang terstandarisasi dalam mengelola risiko kerja, dimulai dari identifikasi bahaya yang bersifat potensial maupun aktual, dilanjutkan dengan penilaian tingkat keparahan dan kemungkinan terjadinya risiko, hingga penetapan langkah-langkah pengendalian yang dapat memitigasi atau mengeliminasi risiko-risiko tersebut (Gultom, 2018).

Metode HIRARC juga sejalan dengan regulasi nasional dan internasional seperti UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, Permenakertrans No. PER.05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen K3 (SMK3), dan standar ISO 45001 yang mendorong penerapan sistem keselamatan berbasis manajemen risiko. Dengan pendekatan ini, keselamatan kerja tidak lagi hanya dipandang sebagai tanggung jawab manajer atau petugas K3, tetapi menjadi bagian integral dari seluruh proses kerja yang melibatkan seluruh unsur organisasi (Gultom, 2018).

Penelitian ini dilakukan pada proyek pengeboran sumur TTN-001 PT. X di daerah Z, sebagai salah satu studi kasus penerapan metode HIRARC di sektor konstruksi pengeboran. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan peta risiko kerja yang akurat, strategi pengendalian bahaya yang tepat guna, serta peningkatan budaya

sadar K3 di kalangan pekerja proyek. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat akademik sebagai kontribusi ilmiah dalam bidang K3, tetapi juga memberikan manfaat praktis dalam mendukung peningkatan produktivitas dan perlindungan tenaga kerja secara berkelanjutan (Gultom, 2018).

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut *International Labour Organization* (ILO) (1998) Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah suatu promosi, perlindungan dan peningkatan derajat kesehatan yang setinggi tingginya mencakup aspek fisik, mental, dan social untuk kesejahteraan seluruh pekerja di semua tempat kerja. Pelaksanaan K3 merupakan bentuk penciptaan tempat kerja yang aman, bebas dari pencemaran lingkungan sehingga mampu mengurangi kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. salah satu bentuk upaya untuk menciptakan tempat kerja yang aman, sehat, bebas dari pencemaran lingkungan, sehingga dapat mengurangi dan atau bebas dari kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja (Ramadhan et al., 2017).

Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) merupakan sebuah metode dalam mencegah atau meminimalisir kecelakaan kerja. HIRARC merupakan metode yang dimulai dari menentukan jenis kegiatan kerja yang kemudian diidentifikasi sumber bahayanya sehingga di dapatkan risikonya. kemudian akan dilakukan penilaian resiko dan pengendalian risiko untuk mengurangi paparan bahaya yang terdapat pada setiap jenis pekerjaan. Menurut AS/NZS 4360:1999, risiko (*risk*) adalah peluang terjadinya sesuatu yang akan mempunyai dampak terhadap sasaran, diukur dengan hukum sebab akibat. Risiko diukur berdasarkan nilai *likelihood* dan *consequence* (Purnama, 2015).

Penilaian risiko (*Risk Assessment*) adalah proses penilaian yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya yang dapat terjadi. Tujuan dari *risk assessment* adalah memastikan kontrol risiko dari proses, operasi atau aktifitas yang dilakukan berada pada tingkat yang dapat diterima. Penilaian dalam *risk assessment* yaitu *Likelihood* (L) dan *Severity* (S) atau *Consequence* (C). *Likelihood* menunjukkan seberapa mungkin kecelakaan itu terjadi, sedangkan *Severity* atau *Consequence* menunjukkan seberapa parah dampak dari kecelakaan tersebut. Nilai dari *Likelihood* dan *Severity* akan digunakan untuk menentukan *Risk Rating* atau *Risk Level* (Wijaya et al., 2015). Berikut

ini merupakan tabel *consequence*, tabel *likelihood* dan *risk matrix* menurut standar AS/NZS 4360:1999:

Tabel 1. Kriteria *Consequence*

Level	Kriteria	Penjelasan
1	<i>Insignification</i>	Tidak terjadi cedera, kerugian finansial kecil
2	<i>Minor</i>	P3K, penanganan di tempat, dan kerugian finansial sedang
3	<i>Moderate</i>	Memerlukan perawatan medis, penanganan ditempat dengan bantuan pihak luar, kerugian finansial besar
4	<i>Major</i>	Cidera berat, kehilangan kemampuan produksi, penanganan luar area tanpa efek negative, kerugian finansial besar
5	<i>Catastrophic</i>	Kematian, keracunan hingga ke luar area dengan efek gangguan, kerugian finansial besar

Tabel 2. Kriteria *Likelihood*

Level	Kriteria	Penjelasan
1	<i>Almost Certain</i>	Terjadi hampir disemua keadaan
2	<i>Likely</i>	Sangat mungkin terjadi hampir disemua keadaan
3	<i>Possible</i>	Dapat terjadi sewaktu-waktu.
4	<i>Unlikely</i>	Kemungkinan terjadi jarang
5	<i>Rare</i>	Hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu

Tabel 3. *Risk Matrix*

<i>Likelihood (L)</i>	<i>Consequence (C)</i>				
	1	2	3	4	5
5	H	H	E	E	E
4	M	H	H	E	E
3	L	M	H	E	E
2	L	L	M	H	E
1	L	L	M	H	H

Pengendalian risiko (*Risk Control*) adalah cara untuk mengatasi potensi bahaya yang terdapat dalam dalam lingkungan kerja. Potensi bahaya tersebut dapat dikendalikan dengan menentukan suatu skala prioritas terlebih dahulu yang kemudian dapat membantu dalam prioritas terlebih dahulu yang kemudian dapat membantu dalam pemilihan pengendalian resiko yang disebut hirarki pengendalian resiko (Wijaya et al., 2015). Pengendalian risiko dapat mengikuti Pendekatan Hirarki Pengendalian (*Hierarchy of Control*). Hirarki pengendalian resiko adalah suatu urutan-urutan dalam pencegahan dan pengendalian resiko yang mungkin timbul yang terdiri dari beberapa tingkatan secara berurutan (Ramadhan et al., 2017). Hirarki atau metode yang dilakukan untuk mengendalikan risiko antara lain:

- Eliminasi (*Elimination*)**
Eliminasi dapat didefinisikan sebagai upaya menghilangkan bahaya. Eliminasi merupakan langkah ideal yang dapat dilakukan dan harus menjadi pilihan utama dalam melakukan pengendalian risiko bahaya. Hal ini berarti eliminasi dilakukan dengan upaya mengentikan peralatan atau sumber yang dapat menimbulkan bahaya.
- Substitusi (*Substitution*)**
Substitusi didefinisikan sebagai penggantian bahan yang berbahaya dengan bahan yang lebih aman. Prinsip pengendalian ini adalah menggantikan sumber risiko dengan sarana atau peralatan lain yang lebih aman atau lebih rendah tingkat resikonya.
- Rekayasa (*Engineering*)**
Rekayasa / Engineering merupakan upaya menurunkan tingkat risiko dengan mengubah desain tempat kerja, mesin, peralatan atau proses kerja menjadi lebih aman. Ciri khas dalam tahap ini adalah melinatkan pemikiran yang lebih mendalam bagaimana membuat lokasi kerja yang memodifikasi peralatan, melakukan kombinasi kegiatan, perubahan prosedur, dan mengurangi frekuensi dalam melakukan kegiatan berbahaya.
- Administrasi**
Dalam upaya secara administrasi difokuskan pada penggunaan prosedur seperti SOP (*Standard Operating Procedure*) sebagai langkah mengurangi tingkat risiko.
- Alat Pelindung Diri (APD)**
Alat pelindung diri merupakan langkah terakhir yang dilakukan yang berfungsi untuk mengurangi keparahan akibat dari bahaya yang ditimbulkan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif. Melalui observasi pada perusahaan untuk mengidentifikasi permasalahan yang terdapat pada Proyek Pengeboran Sumur Eksplorasi di PT. X dengan studi lapangan dan studi literatur. Setelah observasi, peneliti mengidentifikasi masalah yang ada dengan menggunakan studi lapangan dan studi literatur yang relevan. Proses ini penting untuk mengumpulkan informasi yang mendalam mengenai potensi bahaya dan kecelakaan kerja yang terjadi di perusahaan (Fikri et al., 2022).

Setelah merumuskan masalah dan tujuan penelitian, peneliti menyebarkan kuesioner kepada pekerja. Kuesioner ini berfungsi sebagai alat untuk mengumpulkan data penting mengenai pengalaman

dan pandangan pekerja terkait keselamatan kerja, serta untuk mengidentifikasi bahaya yang mungkin tidak terdeteksi dalam observasi awal (Fikri et al., 2022).

Dalam analisis risiko, penelitian ini menggunakan *metode Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC)*. Dengan mengidentifikasi setiap bahaya yang dapat terjadi, setelah bahaya diidentifikasi, peneliti melakukan penilaian risiko dengan menghitung nilai *likelihood* (kemungkinan terjadinya kecelakaan) dan *severity* (keparahan akibat yang ditimbulkan). Hasil penilaian ini kemudian digunakan untuk menentukan level risiko, yang diklasifikasikan menjadi kategori seperti *low risk*, *medium risk*, *high risk*, dan *extreme risk* (Fikri et al., 2022). Akhirnya, penelitian ini memberikan rekomendasi untuk pengendalian risiko berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, dengan tujuan untuk meminimalkan kecelakaan kerja dan meningkatkan keselamatan di tempat kerja (Fikri et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hazard identification dilakukan dengan cara memeriksa tiap area kerja dan proses kerja untuk mengidentifikasi semua potensi bahaya suatu pekerjaan. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, wawancara, dan dokumentasi dengan pihak perusahaan, diperoleh hasil identifikasi bahaya di bagian proses pekerjaan PT. X, pada bagian *stamping*, *welding*, bubut, *milling*, dan *cutting*. Potensi bahaya pada bagian *stamping* adalah terbentur bodi mesin *stamping* dikarenakan jarak antara mesin hanya 90 cm. Potensi bahaya lainnya yaitu terjepit mesin *stamping*, terpotong mesin *stamping*, tersandung batang besi dan terkena percikan material dan potensi lainnya termasuk jenis bahaya mekanik. Proses *stamping* juga mempunyai jenis bahaya ergonomi dengan potensi bahaya cedera pendengaran (Ghika Smarandana et al., 2021).

Identifikasi Bahaya

Pada saat proses pengelasan, pekerja terkadang melepaskan kacamatanya khusus las. Hal ini dapat menyebabkan mata pekerja terkena radiasi sinar las dari proses pengelasan. proses pengelasan dapat menimbulkan percikan api. Percikan api pengelasan mempunyai potensi ledakan atau kebakaran. Asap pengelasan juga mempunyai potensi yang membahayakan pernapasan pekerja. Kabel mesin las yang tidak tertata dengan rapi, dapat menyebabkan kaki pekerja tersandung atau terjatuh. Mesin las yang menggunakan energi listrik bertegangan tinggi jika terkelupas dapat

menyebabkan pekerja tersengat atau tersetrum listrik (Ghika Smarandana et al., 2021).

Hasil pengamatan pada proses bubut di lapangan, menunjukkan terdapat banyak batang besi yang berserakan pada lantai. Potensi bahaya pada proses ini antara lain kaki pekerja tersandung dan tangan pekerja dapat tergores serbuk sisa material pada saat proses bubut. Perputaran chuck pada mesin bubut mempunyai potensi bahaya tergulung putaran mesin (Ghika Smarandana et al., 2021).

Dari hasil pengamatan di lapangan saat proses *milling*, pekerja menggunakan sarung tangan yang mudah tersangkut di benda kerja yang tajam atau belum rata. Hal sangat berbahaya bila mesin sedang beroperasi, sehingga tangan berpotensi terkena putaran mata pahat atau tersayat mata pahat *milling*. Proses *milling* menghasilkan sisa-sisa material yang tajam, yang mempunyai potensi bahaya terkena percikan sisa material dari proses *milling* tersebut. Ruang gerak dari operator terbatas dapat menyebabkan pekerja tertimpa batang besi. Panel listrik pada ruang kontrol mempunyai potensi bahaya korsleting listrik yang dapat menyebabkan kebakaran bahkan ledakan (Ghika Smarandana et al., 2021).

Pada proses *cutting*, terdapat banyak plat besi serta perkakas di bagian mesin *cutting* yang berserakan di lantai, batang besi yang akan dipotong dan selesai dipotong tidak tertata dengan rapi, maka dapat menyebabkan kaki pekerja tersandung. Gerak operator yang sedikit terbatas karena ruang yang sempit dan terdapat bahan baku yang tercecer di lantai dapat menyebabkan pekerja dapat terbentur bodi mesin atau tangan pekerja terpotong (Ghika Smarandana et al., 2021).

Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Cara menentukan nilai risiko (*risk assessment*) yaitu dengan menggunakan matrik *risk assessment*, dengan cara mengalikan nilai tingkat kemungkinan (*Likelihood*) dan nilai tingkat keparahan (*Severity*) (Ghika Smarandana et al., 2021). Setelah mendapatkan hasil identifikasi potensi bahaya dari setiap proses pekerjaan di PT. X maka tahap selanjutnya pada metode HIRARC yaitu penilaian risiko.

Penilaian ini digunakan untuk mengetahui tingkatan risiko dari bahaya yang telah diidentifikasi. Tingkatan risiko dalam penilaian ini berdasarkan perbandingan tingkat kemungkinan terjadinya suatu risiko (*likelihood*) dengan tingkat keparahan terjadinya risiko (*severity*). Hasil *risk assessment* pada proses pekerjaan ini mendapatkan 4 kategori *risk level*, yaitu: risiko rendah (*low risk*), risiko sedang (*medium risk*), risiko tinggi (*high risk*), dan

risiko ekstrim (*extreme risk*). Hal ini dijelaskan pada tabel 4.

Tabel 4. Penilaian Potensi Bahaya Pada PT.X

Proses	Hazard Identification	Jenis Bahaya	L	C	S	Risk Level	Referensi
Proses Stamping	Terbentur Bodi Mesin Stamping	Mekanik	2	3	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Abryand oko, 2018)
	Terjepit Mesin Stamping	Mekanik	2	4	8	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Oktavia et al., 2024)
	Terpotong Mesin Stamping	Mekanik	2	4	8	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Tersandung Batang Besi	Mekanik	2	4	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Terkena Percikan Sisa Material (Scarp)	Mekanik	3	4	12	Extreme Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Pamungkas & Suseno, 2022)
	Cedera Pendengaran	Ergonomi	4	1	4	Low Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Oktavia et al., 2024)
Proses Welding	Terkena Radiasi Sinar Ultraviolet	Kimiawi	4	3	12	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Syahrul & Nugroho, 2024)
	Terkena Percikan Api Las	Mekanik	5	4	20	Extreme Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Kebakaran	Kimiawi	1	4	4	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Alifiah et al., 2023)
	Menghirup Asap Mesin Las	Kimiawi	4	3	12	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Syahrul & Nugroho, 2024)
	Tersandung Kabel Mesin Las	Mekanik	5	2	10	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Tersengat Arus Listrik	Listrik	5	5	25	Extreme Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)

Proses Bubut	Tersandung Batang Besi	Mekanik	3	2	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Tergores Sisa Materia Bubut	Mekanik	3	2	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Syahrul & Nugroho, 2024)
	Aktivitas Tangan Berlebih	Ergonomi	2	3	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Syahrul & Nugroho, 2024)
	Kejatuhan Batang Besi	Mekanik	3	3	9	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Syahrul & Nugroho, 2024)
	Tergulung Putaran Mesin Bubut	Mekanik	5	4	20	Extreme Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Fajri & Siahaan, 2023)
	Tersengat Listrik	Listrik	3	5	15	Extreme Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
Proses Milling	Tergulung Putaran Mata Pahat Mesin	Mekanik	5	4	20	Extreme Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Fajri & Siahaan, 2023)
	Tersayat Mata Pahat Milling atau End Mill	Mekanik	3	2	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Terkena Percikan Serbuk Gram	Mekanik	2	2	4	Low Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Sofyan & Maulana, 2022)
	Terbentur Bodi Mesin Milling	Mekanik	2	3	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Abryand oko, 2018)
	Tertimpa Batang Besi	Mekanik	2	4	8	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Tersengat Listrik	Listrik	3	5	15	Extreme Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
Proses Cutting	Tersandung Batang Besi	Mekanik	2	2	4	Low Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Terbentur Bodi Mesin Cutting	Mekanik	2	3	6	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Abryand oko, 2018)

	Terpotong Mesin <i>Cutting</i>	Mekanik	2	3	6	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Purwani ngrum et al., 2023)
	Terkena Percikan Sisa Material (<i>Scarp</i>)	Mekanik	4	2	8	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Putri et al., 2024)
	Korsleting Listrik	Listrik	3	4	12	High Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Dwisetiono & Fairussih an, 2022)
	Kebakaran	Kimiawi	1	4	4	Medium Risk	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Alifah et al., 2023)

Pengendalian Risiko (*Risk Control*)

Potensi bahaya yang terdapat di PT. X kemudian dibagi menjadi 5 jenis sumber bahaya, yaitu: bahaya mekanik, bahaya listrik, bahaya fisik, bahaya kimiawi, dan bahaya ergonomi. Pengendalian risiko merupakan langkah meminimalkan potensi bahaya yang terdapat dalam dalam lingkungan kerja. Pengendalian potensi bahaya berdasarkan hasil skala prioritas dalam hirarki pengendalian risiko (Wijaya et al., 2015). Hirarki atau metode yang dilakukan untuk mengendalikan risiko antara lain: eliminasi, substitusi, rekayasa, administrasi, dan alat pelindung diri. Pengendalian risiko pada penelitian ini berfokus pada proses yang mempunyai *risk level medium, high* dan *extreme*. Hal ini dijelaskan pada tabel 5. Pengendalian Potensi Bahaya di PT.X

Tabel 5. Pengendalian Potensi Bahaya di PT.X

Proses	Hazard Identification	Risk Level	Risk Control	Referensi
Stamping	Terjepit Mesin <i>Stamping</i>	High Risk	1. Memasang display K3 bahaya terjepit/terpotong	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Oktavia et al., 2024)
			2. Dibuat SOP, pastikan semua operator telah dilatih dengan baik dan memahami proses kerja	
	Terpotong Mesin <i>Stamping</i>	High Risk	1. Memasang display K3 bahaya terjepit/terpotong	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
			2. Briefing sebelum bekerja, Penyediaan P3K Memberikan sanksi terhadap karyawan yang tidak memakai APD	

			3. Menggunakan sarung tangan safety	
	Terkena Percikan Sisa Material (<i>Scrap</i>)	<i>Extreme Risk</i>	1. Menggunakan APD (googles dan sarung tangan)	(Ghika Smarandana et al., 2021); (Pamungkas & Suseno, 2022)
			2. Memasang cover oada mesin stamping	
	Cedera Pendengaran	<i>Low Risk</i>	1. Menggunakan APD (ear plug) dan pemasangan rambu-rambu diarea kerja	(Ghika Smarandana et al., 2021); (Oktavia et al., 2024)
Welding	Kebakaran	<i>Medium High</i>	1. Memasang display K3 mudah terbakar, pengecekan lingkungan sekitar agar terhindar dari bahan yang mudah terbakar	(Ghika Smarandana et al., 2021); (Alifah et al., 2023)
			2. Melakukan inspeksi peralatan las sebelum pekerjaan dilakukan	
	Menghirup Asap Mesin Las	<i>High Risk</i>	1. Menggunakan APD (Masker)	(Ghika Smarandana et al., 2021); (Syahrul & Nugroho, 2024)
	Tersengat Arus Listrik	<i>Extreme Risk</i>	1. Menggunakan APD (Sarung tangan), menggunakan peralatan listrik sesuai gambar	(Ghika Smarandana et al., 2021); (Asih et al., 2021)
2. Melakukan pengeckrsn kabel mesin cutting dengan rutin dan memastikan kabel aman digunakan, memberikan safety sign pada arus listrik, penambahan pelayanan kesehatan perusahaan				
Bubut	Tergulung Putaran Mesin Bubut	<i>Extreme Risk</i>	1. Memasang shield atau pelindung pada mesin bubut	(Ghika Smarandana et al., 2021); (Fajri & Siahaan, 2023)
	Tersengat Listrik	<i>Extreme Risk</i>	1. Menggunakan peralatan listrik yang sesuai standar, ukuran kabel harus sesuai dengan yang dibutuhkan isolator yang dipakai harus sesuai dengan kegunaannya. 2. Melakukan pengecekan kabel mesin cutting dengan rutin dan memastikan kabel aman digunakan, memberikan safety sign pada arus listrik, penambahan pelayanan kesehatan perusahaan	(Ghika Smarandana et al., 2021); (Asih et al., 2021)

Milling	Tergulung Putaran Mata Pahat Mesin Milling	Extre me Risk	1. Menggunakan APD (sarung tangan kulit)	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Fajri & Siahaan, 2023)
	Tersayat Mata Pahat Milling atau End Mill	Medi um Risk	1. Memasang display K3 bahaya terjepit/terpotong 2. Briefing sebelum bekeja, Penyediaan P3K, Memberikan sanksi terhadap karyawan yang tidak memakai APD	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Terkena Percikan Serbuk Gram	Low Risk	1. Menggunakan APD (googles)	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Sofyan & Maulana, 2022)
	Tersengat Listrik	Extre me Risk	1. Menggunakan peralatan listrik yang sesuai standar, ukuran kabel harus sesuai dengan yang dibutuhkan isolator yang dipakai harus sesuai dengan kegunaannya. 2. Melakukan pengecekan kabel mesin cutting dengan rutin dan memastikan kabel aman digunakan, memberikan safety sign pada arus listrik, penambahan pelayanan kesehatan perusahaan	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Asih et al., 2021)
	Terpotong Mesin Cutting	High Risk	1. Memasang display K3 bahaya terjepit/terpotong 2. Mewajibkan pekerja/pekerja untuk selalu menggunakan Alat Pelindung Diri (APD)	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Purwanin grum et al., 2023)
	Terkena Percikan Sisa Material (Scarp)	High Risk	1. Menggunakan APD (googles)	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Putri et al., 2024)
	Korsleting Listrik	High Risk	1. Menggunakan peralatan listrik yang sesuai standar, ukuran kabel harus sesuai dengan yang dibutuhkan, isolator yang dipakai harus sesuai dengan kegunaannya.	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Dwisetiono & Fairussihana, 2022)
Cutting	Kebakaran	Medi um Risk	1. Memasanga display K3 mudah terbakar, dan pengecekan lingkungan	(Ghika Smaranda na et al., 2021); (Alifah et al., 2023)

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa area kerja yang kondisi lantai yang tidak aman, karena adanya kabel, plat pipa ataupun benda lain yang belum

tertata dengan rapi di area kerja. Pengendalian risiko bahaya yang dilakukan PT. X masih belum efektif. Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk pencegahan kecelakaan kerja di PT. X yaitu: menggunakan APD di lingkungan pabrik, rekayasa (*engineering*) di setiap proses produksi untuk meminimalisir bahaya dan administrasi seperti SOP pada setiap prosesnya agar sesuai dengan standar yang sudah ditentukan perusahaan. Pengendalian risiko yang dilakukan sama dengan (Koreawan & Basuki, 2019). Terhadap mitigasi risiko pada PT.Y dengan cara menggunakan alat pelindung diri berstandar SNI, perbaikan metode kerja dengan menambah alat mekanik.

KESIMPULAN

Hasil identifikasi awal, menunjukkan perusahaan sudah menerapkan prosedur kesehatan dan keselamatan kerja dalam proses produksinya, hanya saja dari beberapa pekerja tidak mematuhi aturan yang sudah dibuat. Pengendalian risiko bahaya dapat dilakukan dengan menggunakan APD di lingkungan proyek, rekayasa (*engineering*) di setiap proses produksi untuk meminimalisir bahaya dan administrasi seperti SOP pada setiap prosesnya agar sesuai dengan standar yang sudah ditentukan perusahaan.

