

Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI)

- **Perbandingan Antara Metode Static Equivalent dan Response Spectrum pada Perencanaan Gedung Asrama Universitas Dr. Soetomo Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)**
Abidin Maulidan Fauz Alakbar Abid, K. Budi Hastono, Safrin Zuraidah
- **Analisa Pelaksanaan Penerbitan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Bnagunan Gedung di Kota Surabaya dengan Metode Statistika Deskriptif**
Farida Hardaningrum, R. Endro Wibisono, Tariq Ilhamzah.
- **Analisis Kinerja Hambatan Samping pada Jalan Jawa Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember**
Khofifah Khofifah, Difa Safinatun Nisa
- **Perencanaan Tebal Lapisa Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur dengan Metode MDPJ 2017 pada STA 0+000 s/d STA 0+860 Ruas Jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya**
Muhammad Shofwan Donny Cahyono, R. Endro Wibisono, Prathita Muti'a Yuzaeva
- **Analisis Biaya Rencana Keselamatan Kerja (RKK) Terhadap Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) di Lapangan (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Modong – Grabagan dan Peningkatan Jalan Banjarsari – Dukuhtengah)**
An Agus, Maulidya Octaviani Bustamin, Bambang Sujatmiko
- **Tinjauan Operasional Kereta Api Barang yang Melalui Wilayah Perawatan UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari**
Haqiqi Abdurrohman, Edi Abdurrachman, Ocky Soelistyo Pribadi
- **Identifikasi Produktivitas Tenaga Kerja untuk Optimasi Anggaran Biaya Dalam Pelaksanaan Proyek Skala Kecil di Bali**
Vinantya Laksmi Ida Ayu Cri, I Wayan Jawat, I gusti Agung Gede Nodya Dharmastika, Ni Kadek Ayu Cipta Dewi, Komang Pipin Indraswari Berata Putri
- **Kajian Penerapan Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Management System Berbasis ISO pada PT. Pelindo IV (PERSERO) Terminal Petikemal Bitung**
Adrian Philip Marthinus, Jermias Tjakra, Grace Yoyce Malingkas.
- **Perbandingan Debit Limpasan Metode Rasional dan Pemodelan SWMM Jaringan Drainase Jalan Parangtritis KM 3,5-4,5**
Titiek Widyasari, Inanda Andita Meigawati.
- **Durabilitas Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Abu Cangkang Kemiri dan Getah Damar Sebagai Material Substitusi**
Kusmira Agustian, Cut Liliiza Yusra, Roni Agusmaniza
- **Pengaruh Laminasi Silang dengan Perkat Epoxy pada Kayu Palaka Terhadap Nilai Kuat Lentur Kayu**
Muhammad Nur Fajar, Didik Setya Purwantoro, Herlina Arifin, Alfina Maysyurah, Muhammad Aris
- **Analisa Pemanfaatan Sampah Plastik Berjenis PET pada Paving Block**
M. Rafi Zafran, Revianty Nurmeyliandri Nurhendi, Denie Chandra
- **Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik LDPE Terhadap Karakteristik Laston AC-WC dengan Metode Marshall**
Iqbal Iqbal, Dwi Guntoro Sukowati, Muhammad Rusmin, Faried Desembardi, Kartika Putri Sasim
- **Analisa Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer**
Debby Sinta Devi, Henggar Risa Destania, Muhammad Rizky Cahyadi
- **Pengaruh Retak dan Pelapukan Tanah Terhadap Potensi Kelongsoran Saat Hujan dengan Uji ERT, IP dan Pemodelan Numerik**
Putu Tantri Kumala Sari, Mila K. Wardani

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 6, Nomor 2, Desember 2024. 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 6, Nomor 2 ini menerbitkan 15 judul artikel ilmiah yang kami sajikan. Penulis pada Volume 6, Nomor 2 ini merupakan sivitas akademika dari dalam maupun luar Universitas Negeri Surabaya. Redaksi mengucapkan terima kasih kepada 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 6, No. 2, Desember 2024

E-ISSN : 2655-6421

Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI)

Pimpinan Redaksi :

Nurul Jannah Asid ST., MT. (UNESA)

Editor :

Meity Wulandari S.T., M.T. (UNESA)
Siti Talitha Rachma, S.T., M.Sc. (UNESA)
R. Endro Wibisono, S.Pd., M.T. (UNESA)
Hendro Sutowijoyo, S.T., M.T. (UNNAR)
Anita Intan Nura Diana, S.T., M.T. (UNIJA)
Maulidya Octaviani Bustamin, ST, M.MT (UNITOMO)

Mitra Bestari :

Prof Dr. Ir. Erina Rahmadyanti ST., MT.(UNESA)
Ir. Arie Wardhono, S.T., M.MT., M.T., Ph.D.(UNESA)
Dr. Ir. Indra Komara, ST, MT (ITATS)
Dr. Eng., Ir., Mohamad Ferdaus Noor Aulady, S.T., M.T., M.Sc., IPM (ITATS)
Ir. Purwo Mahardi, ST, MSc, IPM (UNESA)
Rizki Astri Apriliani, ST., MT. (UNITOMO)
Dr. Adhi Muhtadi, S.T., S.E., M.Si., M.T.(UNNAR)
Ach. Desmantri Rahmanto, ST.,M.T (UNIJA)

Alamat Penerbit :

Prodi S1 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

Perbandingan Antara Metode Static Equivalent dan Response Spectrum pada Perencanaan Gedung Asrama Universitas Dr. Soetomo Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Abidin Maulidan Fauz Alakbar Abid, K. Budi Hastono, Safrin Zuraidah.....118-126

Analisa Pelaksanaan Penerbitan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Bangunan Gedung di Kota Surabaya dengan Metode Statistika Deskriptif

Farida Hardaningrum, R. Endro Wibisono, Tariq Ilhamzah.....127-133

Analisis Kinerja Hambatan Samping pada Jalan Jawa Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember

Khofifah Khofifah, Difa Safinatun Nisa.....134-145

Perencanaan Tebal Lapisan Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur dengan Metode MDPJ 2017 pada STA 0+000 s/d STA 0+860 Ruas Jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya

Muhammad Shofwan Donny Cahyono, R. Endro Wibisono, Prathita Muti'a Yuzaeva.....146-153

Analisis Biaya Rencana Keselamatan Kerja (RKK) Terhadap Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) di Lapangan (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Modong – Grabagan dan Peningkatan Jalan Banjarsari – Dukuhtengah)

An Agus, Maulidya Octaviani Bustamin, Bambang Sujatmiko.....154-160

Tinjauan Operasional Kereta Api Barang yang Melalui Wilayah Perawatan UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari

Haqiqi Abdurrohman, Edi Abdurrachman, Ocky Soelistyo Pribadi.....161-170

Identifikasi Produktivitas Tenaga Kerja untuk Optimasi Anggaran Biaya Dalam Pelaksanaan Proyek Skala Kecil di Bali

Vinantya Laksmi Ida Ayu Cri, I Wayan Jawat, I gusti Agung Gede Nodya Dharmastika, Ni Kadek Ayu Cipta Dewi, Komang Pipin Indraswari Berata Putri.....171-176

Kajian Penerapan Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Management System Berbasis ISO pada PT. Pelindo IV (PERSERO) Terminal Petikemal Bitung

Adrian Philip Marthinus, Jermias Tjakra, Grace Yoyce Malingkas.....177-182

Perbandingan Debit Limpasan Metode Rasional dan Pemodelan SWMM Jaringan Drainase Jalan Parangtritis KM 3,5-4,5

Titiek Widayarsi, Inanda Andita Meigawati.....183-194

Durabilitas Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Abu Cangkang Kemiri dan Getah Damar Sebagai Material Subtitusi

Kusmira Agustian, Cut Liliiza Yusra, Roni Agusmaniza.....195-202

Pengaruh Laminasi Silang dengan Perekat Epoxy pada Kayu Palaka Terhadap Nilai Kuat Lentur Kayu	
Muhammad Nur Fajar, Didik Setya Purwantoro, Herlina Arifin, Alfina Maysyurah, Muhammad Aris.....	203-207
Analisa Pemanfaatan Sampah Plastik Berjenis PET pada Paving Block	
M. Rafi Zafran, Revianty Nurmeyliandri Nurhendi, Denie Chandra.....	208-215
Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik LDPE Terhadap Karakteristik Laston AC-WC dengan Metode Marshall	
Iqbal Iqbal, Dwi Guntoro Sukowati, Muhammad Rusmin, Faried Desembardi, Kartika Putri Sasim.....	216-221
Analisa Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer	
Debby Sinta Devi, Henggar Risa Destania, Muhammad Rizky Cahyadi.....	222-227
Pengaruh Retak dan Pelapukan Tanah Terhadap Potensi Kelongsoran Saat Hujan dengan Uji ERT, IP dan Pemodelan Numerik	
Putu Tantri Kumala Sari, Mila K. Wardani.....	228-233

Perbandingan Antara Metode *Static Equivalent* Dan *Response Spectrum* Pada Perencanaan Gedung Asrama Universitas Dr. Soetomo Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Comparison Between Static Equivalent And Response Spectrum Methods In The Design Of Dr. Soetomo University Dormitory Building Using Special Moment Resistant Frame System (SRPMK)

Abid Maulidan Fauz Alakbar¹, K. Budi Hastono², Safrin Zuraidah³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya Jln. Semolowaru No. 84, Surabaya

Email : abidmaulidan22@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya Jln. Semolowaru No. 84, Surabaya

Email : budihastono@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya Jln. Semolowaru No. 84, Surabaya

Email : safrin.zuraidah@unitomo.ac.id

Abstrak

Universitas Dr. Soetomo Surabaya memiliki mahasiswa yang berasal dari berbagai daerah. Sehingga mahasiswa-mahasiswi ini membutuhkan sebuah tempat tinggal yang dekat dengan kampus. Disisi lain, Universitas Dr. Soetomo Surabaya memiliki lahan seluas $\pm 2.976,48$ m² di belakang Gedung F. Terdapat dua metode analisa beban gempa, yaitu analisis statis berupa analisa *static equivalent* maupun dinamis berupa *response spectrum* dan *time history analysis*. Jurnal ini dimaksudkan untuk membandingkan dimensi penampang maupun penulangan antara kedua beban tersebut pada sebuah gedung asrama 7 lantai dengan menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang merujuk pada SNI 2847-2019, SNI 1726-2019, serta SNI 1727-2019. Sedangkan beban gempa yang digunakan adalah beban gempa *static equivalent* dan *response spectrum*. Berdasarkan hasil analisa, didapat hasil bahwa kontrol rasio partisipasi massa dari kedua beban gempa telah mencapai syarat minimum, serta gaya dalam yang dihasilkan gempa *response spectrum* lebih besar dibanding *static equivalent*. Sehingga dari hasil ini didapatkan dimensi struktur primer analisa beban gempa *response spectrum* akan lebih besar yaitu 50/75 cm pada balok dan 90/90 cm pada kolom, sedangkan pada analisa *static equivalent* sebesar 40/60 cm pada balok dan 75/75 cm pada kolom.

Kata Kunci : Asrama, Gedung Beton Bertulang, *Response spectrum*, SRPMK, *Static equivalent*

Abstract

Dr. Soetomo University Surabaya has students from various regions. So these students need a place to live close to campus. On the other hand, Dr. Soetomo University Surabaya has an area of $\pm 2,976.48$ m² behind Building F. There are two methods of earthquake load analysis, namely static analysis in the form of *static equivalent* analysis and dynamic in the form of *response spectrum* and *time history analysis*. This journal is intended to compare the cross-sectional dimensions and reinforcement between the two loads in a 7-story dormitory building using the Special Moment Resisting Frame Structure (SRPMK) which refers to SNI 2847-2019, SNI 1726-2019, and SNI 1727-2019. While the earthquake loads used are *static equivalent* and *response spectrum* earthquake loads. Based on the results of the analysis, it was found that the mass participation ratio control of the two earthquake loads had reached the minimum requirements, and the internal force produced by the *response spectrum* earthquake was greater than the *static equivalent*. So from these results, it is obtained that the primary structure dimensions of the earthquake *response spectrum* load analysis will be larger, namely 50/75 cm on the beam and 90/90 cm on the column, while in the *static equivalent* analysis it is 40/60 cm on the beam and 75/75 cm on the column.

Keywords: Dormitory SRPMK, Reinforced Concrete Building, *Response spectrum*, *Static equivalent*

PENDAHULUAN

Saat ini mahasiswa Universitas Dr. Soetomo berasal dari bermacam-macam daerah, tidak hanya berasal dari Kota Surabaya saja. Sehingga beberapa mahasiswa dari luar Surabaya lebih memilih untuk tinggal di sebuah kos/ rumah sewa atau bahkan melakukan perjalanan pulang-pergi sebagai mobilisasi mereka dalam melaksanakan Kegiatan Belajar Mengajar (KBM)/kegiatan pembelajaran secara luar tatap muka di dalam kelas. Disisi lain, Universitas Dr. Soetomo Surabaya memiliki lahan kosong seluas 2.976,48 m² yang jika dimanfaatkan sebagai salah satu infrastruktur pendukung dapat menambah nilai ketertarikan bagi calon-calon mahasiswa baru untuk melanjutkan pendidikan mereka di Universitas Dr. Soetomo Surabaya serta dapat menjadi pemasukan bagi kampus untuk melakukan *maintenance*. Contohnya jika pihak kampus dapat mendirikan atau membangun sebuah gedung asrama bersama yang khusus diperuntukkan bagi mahasiswa Universitas Dr. Soetomo Surabaya.

Gedung asrama adalah perumahan untuk mahasiswa yang dapat menjadi wadah yang baik untuk mengembangkan maupun meningkatkan kualitas Pendidikan di Institusi Akademik. Keinginan untuk menyajikan tempat untuk mahasiswa dalam mewadahi kegiatan komputerisasi yang aktif, nyaman, serta adanya kesempatan bersosialisasi merupakan tujuan utama dari rencana Universitas dan Perguruan Tinggi (de Chiara dan Koppelman, 1975). Sedangkan menurut Departemen Pendidikan dan Kebudayaan (1993), gedung asrama merupakan bangunan tempat tinggal bagi orang – orang yang bersifat menetap.

Dalam sebuah perencanaan gedung yang tahan terhadap beban gempa serta aman terhadap bencana, tentunya sebuah struktur diharuskan memiliki daya tahan atau kekuatan yang tinggi serta perilaku yang baik terhadap pembebanan yang paling kritis sekalipun yaitu beban gempa. Dengan direncanakannya bangunan beton bertulang tahan gempa tentunya diharapkan sebuah struktur ini mampu merespon dengan baik terhadap beban gempa yang terjadi agar bangunan ini tidak mengalami kerusakan akibat gempa kecil, sedang dan tidak

mengalami keruntuhan saat menerima beban gempa yang tinggi.

Dalam analisis gempa, terdapat dua metode yang biasa diterapkan, yaitu analisis gempa statis dan analisis dinamis. Analisis *static equivalent* adalah suatu pendekatan analisis statik struktur yang menganggap pengaruh gempa sebagai beban statik arah horizontal untuk menggambarkan efek gempa yang sebenarnya akibat manuver tanah. Metode ini biasanya diterapkan pada bangunan yang rigid, sederhana, dan tidak terlampaui tinggi. Namun, untuk bangunan yang tinggi, tidak beraturan, atau memerlukan ketelitian yang kompleks, perencanaan biasanya menggunakan analisis dinamik yang lebih akurat.

Analisis dinamik memiliki dua metode utama, yakni analisis spektrum respons yang membandingkan respons struktur terhadap berbagai frekuensi, serta analisis riwayat waktu yang mempelajari perilaku struktur dalam waktu yang berlangsung. Analisis *response spectrum* ialah suatu pendekatan dinamik struktur yang mana model spektrum respons gempa rencana digunakan untuk memodelkan struktur matematis dan kemudian respons spektrum struktur terhadap gempa rencana tersebut ditentukan melalui superposisi respons ragam yang berbeda. Gedung asrama dengan jumlah lantai sebanyak 7 lantai yang berlokasi di lahan belakang Gedung F Universitas Dr. Soetomo yang dibangun dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), hal ini dikarenakan Kota Surabaya masuk ke dalam Kategori Desain Seismik D dengan risiko gempa tinggi, yang mana SRPMK merupakan suatu sistem rangka ruang dimana komponen maupun ruasnya dapat menopang gaya yang terjadi melalui aksi lentur, geser dan aksial untuk daerah dengan risiko gempa tinggi atau wilayah gempa 5 dan 6.

Jurnal ini ditujukan untuk mengetahui perbandingan dimensi penampang struktur primer serta jumlah penulangan antara beban gempa antara *Static equivalent* dengan *Response spectrum* dalam perencanaan Gedung Asrama Universitas Dr. Soetomo Surabaya 7 lantai tanpa *basement* menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

TINJAUAN PUSTAKA

Metode Perencanaan Struktur Beton Bertulang Metode Tegangan Kerja

Unsur struktur dipersiapkan terhadap beban kerja sedemikian rupa sehingga tegangan yang timbul tetap berada di bawah batas tegangan yang diizinkan, dimana: $\sigma \leq \sigma_c$.

SNI 03-2847-2002 mengizinkan perencanaan berdasarkan beban kerja sebagai alternatif dari metode kekuatan ultimit. Beban kerja, juga dikenal sebagai beban layan atau beban tak terfaktor, mengacu pada jumlah tugas atau pekerjaan yang harus diwujudkan dalam periode tertentu. Dalam metode perencanaan ini, tegangan yang timbul tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan. Sebagai representatif, pada penampang tidak diperbolehkan melebihi $0,45 f_c'$ pada beton. Meskipun kondisi batas ultimit diasumsikan terpenuhi secara otomatis, tetap diperlukan verifikasi kondisi batas defleksi dan kondisi batas lebar retak terhadap hasil perencanaan awal.

Metode Kekuatan Ultimit

Pada metode ini, unsur struktur didesain untuk menahan beban ultimit yang dikehendaki, yaitu:

$$Mu \leq \phi Mn, Vu \leq \phi Vn, Pu \leq \phi Pn, Tu \leq \phi Tn$$

Metode ini sendiri merupakan metode desain yang memperhatikan terjadinya faktor-faktor beban dan *resistance*. Prosedur perencanaan ini secara fundamental berfokus pada metode perencanaan kondisi batas yang memprioritaskan kondisi batas ultimit, yakni batas *serviceabilitas* (kemampuan layanan), dan kemudian dikontrol setelah desain awal diperoleh.

Static Equivalent

Statik ekuivalen adalah suatu cara analisis struktur yang memperlakukan pengaruh gempa pada suatu struktur sebagai beban statik horizontal yang didapatkan dengan memperhitungkan respon ragam getar yang pertama, dan secara general pendistribusian gaya ini disederhanakan menjadi segitiga terbalik. Statik ekuivalen dapat dilakukan sebagai analisis struktur bangunan dengan beban gempa. Pada prinsipnya metode ini cocok digunakan untuk gedung dengan ketinggian kurang dari 40 m, hal ini dikarenakan cara ini hanya terfokuskan pada

mode 1. Oleh karena itu, metode ini sangat cocok untuk bangunan yang rendah dan cenderung kaku.

Analisis statik ekuivalen sesuai SNI 1726-2019 Halaman 71, berupa tahapan perhitungan:

a. Periode Struktur (T).

Penentuan Periode Struktur ini harus mengacu ke SNI 1727-2019, Pasal 7.8.2, Halaman 71, yang mana terdapat 2 rumus pendekatan yang digunakan, meliputi:

- Pendekatan 1 (SNI 1726-2019, Pasal 7.8.2.1, Halaman 72)

$$Ta = Ct \times hn^x$$

(Nilai Ct dan x diperoleh di Tabel 18 SNI 1726-2019)

- Pendekatan 2 (SNI 1726-2019, Pasal 7.8.2.1, halaman 72)

$$Ta = 0,1 \times N$$

Dimana nilai N adalah tingkat struktur

b. Gaya geser pada dasar statik ekuivalen.

Perhitungan ini diatur dalam SNI 1727-2019, Pasal 7.8, Hal. 69. Dengan rumus:

$$V = Cs \times W$$

Dimana nilai Cs didapat dari beberapa perhitungan sebagai berikut:

- Parameter 1

Dibutuhkan parameter pendukung T_L yang diperoleh dari Gambar 20 SNI 1726-2019.

- Parameter 2

Dibutuhkan faktor keutamaan, I_e , yang didapatkan dari Tabel 4 SNI 1726-2019, Pasal 4.1.2 Halaman 25. Dimana nilai $I_e = 1,0$.

- Parameter 3

Parameter pendukung terakhir adalah faktor modifikasi, R , yang diperoleh dari Tabel 12 pada bagian C, No. 5, SNI 1726:2019 Halaman 49.

Karena parameter pendukung sudah ditentukan, perhitungan Cs sebagai berikut:

Dikarenakan nilai $Cs < T_L$, sehingga harus memenuhi :

$$(0,01 \leq 0,044 \times S_{DS} \times I_e) \leq Cs \leq \left(\frac{S_{DS} \times I_e}{T \times R} \right)$$

$$Cs = \frac{S_{DS} \times I_e}{R} \dots\dots\dots[1]$$

- Cek persyaratan-1

$$\frac{S_{DS} \times I_e}{T \times R} \dots\dots\dots[2]$$

- Cek persyaratan-2

$$0,01 \leq 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

Nilai dari gaya geser dapat ditentukan setelah nilai Cs diperoleh dengan rumus:

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots[3]$$

c. Perhitungan Gaya Gempa (F_X)

Perhitungan ini dihitung berdasarkan SNI 1726:2019, Pasal 7.8.3, Halaman 73, dimana rumus yang digunakan adalah :

$$F_X = C_{vx} \times V \dots\dots\dots[4]$$

Dimana:

V = Gaya geser dasar dari total bangunan.

$$C_{vx} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \times h_i^k} \dots\dots\dots[5]$$

d. Simpangan Antar Lantai

Analisa ini mengacu pada SNI 1726-2019, Pasal 7.8.6, Halaman 75. Dengan menggunakan nilai dari perpindahan elastis (δ_{xe}) dari bantuan analisa *software* ETABS, proses ini dilakukan untuk mengetahui besaran simpangan antar tingkat. Perhitungan ini membutuhkan parameter I_e dan C_d , dengan nilai $I_e = 1,0$ dan $C_d = 5,5$ (SNI 1726-2019, Pasal 7.2.2, Tabel 49, Kolom C.5)

Mengacu pada pasal tersebut, rumus yang digunakan adalah :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots[6]$$

Dimana:

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Defleksi lantai pada ETABS

I_e = Faktor keutamaan

Δ = Simpangan antar lantai

Δ_a = Batas simpangan antar lantai

Response Spectrum

Spektrum yang disajikan dalam bentuk kurva antara periode struktur T , dengan respon respon maksimum yang didasarkan pada rasio redaman dan gempa tertentu. Bila metode ini dibutuhkan, maka kurva spektrum respons desain harus mengacu Gambar 3 pada SNI 1726:2019 Halaman 36, dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

Untuk periode $<T_0$, spektrum respons percepatan, S_a , diambil rumus :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots[7]$$

Untuk periode $\geq T_0$ dan $\leq T_s$, spektrum respons percepatan, S_a , sama dengan S_{DS} .

Untuk periode $>T_s$ tetapi $\leq T_L$, respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots[8]$$

Untuk periode $>T_L$, respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots[9]$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

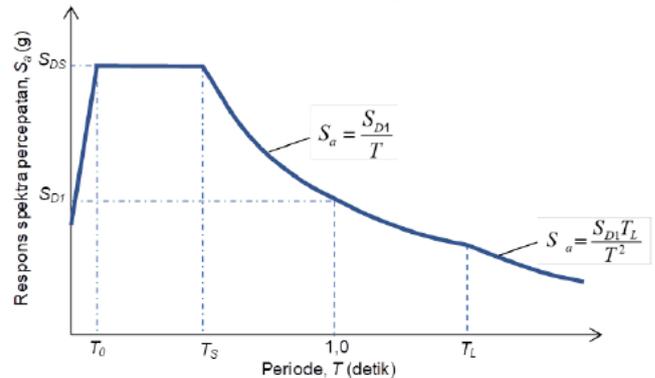
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots[10]$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots[11]$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3 SNI 1726:2019, yang nilainya diambil dari Gambar 20 SNI 1726:2019 Halaman 238.



Gambar 1. Grafik *Response Spectrum*

METODOLOGI PENELITIAN

Tahap Persiapan

Hal yang termasuk pada tahapan ini adalah:

1. Studi literatur dan perencanaan terdahulu
2. Survei lokasi perencanaan
3. Penyusunan data perencanaan

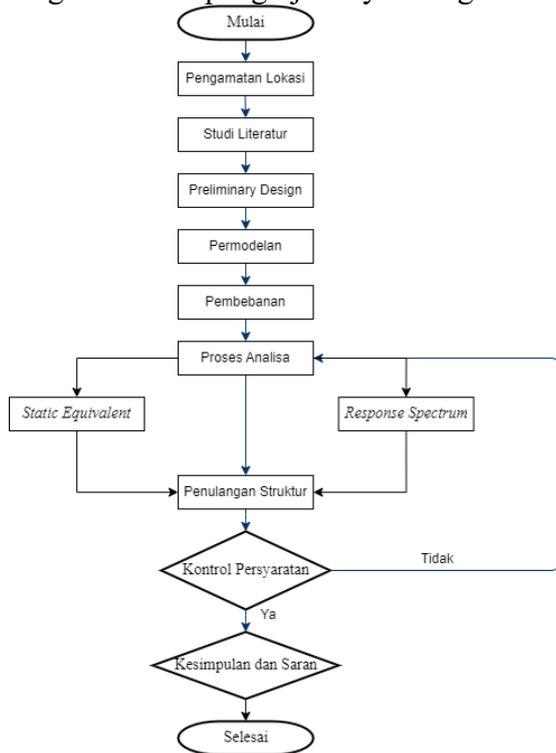
Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Lokasi Perencanaan

Perencanaan gedung asrama menggunakan metode Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan metode beban gempa Statik Ekuivalen dan *Response spectrum* yang memiliki susunan langkah – langkah dalam pengerjaannya sebagai berikut:

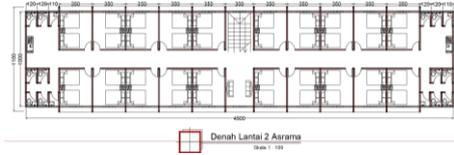


Gambar 3. Diagram Alir Perencanaan

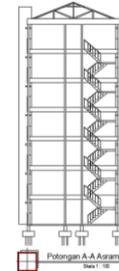
Denah Gedung



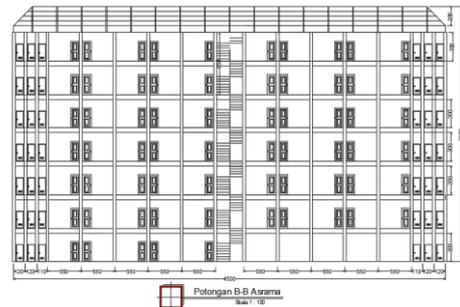
Gambar 4. Denah Lantai 1



Gambar 5. Denah Lantai 2-7



Gambar 6. Potongan A-A Asrama



Gambar 7. Potongan B-B Asrama

Spesifikasi Struktur

Lokasi : Universitas Dr. Soetomo Surabaya

Fungsi : Gedung Asrama

Jumlah : 7 Lantai

Tinggi : 21,84 m

f'_c : 30 MPa

f_y : 420 MPa

f_{yt} : 240 MPa

Response spectrum : Surabaya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Awal Elemen Struktur

Tabel 1. Rekapitulasi Perencanaan Awal

Elemen Struktur	Dimensi (mm)
Pelat	120
Balok	300 x 600
Kolom	600 x 600

Beban Gempa

Parameter analisis beban gempa:

- Kategori Risiko = Kategori II
- $PGA = 0,315$ (SNI 1726-2019)
- Faktor Keutamaan Gempa $I_e = 1,0$
- Klasifikasi Situs = Tanah Lunak (*SE*)

- e. Parameter $S_s = 0,678$
- f. Parameter $S_l = 0,303$
- g. Parameter $F_a = 1,3$
- h. Parameter $F_v = 2,4$
- i. Parameter $S_{DS} = 0,606$
- j. Parameter $S_{DI} = 0,48$
- k. Parameter $S_{MS} = 0,91$
- l. Parameter $S_{MI} = 0,727$

2.557,28	18,72 ²	896169,017	281,4554
2.557,28	21,84 ²	1219786,08	383,0922
2.329,31	24,96 ²	1451166,16	455,7607
Total		4936267,34	

Kategori Desain Seismik (KDS)

Jika mengacu pada SNI 2847-2019, Pasal 18.2.1, Tabel R18.2, Halaman 362 mengisyaratkan bahwa perencanaan ini termasuk ke dalam KDS – D (risiko gempa tinggi) sehingga harus didesain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Gempa Static equivalent

Tabel 2. Massa Berat Perlantai

W _i	Sumbu (ton)	
	A s/d M	1 s/d 4
W ₀	235,872	235,872
W ₁	2.557,275	2.557,275
W ₂	2.557,276	2.557,276
W ₃	2.557,277	2.557,277
W ₄	2.557,278	2.557,278
W ₅	2.557,279	2.557,279
W ₆	2.557,280	2.557,280
W ₇	2.557,281	2.557,281
W ₈	2.329,314	2.329,314
Total	20.466,130	20.466,130

- a. Periode Struktur (T) = 0,747
- b. Gaya Geser (V)

Dimana $C_s = \frac{S_{DS} \times I_e}{R} = \frac{0,606 \times 1}{8} = 0,0757$

Sehingga:

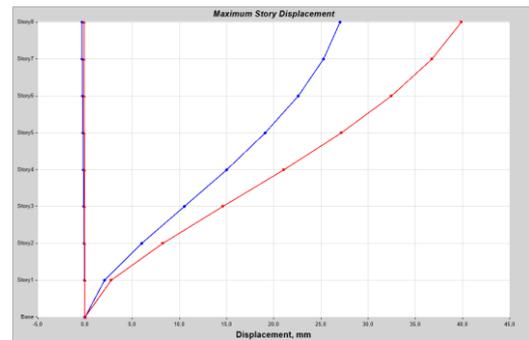
$V = C_s \times W$
 $= 0,0757 \times 20.466,13 = 1.550,30 \text{ ton.}$

Tabel 3. Gaya Gempa Ekuivalen Tiap Lantai

W _i (ton)	h_x^k	W _x x h_x^k	F _X (ton)
235,87	0 ²	0	0
2.557,27	3,12 ²	24893,5351	7,818191
2.557,28	6,24 ²	99574,1795	31,27278
2.557,28	9,36 ²	224041,991	70,36377
2.557,28	12,48 ²	398297,029	125,0912
2.557,28	15,6 ²	622339,352	195,4551

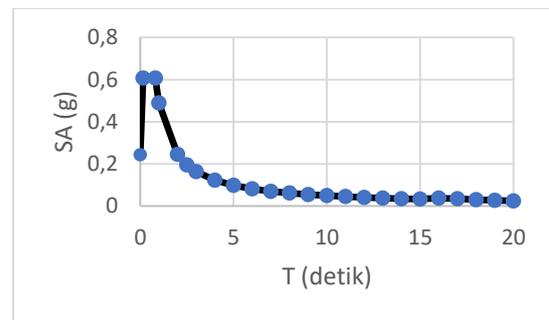
Tabel 4. Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Mode	Period	Sum UX	Sum UY
Unitless	Sec	Unitless	Unitless
1	1,76	0	0,7967
2	1,658	0,0001	0,7967
3	1,606	0,8111	0,7967
4	0,555	0,8111	0,907
5	0,525	0,8111	0,907
6	0,516	0,9106	0,907
7	0,303	0,9106	0,9481
8	0,29	0,9496	0,9481
9	0,289	0,9502	0,9481
10	0,199	0,9502	0,971
11	0,192	0,9722	0,971
12	0,19	0,9723	0,971



Gambar 8. Simpangan Antar Lantai

Gempa Response spectrum



Gambar 9. Grafik Response Spectrum

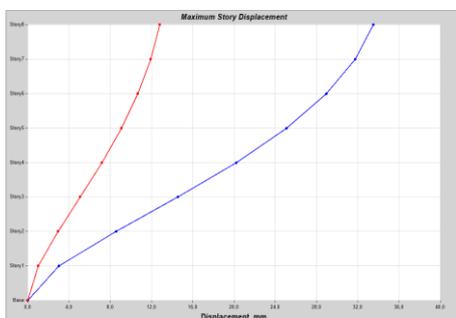
Tabel 5. Massa Berat Perlantai

W _i	Sumbu	
	UX (ton)	UY (ton)
W ₀	339,65568	339,65568
W ₁	2.901,138	2.901,138

W ₂	2.901,139	2.901,139
W ₃	2.901,140	2.901,140
W ₄	2.901,141	2.901,141
W ₅	2.901,142	2.901,142
W ₆	2.901,143	2.901,143
W ₇	2.901,144	2.901,144
W ₈	2.901,145	2.901,145
Total	23.548,788	23.548,788

Tabel 6. Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Mode	Period	Sum UX	Sum UY
Unitless	Sec	Unitless	Unitless
1	1,149	0	0,7778
2	1,074	0,0001	0,7778
3	1,036	0,7944	0,7778
4	0,349	0,7944	0,8946
5	0,329	0,7944	0,8946
6	0,323	0,8985	0,8946
7	0,181	0,8985	0,9403
8	0,173	0,9421	0,9403
9	0,173	0,9423	0,9403
10	0,113	0,9423	0,9664
11	0,11	0,9674	0,9664
12	0,108	0,9674	0,9664



Gambar 10. Simpangan Antar Lantai

Struktur Sekunder Struktur Balok

Struktur balok pada beban gempa *Static equivalent* memiliki dimensi penampang sebesar 40/60 cm, dengan jumlah tulangan tumpuan = 8D22 mm, tulangan lapangan = 6D22, tulangan torsi = 6D16 mm, dan penulangan geser tumpuan maupun lapangan = 2Ø19 – 100 mm.