REFERENSI

- Abryandoko, E. (2018). Penilaian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Menggunakan Metode Hirarc dan Safety Policy . *Rekayas Sipil*, 12(1).
- Alifah, N., Jufriyanto, M., & Rizqi, A. (2023). Analisis Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Metode Hazard Identification Risk Assessment dnd Risk Control pada Pt. Aneka Jasa Grahadika. *Jurnal Serambi Engineering*, 3(4).
- Asih, T. N., Mahbubah, N. A., & Fathoni, M. Z. (2021). Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Proses Fabrikasi dengan Menggunakan Metode Hirarc (Studi Kasus : Pt. Ravana Jaya). *Justi (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 1(2), 272.
- Dwisetiono, & Fairussihan, J. (2022). Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Proses Perbaikan Kapal di Pt. Dock dan Perkapalan Surabaya Menggunakan Metode Hirarc (Hazard Identification, Risk

- Assessment, and Risk Control). *Hexagon, Jurnal Teknik Dan Sains*, 3(1).
- Fajri, N., & Siahaan, J. (2023). Analisis Identifikasi Resiko Kecelakaan Kerja di Pt. Abcd Menggunakan Metode Hazardidentification Risk Assesment and Risk Control (Hirarc). *Sistemik : Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*, 11(2).
- Fikri, A., Mahbubah, N. A., & Negoro, Y. P. (2022). Pengelolaan Resiko kecelakaan Kerja di open Area konstruksi Berbasis Pendekatan hirarc. *Jurnal Surya Teknika*, 9(2).
- Ghika Smarandana, Ade Momon, & Jauhari Arifin. (2021). Penilaian Risiko K3 pada Proses Pabrikasi Menggunakan Metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (Hirarc). *Jurnal Intech Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 7(1), 56–62.
- Gultom, R. (2018). Analisis Penggunaan Alat Pelindung Diri (Apd) Dalam Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Proyek Kontruksi di Pt. Eka Paksi Sejati. Studi Kasus: Proyek Kontruksi Untuk Pemboran Sumur Eksplorasi sitanum (Ttn-001) Daerah Aceh Tamiang. *Jurnal Bisnis Corporate*, 3.
- Koreawan, O., & Basuki, M. (2019). Identifikasi Bahaya Bekerja dengan Pendekatan Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) di PT. Prima Alloy Steel Universal. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019 Tema A – Penelitian*.
- Oktavia, S., Anshor, A., Nugroho, I., Nugroho, A., Ansyah, E., & Irawan, T. (2024). Sosialisasi K3 Bagi Operator Mesin Stamping untuk Mencegah Kecelakaan Kerja di Pt Abc. *Jlp : Jurnal Lentera Pengabdian*, 2(2).
- Pamungkas, A., & Suseno, A. (2022). Analisa Keselamatan dan Kesehatan Kerja Menggunakan Metode Hirarc pada Proses Produksi di Mesin Stamping (Studi Kasus di Pt. Xyz). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(6).
- Purnama, D. S. (2015). Analisa Penerapan Metode Hirarc (Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control) dan Hazops (Hazard And Operability Study) Dalam Kegiatan Identifikasi Potensi Bahaya dan Risiko pada Proses Unloading Unit di Pt. Toyota Astra Motor. *Jurnal Pasti*, 9(3).
- Purwaningrum, D., Maharani, A., Hanafi, A., Kurnianingtias, M., & Noviar, M. (2023). Analisis Bahaya dan Penerapan K3 di Divisi Cutting Pt Xyz. *Jurnal Tekstil (Jute)*, 6(2).
- Putri, A., Rupiwardani, I., & Subhi, M. (2024). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja dengan Metode Hirarc pada Pekerjaan Pemotongan Besi. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(2).
- Ramadhan, F., Kunci, K., Apd, :, Kesehatan, K., & Kerja, R. (2017). *Seminar Nasional Riset Terapan*.
- Sofyan, H., & Maulana, F. (2022). Analisis Bahaya dan Risiko K3 dengan Metode Hirarc pada Area Dishop di Pt Xyz Plant 2. *Sistemik (Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik)*, 10(1).
- Syahrul, M., & Nugroho, A. (2024). Analisis Risiko (K3) di Bengkel Las Bubut Menggunakan Metode Hazard Identification Risk Assessment (Hira) . *Jurnal Ilmiah Nusantara (Jinu)*, 1(4).
- Wijaya, A., Panjaitan, T. W. S., & Palit, H. C. (2015). Evaluasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Metode Hirarc pada Pt. In Charoen Pokphand Indonesia/ *Jurnal Titra* (Vol. 3, Issue 1).

Analisis Dampak Lalu Lintas Jalan Zaenal Zakse Akibat Aktivitas Pasar Kebalen di Kota Malang

Traffic Impact Analysis of Zaenal Zakse Road Due to Kebalen Market Activities in Malang City

Rifky Aldila Primasworo¹, Andy Kristafi Arifianto², Blima Oktaviastuti³, Gilbert Herdani Hau Pia⁴

^{1,2,3,4} Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi, Jalan Telaga Warna. Telp. (0341) 565500. Email: gilberd.herdany23@gmail.com

Abstrak

Perilaku masyarakat di kawasan pasar berdampak langsung pada arus lalu lintas, terutama pada jam sibuk saat kendaraan masuk dan keluar pasar. Kehadiran pedagang kaki lima dan parkir liar di pinggir jalan memperburuk masalah dengan menambah kemacetan lalu lintas, memperlambat lalu lintas, dan menyimpan mobil di area tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja lalu lintas dan pengaruh kegiatan Pasar Kebalen terhadap kinerja lalu lintas. Rancangan penelitian menggunakan kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif. Penelitian ini dilaksanakan di Ruas Jalan Zaenal Zakse Jodipan Kota Malang menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dampak lalu lintas akibat adanya aktivitas pasar berdampak buruk pada kinerja Ruas Jalan Zaenal Zakse jika dilihat dari derajat kejenuhan rata-rata yang tertinggi terjadi hari Minggu/3 November 2024 jam 06:00-07:00 sebesar 1.16 tingkat pelayanan F dengan kriteria arus tertahan atau macet.

Kata Kunci: *andalalin; kinerja; ruas jalan; pedoman kapasitas jalan indonesia*

Abstract

Community behavior in the market area has a direct impact on traffic flow, especially during peak hours when vehicles enter and exit the market. The presence of street vendors and illegal parking on the roadside exacerbates the problem by adding to traffic congestion, slowing traffic, and storing cars in certain areas. This study aims to determine traffic performance and the effect of Kebalen Market activities on traffic performance. The research design uses quantitative with descriptive research type. This research was conducted at Jalan Zaenal Zakse, Jodipan, Malang City using the Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) method. The calculation results show that the traffic impact due to market activities has a negative impact on the performance of the Zaenal Zakse Road Section when viewed from the highest average degree of saturation on Sunday, November 3, 2024 at 06:00-07:00 am at 1.16 level of service F with the criteria for stuck / jammed flow.

Keywords: *andalalin; performance; road sections; indonesia road capacity guideline*

PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap, dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada di permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan atau air, serta di atas permukaan air, kecuali kereta api dan jalan kabel menurut Undang-Undang No.38 Tentang Jalan, 2004. Fungsi utama jalan raya adalah melayani

angkutan orang dan barang yang aman, nyaman, cepat dan ekonomis.

Selain itu, jalan raya mempunyai dampak penting terhadap pembangunan sosial dan perekonomian. Kemajuan teknologi transportasi memfasilitasi mobilitas manusia dalam berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain. Kenyamanan moda transportasi membuat masyarakat bisa bergerak dengan cepat. Oleh karena itu jalan sebagai infrastruktur tempat

bergerak dipenuhi oleh mobil pribadi atau angkutan umum.

Andalalin merupakan serangkaian kegiatan kajian mengenai dampak lalu lintas dari pengembangan pusat kegiatan, permukiman, dan infrastruktur yang hasilnya dituangkan dalam bentuk dokumentasi hasil analisis dampak lalu lintas. Pada pelaksanaannya indikator andalalin meliputi: (1) volume lalu lintas (*Traffic Volume*); (2) tingkat pelayanan jalan (*Level of Service/LoS*); (3) derajat kejenuhan (*Capacity Ratio*); (4) waktu tundaan (*Delay Time*); (5) panjang antrian (*Queue Length*); (6) kecepatan tempuh (*Travel Speed*); (7) kebutuhan parkir; (8) aksesibilitas; (9) kinerja simpang (*Intersection Performance*); (10) pengaruh terhadap jaringan transportasi sekitar; dan (11) keselamatan lalu lintas (Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 17 Tentang Penyelenggaraan Analisis Dampak Lalu Lintas, 2021).

Volume lalu lintas menjadi tolok ukur utama andalalin suatu jalan. Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada ruas jalan per satuan waktu dinyatakan dalam kendaraan per jam atau satuan mobil penumpang per jam (Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas, 2015). Adapun tipe kendaraan, antara lain yang pertama yaitu kendaraan ringan (LV) meliputi: (1) mobil penumpang; (2) oplet; (3) mikro bis; (4) pick-up; dan (5) truk kecil. Yang kedua kendaraan berat (HV) meliputi: (1) truk; dan (2) bus. Yang ketiga sepeda motor (MC) meliputi: kendaraan bermotor roda 2 dan 3. Dan yang keempat kendaraan tak bermotor (UM) meliputi: (1) sepeda; (2) becak; (3) kereta kuda; dan (4) gerobak/kereta dorong.

Pada tahap selanjutnya tingkat pelayanan juga digunakan untuk andalalin suatu jalan. Tingkat pelayanan adalah kemampuan ruas jalan atau persimpangan untuk menampung lalu lintas pada kendaraan tertentu (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI), 2023). Dalam tingkat pelayanan jalan secara tidak langsung akan melihat kemacetan lalu lintasnya. Sebab kemacetan lalu lintas dapat mengganggu kenyamanan berkendara, menghabiskan waktu dan materi, serta mengganggu kegiatan perekonomian masyarakat.

Pasar adalah satu dari beberapa sistem, institusi, prosedur, hubungan sosial, serta infrastruktur, dimana terdapat usaha menjual barang, jasa, bahkan tenaga kerja bagi masyarakat dengan imbalan uang (Abadiyah et al., 2023; Loe et al., 2021; Murdianan et al., 2022). Pasar Kebalen terletak di Jalan Zaenal Zakse, Jodipan, Kota Malang. Jalan Zaenal Zakse

adalah jalan yang menghubungkan Kecamatan Blimbing, Kecamatan Klojen dan Kecamatan Kedungkandang. Jalan ini diklasifikasikan sebagai jalan kabupaten. Seiring berjalannya waktu, perkembangan sarana transportasi di jalan Zaenal Zakse membantu mengangkut lebih banyak pengunjung. Hal ini menunjukkan masalah kemacetan lalu lintas di Jalan Zaenal Zakse.

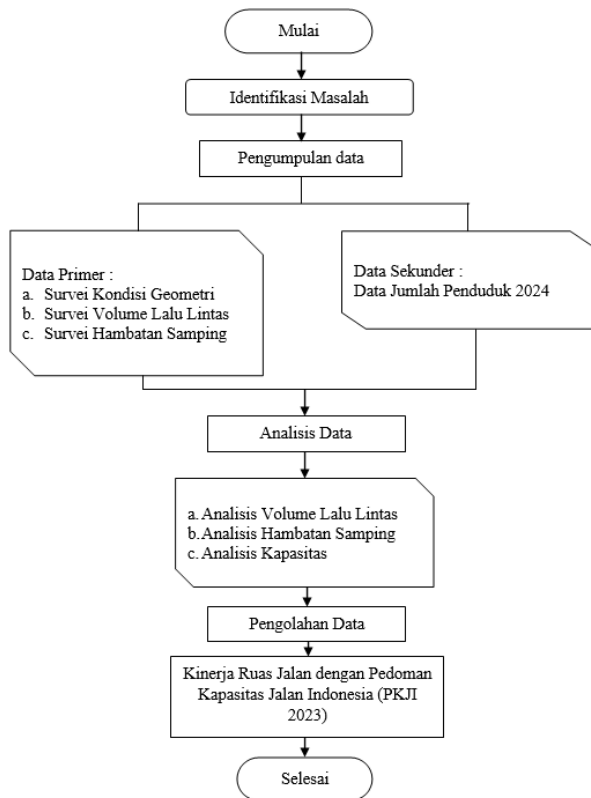
Adanya aktivitas pasar menyebabkan hambatan samping, dimana lalu lintas terhenti karena pengendara memarkirkan mobil mereka di bahu jalan. Berdasarkan hasil observasi lapangan selama 7 hari (28 Oktober - 3 November 2024) yang menunjukkan hambatan samping kategori Sangat Tinggi (ST) dengan frekuensi mencapai 3.228,4 kejadian/hari, penyebab utama kemacetan lalu lintas di Pasar Kebalen meliputi: (1) Pengguna kendaraan bermotor maupun tidak bermotor yang menggunakan tempat parkir di area pasar; dan (2) Pejalan kaki yang kerap menyeberang jalan tanpa menggunakan zebra cross. Kondisi tersebut diperparah dengan kondisi pasar yang berada di lingkungan pemukiman padat penduduk dan sekitar 480 pedagang kaki lima yang berjualan di luar Pasar Kebalen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja lalu lintas dan pengaruh kegiatan Pasar Kebalen terhadap kinerja lalu lintas.

METODE

Rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif (Creswell, 2018; Sugiyono, 2019). Penelitian ini menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia dalam mengetahui kinerja ruas Jalan Zaenal Zakse. Penelitian ini berlokasi di Pasar Kebalen pada Ruas Jalan Zaenal Zakse. Jalan ini memiliki lebar 8 meter dan panjang ± 350 meter. Pada pelaksanaannya, penelitian ini menggunakan alat *Hand Tally Counter* dan aplikasi *Traffic Counter* untuk menghitung jumlah kendaraan dan dicatat pada formulir survei yang dilakukan oleh 9 orang surveyor dengan tugas masing-masing.

Indikator pengukuran yang dipergunakan untuk mengetahui kinerja ruas jalan di jalan Zaenal Zakse Kota Malang meliputi: (1) geometrik ruas jalan; (2) volume lalu lintas; (3) arus lalu lintas; (4) hambatan samping; (5) kapasitas; (6) derajat kejenuhan. Selanjutnya untuk mengetahui tingkat pelayanan diukur dengan melakukan penataan ulang pasar.

Gambar 1 merupakan diagram alir, dimana pada tahapannya telah tertulis dengan rinci dan runtut, yang selanjutnya akan digunakan untuk pelaksanaan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

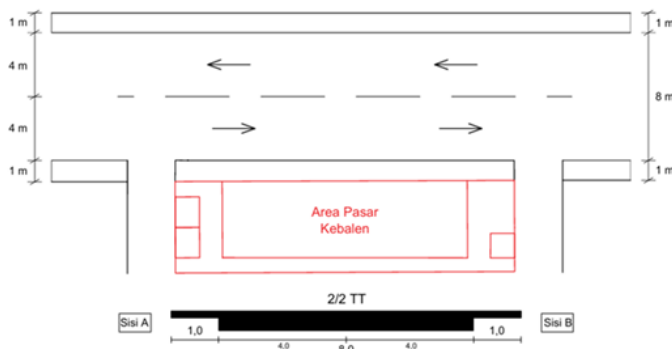
A. Kondisi Eksisting Geometrik Jalan

Tabel 1 merupakan data kondisi geometrik ruas Jalan Zaenal Zakse:

Tabel 1. Data Geometrik Kondisi Eksisting

Variabel	Keterangan
Jenis Jalan	Kolektor Sekunder
Tipe jalan	2/2 TT (Tak Terbagi)
Panjang jalan	±350 m
Lebar jalur	8 meter
Lebar lajur Sisi A	4 meter
Lebar lajur Sisi B	4 meter
Lebar bahu (Sisi A + B)	2 meter

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 1. Layout Ruas Jalan Zaenal Zakse

B. Kinerja Ruas Jalan

1. Volume Lalu Lintas

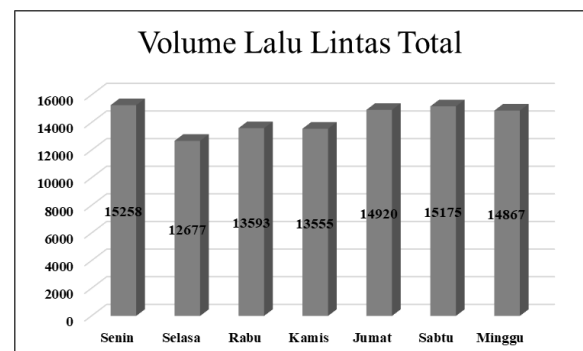
Analisa volume lalu lintas dilakukan untuk mengetahui parameter yang dibutuhkan dalam mencari tahu kinerja ruas jalan.

Tabel 2. Total Volume Lalu Lintas (smp/jam)

Waktu	Timur-Barat	Barat-Timur	Total
Senin	6662	8596	15258
Selasa	6348	6329	12677
Rabu	6775	6818	13593
Kamis	6771	6784	13555
Jumat	7234	7686	14920
Sabtu	7372	7803	15175
Minggu	7226	7641	14867

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Hasil perhitungan volume lalu lintas kendaraan didapat puncak arus tertinggi lalu lintas kendaraan di Ruas Jalan Zaenal Zakse arah Timur-Barat terjadi pada hari Sabtu sebanyak 7.372 kendaraan, sedangkan dari arah Barat-Timur puncak arus tertinggi terjadi pada hari Senin sebanyak 8.596 kendaraan.



Gambar 2. Grafik Total Volume Lalu lintas

2. Arus Total Lalu Lintas

Berdasarkan analisis dapat diketahui bahwa pada arah Timur-Barat arus total kendaraan tertinggi terjadi pada hari Sabtu dengan rata-rata satuan mobil penumpang 444,2 satuan mobil penumpang/hari. Terendah terjadi pada hari Selasa dengan rata-rata satuan mobil penumpang 380,4 smp/hari.

Tabel 3. Total SMP Kendaraan Timur-Barat

Waktu	Vol. Rata-rata kend/hari	Timur-Barat			smp /hari
		LV *1	HV *1.3	MC *0.4	
Senin	833	97	9,1	291,7	397,4
Selasa	794	86	16,4	277,9	380,4
Rabu	847	98	8,0	297,0	403,3
Kamis	846	98	8,1	296,7	403,2
Jumat	904	119	8,3	311,7	438,6
Sabtu	922	118	6,8	319,3	444,2
Minggu	903	118	6,8	312,0	436,8

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Pada arah Barat-Timur arus total kendaraan tertinggi terjadi pada hari Senin dengan rata-rata satuan mobil penumpangnya 506,4 smp/hari, terendah terjadi pada hari Selasa dengan rata-rata satuan mobil penumpangnya 377,4 smp/hari.

Tabel 4. Total SMP Kendaraan Barat-Timur

Waktu	Vol. kend/jam	Barat-Timur			smp /hari
		LV	HV	MC	
		*1	*1,3	*0,4	
Senin	1075	113	12,8	380,7	506,4
Selasa	791	83	16,1	278,3	377,4
Rabu	852	92	8,1	301,7	401,6
Kamis	848	94	7,8	299,1	401,2
Jumat	961	116	11,2	334,7	461,4
Sabtu	975	122	10,1	338,3	470,3
Minggu	955	126	5,7	330,1	461,4

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

3. Hambatan Samping

Adapun tipe hambatan samping yang terbagi menjadi pejalan kaki (Pedestrian/PED), kendaraan berhenti (Parking and Stopping Vehicle/PSV), kendaraan masuk/keluar (Entry and Exit Vehicle/EEV), dan kendaraan lambat (Slow Moving Vehicle/SMV).

Tabel 5. Hambatan Samping

Waktu	Timur-Barat				Jumlah
	PED	PSV	EEV	SMV	
Senin	246	222	215	230	912
Selasa	219	257	237	237	950
Rabu	234	237	225	234	930
Kamis	236	233	235	233	937
Jumat	230	280	218	227	955
Sabtu	330	295	310	289	1224
Minggu	384	395	377	295	1451
Waktu	Barat-Timur				Jumlah
	PED	PSV	EEV	SMV	
Senin	230	223	237	223	913
Selasa	232	227	258	223	939
Rabu	226	233	239	230	928
Kamis	244	239	236	236	955
Jumat	223	233	243	286	984
Sabtu	304	295	309	301	1208
Minggu	349	348	339	309	1344

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Hambatan samping pada Ruas Jalan Zaenal Zakse arah Timur-Barat sesuai Tabel 5, yang tertinggi pada hari Minggu dengan rata-rata yaitu 1451 kejadian dan yang terendah pada hari Senin dengan rata-rata yaitu 912 kejadian. Pada arah Barat-Timur yang tertinggi pada hari Minggu dengan rata-rata yaitu 1344 kejadian dan yang terendah pada hari Senin 2024 dengan rata-rata yaitu 913 kejadian.

Berdasarkan Tabel 6, perhitungan total frekuensi bobot hambatan samping yang terjadi selama 1 minggu, maka bobot terbesar pada arah Timur-Barat

terdapat pada hari Minggu/3 November 2024 yaitu 969 kejadian/100/jam. Kemudian pada arah Barat-Timur bobot terbesar terdapat pada hari Minggu/3 November 2024 yaitu 882,9 kejadian/100/jam.

Tabel 6. Bobot Frekuensi Hambatan Samping

Waktu	Timur-Barat				Total Bobot Frekuensi
	PED	PSV	EEV	SMV	
	*0,5	*1	*0,7	*0,4	
Senin	123	222	150,4	91,9	587,3
Selasa	109	257	165,7	95	626,7
Rabu	117	237	157,5	93,6	605,1
Kamis	118	233	164,8	93,3	609,1
Jumat	115	280	152,6	90,6	638,2
Sabtu	165	295	216,7	115,8	792,5
Minggu	192	395	264,1	117,9	969

Waktu	Timur-Barat				Total Bobot Frekuensi
	PED	PSV	EEV	SMV	
	*0,5	*1	*0,7	*0,4	
Senin	115	223	166,1	89,3	593,4
Selasa	116	227	180,6	89	612,6
Rabu	113	233	167,3	91,9	605,2
Kamis	122	239	165,4	94,5	620,9
Jumat	112	233	169,8	114,2	629
Sabtu	152	295	216	120,3	783,3
Minggu	174	348	237,4	123,5	882,9

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Kategori Kelas Hambatan Samping (KHS) pada Tabel 7, menunjukkan bahwa lalu lintas di Ruas Jalan Zaenal Zakse selama 1 minggu tergolong sangat tinggi.

Tabel 7. Kelas Hambatan Samping (KHS)

Waktu	Total Bobot Frekuensi		Total	KHS
	Timur-Barat	Barat-Timur		
Senin	587,3	593,0	1180,3	ST
Selasa	626,7	612,6	1239,3	ST
Rabu	604,9	605,3	1210,1	ST
Kamis	608,8	620,8	1229,5	ST
Jumat	638,6	628,4	1266,9	ST
Sabtu	792,5	782,8	1575,3	ST
Minggu	968,7	883,2	1851,9	ST

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

4. Kapasitas Jalan

Hasil analisis kapasitas didapat dari persamaan perhitungan kapasitas yang ada pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia.

Tabel 8. Kapasitas Jalan Ruas Jalan Zaenal Zakse

Waktu	Kapasitas Jalan					
	Co	FC _{LJ}	FC _{PA}	FC _{HS}	FC _{UK}	C
Senin	2800	1,34	1	0,83	0,94	2940,5
Selasa	2800	1,34	1	0,83	0,94	2940,5
Rabu	2800	1,34	1	0,83	0,94	2940,5
Kamis	2800	1,34	1	0,83	0,94	2940,5
Jumat	2800	1,34	1	0,83	0,94	2940,5

Waktu	Kapasitas Jalan					
	C _O	FC _{LJ}	FC _{PA}	FC _{HS}	FC _{UK}	C
Sabtu	2800	1,34	1	0,82	0,94	2878,8
Minggu	2800	1,34	1	0,80	0,94	2817,1

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

5. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan yang terjadi pada Ruas Jalan Zaenal Zakse yang tertinggi adalah pada hari Minggu yaitu 0.66 dengan kapasitas 2817.1 (C) dan yang terendah pada hari Senin yaitu 0.41 dengan kapasitas 2940.5 (C). Penjabaran lebih jelas terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9. Derajat Kejenuhan

Waktu	Q	C	D _J
Senin	1180.3	2940.5	0.41
Selasa	1239.3	2940.5	0.43
Rabu	1210.1	2940.5	0.42
Kamis	1229.5	2940.5	0.43
Jumat	1266.9	2940.5	0.44
Sabtu	1575.3	2878.8	0.56
Minggu	1851.9	2817.1	0.66

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

6. Tingkat Pelayanan

Hasil perhitungan tingkat pelayanan selama 1 minggu di Ruas Jalan Zaenal Zakse dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Tingkat pelayanan atau LOS/hari

Waktu	Q	C	D _J	LOS
Senin	1180.3	2940.5	0.41	B
Selasa	1239.3	2940.5	0.43	B
Rabu	1210.1	2940.5	0.42	B
Kamis	1229.5	2940.5	0.43	B
Jumat	1266.9	2940.5	0.44	B
Sabtu	1575.3	2878.8	0.56	C
Minggu	1851.9	2817.1	0.66	C

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Dari hasil rekapitulasi Tabel 10, diperoleh tingkat pelayanan atau LOS yang tertinggi yaitu pada hari minggu yaitu C dengan derajat kejenuhan 0.66 dan yang terendah pada hari senin yaitu B dengan derajat kejenuhan 0.41.

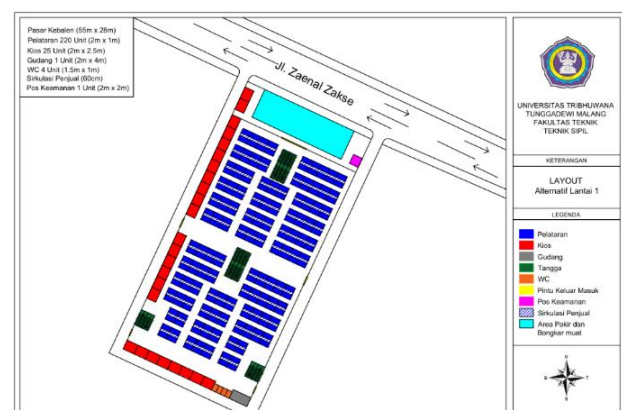
Dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas Pasar Kebalen dapat dilihat dari hasil perhitungan derajat kejenuhan rata-rata tertinggi yang terjadi pada hari Minggu, 3 November 2024 pukul 06:00-07:00 dengan nilai sebesar 1,16, termasuk kedalam tingkat pelayanan F dengan kriteria arus tertahan/macet dan yang terendah terjadi pada hari Rabu/30 Oktober 2024 sebesar 0.73 termasuk kedalam tingkat pelayanan C dengan kriteria arus stabil. Sehingga dapat di ketahui bahwa kinerja Ruas Jalan Zaenal Zakse mengalami penurunan kinerja akibat adanya aktivitas Pasar Kebalen. Dampak lalu lintas yang terjadi pada Ruas Jalan Zaenal Zakse di kawasan

Pasar Kebalen dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut:

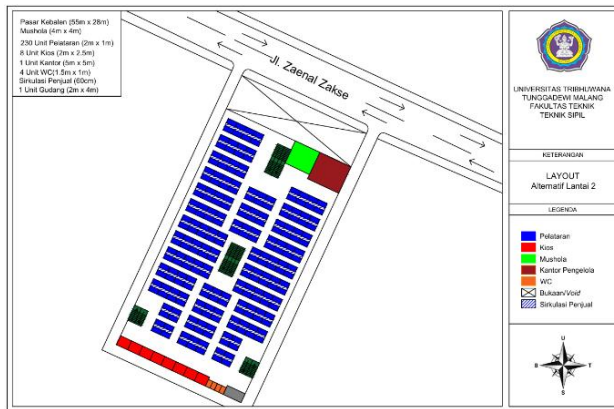
- Pedagang kaki lima sangat mengganggu arus lalu lintas dikarenakan para pedagang tersebut berjualan di badan jalan dan menyebabkan lebar efektif jalan semakin berkurang.
- Pejalan kaki juga mengganggu arus lalu lintas karena mereka berjalan di badan jalan dan juga ada yang menyeberang untuk masuk kedalam Pasar Kebalen sehingga menyebabkan antrean kendaraan yang melewati Pasar Kebalen.
- Kendaraan yang parkir di badan jalan yang sangat mengganggu arus lalu lintas di depan Pasar Kebalen. Terjadi kemacetan akibat hambatan samping yang tergolong tinggi yaitu dikarenakan pada kawasan Pasar Kebalen di dominasi sepeda motor pengunjung pasar yang parkir pada badan jalan sehingga mempersempit lebar badan jalan.
- Kendaraan yang keluar masuk Pasar Kebalen juga dapat menyebabkan terjadinya Andalalin di sekitar kawasan Pasar Kebalen karena adanya antrean kendaraan yang akan masuk ke dalam pasar untuk memarkirkan kendaraannya.

C. Upaya Peningkatan Kinerja Ruas Jalan

Dasar peningkatan atau penanganan peningkatan kinerja ruas Jalan Zaenal Zakse mengacu pada peraturan penyelenggaraan bidang perdagangan (Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 29 Tentang Penyelenggaraan Bidang Perdagangan, 2021). Maka, diperlukan adanya perbaikan untuk mengatasi masalah yang terjadi pada Ruas Jalan Zaenal Zakse. Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan alternatif layout penataan Pasar Kebalen sesuai SNI Pasar Rakyat 2021 (Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia, 2023).



Gambar 3. Layout Alternatif Penataan Pasar Kebalen Lantai 1



Gambar 4. Layout Alternatif Penataan Pasar Kebalen Lantai 2

KESIMPULAN

Kondisi eksisting pada Ruas Jalan Zaenal Zakse memiliki lebar 8 meter, 2 lajur 2 arah tanpa median atau tak terbagi (2/2 TT) dengan lebar bahu jalan 1 meter dan panjang jalan ± 350 meter. Dampak lalu lintas akibat adanya aktivitas Pasar Kebalen berdampak buruk pada kinerja Ruas Jalan Zaenal Zakse dengan parameter tingkat pelayanan D dengan kriteria mendekati arus tidak stabil. Dapat dilihat dari hambatan samping dengan total frekuensi kejadian yang tertinggi pada saat pasar beroperasi yaitu pada hari Minggu/3 November 2024 jam 06:00-07:00 yaitu 3228.4 kejadian dengan kelas hambatan samping yaitu Sangat Tinggi (ST). Sehingga dapat diketahui bahwa aktivitas Pasar Kebalen berdampak buruk pada kinerja Ruas Jalan Zaenal Zakse.

Upaya peningkatan kinerja ruas jalan dilakukan dengan merancang alternatif penataan ulang Pasar Kebalen. Berdasarkan hasil perhitungan, penataan ulang ini dapat mengurangi hambatan samping, khususnya pedagang kaki lima yang sebelumnya berdagang di sekitar Ruas Jalan Pasar Kebalen dapat diakomodasi di dalam area Pasar Kebalen yang telah ditata ulang. Hasil perhitungan kinerja jalan setelah dilakukan penataan menunjukkan perbaikan signifikan, dimana derajat kejenuhan menurun dari 1,16 (kondisi eksisting dengan aktivitas pasar) menjadi 0,77 (kondisi setelah penataan pasar), sehingga tingkat pelayanan meningkat dari LOS F menjadi LOS C.

REFERENSI

Abadiyah, S., Safitri, R. A., & Shofi'i, M. (2023). Analisa Pengaruh Aktivitas Pasar Terhadap Kinerja Ruas Jalan (Studi Kasus: Jalan Raya Serang – Pasar Cikupa). *Structure (Jurnal Sipil)*, 4(1), 9–18.
<https://doi.org/10.31000/civil.v4i1.8041>

Creswell, J. W. (2018). *Research Design*

Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. SAGE Publications, Inc.

Loe, H. M., Suraji, A., & Cakrawala, M. (2021). Analisis kemacetan lalu lintas pada Pasar Tumpah jl. Zainal Zakse Kota Malang. *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 1(2), 11–20.
<https://doi.org/10.31328/bouwplank.v1i2.219>

Murdiaman, J., Abadiyah, S., & Maulana, A. (2022). Analisa Dampak Lalu Lintas Akibat Adanya Pasar Tradisional Dikawasan Legok Kabupaten Tangerang Terhadap Kinerja Ruas Jalan. *Structure Teknik Sipil*, 4(1), 19–25.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31000/civil.v4i1.8042>

Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) (2023).
<https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/09pbm2023-pedoman-kapasitas-jalan-indonesia->

Peraturan Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia Nomor 2 Tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 4 Tahun 2020 Tentang Skema Penilaian Kesesuaian Terhadap Standar Nasional Indonesia Sektor Jasa, Pub. L. No. 2 (2023).
[https://peraturan.bpk.go.id/Download/318741/2 th 2023.pdf](https://peraturan.bpk.go.id/Download/318741/2%20th%202023.pdf)

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 17 Tentang Penyelenggaraan Analisis Dampak Lalu Lintas, Pub. L. No. 17 (2021).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/284234/permenhub-no-17-tahun-2021>

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas (2015).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/103494/permenhub-no-96-tahun-2015>

Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 29 Tentang Penyelenggaraan Bidang Perdagangan, Pub. L. No. 29 (2021).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/161870/pp-no-29-tahun-2021>

Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung.

Undang-Undang (UU) No.38 Tentang Jalan, Pub. L. No. 38 (2004).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/40785/uu-no-38-tahun-2004>.

Sebaran Perjalanan Bus Berdasarkan Asal Tujuan Penumpang Terminal di Kota Surabaya untuk Pergerakan Perjalanan di Wilayah Jawa Timur

Distribution of Bus Trips Based on Origin and Destination of Terminal Passengers in Surabaya City for Travel Movement in East Java Region

R. Endro Wibisono¹, Kusuma Refa Haratama²

¹Prodi D4 Transportasi, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. Email : endrowibisono@unesa.ac.id

²Prodi D4 Transportasi, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. Email : kusumaharatama@unesa.ac.id

Abstrak

Pada transportasi darat, terminal menjadi bagian dari jaringan pelayanan transportasi sebagai simpul dari suatu rangkaian jaringan transportasi darat di tiap kota. Laju perjalanan yang tinggi oleh kendaraan umum seperti bus yang tidak diimbangi pengaturan lalu lintas yang baik akan menimbulkan permasalahan seperti kemacetan. Tujuan penelitian untuk mengetahui pola pergerakan perjalanan (*Trip Distribution*) penumpang bus di beberapa wilayah di Jawa Timur dalam suatu Matrik Asal Tujuan (MAT) dengan menggunakan Metode Sintetis yaitu Model Gravity Unconstrained. Alternatif metode untuk mengkalibrasi parameter dalam model gravity yakni α dan β , yang merupakan parameter fungsi hambatan (aksesibilitas) antar zona $F(C_{id})$. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menggunakan media aplikasi *Google Earth* untuk mengukur jarak antar kota satu dengan kota lain. Hasil perhitungan diperoleh nilai Alpha (α) 5.82 dan *R Square* terbaik 0.0917 dengan $y = 13.682x$ untuk MAT Power dan nilai Beta (β) 0.0098 dan nilai *R Square* terbaik 0,0635 dengan $y = 1E - 10x$ untuk MAT Ekponensial. Sehingga didapatkan rumus permodelan sebaran untuk penumpang bus zona Jawa Timur $T_{ij} = 1 \cdot -10^{10} \cdot P_i \cdot E_j \cdot \exp(0.0098 \cdot C_{ij})$.

Kata Kunci: Bus; Matrik Asal Tujuan; Model Gravity; Terminal; *Trip Distribution*.

Abstract

In land transportation, the terminal is part of the transportation service network as a node of a series of land transportation networks in each city. High travel rates by public vehicles such as buses that are not matched by good traffic arrangements will cause problems such as congestion. The study was conducted to determine the pattern of travel movements (Trip Distribution) of bus passengers in several regions in East Java in an Origin-Destination Matrix (MAT) using the Synthetic Method, namely the Unconstrained Gravity Model. Alternative methods for calibrating parameters in the gravity model are α and β , which are parameters of the barrier function (accessibility) between zones $F(C_{id})$. The approach used in this research is a quantitative descriptive approach using the Google Earth application media to measure the distance between one city and another. The results obtained Alpha (α) value of 5.82 and the best R Square of 0.0917 with $y = 13.682x$ for MAT Power and Beta (β) value of 0.0098 and the best R Square value of 0.0635 with $y = 1E - 10x$. The distribution modeling formula for East Java zone bus passengers $T_{ij} = 1 \cdot -10^{10} \cdot P_i \cdot E_j \cdot \exp(0.0098 \cdot C_{ij})$.

Keywords: Bus; Origin-Destination Matrix; Gravity Model; Terminal; *Trip Distribution*.

PENDAHULUAN

Transportasi diartikan sebagai perpindahan barang dan manusia dari tempat asal ke tempat tujuan, serta transportasi atau perangkutan juga merupakan bagian kegiatan ekonomi yang bersangkutan paut dengan pemenuhan kebutuhan manusia dengan cara mengubah letak geografis barang atau orang (Cesar, Costa, and

Oktaviyanti 2015). Perencanaan transportasi adalah suatu proses yang bertujuan untuk mengembangkan sistem transportasi yang memungkinkan manusia dan barang bergerak atau berpindah tempat dengan dinamis dan tanggap terhadap perubahan tata guna lahan, keadaan ekonomi, dan pola arus lalu lintas. Untuk mengembangkan sistem transportasi yang

memungkinkan manusia dan barang bergerak atau berpindah tempat dengan aman dan murah yang diperlukan adalah memperkirakan jumlah serta lokasi kebutuhan akan transportasi (misalnya total pergerakan, baik untuk angkutan umum maupun angkutan pribadi) pada masa mendatang atau pada tahun rencana yang akan digunakan untuk berbagai kebijakan investasi perencanaan transportasi. (Wakkary.M.Z, 2022).

Prasarana transportasi dijabarkan dalam bentuk jaringan transportasi dan simpul transportasi merupakan sub sistem yang saling berinteraksi dan bekerja secara sinergis dalam menunjang aktivitas transportasi. Pada transportasi darat khususnya transportasi jalan, terminal menjadi bagian dari jaringan pelayanan transportasi sebagai simpul dari suatu rangkaian jaringan transportasi jalan (Nursetyo 2016). Permasalahan transportasi akan timbul jika kebutuhan sarana dan prasarana transportasi yang digunakan tidak memadai dengan jumlah penumpang yang akan menggunakan jasa transportasi (Saputri, 2018).

Sebagai ibukota Provinsi Jawa Timur, Surabaya menjadi kota metropolitan terbesar kedua setelah Jakarta. Selain itu, Surabaya merupakan salah satu kota paling maju di Provinsi Jawa Timur baik dari segi ekonomi, jasa, industri,, maupun transportasi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik 2021, Kota Surabaya memiliki jumlah penduduk sebanyak 3.158.943 jiwa. Semakin bertambahnya jumlah penduduk di Kota Surabaya memicu aktivitas perpindahan yang semakin tinggi pula, sehingga mengakibatkan pertumbuhan kendaraan pribadi terus meningkat yang kemudian menyebabkan meningkatnya pergerakan perjalanan yang begitu besar (Prayoga, 2022). Peningkatan pergerakan perjalanan dapat meningkatkan arus lalu lintas yang kemudian menimbulkan kemacetan di beberapa titik, sehingga mengakibatkan tidak seimbangnya volume lalu lintas dengan kapasitas ruas jalan tersebut (Wijatmiko 2012). Hal itu dikarenakan kurangnya informasi mengenai kondisi arus lalu lintas, sehingga pengguna jalan sulit untuk memilih dan menentukan rute perjalanan terbaik yang akan dilaluinya.

Dengan terjadinya peristiwa tersebut, maka distribusi pergerakan antar zona perlu diukur untuk mengetahui persebaran pergerakan kendaraan pada daerah tersebut sehingga terciptanya keseimbangan volume lalu lintas dengan kapasitas ruas jalan tersebut. Dengan demikian penelitian berjudul “Analisis Sebaran Perjalanan Bus Berdasarkan Asal Tujuan Penumpang Terminal di Kota Surabaya untuk Pergerakan Perjalanan di Wilayah Jawa Timur” perlu dilakukan. Gambaran pola pergerakan kendaraan atau sebaran perjalanan dapat diketahui dengan membentuk

pergerakan transportasi sebagai suatu matrik asal tujuan (MAT) (Djuniati 2010).

Matrik Asal Tujuan (MAT) adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi besarnya pergerakan antar zona dalam daerah tertentu.

Tabel 1. Matrik Asal Tujuan

To	1	2	3	...	N	O_i
From						
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	·	T_{1N}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	·	T_{2N}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	·	T_{3N}	O_2
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
N	T_{N1}	T_{N2}	T_{N3}	·	T_{Nn}	O_n
D_d	D_1	D_2	D_3	·	D_n	T

Dalam Tabel 1 diatas untuk setiap sel matriks berisi informasi pergerakan antar zona. Sel dari setiap baris i berisi informasi mengenai pergerakan mengenai pergerakan yang berasal dari zona i tersebut kesetiap zona tujuan d.

Keterangan (Manoppo et al. 2011) :

T_{id} = Pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan d

O_i = Jumlah pergerakan yang berasal dari zone i

D_d = Jumlah pergerakan menuju zone tujuan d

T = Total matriks

Salah satu cara untuk membentuk MAT adalah dengan model gravity. Model gravity ini mempunyai ciri bangkitan dan tarikan pergerakan berkaitan dengan beberapa parameter zona asal, misalnya populasi dan nilai MAT yang berkaitan dengan fungsi waktu, jarak, dan biaya. Menurut Tamin (1997), bentuk umum dari gravity model adalah :

$$T_{id} = O_i \cdot D_d \cdot A_i \cdot B_d \cdot F(C_{id}) \dots\dots\dots [1]$$

Dengan nilai :

$$A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d \cdot D_d \cdot f_{id})} \dots\dots\dots [2]$$

$$B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i \cdot O_i \cdot f_{id})} \dots\dots\dots [3]$$

Fungsi hambatan digunakan untuk mengkalibrasi parameter – parameter dari Model Gravity sehingga perbedaan antara distribusi pergerakan yang dihitung dari hasil model (T_{id} -model) dengan distribusi pergerakan yang diperoleh dari data pengamatan (T_{id} -data) memberikan harga yang minimum. Ada tiga bentuk metode analisis regresi yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi Model Gravity, yaitu :

$$F_{id} = \exp(-\beta \cdot C_{id}) \dots\dots\dots [4]$$

$$F_{id} = \exp(-\beta \cdot \log \log e \cdot C_{id}) \dots\dots\dots [5]$$

$$F_{id} = \exp(-\beta \cdot \log \log e \cdot C_{id} - \beta \cdot C_{id}) \dots\dots\dots [6]$$

Dengan :

β = parameter dari model yang belum diketahui yang harus dikalibrasi

C_{id} = fungsi jarak atau waktu atau biaya perjalanan

Menurut Tamin (1997), nilai R^2 dapat dicari dengan menggunakan perumusan metode Hyman (1969). Perumusan nilai R^2 ini dipilih sehingga biaya rata – rata perjalanan yang didapat dari pengamatan sama dengan yang dihasilkan dalam proses pemodelan.

Batasan masalah pada penelitian ini hanya menggunakan data penumpang bus zona Jawa Timur, analisis hasil pada penelitian ini hanya menggunakan Model UCGR (*UnConstrained Gravity*) dan hanya mengambil data penduduk dan PDRB dari Badan Pusat Statistik tahun 2016 – 2020.

METODE

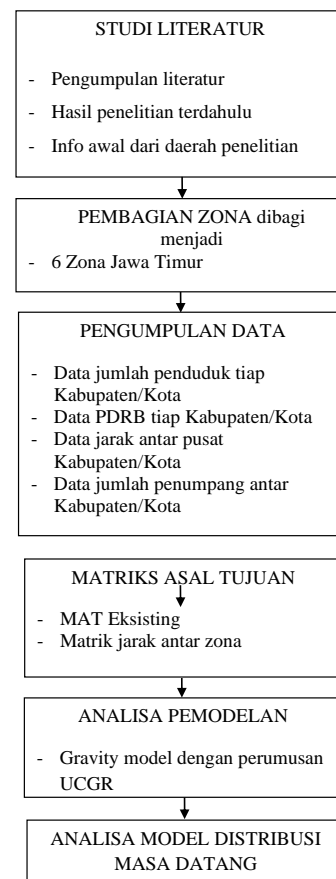
Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan cara pengumpulan data sekunder. Data yang diperoleh didapat dari referensi tertentu atau literatur-literatur yang berkaitan dengan sebaran perjalanan terminal. Pengumpulan data sekunder bertujuan untuk mengetahui sebaran perjalanan terminal di kota Surabaya untuk pergerakan perjalanan di wilayah Jawa Timur.

Penelitian dilakukan di berbagai wilayah di Jawa Timur. Penelitian ini terdapat satu zona, yakni zona Jawa Timur. Zona Jawa Timur adalah Kabupaten/Kota Propinsi Jawa Timur yang diukur jarak nya dari satu Kabupaten/Kota ke yang lain. Jarak diukur dari titik tengah suatu Kabupaten/Kota.

Tabel 2. Zona Jawa Timur

No	Zona Jawa Timur
1	Madura
2	Surabaya
3	Banyuwangi-Probolinggo
4	Sidoarjo-Mojokerto
5	Malang-Batu
6	Blitar-Tulungagung-Probolinggo-Bojonegoro-Kediri

Pendekatan yang digunakan dalam penyusunan tulisan ini yaitu pendekatan deskriptif kuantitatif. Untuk pengukuran jarak menggunakan Software *Google Earth*. Pengamatan dilakukan pada zona Jawa Timur. Penentuan zona Jawa Timur dibagi menjadi 6 bagian seperti pada Tabel 2. Dengan demikian dapat dilihat pergerakan pada beberapa Kabupaten/Kota tersebut apakah cukup berpengaruh terhadap sebaran penumpang Bus Antar Kota dan Kabupaten. Hal tersebut dapat dilihat hasilnya dalam MAT eksisting.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model UCGR mempunyai satu batasan yaitu total pergerakan yang dihasilkan harus sama dengan total pergerakan yang telah diperkirakan pada tahap bangkitan pergerakan. Model yang didapat tidak harus menghasilkan total yang sama dengan total pergerakan dari zona ke zona yang diperkirakan pada bangkitan pergerakan. Pada Tabel 3 ditunjukkan data penumpang dari asal-tujuan setiap zona, sedangkan pada Tabel 4 ditunjukkan data jarak antar zona yang dibutuhkan. Data lain yang dibutuhkan yaitu data penduduk dan PDRB masing-masing zona, pada Tabel 5 ditunjukkan data penduduk dan PDRB masing-masing zona.

Tabel 3. Data Penumpang Bus Zona Jawa Timur

OD Data Bus	1	2	3	4	5	6
MDR 1		16	6	3	5	2
SBY 2	16		200		284	237
BWI - PRB 3	10	71		5		
SDA - MJK 4			50			50
MLG - BTU 5	10	196				
BI - TL - PO -BO - KDR	10	170				

Tabel 4. Data Jarak Antar Zona Jawa Timur (km)

OD Data Bus	1	2	3	4	5	6
MDR 1		67.3	211.	95.3	14	191.
SBY 2	67.3		158.		77.	
BWI - PRB 3	211.	158.7		144.		
SDA - MJK 4	2	8		75		136.
MLG - BTU 5			144.			74
BI - TL - PO - BO - KDR	191.	117.4				
	87	66				

Data jarak antar zona di dapat dari pengukuran yang dilakukan pada web aplikasi google earth. Pengambilan titik dilakukan dengan memperkirakan dimana titik tengah atau daerah yang bisa diambil titik tarik atau titik perwakilan setiap zona.

Tabel 5. Data Penduduk dan PDRB Zona Jawa Timur

OD Data Bus	Penduduk	PDRB
MDR 1	979249	22118
SBY 2	2878634	379497
BWI - PRB 3	1014338	39380
SDA - MJK 4	1148568	1794889
MLG - BTU 5	1221386	58725
BI - TL - PO - BO - KDR	896791	41026

Data populasi dan data PDRB kita dapatkan dari Badan Pusat Statistik wilayah masing- masing yang termasuk dalam zona. data yang diambil 5 tahun kebelakang, yaitu dimulai dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2020.

Permodelan Bus Zona Jawa Timur

Tabel 6. Gravity Eksponensial Faktor R^2 Parameter Jarak

Beta (β)	R^2
0.063	0.1001

Pada Tabel 6 R Square MAT Eksponensial menunjukkan nilai R Square terbaik 0,1001 dengan $y = 2E - 08x$

Tabel 7. Gravity Power Faktor R^2 Parameter Jarak

Alpha (α)	R^2
4.7	0.0967

Pada Tabel 7 R Square MAT Power menunjukkan nilai R Square terbaik 0.0967 dengan $y = 0.1087x$.

MAT Model Eksponensial

Pembentukan sebaran penumpang matrik asal tujuan (MAT) telah dibentuk dan ditabelkan pada aplikasi *Microsoft excel*, tahapan selanjutnya rekapitulasi sampel penumpang dalam satu tahun yang

di dapat dari hasil perkalian jarak dengan beta nya. MAT Model merupakan salah satu langkah dari pengerjaan MAT Eksponensial, pada Tabel 8 ditunjukkan MAT Model yang didapatkan dari MAT Eksponensial.

Tabel 8. MAT Eksponensial Empiris Bus Zona Jawa Timur

	1	2	3	4	5	6
1		1.07E+02	1.28E-03	8.66E+01	1.24E-01	4.52E-03
2	1.83E+01		1.03E-01		2.55E+01	1.44E+00
3	7.47E-04	3.48E-01		3.99E+00		
4			9.90E-02			1.71E-01
5	5.83E-02	6.98E+01				
6	2.23E-03	4.16E+00				

MAT Model Power

Pembentukan sebaran penumpang matrik asal tujuan (MAT) telah dibentuk dan ditabelkan pada aplikasi *Microsoft excel*, tahapan selanjutnya rekapitulasi sampel penumpang dalam satu tahun yang di dapat dari hasil jarak yang dipangkat oleh alfa nya. MAT Empiris merupakan salah satu langkah dari pengerjaan MAT Power, pada Tabel 9 ditunjukkan MAT Empiris yang didapatkan dari MAT Power.

Tabel 9. MAT Power Empiris Bus Zona Jawa Timur

	1	2	3	4	5	6
1		1.03E+02	4.97E-02	9.52E+01	4.34E-01	8.13E-02
2	1.77E+01		5.58E-01		2.41E+01	2.40E+00
3	2.89E-02	1.90E+00		1.39E+01		
4			3.44E-01			4.69E-01
5	2.04E-01	6.61E+01				
6	4.01E-02	6.91E+00				

Sum Square of Error

Percobaan *trial and error* yang telah dilakukan pada *Microsoft excel* sebelumnya. Pengambilan hasil percobaan *trial and error* dipilih dengan hasil R square terbaik. Langkah selanjutnya membandingkan hasil *sum square of error* antara *sheet* MAT Eksponensial dengan *sheet* MAT Power. R square terbaik sudah dipilih dan ditunjukkan pada Tabel 8 untuk R square MAT Eksponensial dan Tabel 9 untuk R square MAT Power. R Square terpilih dapat dihitung hasil SSE nya, Tabel 10 menunjukkan *Sum Square of Error* MAT

Ekspensial dan Tabel 8 *Sum Square of Error* MAT Power.