Sedangkan struktur balok pada beban gempa *Response spectrum* memiliki dimensi penampang sebesar 50/75 cm, dengan jumlah tulangan tumpuan = 8D22 mm, tulangan lapangan = 6D22, tulangan torsi = 6D19 mm,

dan penulangan geser tumpuan maupun lapangan = 2Ø19 – 100 mm.

Struktur Kolom

Pada struktur kolom yang direncanakan menggunakan beban gempa *Static equivalent* telah direncanakan sebesar 750 mm x 750 mm, dengan 28 tulangan berukuran 25 mm pada longitudinalnya, dan 22 mm pada tulangan transversalnya. Dan telah direncanakan sambungan lewatan pada tengah bentang kolom sepanjang 1.000 mm.

Namun pada perencanaan kolom dengan beban *Response spectrum* direncanakan dengan dimensi penampang sebesar 900 mm x 900 mm, dengan jumlah tulangan yang sama yaitu sebanyak 28 tulangan berdiameter 32 mm pada longitudinalnya, dan 25 mm pada tulangan transversalnya, dengan panjang sambungan lewatan sebesar 1.500 mm.

Struktur Hubungan Balok Kolom

Struktur Hubungan Balok Kolom pada beban gempa *Static equivalent* direncanakan memiliki 4 kaki berdiameter 29 mm berjarak 100 mm. Dengan ini syarat pada kuat geser HBK maupun syarat luasan tulangan geser pada HBK sudah memenuhi syarat, karena $\phi V_n > V_u$.

Namun perhitungan pada kuat geser HBK beban gempa *Response spectrum* telah memenuhi syarat, dimana gaya geser nominal (V_n) lebih besar daripada gaya geser ultimate (V_u). Sehingga telah direncanakan pada HBK ini memiliki jumlah kaki sebanyak 4 kaki dengan diameter tulangan sebesar 25 mm dan berjarak 120 mm.

Pembahasan

Pada perencanaan sebelumnya milik Annisa Aulia (2020), terdapat perbedaan dengan hasil yang sudah penulis analisa. Dimana perbedaan ini terletak pada nilai simpangan antar lantai hasil analisa milik Annisa Aulia yang menunjukkan bahwa simpangan antar lantai beban gempa *static equivalent* lebih besar daripada *response spectrum*, dimana hasil analisa penulis menunjukkan bahwa nilai simpangan antar lantai hasil *analisa response spectrum* lebih besar dari analisa *static equivalent*. Begitu juga pada nilai gaya geser dasar hasil analisa *static equivalent* lebih besar dari hasil analisa *response spectrum*, berbanding terbalik dengan

hasil analisa penulis. Tidak hanya itu, nilai gaya dalam dari analisa *static equivalent* milik Annisa Aulia juga lebih besar dibanding gaya dalam analisa *response spectrum*. Sedangkan berdasarkan hasil analisis penulis, nilai gaya dalam gempa *response spectrum* bernilai lebih besar. Namun SNI 1726-2019, Pasal 7.9.1.4.1. mengisyaratkan bahwa nilai gaya geser dasar nominal gempa dinamik harus lebih besar dari gempa statik. Jika nilai dari gempa statik lebih besar, maka perlu dilakukan modifikasi *scale factor* pada gaya gempa *response spectrum*.

Hal ini kemungkinan terjadi dikarenakan perencanaan milik Annisa Aulia dilakukan di Kota Palu, Sulawesi Tengah, dimana tempat ini merupakan tempat terdekat dengan sumber gempa bumi yang berada di darat maupun di laut, dan masuk ke dalam wilayah gempa 5 dengan risiko gempa tinggi, sedangkan Kota Surabaya masuk ke dalam wilayah gempa 5 dan 6. Tidak hanya segi lokasi, perencanaan jumlah tingkatan lantai gedung dan penggunaan peraturan pada SNI disinyalir menjadi faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil analisa perbandingan beban gempa ini. Dikarenakan penelitian milik Annisa Aulia ini direncanakan sebanyak 6 lantai, dengan menggunakan sistem ganda sebagai sistem penahan gaya gempanya, sedangkan pada penulis hanya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dengan jumlah 7 lantai.

Annisa Aulia menggunakan SNI 1726-2012, sedangkan penulis menggunakan SNI 1726-2019. Hal yang mempengaruhi penggunaan kedua SNI ini adalah :

1. Perbedaan kombinasi pembebanan metode ultimit.
2. Penambahan percepatan Respon Spektra pada SNI 1726-2019.
3. Penambahan peta periode panjang (T_L) pada SNI 1726-2019.
4. Perbedaan penentuan ragam getar alami.
5. Perbedaan pengskalaan gaya dimana SNI 1726-2019 hanya mengatur $V_{dinamik} > 0,85V_{statik}$, sedangkan pada SNI 1726-2019 mengatur $V_{dinamik} > V_{statik}$.

Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan di atas, dalam perencanaan gedung asrama yang jika ditinjau dari segi keamanannya maka

gedung ini harus direncanakan menggunakan beban gempa *response spectrum* dengan dimensi penampang struktur yang lebih besar, serta penulangan yang lebih kokoh. Hal ini dikarenakan Kota Surabaya masuk ke dalam Kategori Desain Seismik D atau gempa tinggi, sehingga perencanaan menggunakan *response spectrum* agar gedung ini dapat mengakomodir beban gempa yang besar sekalipun.

Jika ditinjau dari segi biaya pada saat pembangunannya, gedung ini dapat direncanakan menggunakan beban gempa *static equivalent* dikarenakan dimensi dari penampang balok maupun kolomnya akan berukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan penampang pada beban gempa *response spectrum*. Maka dari itu, volume beton bertulang yang digunakan akan lebih sedikit dan menghasilkan kebutuhan biaya yang lebih sedikit. Namun perencanaan elemen struktur dengan beban gempa *static equivalent* ini sudah dapat menahan gempa yang terjadi.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan menggunakan beban gempa *Static equivalent* didapat hasil sebagai berikut:
 - a. Estimasi periode struktur (T) diambil terbesar, senilai = 0,747 detik.
 - b. Gaya geser yang ditentukan sebesar 1.550,30 ton.
 - c. Kontrol rasio partisipasi massa sudah memenuhi syarat minimal (90%) dalam 12 mode, dengan nilai terbesar berada di mode 12 sebesar 97,23%.
 - d. Pada analisa simpangan antar lantai maksimum arah X maupun Y sudah memenuhi batas *displacement* maksimum.
2. Berdasarkan hasil analisa menggunakan beban gempa *Response spectrum* didapat hasil sebagai berikut:
 - a. Periode struktur dari hasil permodelan pada Etabs adalah 1,149 detik.
 - b. Rasio partisipasi massa dalam 12 mode sudah melebihi batasan minimal 90%, dengan nilai terbesar ada di mode ke 12 sebesar 96,74%.
 - c. Hasil analisa kontrol *base shear* telah memenuhi persyaratan dengan nilai $V_x =$

$17.495,2 \text{ kN} > V = 17.493,39 \text{ kN}$ dan $V_y = 17.493,4 \text{ kN} > V = 17.493,39 \text{ kN}$.

- d. Hasil pada kontrol simpangan antar lantai maksimum arah X maupun arah Y sudah memenuhi batas *displacement* maksimum.

REFERENSI

- SNI 1726-2019, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung".
- SNI 1727-2020, "Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain".
- SNI 2847-2019, "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan".
- Annisa, A. (2020) 'Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekuivalen Dan Respon Spektrum Berdasarkan Sni 1726-2012', *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, 6(1), pp. 34–50. Available at: <https://doi.org/10.22487/jstt.v6i1.360>.
- Amrullah, W., Bagio, T. H., & Tistogondo, J. (2019). Desain Perencanaan Struktur Gedung 38 Lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). *Jurnal Ilmiah MITSU*, vol. 7 *Issue* 1, pp.18–23, April, 2019.
- Basyir, M., Amir, F., Maricar, S., & Oka, I. G. M. (2022). Perancangan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Ruko 4 Lantai Berdasarkan SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019, vol. 3 *Issue* 2, pp. 59-66, September, 2022.
- Fuzairi, S. A., Sumajouw, M. D. J., & Pandaleke, R. E. (2023)." Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Gedung Asrama 5 Lantai Di Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara" vol. 21, *Issue* 83, pp 355-364, 2023.
- Hiola, M. F. H., & Sunardi, B. (2019). *The Acceleration Response spectrum And Effective Duration Of Lebak Earthquake January 23, 2018 In Jakarta Region*. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, vol. 4, *Issue* 1, pp. 21-30, April, 2019.
- Honarto, R. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. (2019). "Perencanaan Bangunan Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Di Kota Manado", *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, *Issue* 2, pp. 201-208, Februari, 2019.
- Kariso, P. H., Dapas, S. O., & Pandaleke, R. (2018). "Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus", *Jurnal Sipil Statik* vol. 6, *Issue* 6, pp. 361-372, Juni, 2018.
- Lesmana, Yudha, "Prosedur Analisa Beban Gempa Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1726-2019" Edisi Pertama, 2020.
- Lesmana Yudha, "Analisa dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang (SRPMB, SRPMM, SRPMK) Berdasarkan SNI 2847-2019 & 1726-2019" Edisi Pertama, 2021.
- Muhammad Hilmi, Erizal, & Febrita, J. (2021). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019: *Analysis of Structure Performance in Multistory Buildings with Response spectrum Analysis Method Based on SNI 1726:2019*. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 6, *Issue* 3, pp.143–158, Desember, 2021.
- Rifandi, I., & Walujodjati, E. (2021). Analisis Beban Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gedung Ipal. *Jurnal Konstruksi*, vol. 18 *Issue* 2, pp.72–82, Februari, 2021.
- Safira, N. (n.d.). "Analisis Pengaruh Beban Gempa Pada Gedung Tiga Lantai Menggunakan Metode Statik Ekuivalen" *Prosiding Skripsi*, pp.5-23, Lampung, 2018.
- Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang et al. (2020) 'Analisis Statik Beban Gempa Pada Perencanaan Struktur Gedung Rektorat UNHAS Y Tebuireng Jombang', *Rekayasa Sipil*, 14(3), pp. 211–217.
- Zhafira, T., Taufiqy, I. and Kusuma, N. (2023) 'Dynamic Analysis of Spectrum Response and Static equivalent of The Semarang University College Building'.

Analisis Pelaksanaan Penerbitan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Bangunan Gedung di Kota Surabaya dengan Metode Statistika Deskriptif

Analysis of publishing implementation of building construction worthiness certificate in surabaya with descriptive statistical methods

Farida Hardaningrum¹⁾, R. Endro Wibisono²⁾, Tariq Ilhamzah³⁾

¹⁾ dan ³⁾ Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil Universitas Narotama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim no 51, telp. (031)5946404, Email : farida.hardaningrum@narotama.ac.id

²⁾ Fakultas Vokasi, Program Studi Transportasi Universitas Negeri Surabaya, Jl. Kampus Ketintang Surabaya 60231, Email : endrowibisono@unesa.ac.id

Abstrak

Sertifikat Laik Fungsi atau SLF adalah sertifikat yang diterbitkan oleh Pemerintah Daerah, sesuai dengan Permen PU No. 27/PRT/M/2018 tentang "Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung". Masa berlaku SLF bangunan gedung ditetapkan dalam jangka waktu 5 (lima) tahun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter apa saja yang berpengaruh dalam Penerbitan Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung di Kota Surabaya. Metode penelitian adalah menggunakan survei dengan alat ukur kuisioner, dengan total responden sebanyak 50 orang. Profesi responden bervariasi, yaitu: *engineer*, legal/hukum, dan administrasi. Pengolahan data menggunakan uji validasi, uji reliabilitas, uji asumsi klasik (Uji: normalitas, multikolinearitas, dan heteroskedastisitas), persamaan regresi linier berganda, serta uji hipotesis (uji koefisien determinasi, uji F dan uji t).

Hasil pengolahan data menunjukkan variabel kemudahan tidak berpengaruh signifikan terhadap pelayanan SLF (yakni sig. 0,584 > 0,05). Variabel kelengkapan administrasi juga tidak berpengaruh signifikan terhadap pelayanan SLF (sig. 0,49 > 0,05). Variabel kepuasan pelanggan berpengaruh terhadap pelayanan SLF, dimana sig. 0,000 < 0,05. Maka dapat disimpulkan bahwa variabel kepuasan pelanggan cukup berpengaruh dalam proses penerbitan Sertifikat Laik Fungsi bangunan gedung di kota Surabaya.

Kata Kunci: kelengkapan administrasi; kepuasan pelanggan; Sertifikat Laik Fungsi (SLF); statistika deskriptif

Abstract

Functional Worthy Certificate or SLF is a certificate issued by the Regional Government, in accordance with Minister of Public Works Regulation No. 27/PRT/M/2018 concerning "Certificate of Building Functional Worthiness". The validity period of a building's SLF is set at 5 (five) years. This research aims to find out what parameters influence the issuance of building function appropriate certificates in the city of Surabaya. The research method is to use a survey with a questionnaire measuring tool, with a total of 50 respondents. Respondents' professions varied, namely: engineer, legal, and administration. Data processing uses validation tests, reliability tests, classical assumption tests (tests: normality, multicollinearity and heteroscedasticity), multiple linear regression equations, and hypothesis tests (coefficient of determination test, F test and t test).

The results of data processing show that the convenience variable has no significant effect on SLF services (i.e. sig. 0.584 > 0.05). The administrative completeness variable also does not have a significant effect on SLF services (sig. 0.49 > 0.05). The customer satisfaction variable influences SLF service, where sig. 0.000 < 0.05. So it can be concluded that the customer satisfaction variable is quite influential in the process of issuing building Functional Worthy Certificate in Surabaya.

Keywords: administrative completeness; customer satisfaction; Functional Worthy Certificate (SLF); descriptive statistics

PENDAHULUAN

Sertifikat Laik Fungsi atau SLF adalah sertifikat yang diterbitkan oleh Pemerintah Daerah terhadap bangunan gedung yang telah selesai dibangun sesuai Izin Mendirikan Bangunan (IMB) dan telah memenuhi persyaratan keandalan dan administratif dan persyaratan kelaikan teknis sesuai fungsi bangunan berdasarkan dari hasil pemeriksaan dan instansi terkait. Tanpa SLF, bangunan tidak bisa beroperasi secara legal. Di Indonesia, setiap bangunan gedung yang baru jadi, dan akan digunakan atau dioperasikan, terutama bangunan umum seperti hotel, apartemen, perkantoran, rumah sakit dan rumah susun diharuskan untuk memiliki SLF. Menurut Permen PU No. 27/PRT/M/2018 tentang "Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung" bahwa masa berlaku SLF bangunan gedung adalah dalam jangka waktu 5 (lima) tahun.

Di kota Surabaya masih sedikit pihak pemilik atau pengembang bangunan gedung yang mengerti dan paham mengenai pentingnya permohonan SLF bangunan gedung. Secara fungsional bangunan yang sesuai dengan dokumen perijinan dari *Dinas Terkait* yang tertib administrasi maupun teknis, akan menjamin kelayakan bangunan dan menguatkan prinsip keandalan bangunan gedung.

TINJAUAN PUSTAKA

Persyaratan teknis bangunan gedung adalah ketentuan mengenai persyaratan tata bangunan dan persyaratan keandalan bangunan gedung. Pedoman teknis bangunan dijadikan sebagai acuan dalam pemenuhan persyaratan teknis untuk mewujudkan bangunan gedung yang berkualitas sesuai dengan fungsi, andal, serasi, selaras dengan lingkungannya. Hal ini bertujuan untuk terselenggaranya fungsi bangunan gedung yang selamat, sehat, nyaman, dan memberikan kemudahan bagi penghuni dan atau pengguna bangunan gedung, serta efisien, serasi, dan selaras dengan lingkungannya. Lingkup Pedoman Teknis ini meliputi fungsi, klasifikasi dan persyaratan teknis bangunan gedung (*Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27/PRT/M/2018 tentang Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung*).

Sertifikat Laik Fungsi diterbitkan oleh pemerintah daerah, namun untuk bangunan gedung, diterbitkan secara khusus oleh pemerintah pusat, untuk menyatakan kelaikan fungsi suatu bangunan gedung sebagai syarat untuk dapat dimanfaatkan.

Laik Fungsi adalah surat kondisi bangunan yang memenuhi persyaratan teknis dan persyaratan

administratif sesuai dengan fungsi bangunan yang ditetapkan pada Peraturan Walikota Surabaya (*Perwali Nomor 14 Tahun 2018 Tentang Sertifikat Laik Fungsi*). Adapun ruang lingkupnya adalah untuk:

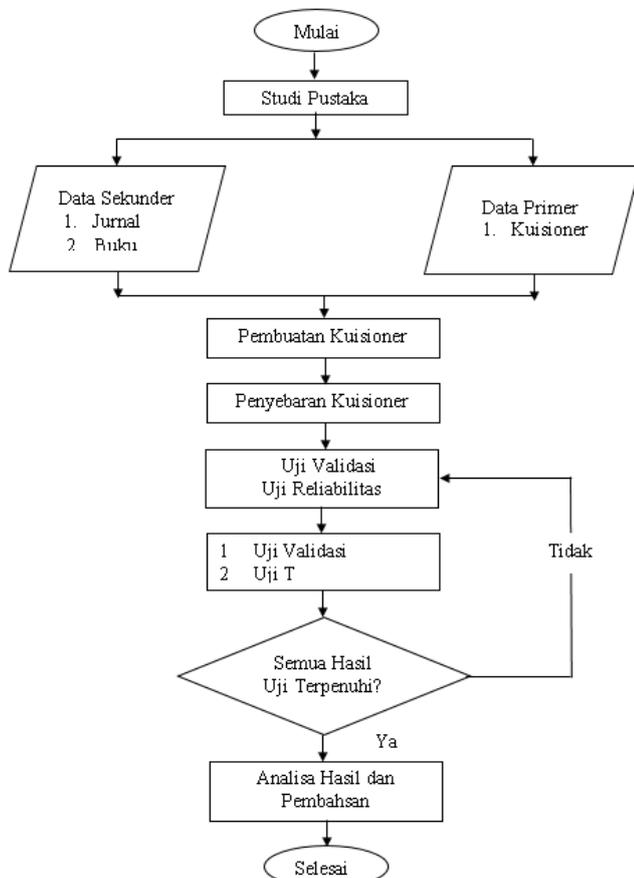
- a. Bangunan gedung non rumah tinggal dengan luas bangunan paling sedikit 2.500 m² (dua ribu lima ratus meter persegi).
- b. Bangunan gedung non rumah tinggal dengan jumlah lantai bangunan diatas 2 (dua) lantai dengan luas bangunan lebih dari 500 m² (lima ratus meter persegi).

Beberapa dokumen yang harus di lengkapi oleh pengembang/pemilik bangunan gedung untuk bisa menerbitkan SLF adalah sebagai berikut:

1. Pengisian Formulir
2. Fotocopy Izin Mendirikan Bangunan (IMB) dan Persetujuan Bangunan Gedung (PBG)
3. Lampiran gambar IMB/PBG atau fotocopy SLF terakhir untuk permohonan yang sebelumnya telah memiliki SLF
4. Fotocopy KTP Pemohon dan/atau pemilik tanah dan/atau fotocopy akta pendiri badan hukum dan/atau perubahannya apabila SLF diatas namakan badan hukum
5. Surat kuasa dengan lampiran fotocopy KTP penerima kuasa apabila permohonan dikuasakan
6. fotocopy tanda bukti status kepemilikan ha katas tanah dan/atau tanda bukti perjanjian pemanfaatan tanah apabila nama pemilik dalam bukti kepemilikan tanah berbeda dengan IMB/PBG atau SLF terakhir, antara lain akta jual beli, akta hibah, akta waris dan/atau bukti peralihan ha katas tanah lainnya
7. Surat Pernyataan selesainya pekerjaan mendirikan dan/atau mengubah bangunan yang dibuat oleh pengguna bangunan gedung atau tenaga ahli kontruksi bangunan
8. Persyaratan teknis sebagai berikut:
 - a. **As built Drawing**, terdiri atas:
 - 1) *As built drawing* arsitektur, minimal berupa gambar situasi/siteplan, denah tiap lantai, tampak, dan potongan.
 - 2) *As built drawing* struktur minimal berupa gambar pondasi, struktur bawah, dan struktur atas
 - b. Dokumen pengkaji bangunan berupa laporan pemeriksaan teknis bangunan dan/atau laporan hasil pemeliharaan bangunan oleh tenaga ahli yang ditunjuk oleh pengguna bangunan gedung.

METODE

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

a. Teknik Penyusunan Data

Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data dengan membagikan kuisisioner, pengolahan data, analisis responden dan pengambilan kesimpulan terhadap para pihak pengelola maupun pengembang bangunan gedung yang berada di kota Surabaya.

b. Metode Analisis Data

Adapun tahapan analisis adalah sebagai berikut:

1. Menyebar kuisisioner
Responden dalam pengambilan kuisisioner merupakan pihak pengembang bangunan gedung di kota Surabaya.
2. Perekapan
Perekapan merupakan proses pengumpulan dan menyelesaikan data yang diperoleh melalui hasil penyebaran kuisisioner dan kemudian diperiksa

kelengkapannya dan keabsahan jawaban dari responden.

3. Menyusun daftar tabel dari data yang sudah diperoleh dan mengelompokkan data ke dalam variabel yang akan diteliti.

4. Penilaian (Scoring)

Penilaian merupakan proses pemberian nilai atas jawaban dari kuisisioner untuk dipergunakan dalam analisis data.

Analisis data yang diperoleh melalui kuisisioner akan diolah menggunakan metode statistika deskriptif, dengan aplikasi SPSS.

Pengukuran Variabel

Skala pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah Skala Likert, yakni digunakan untuk mengukur sikap, pendapat, dan persepsi responden dengan kriteria sebagai berikut:

1. Sangat Setuju – Setuju – Ragu-Ragu – Tidak setuju – Sangat tidak Setuju
2. Selalu – Sering – Kadang-Kadang - Jarang – Tidak Pernah
3. Sangat Baik – Baik – Hampir Baik – Tidak Baik – Sangat Tidak Baik

Untuk pengukuran kuantitatif maka jawaban itu dapat diberi skor sebagai berikut:

1. Setuju/selalu/sangat baik, diberi skor = 5
2. Setuju/sering/baik, diberi skor = 4
3. Ragu-ragu/kadang-kadang/hampir baik, diberi skor 3
4. Tidak Setuju/jarang/tidak baik, diberi skor = 2
5. Sangat tidak setuju/tidak pernah/sangat tidak baik, diberi skor = 1

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sumber Data

Sumber data pada penelitian ini merupakan sampel yang diambil dari para pengembang, developer atau pemilik proyek bangunan gedung di Kota Surabaya, baik dari perusahaan BUMN dan Perusahaan Swasta.

Jumlah responden yaitu 50 orang, dengan jabatan Engineer berjumlah 24 orang, jabatan legal/hukum sebanyak 13 orang, dan jabatan administrasi sebanyak 13 orang. Grafik distribusi responden dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik distribusi responden

2. Uji Validitas

Uji validitas digunakan untuk mengukur sah, atau valid tidaknya suatu kuisioner.

Rumusnya adalah:

$$r_{xy} = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{(n \sum X^2) - (\sum X)^2\} \{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \dots (1)$$

Dimana:

- r_{sy} : Koefisien kolerasi
- n : Total responden
- $\sum X$: Total skor variabel bebas yang diperoleh uji coba
- $\sum Y$: Jumlah skor total item variabel terikat yang diperoleh responden

Hasil perhitungan uji validitas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Uji validitas

Variabl	Indikator	R.Hitung	R. Tabel	Signifikan	n	KETERANGAN
PROSEDUR PENERBITAN (X)						
X1	X1.1	0.608	0,279	0.000	0.05	VALID
	X1.2	0.588	0,279	0.000	0.05	VALID
	X1.3	0.835	0,279	0.000	0.05	VALID
X2	X2.1	0.586	0,279	0.000	0.05	VALID
	X2.2	0.318	0,279	0.000	0.05	VALID
	X2.3	0.718	0,279	0.000	0.05	VALID
	X2.4	0.467	0,279	0.000	0.05	VALID
	X2.5	0.743	0,279	0.000	0.05	VALID
X3	X3.1	0.723	0,279	0.000	0.05	VALID
	X3.2	0.518	0,279	0.000	0.05	VALID
	X3.3	0.684	0,279	0.000	0.05	VALID
	X3.4	0.338	0,279	0.000	0.05	VALID
	X3.5	0.669	0,279	0.000	0.05	VALID
	X3.6	0.427	0,279	0.000	0.05	VALID
	X3.7	0.496	0,279	0.000	0.05	VALID
Y1	Y1.1	0.729	0,279	0.000	0.05	VALID
	Y1.2	0.474	0,279	0.000	0.05	VALID
	Y1.3	0.782	0,279	0.000	0.05	VALID
	Y1.4	0.594	0,279	0.000	0.05	VALID
	Y1.5	0.475	0,279	0.000	0.05	VALID

Berdasarkan hasil uji validitas yang disajikan pada Tabel 1, diperoleh bahwa seluruh item pernyataan

yang digunakan setiap variabel dalam penelitian ini ialah **valid** karena nilai *rhitung* > *rtabel*. Hal ini membuktikan bahwa item-item pernyataan tersebut dapat dipergunakan untuk penelitian.

3. Uji Reliabilitas

Pengujian reliabilitas bertujuan untuk mengukur tingkat konsistensi suatu alat instrumen sehingga alat tersebut dapat dipercaya sebagai variabel penelitian. Dalam hal ini digunakan nilai *Cronbach Alpha*. Jika nilai *Cronbach Alpha* > 0,6 maka instrumen dapat dikatakan reliabel.