Tabel 10. *Sum Square of Error* MAT Ekspensial

Asal	Tujuan	MAT Empiris	MAT Survei	SE
1	1			
	2	1.07E+02	1.60E+01	8.30E+03
	3	1.28E-03	6.00E+00	3.60E+01
	4	8.66E+01	3.00E+00	6.99E+03
	5	1.24E-01	5.00E+00	2.38E+01
	6	4.52E-03	2.00E+00	3.98E+00
2	1	1.83E+01	8.10E+01	3.93E+03
	2			0.00E+00
	3	1.03E-01	2.00E+02	
	4			
	5	2.55E+01	2.84E+02	6.68E+04
	6	1.44E+00	2.37E+02	5.55E+04
3	1	7.47E-04	1.00E+01	1.00E+02
	2	3.48E-01	7.10E+01	4.99E+03
	3			
	4	3.99E+00	5.00E+00	1.02E+00
	5			
	6			
4	1			
	2			
	3	9.90E-02	5.00E+01	2.49E+03
	4			
	5			
	6	1.71E-01	5.00E+01	2.48E+03
5	1	5.83E-02	1.00E+01	9.88E+01
	2	6.98E+01	1.96E+02	1.59E+04
	3			
	4			
	5			
	6			
6	1	2.23E-03	1.00E+01	1.00E+02
	2	4.16E+00	1.70E+02	2.75E+04
	3			
	4			
	5			
	6			
SSE				195,302.31

Tabel 11. *Sum Square of Error* MAT Power

Asal	Tujuan	MAT Empiris	MAT Survei	SE
1	1			
	2	1.03E+02	1.60E+01	7.64E+03
	3	4.97E-02	6.00E+00	3.54E+01
	4	9.52E+01	3.00E+00	8.51E+03
	5	4.34E-01	5.00E+00	2.08E+01
	6	8.13E-02	2.00E+00	3.68E+00
2	1	1.77E+01	8.10E+01	4.00E+03
	2			
	3	5.58E-01	2.00E+02	3.98E+04
	4			
	5	2.41E+01	2.84E+02	6.76E+04
	6	2.40E+00	2.37E+02	5.50E+04
3	1	2.89E-02	1.00E+01	9.94E+01
	2	1.90E+00	7.10E+01	4.78E+03
	3			
	4	1.39E+01	5.00E+00	7.84E+01
	5			
	6			
4	1			
	2			
	3	3.44E-01	5.00E+01	2.47E+03
	4			
	5			
	6	4.69E-01	5.00E+01	2.45E+03
5	1	2.04E-01	1.00E+01	9.60E+01
	2	6.61E+01	1.96E+02	1.69E+04

3				
4				
5				
6				
6	1	4.01E-02	1.00E+01	
	2	6.91E+00	1.70E+02	2.66E+04
3				
4				
5				
6				
SSE				236031.80

Hasil dari perbandingan, akan ditemukan nilai SSE yang lebih kecil antara MAT Ekspensial dengan MAT Power. MAT Ekspensial terlihat lebih kecil nilai *sum square of error* pada tabel dibandingkan nilai MAT Power.

KESIMPULAN

Model sebaran untuk penumpang Bus zona Jawa Timur menggunakan fungsi hambatan ekspensial berupa jarak dengan parameter populasi penduduk dan PDRB asumsi, dengan nilai Beta (β) sebesar 0.063. Sehingga rumus pemodelannya adalah:

$$T_{ij} = 2 \cdot 10^{-8} \cdot P_i \cdot E_j \cdot \exp(0.063 \cdot C_{ij}) \dots \dots \dots [7]$$

Dimana :

P_i = Parameter populasi penduduk zona asal

E_j = Parameter ekonomi zona tujuan (PDRB)

C_{ij} = Jarak antar zona asal dan tujuan

REFERENSI

- Cesar, Manuel, Rui Costa, and Mega Oktaviyanti. 2015. "Trip Distribution Di Kota Pangkalpinang." (22117142).
- Djuniati, S. 2010. "Formulasi Model Gravity Penyebaran Perjalanan Penumpang." 85–96.
- Lumy, Denny George et al. 2018. "Jurnal Pembangunan Ekonomi Dan Keuangan Daerah Vol.19 No.2 (2018)." 19(2):1–16.
- Manoppo, Mecky R. E. et al. 2011. "PERJALANAN DI KOTA MANADO." 1(1):17–23.
- Nursetyo, Gatot. 2016. "Kajian Manajemen Sirkulasi Terminal Bus (Studi Kasus : Terminal Bus Tirtonadi Surakarta)." *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur* 18(22):1–7.
- Wakkary.M.Z, 2012 Perencanaan, Untuk and Dan

- Pengembangan. 2022. "40318-86942-1-Sm." 20(April):67–74.
- Prayoga, M.Rama Kukuh. 2022. "PERENCANAAN JARINGAN TRAYEK SUROBOYO BUS SURABAYA."
- Saputri, R. G. 2018. *Evaluasi Kinerja Trayek Bus Kota Surabaya (Rute Bungurasih-Perak)*.
- Wijatmiko, T. 2012. "Analisis Trip Distribution Dan Trip Assignment Pada Jalan Arteri Relokasi Porong Sidoarjo."
- Yarzuna, Noor Robi. 2019. "Permodelan Sistem Administrasi Kependudukan Di Kelurahan Bedingin Dengan Menggunakan PHP & MYSQL." 1–17.

Analisis Kapasitas Rumah Pompa Pulo Pancikan dalam Upaya Pengendalian Banjir di Kabupaten Gresik

Analysis of the Pumping Capacity of Pulo Pancikan Pump House for Flood Control in Gresik Regency

Anna Rosytha¹, Dayat Indri Yuliasuti², Arifien Nursandah¹, Mochamad Ismianto¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Jln. Suotorejo No. 59 Surabaya. Telp: [\(031\) 3811966](tel:0313811966).

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo, Jl. Semolowaru No.84, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60118. Telp. [\(031\) 5925970](tel:0315925970)
Email : anna.rosytha@ft.um-surabaya.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis kapasitas rumah pompa Pulo Pancikan dalam upaya pengendalian banjir di Kabupaten Gresik. Kawasan ini sering mengalami genangan akibat tingginya curah hujan, pendangkalan saluran, dan pengaruh pasang surut air laut. Metode penelitian menggunakan analisis hidrologi dan hidrolika dengan data curah hujan maksimum harian dari tiga stasiun klimatologi (Tambak Ombo, Bunder, dan Cerme) selama periode 2014–2023. Analisis distribusi curah hujan dilakukan menggunakan metode, yaitu Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III. Berdasarkan hasil uji Smirnov–Kolmogorov dan Chi-Square, distribusi Log Pearson Type III dipilih sebagai model paling sesuai. Debit banjir rencana dihitung menggunakan Metode Rasional dengan hasil sebesar 23,654 m³/det untuk kala ulang 10 tahun. Kapasitas pompa yang direncanakan sebesar 4,25 m³/det terdiri dari tiga pompa utama dan satu pompa lumpur, nilai ini dihitung cukup untuk menangani volume limpasan genangan dalam waktu operasional dua jam. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem rumah pompa Pulo Pancikan mampu mengurangi genangan secara signifikan jika dioperasikan secara bertahap. Namun, kapasitas saluran eksisting masih perlu ditingkatkan agar mampu menampung debit kombinasi antara aliran hujan dan buangan pompa.

Kata Kunci: Banjir; Sistem Drainase; Log Pearson Type III ; Rumah Pompa, Hujan

Abstract

The study analyze the pumping capacity of the Pulo Pancikan Pump House in flood control efforts in Gresik Regency, Indonesia. The area frequently experiences inundation due to high rainfall, sedimentation, and tidal backflow¹³. The research applied hydrological and hydraulic analyses using maximum daily rainfall data from three climatology stations (Tambak Ombo, Bunder, and Cerme) for the period 2014–2023. Rainfall frequency analysis was conducted usings: Gumbel, Normal, Log Normal, and Log Pearson Type II⁵. Based on the Smirnov–Kolmogorov and Chi-Square goodness-of-fit tests, the Log Pearson Type III distribution was selected as the most appropriate model. The design flood discharge was determined using the Rational Method, yielding 23.654 m³ for a 10-year return period. The planned pumping capacity is 4.25 m³/s, consisting of three main pumps and one sludge pump, which is considered sufficient to manage the runoff volume within a two-hour operating time. Evaluation results indicate the Pulo Pancikan pump system effectively reduces inundation when operated in stages. However, the existing drainage channel capacity needs improvement to accommodate combined flows from rainfall and pump discharge.

Keywords: Drainage system; Flood; Log Pearson Type III; Pump house; Rainfall

PENDAHULUAN

Kabupaten Gresik memiliki kondisi topografi yang bervariasi, dari kawasan berbukit hingga pesisir rendah yang dipengaruhi pasang surut laut. Perbedaan ini mengakibatkan aliran drainase tidak optimal, khususnya di daerah hilir yang sering mengalami genangan banjir. Permasalahan diperparah oleh perkembangan permukiman yang tidak teratur, kepadatan bangunan tinggi, sistem drainase yang buruk, dan pengelolaan sampah yang tidak memadai, sehingga banyak kawasan dikategorikan kumuh. Salah satu wilayah terdampak adalah Kelurahan Pulopancikan, dengan tingkat genangan mencapai lebih dari 90%. Kondisi saluran primer Tlogodendo yang dangkal, penuh sedimen, tercemar limbah domestik maupun industri, serta dipengaruhi pasang surut air laut semakin menghambat aliran. Situasi ini menuntut adanya kajian hidrologi untuk mengetahui debit limpasan hujan dan perencanaan ulang sistem drainase, serta pengembangan alternatif pengendalian banjir yang lebih efektif guna meningkatkan ketahanan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat.

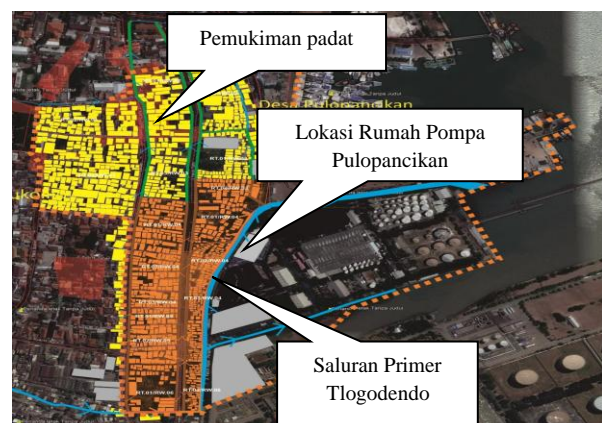
Kondisi faktual di Pulopancikan, yaitu genangan yang mencapai lebih dari 90%, menunjukkan adanya kesenjangan signifikan antara kapasitas infrastruktur drainase eksisting dan debit banjir yang sebenarnya akibat tingginya curah hujan dan pengaruh pasang surut laut. Fenomena ini diperparah oleh urbanisasi yang meningkatkan koefisien limpasan. Kondisi yang diharapkan adalah sistem drainase terpadu yang mampu menampung dan mengendalikan debit limpasan secara efektif. Untuk mengatasi kesenjangan ini, penelitian ini merujuk pada beberapa studi terdahulu : Analisis Hidrologi Ekstrem: Dalam analisis hidrologi, penentuan curah hujan rencana memerlukan distribusi frekuensi yang stabil. Soemarto (1999) dan Soewarno (1995) menegaskan bahwa distribusi Log Pearson Type III seringkali paling sesuai dan realistis untuk analisis hidrologi data ekstrem di Indonesia. Hal ini penting mengingat tren ekstremitas curah hujan yang semakin tinggi di wilayah Jawa Timur; Kapasitas Saluran dan Urbanisasi: Studi oleh Prawira et al. (2020) di Surabaya menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan dapat menurunkan kinerja kapasitas saluran hingga 30% akibat peningkatan koefisien limpasan. Temuan ini menjadi acuan bahwa masalah di Pulopancikan kemungkinan besar serupa dan memerlukan peningkatan dimensi saluran; Optimalisasi Rumah Pompa: Sebagai solusi struktural, kinerja rumah pompa harus optimal. Rahayu dan Hidayat (2019) menemukan bahwa sinkronisasi waktu operasi pompa dengan pola debit banjir dapat meningkatkan efisiensi sistem secara

signifikan. Selain itu, Maidment (1993) menekankan perlunya sistem pemantauan otomatis berbasis sensor untuk keandalan sistem drainase perkotaan.

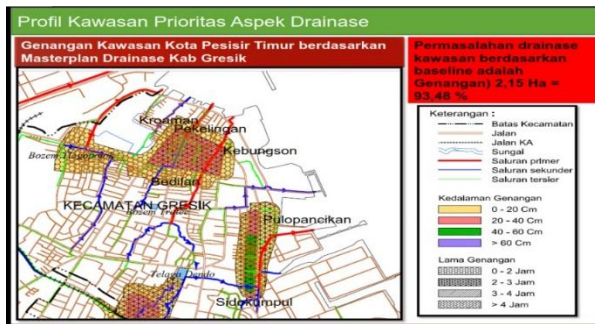
Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan tersebut dengan menghitung debit banjir rencana yang akurat, mengevaluasi kemampuan kapasitas saluran eksisting terhadap debit kombinasi (hujan dan pompa), serta merencanakan kebutuhan kapasitas pompa dan skenario operasional optimalnya.

Berdasarkan permasalahan banjir yang terjadi di kawasan Saluran Primer Tlogodendo, penelitian ini difokuskan pada beberapa hal utama. Pertama, diperlukan analisis terhadap besarnya debit limpasan hujan yang terjadi di kawasan tersebut. Selanjutnya, perlu ditentukan dimensi saluran drainase yang mampu menampung debit limpasan, sehingga dapat diketahui kesesuaian kapasitas saluran yang ada. Selain itu, penelitian ini juga diarahkan untuk merencanakan jumlah dan kapasitas pompa yang dibutuhkan, mengkaji alternatif pengendalian banjir yang paling efektif, serta mengevaluasi struktur rumah pompa yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian ini adalah memperoleh nilai debit limpasan hujan di kawasan Saluran Primer Tlogodendo, menganalisis kebutuhan dimensi saluran drainase, serta merencanakan kapasitas pompa yang diperlukan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi solusi alternatif pengendalian banjir dan melakukan evaluasi terhadap kebutuhan struktur rumah pompa sebagai bagian dari sistem penanganan banjir terpadu.



Gambar 1. Kawasan pemukiman padat dan kumuh di Kelurahan Pulopancikan



Gambar 2. Lokasi Kawasan rawan genangan banjir di sekitar Pulopancikan



Gambar 3. Kondisi saluran Eksisting

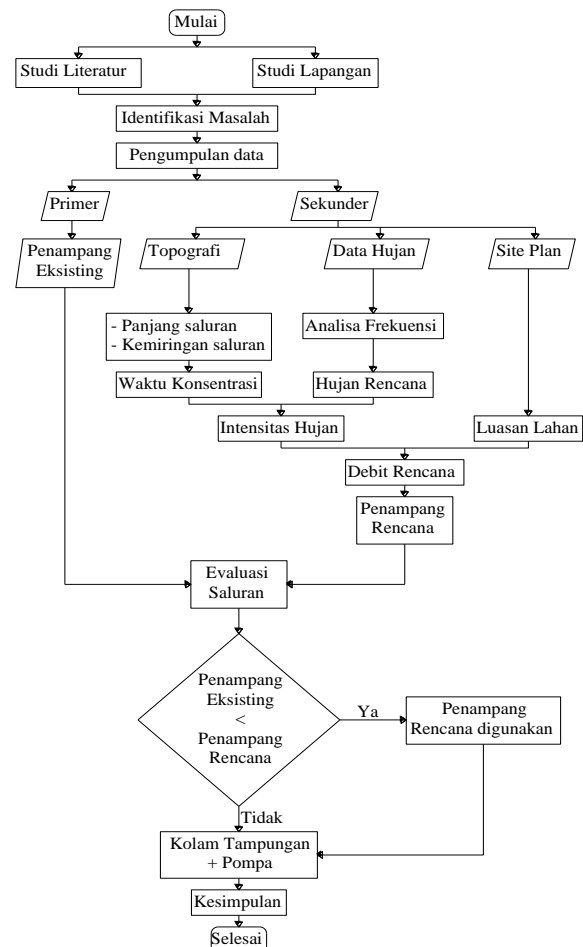
METODE

Metodologi penelitian ini mengacu pada pendekatan hidrologi dan hidraulika yang umum digunakan dalam kajian perencanaan drainase dan pengendalian banjir. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan untuk mengamati kondisi fisik saluran, sedimentasi, pendangkalan, dan struktur rumah pompa. Data sekunder mencakup data curah hujan, peta topografi, serta catatan hidrologi, yang diperoleh dari instansi teknis terkait.

Analisis hidrologi dilakukan untuk menghitung debit limpasan hujan menggunakan metode Rasional (Chow, Maidment & Mays, 1988) dan distribusi hujan periode ulang berdasarkan Gumbel maupun Log Pearson III (Soemarto, 1999; Suripin, 2004). Selanjutnya, analisis hidraulika saluran dilakukan berdasarkan persamaan kontinuitas dan persamaan Manning (Chow, 1959), sehingga diperoleh dimensi saluran yang mampu menampung debit rencana.

Kebutuhan kapasitas pompa ditentukan dengan mempertimbangkan volume limpasan yang harus dikeluarkan dalam periode tertentu, kondisi pasang surut, serta faktor efisiensi pompa (Triatmodjo, 2008). Selain itu, struktur rumah pompa dianalisis berdasarkan standar perencanaan hidroteknik untuk menjamin keandalan operasional. Alternatif solusi pengendalian banjir dikaji melalui pendekatan perencanaan drainase perkotaan (Suripin, 2004) yang menekankan kombinasi antara rekayasa struktural dan non-struktural.

Dengan menggunakan kerangka referensi tersebut, penelitian ini diharapkan menghasilkan analisis yang komprehensif mengenai kebutuhan saluran dan pompa, sekaligus memberikan rekomendasi teknis yang aplikatif dalam pengendalian banjir di kawasan Pulopancikan



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

Data curah hujan maksimum tahunan dari tiga stasiun klimatologi (Tambak Ombo, Bunder, dan Cerme) selama periode 2014–2023 menunjukkan nilai rata-rata sebesar 91,03 mm. Analisis distribusi frekuensi dilakukan untuk menentukan curah hujan rencana dengan menggunakan empat metode statistik, yaitu Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III.

Berdasarkan hasil uji kecocokan menggunakan metode Smirnov–Kolmogorov dan Chi-Square, diperoleh bahwa semua distribusi memenuhi syarat penerimaan, namun distribusi Log Pearson Type III menunjukkan kesesuaian paling baik dengan nilai $\Delta_{maks} = 0,123 < \Delta_{kritis} = 0,5155$. Distribusi ini umumnya memberikan hasil yang

stabil dan realistis untuk analisis hidrologi di daerah tropis dengan variabilitas tinggi (Soemarto, 1999; Soewarno, 1995). Distribusi ini memastikan bahwa perencanaan infrastruktur didasarkan pada besaran curah hujan yang memiliki probabilitas realistis untuk terjadi pada kala ulang tertentu.

Adapun hasil perhitungan curah hujan rencana dari metode Log Pearson Type III adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Perhitungan Curah Hujan Rencana dari metode Log Pearson Type III

Periode Ulang (Tahun)	Curah Hujan (mm)
2	90,254
5	104,182
10	111,802
20	119,691
50	124,297

Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan periode ulang memberikan kenaikan curah hujan rencana yang signifikan. Hal ini menggambarkan tren ekstremitas hujan yang semakin tinggi, sejalan dengan fenomena perubahan iklim yang memengaruhi intensitas hujan lokal (Maidment, 1993; BMKG, 2023).

Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan dihitung menggunakan metode Van Breen, dengan asumsi bahwa durasi hujan efektif di Pulau Jawa berkisar 4–6 jam. Intensitas curah hujan sangat dipengaruhi oleh periode ulang dan lamanya hujan. Perhitungan menunjukkan rentang intensitas antara 18,231 mm/jam untuk kala ulang 2 tahun hingga 31,744 mm/jam untuk kala ulang 100 tahun.

Metode Van Breen dan Mononobe digunakan untuk mendapatkan rasio sebaran hujan jam-jaman. Distribusi ini digunakan sebagai dasar dalam menghitung debit limpasan puncak. Pola sebaran intensitas hujan yang menurun secara eksponensial terhadap waktu menunjukkan bahwa sebagian besar volume hujan terjadi dalam jam-jam awal, sesuai dengan pola hujan monsun di Jawa Timur (Triatmodjo, 2008; Soewarno, 1995).

Rumus Mononobe untuk menghitung hujan jam – jaman

$$R_n = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{t}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots(1)$$

Rumus Rasio Sebaran Hujan :

$$R_t = .RT - (t - 1).(RT - 1) \dots\dots\dots(2)$$

Tabel 2. Rasio Sebaran Hujan Jam-Jaman

T (jam)	RT mm
1	0,550
2	0,347
3	0,265
4	0,218
5	0,188
6	0,167
Total	1,73484

Kondisi daerah aliran disekitar saluran saat ini telah berkembang menjadi kawasan pemukiman cukup padat dan menjadi kawasan pabrik, maka koefisien pengaliran diambil $C = 0,70$.

Tabel 3. Curah Hujan Netto Jam-jaman/curah hujan efektif.

Periode Ulang	Curah Hujan	Koefisien Pengaliran	Rn
T	Rn	C	mm
2	89,16	0,70	62,41
5	105,72	0,70	74,00
10	127,21	0,70	89,04
20	140,82	0,70	98,58
50	89,16	0,70	62,41

Tabel 4. Curah Hujan Netto Jam-jaman/curah hujan efektif.

Periode Ulang	Curah Hujan	Rasio Sebaran Hujan					
T	Rn	0,550	0,143	0,100	0,080	0,067	0,059
2	62,41	34,35	4,91280	0,49295	0,03938	0,00266	0,00016
5	74,00	40,73	5,82546	0,58452	0,04669	0,00315	0,00019
10	81,68	44,95	6,42977	0,64516	0,05154	0,00348	0,00020
20	89,04	49,00	7,00937	0,70331	0,05618	0,00379	0,00022
50	98,58	54,25	7,75965	0,77860	0,06219	0,00420	0,00025

Berdasarkan data kemiringan lahan diketahui :

$$S = \frac{H_t - H_o}{0.9.L} \dots\dots\dots(3)$$

$$S = \frac{14,200 - 11,306}{0.9.2,197} = 0,00146$$

Waktu Konsentrasi untuk daerah pengaliran dapat diuraikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,8.L}{1000.S} \right)^{0.385} \dots\dots\dots(4)$$

$$t_c = \left(\frac{0,8.1,152}{1000.0,0010} \right)^{0,385} = 0,98 \text{ jam}$$

Rumus perhitungan Intensitas Hujan sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (5)$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{90\% \times 81,28}{4} = 18,231 \text{ mm/jam} \\ I_5 &= \frac{90\% \times 81,28}{4} = 21,851 \text{ mm/jam} \\ I_{10} &= \frac{90\% \times 81,28}{4} = 24,249 \text{ mm/jam} \\ I_{20} &= \frac{90\% \times 81,28}{4} = 26,548 \text{ mm/jam} \\ I_{50} &= \frac{90\% \times 81,28}{4} = 29,524 \text{ mm/jam} \\ I_{100} &= \frac{90\% \times 81,28}{4} = 31,744 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana dihitung menggunakan Metode Rasional dengan mempertimbangkan bahwa luas daerah tangkapan (*catchment area*) < 5000 ha. Koefisien limpasan (C) diambil sebesar 0,85 berdasarkan kondisi tata guna lahan yang didominasi kawasan pemukiman padat dan industri. Luas daerah aliran (A) sebesar 4,128 km² dan intensitas hujan (I) disesuaikan dengan periode ulang.

Rumus perhitungan Debit sebagai berikut :

$$Q = 0,278. C. I. A \dots \dots \dots (4)$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana

Periode Ulang (Tahun)	Intensitas Hujan (mm/jam)	Debit Banjir (m ³ /det)
2	18,231	17,783
5	21,851	21,314
10	24,249	23,654
20	26,548	25,896
50	29,524	28,799

Nilai debit banjir rencana periode ulang 10 tahun ($Q_{10} = 23,654 \text{ m}^3/\text{det}$) digunakan sebagai dasar perencanaan kapasitas pompa. Menurut Chow et al. (1988), untuk kawasan perkotaan kecil, kala ulang 10 tahun merupakan standar yang memadai dalam merancang sistem drainase utama, sedangkan untuk kawasan pusat kota dapat digunakan 25 tahun atau lebih.

Kapasitas Rumah Pompa Pulopancikan

Jumlah dan Kapasitas Pompa Banjir Pulopancikan direncanakan berdasarkan debit banjir rencana periode ulang 10 tahun. $Q_{10} = 23,654 \text{ m}^3/\text{dt}$ Volume limpasan air yang jatuh pada daerah aliran saluran pembuang Pulopancikan selama 1 jam

$$V_1 = 23,654 \text{ m}^3/\text{dt} \times 3600 \text{ dt} = 85.154,40 \text{ m}^3$$

Volume air limpasan selama satu jam untuk Q_{10} mencapai $85.154,4 \text{ m}^3$, sedangkan volume tampungan saluran hulu dan bozem sebesar $53.622,08 \text{ m}^3$. Dengan demikian, volume air yang harus dipompa sebesar $31.579,2 \text{ m}^3$. Dengan waktu pemompaan maksimum dua jam (7200 detik), kapasitas pompa yang diperlukan dihitung sebesar $4,386 \text{ m}^3/\text{det}$.

Direncanakan tiga unit pompa banjir ($1,5 \text{ m}^3/\text{det}$; $1,5 \text{ m}^3/\text{det}$; dan $1,0 \text{ m}^3/\text{det}$) serta satu pompa lumpur berkapasitas $0,25 \text{ m}^3/\text{det}$, dengan total kapasitas $4,25 \text{ m}^3/\text{det}$. Hasil perencanaan ini masih berada dalam rentang efisiensi pompa rumah pompa kota kecil sebagaimana ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (1997) dan Shahin (1976).

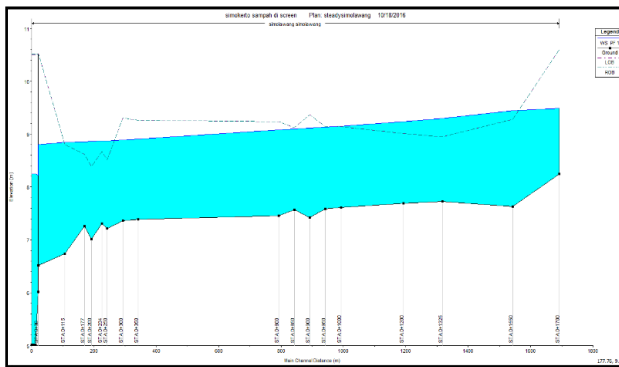
Menurut Maidment (1993), pemilihan jumlah dan kapasitas pompa harus mempertimbangkan waktu operasi, volume genangan, serta keandalan sistem. Oleh karena itu, pompa dirancang dengan operasi bertahap agar sistem tidak mengalami kelebihan debit yang dapat membebani saluran hilir.

Evaluasi Kondisi Saluran Eksisting

Analisis hidrolika menunjukkan bahwa kapasitas saluran Pulopancikan bervariasi antara $4,8$ hingga $14,8 \text{ m}^3/\text{det}$. Beberapa titik seperti STA 1+550, STA 1+325, STA 1+200, dan STA 0+250 mengalami luapan karena debit total ($Q_{\text{banjir}} + Q_{\text{pompa}}$) melebihi kapasitas tampung saluran.

Kondisi tersebut mengindikasikan perlunya peningkatan dimensi saluran dan perbaikan sistem pengendalian. Menurut Soemarto (1999), kemampuan saluran untuk menyalurkan debit tergantung pada kemiringan dasar, kekasaran dinding, serta tingkat sedimentasi. Sedimentasi yang tinggi di bagian hilir mengurangi kapasitas tampung dan menyebabkan backwater effect terhadap operasi pompa.

Fenomena serupa dilaporkan oleh Prawira et al. (2020) di Surabaya, di mana peningkatan koefisien limpasan akibat urbanisasi menyebabkan kapasitas saluran menurun hingga 30%. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi kombinasi antara peningkatan kapasitas fisik saluran dan pengaturan operasi pompa secara adaptif.



Gambar 5. Elevasi Muak Air Saluran Pulo Pancikan

Evaluasi Kinerja Sistem Drainase dan Operasional Pompa

Hasil simulasi routing banjir menunjukkan bahwa sistem rumah pompa Pulo Pancikan mampu menurunkan volume genangan secara signifikan apabila dioperasikan sesuai skenario: tiga pompa bekerja selama satu jam pertama dan satu pompa selama satu jam berikutnya. Setelah jam keempat, debit inflow turun di bawah kapasitas saluran sehingga operasi pompa dapat dihentikan.

Strategi ini sesuai dengan hasil penelitian Rahayu dan Hidayat (2019) yang menyatakan bahwa sinkronisasi waktu operasi pompa dengan pola debit banjir dapat meningkatkan efisiensi hingga 40%. Penggunaan sistem otomatis berbasis sensor curah hujan dan debit sungai juga direkomendasikan untuk meningkatkan respons sistem terhadap kejadian hujan ekstrem (Maidment, 1993).

Kinerja rumah pompa Pulo Pancikan juga sangat dipengaruhi oleh integrasi antara saluran primer dan sekunder. Apabila koordinasi operasional tidak baik, risiko genangan lokal tetap tinggi meskipun kapasitas pompa memadai. Oleh karena itu, optimalisasi desain dan sistem pemeliharaan rutin sangat penting agar sistem bekerja sesuai rencana jangka panjang (Triatmodjo, 2008; Soewarno, 1995).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rumah pompa Pulo Pancikan sudah memiliki kapasitas dasar yang cukup untuk mengendalikan limpasan, tetapi efektivitasnya masih tergantung pada peningkatan kapasitas saluran eksisting dan penerapan sistem operasi cerdas. Hal ini mendukung upaya Pemerintah Kabupaten Gresik dalam membangun sistem pengendalian banjir yang adaptif dan berkelanjutan di wilayah perkotaan pesisir.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan hidrolika yang dilakukan terhadap sistem rumah pompa Pulo Pancikan di Kabupaten Gresik, dapat disimpulkan bahwa kondisi curah hujan maksimum tahunan selama sepuluh tahun terakhir menunjukkan tren peningkatan yang signifikan. Distribusi Log Pearson Type III terbukti paling sesuai untuk menggambarkan karakteristik curah hujan di wilayah penelitian, karena mampu memberikan hasil yang stabil dan realistis terhadap variasi data curah hujan ekstrem (Soemarto, 1999; Soewarno, 1995). Peningkatan intensitas hujan yang sejalan dengan periode ulang memperlihatkan potensi meningkatnya risiko banjir di kawasan urban Gresik, terutama di daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dan tingkat peresapan rendah (BMKG, 2023).

Analisis debit banjir rencana menggunakan metode rasional menghasilkan debit puncak sebesar 23,654 m³/det untuk kala ulang 10 tahun, yang digunakan sebagai dasar perencanaan kapasitas rumah pompa. Nilai ini sesuai dengan standar perencanaan drainase kota kecil sebagaimana dinyatakan oleh Chow et al. (1988), yang merekomendasikan penggunaan kala ulang 10 tahun untuk daerah dengan kepadatan menengah. Berdasarkan hasil perhitungan, total kapasitas pompa sebesar 4,25 m³/det dinilai cukup untuk menangani volume limpasan genangan dalam waktu operasional dua jam, meskipun efisiensi sistem sangat bergantung pada sinkronisasi operasional antarunit pompa (Maidment, 1993).

Kondisi saluran eksisting di sekitar rumah pompa menunjukkan bahwa beberapa titik mengalami penurunan kapasitas akibat sedimentasi, perubahan tata guna lahan, dan kemiringan saluran yang kurang optimal. Fenomena ini memperkuat temuan Prawira et al. (2020) yang menjelaskan bahwa urbanisasi dan konversi lahan berperan signifikan dalam peningkatan koefisien limpasan serta penurunan kinerja saluran. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan dimensi saluran dan normalisasi berkala untuk menjaga kestabilan aliran.

Simulasi hidrolika menunjukkan bahwa rumah pompa Pulo Pancikan mampu menurunkan genangan secara efektif ketika dioperasikan secara bertahap. Strategi pengoperasian tiga pompa di jam pertama dan satu pompa di jam berikutnya terbukti efisien dalam mengurangi debit puncak tanpa membebani saluran hilir. Hasil ini mendukung penelitian Rahayu dan Hidayat (2019) yang menekankan pentingnya sinkronisasi waktu operasi pompa dengan dinamika debit banjir untuk meningkatkan efisiensi energi hingga 40%.

Secara keseluruhan, sistem rumah pompa Pulopancikan memiliki kapasitas yang memadai untuk mengendalikan limpasan banjir di wilayahnya, namun efektivitas jangka panjang sangat bergantung pada integrasi sistem drainase dan manajemen operasi pompa yang adaptif. Penggunaan sistem pemantauan otomatis berbasis sensor curah hujan dan debit sungai dapat menjadi solusi inovatif dalam menghadapi perubahan iklim ekstrem di masa mendatang (Maidment, 1993; Triatmodjo, 2008). Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa upaya pengendalian banjir di kawasan Gresik perlu difokuskan pada peningkatan kapasitas infrastruktur, optimalisasi operasional pompa, dan penerapan teknologi cerdas untuk mendukung sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan dan tangguh terhadap perubahan iklim.

REFERENSI

- BMKG. (2023). **Laporan Analisis Iklim Ekstrem Jawa Timur.** Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Maidment, D. R. (1993). *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Prawira, D., Lestari, R., & Rinaldi, M. (2020). Analisis kapasitas drainase perkotaan akibat perubahan tata guna lahan di Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(2), 102–111.
- Rahayu, S., & Hidayat, A. (2019). Pengelolaan sistem pompa terintegrasi untuk pengendalian genangan di kawasan urban. *Jurnal Hidrologi Indonesia*, 14(1), 45–54.
- Shahin, M. (1976). *Hydrology and Water Resources of Small Catchments*. Rotterdam: Balkema.
- Soemarto, C. D. (1999). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi: Pengukuran dan Analisis Data Aliran Sungai*. Bandung: Nova.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset

Analisis Kinerja Simpang APILL Pada Simpang Empat Jl. Pemuda Timur - Jl. Ngampel Dan Jl. Lisman – Jl. Veteran Kabupaten Bojonegoro

Performance Analysis of APILL at the Intersection of Jl. Pemuda Timur - Jl. Ngampel and Jl. Lisman - Jl. Veteran, Bojonegoro Regency

Alfia Nur Rahmawati^{1*}, Yulis Widhiastuti¹, Andy Yanuar Putra Riyadi¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Jl. Lettu Suyitno No.2, Kalirejo, Bojonegoro 62119 Telp: 082 852-3054-8499.

*Email : alfiarahma64@gmail.com

Abstrak

Persimpangan jalan adalah sebuah area yang terdapat dua atau lebih ruas jalan yang sering menimbulkan konflik arus kendaraan yang dapat menyebabkan kemacetan dan kecelakaan, terutama di lokasi-lokasi dekat pusat keramaian. Dengan perkembangan kota seperti Bojonegoro, yang memiliki aktivitas industri, pariwisata, dan pendidikan, volume kendaraan di persimpangan tertentu meningkat pesat, terutama pada jam tertentu. Salah satu simpang padat di Bojonegoro adalah Simpang Empat Jl. Lisman, Jl. Veteran, Jl. Ngampel, dan Jl. Pemuda Timur, yang memerlukan pengaturan lalu lintas yang efektif melalui penggunaan alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL). Namun, kondisi fisik simpang ini, seperti tanda belok kiri yang kurang jelas dan jarak pandang terbatas, meningkatkan risiko konflik kendaraan. Kondisi ini menimbulkan gagasan untuk melakukan penelitian dalam menganalisis Kinerja APILL pada Simpang Empat Jl. Lisman, Jl. Veteran, Jl. Ngampel, dan Jl. Pemuda Timur di Bojonegoro dengan menggunakan metode PKJI 2023. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja APILL di simpang tersebut dan mengidentifikasi alternatif fase yang diperlukan jika kinerja APILL tidak memadai, dengan harapan dapat meningkatkan pemahaman tentang kinerja lalu lintas di persimpangan tersebut, evaluasi tingkat pelayanan jalan dari aspek tundaan, dan penyediaan data yang berguna bagi pihak terkait serta peneliti. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa derajat kejenuhan pada seluruh pendekat berada di bawah batas kritis ($DJ < 0,85$), dengan panjang antrian maksimum 37 meter pada pendekat timur, serta tundaan rata-rata 19,5 detik/SMP. Temuan ini mengindikasikan perlunya penambahan fase sinyal menjadi 4 fase untuk meningkatkan kinerja APILL.

Kata Kunci: Simpang Empat, Metode PKJI, Kinerja APILL

Abstract

An intersections are areas where two or more roads meet and often cause traffic conflicts that can lead to congestion and accidents, especially in locations near crowded centers. With the development of cities such as Bojonegoro, which has industrial, tourism, and educational activities, the volume of vehicles at certain intersections has increased rapidly, especially at certain hours. One of the busy intersections in Bojonegoro is the Four-Way Intersection of Jl. Lisman, Jl. Veteran, Jl. Ngampel, and Jl. Pemuda Timur, which requires effective traffic management through the use of traffic signal devices (APILL). However, the physical conditions of this intersection, such as unclear left-turn signs and limited visibility, increase the risk of vehicle conflicts. These conditions prompted the idea to conduct research analyzing the performance of the traffic signal system at the Four-Way Intersection of Jl. Lisman, Jl. Veteran, Jl. Ngampel, and Jl. Pemuda Timur in Bojonegoro using the PKJI 2023 method. This study aims to analyze the performance of the APILL at this intersection and identify alternative phases required if the APILL performance is inadequate, with the hope of improving understanding of traffic performance at this intersection, evaluating road service levels from a delay perspective, and providing useful data for relevant parties and future. The analysis results show that the degree of saturation at all approaches is below the critical limit ($DJ < 0.85$), with a maximum queue length of 37 metres at the eastern approach and an average delay of 19.5 seconds/SMP. These findings indicate the need to add a fourth signal phase to improve APILL performance.

Keywords: Four-way intersection, PKJI method, APILL performance

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia yang pesat, terutama di kawasan perkotaan dan pusat aktivitas masyarakat, telah menyebabkan peningkatan volume lalu lintas yang signifikan. Di Kabupaten Bojonegoro, khususnya pada simpang empat Jl. Pemuda Timur–Jl. Ngampel dan Jl. Lisman–Jl. Veteran, sering terjadi kemacetan lalu lintas, terutama pada jam-jam sibuk. Hal ini disebabkan oleh tingginya volume kendaraan yang melintasi simpang tersebut dan pengaturan waktu sinyal lalu lintas yang kurang optimal.

Simpang bersinyal atau yang dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) memiliki peran penting dalam mengatur arus lalu lintas dan mengurangi konflik antar kendaraan. Namun, apabila pengaturan waktu siklus dan fase sinyal tidak sesuai dengan kondisi lalu lintas aktual, dapat menyebabkan peningkatan tundaan dan panjang antrian kendaraan. Sebagai contoh, penelitian oleh Fahmi, Z. (2017). di simpang empat Jl. Sultan Agung–Jl. Senopati, Yogyakarta, menunjukkan bahwa pengaturan waktu hijau yang tidak tepat menyebabkan kendaraan membutuhkan rata-rata tiga kali fase hijau untuk melewati simpang, sehingga meningkatkan tundaan dan panjang antrian.

Untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal, metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 sering digunakan. Metode ini mempertimbangkan parameter seperti derajat kejenuhan, panjang antrian, tundaan, dan kapasitas simpang. Sebagai ilustrasi, penelitian oleh Romadloni (2024) di simpang empat MERR Kota Surabaya menggunakan PKJI 2014 dan software VISSIM untuk mengevaluasi kinerja simpang dan merancang ulang waktu siklus lalu lintas, yang terbukti efektif dalam mengurangi tundaan dan meningkatkan tingkat pelayanan simpang.

Di Kabupaten Bojonegoro, terdapat penelitian oleh (Rahmawati & Widhiastuti, 2023) yang menganalisis kinerja simpang empat tak bersinyal di Jl. Panglima Sudirman–Jl. Setya Budi–Jl. Hassanudin menggunakan metode PKJI 2023. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpang tersebut mengalami kemacetan, terutama pada jam sibuk, dan memerlukan penanganan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas.

Berdasarkan pengamatan peneliti dan informasi dari beberapa warga setempat, kondisi satu lajur dari arah utara ke barat menunjukkan kepadatan kendaraan yang cukup tinggi, seringkali

beberapa kendaraan berhenti di tengah persimpangan untuk menunggu waktu berbelok. Volume kendaraan yang padat pada waktu-waktu tertentu dari timur ke barat dapat meningkatkan risiko kecelakaan, yang pada gilirannya meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan. Selain itu, persimpangan Jl. Pemuda Timur–Jl. Ngampel dan Jl. Lisman–Jl. Veteran, hanya memiliki 2 fase dan visibilitas yang terbatas akibat terdapat bangunan di sudut-sudut persimpangan.

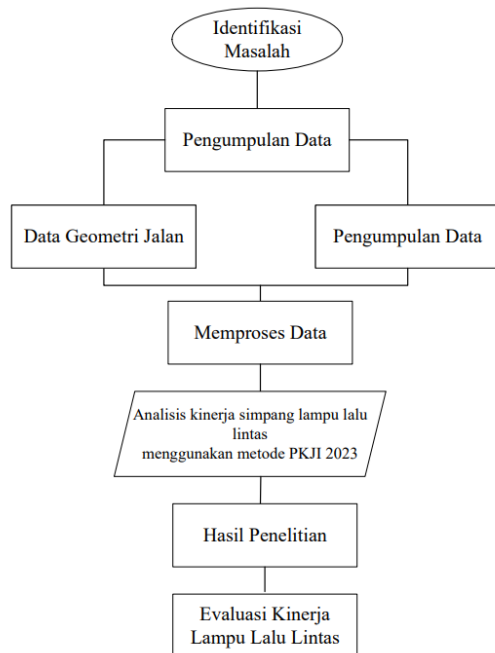
METODE

Lokasi penelitian terletak di simpang empat Jl. Pemuda Timur – Jl. Ngampel dan Jl. Lisman – Jl. Veteran Kabupaten Bojonegoro.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan meliputi data primer dari hasil survei di lokasi penelitian dan data sekunder dari CCTV Kantor Dinas Perhubungan Kabupaten Bojonegoro. Diagram alir dalam penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan Alur

Analisis studi ini menggunakan metode PKJI 2023. Perhitungan dapat dilakukan secara manual menggunakan Microsoft Excel dan Traffic Counter. Metode ini digunakan karena adanya perubahan dalam pedoman yang diterapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia. Tujuan utama dalam menganalisis kinerja lalu lintas di sebuah persimpangan dengan lampu lalu lintas yaitu untuk menghitung dan mengevaluasi nilai Derajat Kejenuhan (DJ), Panjang antrean (PA), jumlah kendaraan yang terhenti (NKH), dan penundaan (T), yang menjadi dasar untuk mengevaluasi kinerja arus kendaraan di persimpangan tersebut. Data utama meliputi informasi tentang geometri, pengaturan aliran lalu lintas, kondisi lingkungan di sekitar persimpangan lampu lalu lintas, dan data lalu lintas yang tersedia. Berikut adalah langkah-langkah untuk mengevaluasi kinerja persimpangan lampu lalu lintas.

Langkah A dalam desain lampu lalu lintas adalah dengan menentukan dan memasukkan data sebagai berikut :

$$R_{BKl} = \frac{q_{BKl}}{q_{Total}} \dots\dots\dots[1]$$

Dimana :

R_{BKl} = rasio belok kiri
 q_{BKl} = aliran kendaraan belok kiri
 q_{BKl} = aliran kendaraan total

$$R_{BKk} = \frac{q_{BKk}}{q_{Total}} \dots\dots\dots[2]$$

Dimana :

R_{BKk} = rasio belok kanan
 q_{BKk} = aliran kendaraan belok kanan
 q_{Total} = aliran kendaraan total

$$R_{KTB} = \frac{q_{KTB}}{q_{KB}} \dots\dots\dots[3]$$

Dimana :

R_{KBk} = rasio kendaraan non-motor
 q_{KBk} = aliran kendaraan non-motor
 q_{Total} = aliran total kendaraan non motor

Langkah B Dalam Mendesain Lampu Lalu Lintas: Tentukan dan Masukkan Data ;

$$w_{MS} = \text{Max} \left\{ \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}}, \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \right\} \dots\dots\dots[4]$$

Dimana :

L_{KBR} , L_{KDT} , L_{PK} adalah jarak dari garis berhenti ke titik konflik untuk kendaraan yang berangkat, kendaraan yang datang, dan pejalan kaki, masing-masing dalam meter.
 P_{KBR} adalah panjang kendaraan yang berangkat, dalam meter.
 V_{KBR} , V_{KDT} , V_{PK} adalah kecepatan untuk kendaraan yang berangkat, pejalan kaki, dan masing-masing dalam m/s.

$$w_{HH} = \sum_i (w_{MS} + w_K)_i \dots\dots\dots[5]$$

Dimana :

w_{MS} = waktu merah penuh, dalam detik.
 w_K = waktu kuning, dalam detik.
 w_{HH} = total waktu hijau yang hilang.

$$S = \frac{(1,5 \times w_{HH} + 5)}{1 - \sum R_{q/J \text{ kritis}}} \dots\dots\dots[6]$$

Dimana :

S = waktu siklus, dalam detik.
 w_{HH} = total waktu hijau yang hilang.
 $R_{q/J}$ = rasio aliran, yang dibagi dengan aliran saturasi, q/J.
 $R_{q/J \text{ kritis}}$ = nilai $R_{q/J}$ tertinggi dari semua pendekatan pada fase yang sama.
 $\sum R_{q/J \text{ kritis}}$ = rasio aliran, yaitu aliran saat ini dibagi dengan aliran saturasi, q/J.

$$w_H = (s - w_{HH}) \times \frac{R_{q/J \text{ kritis}}}{\sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i} \dots\dots\dots [7]$$

Dimana :

w_H = waktu hijau pada fase i, detik.
 s = waktu siklus, dalam detik.
 \sum_i = indeks untuk fase i.
 $R_{q/J \text{ kritis}}$ = nilai $R_{q/J}$ tertinggi dari semua pendekatan yang berangkat pada fase yang sama.

Langkah C Desain lampu Lalu Lintas: Pengaturan Waktu Sinyal dan Kapasitas;

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{Bka} \dots\dots [8]$$

Dimana :

J = aliran jenuh (SMP/jam).
 F_{HS} = faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan.
 F_{UK} = faktor koreksi J_0 terkait ukuran kota.
 F_G = faktor koreksi J_0 akibat kemiringan longitudinal pendekatan.
 F_P = faktor koreksi J_0 akibat jarak garis berhenti di mulut pendekatan hingga kendaraan pertama yang parkir.
 F_{BK_i} = faktor koreksi J_0 akibat aliran lalu lintas belok kiri.
 F_{Bka} = faktor koreksi J_0 akibat aliran lalu lintas belok kanan.

Langkah D: Menentukan Kinerja Lalu Lintas;

$$D_j = \frac{q}{c} \dots\dots\dots [9]$$

Dimana :

D_j = derajat kejenuhan.
 c = kapasitas segmen jalan, dalam SMP/jam.
 q = volume lalu lintas, dalam SMP/jam, yang digunakan dalam analisis kapasitas.

$$P_A = N_q \frac{20}{L_M} \dots\dots\dots [10]$$

Dimana :

P_A = Panjang antrean.
 L_M = lebar lajur masuk.
 N_q = jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal sinyal lampu hijau.

$$T_i = T_{LL} + T_G \dots\dots\dots [11]$$

Dimana :

T_i = penundaan rata-rata untuk pendekatan i.
 T_{LL} = penundaan lalu lintas.
 T_G = penundaan geometri.

Langkah E: Mengubah rencana persimpangan APILL dalam meningkatkan kinerja arus kendaraan.

Langkah F: Menentukan Output

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Geometri

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan masing-masing lajur dan jalur di simpang empat Jl. Lisman – Jl. Veteran dan Jl. Ngampel - Jl. Pemuda Timur Kab. Bojonegoro.

Tabel 1. Data Geometri Jalan

Pendekat	Pada Awal Lajur (m)	Pada Garis Henti (m)	Pada Lajur Belok Kiri (m)	Pada Lajur Keluar (m)
Utara (Jl. Lisman)	3.15	3.15	-	3.15
Selatan (Jl. Veteran)	5.35	5.35	-	5.05
Timur (Jl. Ngampel)	3.15	3.15	-	2.85
Barat (Jl. Pemuda Timur)	4.80	4.80	-	4.20

Berdasarkan hasil survei, kondisi geometris persimpangan Jl. Lisman – Jl. Veteran dan Jl. Ngampel – Jl. Pemuda Timur di Kabupaten Bojonegoro menunjukkan variasi lebar lajur pada setiap akses. Pendekatan utara (Jl. Lisman) memiliki lebar lajur awal, garis berhenti, dan lebar lajur keluar yang sama, yaitu 3,15 meter, sementara pada pendekatan selatan (Jl. Veteran), lebar lajur awal dan garis berhenti tercatat sebesar 5,35 meter dengan lebar lajur keluar yang sedikit lebih kecil, yaitu 5,05 meter. Pada akses timur (Jl. Ngampel), lebar lajur awal dan garis berhenti keduanya 3,15 meter, sementara lebar lajur keluar menyempit menjadi 2,85 meter. Adapun pada akses barat (Jl. Pemuda Timur), lebar lajur awal dan garis berhenti adalah 4,80 meter dengan lebar lajur keluar 4,20 meter. Perbedaan ukuran ini menunjukkan bahwa setiap lengan persimpangan memiliki karakteristik geometris yang bervariasi sesuai dengan kondisi lapangan.

Tabel 2. Pengaturan Waktu Nyala

Pendekat	Waktu Nyala (detik)			Total	Fase
	Hijau	Kuning	Merah		
Utara (Jl. Lisman)	35	3	42	80	1
Selatan (Jl. Veteran)	35	3	42	80	1
Timur (Jl. Ngampel)	35	3	42	80	2
Barat (Jl. Pemuda Timur)	35	3	42	80	2

Hasil survei menunjukkan bahwa pengaturan waktu lampu lalu lintas di persimpangan Jl. Lisman – Jl. Veteran dan Jl. Ngampel – Jl. Pemuda Timur di Kabupaten Bojonegoro memiliki durasi yang seragam untuk setiap arah. Untuk semua arah, lampu hijau diatur selama 35 detik, lampu kuning selama 3 detik, dan lampu merah selama 42 detik, sehingga total siklus lampu lalu lintas menjadi 80 detik. Distribusi fase lampu lalu lintas berbeda untuk setiap arah: fase 2 untuk arah utara (Jl. Lisman), fase 1 untuk arah selatan (Jl. Veteran), fase 4 untuk arah timur (Jl. Ngampel), dan fase 3 untuk arah barat (Jl. Pemuda Timur).

Berdasarkan data hasil survey peneliti terhadap kondisi lingkungan simpang empat Jl Lisman – Jl. Veteran dan Jl. Ngampel - Jl. Pemuda Timur Kab. Bojonegoro ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Tipe Kondisi Lingkungan Jalan

Pendekat	Tipe Ling. Jalan (KOM,KIM,AT)	Hambatan Samping (T/R)	Kelandaian Pendekat (+ / -) %
Utara (Jl. Lisman)	KOM	R	0
Selatan (Jl. Veteran)	KOM	R	0
Timur (Jl. Ngampel)	KOM	R	2
Barat (Jl. Pemuda Timur)	KOM	R	0

Berdasarkan data survei peneliti mengenai kondisi lingkungan di empat persimpangan Jl Lisman - Jl Veteran dan Jl Ngampel - Jl pemuda Timur di Kabupaten Bojonegoro, dinyatakan bahwa persimpangan tersebut bersifat komersial, terdapat ada hambatan samping, dan memiliki kemiringan 2% pada Jl Ngampel.