Rumus uji Reliabilitas:

$$r_i = \frac{k}{(k-1)} \left\{ 1 - \frac{\sum si}{si} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- k : banyaknya butir angket
- $\sum si$: Sigma varian total angket
- si : Sigma varian total angket

Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas

Variabel	Nilai Cronbach Alpha	Keterangan
Prosedur Penerbitan (X)	0.8699	Reliabel
Pelayanan (Y)	0.9055	Reliabel

Sumber: Hasil Pengolahan data

Berdasarkan Tabel di atas, dapat diketahui hasil nilai *Cronbach Alpha* pada variabel Prosedur Penerbitan (X) dan Pelayanan (Y) adalah > 0,6, sehingga. dapat ditarik kesimpulan bahwa instrumen reliabel dan dapat digunakan untuk alat ukur variabel dalam penelitian.

4. Uji Asumsi Klasik

a. Uji Normalitas

Uji ini digunakan untuk melihat apakah data terdistribusi normal dengan pertimbangan nilai residual (nilai perbedaan yang ada) haruslah > 0.05 Rumus yang digunakan adalah *Kolmogorov-Smirnov*.

Tabel berikut menunjukkan hasil dari pengujian normalitas.

Tabel 3. Hasil pengolahan uji normalitas

		Unstandardized Residual
N		50
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0000000
	Std. Deviation	.85622934
Most Extreme Differences	Absolute	.083
	Positive	.083
	Negative	-.056
Test Statistic		.083
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.
c. Lilliefors Significance Correction.
d. This is a lower bound of the true significance.

Sumber: Hasil Pengolahan data

Dari uji normalitas diperoleh nilai residual sebesar **0,200 > 0,05**, artinya data pada proses penelitian ini terdistribusi normal.

b. Uji Multikolinearitas

Uji Multikolinearitas dilakukan untuk menguji apakah pada model regresi ditemukan adanya kolerasi antar variabel independen. Pada model regresi yang baik, tidak terjadi korelasi antara variabel independen. Untuk mendeteksi ada atau tidaknya multikolinearitas dapat dilihat dari nilai *variance inflation factor* (VIF) dan *tolerance*.

- 1) Jika nilai *tolerance* > 0,10, atau nilai VIF < 10, maka lolos uji multikolinearitas.
- 2) Jika nilai *tolerance* < 0,10, atau nilai VIF > 10, maka tidak lolos uji multikolinearitas.

Hasil uji multikolinearitas menggunakan aplikasi SPSS dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil pengolahan uji multikolinearitas

Coefficients ^a			
Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
1	X1	.351	2.848
	X2	.337	2.963
	X3	.325	3.081

a. Dependent Variabel: Y1

Sumber: Hasil Pengolahan data

c. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi terjadi ketidaksamaan *variance* dari *residual* satu pengamatan ke pengamatan yang lainnya. Uji yang digunakan adalah uji Harvey, yakni meregresikan nilai *absolute*

residual terhadap variabel independen. Kriteria pengambilan keputusan adalah sebagai berikut:

- 1) Uji nilai sig > 0,05 , maka lolos uji heteroskedastisitas.
- 2) Uji nilai sig < 0,05 , maka tidak lolos uji heteroskedastisitas

Tabel 5. Hasil pengolahan uji multikolinearitas

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.565	.778		2.012	.050
	X1	.131	.073	.429	1.802	.078
	X2	-.069	.055	-.302	-1.241	.221
	X3	-.036	.045	-.198	-.797	.429

a. Dependent Variabel: ABS RES

Sumber: Hasil Pengolahan data

Hasil uji heteroskedastisitas menunjukkan semua variabel mempunyai nilai **sig > 0.05**, maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini lolos uji heteroskedastisitas.

5. Uji Hipotesis

a. Uji Koefisien Determinasi (R²)

Uji koefisien determinasi dilakukan untuk mengukur seberapa jauh kemampuan model (Variabel independen) dalam menjelaskan variasi variabel dependen. Nilainya adalah antara 0 dan 1. Jika nilainya mendekati 1, artinya variabel independen mampu memberikan hampir semua informasi untuk menjelaskan variabel dependen.

Hasil perhitungan uji koefisien determinasi disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5. Hasil pengolahan uji koefisien determinasi

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.927 ^a	.859	.849	.88371

a. Predictors: (Constant), X3, X1, X2

Sumber: Hasil Pengolahan data

Nilai R Square sebesar 0.859 atau 85.9% menunjukkan variabel Kemudahan (X1), Kelengkapan Administrasi (X2), dan Kepuasan Pelanggan (X3), mampu menjelaskan variabel Pelayanan SLF (Y), yakni sebesar 85.9%.

b. Uji F

Uji F digunakan untuk melihat apakah variabel independen secara berama-sama (serentak) mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$F_n = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(n-k-1)} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- R : Koefisien kolerasi berganda
- n : Jumlah Sampel
- k : Banyaknya komponen variabel bebas

Maka :

- a. Jika nilai F hitung > F Tabel atau sig < α maka H0 ditolak dan Ha diterima
- b. Jika nilai F hitung < F Tabel atau sig > α maka Ha ditolak dan H0 diterima

Tabel 5. Hasil pengolahan uji F

ANOVA ^a					
Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	Sig.
1	Regression	217.997	3	72.666	93.049
	Residual	35.923	46	.781	.000 ^b
	Total	253.920	49		

a. Dependent Variabel: Y1
b. Predictors: (Constant), X3, X1, X2

Sumber: Hasil Pengolahan data

Nilai F hitung sebesar 93.049 > dari nilai F tabel yaitu 2.807 dan sig: 0.000 < dari 0.05. maka H0 ditolak dan Ha diterima. Artinya, variabel kemudahan, kelengkapan administrasi, dan kepuasan pelanggan berpengaruh terhadap Pelayanan SLF.

c. Hasil Uji t

Uji t digunakan untuk menguji tingkat signifikan dari pengaruh variabel independen secara parsial terhadap variabel dependen. Uji ini dilaksanakan dengan langkah membandingkan t hitung dengan t tabel. Ketentuannya adalah, jika t hitung > t tabel dan nilai signifikan < 0,05 (α: 5%), maka variabel independen secara parsial berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

$$\text{Rumus: } t = \frac{b}{sb} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

t : t hitung

- b : Koefisien regresi
 - Sb : Standar Error dari Variabel Independen
- Maka :

- 1. Jika nilai t hitung > t tabel atau sig < α maka H0 ditolak dan Ha diterima.
- 2. Jika nilai t hitung < t tabel atau sig > α maka Ha ditolak dan H0 diterima

Tabel 6. Hasil pengolahan uji t

Model	Coefficients ^a			t	Sig.	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	.698	1.266		.552	.584
	X1	.121	.118	.096	1.023	.312
	X2	.183	.090	.193	2.025	.049
	X3	.521	.074	.690	7.090	.000

a. Dependent Variabel: Y

Sumber: Hasil Pengolahan data

Pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen secara parsial adalah sebagai berikut:

- 1. Nilai t hitung variabel kemudahan (X1) 1.023 < nilai t tabel yaitu 2.011 dan nilai sig yaitu 0.584 > 0.05. maka Ha ditolak dan H0 diterima, artinya variabel **Kemudahan tidak berpengaruh** terhadap Pelayanan Sertifikat Laik Fungsi
- 2. Nilai t hitung variabel kelengkapan administrasi (X2) sebesar 2.025 > dari nilai t tabel, yaitu 2.011 dan nilai sig, yaitu 0.49 > 0.05. maka H0 ditolak dan Ha diterima. Artinya variabel **kelengkapan administrasi tidak berpengaruh** terhadap Pelayanan Sertifikat Laik Fungsi
- 3. Nilai t hitung variabel kepuasan pelanggan (X3) sebesar 7.090 > dari t tabel, yaitu 2.011 dan nilai sig, yaitu 0.00 < dari 0.05. maka H0 ditolak dan Ha diterima. Artinya variabel **kepuasan pelanggan berpengaruh** terhadap Pelayanan Sertifikat Laik Fungsi

KESIMPULAN

- 1. Dalam proses Penerbitan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Bangunan Gedung di Kota Surabaya:
 - Faktor Kepuasan Pelanggan **berpengaruh signifikan** terhadap proses penerbitan (sig. 0.00 < dari 0.05).
 - Faktor Kelengkapan Administrasi **tidak berpengaruh** terhadap proses penerbitan (sig. 0.49 > 0.05).
 - Faktor Kemudahan **tidak berpengaruh** dalam Proses penerbitan (sig. 0.584 > 0.05)

2. Dari hasil analisis penerbitan Sertifikat Laik Fungsi bangunan gedung di kota Surabaya, variabel Kepuasan Pelanggan memiliki nilai paling besar yaitu 52.1%, variabel kemudahan hanya sebesar 12.1%, dan untuk variabel Kelengkapan administrasi adalah 18,3%. Dapat disimpulkan bahwa **kepuasan pelanggan berpengaruh signifikan** dalam penerbitan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) bangunan gedung di kota Surabaya.

REFERENSI

- Arikunto, 2018, *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta
- Fithriani, Nur dkk. 2019, *Jurnal Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Gedung Pemerintah Kota Semarang*. Universitas Semarang.
- Ghozali, 2016, *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 2*, Universitas Diponegoro Semarang
- Hesti Purnamasari, 2020, *Jurnal Efektivitas Pelayanan Publik Pemberian Rekomendasi Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Pada Dinas Perumahan dan Pemukiman Kota Banjarbaru Provinsi Kalimantan Selatan*; Universitas Islam Kalimantan
Muhammad Arsyad Al Banjari
- Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Surabaya
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (Permen PU) Nomor 27/PRT/M/2018 tentang Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung
- Peraturan Walikota Nomor 14 Tahun 2018 Tentang Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Bangunan Gedung
- Peraturan Walikota Nomor 51 tahun 2022. Tentang perubahan Peraturan Walikota Surabaya Nomor 14 Tahun 2018 Tentang Sertifikat Laik Fungsi (SLF) Bangunan Gedung
- Sugiyono, 2014, *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Suliyanto, 2011, *Ekonometrika Terapan: Teori dan Aplikasi Dengan SPSS*. In *Ekonometrika Terapan: teori dan Aplikasi SPSS*
- Udin Lestiyono. (2018). *Pengaruh Kualitas Produk dan Kualitas Layanan Terhadap Kepuasan Pelanggan Pada Konsumen, CV. Multi Usaha Raya Jepara*, Universitas Negeri Semarang.

Analisis Kinerja Hambatan Samping pada Jalan Jawa Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember

Performance Analysis of Side Obstacles on Java Road, Sumbersari District, Jember Regency

Khofifah¹, Difa Safinatun Naza²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan, Jl. Yudharta No. 07
Sengonagung Purwosari Pasuruan. Telp (0343) 611186. Email : khofifah@yudharta.ac.id

Abstrak

Jalan Jawa merupakan pusat bisnis yang menyebabkan volume lalu lintas tinggi selama jam sibuk. Analisis kinerja jalan menunjukkan bahwa pada pagi hari, tingkat pelayanan Jalan Jawa masih tergolong C dengan rasio V/C sebesar 0,69, yang menunjukkan kondisi normal. Namun, pada jam sibuk siang, sore, dan malam, rasio V/C melebihi 1, sehingga tingkat pelayanan turun ke kategori F, menandakan kemacetan. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh hambatan samping di Jalan Jawa Jember dan menawarkan solusi untuk masalah lalu lintas yang muncul. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pedoman dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), yang meliputi perhitungan hambatan samping dan kapasitas jalan. Survei langsung di lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data. Dari hasil analisis, arus lalu lintas puncak rata-rata selama 3 hari pengamatan mencapai 3630,8 smp/jam, dengan hambatan samping sebesar 670 smp/jam dan kapasitas jalan 2378 smp/jam. Derajat kejenuhan rata-rata tercatat 1,52 smp/jam. Meskipun Jalan Jawa masih dalam kondisi stabil, kecepatan perjalanan dan kebebasan bergerak sudah dipengaruhi oleh volume lalu lintas yang tinggi, sehingga pengemudi tidak lagi bebas memilih kecepatan, dengan tingkat pelayanan tergolong C.

Kata Kunci: Kemacetan; Pengaruh Hambatan Samping; Kinerja Lalu Lintas MKJI 1997.

Abstract

Jalan Jawa is a business hub that experiences high traffic volumes during peak hours. The road performance analysis indicates that in the morning, Jalan Jawa's service level is still classified as C, with a V/C ratio of 0.69, signifying normal conditions. However, during peak afternoon, evening, and night hours, the V/C ratio exceeds 1, leading to a service level drop to category F, indicating congestion. This study aims to understand the impact of side friction on Jalan Jawa in Jember and propose solutions to the emerging traffic issues. The research employs a quantitative approach guided by the Indonesian Highway Capacity Manual (MKJI, 1997), which covers the calculation of side friction and road capacity. Direct field surveys were conducted to gather data. The analysis results show that the average peak traffic flow over three days of observation reached 3630.8 pcu/hour, with side friction amounting to 670 pcu/hour and road capacity at 2378 pcu/hour. The average degree of saturation recorded was 1.52 pcu/hour. Although Jalan Jawa remains relatively stable, the travel speed and freedom of movement are already affected by high traffic volumes, limiting drivers' ability to choose their desired speed, with the service level classified as C.

Keywords: Congestion; Side Friction Impact; Traffic Performance; MKJI 1997.

PENDAHULUAN

Fenomena yang terjadi di Kabupaten Jember, Jawa Timur, yang merupakan salah satu daerah dengan pertumbuhan penduduk yang cukup signifikan. Pertumbuhan ini tidak hanya berdampak pada aspek sosial dan ekonomi, tetapi juga pada

infrastruktur, khususnya dalam hal transportasi. Jalan sebagai salah satu infrastruktur vital memiliki peranan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan kelancaran arus barang. Namun, seiring dengan meningkatnya volume lalu lintas, berbagai masalah mulai muncul, seperti kemacetan,

kecelakaan, dan penurunan kualitas jalan (Sabila Rizqi, 2023).

Kemacetan lalu lintas di Kabupaten Jember menjadi isu yang perlu mendapatkan perhatian serius. Berdasarkan data dari Dinas Perhubungan setempat, volume kendaraan yang melintas di jalan-jalan utama terus meningkat setiap tahunnya. Hal ini diperparah dengan adanya hambatan samping, seperti parkir liar, pedagang kaki lima, dan aktivitas masyarakat lainnya yang mengganggu kelancaran arus lalu lintas. Hambatan-hambatan ini tidak hanya menyebabkan kemacetan, tetapi juga berpotensi menimbulkan kecelakaan yang dapat merugikan masyarakat (Arika, 2017).

Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja jalan di Kabupaten Jember, khususnya di Jalan Jawa, yang merupakan salah satu ruas jalan yang padat. Penelitian ini akan menggunakan Metode Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) untuk mengevaluasi kapasitas jalan dan derajat kejenuhan yang terjadi akibat hambatan samping. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi lalu lintas di daerah tersebut serta rekomendasi untuk perbaikan yang diperlukan (Afandi, 2022).

Dalam penelitian mengenai kinerja jalan dan hambatan samping, penting untuk memahami beberapa teori yang mendasari analisis ini serta merujuk pada penelitian terdahulu yang relevan. Tinjauan teori ini akan memberikan landasan yang kuat untuk memahami fenomena yang terjadi di lapangan.

Jalan adalah struktur yang dirancang untuk menyediakan akses dan mobilitas antara lokasi-lokasi yang berbeda, memfasilitasi pergerakan orang dan barang. Jalan biasanya terdiri dari lapisan permukaan yang keras, seperti aspal atau beton, yang memberikan kestabilan dan daya dukung bagi kendaraan dan pejalan kaki (Sukirman, S. 2003).

Kapasitas jalan merujuk pada jumlah maksimum kendaraan yang dapat melintas di suatu ruas jalan dalam satuan waktu tertentu, tanpa menyebabkan kemacetan. Menurut Metode Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), kapasitas jalan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk lebar jalan, jenis kendaraan, dan kondisi lalu lintas. Dalam konteks ini, hambatan samping, seperti parkir liar dan keberadaan pedagang kaki lima, dapat mengurangi kapasitas jalan secara signifikan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Arika (2017), yang menunjukkan bahwa hambatan samping dapat menyebabkan penurunan kapasitas jalan, meskipun pada tingkat intensitas lalu lintas yang tinggi, jalan masih dapat berfungsi dengan baik.

Selain itu, teori tingkat pelayanan (Level of Service, LOS) juga menjadi acuan penting dalam penelitian ini. LOS adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan kualitas layanan dari suatu ruas jalan berdasarkan kecepatan, kepadatan, dan kenyamanan berkendara. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Afandi (2022), ditemukan bahwa tingkat pelayanan pada Jalan Diponegoro di Sumenep mengalami penurunan akibat adanya hambatan samping. Penelitian ini menunjukkan bahwa ketika volume lalu lintas meningkat, kebebasan bergerak pengemudi berkurang, yang berdampak pada penurunan tingkat pelayanan.

Tinjauan terhadap penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa hambatan samping merupakan masalah umum yang dihadapi di banyak kota. Penelitian oleh Sabila Rizqi (2023) di Jember mengungkapkan bahwa keberadaan pedagang kaki lima dan penggunaan bahu jalan untuk parkir kendaraan menjadi faktor utama penyebab kemacetan. Penelitian ini menekankan pentingnya pengelolaan ruang publik yang lebih baik untuk mengurangi dampak negatif dari hambatan samping.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Bagaimana kinerja jalan di Jalan Jawa Kabupaten Jember? (2) Apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi hambatan samping di jalan tersebut? (3) Bagaimana upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kemacetan dan meningkatkan kelancaran lalu lintas? Pertanyaan-pertanyaan ini akan menjadi fokus utama dalam penelitian ini dan akan dijawab melalui analisis data yang diperoleh dari survei lapangan.

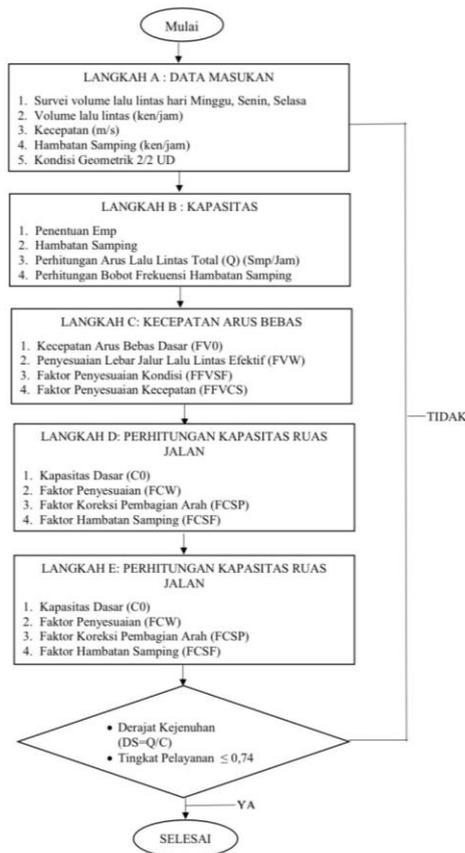
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja jalan di Jalan Jawa Kabupaten Jember dengan mempertimbangkan hambatan samping yang ada. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah dalam upaya mengatasi masalah kemacetan dan meningkatkan kualitas infrastruktur transportasi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi lalu lintas di Jalan Jawa Kabupaten Jember. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pihak-pihak terkait dalam merumuskan kebijakan yang lebih efektif dalam mengatasi masalah kemacetan dan meningkatkan kualitas jalan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang transportasi dan perencanaan kota.

METODE

Metode penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja jalan akibat hambatan samping di Jalan Jawa, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan Metode Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) sebagai alat analisis utama. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi dan keberadaan hambatan samping, seperti parkir kendaraan dan aktivitas pedagang kaki lima, di ruas jalan sepanjang 1,2 kilometer.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung untuk mengidentifikasi jenis dan jumlah hambatan samping, serta mencatat volume lalu lintas pada jam-jam sibuk. Data yang diperoleh mencakup frekuensi kendaraan yang terpengaruh oleh hambatan dan kecepatan arus bebas. Selanjutnya, kapasitas jalan dihitung menggunakan rumus MKJI, dengan data volume dan jenis kendaraan sebagai input. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antara hambatan samping dan kinerja lalu lintas, termasuk derajat kejenuhan yang menunjukkan kepadatan lalu lintas.



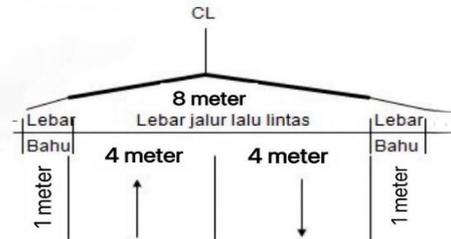
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil survei yang dilakukan langsung di lapangan dengan cara pengamatan dan pengukuran

didapatkan data geometrik Jalan Jawa, gambar geometrik jalan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 4.1 dan data geometrik dapat dilihat pada table 4.1 di bawah ini.

Gambar 1 Geometrik jalan penelitian.



Sumber : Lokasi Penelitian

Tabel 1 Data Geometrik Ruas Jalan

Data	Keterangan
Tipe Jalan	Jalan 2 lajur, 1 arah tak terbagi
Lebar per Jalur	8 meter
Lebar per Lajur	4 meter
Bahu jalan	0,5 meter
Fungsi Jalan	Jalan Kota
Kondisi Jalan	Baik

Sumber : Hasil Analisis Data

4.1.2 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas yang diperoleh setelah melakukan pengamatan langsung di lapangan adalah sebagai berikut.

1. Volume Lalu Lintas

Tabel 2 Data Volume Lalu Lintas Jalan Jawa pada hari Minggu 7 Juli 2024

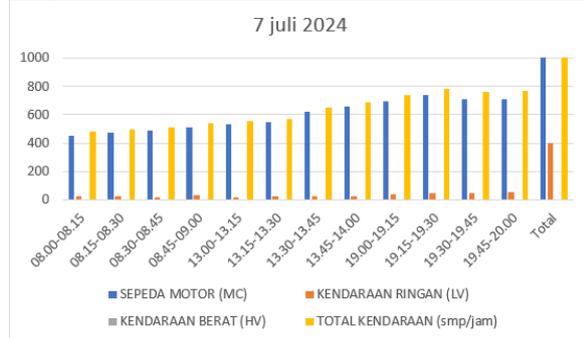
WAKTU	Kendaraan MC	emp		Kendaraan HV	emp		TOTAL KENDARAAN smp/Jam
		0,4	1		1,3	1,3	
08.00-08.15	455	182	29	29	1	1,3	212,3
08.15-08.30	472	188,8	24	24	0	0	212,8
08.30-08.45	491	196,4	19	19	1	1,3	216,7
08.45-09.00	511	204,4	31	31	2	2,6	238
13.00-13.15	537	214,8	20	20	1	1,3	236,1
13.15-13.30	545	218	27	27	0	0	245
13.30-13.45	621	248,4	29	29	1	1,3	278,7
13.45-14.00	659	263,6	30	30	0	0	293,6
19.00-19.15	697	278,8	20	20	0	0	298,8
19.15-19.30	741	296,4	19	19	1	1,3	316,7
19.30-19.45	712	284,8	25	25	0	0	309,8
19.45-20.00	711	284,4	21	21	0	0	305,4
Total	2860,8	2860,8	294	294	9,1	9,1	3163,9

Sumber : Hasil Analisis Data

Pada hasil analisis data diatas, didapatkan jumlah kendaraan tertinggi yakni pada pukul 19.00-20.00 yakni sejumlah 741 kendaraan per 15 menit, jumlah kendaraan tertinggi didapat karena pada jam tersebut banyak mahasiswa serta orang yang menghabiskan waktu libur kerja dengan keluarganya ataupun berbelanja disekitar Jalan Jawa. Sedangkan jumlah kendaraan masih sedikit

yang melintas pada pukul 08.00, dikarenakan aktifitas para mahasiswa dan pelajar yang libur.

Gambar 4. 2 Grafik Volume Lalu Lintas pada tanggal 7 Juli 2024



Sumber : Hasil Analisi Data

Pada grafik diatas menunjukkan hasil bahwa total kendaraan per jamnya pada tanggal 7 Juli 2024, pada jam 08.00 – 08.30 mengalami penurunan jumlah kendaraan. Dan pada jam siang jumlah kendaraan yang melintas terbilang stabil dan jumlah kendaraan naik kembali di jam puncak yaitu pukul 19.00-20.00 sejumlah 741 kendaraan.

Tabel 4. 3 Data Volume Lalu Lintas Jalan Jawa pada hari Senin 8 Juli 2024

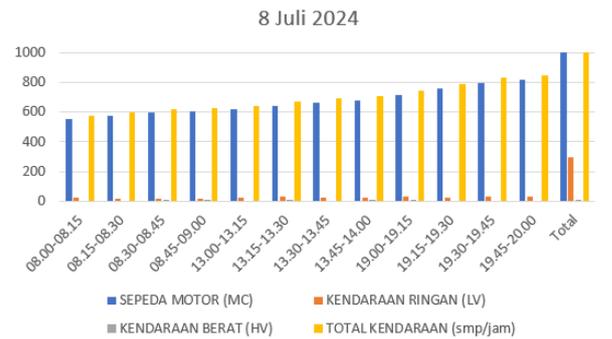
WAKTU	Kendaraan MC	Kendaraan LV		Kendaraan HV		TOTAL KENDARAAN smp/jam
		emp	emp	emp	emp	
08.00-08.15	555	0,4	1	0	0	243
08.15-08.30	578	231,2	17	17	0	248,2
08.30-08.45	598	239,2	20	20	1	260,5
08.45-09.00	603	241,2	19	19	1	261,5
13.00-13.15	622	248,8	22	22	0	270,8
13.15-13.30	641	256,4	29	29	1	286,7
13.30-13.45	665	266	25	25	0	291
13.45-14.00	681	272,4	21	21	2	296
19.00-19.15	712	284,8	30	30	1	316,1
19.15-19.30	759	303,6	27	27	0	330,6
19.30-19.45	799	319,6	35	35	0	354,6
19.45-20.00	814	325,6	30	30	0	355,6
Total	3210,8	Total	296	Total	7,8	3514,6

Sumber : Hasil Analisis Data

Pada hasil analisis data diatas, didapatkan jumlah kendaraan tertinggi yakni pada pukul 19.00-20.00 yakni sejumlah 814 kendaraan per 15 menit, jumlah kendaraan tertinggi didapat karena pada jam tersebut banyak para mahasiswa mencari makan, serta banyaknya orang yang menghabiskan waktu untuk berbelanja disekitar Jalan Jawa. Sedangkan jumlah kendaraan terlihat mengalami peningkatan secara stabil pada pukul 13.00-14.00, dikarenakan banyaknya mahasiswa yang berangkat dan pulang kuliah, dan banyaknya pelajar yang pulang sekolah.

Gambar 4. 3 Grafik Volume Lalu Lintas pada

tanggal 8 Juli 2024



Sumber : Hasil Analisis Data

Pada hasil analisis data diatas, pada jam 08.00 – 09.00 terus mengalami kenaikan jumlah kendaraan yakni sejumlah 555 kendaraan pada pukul 08.00 dan naik menjadi 603 kendaraan pada pukul 09.00 dihitung per 15 menitnya. Dikarenakan pada jam tersebut banyak mahasiswa dan pekerja yang melintas dan pada malam hari mengalami kenaikan jumlah kendaraan yang terus stabil per 15 menitnya.

Tabel 4. 4 Data Volume Lalu Lintas Jalan Jawa pada hari Selasa 9 Juli 2024

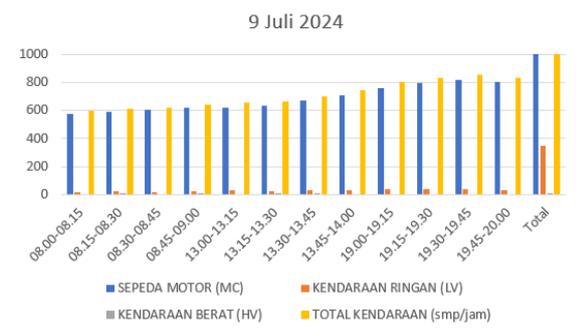
WAKTU	Kendaraan MC	Kendaraan LV		Kendaraan HV		TOTAL KENDARAAN smp/jam
		emp	emp	emp	emp	
08.00-08.15	578	0,4	1	0	1,3	248,2
08.15-08.30	592	236,8	21	21	1	259,1
08.30-08.45	603	241,2	19	19	0	260,2
08.45-09.00	617	246,8	22	22	1	270,1
13.00-13.15	621	248,4	31	31	0	279,4
13.15-13.30	634	253,6	25	25	1	279,9
13.30-13.45	667	266,8	29	29	1	297,1
13.45-14.00	707	282,8	35	35	0	317,8
19.00-19.15	759	303,6	41	41	0	344,6
19.15-19.30	795	318	39	39	0	357
19.30-19.45	815	326	40	40	0	366
19.45-20.00	801	320,4	31	31	0	351,4
Total	3275,6	Total	350	Total	5,2	3630,8

Sumber : Hasil Analisis Data

Pada hasil analisis data diatas, didapatkan jumlah kendaraan tertinggi yakni pada pukul 19.00-20.00 yakni sejumlah 857 kendaraan per 15 menit, jumlah kendaraan tertinggi didapat karena pada jam tersebut banyak para mahasiswa mencari makan, serta banyaknya orang yang menghabiskan waktu untuk berbelanja disekitar Jalan Jawa. Sedangkan jumlah kendaraan terlihat mengalami peningkatan secara stabil mulai pukul 013.00-14.00, dikarenakan banyaknya mahasiswa yang berangkat dan pulang kuliah, dan banyaknya pelajar yang pulang sekolah.

Gambar 4. 4 Grafik Volume Lalu Lintas pada

tanggal 9 Juli 2024



Sumber : Hasil Analisis Data

Pada grafik diatas menunjukkan hasil bahwa total kendaraan per jamnya pada tanggal 9 Juli 2024, pada jam 08.00 – 09.00 terlihat stabil, dan terus mengalami kenaikan jumlah kendaraan secara stabil pukul 13.00 – 14.00 dihitung per 15 menitnya. Serta pada malam hari mengalami kenaikan jumlah kendaraan tertinggi pada pukul 19.30.

2. Hambatan Samping

Hambatan samping yang terdapat di Jalan Jawa dapat memengaruhi kinerja jalan secara signifikan. Beberapa jenis hambatan samping yang dapat ditemukan di area tersebut meliputi:

1. Kendaraan yang parkir atau berhenti di tepi jalan dapat mengurangi kapasitas jalur lalu lintas, memperlambat laju kendaraan lain, dan menyebabkan kemacetan. Hal ini juga dapat mengganggu arus kendaraan yang sedang bergerak, terutama jika parkir dilakukan sembarangan atau tidak sesuai dengan aturan yang berlaku.
2. Kehadiran pejalan kaki atau penyeberang jalan dapat mempengaruhi kelancaran lalu lintas. Ketika pejalan kaki menyebrang jalan di lokasi yang tidak disediakan fasilitas penyeberangan, seperti zebra cross, maka kendaraan harus berhenti atau mengurangi kecepatan, yang berpotensi menyebabkan penumpukan lalu lintas dan mengurangi efisiensi jalan.
3. Kendaraan yang keluar masuk dari lahan di samping jalan dapat mengganggu arus lalu lintas utama. Proses masuk dan keluarnya kendaraan dari area parkir atau lahan lain sering kali memerlukan ruang ekstra, yang dapat mengakibatkan gangguan pada kendaraan yang sedang

melaju di jalur utama.

4. Banyaknya pedagang kaki lima yang beroperasi di bahu jalan dapat menyebabkan penyempitan jalur lalu lintas dan mengurangi ruang yang tersedia untuk kendaraan. Ini sering mengakibatkan pengurangan kapasitas jalan, serta risiko tambahan bagi pengemudi yang harus bermanuver di sekitar area tersebut.

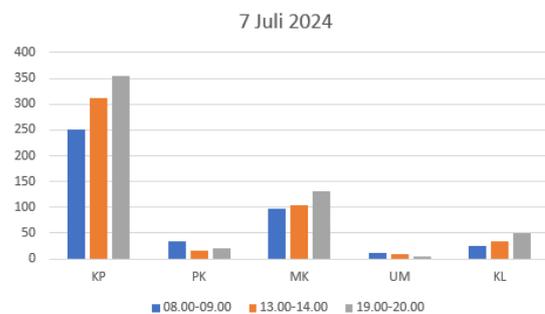
Untuk menganalisis dampak dari hambatan samping ini, perhitungan jumlah kejadian per jam dilakukan. Data dari pencacahan hambatan samping seperti berikut ini memberikan gambaran mengenai frekuensi dan potensi gangguan di Jalan Jawa.

Evaluasi terhadap hambatan samping ini penting untuk meningkatkan perencanaan dan manajemen jalan guna mengoptimalkan kinerja dan keselamatan di Jalan Jawa.

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Hambatan Samping Minggu 7 Juli 2024

WAKTU	KP	PK	MK	UM	KL
08.00-09.00	251	35	97	11	25
13.00-14.00	312	17	105	9	35
19.00-20.00	355	20	131	5	50

Gambar 4. 5 Grafik Hambatan Samping Minggu 7 Juli 2024



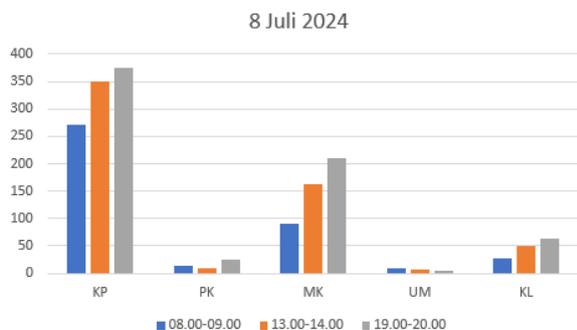
Sumber : Hasil Analisis Data

Dengan hasil ini, terlihat jelas bahwa kendaraan yang parkir di sisi jalan menjadi faktor utama dalam menghambat kelancaran arus lalu lintas. Puncak gangguan terjadi pada waktu tersebut, menandakan bahwa parkir di tepi jalan sangat mempengaruhi aliran lalu lintas. Angka 355 kendaraan menunjukkan tingkat kepadatan yang signifikan pada pukul 19.00-20.00, yang pada gilirannya mengindikasikan bahwa masalah parkir harus diperhatikan secara serius untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan perjalanan.

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Hambatan Samping Senin 8 Juli 2024

WAKTU	KP	PK	MK	UM	KL
08.00-09.00	271	13	91	9	27
13.00-14.00	351	10	163	7	50
19.00-20.00	376	25	211	5	63

Gambar 4. 6 Grafik Hambatan Samping Senin 8 Juli 2024



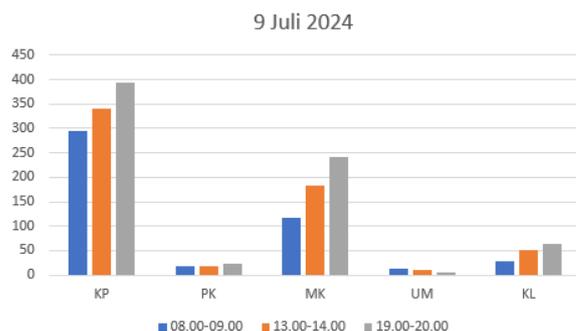
Sumber : Hasil Analisi Data

Dari data ini, jelas bahwa kendaraan yang parkir di sisi jalan merupakan faktor utama yang mengganggu kelancaran arus lalu lintas. Puncak gangguan terjadi pada periode tersebut, menunjukkan bahwa parkir di tepi jalan memiliki pengaruh besar terhadap aliran lalu lintas. Angka 376 pada pukul 19.00-20.00 kendaraan menunjukkan tingkat kepadatan yang cukup tinggi, menandakan bahwa masalah parkir perlu diatasi untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan perjalanan. Pengaruh dari kendaraan yang terparkir di pinggir jalan menjadi faktor utama dalam menghambat arus lalu lintas pada waktu tertentu, sehingga perlu perhatian khusus untuk mengatasi isu ini.

Tabel 4. 7 Hasil Analisis Hambatan Samping Selasa 9 Juli 2024

WAKTU	KP	PK	MK	UM	KL
08.00-09.00	294	17	116	12	27
13.00-14.00	341	19	182	10	50
19.00-20.00	395	23	242	6	63

Gambar 4. 7 Grafik Hambatan Samping Selasa 9 Juli 2024



Sumber : Hasil Analisi Data

Data ini menunjukkan bahwa parkir di tepi jalan adalah faktor utama yang mempengaruhi kelancaran arus lalu lintas. Pada periode waktu tersebut, total kendaraan yang parkir mencapai 395 unit pada pukul 19.00-20.00, yang menunjukkan tingkat kepadatan yang tinggi dan dampak besar pada aliran lalu lintas. Masalah parkir ini menjadi perhatian utama dalam upaya meningkatkan efisiensi dan kenyamanan perjalanan di area tersebut.

3. Kecepatan Tempuh

Pada observasi yang dilakukan secara langsung ketika surveyor berada di lokasi, dengan metode mengemudi kendaraan ringan (LV) pada berbagai interval waktu, baik saat kondisi padat/macet maupun saat keadaan normal dengan jarak tempuh 50 meter, menunjukkan hasil yang akan diuraikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 8 Analisis Hasil Kecepatan Tempuh

Tanggal	Waktu	Kendaraan MC			Kendaraan LV			Kendaraan HV		
		Jarak (m)	detik (t)	m/t	Jarak (m)	detik (t)	m/t	Jarak (m)	detik (t)	m/t
7 Juli 2024	08.00-09.00	50 m	09.83	5	50 m	10.72	4,7	50 m	11.26	4,4
	13.00-14.00	50 m	13.10	3,8	50 m	15.33	3,3	50 m	15.45	3,2
	19.00-20.00	50 m	15.53	3,2	50 m	18.13	2,8	50 m	19.11	2,6
8 Juli 2024	08.00-09.00	50 m	10.01	5	50 m	10.45	4,8	50 m	11.56	4,3
	13.00-14.00	50 m	12.99	3,8	50 m	14.89	3,4	50 m	16.12	3,1
	19.00-20.00	50 m	14.76	3,4	50 m	19.00	2,6	50 m	18.11	2,8
9 Juli 2024	08.00-09.00	50 m	10.12	4,94	50 m	09.59	5,21	50 m	10.81	4,62
	13.00-14.00	50 m	11.81	4,23	50 m	15.23	3,28	50 m	17.36	2,88
	19.00-20.00	50 m	15.88	3,14	50 m	17.67	2,82	50 m	20.12	2,48

Sumber : Hasil Analisis Data

4.1 Analisis dan Pembahasan

Data hasil penelitian yang telah dicantumkan sebelumnya digunakan untuk analisis kinerja lalu lintas di Jalan Jawa.

4.2.1 Analisis Kondisi

Data yang digunakan untuk analisis adalah data yang memiliki volume lalu lintas tertinggi, yakni pada pukul 19.00-20.00

dikarenakan jam tersebut adalah waktu dimana banyak toko-toko pinggir jalan yang buka dan banyaknya pedagang kaki lima di sepanjang bahu jalan.

1.2.2 Arus Lalu Lintas Total

Dari hasil survey didapat total kendaraan yang tertingginyakni di pukul 19.00-20.00 dan Jalan Jawa merupakan jalan 2 lajur tak terbagi sehingga dapat diketahui nilai emp kendaraan yaitu:

- a) Sepeda Motor (MC)= 0,4
- b) Kendaraan ringan (LV) = 1
- c) Kendaraan Berat (HV) = 1,3

Dengan diketahui nilai emp dari masing-masing kendaraan, kemudian dilakukan perhitungan arus lalu lintas total dalam smp/jam adalah :

$$Q = (\text{emp LV} \times \text{LV} + \text{emp HV} \times \text{HV} + \text{emp MC} \times \text{MC})$$

Dimana :

Q : volume kendaraan bermotor (smp/jam)

EmpLV :ekivalen mobil penumpang untuk kendaraan ringan

EmpHV :ekivalen mobil penumpang untuk kendaraan berat

EmpMC : ekivalen mobil penumpang untuk sepeda motor

LV : kendaraan ringan

HV : kendaraan berat

MC : sepeda motor

Tabel 4. 9 Keterangan Nilai smp

No.	Jenis kendaraan	Ekivalensi mobil penumpang
1	Kendaraan Ringan / Light Vehicle (meliputi mobil penumpang, oplet, mikrobis, pick-up, truk kecil).	1
2	Kendaraan Berat / Heavy Vehicle (meliputi kendaraan bermotor dengan lebih dari 4 roda).	1,3
3	Sepeda Motor	0,4

Sumber : MKJI 1997

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Q

Hari	Kendaraan MC		Kendaraan LV		Kendaraan HV		Kendaraan Total	
	Total Kendaraan	emp 0,4	Total Kendaraan	emp 1	Total Kendaraan	emp 1,3	ken/jam	smp/jam
Minggu	7152	2860,8	294	294	7	9,1	7453	3163,9
Senin	8027	3210,8	296	296	6	7,8	8329	3514,6
Selasa	8189	3275,6	350	350	4	5,2	8543	3630,8

Sumber : Hasil Analisis Data

Tabel yang disajikan menunjukkan hasil perhitungan jumlah kendaraan yang melintas pada berbagai hari dalam seminggu. Data ini mencakup total kendaraan, termasuk sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV), yang diukur dalam satuan kendaraan per jam.

Dari analisis data, terlihat bahwa jumlah kendaraan bervariasi setiap harinya. Misalnya,

pada hari Senin, total kendaraan mencapai 8,027 unit, dengan kontribusi dari kendaraan ringan dan berat yang signifikan. Sementara itu, pada hari Selasa, jumlah kendaraan sedikit meningkat menjadi 8,189 unit, menunjukkan adanya peningkatan aktivitas transportasi.

Penting untuk dicatat bahwa fluktuasi jumlah kendaraan ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti hari kerja, kegiatan masyarakat, dan kondisi cuaca. Hari-hari tertentu, seperti akhir pekan, mungkin menunjukkan penurunan jumlah kendaraan karena banyak orang yang beristirahat atau melakukan aktivitas di luar kota.

Berdasarkan data yang disajikan dalam tabel, kita dapat menentukan arus tertinggi dan terendah kendaraan yang melintas pada hari-hari yang berbeda.

1. Dari data, arus tertinggi terjadi pada hari Senin dengan total kendaraan mencapai 8,027 unit. Ini menunjukkan bahwa pada hari tersebut, aktivitas transportasi sangat tinggi, mungkin disebabkan oleh rutinitas kerja dan kegiatan masyarakat yang meningkat.
2. Sementara itu, arus terendah tercatat pada hari Minggu dengan total kendaraan yang lebih sedikit, yaitu 7,152 unit. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh banyaknya orang yang beristirahat atau melakukan aktivitas di luar kota, sehingga mengurangi jumlah kendaraan yang melintas.

Dengan informasi ini, pihak berwenang dapat lebih memahami pola lalu lintas dan merencanakan pengelolaan jalan yang lebih baik, termasuk pengaturan lalu lintas dan perencanaan infrastruktur yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

Hambatan Samping

Untuk menghitung frekuensi terjadinya hambatan samping, langkah pertama adalah mengalikan jenis kendaraan dengan faktor bobot yang telah ditetapkan. Selanjutnya, penentuan kelas hambatan samping dilakukan untuk mendapatkan faktor hambatan samping yang sesuai, berdasarkan informasi yang tertera dalam Tabel Bobot Kejadian. Analisis hambatan samping pada ruas Jalan Jawa dapat dilihat melalui tabel yang tersedia di bawah ini. Tabel tersebut mencakup data yang diambil pada hari dengan kepadatan tertinggi, sehingga memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai dampak hambatan samping pada ruas jalan tersebut. Dalam proses analisis

ini, penting untuk memperhitungkan berbagai faktor yang mempengaruhi hambatan samping, termasuk jenis dan volume kendaraan yang melintas, serta kondisi jalan pada saat pengamatan. Dengan pendekatan ini, diharapkan hasil analisis akan memberikan informasi yang berguna untuk perencanaan dan peningkatan infrastruktur jalan.

Tabel 4. 11 Perhitungan Bobot Frekuensi Hambatan Samping Minggu 7 Juli 2024

periode	tipe kejadian	simbol	faktor bobot	frekuensi kejadian	faktor bobot
7 JULI 2024	kendaraan parkir	PSV	1	355	355
	pejalan kaki	PED	0,5	20	10
	kendaraan tak bermotor	SMV	0,4	9	3,6
	kendaraan keluar masuk	EEV	0,7	200	140
	pedagang kaki lima	PKL	1	50	50
total					558,6

Sumber: Hasil Analisis Data

Sehingga jumlah keseluruhan frekuensi pada hambatan samping adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total frekuensi} &= (\text{PSV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{PED} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{SMV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{EEV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{PKL} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) \\ &= (355 + 10 + 3,6 + 140 + 50) \\ &= 558 \text{ bobot kejadian} \end{aligned}$$

Tabel 4. 12 Perhitungan Bobot Frekuensi Hambatan Samping Senin 8 Juli 2024

periode	tipe kejadian	simbol	faktor bobot	frekuensi kejadian	faktor bobot
8 JULI 2024	kendaraan parkir	PSV	1	376	376
	pejalan kaki	PED	0,5	25	12,5
	kendaraan tak bermotor	SMV	0,4	5	2
	kendaraan keluar masuk	EEV	0,7	251	175,7
	pedagang kaki lima	PKL	1	63	63
total					629,2

Sumber : Hasil Analisis Data

Sehingga jumlah keseluruhan frekuensi pada hambatan samping adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total frekuensi} &= (\text{PSV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{PED} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{SMV} \times \text{Faktor} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Bobot}) + (\text{EEV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{PKL} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) \\ &= (376 + 12,5 + 2 + 175,5 + \\ &63) \\ &= 629,2 \text{ bobot kejadian} \end{aligned}$$

Tabel 4. 13 Perhitungan Bobot Frekuensi Hambatan Samping Selasa 9 Juli 2024

periode	tipe kejadian	simbol	faktor bobot	frekuensi kejadian	faktor bobot
9 JULI 2024	kendaraan parkir	PSV	1	395	395
	pejalan kaki	PED	0,5	23	11,5
	kendaraan tak bermotor	SMV	0,4	6	2,4
	kendaraan keluar masuk	EEV	0,7	283	198,1
	pedagang kaki lima	PKL	1	63	63
total					670

Sumber : Hasil Analisis Data

Sehingga jumlah keseluruhan frekuensi pada hambatan samping adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total frekuensi} &= (\text{PSV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{PED} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{SMV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{EEV} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) + (\text{PKL} \times \text{Faktor} \\ &\text{Bobot}) \\ &= (395 + 11,5 + 2,4 + 108,1 + \\ &63) \\ &= 670 \text{ bobot kejadian} \end{aligned}$$

Jadi kelas hambatan samping tergolong tinggi (H) dengan jumlah kejadian antara 500-899 per jam, dengan kondisi daerah berupa daerah komersial dan aktifitas sisi jalan yang sangat tinggi.

1.2.3 Waktu Tempuh

Berikut merupakan rumus persamaan yang digunakan:

$$W_T = \frac{L}{V_T}$$

Keterangan :

W_T = Waktu tempuh rata rata kendaraan ringan

L = Panjang ruas jalan

V_T = Kecepatan tempuh kendaraan ringan atau kecepatan rata rata

Ditemukan $L = 1,2 \text{ km}$

$$VT = 20 \text{ km}$$

Jadi hasil perhitungan waktu tempuh yaitu :

$$W_T = L / V_T$$

$$= 1,2 / 20$$

$$= 0,06 \text{ km/jam}$$

1.2.4 Kecepatan Arus Bebas

Berikut merupakan rumus persamaan yang digunakan:

$$FV = (FV_0 + FV_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS}$$

Data yang diperoleh dari BPS (Badan Pusat Statistik) jumlah penduduk di Kabupaten Pasuruan yang dihitung dari rata – rata jumlah penduduk selama 5 tahun ke belakang didapatkan hasil :

Jumlah penduduk tahun 2019 : 2.490.231

Jumlah penduduk tahun 2020 : 2.566.682

Jumlah penduduk tahun 2021 : 2.491.748

Jumlah penduduk tahun 2022 : 2.584.233

Jumlah penduduk tahun 2023 : 2.600.663

Jadi untuk rata-rata jumlah penduduk adalah $12.733.557 : 5 = 2.546.711,4$

Sehingga dari hasil yang telah ditemukan yaitu jumlah penduduk sebanyak 12.733.557 sehingga dapat disimpulkan, menurut dasar MKJI (1997), jumlah penduduk 1-3 juta penduduk, didapat nilai $FFV_{CF} = 1$.

Sehingga dapat dihitung nilai kecepatan arus bebas sebagai berikut :

$$FV = (FV_0 + FV_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS}$$

$$= (44 + 1) \times 0,85 \times 1$$

$$= 38,25 \text{ Km/jam}$$

1.2.5 Analisis Kapasitas Ruas Jalan

Menurut manual kapasitas jalan Indonesia (MKJI) 1997 besarnya kapasitas jalan dapat dihitung dengan persamaan Bina Marga berikut :

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS} \text{ (smp/jam)}$$

1. Kapasitas Dasar (C₀)

Kapasitas dasar yang diperoleh ditentukan oleh jumlah lajur dan jalur jalan yang ada di area studi. Jalan Jawa, yang merupakan jalan dua lajur dengan satu arah tanpa pembagi, memiliki kapasitas dasar sebesar 2900 kendaraan per jam. Penetapan kapasitas dasar ini mencerminkan kemampuan jalan untuk menampung volume lalu lintas dalam kondisi normal, tanpa adanya gangguan eksternal. Kapasitas dasar ini merupakan parameter awal yang penting untuk

perhitungan lebih lanjut mengenai kapasitas jalan dan efektivitasnya dalam melayani arus lalu lintas di area tersebut.

2. FCW

Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas adalah aspek krusial dalam analisis kapasitas jalan. Di wilayah studi, lebar jalur efektif diukur sebesar 7 meter per lajur, dengan lebar 3,5 meter untuk setiap lajur. Dalam situasi di mana terdapat parkir di badan jalan, faktor penyesuaian FCW adalah 1,00. Angka ini menunjukkan bahwa lebar jalur tidak mengalami penyesuaian tambahan meskipun ada kegiatan parkir yang dapat mempengaruhi arus lalu lintas. Dengan FCW sebesar 1,00, dapat disimpulkan bahwa lebar jalur di area studi sudah memadai dan tidak memerlukan penyesuaian tambahan dalam perhitungan kapasitas jalan.

3. FCSP

Faktor koreksi kapasitas yang disebabkan oleh pembagian arah sangat penting untuk jalan yang memiliki satu arah lalu lintas. Dalam kasus wilayah studi ini, yang merupakan jalan satu arah, faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah adalah 1,00. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada penyesuaian kapasitas yang diperlukan untuk arah lalu lintas, karena jalan hanya melayani satu arah saja. Faktor koreksi ini membantu memastikan bahwa perhitungan kapasitas jalan tetap akurat tanpa perlu mempertimbangkan dampak dari arah lalu lintas yang bertentangan.

4. FCSF

Faktor penyesuaian untuk hambatan samping pada ruas jalan yang memiliki bahu jalan ditentukan oleh lebar bahu jalan efektif (WS) dan tingkat hambatan samping yang diidentifikasi melalui tabel klasifikasi hambatan samping. Dalam analisis ini, kode H digunakan untuk menunjukkan tingkat hambatan yang sangat tinggi dengan lebar bahu jalan sebesar 0,5 meter. Berdasarkan data ini, faktor penyesuaian akibat hambatan samping (FCSF) dihitung sebesar 0,82. Ini menunjukkan bahwa adanya hambatan samping yang sangat tinggi mengurangi kapasitas jalan secara keseluruhan. Penilaian ini penting untuk memahami bagaimana elemen eksternal

seperti parkir atau aktivitas lain yang terjadi di bahu jalan mempengaruhi arus lalu lintas dan kapasitas jalan.

5. FCCS

Faktor penyesuaian kapasitas berdasarkan ukuran kota memainkan peranan penting dalam perhitungan kapasitas jalan. Untuk Kabupaten Pasuruan, yang memiliki jumlah penduduk antara 1 hingga 3 juta, faktor penyesuaian ukuran kota (FCCS) ditetapkan sebesar 1. Penetapan FCCS ini didasarkan pada data rata-rata jumlah penduduk selama lima tahun terakhir, dari tahun 2019 hingga 2023, yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Dengan faktor FCCS sebesar 1, dapat disimpulkan bahwa ukuran kota tidak mempengaruhi kebutuhan penyesuaian kapasitas jalan di wilayah studi. Data dari BPS memberikan gambaran yang komprehensif tentang populasi yang relevan untuk menentukan faktor penyesuaian ini.

Jumlah penduduk tahun 2019 : 2.490.231

Jumlah penduduk tahun 2020 : 2.566.682

Jumlah penduduk tahun 2021 : 2.491.748

Jumlah penduduk tahun 2022 : 2.584.233

Jumlah penduduk tahun 2023 : 2.600.663

Jadi untuk rata-rata jumlah penduduk

adalah 12.733.557

: 5 = 2.546.711,4

Jadi untuk perhitungan kapasitas ruas jalan adalah sebagai berikut :

$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$

(smp/jam)

= 2900 x 1,00 x 1,00 x 0,82 x 1

= 2378 smp/jam

Maka untuk 2 lajur 1 arah = 2378 x 2 = 4756

smp/jam

1.2.6 Derajat Kejenuhan

Volume maksimum dari pengamatan arus lalu lintas dipakai sebagai tolok ukur untuk membandingkan kapasitas dengan volume puncak menggunakan formula berikut:

$DS = Q/C$

Dimana :

DS = Derajat kejenuhan

Q = Volume maximum (smp/jam)

C = Kapasitas jalan (smp/jam)

1. Minggu, 7 Juli 2024

Volume Kendaraan = 3163,9 smp/jam

Kapasitas jalan (C) = 2378 smp/jam

$DS = Q/C = 1,33$ smp/jam.

2. Senin, 8 Juli 2024

Volume Kendaraan = 3514,6 smp/jam

Kapasitas jalan (C) = 2378 smp/jam

$DS = Q/C = 1,47$ smp/jam.

3. Selasa, 9 Juli 2024

Volume Kendaraan = 3630,8 smp/jam

Kapasitas jalan (C) = 2378 smp/jam

$DS = Q/C = 1,52$ smp/jam.

1.2.7 Tingkat Pelayanan

Penilaian tingkat pelayanan dilakukan dengan membandingkan antara jumlah kendaraan dalam satuan smp/jam dengan kapasitas jalur. Perhitungan analisis didasarkan pada metode berikut:

a. Pada Kondisi Hari Minggu 7 Juli 2024

Pukul 19.00-20.00 WIB

$LOS = \text{volume kendaraan} / \text{kapasitas ruas jalan}$

$LOS = 3163,9/4756$

= 0,66 maka nilai LOS adalah C

b. Pada Kondisi Hari Senin 8 Juli 2024 Pukul 19.00-20.00 WIB

$LOS = \text{volume kendaraan} / \text{kapasitas ruas jalan}$

$LOS = 3514,6/4756$

= 0,73 maka nilai LOS adalah C

c. Pada Kondisi Hari Selasa 9 Juli 2024 Pukul 19.00-20.00 WIB

$LOS = \text{volume kendaraan} / \text{kapasitas ruas jalan}$

$LOS = 3630,8/4756$

= 0,74 maka nilai LOS adalah C

➤ Tingkat Pelayanan C

Arus lalu lintas yang relatif tetap ini umumnya dipakai dalam perancangan jalan kota. Rasio antara arus lalu lintas dan kapasitas untuk Tingkat Pelayanan C berada dalam rentang 0,45 hingga 0,74. Tingkat Pelayanan C memiliki karakteristik sebagai berikut:

1) Tetap menjaga arus lalu lintas agar dalam kondisi yang baik

2) Kecepatan perjalanan dan kebebasan monuver mulai dipengaruhi pada volum lalu lintas yang terjadi

Dalam perancangan jalan perkotaan, kondisi ini mencerminkan situasi di mana aliran kendaraan tidak mengalami gangguan besar dan tetap teratur. Namun, seiring dengan peningkatan volume kendaraan, ada dampak pada kecepatan dan kelancaran pergerakan.

Kendaraan tidak dapat bergerak secepat yang diinginkan karena adanya pengaruh dari kepadatan lalu lintas, yang membatasi opsi kecepatan bagi pengemudi. Situasi ini menunjukkan bahwa meskipun arus lalu lintas relatif stabil, ada keterbatasan dalam kebebasan bergerak dan kecepatan, yang diakibatkan oleh kepadatan kendaraan yang tinggi. Rasio arus terhadap kapasitas yang disebutkan menjadi indikator penting dalam mengevaluasi dan merancang kapasitas jalan untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas yang ada dengan tetap memperhatikan efisiensi dan kenyamanan perjalanan.

1.2.8 Solusi Penanganan

Dari hasil analisis dan survei lokasi yang telah dilakukan, maka solusi yang dapat direncanakan berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, ada beberapa masalah dalam kinerja lalu lintas berikut permasalahan serta solusi yang bisa dilakukan :

1. Permasalahan : Bahu jalan digunakan untuk parkir kendaraan yang mana, dapat dilihat pada gambar dibawah ini
Solusi : adanya petugas penertiban lalu lintas serta rambu rambu dilarang parkir. Yang mana untuk penempatan petugas penertiban diletakkan di tiga titik dan total berjumlah 4 petugas di sisi kanan 2 orang dan sisi kiri 2 orang. Titik yang pertama di awal masuk Jalan Jawa yang mana dititik ini sudah terdapat banyak pertokoan di sisi jalan, dan adanya kantor Dispenduk Jember.
2. Permasalahan : Banyaknya pedagang kaki lima di bahu jalan yaitu di sisi kanan dan di sisi kiri jalan, yang menyebabkan kemacetan.

Langkah pertama dalam proses ini adalah menetapkan Jalan Jawa sebagai lokasi untuk penjualan sementara sesuai dengan peraturan yang berlaku di daerah tersebut. Penetapan ini dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek, termasuk kepatuhan terhadap peraturan lokal dan kebijakan pemerintah terkait penggunaan ruang publik. Langkah ini bertujuan untuk memberikan solusi sementara bagi pedagang kaki lima, agar mereka dapat berjualan di lokasi yang sudah ditentukan dan disetujui oleh pihak berwenang. Penetapan Jalan Jawa sebagai tempat penjualan sementara juga memperhatikan dampak terhadap lalu lintas

dan aktivitas di sekitar area tersebut, serta memastikan bahwa penempatan pedagang tidak mengganggu aktivitas utama di kawasan tersebut. Proses ini melibatkan koordinasi antara berbagai pihak, termasuk pemerintah daerah, pengelola jalan, dan pedagang kaki lima itu sendiri, untuk mencapai solusi yang menguntungkan semua pihak.

Arahan: Inisiatif ini merupakan bagian dari upaya kelompok Appatangkasa yang bekerja sama dengan Satpol PP. Tujuan utama dari inisiatif ini adalah untuk memberikan edukasi yang berkelanjutan kepada pedagang kaki lima mengenai kepatuhan terhadap peraturan pemerintah. Melalui program edukasi ini, diharapkan para pedagang kaki lima memahami dan mematuhi peraturan yang berlaku, sehingga dapat beroperasi secara legal dan teratur. Edukasi ini mencakup informasi tentang tata cara berjualan yang benar, persyaratan yang harus dipenuhi, dan konsekuensi jika melanggar aturan. Kelompok Appatangkasa dan Satpol PP bekerja sama untuk memastikan bahwa informasi tersebut disampaikan dengan cara yang jelas dan efektif, dan untuk memantau implementasinya agar pedagang kaki lima dapat beradaptasi dengan perubahan aturan yang ada.