Arus Jenuh Dasar, (J0)

Dari hasil analisis, dinyatakan bahwa aliran saturasi dasar pada Pendekatan Utara (Jl. Lisman) adalah 1890 SMP/jam, Pendekatan Selatan (Jl. Veteran) sebesar 3210 SMP/jam, Pendekatan Timur (Jl. Ngampel) sebesar 1890 SMP/jam, dan Pendekatan Barat (Jl. Pemuda Timur) sebesar 2880 SMP/jam.

Derajat Kejenuhan (DJ)

Dari hasil perhitungan, ditemukan bahwa kondisi Derajat Kejenuhan (DJ) adalah 0,340 untuk Akses Utara (Jl. Lisman), 0,344 untuk Akses Selatan (Jl. Veteran), 0,290 untuk Akses Timur (Jl. Ngampel), dan 0,483 untuk Akses Barat (Jl. Pemuda Timur).

Panjang Antrian (PA)

Dari hasil perhitungan, ditemukan bahwa kondisi Panjang Antrian (PA) adalah 25 m di Pendekatan Utara (Jl. Lisman), 23 m di Pendekatan Selatan (Jl. Veteran), 24 m di Pendekatan Timur (Jl. Ngampel), dan 37 m di Pendekatan Barat (Jl. Pemuda Timur).

Jumlah Kendaraan yang Terhenti (NKH)

Dari hasil perhitungan, diperoleh kondisi Jumlah Kendaraan yang Terhenti (NKH) 159 SMP di Akses Utara (Jl. Lisman), 254 SMP di Akses Selatan (Jl. Veteran), 130 SMP Pendekatan Timur (Jl. Ngampel), 355 SMP Pendekatan Barat (Jl. Pemuda), dan 897 SMP Total Kendaraan yang Terhenti di semua pendekatan, serta 0,61 SMP Rata-rata Kendaraan yang Terhenti di semua pendekatan.

Penundaan (T)

Dari hasil analisis, rata-rata penundaan untuk seluruh pendekatan diperoleh sebesar 19,5 detik.

Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Persimpangan Berlampu Lalu Lintas

Berdasarkan hasil analisis kinerja lalu lintas di simpang empat Jl. Lisman - Jl. Veteran dan Jl. Ngampel - Jl. Pemuda Timur Kabupaten Bojonegoro, tingkat saturasi secara keseluruhan berjalan baik dengan nilai DJ <0,85. Dan untuk panjang antrian pada akses utara (Jl. Lisman) sebesar 20 meter, akses selatan 23 meter (Jl. Veteran),

pendekatan barat 25 meter (Jl. Pemuda Timur), dan yang terbesar terjadi pada pendekatan timur (Jl. Ngampel) sebesar 37 meter, dengan jumlah kendaraan yang berhenti terbanyak terjadi pada pendekatan barat, yaitu di Jl. Pemuda Timur sebesar 335 SMP. Dan untuk total penundaan di seluruh persimpangan, diperoleh sebesar 28.608 SMP.detik dan rata-rata penundaan 19,5 detik/SMP. Hal ini disebabkan karena kondisi persimpangan Jl. Lisman - Jl. Veteran dan Jl. Ngampel - Jl. Pemuda Timur di Kabupaten Bojonegoro hanya memiliki 2 fase, sehingga diperlukan perencanaan alternatif untuk fase sinyal baru sebanyak 4 fase agar tidak mengalami panjang antrian yang dianggap cukup panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kinerja menggunakan metode PKJI 2023 pada Simpang Empat Jl. Lisman – Jl. Veteran dan Jl. Ngampel – Jl. Pemuda Timur di Kabupaten Bojonegoro, diperoleh bahwa seluruh pendekat menunjukkan nilai derajat kejenuhan (DJ) < 0,85, sehingga secara umum kinerja APILL masih berada dalam kategori baik. Meskipun demikian, ditemukan variasi kinerja antar pendekat, dengan panjang antrian terbesar terjadi pada pendekat timur (37 meter) serta jumlah kendaraan terhenti tertinggi pada pendekat barat (355 SMP). Rata-rata tundaan yang dihasilkan sebesar 19,5 detik/SMP menunjukkan bahwa tingkat pelayanan simpang masih dapat diterima, namun adanya antrian panjang di beberapa pendekat menandakan perlunya evaluasi lanjutan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pengaturan sinyal dengan 2 fase pada kondisi eksisting belum sepenuhnya mampu mengakomodasi distribusi arus lalu lintas yang tidak seimbang antar pendekat. Oleh karena itu, penelitian ini menyimpulkan bahwa diperlukan alternatif pengaturan sinyal baru dengan 4 fase guna mengurangi panjang antrian, menurunkan jumlah kendaraan terhenti, serta meningkatkan efisiensi pengaturan lalu lintas di persimpangan tersebut. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk menganalisis kinerja APILL, mengevaluasi tingkat pelayanan, dan memberikan usulan perbaikan fase sinyal telah terpenuhi melalui hasil analisis yang diperoleh.

REFERENSI

Rahmawati, A. N., & Widhiastuti, Y. (2023). 2023 Fakultas Sains dan Teknik , Universitas Bojonegoro , Indonesia Email : alfiarahma64@gmail.com Analisis Kinerja Simpang Empat tak Bersinyal dengan Metode

PKJI 2023 PENDAHULUAN Persimpangan merupakan bagian terpenting dari jalan perkotaan , sebab sebagian besar dari efisiensi , keamanan , kecepatan , dan tingkat pelayanan jalan tergantung dari perencanaan persimpangan . Setiap persimpangan mencakup pergerakan lalu lintas menerus serta lalu lintas yang saling memotong pada satu atau lebih dari ruas persimpangan . Inilah alasan utama terjadinya konflik dan dibutuhkannya pengendalian pergerakan lalu lintas pada simpang . Simpang empat Jalan Panglima Sudirman Kabupaten Bojonegoro adalah simpang yang menghubungkan antara Jalan Panglima Sudirman-Jalan Setya Budi-Jalan Hassanudin . Hasil pengamatan awal menunjukkan bahwa pada simpang tersebut sering terjadi kemacetan , terutama pada jam sibuk . Hal ini terjadi karena pada simpang tersebut merupakan jalan yang melewati kawasan dengan aktivitas cukup padat , antara lain kawasan sekolah , pemukiman , dan pertokoan . Pada simpang ini juga aktivitas penyeberang jalan baik pejalan kaki maupun kendaraan bermotor menyebabkan simpang ini rawan terjadi kecelakaan . Berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dianalisis kinerja simpang tak bersinyal menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) tahun 2023 dengan studi kasus “ Simpang Empat Jalan Panglima Sudirman-Jalan Setya Budi-Jalan Hassanudin ” . Hal ini dilakukan sebagai bentuk usaha untuk mendapatkan solusi untuk mengatasi konflik yang terjadi pada Jenis penelitian yang digunakan oleh penyusunan dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian empiris . Dalam sains dan metode ilmiah , empiris berarti suatu keadaan yang bergantung pada bukti atau konsekuensi yang teramati oleh indera . Data empiris berarti data yang dihasilkan dari percobaan atau pengamatan . Penelitian dilakukan di Simpang Tak Bersinyal Panglima Sudirman (Jalan Hassanudin , Jalan Setya Budi , dan Jalan Panglima Sudirman) , Bojonegoro , yang merupakan pertemuan antara 4 (empat) ruas jalan . berikut peta lokasi persimpangan yang akan dijadikan lokasi penelitian . 1223–1230.

Afni, diana nur, et al. "analisis simpang tak bersinyal di jalan ahmad yani-jalan raden intan gadingrejo menggunakan pkji 2023." *teknika sains: jurnal ilmu teknik* 8.2 (2023): 135-142.

- Bagus puja kurniawan, dimas. Perencanaan simpang bersinyal di jl. Raya berbek–jl. Wadung asri – jl. Gedong masjid, kab. Sidoarjo. Diss. Institut teknologi sepuluh nopember, 2018.
- Ghufroniandi, ilham. *Analisis pengaruh u-turn terhadap kinerja ruas jalan dankarakteristik arus lalu lintas di ruas jalan transyogi menggunakan pkji-2023*. Diss. Universitas mercu buana-buncit, 2024.
- Indonesia, manual kapasitas jalan. "direktorat jenderal bina marga." departemen pekerjaan umum, jakarta (1997).
- Jannah, sabri miftahul jannah. *Analisis kinerja simpang bersinyal di jl. Letjen sutoyo-jl. Wr supratman-jl. Jaksa agung suprpto-jl. Kaliurang, kota malang./sabri miftahul jannah*. Diss. Universitas negeri malang, 2023.
- Kusprasetyo, daffa. *Analisis kinerja simpang bersinyal menggunakan metode pkji 2023 (studi kasus: simpang bersinyal sentul, yogyakarta)*. Diss. Universitas gadjah mada, 2023.
- Lubis, fadrizal, and alfian saleh. "perencanaan traffic light pada persimpangan jalan garuda sakti-jalan melati-jalan binawidya kota pekanbaru." *jurnal teknik* 14.2 (2020): 193-2020.
- Sanjaya, amir, eti sulandari, and said basalim. "perencanaan traffic light pada simpang jl. Purnama–jl. M. Sohor-jl. Letjen sutoyo kota pontianak." *jelast: jurnal pwk, laut, sipil, tambang* 3.3 (2016)
- Romadloni, M. I., Warsito, W., & Bakhtiar, A. (2024). ANALISIS KINERJA SIMPANG EMPAT BERSINYAL MERR KOTA SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE VISSIM DAN METODE PKJI 2014. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 14(1), 491-500.
- Rahmawati, dkk. (2023). *Analisis kinerja persimpangan empat arah tanpa lampu lalu lintas di Jl. Pemuda Timur – Jl. Ngampel dan Jl. Lisman – Jl. Veteran, Kabupaten Bojonegoro menggunakan PKJI 2023*.
- Zulfahmi, F. (2017). *EVALUASI KINERJA APILL (Studi Kasus: Simpang Empat Jl. Sultan Agung–Jl. Senopati, Jl. Brigadir Jenderal Katamso–Jl. Mayor Suryotomo, Yogyakarta)* (Doctoral dissertation, UAJY).

Identification and Evaluation of Risks in Construction Projects in Archipelagic Areas Using Failure Mode Effect And Analysis (FMEA) Methode: A Case Study of East Sumba, Indonesia

Ahmad Farid Ardiansyah¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, 68121

Email : ahmadfarid.teknik@unej.ac.id

Abstract

Construction projects in semi-arid coastal zones operate within complex environmental and managerial constraints that heighten vulnerability to multiple risks. This research analyzes those dynamics through a systematic application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to identify, classify, and prioritize critical risk factors affecting project reliability. The results show that material shortages, heat exposure, and unstable energy supply are the most pressing risks, often intensified by weak procurement systems, inaccurate budgeting, and low compliance with environmental and safety protocols.

A comparison of managerial and field-level perceptions reveals notable gaps: while both groups recognize similar degrees of severity, on-site workers view risks as more frequent and difficult to detect, reflecting unequal access to information and experience. When combined, the Probability–Impact Matrix and Risk Priority Number assessment indicate that most hazards fall within the high-risk category.

The study argues that sustainable construction in such climates requires a move from reactive to anticipatory management. It recommends optimizing local resources through adaptive technologies, reinforcing safety culture and workforce skills, and ensuring transparency via digital governance tools. These integrated measures strengthen resilience, operational reliability, and environmental sustainability in resource-constrained construction contexts.

Keywords: Construction Risk; Semi-arid Regions; FMEA; Probability – Impact Matrix.

INTRODUCTION

Construction projects in semi-arid coastal regions face a unique combination of environmental and managerial challenges that significantly affect performance, safety, and sustainability (Nabinejad & Schüttrumpf, 2023). These regions are characterized by high temperature fluctuations, limited material availability, and unstable infrastructure networks, which collectively increase operational uncertainty (Sagala et al., n.d.). In such environments, construction processes often experience delays, cost overruns, and reduced workforce productivity, making risk management a central element in achieving project reliability and resilience (Al-Faruq et al., n.d.; Alshihri et al., 2022; Giri, 2025).

While a growing body of research has addressed construction risk assessment in various climatic contexts, studies focusing on semi-arid coastal zones remain limited. Existing frameworks for risk management tend to generalize environmental and socio-technical variables, overlooking the distinct characteristics of regions where climatic stress and resource scarcity intersect (Singh, 2025). Moreover, previous models rarely consider the perception gap between managerial and field-level personnel, despite its critical role in

shaping practical risk responses. This gap represents a major research void that hinders the development of adaptive strategies tailored to high-stress environments

To address these limitations, the present study analyzes and prioritizes construction risks specific to semi-arid coastal regions by integrating Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) with a Probability–Impact Matrix (Başhan et al., 2020). This dual approach allows for a structured evaluation of risk likelihood, impact, and detectability while visualizing their relative significance within project operations. The study further examines how managerial and field-level perceptions differ in assessing these risks, offering a holistic understanding of the construction risk landscape under environmental stress.

The findings of this research are expected to contribute both theoretically and practically. Theoretically, it advances the discourse on contextual risk management by bridging technical assessment tools with human-centered insights. Practically, it offers a framework that supports decision-making in resource-limited projects, promotes proactive mitigation, and enhances resilience within the construction sector operating in semi-arid coastal conditions.

RESEARCH METHODOLOGY

Study Area and Project Overview

The study was conducted in East Sumba Regency, East Nusa Tenggara, Indonesia—an island region situated between approximately 10°00'–10°40' South Latitude and 120°00'–121°00' East Longitude. The selection of this location was grounded in its distinctive geographic and climatic conditions as part of an archipelagic province that experiences logistical difficulties in the distribution of construction materials and the mobilization of labor resources, mainly due to limited road networks and inter-island transport constraint. The research primarily examined infrastructure development projects, particularly road and public building construction, implemented between 2023 and 2024. Furthermore, the identification of this study area was supported by a Land Surface Temperature (LST) analysis derived from satellite-based thermal imagery for the period 2023–2024, which helped pinpoint high-temperature surface zones as the scientific foundation for determining field investigation sites.

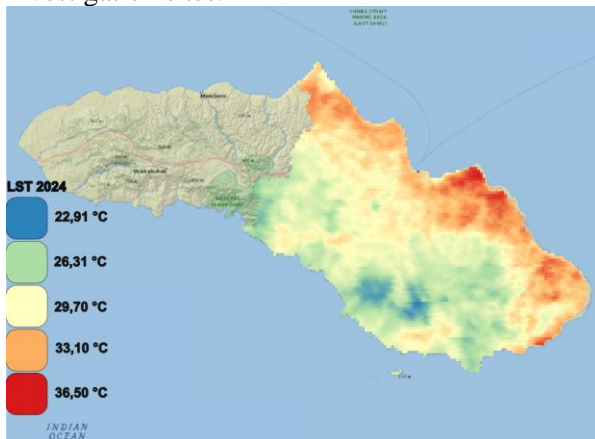


Figure 1. Spatial distribution of Land Surface Temperature (LST) across East Sumba

The Land Surface Temperature (LST) analysis indicates a distinct spatial variation across East Sumba, with the highest surface heat observed along the northern coastline. The red zones on the thermal map correspond to areas of intense heat accumulation, where surface temperatures reached approximately 36.50°C (see Figure 1). This pattern reflects the region's exposure to strong solar radiation and minimal vegetation cover, typical of semi-arid coastal landscapes.

These environmental conditions make East Sumba a representative and strategic site for studying heat-related risks in construction settings. The combination of high surface temperatures, scarce

natural resources, and expanding development activities presents unique challenges to worker safety, material durability, and project efficiency. Consequently, East Sumba provides an ideal context for developing adaptive and climate-responsive construction practices in regions facing similar thermal stress conditions.

Data Collection

A descriptive quantitative approach was employed in this study to obtain both statistical and contextual insights into project risks. Data were collected through a combination of structured questionnaires administered to 55 key respondents—comprising contractors, consultants, and project owners—supplemented by in-depth interviews with local engineers and project managers to validate and enrich the survey findings. In addition, a document review of project reports, regional infrastructure records, and supporting technical documentation was conducted to ensure data triangulation and strengthen the reliability of the analysis.

The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method is a systematic approach to risk assessment that integrates technical analysis with practical experience to identify potential causes of failure within a product or process. Moreover, FMEA serves as a design-oriented methodology aimed at recognizing possible failures during the manufacturing process while evaluating the level of risk associated with each contributing variable. (Budi Puspitasari et al., 2017).

The integration of the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) technique with the ISO 31000:2018 risk management framework provides a comprehensive and structured approach to identifying, analyzing, and mitigating project risks (International Organization for Standardization, 2018). The following steps outline the process that can be applied in construction project risk assessment:

- a. Establishing the Context. The first stage, aligned with ISO 31000 (International Organization for Standardization, 2018), involves defining the internal and external environment of the project, including its objectives, scope, stakeholders, and operating conditions. For construction projects in archipelagic areas, this includes geographic, logistical, and climatic factors that may influence project performance.
- b. Risk Identification Potential failure modes are identified through FMEA by examining each component or process of the project to determine how and where failures might

- occur. This step is enriched by stakeholder consultation and document review, as recommended in ISO 31000, to ensure all relevant risks are captured.
- c. **Risk Analysis**, In this phase, each identified failure mode is evaluated in terms of severity, occurrence, and detection, leading to the calculation of the Risk Priority Number (RPN). The RPN helps quantify and prioritize risks. The ISO 31000 principles of evidence-based and structured analysis are applied to ensure consistency and transparency in evaluation.
 - d. **Risk Evaluation** The RPN values are compared against the project's acceptable risk criteria to determine which risks require treatment. ISO 31000 emphasizes that this evaluation should be aligned with the organization's risk appetite and decision-making framework.
 - e. **Assign numerical scores or priority ratings** for severity, occurrence, and detection of each potential failure on a scale from 1 to 10, with 10 representing the greatest level of severity, likelihood, or difficulty of detection.

Data on risk perception and intervention effectiveness were collected through three primary instruments: data sheets for construction workers, structured questionnaires and interview guides for managerial personnel, and on-site observation checklists. The questionnaire items were developed based on key references and aligned with the ISO 31000:2018 (International Organization for Standardization, 2018) framework, which emphasizes the identification of both external and internal factors influencing construction project performance. External factors generally stem from environmental, climatic, and regulatory conditions beyond the project's direct control, whereas internal factors are associated with management practices, planning accuracy, supervision, and workforce competency. Understanding these two dimensions of risk is essential for designing effective mitigation strategies, particularly in East Sumba, where geographical isolation, limited infrastructure, and extreme climatic conditions create unique challenges for construction activities.

Table 1. Risk Factor and Potensial Impact

No	Category	Risk Factor	Potential Impact	Reference
1	External	Extreme temperature and heat stress	Worker fatigue, decreased	(International Organization for Standardization,

			productivity, health issues	2018); (Liu et al., 2018)
2	External	Limited water availability / drought	Poor concrete curing, project delays	(International Organization for Standardization, 2015);(Salah A. Sheibani, 2024)
3	External	Heavy rainfall or local storms	Damage to temporary structures, schedule disruption	(Jae-Seob, 2016)
4	External	Strong wind and open exposure	Material damage, safety hazards	(Yang & Bai, 2017)
5	External	Poor transportation access	Late material delivery	(Khursheed et al., 2024)
6	External	Limited local material supply	Cost escalation, quality inconsistency	(Muya et al., 2013)
7	External	Power and fuel supply disruption	Equipment downtime	(Panova & Hilletoft, 2018)
8	External	Regulatory and permit delays	Schedule suspension	(Wijesuriya & Sugathadasa, 2025)
9	External	Social and community conflict	Project interruption, stakeholder dissatisfaction	(G. Jia et al., 2011)
10	Internal	Inadequate project supervision	Quality deviation, cost overrun	(Gong et al., 2017)
11	Internal	Unrealistic cost estimation (RAB)	Budget deficit, rework	(Khodakarami & Abdi, 2014)
12	Internal	Limited skilled labor	Low productivity, high error rates	(Hossein et al., 2018)
13	Internal	Weak safety culture (K3)	Accident risks, project disruption	(DeJoy, 2005)
14	Internal	Inefficient procurement	Delay in project progress	(Hong Pham & Hadikusumo, 2014)
15	Internal	Poor communication among project teams	Coordination failure, slow decisions	(Wu et al., 2017)
16	Internal	Low compliance with environmental standards	Legal risk, reputational damage	(Lange, 1999) ; (Tam et al., 2006)

Analysis Method

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is recognized as a preventive methodology aimed at minimizing or eliminating potential failures by addressing their underlying causes. This approach seeks to ensure that similar failures do not occur in the future. The implementation of FMEA generally involves three main stages (Ariany et al., 2023; Başhan et al., 2020; Bhattacharjee et al., 2020).

1. Failure Identification – determining possible errors or weaknesses that may arise within a process;
2. Failure Prioritization – assessing and ranking the identified failures based on their level of risk, typically using the Risk Priority Number (RPN);
3. Reduce Risk – applying appropriate strategies or actions to reduce the level of identified risks.

In the (FMEA) approach, the Risk Priority Number (RPN) is determined based on three key components: Occurrence (O), Severity (S), and Detection (D) (Bhattacharjee et al., 2020). Each of these parameters serves a distinct role in evaluating potential risks:

1. Occurrence (O): refers to the likelihood or frequency with which a specific failure or risk event may happen.
2. Severity (S): represents the magnitude or seriousness of the potential impact that the failure may have on the process or system performance.
3. Detection (D): denotes the capability of monitoring, inspection, or testing mechanisms to identify defects or failure modes before they result in adverse outcomes.

A higher detection rating signifies a greater likelihood that the failure will go unnoticed or remain undetected. Conversely, lower detection values indicate a stronger ability of the system to identify potential failures before they occur.

Table 2. Risk Level Assesment (Maruf et al., 2017)

Score	Occurrence	Severity	Detection
1	Very unlikely to occur	Very low, will not affect the process	Almost certain – the fault will be detected during testing
2–3	Unlikely to occur	Low, may affect the process	High likelihood of detection

Score	Occurrence	Severity	Detection
4–5	May occur about half of the time	Medium, slightly affects the process	Moderate likelihood of detection
6–7–8	Likely to occur	High, mostly affects the process	Low likelihood of detection
9–10	Very likely to occur	Very high, definitely affects the process	The fault will reach the customer undetected

The table illustrates the risk assessment levels used in the FMEA approach, where each potential failure is evaluated based on three key factors: occurrence, severity, and detection. The occurrence score reflects how often a failure may happen, while the severity score indicates the magnitude of its impact on the process. The detection score represents how effectively the failure can be identified before causing harm. Higher occurrence and severity values combined with low detection capability indicate greater risk, helping researchers and practitioners prioritize corrective and preventive measures more effectively.

Once all factors have been identified, the Risk Priority Number (RPN) is calculated by multiplying the values of Severity (S), Occurrence (O), and Detection (D).

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (1)$$

The data sampling process applied a stratified approach based on two main criteria. The first criterion targeted primary job categories that are particularly vulnerable to risk, such as steel fixers, carpenters, concrete laborers, masons, plasterers, welders, scaffolders, mechanical and electrical technicians, and demolition crews. The second criterion included individuals at the managerial and supervisory levels, comprising project directors, site managers, safety supervisors, and quality control staff, who play a key role in managing site operations and ensuring adherence to safety and performance standards. At every construction location, a group of 5 to 10 workers was selected to take part in the study. Over the course of two consecutive working days, research assistants conducted two sessions with the participants — one held before work began and another after the workday ended — while the workers continued their usual activities between sessions. To maintain a natural and comfortable atmosphere, the interviews were conducted

informally without the use of any video or audio recording devices. The sampling process was structured according to the Work Breakdown Structure (WBS), aligning with the project's scheduled phases of implementation.

Table 3. Data Collection Protocol

	Work session	Day Time	After work
Day 1	Introduction (Eksternal Fator Risk)	Continous recording at work place	Interviews Worker
Day 1	Night (Rest Activity) (Internal Factor Risk)	<i>Worker fill questionnaires at home after work</i>	Personal baseline data
Day 2	Collect Completed Questionnaires and interview (Eksternal and Internal Factor Risk)	Continuous Report and recording	Semi Structure Interview

RESULTS AND DISCUSSION

Identified Risk Factors

Risk management plays a crucial role in project implementation, encompassing several essential stages such as risk identification, risk assessment, and risk mitigation. The initial stage focuses on identifying potential risks that may arise and cause adverse impacts on project performance. This process was conducted through an extensive literature review—drawing from relevant studies (see table 1) —and field observations during construction activities. The analysis followed the principles outlined in ISO 31000:2018 on Risk Management, which emphasizes a systematic and structured approach to identifying both internal and external risks. Based on these analyses and on-site evaluations, the identified risks were categorized accordingly, as summarized in the following table 4.

Table 4. Risk Factor and Potensial Impact

Code	Risk Type	Risk Description
R01	Environmental Risk	High rainfall may disrupt the project schedule and cause damage to temporary structures.
R02	Environmental Risk	Extreme temperatures and heat stress may affect

Code	Risk Type	Risk Description
		workers' productivity and health conditions on site.
R03	Environmental Risk	Strong winds in open coastal areas may cause material loss and pose safety hazards.
R04	Environmental Risk	Limited water availability in semi-arid regions may impact concrete curing and delay construction activities.
R05	Resource Risk	Limited availability of skilled labor may result in decreased work quality and project delays.
R06	Resource Risk	Scarcity of local materials may increase project costs and lead to quality inconsistency.
R07	Resource Risk	Unreliable power and fuel supply may interrupt machinery operation and reduce work efficiency.
R08	Managerial Risk	Inadequate project supervision may result in quality deviations and cost overruns.
R09	Managerial Risk	Poor communication among project teams may lead to coordination failures and delayed decision-making.
R10	Managerial Risk	Inefficient procurement processes may delay material delivery and project progress.
R11	Managerial Risk	Lack of planning accuracy may cause schedule slippage and rework.
R12	Financial Risk	Unrealistic cost estimation may lead to budget deficits and the need for rework.
R13	Financial Risk	Fluctuation in material prices and logistics costs may increase total project expenditure.
R14	Regulatory Risk	Delays in obtaining project permits may suspend or postpone construction activities.
R15	Regulatory Risk	Frequent changes in government policies may affect project compliance and approval timelines.
R16	Social Risk	Conflicts with local communities may disrupt project progress and reduce social acceptance.