Pengawasan: Pengawasan terhadap pedagang kaki lima di kawasan Jalan Jawa dilakukan oleh Satpol PP dengan cara memberikan teguran jika ada pelanggaran terhadap peraturan yang telah ditetapkan. Satpol PP bertugas menjaga ketertiban dan keamanan di area tersebut dengan melakukan pemantauan secara rutin dan menegakkan aturan yang berlaku. Ketika ditemukan pelanggaran, Satpol PP akan memberikan teguran secara langsung kepada pedagang kaki lima dan memberikan arahan tentang bagaimana memperbaiki kesalahan tersebut. Tujuan dari pengawasan ini adalah untuk memastikan bahwa semua pedagang mematuhi aturan dan tidak menimbulkan gangguan atau masalah di kawasan Jalan Jawa. Dengan adanya pengawasan yang ketat, diharapkan tingkat kepatuhan pedagang kaki lima meningkat dan ketertiban serta keamanan di kawasan tersebut dapat terjaga dengan baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas bahwa Hambatan samping di Jalan Jawa Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember berkategori sangat tinggi, karena sudah di perhitungkan dengan faktor

bobot di setiap hambatan sampingnya. Hal ini disebabkan karena banyak kendaraan yang parkir di bahu jalan dengan faktor bobot sebanyak 395 kejadian, kendaraan keluar masuk dengan faktor bobot 198,1 kejadian, pedagang kaki lima dengan faktor bobot 63 kejadian, pejalan kaki dengan faktor bobot 11,5 kejadian, dan kendaraan tak bermotor dengan faktor bobot 2,4 kejadian. Dengan didapatkan jumlah hasil perhitungan faktor bobot yaitu 670 kejadian per jamnya.

Pada jalan Kecamatan Summersari kaki Jawa Kabupaten Jember, salib yang ada saat ini masih menyatakan arus hanya bergerak bebas dan berkecepatan tinggi. Volume lalu lintas yang signifikan telah mempengaruhi ketidakmampuan pengemudi untuk memilih kecepatan yang diinginkan atau termasuk. Tingkat layanan C menunjukkan tingkat kejenuhan sebesar 0,74, yang hampir melampaui batas kejenuhan yang dapat diterima.

Berdasarkan temuan analisis pada pembatas samping ruas tersebut, disarankan agar para PKL Jalan Java diberi ruang untuk bermanuver dan dibawa keluar jalan. Tidak ada aktivitas yang mengganggu setelah itu. Petugas parkir ditambah, dan fasilitas parkir dipesan di bahu jalan samping.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A. (2022). *Analisis Kinerja Jalan Akibat Hambatan Samping Di Jalan Diponegoro Sumenep Kabupaten Sumenep* (Doctoral dissertation, Universitas Wiraraja Madura).
- Bertarina, O. M., Lestari, F., & Safitri, D. (2022). Analisis Pengaruh Hambatan Samping (Studi Kasus: Jalan Raya Za Pagar Alam di Bawah Flyover Kedaton Kota Bandar Lampung). *J. Tek. Sipil ITP*, 9(1), 5.
- Desembardi, Faried., Sukrisman, Agus., Ulayanto, Harfli & Pristianto Hendrik. 2016. "Analisis Kinerja Ruas Jalan Terhadap Pengaruh

- Hambatan Samping Pada Jalan A.M. Sangaji Gonof KM.12 Kota Sorong". Sorong: Universitas Muhammadiyah Sorong Papua.
- Desembardi, F., Sukrisman, A., Pristianto, H., & Ulayanto, H. (2018). Analisis Kinerja Ruas Jalan Terhadap Pengaruh Hambatan Samping Pada Jalan AM Sangaji Gonof KM. 12 Kota Sorong.
- Hendarto, Sri,DKK. (2001) "Catatan Kuliah Dasar-Dasar Transportasi". Bandung : ITB.
- Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Nugrahaeni. 2009. Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kinerja Jalan (MKJI). Jalan Perkotaan. Jilid III. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Oglesby, Clarkson H. and Hicks, R. Gary (1990), Teknik Jalan Raya, Edisi Keempat, terjemahan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Pedoman Kapasitas Jalan Indonesian (PKJI 2014) Departemen Peketjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga.
- Sabila Rizqi, (2023). *PENGARUH HAMBATAN SAMPING TERHADAP KINERJA JALAN (STUDI: JI.A.YANI BANGIL)*. Skripsi Universitas Yudharta Pasuruan.
- Syaputra, R., Sebayang, S., & Herianto, D. (2016). Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kinerja Lalu Lintas Jalan Nasional (Studi Kasus Jalan Proklamator Raya–Pasar Bandarjaya Plaza). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3(3), 441-454.
- Sukirman, Silvia. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Grafika Yuana Marga : Bandung
- Sukirman, S, (1994) Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan Raya

Perencanaan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Dengan Metode MDPJ 2017 Pada STA 0+000 s/d STA 0+860 Ruas Jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya

Planning of Overlay Thickness of Flexural Pavement with MDPJ 2017 Method at STA 0+000 to STA 0+860 Long Road Section Jiwo Surabaya City

**Muhammad Shofwan Donny Cahyono¹ R. Endro Wibisono²
Prathita Muti'a Yuzaeva³**

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika, Jln. Sutorejo Prima Utara II/1 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60113, Email : shofwandonny@widyakartika.ac.id

²Transportasi, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. 60231
Email : endrowibisono@unesa.ac.id

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jln. Kampus ITS Sukolilo Surabaya. 60111 Email : 6012241022@student.its.ac.id

Abstrak

Surabaya merupakan kota yang terletak di Provinsi Jawa Timur terbesar kedua di Indonesia setelah Kota Jakarta. Dengan kondisi kota tersebut, dapat menimbulkan mobilitas pergerakan kendaraan yang tinggi. Jalan adalah salah satu prasarana perhubungan darat yang mempunyai peranan penting bagi pertumbuhan perekonomian, sosial budaya, pengembangan wilayah pariwisata, dan pertahanan keamanan untuk menunjang pembangunan nasional sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang No.38 Tahun 2004 tentang Jalan. Permasalahan pada ruas jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya ialah banyaknya kendaraan yang melintasi ruas jalan tersebut sehingga menimbulkan penurunan kinerja pelayanan ruas jalan. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui beban lalu lintas yang melintasi ruas jalan Panjang Jiwo sehingga dapat menentukan tebal lapis perkerasan yang tepat. Untuk metode yang digunakan yaitu, Metode MDPJ2017 yang dilengkapi dengan metode observasi lapangan, metode literatur dan metode dokumentasi. Hasil dari analisa dan perhitungan yang dilakukan menghasilkan: banyaknya kendaraan berat yang melintasi ruas Jalan Panjang Jiwo. Setelah dilakukannya perhitungan CESA 4 dan CESA 5, menghasilkan 2,8E+07, dan 3,8E+07, serta nilai CBR di setiap 200 meter lokasi penelitian menghasilkan CBR = 6,09 %. Peneliti juga melakukan pengujian uji lendutan sebelum overlay, dengan hasil $Db = 1,06$. Dari hasil perhitungan CESA, nilai CBR, nilai lendutan serta umur rencana didapatkan desain tebal lapis perkerasan (Overlay) AC- WC dengan tebal 6 cm.

Kata Kunci: Jalan; CESA 4; CESA 5; Ruas Jalan Panjang Jiwo

Abstract

Surabaya is a city located in East Java Province, the second largest in Indonesia after Jakarta. With the condition of the city, it can cause high mobility of vehicle movement. Roads are one of the land transportation infrastructures that have an important role for economic growth, socio-culture, development of tourism areas, and defense and security to support national development as stated in Law No. 38 of 2004 concerning Roads. The problem on the Panjang Jiwo road section of Surabaya City is the large number of vehicles crossing the road section, resulting in a decrease in the performance of road services. The purpose of this study is to determine the traffic load crossing the Panjang Jiwo road section so that the appropriate thickness of the pavement layer can be determined. The method used is the MDPJ2017 Method which is equipped with field observation methods, literature methods and documentation methods. The results of the analysis and calculations carried out produce: the number of heavy vehicles crossing the Panjang Jiwo road section. After the calculation of CESA 4 and CESA 5, it produced 2.8E+07, and 3.8E+07, and the CBR value in every 200 meters of the research location produced

CBR = 6.09%. The researcher also conducted a deflection test before overlay, with the result $Db = 1.06$. From the results of the CESA calculation, the CBR value, deflection value and design age, the design thickness of the AC-WC pavement layer (Overlay) was obtained with a thickness of 6 cm..

Keywords: Road; CESA 4; CESA 5; CBR; Panjang Jiwo Road Section

PENDAHULUAN

Surabaya merupakan kota yang terletak di Provinsi Jawa Timur terbesar kedua di Indonesia setelah Kota Jakarta yang menjadi pusat pemerintahan dan perekonomian sekaligus kota terbesar di provinsi tersebut. Dengan kondisi kota tersebut, dapat menimbulkan mobilitas pergerakan kendaraan yang tinggi. Dimana pergerakan tersebut banyak menggunakan prasarana jalan. Ketersediaan jalan yang memadai dengan kondisi yang baik, lancar, aman, nyaman, dan efisien sangat diperlukan untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi (Arganata dkk., 2019)

Jalan adalah salah satu prasarana perhubungan darat yang mempunyai peranan penting bagi pertumbuhan perekonomian, sosial budaya, pengembangan wilayah pariwisata, dan pertahanan keamanan untuk menunjang pembangunan nasional sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang No.38 Tahun 2004 tentang Jalan. Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi yang sangat penting untuk menunjang kemajuan dan pembangunan suatu daerah yang pada akhirnya berkembang menjadi sarana penghubung dan berperan penting dalam perkembangan kehidupan masyarakat, khususnya di bidang industri dan ekonomi. Adanya jalan yang baik dan stabil mempengaruhi terhadap kelancaran lalu lintas, tingginya pertumbuhan lalu lintas sebagai akibat pertumbuhan ekonomi yang dapat menyebabkan masalah serius apabila kualitas sarana dan prasarana yang ada tidak ditingkatkan dengan perbaikan mutu (Ayuni, S., 2024). Dan apabila tidak dilakukannya pemeliharaan (*maintenance*) secara rutin/berkala pada perkerasan jalan maka akan semakin mempercepat penurunan masa pelayanan jalan tersebut sebelum umur rencana yang direncanakan. Salah satu pemeliharaan yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kinerja pelayanan jalan ialah dengan dilakukannya peningkatan tebal lapis tambah (*Overlay*).

Permasalahan pada ruas jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya ialah banyaknya kendaraan yang melintasi ruas jalan tersebut sehingga menimbulkan penurunan kinerja pelayanan ruas jalan. Maka dengan itu diperlukannya pemeliharaan ruas jalan khususnya pada STA 0+000 s/d STA 0+860. berdasarkan dari permasalahan berikut menghasilkan rumusan masalah berapa jumlah repetisi beban lalu lintas (CESA) pada STA 0+000 s/d STA 0+860

ruas jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya, berapa tebal lapis tambahan perkerasan (overlay) yang diperlukan pada STA 0+000 s/d STA 0+860 ruas jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya.

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui beban lalu lintas yang melintasi ruas jalan Panjang Jiwo sehingga dapat menentukan tebal lapis perkerasan yang tepat.

METODE

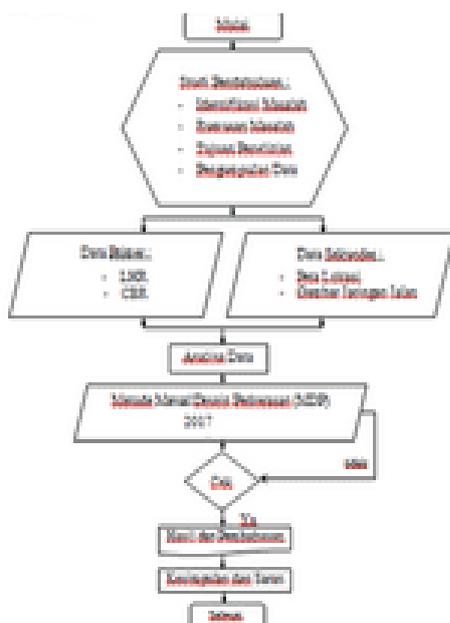
Metode MDP Nomor 04/Se/Db/2017 terbagi menjadi 2 bagian yaitu bagian I yang menerangkan tentang perencanaan struktur perkerasan baru, sedangkan bagian II menerangkan perencanaan rehabilitasi perkerasan. Pada bagian II metode MDP 2017 ini mencakup pelapisan struktural (overlay), pengerikilan kembali, daur ulang, dan rekonstruksi. (Rofiqi dkk., 2019)

Metode pengumpulan yang digunakan yaitu, metode observasi lapangan, metode literatur dan pengambilan data. Prosedur pengambilan data dilakukan dengan 2 tahap untuk memperoleh data primer dan sekunder. Untuk data primer, peneliti melakukan observasi lapangan berupa survey lapangan untuk mendapatkan perhitungan LHR, serta pengujian CBR. Lalu untuk data sekunder, peneliti meminta kepada dinas terkait mengenai peta lokasi gambar jaringan jalan.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Dokumen Pribadi

Bagan Alir



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Umum

Jalan Panjang Jiwo merupakan jalan kolektor

- o Umur rencana (UR) 20 tahun (dari tahun 2024 sampai tahun 2044)
- o Data awal tahun 2024
- o Pembukaan lalu lintas pada tahun 2044
- o Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (i) untuk pulau jawa sebesar 3,50 %
- o

Tabel 1. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR).

Sumber: MDPJ 2017

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	Cement Treated Based (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Berdasarkan tabel ketentuan diatas, peneliti memilih jenis perkerasan lentur dengan elemen perkerasan lapisan aspal dan lapisan berbutir dengan umur rencana 20 tahun

2. Data Lalu Lintas Harian Rata –Rata

Setelah dilakukan survey Lalu Lintas Harian Rata – rata (LHR) pembanding di ruas jalan Panjang Jiwo selama 7 x 12 jam maka diperoleh data lalu lintas sebagai berikut.

Tabel 2. Data Lalu Lintas

Gol	Jenis Kendaraan	Jumlah Kend.
Gol.1	Sepeda motor, kendaraan bermotor roda 2	10367
Gol.2	Sedan, jeep dan station wagon.	624
Gol.3	Opelet, pick-up opelet, suburban, combi dan minibus.	625
Gol.4	Pick-up, micro truck dan mobil hantaran atau pick-up box.	7
Gol.5a	Bus Kecil	1135
Gol.5b	Bus Besar	30
Gol.6a	Truk 2 sumbu 4 roda	0
Gol.6b	Truk 2 sumbu 6 roda	0
Gol.7A	Truck 3 sumbu	0
Gol.7B	Truck gandeng	0
Gol.7C	Truck semi trailer	864

Sumber: Data Survey

3. Data CBR

Data CBR diperoleh dari hasil pengujian tanah dasar dengan menggunakan alat DCP (Dynamic Cone Penetrometer) pada jarak setiap 200m pada ruas jalan Panjang Jiwo , data - data CBR dapat dilihat dalam Tabel 6 di bawah ini. Pada STA 01+000 terdapat bebatuan sehingga tidak dapat mengambil data CBR di titik ini.

Tabel 3. Data Tes CBR

NO.	STA	CBR	Faktor Musim	CBR _{Rata-rata}	CBR _{Desain} =	Keseragaman
			Peralihan			FK (%)
			0.80			
1	0 + 000	7.59	6.07	7.11	6.09	19.39%
2	0 + 200	8.30	6.64	7.11	6.09	19.39%
3	0 + 400	8.40	6.72	7.11	6.09	19.39%
4	0 + 600	7.91	6.32	7.11	6.09	19.39%
5	0 + 800	7.93	6.34	7.11	6.09	19.39%

Sumber: Data Survey

Berdasarkan dari perhitungan CBR tersebut, didapatkan rekap hasil perhitungan CBR berikut:

Tabel 4. Rekap Data Tes CBR

Segmen	Dari	Ke	CBR _{Rata-rata}	CBR _{Desain}	FK (%)
1	0+000	0+800	7.11	6.09	19.39%

Sumber: Data Survey

4. Lalu Lintas

Dalam perencanaan peningkatan tebal lapis aspal 1 perhitungan lalu lintas, diperlukan perhitungan laju pertumbuhan lalu lintas yang dapat dihitung menggunakan formula :

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i}$$

Untuk mengetahui faktor laju pertumbuhan lalu lintas (i) (%) dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 5. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

	Rata-rata			
	Jawa	Sumatra	Kali- mantan	Indonesia
Arteri dan perkotaan	4.80	4.83	5.14	4.75
Kolektor	3.50	3.50	3.50	3.50
Jalan desa	1.00	1.00	1.00	1.00

Sumber: MDPJ 2017

Berdasarkan dari rumus formula prediksi pertumbuhan laju lalu lintas dengan umur rencana 20 tahun, menghasilkan R sebesar 28.3

Setelah menentukan pertumbuhan lalu lintas, maka dieprlukannya daya rusak jalan sebagai parameter penentuan tebal lapis perkerasan yang signifikan

Tabel 4.4. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,8	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	8,0	11,9	6,5	8,8
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Gambar 3. Tabel Vehicle Damage Factor

Berdasarkan dari gambar tersebut, peneliti menggunakan VDF 4 dan 5 untuk Pulau Jawa yang selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan *Cumulative Equivalent Single Axle*. Dimana perhitungan tersebut berfungsi untuk acuan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana

Tabel 6. Perhitungan *Cumulative Equivalent Single Axle 4 (CESA4)*

Jenis Kendaraan	LHR	LHR	LHR	VDF4 faktual	VDF4 normal	ESA4	ESA4
	2024	2044	2023	(5)	(6)	(44 -23)	(23 -44)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Golongan 5b	30	31	29	1	1	5667	139426
Golongan 6a	0	0	0	0.55	0.55	0	0
Golongan 6b	0	0	0	5.3	4	0	0
Golongan 7a	0	0	0	10.2	4.3	0	0
Golongan 7b	0	0	0	13.7	12.6	0	0
Golongan 7c	864	894	835	13.4	6.5	2186864	26100484
Jumlah ESA						2192531	26239910
CESA4						2.8E+07	

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 7. Perhitungan *Cumulative Equivalent Single Axle 5 (CESA5)*

Jenis Kendaraan	LHR	LHR	LHR	VDF5 faktual	VDF5 normal	ESA5	ESA5
	2024	2044	2023	(5)	(6)	(44 -23)	(23 -44)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Golongan 5b	30	31	29	1	1	5667	139426
Golongan 6a	0	0	0	0.5	0.5	0	0
Golongan 6b	0	0	0	9.2	5.1	0	0
Golongan 7a	0	0	0	19	5.6	0	0
Golongan 7b	0	0	0	21.8	17.8	0	0
Golongan 7c	864	894	835	24.2	8.5	3949411	34131403
Jumlah ESA						3955078	34270828
CESA5						3.8E+07	

Sumber: Hasil Analisa

Desain tebal perkerasan didasarkan pada nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 tergantung pada model kerusakan (*deterioration model*) dan pendekatan desain yang digunakan.

Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (seperti Burtu atau Burda), perkerasan tanpa penutup (*Unsealed granular pavement*) dan perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur (*rutting*).

Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan aspal beton dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lengkung

lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak lelah (*fatigue*).

5. Pemilihan Jenis Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Batasan pada Tabel tidak mutlak, namun harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur

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

rencana, keterbatasan, dan kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah.

Tabel 8. Pemilihan Jenis Perkerasan

Sumber: MDPJ 2017

Berdasarkan tabel tersebut, untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang akan direncanakan oleh peneliti dengan umur rencana 20 tahun dan dengan hasil

ESA4 sebesar 2.8E+07 ialah AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir.

6. Struktur Fondasi Perkerasan

Dari Perkiraan Kumulatif Beban Lalu Lintas dan Data California Bearing Ratio (CBR) didapat nilai :

$$CESA4 = 2,8E+07$$

$$CESA5 = 3,8E+07$$

$$CBR = 6,09 \%$$

Hubungan dari CESA dan CBR ditampilkan dengan perpotongan garis merah pada Tabel Bagan Desain – 2

Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR Tanah dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESAs)			
			<2	2-4	>4	
Tebal minimum perbaikan tanah dasar			Stabilisasi Semen ⁽¹⁾			
≥6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Deviasi 3 - Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			150 mm stabilisasi di atas 150 mm material timbunan pilihan.
5	SG5	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Deviasi 3 - Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	-	-	100	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2,5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan di atas tanah lunak ⁽²⁾			1000	1100	1200	
Lapis penopang ⁽³⁾ atau lapis penopang dan geogrid ⁽⁴⁾			650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)			1000	1250	1500	

Gambar 4. Bagan Desain Fondasi Minimum (Sumber: MDPJ 2017)

Berdasarkan dari gambar bagan desain fondasi minimum, dikarenakan hasil nilai CBR > 6% maka ketentuan perbaikan tanah SG6 berlaku dan memerlukan lapis penopang setebal 1100 mm untuk mencapai daya dukung setara SG6 .

Untuk selanjutnya dapat dilihat pada ketentuan mengenai hubungan antara umur rencana dengan hasil perhitungan ESA 4 untuk menentukan jenis pelapisan perkerasan.

Tabel L.1. Umur Rencana, Hubungan Nilai Pemicu Penanganan dan Jenis Pelapisan Perkerasan

Kriteria Beban Lalulintas (juta ESA4)	< 0,5	0,5 – < 30	≥ 30
Umur Rencana Perkerasan Lentur	seluruh penanganan: 10 tahun	- rekonstruksi – 20 tahun - overlay struktural – 10 tahun - overlay non struktural – 10 tahun - penanganan sementara – sesuai kebutuhan	
Pemicu tahap perencanaan pemrograman (tingkat jaringan)	- IRI - visual	- IRI - visual - lendutan interval 500 m	- IRI - visual - lendutan interval ≤ 500 m - core atau test pit setiap 5000 m

Nilai pemicu didefinisikan sebagai nilai batas yang menyatakan kapan penanganan perlu atau layak dilaksanakan (lihat Tabel L.2 sebagai ilustrasi Gambar L.1.).

Gambar 5. Tabel Umur Rencana, dan Jenis Pelapisan Perkerasan (Sumber: MDPJ 2017)

Berdasarkan dari hasil ESA 4 yang senilai 2,8E+07 ,serta untuk umur rencana perkerasan lentur yang direncanakan 20 tahun, peneliti menggunakan penanganan dan jenis pelapisan perkerasan *overlay* struktural.

7. Perhitungan Desain Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan MDPJ 2017

Desain tebal overlay atau lapis tambah perkerasan adalah desain untuk merekonstruksi perkerasan yang

sebelumnya dibangun yang mengalami kerusakan struktural(Mukhlis & Agustiar, 2024)

Data Ruas Jalan

Lebar Perkerasan : 10 – 13 m

Musim Saat Survey : Cerah

Tebal Lapisan Beraspal/Eksisting (HL) : 10 cm

Klasifikasi Jalan : Kolektor

Temperatur Perkerasan pada saat pengukuran lendutan : 36,8 °C

CESA4 : 2,8E+07

CESA5 : 3,8E+07

Penanganan overlay struktural (Pemicu Lendutan 1)

00+000	s/d	00+220	De = 0,450 mm	(Segmen 1)
00+220	s/d	00+340	De = 0,750 mm	(Segmen 2)
00+340	s/d	00+460	De = 0,850 mm	(Segmen 3)
00+460	s/d	00+580	De = 1,050 mm	(Segmen 4)
00+580	s/d	00+860	De = 0,850 mm	(Segmen 5)

Sumber: Hasil Analisa

Gambar 6. Data Nilai Pemicu Lendutan 1

Dengan Nilai Lendutan Hasil Benkelman Beam:

1.	00+000	s/d	00+220	Di = 0,400 mm	Di,300 = 0,850 mm	(Segmen 1)
2.	00+220	s/d	00+340	Di = 0,600 mm	Di,300 = 1,350 mm	(Segmen 2)
3.	00+340	s/d	00+460	Di = 1,750 mm	Di,300 = 2,600 mm	(Segmen 3)
4.	00+460	s/d	00+580	Di = 2,900 mm	Di,300 = 3,950 mm	(Segmen 4)
5.	00+580	s/d	00+860	Di = 1,250 mm	Di,300 = 2,100 mm	(Segmen 5)

Sumber: Hasil Analisa

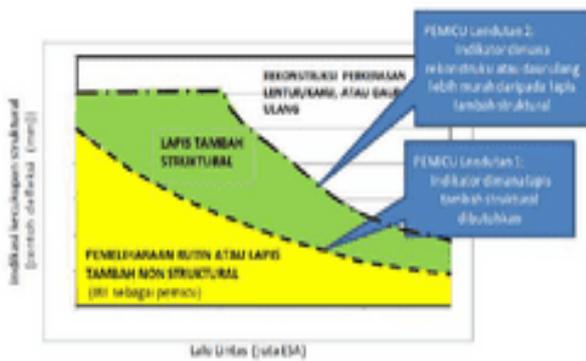
Gambar 7. Data Nilai Lendutan Hasil Benkelman Beam

Berdasarkan dari kedua nilai hasil lendutan, peneliti menggunakan nilai lendutan sebesar $D_b = 1,05$. Dimana dengan deskripsi pemicu lendutan 1 yang dilengkapi dengan tujuannya dapat dilihat pada gambar berikut:

Tabel L.2. Deskripsi Pemicu (Trigger)

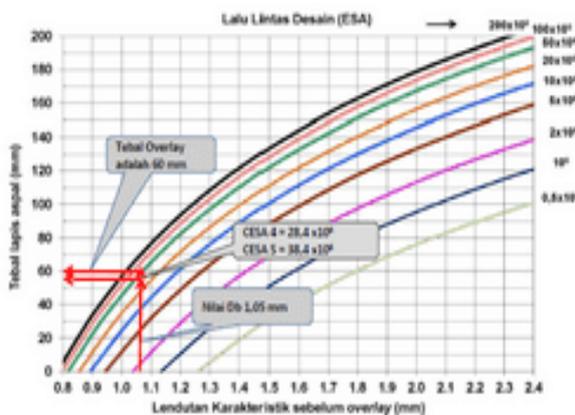
Deskripsi	Pengukuran	Tujuan
Pemicu Lendutan 1	Lendutan BB ¹	Nilai yang mengindikasikan perlu <i>overlay</i> struktural.
Pemicu Lendutan 2		Nilai yang mengindikasikan rekonstruksi lebih murah daripada <i>overlay</i> .
Pemicu IRI 1	Nilai IRI	Nilai yang mengindikasikan perlu <i>overlay</i> non struktural.
Pemicu IRI 2		Nilai yang mengindikasikan dibutuhkan <i>overlay</i> struktural; tapi pemicu lendutan 1 lebih menentukan.
Pemicu IRI 3		Nilai yang mengindikasikan rekonstruksi lebih murah daripada <i>overlay</i> , tapi pemicu lendutan 2 lebih menentukan.
Pemicu Kondisi 1	Kedalaman alur > 30 mm, visual: retak, pelepasan butir, pengelupasan, atau IRI > 8, atau kendala peninggian (seperti pada terowongan, trotoar dll). Tidak dibutuhkan rekonstruksi.	Titik dimana pengupasan (<i>milling</i>) untuk memperbaiki bentuk sebelum <i>overlay</i> diperlukan.

Gambar 8. Deskripsi Pemicu (Sumber: MDPJ 2017)



Gambar 9. Ilustrasi Konsep Pemicu Penanganan Perkerasan (Sumber: MDPJ 2017)

Setelah diketahui hasil lendutan, perhitungan CESA 4 dan CESA 5, maka dapat menentukan tebal overlay dengan menggunakan grafik berikut:



Gambar 10. Grafik hubungan CESA 4 dan CESA 5 dengan nilai lendutan karakteristik sebelum overlay

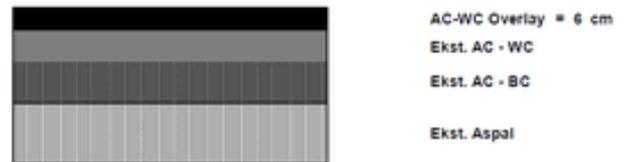
STA	TEBAL OVERLAY		
	Grafik D0 (mm)	AC-WC (cm)	AC-BC (cm)
00+000 s/d 00+220	10	4.0	6.0
00+220 s/d 00+340	10	4.0	6.0
00+340 s/d 00+460	10	4.0	6.0
00+460 s/d 00+580	10	4.0	6.0
00+580 s/d 00+860	10	4.0	6.0

Berdasarkan dari grafik hubungan CESA 4 dan CESA 5 dengan nilai lendutan karakteristik sebelum overlay setelah di tarik garis mendapatkan nilai tebal lapis aspal sebesar 60mm.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisa dan perhitungan oleh peneliti, didapatkan hasil sebagai berikut:

Dengan hasil perhitungan CESA 4 dan CESA 5 sebesar 2,8E+07 dan 3,8E+07. Berikut gambaran untuk desain tebal lapis perkerasan (*overlay*)



Gambar 11. Desain Tebal Lapis Perkerasan

REFERENSI

Arganata, W., Limantara, A. D., Cahyo, Y., & Candra, A. I. (2019). "Analisis Perencanaan Overlay Pada Ruas Jalan Craken-Ngulungkulon Nambak-Ngulungkulon Dengan Bahan Acl Pada Sta 0.00-13.345 Kecamatan Munjungan Kabupaten Trenggalek". *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 2(1), 121-131.

Ayuni, S. (2024). "Analisa Kerusakan Dan Perencanaan Overlay Pada Tebal Lapis Perkerasan Di Ruas Jalan Raya Manding-Barisan Kabupaten Sumenep" (Doctoral dissertation, Universitas Wiraraja).

Maako, M. (2022). "Perencanaan Struktur Lapis Ulang (*Overlay*) Pada Jalan Tgh. Ibrahim Al-Khalidy Kediri Kabupaten Lombok Barat" (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Mataram).