Code	Risk Type	Risk Description
R17	Social Risk	Lack of stakeholder engagement may lead to dissatisfaction and resistance during implementation.
R18	Occupational Health and Safety (OHS) Risk	Weak safety culture may increase the likelihood of workplace accidents and project disruptions.
R19	Occupational Health and Safety (OHS) Risk	Insufficient use of personal protective equipment (PPE) may lead to severe injuries among workers.
R20	Environmental Management Risk	Low compliance with environmental standards may cause legal issues and damage the project's reputation.

Calculation of Risk Priority

The Risk Priority Number (RPN) was determined by multiplying the mean values of each identified risk source to obtain the RPN score for every specific risk event. The assessment was conducted using inputs from both field workers and individuals at the managerial and supervisory levels, including project directors, site managers, safety officers, and quality control personnel. This multi-level evaluation provided a comprehensive representation of perceived risks across different roles within the construction project. The summarized results of the RPN calculations for each risk event are presented in Table 5.

Table 5. Average of occurrence (O), severity (S) and detection (D) risk assessment

No	Code	Risk Type	O	S	D	RPN (O×S×D)
1	R01	Heavy rainfall disruptions	6,02	5,07	5,83	178,10
2	R02	Extreme temperatures / Heat stress (thermal)	8,98	7,99	7,17	514,00
3	R03	Strong coastal winds	4,90	6,03	4,93	145,87
4	R04	Limited water availability	6,98	6,99	5,90	287,72
5	R05	Limited skilled labour	6,23	5,98	4,65	172,92
6	R06	Scarcity of local materials (logistics)	8,95	8,89	7,65	609,12
7	R07	Unreliable power / fuel supply	7,19	5,94	5,74	245,34
8	R08	Inadequate supervision	4,90	5,92	4,41	127,79
9	R09	Poor communication	5,86	5,01	4,50	132,11

No	Code	Risk Type	O	S	D	RPN (O×S×D)
10	R10	Inefficient procurement	4,85	6,14	4,88	145,34
11	R11	Lack of planning accuracy	4,76	4,95	4,54	106,88
12	R12	Unrealistic cost estimation	6,19	6,85	4,68	198,32
13	R13	Price & logistics cost fluctuation	6,90	5,99	5,55	229,60
14	R14	Permit delays	6,17	6,00	5,01	185,33
15	R15	Frequent policy changes	5,10	5,89	4,38	131,48
16	R16	Conflicts with local communities	5,66	5,93	5,54	185,79
17	R17	Lack of stakeholder engagement	5,10	5,13	4,52	118,26
18	R18	Weak safety culture (OHS)	5,87	7,92	5,61	260,99
19	R19	Insufficient PPE use	5,39	7,04	4,70	178,04
20	R20	Low compliance with environmental standards	5,68	7,08	6,02	242,10

The compiled dataset captures the results of risk assessments based on Occurrence (O), Severity (S), and Detection (D) indicators across 20 identified construction-related risks. Responses were obtained from two distinct respondent groups—site workers (n = 40) and managerial or supervisory personnel (n = 15)—allowing for a comparative analysis of risk perception across operational hierarchies. The analysis indicates that logistical and environmental constraints constitute the most significant sources of construction risk in semi-arid coastal regions. In particular, the scarcity of locally available materials and thermal stress arising from extreme ambient temperatures stand out as the two most influential contributors to overall risk intensity. These are followed by challenges associated with price and logistics cost fluctuations and unstable power or fuel supply. In contrast, risks linked to policy dynamics, planning accuracy, and site supervision exhibit relatively lower weighted scores, suggesting stronger

management control or lower perceived severity in those domains.

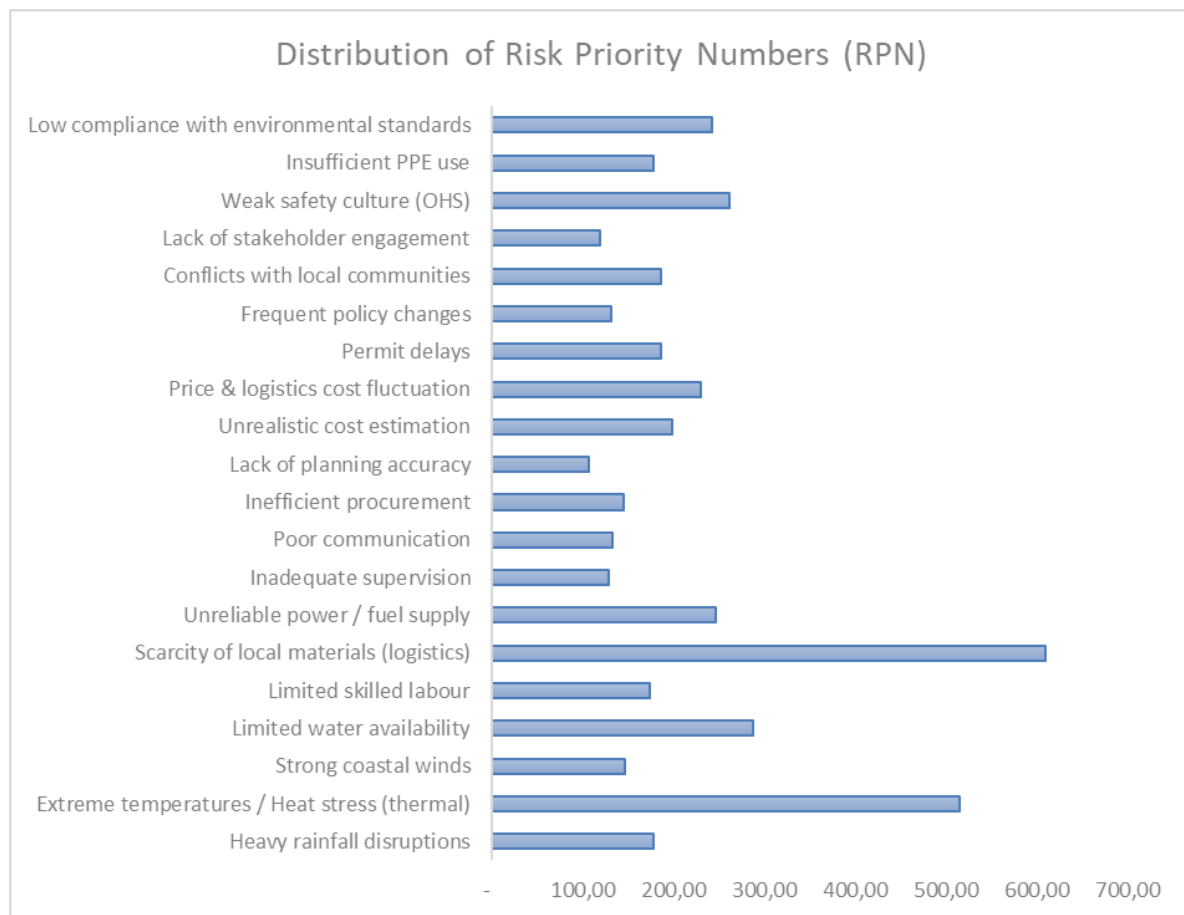


Figure 2. Distribution of Risk Priority Numbers (RPN)

The independent samples t-test indicated significant differences between workers and managerial staff in terms of risk occurrence ($t(1098) = -7.002$, $p < .001$, $d = -0.47$) and detection ($t(1098) = -9.673$, $p < .001$, $d = -0.65$). However, no statistically significant difference was observed for severity ($t(1098) = -0.512$, $p = 0.609$, $d = -0.03$). These results suggest that while both groups share a similar perception of the potential impact of risks, workers perceive risks as more frequent and less detectable, highlighting the need for enhanced field-level awareness and monitoring mechanisms in semi-arid construction environments. (See Table 6)

Table 6. Independent Samples T-Test

		Statistic	df	p		Effect Size
Occurrence	Student's t	-7.002	1098	<.001	Cohen's d	-0.4740
Severity	Student's t	-0.512 ^a	1098	0.609	Cohen's d	-0.0347
Detection	Student's t	-9.673 ^a	1098	<.001	Cohen's d	-0.6549

Note. $H_0: \mu_{\text{Managerial}} = \mu_{\text{Worker}}$

^a Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the assumption of equal variances

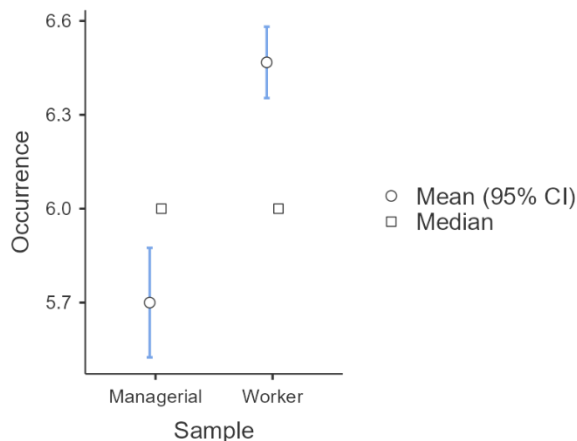


Figure 3. Descriptives Plots Occurrence

As illustrated in Figure 3, the results show Field workers tend to perceive risks as occurring more frequently compared to managerial personnel. This difference likely arises from their direct and continuous exposure to on-site conditions such as high temperatures, logistical disruptions, and equipment-related hazards. Their firsthand experience with these challenges shapes a heightened sense of vulnerability, leading to a more tangible awareness of operational risks in daily construction activities. Field workers tend to perceive risks as occurring more frequently compared to managerial personnel. This difference likely arises from their direct and continuous exposure to on-site conditions such as high temperatures, logistical disruptions, and equipment-related hazards. Their firsthand experience with these challenges shapes a heightened sense of vulnerability, leading to a more tangible awareness of operational risks in daily construction activities.

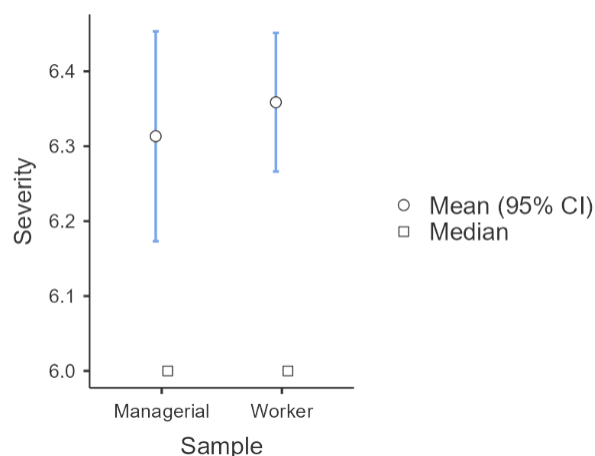


Figure 4. Descriptives Plots Severity

In Figure 4 Both workers and managerial personnel exhibit a comparable perception of risk

severity, indicating a shared understanding of how potential hazards may impact project performance. This alignment suggests that, despite differences in roles and exposure, both groups recognize the critical consequences of key risks, particularly those related to safety, material availability, and environmental conditions. Such convergence in perception provides a strong foundation for developing unified mitigation strategies across organizational levels.

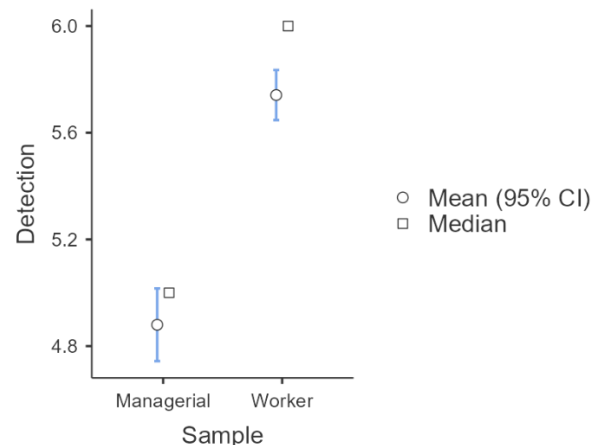


Figure 5. Descriptives Plots Detection

As shown in Figure 5, there is a notable gap between workers and managerial staff in risk detection capability. Managerial personnel tend to identify early warning signs more effectively, supported by structured monitoring systems and broader project oversight. In contrast, field workers are less responsive to subtle indicators of risk, as their attention is directed toward immediate operational tasks. This finding highlights the need to strengthen communication and on-site training to improve workers' awareness and integrate practical field experience with formal risk management practices.

Risk Evaluation

The Probability–Impact Matrix provides a visual structure for assessing both the likelihood and potential impact of identified risks. Risks are grouped into three categories—low, medium, and high. Low risks, shown in green, occupy the lower-left diagonal, representing acceptable conditions. High risks, displayed in red at the upper-right corner, indicate critical threats that must be minimized or avoided, while yellow zones reflect moderate risks lying between the two extremes.

The results derived from this matrix are consistent with the prioritization produced by the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) through Risk Priority Number (RPN) scoring. The RPN

values can be plotted onto the 5×5 matrix to illustrate how probability and impact interact in determining overall risk intensity.

Unlike FMEA, however, the matrix considers only two dimensions—severity and likelihood—excluding the detection factor. This simplification makes the tool easier to apply for project-level risk visualization. Based on the average values of severity and occurrence, the Probability–Impact Matrix illustrates the dominant risk areas and supports the formulation of targeted mitigation strategies in construction projects.

OCCURRENCE (Probability)	9/10	Very likely to Occur					
	6/7/8	Likely to Occur			R01, R09	R04, R05, R07, R10, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18	R02, R06
	4/5	May occur			R11	R03, R08, R19, R20	
	2/3	Unlikely to Occur					
	1	Very Unlikely occur					
			Very Low 1	Low 2/3	Medium 4/5	High 6/7/8	Very High 9/10
SEVERITY (Impact)							

Figure 6. Probability Impact Matrix

Discussion of Findings

The probability–impact evaluation indicates that most of the identified risks are concentrated in the high-risk zone of the matrix. These include limited water availability (R04), shortage of skilled labour (R05), unreliable power or fuel supply (R07), inefficient procurement systems (R10), unrealistic cost estimation (R12), price and logistics cost fluctuation (R13), permit delays (R14), frequent policy changes (R15), conflicts with local communities (R16), lack of stakeholder engagement (R17), and weak safety culture (R18).

The dominance of these items suggests that construction projects in semi-arid coastal regions are exposed to a combination of environmental constraints and management-related vulnerabilities that are not yet adequately controlled.

From an environmental standpoint, the scarcity of water and energy illustrates a strong dependence on natural resources that are inherently unstable in such regions. This condition directly influences productivity, scheduling, and operational continuity. Human resource issues, such as the limited availability of skilled workers and weak occupational safety practices, further complicate project performance, potentially increasing accident

rates and reducing work quality. Administrative factors, including regulatory delays and frequent policy adjustments, intensify uncertainty and may extend project timelines or inflate costs. In addition, inefficiencies in procurement, inaccurate cost forecasting, and market price volatility indicate systemic weaknesses in financial and logistical planning.

Risks classified as moderate—namely heavy rainfall disruptions (R01), poor communication (R09), and lack of planning accuracy (R11)—are manageable yet require close observation. Although they pose less immediate danger, their cumulative impact can aggravate other risk clusters. For instance, poor communication between project teams can delay decision-making, reduce coordination efficiency, and indirectly contribute to procurement or scheduling problems. Similarly, inaccurate planning may trigger cascading effects on budgeting and progress control.

Several other risks, including strong coastal winds (R03) and inadequate supervision (R08), fall near the upper boundary of the high-risk area. These findings point to the strong interaction between environmental stressors and management capacity. The coexistence of natural hazards—such as extreme heat, wind, and rainfall—with human-related weaknesses emphasizes the multidimensional nature of construction risks in coastal environments

Recommended Mitigation Strategies

Overall, the distribution pattern of risks reveals that the studied project operates within an ecosystem characterized by limited resource resilience, unstable regulatory frameworks, and underdeveloped managerial adaptability. This configuration implies that the current risk management framework is largely reactive and insufficiently contextualized.

To address these issues, three key strategies are recommended:

1. Resource management optimization, for example through water-recycling systems and substitution of local materials;
2. Capacity building and safety culture improvement, involving regular training and field supervision programs; and
3. Enhanced governance and digital monitoring, aimed at improving procurement transparency, stakeholder coordination, and regulatory compliance.

By integrating these measures, project resilience can be substantially improved while

aligning construction practices with sustainable development principles suited for regions facing climatic and logistical challenges. Ultimately, the analysis underscores the need for a context-sensitive and adaptive risk management model, one that acknowledges the interplay between environmental and organizational dimensions in determining project performance.

CONCLUSION

This research explores the structure and distribution of construction-related risks in semi-arid coastal regions through a systematic application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). The findings reveal that environmental and logistical challenges dominate the overall risk profile, particularly those related to material shortages, heat stress, and unstable energy supply. These high-priority risks are further exacerbated by managerial inefficiencies, including weak procurement systems, inaccurate cost estimations, and low adherence to safety and environmental regulations. Collectively, these conditions highlight the fragile operational ecosystem that characterizes construction projects in semi-arid coastal environments.

The comparative analysis between site workers and managerial personnel offers valuable insights into internal perception gaps within project organizations. Field workers, being directly exposed to climatic and operational hazards, tend to perceive risks as more frequent and harder to detect than their managerial counterparts. Although both groups show similar awareness regarding risk severity, the differing perceptions of frequency and detectability emphasize the need for stronger communication frameworks, participatory safety initiatives, and more decentralized decision-making in monitoring and managing risks.

The integration of the Probability–Impact Matrix with RPN-based prioritization confirms that construction projects in semi-arid regions must transition from a reactive to a proactive and anticipatory approach to risk management. To support this shift, three key strategies are proposed, Optimizing resource utilization through adaptive technologies and the use of locally available materials. Then Enhancing safety culture and workforce competence via continuous training and on-site supervision; and Establishing transparent governance structures supported by digital monitoring systems to improve procurement accountability, stakeholder coordination, and regulatory compliance.

These strategies serve both preventive and strategic purposes, embedding resilience and sustainability into everyday construction practices.

Ultimately, effective risk management in semi-arid coastal construction requires more than formal compliance—it demands contextual intelligence that integrates environmental awareness, organizational flexibility, and stakeholder collaboration. By adopting a holistic and site-responsive risk framework, project stakeholders can strengthen operational reliability, reduce vulnerability to climatic extremes, and promote sustainable infrastructure development in regions where environmental and resource constraints are most severe.

REFERENCE

- Al-Faruq, U., Sagala, S., Rianawati, E., Currie, E., & Al Faruq, U. (n.d.). *Working Paper Series Assessment of Renewable Energy Impact to Community Resilience in Sumba Island Editorial Team: Assessment of Renewable Energy Impact to Community Resilience in Sumba Island **.
- Alshihri, S., Al-gahtani, K., & Almohsen, A. (2022). Risk Factors That Lead to Time and Cost Overruns of Building Projects in Saudi Arabia. *Buildings*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/buildings12070902>
- Ariany, Z., Pitana, T., & Vanany, I. (2023). RISK ASSESSMENT OF NEW FERRY SHIP CONSTRUCTION IN INDONESIA USING THE FAILURE MODE EFFECT AND ANALYSIS (FMEA) METHOD. *Journal of Applied Engineering Science*, 21(3), 872–883. <https://doi.org/10.5937/jaes0-43711>
- Başhan, V., Demirel, H., & Gul, M. (2020). An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety. *Soft Computing*, 24(24), 18749–18764. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05108-y>
- Bhattacharjee, P., Dey, V., & Mandal, U. K. (2020). Risk assessment by failure mode and effects analysis (FMEA) using an interval number based logistic regression model. *Safety Science*,

132.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104967>
- Budi Puspitasari, N., Padma Arianie, G., & Adi Wicaksono, P. (2017). ANALISIS IDENTIFIKASI MASALAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN RISK PRIORITY NUMBER (RPN) PADA SUB ASSEMBLY LINE (Studi Kasus : PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia). In *Jurnal Teknik Industri* (Vol. 12, Issue 2).
- DeJoy, D. M. (2005). Behavior change versus culture change: Divergent approaches to managing workplace safety. *Safety Science*, 43(2), 105–129.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.02.001>
- Giri, O. P. (2025). Assessment of Key Risk Factors Impacting Construction Project Performance. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 6(1), 1231–1241.
<https://doi.org/10.54660/ijmrge.2025.6.1.1231-1241>
- Gong, C., Zhang, H., Yang, J., & Tao, D. (2017). Learning with Inadequate and Incorrect Supervision. *2017 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*, 889–894.
<https://doi.org/10.1109/ICDM.2017.110>
- Hong Pham, L., & Hadikusumo, H. (2014). Schedule delays in engineering, procurement, and construction petrochemical projects in Vietnam: A qualitative research study. *International Journal of Energy Sector Management*, 8(1), 3–26.
<https://doi.org/10.1108/IJESM-06-2013-0009>
- Hosseini, K., B. T. T. R., B. D. G., M. G. P., & Cidambi, S. (2018). Impact of Skilled Labor Availability on Construction Project Cost Performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(7), 04018057.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001512](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001512)
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 – Environmental Management Systems: Requirements with Guidance for Use*.
<https://www.iso.org/standard/60857.html>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 – Risk Management: Guidelines*.
<https://www.iso.org/standard/65694.html>
- Jae-Seob, L. (2016). Estimating Cumulative Damages due to Disruptions in Repetitive Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(11), 04016064.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001184](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001184)
- Jia, G., Yang, F., Wang, G., Hong, B., & You, R. (2011). A study of mega project from a perspective of social conflict theory. *International Journal of Project Management*, 29(7), 817–827.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.04.004>
- Khodakarami, V., & Abdi, A. (2014). Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. *International Journal of Project Management*, 32(7), 1233–1245.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.01.001>
- Khursheed, S., Sharma, S., Paul, V. K., Alzubaidi, L. H., & Israilova, D. (2024). Review of the Factors Inducing Delay in Construction Project Material Management. *E3S Web of Conferences*, 563.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456302044>
- Lange, Bettina. (1999). Compliance Construction in the Context of Environmental Regulation. *Social & Legal Studies*, 8(4), 549–567.
<https://doi.org/10.1177/a010430>
- Liu, X., Tang, Q., Zhang, X., & Sun, S. (2018). Projected Changes in Extreme High

- Temperature and Heat Stress in China. *Journal of Meteorological Research*, 32(3), 351–366.
<https://doi.org/10.1007/s13351-018-7120-z>
- Maruf, B., Prihandono, M., Syairudin, B., & Ma'ruf, B. (2017). *SHIPBUILDING RISKS ANALYSIS (CASE STUDY OF NEW BUILD PERTAMINA TANKER 3.500 DWT ON PT. DUMAS TANJUNG PERAK SHIPYARDS)*.
<https://www.researchgate.net/publication/325319674>
- Muya, M., Kaliba, C., Sichombo, B., & Shakantu, W. (2013). Cost Escalation, Schedule Overruns and Quality Shortfalls on Construction Projects: The Case of Zambia. *International Journal of Construction Management*, 13(1), 53–68.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2013.10773205>
- Nabinejad, S., & Schüttrumpf, H. (2023). Flood Risk Management in Arid and Semi-Arid Areas: A Comprehensive Review of Challenges, Needs, and Opportunities. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/w15173113>
- Panova, Y., & Hilletoft, P. (2018). Managing supply chain risks and delays in construction project. *Industrial Management & Data Systems*, 118(7), 1413–1431.
<https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2017-0422>
- Sagala, S. A., Lassa, J., & Arrafisena, F. (n.d.). *Insights from Sumba: Compilation of Ideas on Adaptive Social Protection against Climate Change*.
- Salah A. Sheibani. (2024). THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON CONSTRUCTION BUILDINGS IN LIBYA. *Malaysian Journal of Industrial Technology*, 8(3), 29–38.
<https://doi.org/https://doi.org/10.70672/xfjbm376>
- Singh, J. (2025). Risk Assessment and Mitigation in Construction Building Projects. *Journal of Construction and Building Materials Engineering*, 11(1), 14–23.
<https://doi.org/10.46610/jocbme.2025.v011i01.002>
- Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Chan, K. K. (2006). Environmental performance measurement indicators in construction. *Building and Environment*, 41(2), 164–173.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.009>
- Wijesuriya, R., & Sugathadasa, N. (2025). Causes of Building Permit Delays: A Case Study of a Sri Lankan Local Government Authority. *Journal of Real Estate Studies*, 22(2), 16–29.
<https://doi.org/10.31357/jres.v22i2.8270>
- Wu, G., Liu, C., Zhao, X., & Zuo, J. (2017). Investigating the relationship between communication-conflict interaction and project success among construction project teams. *International Journal of Project Management*, 35(8), 1466–1482.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.08.006>
- Yang, N., & Bai, F. (2017). Damage analysis and evaluation of light steel structures exposed to wind hazards. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 7, Issue 3). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/app7030239>

Analisis Kinerja Ruas Jalan Tukad Pakerisan Denpasar Selatan Menggunakan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023

Performance Analysis of the Tukad Pakerisan South Denpasar Road Section Using the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines Method

**Luh Putu Merta Karunia Putri^{1*}, I Gede Fery Surya Tapa², I Putu Kresna Suputra³,
Carolina Susana Putri Nahak⁴, Putu Ariawan⁵, Putu Budiarnaya⁶**

^{1*}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional

^{2,4,5,6}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional

³Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mahendradatta

*Email : mertakarunia@undiknas.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja ruas jalan Tukad Pakerisan kondisi eksisting, serta proyeksi kinerja ruas jalan Tukad Pakerisan 5 tahun mendatang. Metode penelitian menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Data dikumpulkan melalui survei minimal 2 hari weekday dan 2 hari weekend selama 12 jam, yang dilakukan pada dua segmen jalan pada ruas jalan Tukad Pakerisan. Hasil analisis menunjukkan bahwa volume arus lalu lintas pada segmen A sebesar 2025,45 smp/jam dan B sebesar 1865,65 smp/jam, kapasitas jalan pada segmen A sebesar 1877,669 smp/jam dan B sebesar 1671,583 smp/jam, serta derajat kejenuhan pada segmen A mencapai 1,08 dan segmen B mencapai 1,12, yang mengindikasikan kondisi jalan dalam tingkat pelayanan F, artinya mengalami kemacetan parah. Proyeksi kinerja untuk lima tahun mendatang menunjukkan bahwa derajat kejenuhan diperkirakan akan terus meningkat melebihi batas layak derajat kejenuhan yang telah ditetapkan pada PKJI 2023 yaitu 0,85. Hasil ini menunjukkan bahwa ruas jalan Tukad Pakerisan diperlukan rekayasa lalu lintas terkait dengan pengalihan arus lalu lintas pada saat jam puncak. Penelitian ini merekomendasikan perlu ditambahkan rambu lalu lintas serta pengadaan rekayasa lalu lintas untuk mengurangi kemacetan pada ruas jalan Tukad Pakerisan Denpasar Selatan.