- Mohammad, J. (2022). "Studi Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Perkerasan Pada Jalan Saronggi–Bluto (No. 272) Kecamatan Saronggi Kabupaten Sumenep". (Doctoral dissertation, Universitas Wiraraja).
- Mukhlis, A., & Agustiar, A. (2021). "Perencanaan Tebal Overlay dengan Alat Benkelman Beam dan Falling Weight Deflectometer". *Tameh*, 10(2), 49-58.
- Paningsih, E., & Primasworo, R. A. (2019). "Studi Perencanaan Tebal Lapisan Tambahan (*Overlay*) Pada Ruas Jl. Panglima Sudirman Kecamatan Kepanjen Kabupaten Malang (Sta 0+ 0.00-0+ 1.000 M)". *eUREKA: Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 3(1), 82-87.
- Rahdiktya Putra, A. L. F. I. A. N. (2022). Perencanaan Lapis Tambah (*Overlay*) Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Yos Sudarso Kabupaten Cilacap (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).
- Rofiqi, M. I., & Putra, K. H. (2019, August). "Studi Analisis Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur (*Overlay*) Pada Jalan Kejayan Kabupaten Pasuruan Dengan Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Nomor 04/Se/Db/2017". In *Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan Infrastruktur* (Vol. 1, No. 1, pp. 30-38).
- Wijayanto, D. A., Widodo, E., & Pandulu, G. D. (2021). "Perencanaan Peningkatan Jalan (*Overlay*) Pada Ruas Jalan Krian–Mojosari STA. 3+ 900–STA. 6+ 900 Jawa Timur". (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggaladewi).
- Zulfa, I., Suprpto, B., & Bakhtiar, A. (2023). "Studi Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Perkerasan Lentur Dengan Metode MDPJ 2017 Pada Ruas Jalan Daruba-Kabupaten Pulau Morotai". *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 13(1), 754-762.

Analisis Biaya Rencana Keselamatan Kerja (RKK) Terhadap Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) Di Lapangan (Studi kasus : Peningkatan Jalan Modong - Grabagan dan Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah)

Cost Analysis of Work Safety Plan (RKK) Into the Implementation of Construction Safety Management System (SMKK) in the Field (Case Study: Improvement of Modong - Grabagan Road and Improvement of Banjarsari - Dukuhtengah Road)

Dosen Pembimbing Utama: Maulidya Octaviani B, ST.,M.MT
Dosen Pembimbing Pendamping : Ir. Bambang Sujatmiko, MT.
An Agus Subiantoro /NIM: 202376410003

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

Abstrak

Sektor konstruksi berpengaruh besar pada pertumbuhan ekonomi di Indonesia dan berada pada urutan kelima yang mencapai Rp 1,9 kuadriliun serta capaian itu setara dengan 9,8% dari total PDB Indonesia. Namun, pertumbuhan di sektor ini tidak selaras dengan penerapan K3 dalam penyelenggaraannya. Penelitian ini dilaksanakan pada proyek Peningkatan Jalan Modong-Grabagan dan Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah di Kabupaten Sidoarjo yang bertujuan untuk menganalisa biaya K3 yang dialokasikan dalam meter persegi dan presentase biaya K3. Metode penelitian ini yaitu deskriptif kualitatif. Adapun peraturan yang dipedomani adalah Permen PUPR No 10/2021 serta SEMenPUPR No 11/SE/M/2019. Hasil yang diperoleh untuk proyek jalan Modong-Grabagan yaitu biaya K3 sebesar Rp 4.862,00/m² dengan presentase sebesar 0,34% dan proyek jalan Banjarsari-Dukuhtengah sebesar Rp 6.601,00/m² dengan presentase sebesar 0,5%. Presentase tersebut lebih rendah dari standar ideal Komite Keselamatan Konstruksi Rakyat yang berkisar 1.50%-2.50% dari total nilai proyek. Apabila prosentase tersebut <1,5% maka nilai K3 proyek tersebut rawan terjadi kecelakaan, sedangkan bila prosentase >2,5% maka alokasi biaya K3 terlalu boros. Data per tanggal 2 Juli 2024 progress pekerjaan proyek Modong sebesar 33% dan proyek Banjarsari sebesar 34% sehingga dimungkinkan terjadinya penambahan biaya K3 yang mempengaruhi biaya per m² dan presentase biaya K3 terhadap kontrak proyek sampai dengan masa akhir proyek.

Kata Kunci : biaya K3, SMKK, proyek

Abstract

The construction sector has a major influence on economic growth in Indonesia and is in fifth place, reaching Rp 1.9 quadrillion and this achievement is equivalent to 9.8% of Indonesia's total GDP. However, growth in this sector is not in line with the implementation of K3 in its implementation. This research was conducted on the Modong-Grabagan Road Improvement and Banjarsari - Dukuhtengah Road Improvement projects in Sidoarjo Regency which aims to analyze the K3 costs allocated in square meters and the percentage of K3 costs. This research method is descriptive qualitative. The regulations used are Permen PUPR No. 10/2021 and SEMenPUPR No. 11/SE/M/2019. The results obtained for the Modong-Grabagan road project were K3 costs of Rp 4,862.00/m² with a percentage of 0.34% and the Banjarsari-Dukuhtengah road project of Rp 6,601.00/m² with a percentage of 0.5%. This percentage is lower than the ideal standard of the People's Construction Safety Committee which ranges from 1.50%-2.50% of the total project value. If the percentage is <1.5% then the K3 value of the project is prone to accidents, while if the percentage is >2.5% then the K3 cost allocation is too

wasteful. According to data as of July 2, 2024, the progress of the Modong project was 33% and the Banjarsari project was 34% so that it is possible that there will be additional K3 costs that affect the cost per m² and the percentage of K3 costs to the project contract until the end of the project.

Keywords: K3 costs, SMKK, projects

PENDAHULUAN

Sektor konstruksi berpengaruh besar pada pertumbuhan ekonomi di Negara Indonesia. Sesuai data PDB Indonesia dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022, sektor konstruksi berada pada urutan kelima yang mencapai Rp 1,9 kuadriliun dan capaian itu setara dengan 9,8 % dari total PDB Indonesia. Angka tersebut berbanding lurus dengan percepatan pembangunan dalam lima tahun terakhir dengan adanya proyek-proyek strategis nasional seperti proyek infrastruktur sipil jalan, jembatan, gedung hingga bendungan yang pembangunannya tersebar diseluruh wilayah Indonesia.

Kabupaten Sidoarjo adalah salah satu kabupaten terpadat di Provinsi Jawa Timur yang tengah gencar melakukan pembangunan berkelanjutan. Sebuah Kabupaten yang terletak di Gerbang Kertosusila sebagai penyangga Kota Surabaya sebagai Ibu Kota Provinsi Jawa Timur dengan jumlah penduduk berjumlah 2.266.533 jiwa sesuai data Badan Pusat Statistik Kabupaten Sidoarjo per tahun 2022. Pada tahun 2024, Kabupaten Sidoarjo yang memiliki APBD sebesar 5,25 Trilyun dan sejak 3 (tiga) tahun terakhir berfokus pada pembangunan infrastrukturnya, baik pembangunan gedung, jalan raya, irigasi dan sumber daya air maupun ruang terbuka hijau (RTH). Pada tahun 2024 untuk kegiatan pembangunan peningkatan jalan menelan biaya sekitar Rp 229 Milyar, baik yang termasuk proyek strategis daerah maupun proyek regular tahunan. Sebagian besar proyek peningkatan jalan yang dilakukan adalah proyek betonisasi, yaitu peningkatan struktur jalan dari aspal ke beton / rigid pavement design sesuai dengan arahan Bapak Bupati Sidoarjo.

Oleh sebab itu, dalam penelitian ini peneliti mencoba untuk menganalisis biaya K3 pada proyek konstruksi jalan raya yang berfokus pada jalan beton di Kabupaten Sidoarjo dengan berpedoman pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi serta Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 11/SE/M/2019 Tahun 2019 tentang Petunjuk Teknis Biaya Penyelenggaraan Sistem Manajemen Keselamatan

Konstruksi sehingga dapat digunakan sebagai rujukan dalam menghitung biaya K3 yang dialokasikan oleh suatu proyek dalam meter persegi serta persentase biaya K3 terhadap nilai kontrak proyek. Hasil dari identifikasi biaya K3 tersebut bisa digunakan sebagai referensi untuk proyek – proyek sejenis dalam perencanaan biaya K3. Adapun lokasi proyek yang dilaksanakan di Desa Modong, Desa Kepuh Kemiri dan Desa Grabagan, Kecamatan Tulangan untuk ruas jalan Modong - Grabagan serta Desa Banjarsari, Desa Dukuhtengah Kecamatan Buduran untuk ruas Banjarsari - Dukuhtengah.

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapakah biaya K3 yang dialokasikan dalam meter persegi (m²) di proyek peningkatan Jalan Modong - Grabagan dan peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah ?
2. Berapa persentase anggaran K3 terhadap nilai kontrak di proyek peningkatan Jalan Modong - Grabagan dan peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah ?

TINJAUAN TEORI

Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi yang mengatur tentang petunjuk teknis biaya penyelenggaraan sistem manajemen keselamatan konstruksi untuk meminimalisir tingginya angka kecelakaan kerja maka diperlukan manajemen keselamatan dan kesehatan kerja konstruksi.

Sedangkan berdasarkan (ILO) K3 merupakan upaya meningkatkan serta memelihara derajat semua pekerja baik fisik, mental, dan kesejahteraan sosial disemua bidang pekerjaan, mencegah terjadi gangguan kesehatan yang diakibatkan pekerjaan, melindungi pekerja terhadap risiko yang timbul dari faktor yang akan mengganggu Kesehatan dan beberapa faktor yang mempengaruhi K3, yaitu:

1. Keadaan Tempat Lingkungan Kerja
2. Pengaturan Sirkulasi Udara
3. Pengaturan Cahaya Penerangan
4. Pemakaian Alat Kerja

5. Kondisi Fisik serta Mental pekerja

7. Rambu – rambu yang diperlukan
8. Konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi
9. Lain – lain terkait pengendalian resiko Keselamatan Konstruksi

Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)

Mendasari Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Bab I Pasal 1 Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja adalah bagian dari sistem manajemen perusahaan secara menyeluruh untuk mengendalikan risiko yang terkait dengan kegiatan kerja untuk menciptakan tempat kerja yang nyaman, efisien dan produktif.

Biaya Keselamatan / Kesehatan Kerja

Pengertian dari Biaya Keselamatan / Kesehatan Kerja menurut Asiyanto (2005:175), adalah semua biaya baik untuk tindakan pencegahan kecelakaan ataupun biaya kecelakaan yang terjadi serta dampaknya. Nilai biaya K3 yang sesuai dengan standar ideal Komite Keselamatan Konstruksi Rakyat yakni antara 1,5 % - 2,5 % dari total nilai proyek.

Biaya K3 dibagi menjadi dua kategori, yaitu biaya langsung dan tidak langsung :

1. *Direct cost of safety* ialah biaya langsung yang terkait dengan keamanan pekerjaan konstruksi, termasuk biaya kecelakaan yang pernah terjadi
2. Sementara biaya tidak langsung terkait dengan K3, termasuk dampak dari kecelakaan kerja dan biaya ini sulit dihitung

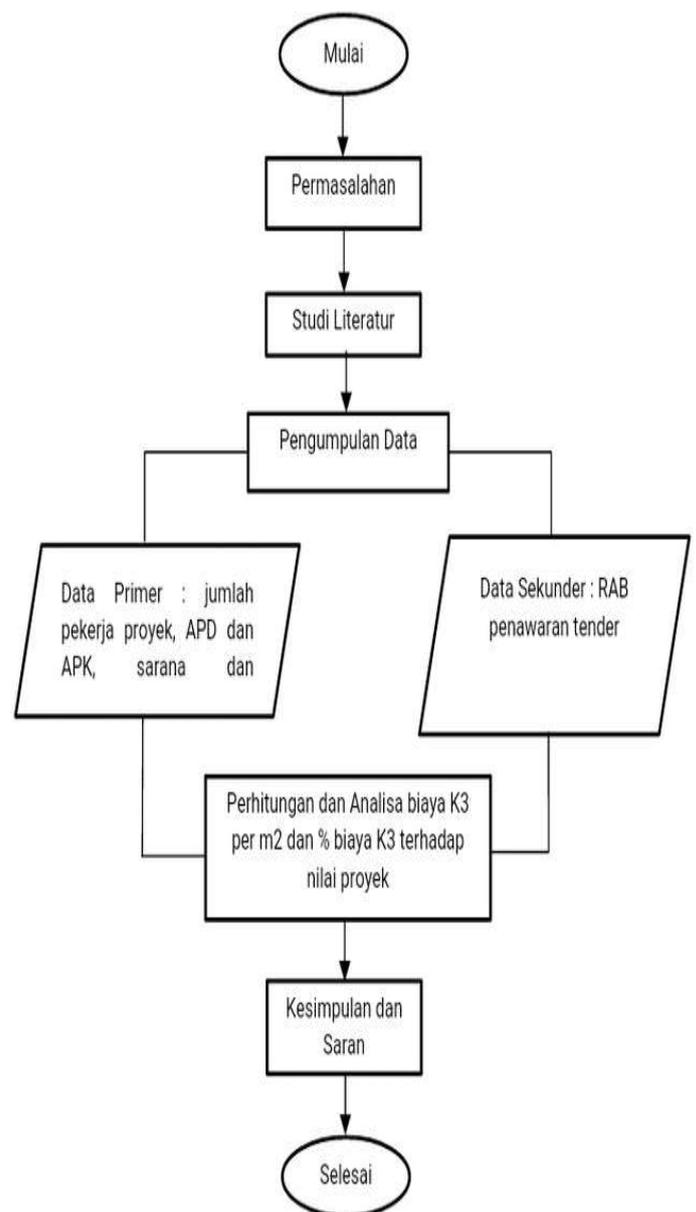
Komponen Biaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Komponen Biaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja sesuai Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 11/SE/M/2019 Tentang Petunjuk Teknis Biaya Penyelenggaraan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi yang mengatur perihal rincian komponen kegiatan penyelenggaraan SMKK mencakup antara lain :

1. Penyiapan RKK,
2. Sosialisasi, promosi dan pelatihan : Induksi K3 (Safety Induction), Pengarahan K3 (Safety Briefing); Safety Meeting, Safety Talk, dan/atau Tool Box Meeting; banner, poster
3. Alat Pelindung Kerja (APK) dan Alat Pelindung Diri (APD)
4. Asuransi dan Perizinan
5. Personel K3 Konstruksi
6. Fasilitas, sarana, prasarana, dan alat Kesehatan

METODE

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

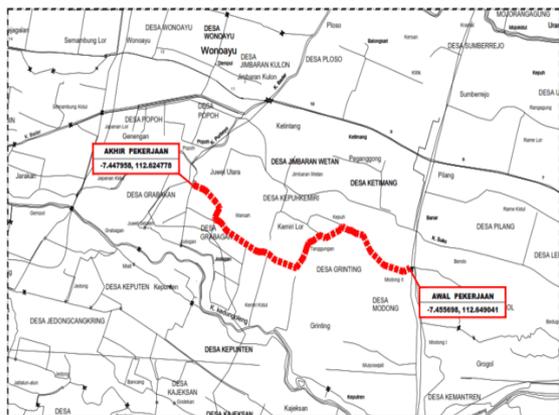
Lokasi penelitian pada proyek Peningkatan Jalan Modong - Grabagan yang berlokasi di Desa Modong, Desa Kepuh Kemiri dan Desa Grabagan, Kecamatan Tulangan dengan titik koordinat awal - 7.455698, 112.649041 dan koordinat akhir -

7.447958, 112.624778 dan Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah yang berlokasi di Desa Banjarsari, Desa Dukuhtengah Kecamatan Buduran dengan koordinat awal -7.419202, 112.739151 dan koordinat akhir -7.415559, 112.751362.

Teknik Pengumpulan Data

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif kualitatif.

1. Data Primer
 - a. Wawancara
 - b. Kuisisioner survei
 - c. Observasi Lapangan/Pengamatan

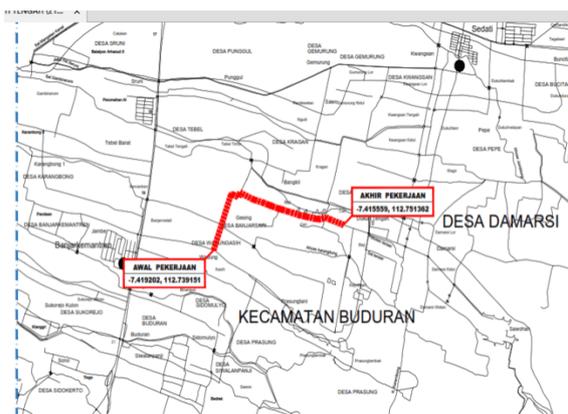


Gambar 2. Peta Lokasi Pekerjaan Jalan Modong - Grabagan
Sumber : DPUBMSDA Kab. Sidoarjo, 2024

Tabel 1. Informasi Personil Responden Wawancara

Uraian	Peningkatan Jalan Modong - Grabagan	Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah
Nama	Aditya Nerviandi	Hariono
Jabatan	Ahli K3	Petugas K3
Sertifikat Keahlian	Ahli Madya K3 Konstruksi	Petugas Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Konstruksi
Dikeluarkan oleh	Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK)	Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK)

Sumber : DPUBMSDA Kab. Sidoarjo, 2024



Gambar 3. Peta Lokasi Pekerjaan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah
Sumber : DPUBMSDA Kab. Sidoarjo, 2024

2. Data Sekunder

Data sekunder berasal dari dokumen-dokumen grafis secara tabel, catatan, SMS, foto dan lain-lain. Selain sumber tersebut, bisa juga berasal dari Standar Manajemen K3 serta Undang Undang terkait K3.

Teknik Analisis Data

Alat bantu yang dipergunakan untuk pengolahan data yaitu program Microsoft Excel guna menghitung biaya.

1. Reduksi Data
2. Perhitungan Total Biaya K.3.
3. Perhitungan Biaya K.3. dalam Meter Persegi dan Presentase Biaya K.3.



Gambar 4. Kondisi existing jalan Banjarsari – Dukuhtengah
Sumber : DPUBMSDA Kab. Sidoarjo, 2024

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Proyek Peningkatan Jalan Modong - Grabagan.

Tabel 2. Reduksi data hasil wawancara proyek Jalan Modong - Grabagan

No.	Uraian Komponen	Satuan	Kuantitas	Keterangan
1	Data Umum Proyek			
a	Luas area pekerjaan	m ²	14.000	
b	Jumlah tenaga kerja			
	- Pekerja Proyek	Org	4	Manajer Proyek, Manajer Teknik, Manajer Keuangan dan Ahli K3
	- Staff / Asisten	Org	5	Drafter, Surveyor, Quality Control
	- Mandor	Org	4	Pekerjaan U-Ditch, Pekerjaan Besi, Pekerjaan Sipil, Pekerjaan Rldgid
	- Tukang	Org	15	
	- Kuli	Org	62	
c	Nilai kontrak proyek	Milyar	19,902	

Adapun informasi umum proyek ini antara lain :

- Pekerjaan mayor pada proyek ini adalah pekerjaan beton/ridgid, pekerjaan U – Ditch dan pekerjaan Sipil,
- Panjang proyek sekitar 3.500 meter, ketebalan jalan beton 20 cm dengan lebar jalan 4 meter,
- Jalan desa yang padat penduduk.

2. Proyek Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah.

Tabel 3. Reduksi data hasil wawancara proyek Jalan Banjarsari - Dukuhtengah

No.	Uraian Komponen	Satuan	Kuantitas	Keterangan
1	Data Umum Proyek			
a	Luas area pekerjaan	m ²	9.415	
b	Jumlah tenaga kerja			
	- Pekerja	Org	2	Pelaksana dan Petugas K3
	- Staff	Org	3	Drafter, Surveyor, Quality Control
	- Mandor	Org	4	Pekerjaan U-Ditch, Pekerjaan Jembatan, Pekerjaan Sipil, Pekerjaan Besi & Ridgid
	- Tukang	Org	15	
	- Kuli	Org	29	
c	Nilai kontrak proyek	Milyar	12,539	

Adapun informasi umum proyek ini antara lain :

- Pekerjaan mayor pada proyek ini adalah pekerjaan beton/ridgid, pekerjaan U – Ditch, pekerjaan sipil dan pekerjaan jembatan.
- Panjang proyek sekitar 1.883 meter, ketebalan jalan beton 20 cm dengan lebar jalan 5 meter.
- Lalu lintas padat , jalan penghubung antar desa, banyak proyek perumahan dan pergudangan

3. Perhitungan Biaya K3 dan Presentase Biaya K3

Tabel 4. Total biaya K3 proyek Peningkatan Jalan Modong - Grabagan

No.	Uraian	Biaya K.3. Penawaran		Biaya K.3. Pelaksanaan	
		(Rp.)	%	(Rp.)	%
1	Komponen Biaya Pencegahan				
a	Penyiapan RKK	0	0,00	250.000	0,37
b	Sosialisasi, promosi dan pelatihan	1.445.000	10,93	3.645.000	5,35
c	Alat Pelindung Kerja dan Alat Pelindung Diri	4.252.500	32,16	22.065.000	32,41
d	Asuransi dan perizinan	0	0,00	3.270.000	4,80
e	Fasilitas, sarana dan prasarana kesehatan	824.500	6,24	824.500	1,21
f	Rambu- rambu yang diperlukan	1.785.000	13,50	7.710.000	11,33
g	Konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi	0	0,00	0	0
h	Lain- Lain Terkait Pengendalian Risiko Keselamatan Konstruksi	614.000	4,64	2.410.000	3,54
2	Komponen Biaya Pengawasan				
a	Personel K3 Konstruksi	4.300.000	32,52	23.900.000	35,11
3	Komponen Biaya Kecelakaan				
a	Pengadaan dan pemasangan U ditch 40.60 - 120 cm + Cover (G. 10 Ton) , terjepit material pada saat penurunan material uditch	0	0,00	4.000.000	5,88
	Total Biaya K.3.	13.221.000	100,00	68.074.500	100,00

Tabel 5 Total biaya K3 proyek Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah

No.	Uraian	Biaya K.3. Penawaran		Biaya K.3. Pelaksanaan	
		(Rp.)	%	(Rp.)	%
1	Komponen Biaya Pencegahan				
a	Penyiapan RKK	0	0,00	250.000	0,40
b	Sosialisasi, promosi dan pelatihan	2.423.000	11,79	4.531.000	7,29
c	Alat Pelindung Kerja dan Alat Pelindung Diri	6.270.000	30,51	19.390.000	31,20
d	Asuransi dan perizinan	0	0,00	2.280.000	3,67
e	Fasilitas, sarana dan prasarana kesehatan	643.500	3,13	643.500	1,04
f	Rambu- rambu yang diperlukan	2.289.800	11,14	6.724.800	10,82
g	Konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi	0	0,00	0	0
h	Lain- Lain Terkait Pengendalian Risiko Keselamatan Konstruksi	379.000	1,84	987.500	1,59
2	Komponen Biaya Pengawasan				
a	Personel K3 Konstruksi	8.546.000	41,58	22.342.000	35,95
3	Komponen Biaya Kecelakaan				
a	Pengadaan dan pemasangan U ditch 40.60 - 120 cm + Cover (G. 10 Ton) , terjepit material pada saat penurunan material uditch	0	0,00	5.000.000	8,05
	Total Biaya K.3.	20.551.300	100,00	62.148.800	100,00

Berdasar kedua tabel di atas, proyek Modong – Grabagan dan Banjarsari – Dukuhtengah untuk item Penyiapan RKK, Asuransi dan perizinan, Konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi dan Biaya kecelakaan bernilai 0, hal tersebut diketahui bahwa dalam RAB yang ditetapkan Pejabat Pembuat Komitmen untuk kedua proyek tersebut bernilai 0. Tetapi dalam pelaksanaan di lapangan, kedua penyedia jasa / kontaktor tetap mengalokasikan biaya untuk beberapa item tersebut.

Untuk item penyiapan RKK , kontaktor tetep mengalokasikan biaya untuk Pembuatan dokumen Rencana Keselamatan Konstruksi ataupun Pembuatan prosedur dan instruksi kerja. Sementara untuk Asuransi dan perizinan para kontraktor

mengalokasikan anggaran untuk BPJS Kesehatan untuk pekerja sedang untuk SIO maupun SILO tidak masuk dalam biaya K3 karena masuk kedalam biaya umum penawaran.

Untuk item Konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi diketahui dalam penetapan RAB oleh PPK bernilai 0 karena satuan konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi dilaksanakan untuk pekerjaan segmentasi pemaketan menengah dan besar, sedangkan untuk pemaketan segmentasi kecil dilaksanakan apabila diperlukan. Untuk kedua ahli tersebut, Dinas Pekerjaan Umum dan Sumber Daya Air Kabupaten Sidoarjo sudah memiliki Core Team yang merupakan konsultan penasehat proyek yang terdiri dari ahli – ahli yang bertugas membantu pekerjaan PPK dalam proyek. Selanjutnya untuk biaya kecelakaan dalam RAB penawaran bernilai 0 karena PPK menetapkan tingkat resiko bahaya adalah rendah untuk kedua proyek tersebut.

Tabel 6. Tabel Perbandingan biaya kedua proyek

No	Komponen Biaya K.3.	Perbandingan Biaya dan Persentase dari total biaya K.3. (Penawaran)				Perbandingan Biaya dan Persentase dari total biaya K.3. (Pelaksanaan)			
		Peningkatan Jalan Modong - Grabagan		Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah		Peningkatan Jalan Modong - Grabagan		Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah	
		Rp	%	Rp	%	Rp	%	Rp	%
1	Penyiapan RKK	-	0,00	-	0	250.000	0,37	250.000	0,40
2	Sosialisasi, promosi dan pelatihan	1.445.000	10,93	2.423.000	11,79	3.645.000	5,35	4.531.000	7,29
3	Alat Pelindung Kerja dan Alat Pelindung Diri	4.252.500	32,16	6.270.000	30,51	22.065.000	32,41	19.390.000	31,20
4	Asuransi dan perizinan	-	0,00	-	0	3.270.000	4,80	2.280.000	3,67
5	Fasilitas, sarana dan prasarana kesehatan	824.500	6,24	643.500	3,13	824.500	1,21	643.500	1,04
6	Rambu-rambu yang diperlukan	1.785.000	13,50	2.289.800	11,14	7.710.000	11,33	6.724.800	10,82
7	Konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi	-	0,00	-	0	-	0,00	-	0,00
8	Lain-lain terkait pengendalian resiko Keselamatan Konstruksi	614.000	4,64	379.000	1,84	2.410.000	3,54	987.500	1,59
9	Personel K3 Konstruksi	4.300.000	32,52	8.546.000	41,58	23.900.000	35,11	22.342.000	35,95
10	Kecelakaan	-	0,00	-	0	4.000.000	5,88	5.000.000	8,05
TOTAL		13.221.000	100	20.551.300	100	68.074.500	100	62.148.800	100



Gambar 5 Perbandingan biaya komponen K.3. (Pelaksanaan)

Apabila dilihat dari gambar 5 di atas, diketahui bahwa biaya K3 total pada proyek Peningkatan Jalan Modong - Grabagan lebih besar dari proyek Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah. Hal tersebut berkaitan karena nilai proyek Modong lebih besar daripada proyek Banjarsari sehingga memerlukan biaya K.3. yang lebih besar.

Tabel 7. Tabel Biaya K3 /m2 dan presentase Biaya K3

No	Proyek	Kontrak (Rupiah)	Biaya K.3. (Rp)	Luasan proyek (m ²)	Biaya K.3. / m ² (Rp)	Persentase biaya K.3.
I	II	III	IV	V	VI=IV/V	VII=IV/III* 100%
1	Peningkatan Jalan Modong - Grabagan	19.902.606.726	68.074.500	14.000	4.862	0,34
2	Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah	12.539.599.880	62.148.800	9.415	6.601	0,50

Pada tabel 7 di atas menunjukkan bahwa biaya K.3. per-meter persegi yang dialokasikan pada proyek Peningkatan Jalan Modong - Grabagan sebesar Rp. 4.862,00 sedangkan pada proyek Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah sebesar Rp. 6.601,00. Diketahui bahwa presentase biaya K.3. kedua proyek tersebut (Proyek Modong sekitar 0,34 % dan proyek Banjarsari 0,50%) masih lebih rendah daripada presentase standar ideal komite Keselamatan Konstruksi Rakyat yang berkisar

1.50%-2.50%. Sehingga kedua proyek tersebut memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terjadinya kecelakaan kerja.

Namun perlu diperhatikan juga bahwa proyek jalan memiliki tingkat resiko bahaya yang rendah sesuai dengan penetapan Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) dinas terkait, berbeda dengan proyek bangunan gedung yang memiliki tingkat resiko sedang ataupun bahkan tingkat resiko tinggi.

KESIMPULAN

Dari dua study kasus proyek pekerjaan jalan beton di Kabupaten Sidoarjo menunjukkan biaya K3 yang dialokasikan dalam meter persegi sebesar Rp 4.862,00 untuk proyek Peningkatan Jalan Modong - Grabagan dan Rp 6.601,00 untuk proyek Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah. Diketahui bahwa biaya K3 per meter persegi proyek jalan Banjarsari – Dukuhtengah lebih besar daripada proyek jalan Modong – Grabagan hal ini disebabkan karena harga satuan penawaran item K3 lebih mahal/tinggi bila dibandingkan dengan proyek Modong, walaupun nilai kontrak proyek Banjarsari – Dukuhtengah lebih kecil nilainya dari proyek Modong – Grabagan

Untuk presentase anggaran biaya K.3 terhadap nilai kontrak sebesar 0,34% untuk proyek Peningkatan Jalan Modong - Grabagan dan 0,50% untuk proyek Peningkatan Jalan Banjarsari - Dukuhtengah. Presentase tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan standar ideal komite Keselamatan Konstruksi Rakyat yang berkisar 1,50%-2,50% dari total nilai proyek. Apabila prosentase tersebut kurang dari 1,5 % maka nilai K3 di proyek tersebut tidak ideal dan resiko terjadinya kecelakaan K3 semakin besar, sedangkan bila prosentase lebih dari 2,5 % maka alokasi biaya K3 terlalu boros.

Sesuai dengan data yang dikeluarkan oleh DPUBMSDA Kabupaten Sidoarjo per tanggal 2 Juli 2024 (update progress minggu ke – 11 sebagaimana terlampir), bahwa progress pekerjaan proyek Modong sebesar 33% sementara proyek Banjarsari sebesar 34% sehingga dimungkinkan untuk terjadinya penambahan biaya K3 yang mempengaruhi biaya per m2 proyek dan presentase biaya K3 terhadap kontrak proyek sampai dengan proyek selesai di bulan September 2024.

REFERENSI

- Ayu Atyatistha Ananti, Gusti, Aa Putri Indrayanti, and Evin Yudhi Setyono. 2020. "ANALISIS BIAYA KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) PADA PROYEK KONSTRUKSI (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Lt. II SD N 13 Kesiman)." *Ejournal Warmadewa* 9(2): 201–12.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2021. "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2021 Tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi", (Jakarta : 2021)
- Dharma, I Wayan Wijaya. 2021. "Analisis Proporsi Biaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Kontruksi Pada Pembangunan Liga Tennis Sanur", (Bali : 2021)
- Hizza Nabil. "SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN KONSTRUKSI (SMKK) PADA PROYEK (COST BUDGET ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF THE CONSTRUCTION SAFETY MANAGEMENT SYSTEM IN BUILDING CONSTRUCTION PROJECTS) Hizza Nabil."
- I Gusti Ayu Atyatistha. "Analisis Biaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Proyek Konstruksi", Prosiding Seminar Nasional Ketekniksipilan Bidang Vokasional VII, pp. 247-252, Bali, Oktober, 2019
- Jaelani, Muhamad Rizal, Cecep Rizwan, Napoleon Naufal Aziz, Jurusan Teknik, Sipil Universitas, and Nusa Putra. 2021. "Kajian Anggaran Biaya Keselamatan Dan Ke." 2(21).
- Meifrinaldi, Reini D Wirahadikusumah, Felix Adhiwira, Putra Ramadhana Catri, and Rani Gayatri Kusumawardhani Pradoto. 2019. "Tantangan Penerapan Alokasi Anggaran Biaya SMK3 Pada Kontrak Konstruksi Proyek Berisiko Tinggi." *Jurnal Teknik Sipil* 26(1): 67. doi:10.5614/jts.2019.26.1.9.

Tinjauan Operasional Kereta Api Barang Yang Melalui Wilayah Perawatan UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari

Review of the Operational of Freight Trains Passing Through the Maintenance Area of UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari

Haqiqi Abdurrohman¹, Edi Abdurrachman¹, Ocky Soelistyo Pribadi¹

¹Program Studi Magister Manajemen Transportasi, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jln. Jenderal Ahmad Yani, Kav. 85, Rawasari, Jakarta Timur. Telp: (021) 4701307. Email : Haqiqi.abdurrohman@gmail.com

Abstrak

Operasional KA angkutan barang dengan komoditi yang diangkut berupa *pulp*, semen, dan batubara dalam 6 tahun terakhir mendominasi lalu lintas perjalanan KA pada wilayah perawatan UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari di Kabupaten Lampung Selatan, dan hampir setiap tahunnya terjadi peningkatan frekuensi perjalanan KA. Adanya peningkatan frekuensi perjalanan KA berdampak kepada total tonase yang melintas pada wilayah perawatan UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari. Total tonase KA tertinggi yang melintas terjadi pada tahun 2023 sebesar 37.526.832 ton, nilai tersebut masih berada dalam *range* daya angkut lintas tahunan yang ditetapkan untuk jalan kelas I pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012. Dengan tentu total tonase akan mengalami perbesaran nilai apabila memasukkan faktor pengali dan mempertimbangkan lalu lintas KA penumpang meskipun jumlahnya tidak signifikan, sehingga *range* daya angkut lintas diatas 20 juta ton untuk kelas jalan I perlu dipertimbangkan kembali mengenai berapa nilai maksimalnya, sebab jika dalam hal ini tidak ada batasan nilai *range* maksimalnya, akan berpotensi menimbulkan konflik dengan batasan maksimal dari spesifikasi teknis material untuk suatu jalur kereta api.

Kata Kunci: Kereta api barang; tonase; *pulp*; semen; batubara

Abstract

The operation of freight trains carrying commodities such as pulp, cement, and coal has dominated the train traffic over the past six years within the maintenance area of UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari in South Lampung Regency, with an almost annual increase in train frequency. This increase in train frequency impacts the total tonnage that passing through the maintenance area of UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari. The highest total tonnage recorded was in 2023, amounting to 37,526,832 tons, which remains within the annual passing tonnage capacity range stipulated for Class I tracks under the Minister of Transportation Regulation Number 60 of 2012. However, this total tonnage could further increase when applying multipliers and accounting for passenger train traffic, although its contribution is less significant. Therefore, the range of annual passing tonnage above 20 million tons for Class I tracks should be re-evaluated regarding its maximum limit, as an unlimited range could potentially conflict with the maximum threshold set by the technical specifications for railway track materials.

Keywords: Freight train; passing tonnage, pulp, cement, coal

PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Selatan merupakan daerah yang memiliki berbagai kekayaan dalam hal sumber daya alam, seperti halnya kayu, semen, batubara, minyak bumi, gas alam, dan lainnya. Sumber daya alam tersebut menjadi bahan dasar untuk kemudian diolah menjadi berbagai bahan jadi maupun setengah

jadi, guna meningkatkan nilai jualnya seperti halnya kayu jenis Akasia yang dihasilkan dari hutan produksi di Kabupaten Muara Enim diolah menjadi *pulp* atau bubur kertas untuk kemudian di ekspor, semen yang dihasilkan dari pegunungan kapur di Kabupaten Ogan Komering Ulu dan diproses oleh PT Semen Baturaja (Afiliasi PT Semen Indonesia) dimana semen tersebut menjadi bahan utama dalam berbagai konstruksi

bangunan, dan batubara dari Kabupaten Muara Enim yang dikelola PT Bukit Asam Tbk. dan digunakan sebagai penghasil energi untuk proses pembangkitan listrik di dalam maupun luar negeri.

Perjalanan kereta api barang untuk angkutan *pulp* seperti pada Gambar 1 diberangkatkan dari Stasiun Niru (Kabupaten Muara Enim/ Wilayah Divisi Regional III PT KAI) menuju Stasiun Tarahan (Kota Bandar Lampung/ Wilayah Divisi Regional IV PT KAI) dengan jarak yang ditempuh sejauh 344 kilometer. Perjalanan kereta api barang angkutan semen seperti pada Gambar 2 diberangkatkan dari Stasiun Tigagajah (Kabupaten Ogan Komering Ulu/ Wilayah Divisi Regional IV PT KAI) menuju Stasiun Sukamenanti (Kota Bandar Lampung/ Wilayah Divisi Regional IV PT KAI) dengan jarak yang ditempuh sejauh 229 kilometer. Perjalanan kereta api barang angkutan batubara seperti pada Gambar 3 diberangkatkan dari Stasiun Tanjung Enim Baru (Kabupaten Muara Enim/ Wilayah Divisi Regional III PT KAI) menuju Stasiun Tarahan (Kota Bandar Lampung/ Wilayah Divisi Regional IV PT KAI) dengan jarak tempuh sejauh 402 kilometer, serta menurut Patakorn *et al.* (2020:5) total angkutan batubara pada tahun 2017 telah mencapai 18.261.978 ton.

Kereta api yang menjadi bagian dari konsep *intermodality* dalam transportasi komoditi diatas, kedepannya masih punya peluang yang sangat besar untuk lebih dominan sebab dinilai kompetitif dan lebih dapat beradaptasi atas tekanan alamiah dari sistem rantai pasok global (Kramarz *et al.*, 2022), dan lebih dari 20 tahun telah menjadi pilihan bagi perusahaan yang penghasil tiga komoditi tersebut, sehingga lalu lintas KA didominasi oleh tiga jenis komoditi diatas, sebab angkutan kereta api dinilai memiliki kelebihan diantaranya terjadwal secara *regular* maupun fakultatif, tepat waktu, dioperasikan oleh operator yang memiliki kompetensi, mampu memuat dalam kuantitas besar, dan efisien. Mengenai hal ini menurut Esveld (2001:6) angkutan barang menggunakan kereta api akan lebih kompetitif dengan moda transportasi lainnya seperti moda transportasi jalan raya apabila jarak yang ditempuh setidaknya 300 kilometer.



Gambar 1. Kereta Api Angkutan *Pulp*
Sumber: Yuzahar Mataram



Gambar 2. Kereta Api Angkutan Semen
Sumber: Yuzahar Mataram



Gambar 3. Kereta Api Angkutan Batubara
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Sepanjang tahun 2018 hingga tahun 2024 frekuensi perjalanan ketiga jenis kereta api barang yang selanjutnya disebut KA barang selalu mengalami fluktuasi. Adanya fluktuasi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain dampak dari pandemi Covid-19 yang mengakibatkan frekuensi perjalanan ketiga jenis KA mengalami penurunan drastis dari tahun sebelumnya, faktor lain yang membuat turunnya frekuensi perjalanan adalah adanya proses *maintenance* pada sarana/prasarana perkeretaapian, dan faktor *maintenance* maupun *troubleshooting* fasilitas *loading* atau *unloading*. Penyebab dari adanya kenaikan frekuensi sepanjang tahun 2018 hingga 2024 diantaranya adalah meningkatnya permintaan terutama angkutan batubara, dioperasikannya jalur ganda pada beberapa koridor, dan peningkatan persinyalan yang membuat kapasitas lintas juga bertambah, dimana faktor tersebut membuat *trend* frekuensi perjalanan KA barang terus meningkat hingga penelitian dilakukan.

Dalam Tabel 1 ditampilkan frekuensi perjalanan kereta api barang (isian) yang melintas di wilayah UPT Resor JR IV.2 Rejosari yang memiliki karakteristik wilayah perawatan berupa jalur tunggal sepanjang 25,6 km.

Tabel 1. Frekuensi perjalanan kereta api barang per triwulan dan rata-rata frekuensi perjalanan harian dari masing-masing kereta api barang

TW-Tahun	Frekuensi KA Pulp	Rata-Rata KA Pulp Per Hari	Frekuensi KA Semen	Rata-Rata KA Semen Per Hari	Frekuensi KA Batu bara	Rata-Rata KA Batubara Per Hari
TW 1 2018	90	1,00	90	1,00	1564	17,38
TW 2 2018	87	0,97	88	0,98	1660	18,44
TW 3 2018	91	1,01	90	1,00	1680	18,67
TW 4 2018	92	1,02	92	1,02	1659	18,43
TW 1 2019	90	1,00	69	0,77	1673	18,59
TW 2 2019	90	1,00	76	0,84	1790	19,89
TW 3 2019	90	1,00	75	0,83	1775	19,72
TW 4 2019	92	1,02	73	0,81	1802	20,02
TW 1 2020	89	0,99	89	0,99	1769	19,66
TW 2 2020	91	1,01	91	1,01	1310	14,56
TW 3 2020	85	0,94	85	0,94	1452	16,13
TW 4 2020	85	0,94	81	0,90	1551	17,23
TW 1 2021	86	0,96	86	0,96	1388	15,42
TW 2 2021	88	0,98	88	0,98	1673	18,59
TW 3 2021	92	1,02	92	1,02	1859	20,66
TW 4 2021	90	1,00	90	1,00	1778	19,76
TW 1 2022	88	0,98	88	0,98	1665	18,50
TW 2 2022	91	1,01	91	1,01	1940	21,56
TW 3 2022	92	1,02	91	1,01	1940	21,56
TW 4 2022	92	1,02	91	1,01	2097	23,30
TW 1 2023	92	1,02	92	1,02	2038	22,64
TW 2 2023	91	1,01	91	1,01	1997	22,19
TW 3 2023	91	1,01	91	1,01	2008	22,31
TW 4 2023	94	1,04	94	1,04	2013	22,37
TW 1 2024	92	1,02	92	1,02	2038	22,64
TW 2 2024	91	1,01	91	1,01	1985	22,06

Sumber: PT Kereta Api Indonesia (Persero), 2024

Adanya peningkatan frekuensi perjalanan untuk tiga jenis KA barang seperti pada tabel 1 perlu dianalisis lebih mendalam untuk mengetahui apakah dari data frekuensi tersebut dapat diperoleh total tonase dari KA yang melintas, sebab untuk menjaga keselamatan operasional kereta api Pemerintah dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api telah mengatur mengenai kelas jalan dan tonase maksimum yang diizinkan melintas dalam suatu kelas

jalan tertentu, dimana pada regulasi tersebut terdapat 5 kelas jalan yang dibagi menurut tonase tahunan yang melintas pada jalur KA tersebut. Mengenai pembagian kelas jalan, Federal Railroad Administration (FRA) pada tahun 2017 telah menerbitkan aturan yang berlaku di seluruh wilayahnya yaitu *Track And Rail And Infrastructure Integrity Compliance Manual* dimana terdapat 9 kelas jalan dalam aturan ini, yang membedakan dengan aturan kelas jalan jalur KA di Indonesia adalah dalam aturan yang dirilis oleh FRA membagi kelas jalan berdasarkan beberapa hal yaitu kecepatan operasi, *alignment* vertikal, *alignment* horizontal, material (kondisi rel, jumlah bantalan dalam suatu satuan panjang), dan tonase KA barang maupun penumpang yang implikasinya mengarah ke periode inspeksi.

Dalam penentuan kelas jalan suatu jalur KA di Indonesia umumnya digunakan rumus *annual passing tonnage* atau daya angkut lintas yang menurut Pamungkas (2021:329) merupakan jumlah angkutan anggapan yang melalui suatu lintas dalam waktu satu tahun dengan persamaan seperti ditampilkan pada Persamaan [1] dan Persamaan [2], namun karena kereta api penumpang tidak terlalu dominan di lokasi penelitian, maka pendekatan yang digunakan adalah dengan menjumlahkan seluruh tonase KA barang isian yang melintas berdasarkan frekuensi dan susunan rangkaian masing-masing KA. Dengan persamaan tersebut menurut Komite Nasional Keselamatan Transportasi (2017) dalam analisisnya daya angkut lintas atau *annual passing tonnage* di koridor Kotabumi-Tanjungkarang mencapai 116,53 juta ton pada tahun 2016.

$$T = 360 \times S \times TE \dots\dots\dots[1]$$

Dengan:

- T = daya angkut lintas (ton/tahun)
- 360 = konstanta
- S = koefisien yang tergantung pada jenis lintas, yaitu bernilai 1,1 apabila lintas dengan KA penumpang yang kecepatan maksimalnya 120 km/jam, dan 1,0 apabila lintas tanpa KA penumpang
- TE = tonase ekuivalen (ton/hari)

$$TE = Tp + (Kb \times Tb) + (K1 \times T1)\dots\dots\dots[2]$$

Dengan:

- TE = tonase ekuivalen (ton/hari)
- Tp = tonase kereta penumpang harian
- Tb = tonase kereta barang harian
- Kb = koefisien yang tergantung pada beban gandar yaitu 1,5 untuk beban gandar <

18 ton, dan 1,3 untuk beban gandar > 18 ton

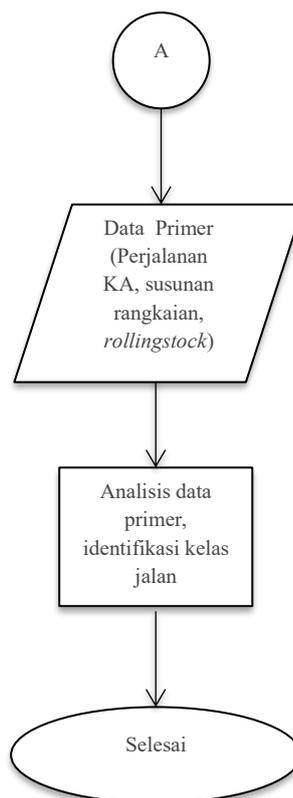
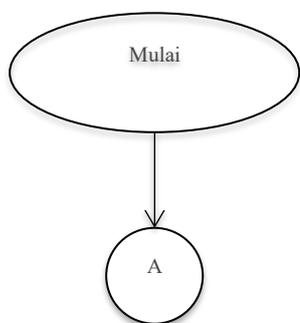
- T1 = tonase lokomotif harian
- K1 = koefisien yang nilainya ditetapkan sebesar 1,4

Diharapkan dengan pendekatan-pendekatan untuk menganalisis tonase yang timbul dari frekuensi perjalanan KA barang dalam penelitian ini, dapat diketahui kesesuaiannya dengan regulasi yang ditetapkan pemerintah untuk menciptakan operasional kereta api yang selamat.

METODE

Untuk menjawab permasalahan yang diuraikan pada bab sebelumnya, maka metodologi yang digunakan adalah pengumpulan data primer berupa frekuensi harian KA barang terlebih dahulu, dilanjutkan dengan identifikasi *rollingstock* yang digunakan dari masing-masing KA barang, setelah itu dilakukan pengumpulan data rangkaian KA barang yang melintas setiap harinya.

Dari proses pengumpulan dan identifikasi data diatas maka akan diketahui total tonase KA barang (isian) yang melintas di wilayah UPT Resor JR IV.2 Rejosari, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis kesesuaian tonase KA barang terhadap regulasi kelas jalan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Metode penelitian dijelaskan lebih komprehensif melalui diagram alir pada Gambar 4. Yuliyanto *et al.* (2024) sebelumnya melakukan penelitian dengan data sekunder (memanfaatkan data dukungan sarana sebagai dokumen pendukung dari grafik perjalanan kereta api) di wilayah Divisi Regional IV PT KAI (Persero) yang diolah dengan menggunakan Persamaan [1] dan [2], sehingga diperoleh *annual passing tonnage* dari jalur kereta api di koridor Tanjungkarang-Rejosari).



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Frekuensi, *Rollingstock* yang Digunakan, dan Susunan Rangkaian KA Angkutan *Pulp*

Selama tahun 2018 hingga 2024 terjadi beberapa hal yang membuat *trend* frekuensi (jumlah perjalanan) KA angkutan *pulp* mengalami kenaikan maupun penurunan, faktor yang menyebabkan naiknya angkutan *pulp* adalah adanya kenaikan permintaan dari pasar yang dimiliki oleh PT TELPP, dan PT Kereta Api Indonesia (Persero) mengatur armadanya untuk dapat mengangkut komoditi tersebut, pada data yang diperoleh dari dukungan sarana untuk GAPEKA (Grafik Perjalanan KA) tahun 2023 terdapat 101 gerbong tertutup (GT) dengan spesifikasi yaitu berat muat sebesar 50 ton, kapasitas muat sebesar 52,5 ton, dan berat kosong 22 ton, pada akhir tahun 2023 PT TELPP juga melakukan pembelian 17 gerbong baru untuk menambah armadanya dengan jenis yang sama dari PT INKA seperti ditampilkan pada Gambar 5.

Susunan rangkaian dalam 1 *trainset* untuk angkutan *pulp* ini terdiri dari 22-25 gerbong yang ditarik oleh 1 lokomotif CC 204 sebagai SF (stamformasi) baku dari KA angkutan *pulp* dengan berat siap lokomotif sebesar 84 ton atau ditarik dengan

lokomotif lain (menyesuaikan dengan ketersediaan lokomotif).

Apabila menyimak GAPEKA tahun 2023 dalam 1 hari terdapat 1 perjalanan KA isian yang sifatnya *regular*, meskipun dalam praktiknya terkadang juga dijalankan KA yang sifatnya fakultatif (diluar perjalanan KA *regular*) apabila terdapat permintaan dari PT TELPP. KA angkutan *pulp* ketika telah sampai di tujuan akhir Stasiun Tarahan, akan menjalani proses langsir menuju emplasemen PT TELPP, bongkar muatan, dan beberapa proses lainnya antara lain pengosongan-pengisian angin, langsir kembali ke emplasemen Stasiun Tarahan, dan lain-lain, kemudian *trainset* tersebut akan kembali diberangkatkan menuju Stasiun Niru, sehingga realisasi WPKA (waktu perputaran KA dalam satuan hari) dari KA angkutan *pulp* ini sebesar 1,8-2,5 hari, dan WPKA inilah yang mempengaruhi frekuensi perjalanan KA *pulp* seperti yang sebelumnya ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 5. *Rollingstock* Untuk Angkutan KA Pulp

Sumber :

<https://www.youtube.com/watch?v=PDFu5sPxcgg>

Frekuensi, *Rollingstock* yang Digunakan, dan Susunan Rangkaian KA Angkutan Semen

Pada tahun 2018 hingga 2024 terjadi fluktuasi *trend* frekuensi (jumlah perjalanan) yang membuat KA angkutan semen mengalami kenaikan maupun penurunan, faktor penyebab naiknya angkutan semen adalah adanya kenaikan permintaan dari pasar yang dimiliki oleh PT Semen Baturaja Tbk, dan PT Kereta Api Indonesia (Persero) menyesuaikan armadanya untuk dapat mengangkut komoditi tersebut, sedangkan yang membuat angkutan semen menurun salah satunya disebabkan pandemi Covid-19. Pada data yang diperoleh dari dukungan sarana untuk GAPEKA (Grafik Perjalanan KA) tahun 2023 terdapat 22 gerbong datar (GD) sebagai *rollingstock* dari KA angkutan semen dengan spesifikasi berat muat 42 ton, kapasitas kuat muat 44,1 ton, dan berat kosong 17 ton seperti ditampilkan pada Gambar 6, penggunaan gerbong datar (*flatcar*) dalam angkutan barang telah lazim digunakan di banyak negara untuk

jenis angkutan yang membutuhkan perpindahan angkutan atau intermoda, sebab penggunaannya mempermudah perpindahan pengangkutan barang seperti *fixed fitting*, kontainer (Vatulia *et al.*, 2023), dalam praktiknya di Indonesia seringkali angkutan diatas *flatcar* diangkut menggunakan *pallet* kayu maupun ISO *tank*.

Susunan rangkaian dalam 1 *trainset* untuk angkutan semen ini terdiri dari 18-22 gerbong, dan ditarik oleh 1 lokomotif CC 204 sebagai SF baku dari KA angkutan semen dengan berat siap lokomotif sebesar 84 ton, atau ditarik dengan lokomotif lain (menyesuaikan dengan ketersediaan lokomotif).

Apabila menyimak GAPEKA tahun 2023 dalam 1 hari terdapat 1 perjalanan KA isian yang sifatnya *regular*, meskipun dalam praktiknya beberapa kali dijalankan KA yang sifatnya fakultatif (diluar perjalanan KA *regular*) apabila terdapat permintaan dari PT Semen Baturaja Tbk, serta jika dilihat dari data angkutan diketahui juga KA semen sempat mengalami pembatalan disebabkan permintaan angkutan turun terutama saat pandemi Covid-19 dan ketika ada gangguan maupun proses *maintenance*. KA angkutan semen ketika telah sampai di tujuan akhir yaitu Stasiun Sukamenanti, akan menjalani proses bongkar dan langsir di Emplasemen Pidada dan beberapa proses lainnya seperti pemeriksaan rangkaian, pengosongan-pengisian angin untuk pengereman, dan proses administratif lain, kemudian *trainset* tersebut akan kembali diberangkatkan menuju Stasiun Tigagajah. WPKA dari KA angkutan semen ini sebesar 1,5-2,5 hari, dan WPKA inilah yang mempengaruhi frekuensi perjalanan KA semen seperti yang sebelumnya ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 6. *Rollingstock* Untuk Angkutan KA Semen

Sumber: PT INKA

Frekuensi, *Rollingstock* yang Digunakan, dan Susunan Rangkaian KA Angkutan Batubara

Dalam rentang waktu sepanjang 6 tahun yaitu pada 2018 hingga 2024 terjadi beberapa hal yang membuat *trend* frekuensi (jumlah perjalanan) KA angkutan batubara mengalami kenaikan maupun penurunan, faktor yang menyebabkan naiknya

angkutan batubara adalah target dari PT Kereta Api Indonesia (Persero) sendiri untuk menaikkan pendapatannya di bidang angkutan batubara sebab *demand* angkutan batubara masih sangat tinggi. Hal ini disikapi oleh PT Kereta Api Indonesia (Persero) dengan penambahan lokomotif baru dengan cara pembelian sebanyak 36 unit lokomotif CC 205 yang tercatat pada laporan tahunan periode tahun 2022, dan pada awal tahun 2024 dilakukan pembelian sebanyak 54 unit lokomotif CC 205 untuk angkutan batubara, dalam laporan tahunan 2022 juga disebutkan adanya pembelian sekitar 600 unit gerbong terbuka (GB) berkapasitas 50 ton untuk angkutan batubara di Sumatera Selatan yang dibeli dari PT INKA. Faktor yang berkontribusi atas deviasi berupa menurunnya frekuensi dari KA Baratara yang dapat diidentifikasi diantaranya adalah pandemi Covid-19, *maintenance* periodik dari *Train Loading Station* (TLS) maupun *Rotary Car Dumper* (RCD) sebagai fasilitas *loading-unloading*, *maintenance* periodik prasarana, dan gangguan operasional. Pada data yang diperoleh dari dukungan sarana untuk grafik perjalanan kereta api (GAPEKA) tahun 2023 terdapat 3002 GB siap operasi dengan spesifikasi berat muat 50 ton, kapasitas 52,5 ton, dan berat kosong 19,5 ton seperti yang ditampilkan pada Gambar 7.

Susunan rangkaian dalam 1 *trainset* untuk KA angkutan batubara ini terdiri dari 60 gerbong, dan ditarik oleh 2 lokomotif CC 205 atau 3 lokomotif CC 202 sebagai SF baku dari KA angkutan batubara dengan berat siap lokomotif sebesar 108 ton.

Apabila menyimak GAPEKA tahun 2023 dalam 1 hari terdapat 22 perjalanan KA isian yang sifatnya *regular*, dan 3 perjalanan KA isian yang sifatnya fakultatif (diluar perjalanan KA *regular*).

KA angkutan batubara ketika telah sampai di tujuan akhir yaitu Stasiun Tarahan, akan menjalani proses pemeriksaan, lalu pengosongan angin, dilanjutkan proses langsir menuju RCD yang berjarak sekitar 2 kilometer dari emplasemen Stasiun Tarahan untuk bongkar muatan, sebelum akhirnya kembali ke emplasemen Stasiun Tarahan untuk proses keberangkatan kembali menuju stasiun asal, yaitu Stasiun Tanjungenimbaru. Stasiun Tarahan berada di sekitar Pelabuhan Tarahan yang dimiliki oleh PT Bukit Asam Tbk. dengan luas 42,5 Ha yang direncanakan diperluas hingga 50,5 Ha, memiliki 3 *stockpile*, dan 4 *rotary car dumper* (Arta dan Ansosry, 2019). Dari data yang diperoleh sejak 2017 hingga tahun 2023, realisasi rata-rata WPKA dari KA angkutan batubara berkisar antara 2 hingga 2,43 hari yang disebabkan oleh dinamika lintas seperti yang dibahas pada paragraf sebelumnya, sehingga realisasi frekuensi perjalanan KA angkutan batubara ini seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 7. *Rollingstock* Untuk Angkutan KA Batubara

Sumber: PT INKA

Tonase KA Angkutan *Pulp* Sepanjang Tahun 2018 Hingga Triwulan II Tahun 2024

Dari pembahasan pada bab sebelumnya yang mengupas perihal jenis *rollingstock* dan susunan rangkaian yang digunakan untuk KA angkutan *pulp* baik dari lokomotif maupun gerbong, maka dari data tersebut dapat diketahui total tonase dari sarana yang melintas. Hasil yang sudah didapatkan harus ditambahkan dengan tonase dari angkutan *pulp* sebesar 28 ton tiap gerbongnya, selanjutnya nilai yang didapat dikalikan dengan total gerbong yang melintas dalam suatu periode dimana pada penelitian ini disajikan data per triwulan dan tahunan.

Hasil dari perhitungan pada paragraf sebelumnya disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan tonase per triwulan dan tahunan untuk KA angkutan *pulp*

TW-Tahun	Frek. KA	Jumlah Gerbong	Berat Muatan (Ton)	Berat Gerbong+Lok (Ton)	Total Tonase Per TW	Total Tonase Tahunan
TW 1 2018	90	1.980	28	51.120	106.560	
TW 2 2018	87	1.886	28	48.800	101.608	
TW 3 2018	91	2.032	28	52.348	109.244	426.340
TW 4 2018	92	2.024	28	52.256	108.928	
TW 1 2019	90	2.011	28	51.802	108.110	
TW 2 2019	90	1.972	28	50.944	106.160	
TW 3 2019	90	2.009	28	51.758	108.010	429.658
TW 4 2019	92	1.993	28	51.574	107.378	
TW 1 2020	89	1.988	28	51.212	106.876	414.450

TW 2 2020	91	1.97 2	28	51.028	106.244	
TW 3 2020	85	1.89 9	28	48.918	102.090	
TW 4 2020	85	1.84 2	28	47.664	99.240	
TW 1 2021	86	1.92 0	28	49.464	103.224	
TW 2 2021	88	1.93 6	28	49.984	104.192	
TW 3 2021	92	2.05 5	28	52.938	110.478	422.904
TW 4 2021	90	1.94 9	28	50.438	105.010	
TW 1 2022	88	1.96 6	28	50.644	105.692	
TW 2 2022	91	1.97 2	28	51.028	106.244	
TW 3 2022	92	2.02 4	28	52.256	108.928	425.558
TW 4 2022	92	1.94 1	28	50.346	104.694	
TW 1 2023	92	2.05 5	28	52.938	110.478	
TW 2 2023	91	1.98 8	28	51.212	106.876	
TW 3 2023	91	2.02 1	28	52.022	108.610	437.992
TW 4 2023	94	2.08 6	28	53.620	112.028	
TW 1 2024	92	2.05 5	28	52.854	110.394	
TW 2 2024	91	1.97 2	28	50.860	106.076	437.108

Tonase KA Angkutan Semen Sepanjang Tahun 2018 Hingga Triwulan II Tahun 2024

Pembahasan pada bab sebelumnya yang mengupas perihal jenis *rollingstock* dan susunan rangkaian yang digunakan untuk KA angkutan semen baik dari lokomotif maupun gerbong, memberikan gambaran total tonase dari sarana yang melintas. Hasil yang sudah didapatkan, perlu ditambahkan dengan tonase dari angkutan semen sebesar 35 ton tiap gerbongnya, selanjutnya nilai yang didapat dikalikan dengan total gerbong yang melintas dalam suatu periode dimana pada penelitian ini disajikan data per triwulan dan tahunan.