Kata Kunci: Kapasitas Jalan; Kemacetan; Kinerja Ruas Jalan; Metode PKJI 2023

Abstract

This study analyze the performance of the existing condition the Tukad Pakerisan road section, as well as the projected performance of the road section for the next 5 years. The method uses the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) method. Data were collected through a survey 2 weekdays and 2 weekend days for 12 hours, which was conducted on two road segments road section. The analysis show that the traffic flow volume on segment A is 2025.45 pcu/hour and B is 1865.65 pcu/hour, the road capacity on segment A is 1877.669 pcu/hour and B is 1671.583 pcu/hour, and the degree of saturation on segment A reaches 1.08 and segment B reaches 1.12, which indicates that the road condition is at service level F, meaning it is experiencing severe congestion. Performance projections for the next five years indicate that the degree of saturation is expected to continue to increase beyond the acceptable limit of the degree of saturation set in the 2023 PKJI, which is 0.85. The results that the Tukad Pakerisan road section requires traffic engineering related to traffic diversion during peak hour and recommends the addition of traffic signs and the implementation of traffic engineering to reduce congestion.

Keywords: Road Capacity; Congestion; Road Section Performance; PKJI 2023 Method

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan faktor utama dalam mendukung perekonomian masyarakat. Peningkatan jumlah kepemilikan kendaraan bermotor

menyebabkan tingkat kemacetan lalu lintas yang semakin tinggi. Untuk mendukung kelancaran aktivitas masyarakat, diperlukan sarana dan prasarana transportasi yang baik. Penyebab terjadinya kemacetan yaitu karena adanya peningkatan volume lalu lintas pada ruas jalan, (Widodo et al., 2024). Kemacetan adalah kondisi arus lalu lintas yang lewat pada ruas jalan yang ditinjau melebihi kapasitas jalan tersebut yang menyebabkan kecepatan bebas ruas jalan tersebut mendekati atau melebihi 0 km/jam sehingga menyebabkan terjadinya antrean. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan masalah kemacetan lalu lintas di banyak tempat (Motu et al., 2022).

Kemacetan lalu lintas biasanya terjadi di ruas jalan utama yang menjadi akses utama aktivitas masyarakat di suatu kota. Peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan semakin tingginya tingkat kegiatan penduduk, yang secara langsung meningkatkan mobilitas penduduk di suatu daerah. Peningkatan jumlah pergerakan di suatu kota akan meningkatkan penggunaan sarana transportasi umum maupun pribadi. Semakin meningkatnya jumlah sarana transportasi yang tidak seiring, dengan kapasitas jalan raya, mengakibatkan peningkatan volume lalu lintas tidak mampu ditampung oleh kapasitas jalan raya (Darma Yoga et al., 2022). Hal ini menyebabkan berbagai permasalahan seperti penumpukan kendaraan, terbuangnya waktu perjalanan, tundaan, antrian serta penurunan kualitas pelayanan ruas jalan, (Selatan et al., 2024).

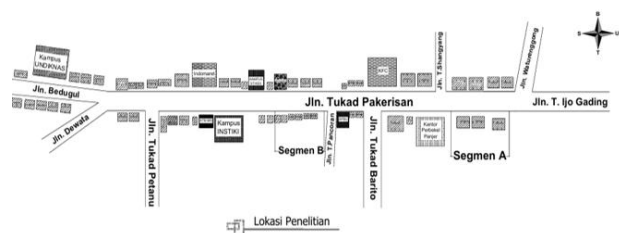
Penelitian ini berlokasi di jalan Tukad Pakerisan, kota Denpasar, kecamatan Denpasar Selatan, Provinsi Bali. Penelitian ini dilakukan pada 2 segmen jalan yang ada pada ruas jalan Tukad Pakerisan. Jalan Tukad Pakerisan memiliki peran yang sangat penting, sehingga mengakibatkan beban lalu lintas yang cukup tinggi sehingga mengakibatkan kemacetan pada ruas jalan Tukad Pakerisan. Penyebab utama kemacetan pada ruas jalan Tukad Pakerisan yaitu Peningkatan kepemilikan kendaraan bermotor pribadi yang dimana berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Denpasar pada tahun 2023 sebanyak 1.540.337 (Bali, 2024), serta mobilitas penduduk yang semakin tinggi. Salah satu penyebab kemacetan jalan yaitu hambatan samping. Sehingga jalan tukad pakerisan sering kali mengalami kemacetan lalu lintas di beberapa titik jalan. Dilihat dari segi klasifikasi fungsi jalan, jalan Tukad Pakerisan sebagai jalan kolektor primer dengan tipe jalan (2/2 TT).

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis kinerja ruas jalan kondisi eksisting serta proyeksi kinerja ruas jalan 5 tahun mendatang dengan menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Adapun yang

membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu, pada penelitian sebelumnya, dilakukan dengan menggunakan metode MKJI 1997, dan juga menggunakan metode PKJI 2014, sedangkan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dengan menanalisis kinerja ruas jalan, proyeksi kinerja ruas jalan 5 tahun mendatang serta perbedaan pada lokasi penelitian.

METODE

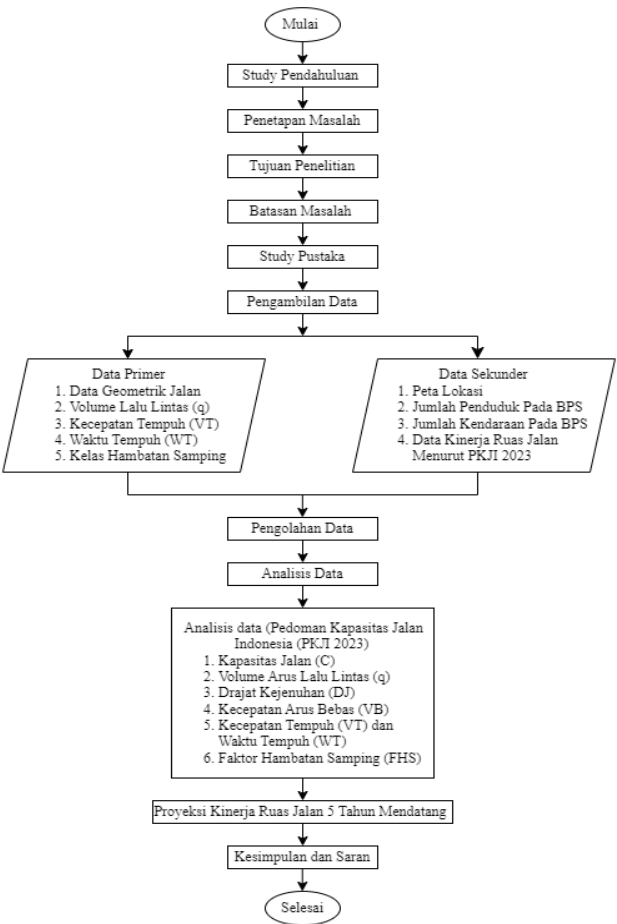
Penelitian ini dilakukan pada ruas Jalan Tukad Pakerisan Denpasar Selatan, Bali. Lokasi penelitian ini hanya dilakukan pada ruas jalan Tukad Pakerisan dengan 2 (dua) segmen ruas jalan yang ada yaitu dengan segmen A pada simpang jalan Waturenggong – simpang jalan Tukad Shangyang, dan segmen B simpang jalan Tukad Pancoran – simpang jalan Tukad Petanu. Dilihat dari segi klasifikasi fungsi jalan, jalan Tukad Pakerisan sebagai jalan kolektor primer dengan tipe jalan dua arah dua lajur tak tebagi (2/2 TT) dengan ukuran panjang jalan 1830 m atau 1,83 km, namun yang diteliti pada penelitian ini hanya beberapa segmen jalan yang ada dengan panjang 200 m atau 0,2 km, dengan pengambilan titik awal penelitian bebas simpang sejauh 50 m. Penelitian ini dilakukan selama 1 hari yaitu pada hari rabu selama selang waktu 12 jam yaitu dari jam 07:00-18:00 WITA pada ruas jalan Tukad Pakerisan Denpasar Selatan, Provinsi Bali. Berikut merupakan gambar 1. Lokasi penelitian pada ruas jalan Tukad Pakerisan



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Peneliti menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 sebagai acuan dan panduan utama, yang dimana dikeluarkan oleh pemerintah untuk menganalisis kinerja ruas jalan di Indonesia. Melalui PKJI 2023, peneliti akan melakukan serangkaian pengukuran dan pencacahan data-data kunci terkait kinerja ruas jalan yang menjadi objek penelitian. Data-data yang akan dikumpulkan dan dianalisis meliputi volume arus lalu lintas (q), kapasitas jalan (C), derajat kejenuhan (DJ) yang merupakan perbandingan antara volume dan kapasitas, waktu tempuh (WT) dan kecepatan

tempuh (VT) kendaraan, serta kecepatan arus bebas (VB).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kinerja Ruas Jalan Berdasarkan PKJI 2023

Data Pendukung dalam hal ini yaitu meliputi data kondisi geometrik jalan, jumlah penduduk serta jumlah kendaraan selama 5 tahun terakhir. Data jumlah penduduk berdasarkan BPS kota Denpasar yaitu sebanyak 661,00 juta jiwa, serta data jumlah kendaraan 5 tahun terakhir dan kondisi geometrik jalan dapat dilihat pada Gambar 3.

Kode Segmen	Jenis Data	Keterangan
Segmen A	Tipe Jalan	Jalan Tipe 2/2-TT (2 Lajur 2 arah tak terbagi)
	Lebar Jalur	6.00 m
	Lebar Per Lajur	3.00 m
	Bahu Jalan	0.30 m
Segmen B	Trotoar	1.00 m
	Tipe Jalan	Jalan Tipe 2/2-TT (2 Lajur 2 arah tak terbagi)
	Lebar Jalur	7.00 m
	Lebar Per Lajur	3.50 m
	Bahu Jalan	0.30 m
	Trotoar	1.00 m

Gambar 3. Kondisi Geometrik Jalan Tukad Pakerisan

Tabel 1. Data Jumlah Kendaraan 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Jumlah Kendaraan
1	2019	1.421.953
2	2020	1.450.730
3	2021	1.470.570
4	2022	1.466.637
5	2023	1.540.337

Sumber: Data Hasil Survei

Analisis Volume Arus Lalu Lintas (q)

Volume yang digunakan dalam penelitian ini yaitu volume lalu lintas pada jam sibuk, karena pada jam sibuk jumlah kendaraan banyak melewati suatu lokasi tertentu sehingga menyebabkan terjadinya arus lalu lintas yang tinggi dalam satu hari. Sedangkan arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melalui suatu titik pada suatu penggal jalan per satuan waktu yang dinyatakan dalam satuan kend/jam.

Data volume lalu lintas di dapat langsung dengan melakukan survey di lapangan. Survey di laksanakan selama 1 hari yaitu hari Rabu tanggal 04 Desember 2024 yang dilakukan selama 12 jam dengan satuan waktu 15 menit. Data tersebut dianalisa untuk menentukan besar volume lalu lintas pada jam puncak. Berdasarkan hasil survei pada lokasi survei berikut ini maka data yang diperoleh secara keseluruhan dapat dilihat pada halaman lampiran. Dari hasil survei yang telah dilakukan berikut merupakan analisis volume arus lalu lintas yaitu sebagai berikut ini:

Volume Lalu Lintas Jalan Tukad Pakerisan Pada

Baris	Tipe Kend	MP	KS	SM	BB	TB	qTOT				
1.1	EMP Aras SU	1	1.2	0.35	1.5	2.5					
1.2	EMP Aras US	1	1.2	0.35	1.5	2.5					
2	Arah	Kend/ jam	SMP/ jam	Kend/ jam	SMP/ jam	Kend/ jam	SMP/ jam	Kend/ jam	SMP/ jam	Kend/ jam	SMP/ jam
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	SU	438	438	9	10,8	2059	720,65	0	0	1	2,5
4	US	3	3	0	0	2430	850,5	0	0	0	50%
5	1+2	441	441	9	10,8	4489	1571,15	0	0	1	2,5
6											
7											

Segmen A

Gambar 4. Volume Arus Lalu lintas Jalan Tukad Pakerisan Segmen A

Dari Gambar 4 didapatkan nilai arus total dua arah pada titik pengamatan segmen A sebesar 4940 kend/jam yang diubah ke satuan mobil penumpang menjadi 2025,45 Smp/jam.

Volume Lalu Lintas Jalan Tukad Pakerisan Pada Segmen B

Baris	Tipe Kend	MP	KS	SM	BB	TB	qTOT
1.1	EMP Arah SU	1	1,2	0,25	1,5	2,5	
1.2	EMP Arah US	1	1,2	0,25	1,5	2,5	
2	Arah	Kend/jam	SMP/jam	Kend/jam	SMP/jam	Kend/jam	SMP/jam
3	SU	378	378	11	13,2	189	474,5
4	US	382	382	6	7,2	243	608,25
5	1+2	760	760	17	20,4	431	1082,75
6	Pemisahan arah, PA=q1/(q1+q2)						50%
7	Faktor SMP, F _{SM} =						0,36524

Gambar 5. Volume Arus Lalu lintas Jalan Tukad Pakerisan Segmen B

Dari Gambar 5 didapatkan nilai arus total dua arah pada titik pengamatan segmen B sebesar 5108 kend/jam yang diubah ke satuan mobil penumpang menjadi 1865,65 Smp/jam.

Kelas Hambatan Samping Pada Segmen A Dari hasil perkalian antar jumlah frekuensi kejadian dikali bobot pada segmen A didapat hasil yaitu 525,2 sehingga kelas hambatan samping (KHS) pada jalan Tukad Pakerisan yaitu Tinggi. Kelas Hambatan Samping Pada Segmen B dari hasil perkalian antar jumlah frekuensi kejadian dikali bobot pada segmen B didapat hasil yaitu 1249,3 sehingga kelas hambatan samping (KHS) pada jalan Tukad Pakerisan yaitu Sangat Tinggi. Kapasitas Jalan (C) didapatkan nilai kapasitas jalan Tukad Pakerisan Segmen A sebesar 1877,669 SMP/Jam dan Segmen B sebesar 1671,583 SMP/Jam. Kecepatan arus bebas MP (VB) segmen A yaitu 31,939 km/jam dan B yaitu 30,514 km/jam. Derajat kejenuhan pada segmen A yaitu 1,08 dan segmen B yaitu sebesar 1,12.

Proyeksi Kinerja Ruas Jalan 10 Tahun Mendatang

Sebelum menentukan kinerja ruas jalan 10 tahun mendatang perlu diketahui terlebih dahulu volume lalu lintas selama 10 tahun yang akan datang guna untuk menentukan derajat kejenuhannya. Tabel 2. Proyeksi Derajat Kejenuhan 10 Tahun Mendatang (DJ) Segmen A

Tahun	Volume arus Lalu lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (DJ) (q/C)
2025	2066,71	1877,669	1,10
2026	2108,82	1877,669	1,12
2027	2151,78	1877,669	1,15
2028	2195,62	1877,669	1,17
2029	2240,35	1877,669	1,19
2030	2285,99	1877,669	1,22
2031	2332,56	1877,669	1,24
2032	2380,08	1877,669	1,27
2033	2428,57	1877,669	1,29
2034	2478,04	1877,669	1,32

Sumber: Data Hasil Analisis

Tabel 3. Proyeksi Derajat Kejenuhan 10 Tahun Mendatang (DJ) Segmen B

Tahun	Volume arus Lalu lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (DJ) (q/C)
2025	1903,66	1671,583	1,14
2026	1942,44	1671,583	1,16
2027	1982,01	1671,583	1,19
2028	2022,39	1671,583	1,21
2029	2063,59	1671,583	1,23
2030	2105,63	1671,583	1,26
2031	2148,53	1671,583	1,29
2032	2192,30	1671,583	1,31
2033	2236,96	1671,583	1,34
2034	2282,54	1671,583	1,37

Sumber: Data Hasil Analisis

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis pada ruas Jalan Tukad Pakerisan: Setelah dilakukan survei dan analisis pada ruas jalan Tukad Pakerisan pada hari rabu pada tanggal 04 Desember 2024 dapat diketahui dari hasil analisis yang dilakukan pada dua segmen yang ada pada ruas jalan ini yaitu dimana pada segmen A dari simpang jalan Waturenggong – simpang jalan Tukad Barito, didapat volume arus lalu lintas (q) menunjukkan angka 2025,45 smp/jam, kapasitas jalan sebesar 1877,669 smp/jam, kecepatan arus bebas (VB) 31,939 km/jam, derajat kejenuhan (DJ) adalah 1,08, kecepatan rata-rata VMP sebesar 20 km/jam, waktu tempuh (WT) 0,0100 jam dalam detik 36 detik, dengan hambatan samping tinggi (T). Hasil perhitungan derajat kejenuhan adalah sebesar 1,08 smp/jam, sehingga tingkat pelayanan rata-rata

jalan Tukad Pakerisan adalah pada tingkat F karena yang artinya kondisi kendaraan tersendat, kecepatan sangat rendah, dan terjadi runtunan panjang karena besarnya kejadian tundaan. Nilai derajat kejenuhannya jika saturasinya $\leq 0,85$, maka kondisi jalan tersebut masih dalam kondisi layak. Sehingga berdasarkan analisis data yang di dapatkan dengan nilai tersebut maka jalan Tukad Pakerisan dikatakan dalam kondisi tidak layak atau perlu adanya penanganan. Sedangkan pada segmen B dari simpang jalan Tukad Barito – simpang jalan Tukad Petanu, didapat volume arus lalu lintas (q) menunjukkan angka 1865,65 smp/jam, kapasitas jalan sebesar 1671,583 smp/jam, kecepatan arus bebas (VB) 30,514 km/jam, derajat kejenuhan (DJ) adalah 1,12, kecepatan rata-rata VMP sebesar 18 km/jam, waktu tempuh (WT) 0,0111 jam dalam detik 40 detik, dengan hambatan sangat tinggi (ST). Hasil perhitungan derajat kejenuhan adalah sebesar 1,12 smp/jam, sehingga tingkat pelayanan rata-rata jalan Tukad Pakerisan adalah pada tingkat F yang artinya kondisi kendaraan tersendat, kecepatan sangat rendah, dan terjadi runtunan panjang karena besarnya kejadian tundaan. Nilai derajat kejenuhannya jika saturasinya $\leq 0,85$, maka kondisi jalan tersebut masih dalam kondisi layak. Sehingga berdasarkan analisis data yang di dapatkan dengan nilai tersebut maka jalan Tukad Pakerisan dikatakan dalam kondisi tidak layak. Sehingga berdasarkan hasil analisis tersebut kondisi ruas jalan Tukad Pakerisan mengalami penurunan terhadap kinerja ruas jalan. 2. Setelah melakukan analisis terhadap peramalan kinerja ruas jalan pada jalan Tukad Pakerisan selama 10 tahun yang akan datang didapat untuk nilai derajat kejenuhan per tahun selama 10 tahun mendatang pada segmen A dan B melebihi 0,85, yaitu dimana pada segmen A dari simpang jalan Waturenggong – Tukad Barito memiliki derajat kejenuhan pada tahun 2025 sebesar 1,10 smp/jam, dan tahun 2034 sebesar 1,32 smp/jam. Sedangkan untuk segmen B dari simpang jalan Tukad Pancoran – Tukad Petanu memiliki derajat kejenuhan pada tahun 2025 sebesar 1,14 smp/jam, dan tahun 2034 sebesar 1,37 smp/jam. Dari hasil analisis dari segmen A dan B tersebut nilai derajat kejenuhan telah melebihi batas derajat kejenuhan suatu segmen jalan berdasarkan nilai Dj pada PKJI 2023. Sehingga tingkat pelayanan rata-rata jalan Tukad Pakerisan pada segmen A dan B adalah pada tingkat F yang artinya kondisi kendaraan tersendat, kecepatan sangat rendah, dan terjadi runtunan panjang karena besarnya kejadian tundaan. Sehingga jalan Tukad Pakerisan memiliki nilai derajat kejenuhan $> 0,85$, maka kondisi jalan Tukad Pakerisan selama 10 tahun mendatang sudah menunjukkan kinerja yang perlu mempertimbangkan peningkatan kapasitas jalan.

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis pada ruas jalan Tukad Pakerisan mengenai analisis terhadap kinerja ruas jalan kondisi eksisting serta proyeksi kinerja ruas jalan Tukad Pakerisan 10 tahun yang akan datang saran yang dapat disampaikan yang dimana akan ditindaklanjutan oleh peneliti selanjutnya yaitu: yaitu perlu ditambahkan rambu lalu lintas agar kendaraan tidak berhenti ataupun parkir sembarangan untuk menghindari kemacetan serta terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan serta pengadaan rekayasa lalu lintas seperti pemberlakuan jalan satu arah pada jam puncak tertentu di jalan Tukad Pakerisan yang dimana akan diteliti oleh peneliti selanjutnya.

REFERENSI

- Bali, B. P. S. P. (2024). Banyaknya Kendaraan Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Bali (Unit), 2019 - 2023. Badan Pusat Statistik.
- Darma Yoga, I. W. G., Marcal, R. B. L.-L. D., Putri, D. A. P. A. G., & Ariawan, P. (2022). Analisis Kinerja Ruas Jalan (Studi Kasus Jalan Tangkuban Perahu, Denpasar Barat). *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 1(2), 59–65. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v1i2.4073>
- Jenderal, D., Marga, B., Direktorat, S., Bina, J., Direktur, P., Bina, J., Kepala, P., Kerja, S., & Bina, J. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*, DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA.
- Kharis Hanafi, I., & Moetriono, H. (2022). Analisis Kinerja Ruas Jalan Raya Menganti Menggunakan Metode PKJI 2014. *Ge-STRAM*, 05(September), 99.
- Motu, L. L., Pandulu, G. D., & Primasworo, R. A. (2022). Analisis Kinerja Ruas Jalan Diponegoro Kota Blitar. *Teknosiar*, 16(1), 11–19. <https://doi.org/10.37478/teknosiar.v16i1.1949>
- Selatan, M., Section, R., & Jakarta, C. (2024). KINERJA RUAS JALAN MEDAN MERDEKA SELATAN JAKARTA PUSAT (Analysis Of Traffic Impact Due To The Operation Of Building " X " On The Performance Of The Medan. 4(1), 70–76.
- Widodo, I. M., Atmajaya, A. B., Nugraha, W. A., & Raharja, M. E. (2024). Perbandingan Metodologi Dan Hasil Analisis Kapasitas Jalan Berdasarkan Mkji 1997 Dan Pkji 2023 Studi Kasus: Ruas Jalan Diponegoro, Kabupaten Bondowoso. *Berkala Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi*, 2(1), 67–76.

<https://doi.org/10.19184/berkalafstpt.v2i1.902>

- Tapa, I. G. F. S., Yuliadewi, N. P. A., Candrawengi, N. L. P. I., Prakasa, I. M. P. T., Zainordin, N., & Sutapa, I. K. (2025). Performance Analysis and Traffic Flow Simulation of Tukad Pakerisan Road Segments Using VISSIM in South Denpasar. *TIERS Information Technology Journal*, 6(1), 87-96.
- Tapa, I. G. F. S., Kumara, I. N. I., Indrashwara, D. C., Putri, D. A. P. A. G., Dayanti, M. A. R., & Muttiwijaya, G. T. P. (2025). Analisis Karakteristik dan Solusi Permasalahan Parkir Pada Tempat Wisata (Studi Kasus: Jalan Raya Ceking, Tegallalang-Bali). *Jurnal Darma Agung*, 33(2), 319-325.
- Tapa, I. G. F. S., Kumara, I. N. I., Indrashwara, D. C., Sutapa, I. K., & Susila, I. N. D. (2025). Analysis of financial feasibility installing parking meters in Gianyar Regency (case study: Jalan Ngurah Rai–Gianyar). *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, 15(1), 1-8.
- Tapa, I. G. F. S., Kumara, I. N. I., Wedagama, D. A. T. A., & Indrashwara, D. C. (2024). Analysis on the Performance of Passenger Terminal Services at I Gusti Ngurah Rai Airport, Bali. *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 9(2), 147-156.