Hasil dari perhitungan pada paragraf sebelumnya disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan tonase per triwulan dan tahunan untuk KA angkutan semen

TW-Tahun	Frek. KA	Jumlah Gerbong	Berat Muatan Per Gerbong (Ton)	Tonase Gerbong +Lok (Ton)	Total Tonase Per TW	Total Tonase Tahunan
TW 1 2018	90	1.98 0	35	41.220	110.520	
TW 2 2018	88	1.84 9	35	38.825	103.540	
TW 3 2018	90	1.95 2	35	40.744	109.064	436.100
TW 4 2018	92	2.02 4	35	42.136	112.976	
TW 1 2019	69	1.46 4	35	30.684	81.924	
TW 2 2019	76	1.62 0	35	33.924	90.624	
TW 3 2019	75	1.70 1	35	35.133	94.668	358.420
TW 4 2019	73	1.63 6	35	33.944	91.204	
TW 1 2020	89	2.16 5	35	44.281	120.056	
TW 2 2020	91	2.18 5	35	44.789	121.264	
TW 3 2020	85	1.87 2	35	38.964	104.484	456.504
TW 4 2020	81	1.99 8	35	40.770	110.700	
TW 1 2021	86	1.89 2	35	39.388	105.608	
TW 2 2021	88	1.90 7	35	39.811	106.556	
TW 3 2021	92	2.05 5	35	42.663	114.588	433.684
TW 4 2021	90	1.91 1	35	40.047	106.932	
TW 1 2022	88	1.96 6	35	40.814	109.624	
TW 2 2022	91	2.02 5	35	42.069	112.944	448.904
TW 3 2022	91	2.02 4	35	42.136	112.976	

TW 4 2022	91	2.03 3	35	42.205	113.360	
TW 1 2023	92	2.03 3	35	42.205	113.360	
TW 2 2023	91	2.05 5	35	42.663	114.588	450.34
TW 3 2023	91	1.96 6	35	40.814	109.624	8
TW 4 2023	94	2.02 5	35	41.901	112.776	
TW 1 2024	92	1.96 6	35	41.150	109.960	453.54
TW 2 2024	91	2.18 5	35	44.705	121.180	0

TW 1 2019	1.67 3	100. 314	50	2.32	7.33	
TW 2 2019	1.79 0	101. 874	50	2.37	7.467	
TW 3 2019	1.77 5	106. 082	50	2.45	7.76	30.41
TW 4 2019	1.80 2	107. 457	50	2.49	7.89	
TW 1 2020	1.76 9	105. 936	50	2.45	7.74	
TW 2 2020	1.31 0	78.4 87	50	1.81	5.73	
TW 3 2020	1.45 2	87.0 28	50	2.01	6.36	26.65
TW 4 2020	1.55 1	93.0 50	50	2.15	6.81	
TW 1 2021	1.38 8	83.0 85	50	1.92	6.07	
TW 2 2021	1.67 3	100. 336	50	2.32	7.34	
TW 3 2021	1.85 9	111. 146	50	2.57	8.13	29.30
TW 4 2021	1.77 8	106. 217	50	2.45	7.77	
TW 1 2022	1.66 5	99.7 43	50	2.30	7.30	
TW 2 2022	1.94 0	119. 021	50	2.74	8.70	
TW 3 2022	1.94 0	127. 721	50	2.93	9.32	34.49
TW 4 2022	2.09 7	125. 674	50	2.90	9.19	
TW 1 2023	2.03 8	122. 371	50	2.81	8.94	
TW 2 2023	1.99 7	119. 664	50	2.77	8.76	
TW 3 2023	2.00 8	129. 245	50	2.98	9.43	36.64
TW 4 2023	2.01 3	130. 288	50	2.99	9.50	
TW 1 2024	2.03 8	131. 827	50	3.03	9.62	
TW 2 2024	1.98 5	127. 138	50	2.93	9.28	19.90

Tonase KA Angkutan Batubara Sepanjang Tahun 2018 Hingga Triwulan II Tahun 2024

Dalam bab sebelumnya yang mengupas jenis *rollingstock* dan susunan rangkaian yang digunakan untuk KA angkutan batubara, diangkut dari Stasiun Tanjungenimbaru menuju Stasiun Tarahan baik dari lokomotif maupun gerbong, diharapkan mampu memberi sedikit gambaran mengenai jumlah tonase dari sarana yang melintas. Hasil yang sudah didapatkan, perlu ditambahkan dengan berat muat dari angkutan batubara sebesar 50 ton tiap gerbongnya, selanjutnya nilai yang didapat dikalikan dengan total gerbong yang melintas dalam suatu periode dimana pada penelitian ini disajikan data per triwulan dan tahunan.

Hasil dari perhitungan pada paragraf sebelumnya disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan tonase per triwulan dan tahunan untuk KA angkutan batubara dimana kolom e, f, dan g dinyatakan dalam juta ton

TW-Tahun	Frek. KA	Jumlah Gerbong	Tonase Muatan (Ton)	Tonase Gerbong+Lok (Ton)	Total Tonase Per TW	Total Tonase Tahunan
a	b	c	d	e	f	g
TW 1 2018	1.56 4	93.3 67	50	2.16	6.83	
TW 2 2018	1.66 0	99.3 19	50	2.30	7.26	
TW 3 2018	1.68 0	101. 391	50	2.34	7.41	28.75
TW 4 2018	1.65 9	99.2 76	50	2.29	7.26	

Total Tonase KA Barang Sepanjang Tahun 2018 Hingga Triwulan II Tahun 2024

Dari hasil yang diperoleh pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4, maka total tonase dari KA barang yang

melintas dapat dijumlahkan dan ditampilkan seperti pada Tabel 5 disamping. Dari Tabel 5 terlihat bahwa terjadi peningkatan total tonase dari tahun ke tahun kecuali pada tahun 2019 ke tahun 2020 yang menurun total tonasenya disebabkan Pandemi Covid-19, namun setelah itu terjadi *bounceback* dimana angkutan meningkat kembali yang berakibat meningkatnya tonase pada tahun 2021.

Tabel 5. Perhitungan total tonase KA barang per triwulan dan tahunan

TW-Tahun	Total Tonase KA Barang Per TW	Total Tonase KA Barang Tahunan
TW 1 2018	7.043.911	29.618.514
TW 2 2018	7.466.379	
TW 3 2018	7.628.187	
TW 4 2018	7.480.038	
TW 1 2019	7.523.225	31.202.069
TW 2 2019	7.663.667	
TW 3 2019	7.958.777	
TW 4 2019	8.056.400	
TW 1 2020	7.971.588	27.518.134
TW 2 2020	5.965.639	
TW 3 2020	6.568.652	
TW 4 2020	7.012.255	

TW 1 2021	6.283.372	30.158.492
TW 2 2021	7.545.468	
TW 3 2021	8.351.581	
TW 4 2021	7.978.072	
TW 1 2022	7.507.095	35.366.321
TW 2 2022	8.910.296	
TW 3 2022	9.543.582	
TW 4 2022	9.405.349	
TW 1 2023	9.159.975	37.526.832
TW 2 2023	8.978.320	
TW 3 2023	9.657.062	
TW 4 2023	9.731.476	
TW 1 2024	9.850.187	19.364.758
TW 2 2024	9.514.571	

Perbandingan Total Tonase Dengan Ketentuan Daya Angkut Lintas Tahunan Dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012

Untuk mengetahui apakah total tonase masih berada dalam batasan yang ditetapkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, maka perlu terlebih dahulu diketahui pembagian kelas jalan yang diatur dalam regulasi tersebut. Kelas jalan yang dimaksud ditampilkan dalam Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Pembagian kelas jalan jalur kereta api

Kelas Jalan (a)	Daya Angkut Lintas (Ton/Tahun) (b)	V Maks (Km/Jam) (c)	P Maks Gandar (Ton) (d)	Tipe Rel (e)	Jenis Bantalan Jarak Antar Sumbu Bantalan (Cm) (f)	Jenis Penambat (g)	Tebal Balas Atas (Cm) (h)	Lebar Bahu Balas (Cm) (i)
I	> 20.10 ⁶	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	10.10 ⁶ - 20.10 ⁶	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	5.10 ⁶ - 10.10 ⁶	100	18	R.54/R.50 /R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	2,5.10 ⁶ - 5.10 ⁶	90	18	R.54/R.50 /R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda/Tunggal	30	40
V	< 2,5.10 ⁶	80	18	R.42	Kayu/Baja 60	Elastis Tunggal	30	35

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

Dalam Tabel 6 diatas, kolom a, b, c, d merupakan karakteristik operasional, sedangkan kolom lainnya merupakan komponen minimal material yang harus dipenuhi untuk sebuah kelas jalan tertentu. diketahui jika daya angkut lintas tahunan sebuah jalur KA lebih dari 20 juta ton per tahun, maka jalur tersebut dikategorikan dalam kelas jalan I dan komponen material harus memenuhi persyaratan diatas.

Identifikasi Produktivitas Tenaga Kerja untuk Optimasi Anggaran Biaya dalam Pelaksanaan Proyek Skala Kecil di Bali

Labor Productivity Identification for Budget Cost Optimization in Small-Scale Project Implementation in Bali

Ida Ayu Cri Vinantya Laksmi¹, I Wayan Jawat², I Gusti Agung Gede Nodya Dharmastika³, Ni Kadek Ayu Cipta Dewi⁴, Komang Pipin Indraswari Berata Putri⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa, Jln. Terompong No.24, Sumerta Kelod, Kec. Denpasar Tim., Kota Denpasar, Bali 80239. Telp: (0361) 223858.

Email : vinantyalaksmi@gmail.com

Abstrak

Pelaksanaan sebuah proyek konstruksi sangat bergantung pada ketersediaan tenaga kerja yang merupakan motor penggerak utama dalam tahap perencanaan hingga realisasi proyek. Tanpa adanya tenaga kerja sangat mustahil mencapai tujuan dari proyek itu sendiri. Kemampuan kerja dari para tenaga kerja biasanya disebut dengan produktivitas. Salah satu hal yang erat kaitannya dengan produktivitas tenaga kerja adalah biaya pelaksanaan proyek. Semakin tinggi produktivitas, maka semakin kecil pula kemungkinan terjadinya kelebihan/pembengkakan biaya pelaksanaan proyek, dan begitu pula dengan sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas tenaga kerja dalam pelaksanaan proyek konstruksi skala kecil di Bali. Penyelesaian masalah dan analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh dalam produktivitas tenaga kerja dalam pelaksanaan proyek, yaitu keterampilan tenaga kerja dalam melaksanakan pekerjaan di lapangan (14,5%), peralatan yang digunakan selama bekerja (12,8%), kondisi fisik pekerja (11,4%), *jobdesk* dan instruksi pekerjaan yang diberikan oleh atasan (11,3%), *timeschedule* atau waktu pelaksanaan pekerjaan (10,5%), koordinasi antar para pekerja (10,2%), kedisiplinan pekerja selama bekerja atau pelaksanaan proyek (10,1%), material yang tersedia (9,9%), dan yang terakhir adalah ruang kerja atau *space* yang tersedia dalam melakukan suatu pekerjaan (9,4%).

Kata Kunci: identifikasi; produktivitas tenaga kerja; proyek konstruksi di Bali

Abstract

The implementation of a construction project is highly dependent on the availability of labor which is the main driving force in the planning stage until the realization of the project. Without labor, it is impossible to achieve the goals of the project itself. The workability of the workforce is usually called productivity. One thing closely related to labor productivity is the cost of project implementation. The higher the productivity, the smaller the possibility of excess/inflation of project implementation costs, and vice versa. Based on this, further research is needed to determine the factors influencing labor productivity in implementing small-scale construction projects in Bali. Problem-solving and data analysis in this study used the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The results of the study showed that the most influential factors in labor productivity in project implementation were labor skills in carrying out work in the field (14.5%), equipment used during work (12.8%), the physical condition of workers (11.4%), job desk and work instructions given by superiors (11.3%), time schedule or work implementation time (10.5%), coordination between workers (10.2%), worker discipline during work or project implementation (10.1%), available materials (9.9%), and the last was the workspace or space available in carrying out a job (9.4%).

Keywords: *identification; labor productivity; construction projects in Bali*

PENDAHULUAN

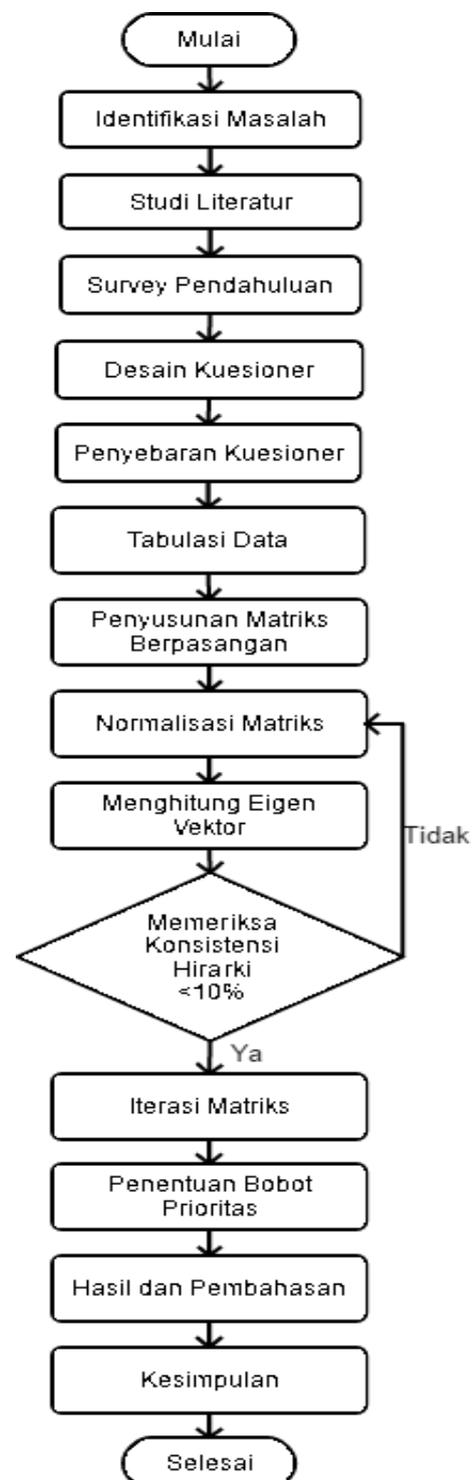
Proyek konstruksi sangat bergantung pada ketersediaan tenaga kerja yang merupakan motor penggerak utama dalam tahap perencanaan hingga realisasi proyek. Tanpa adanya tenaga kerja sangat mustahil mencapai tujuan dari proyek itu sendiri. Kemampuan kerja dari para tenaga kerja biasanya dikenal dengan istilah produktivitas. Dimana Produktivitas dapat diartikan sebagai sebuah ukuran atau standar yang menyatakan bagaimana baiknya tenaga kerja diatur serta mampu dimanfaatkan agar dapat menggapai hasil secara optimum (Herjanto, 2007). Sebuah produktivitas juga adalah kriteria yang berpengaruh terhadap beberapa hal pada pelaksanaan proyek konstruksi (Kevin & Sulistio, 2018). Salah satu hal yang erat kaitannya dengan produktivitas tenaga kerja adalah biaya pelaksanaan proyek. Semakin tinggi produktivitas, maka semakin kecil pula kemungkinan terjadinya kelebihan biaya pelaksanaan proyek, dan begitu pula dengan sebaliknya. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, salah satu penyebab terjadinya pembengkakan biaya dalam pelaksanaan proyek konstruksi di Bali selama masa pandemi COVID-19 adalah produktivitas tenaga kerja yang rendah. Maka dari itu hasil penelitian tersebut akan dikaji lebih mendalam untuk mendapatkan pembaharuan ilmu atau penyebab mengapa produktivitas tenaga kerja bisa dikatakan rendah (Laksmi I. V., 2022).

Produktivitas tenaga kerja yang rendah akan sangat berpengaruh terhadap biaya proyek konstruksi. Pembengkakan biaya proyek akan terjadi jika para pekerja tidak bekerja secara optimal sehingga produktivitas kerjanya dapat dikatakan rendah. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menentukan serta mengidentifikasi faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas tenaga kerja dalam pelaksanaan proyek konstruksi di Bali agar tidak lagi menyebabkan terjadinya pembengkakan biaya dalam pelaksanaan proyek konstruksi.

METODE

Penelitian ini berlokasi di Bali dengan target sasaran adalah para pelaku jasa konstruksi skala kecil yang mengerjakan proyek di Bali. Analisis data dalam penyelesaian penelitian ini dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode AHP digunakan karena memiliki keunggulan dari segi pengukuran, yaitu AHP menyediakan skala pengukuran dan metode untuk mendapatkan prioritas, menghasilkan hasil yang lebih konsisten dibandingkan dengan metode metode lainnya serta dengan menggunakan metode ini dapat

dipertimbangkan prioritas relatif faktor sehingga mampu memilih alternative terbaik untuk mencapai tujuan. Secara lebih jelas, bagan alur penelitian dapat dilihat dalam gambar 1 berikut ini..



Gambar 1. Flowchart penelitian
Sumber: Analisis Pribadi, 2024

Secara singkat dapat diuraikan tahapan analisis data dengan metode AHP, antara lain (Laksmi I. C., 2023):

1. Mengidentifikasi masalah yang akan diselesaikan
2. Membuat struktur hirarki yang kemudian dilanjutkan dengan subtujuan, kriteria serta alternatif penyelesaian.
3. Mengumpulkan data dengan cara menyusun kuesioner berdasarkan struktur hirarki, yang kemudian dilanjutkan dengan ditabulasikan untuk mengelola data yang telah didapat.
4. Membuat matriks perbandingan berpasangan.
5. Menghitung hasil perbandingan berpasangan sehingga diperoleh hasil pertimbangan seluruhnya.
6. Melakukan normalisasi matriks.
7. Menghitung nilai eigen vektor utama, dengan cara mencari nilai rata-rata setiap baris pada masing-masing komponen.
8. Selanjutnya menentukan nilai λ maksimum, dimana nilai ini didapatkan dengan mengalikan total matrika sebelum normalisasi dengan nilai eigen vektor utama.
9. Menghitung besarnya konsistensi hirarki (CI) kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengecekan rasio konsistensi (CR) dengan ketentuan nilai (CR) tidak boleh 10%. Apabila hasil perhitungan lebih dari 10% maka perlu dilakukan normalisasi perbaikan kemudian kembali melakukan ulang langkah 6, 7, 8, sampai di temukan nilai konsistensi rasionya $\leq 10\%$ atau 0,1.
10. Dilanjutkan dengan melakukan iterasi matriks untuk menentukan bobot prioritas. Proses iterasi dilakukan sampai menemukan selisih 0,00 dan tidak mengalami perubahan pada nilai eigen vektor.

11. Selanjutnya menghitung bobot prioritas ke dalam bentuk persentase (%) yang kemudian akan dilanjutkan dengan melakukan perankingan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil wawancara terhadap responden, terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas tenaga kerja dalam pelaksanaan proyek konstruksi khususnya proyek yang dilakukan di Bali, yaitu:

1. Keterampilan tenaga kerja
2. Peralatan yang digunakan
3. Material yang tersedia
4. Ruang kerja (space)
5. Koordinasi antar pekerja
6. Kondisi fisik pekerja
7. Jobdesk dan instruksi pekerjaan
8. Kedisiplinan pekerja
9. Time schedule

Berdasarkan 9 (Sembilan) faktor yang telah dijabarkan di atas, hasil perbandingan berpasangan antara setiap faktor akan dibuat dalam matriks aljabar. Adapun jumlah perbandingan berpasangan dari faktor-faktor tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$NoC = n \times \left(\frac{n-1}{2} \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$NoC = 9 \times \left(\frac{9-1}{2} \right) = 36$$

Jadi, jumlah perbandingan berpasangan dan *reciprocal* dari jawaban responden terdiri dari 36 perbandingan berpasangan. Selanjutnya dilakukan atau dibuat matriks perbandingan berpasangan sebagai berikut:

Tabel 1. Matriks Perbandingan Berpasangan

Faktor	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1,000	2,417	1,600	2,030	1,632	0,708	0,844	1,255	1,026
B	0,414	1,000	1,173	1,833	1,182	1,694	1,000	1,893	1,190
C	0,625	0,852	1,000	1,684	0,889	0,634	1,286	0,717	1,063
D	0,493	0,545	0,594	1,000	1,576	0,570	0,600	1,938	1,075
E	0,613	0,846	1,125	0,635	1,000	0,818	1,667	0,744	1,405
F	1,413	0,590	1,578	1,755	1,222	1,000	0,633	1,079	0,649
G	1,185	1,000	0,778	1,667	0,600	1,581	1,000	1,071	0,808
H	0,797	0,528	1,395	0,516	1,344	0,927	0,933	1,000	1,341
I	0,974	0,840	0,941	0,930	0,712	1,541	1,238	0,745	1,000
Jumlah	7,513	8,619	10,183	12,050	10,156	9,472	9,200	10,443	9,558

Sumber: Analisis Pribadi, 2024

Selanjutnya dilakukan langkah perhitungan normalisasi matriks, dimana normalisasi merupakan langkah yang dilakukan agar setiap elemen matriks

mempunyai skala nilai yang sama dengan cara menyatukan setiap elemen matriks. Berikut

merupakan hasil normalisasi matriks perbandingan berpasangan dan nilai eigen vector setiap faktor.

Tabel 2. Normalisasi matriks

Faktor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	JUMLAH	Eigen Vektor
A	0,133	0,280	0,157	0,168	0,161	0,075	0,092	0,120	0,107	1,294	0,145
B	0,055	0,116	0,115	0,152	0,116	0,179	0,109	0,181	0,125	1,148	0,128
C	0,083	0,099	0,098	0,140	0,088	0,067	0,140	0,069	0,111	0,894	0,099
D	0,066	0,063	0,058	0,083	0,155	0,060	0,065	0,186	0,113	0,849	0,094
E	0,082	0,098	0,110	0,053	0,098	0,086	0,181	0,071	0,147	0,927	0,102
F	0,188	0,068	0,155	0,146	0,120	0,106	0,069	0,103	0,068	1,023	0,114
G	0,158	0,116	0,076	0,138	0,059	0,167	0,109	0,103	0,085	1,010	0,113
H	0,106	0,061	0,137	0,043	0,132	0,098	0,101	0,096	0,140	0,915	0,100
I	0,130	0,097	0,092	0,077	0,070	0,163	0,135	0,071	0,105	0,940	0,104
JUMLAH	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	9,000	1,000

Sumber: Analisis Pribadi, 2024

Selanjutnya dihitung λ maksimum sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} 1,000 & 2,417 & 1,600 & 2,030 & 1,632 & 0,708 & 0,844 & 1,255 & 1,026 \\ 0,414 & 1,000 & 1,173 & 1,833 & 1,182 & 1,694 & 1,000 & 1,893 & 1,190 \\ 0,625 & 0,852 & 1,000 & 1,684 & 0,889 & 0,634 & 1,286 & 0,717 & 1,063 \\ 0,493 & 0,545 & 0,594 & 1,000 & 1,576 & 0,570 & 0,600 & 1,938 & 1,075 \\ 0,613 & 0,846 & 1,125 & 0,635 & 1,000 & 0,818 & 1,667 & 0,744 & 1,405 \\ 1,413 & 0,590 & 1,578 & 1,755 & 1,222 & 1,000 & 0,633 & 1,079 & 0,649 \\ 1,185 & 1,000 & 0,778 & 1,667 & 0,600 & 1,581 & 1,000 & 1,071 & 0,808 \\ 0,797 & 0,528 & 1,395 & 0,516 & 1,344 & 0,927 & 0,933 & 1,000 & 1,341 \\ 0,974 & 0,840 & 0,941 & 0,930 & 0,712 & 1,541 & 1,238 & 0,745 & 1,000 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,145 \\ 0,128 \\ 0,099 \\ 0,094 \\ 0,102 \\ 0,114 \\ 0,113 \\ 0,100 \\ 0,104 \end{pmatrix} = 9,543$$

Dari hasil perhitungan didapatkan hasil dari λ maksimum adalah sebesar 9,543. Selanjutnya menghitung indeks konsistensi dan memeriksa konsistensi hirarki dengan cara sebagai berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1} \dots\dots\dots(2)$$

$$CI = \frac{9,543 - 9}{9 - 1} = 0,0678$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots(3)$$

$$CR = \frac{0,0678}{1,45} = 0,047$$

Dengan diperolehnya hasil CR sebesar 0,047 maka hasil perhitungan sudah dinyatakan konsisten karena nilai $CR < 10\%$ atau 0,1. Berikutnya dilakukan proses iterasi matriks dengan perkalian matriks (baris x kolom). Proses iterasi dilakukan sampai menemukan selisih 0,000 dan tidak mengalami perubahan (=0) pada nilai eigen vector. Hasil dari iterasi matriks adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Iterasi pertama matriks

Faktor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Jumlah	Eigen Vektor
A	9,000	11,472	13,566	16,472	14,530	13,095	12,989	15,813	13,930	120,866	0,145
B	9,435	9,000	12,638	13,957	13,032	11,606	11,240	13,365	12,131	106,403	0,128
C	7,003	7,817	9,000	11,378	9,725	9,175	8,829	10,610	9,253	82,789	0,099
D	6,655	6,984	9,468	9,000	9,553	8,479	9,051	9,183	9,604	77,977	0,094
E	7,684	8,201	9,547	11,864	9,000	10,067	9,475	9,611	9,199	84,649	0,102
F	7,911	9,679	11,133	13,108	11,906	9,000	9,977	11,651	10,690	95,056	0,114
G	8,332	9,121	11,038	13,342	11,580	9,865	9,000	12,064	9,947	94,290	0,113
H	7,484	8,196	9,953	11,250	9,312	9,132	9,657	9,000	9,410	83,393	0,101
I	8,016	8,488	10,213	12,567	9,935	9,551	8,763	10,299	9,000	86,832	0,105
Jumlah	71,521	78,959	96,556	112,937	98,574	89,969	88,980	101,597	93,163	832,257	1,000

Sumber: Analisis Pribadi, 2024

Tabel 4. Iterasi kedua matriks

Faktor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Jumlah	Eigen Vektor
A	947,339	1039,806	1272,657	1481,224	1292,301	1184,835	1174,692	1325,549	1225,264	10943,666	0,145
B	834,089	919,744	1122,229	1309,921	1141,218	1046,730	1037,405	1173,039	1082,274	9666,649	0,128
C	649,978	715,095	875,062	1018,321	889,573	814,305	807,945	912,855	843,396	7526,530	0,099
D	613,604	675,828	823,964	965,056	838,442	768,739	759,403	863,048	792,867	7100,951	0,094
E	665,771	733,987	898,347	1045,318	916,196	834,306	828,080	940,721	866,699	7729,426	0,102
F	746,430	818,433	1003,087	1167,789	1019,128	936,997	927,070	1047,575	967,340	8633,848	0,114
G	739,185	813,006	995,373	1157,718	1011,812	928,694	921,779	1039,151	961,542	8568,261	0,113
H	656,302	722,469	884,043	1030,675	901,476	823,086	814,650	927,113	852,529	7612,342	0,101
I	681,521	750,612	919,250	1068,747	936,392	856,168	850,050	961,839	888,390	7912,969	0,105
Jumlah	6534,219	7188,979	8794,013	10244,769	8946,538	8193,859	8121,073	9190,892	8480,300	75694,643	1,000

Sumber: Analisis Pribadi, 2024

Berdasarkan tabel 4 yang tersaji di atas maka dapat dilihat jika selisih dari nilai eigen vector pada iterasi pertama dan kedua adalah sebesar 0,000 pada masing-masing faktor. Dengan didapatnya nilai selisih sesuai ketentuan maka tahap selanjutnya dalam menghitung bobot setiap faktor. Bobot dari semua faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas tenaga kerja yang didapat dari nilai eigen vector pada iterasi terakhir. Berikut merupakan tabulasi bobot setiap faktor.

Tabel 5. Bobot setiap faktor produktivitas

Faktor	Bobot
A	0,145
B	0,128
C	0,099
D	0,094
E	0,102
F	0,114
G	0,113
H	0,101
I	0,105

Sumber: Analisis Pribadi, 2024

Berdasarkan bobot pada setiap faktor yang mempengaruhi produktivitas tenaga kerja, maka

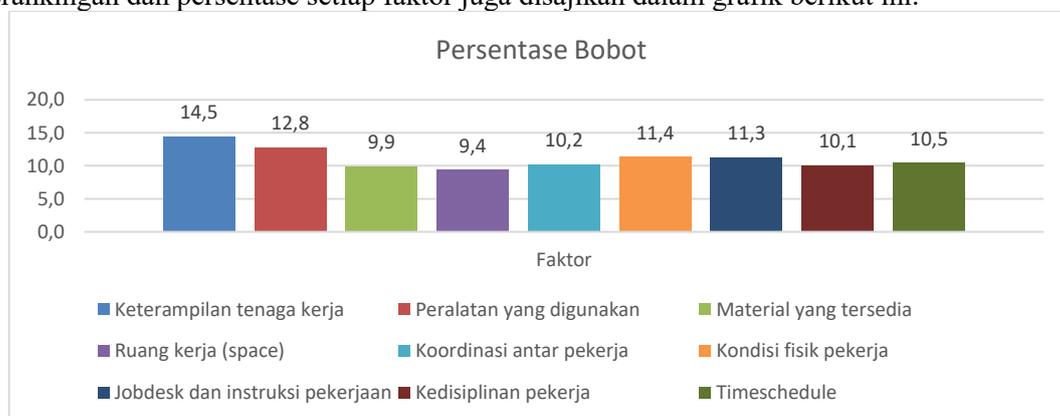
akan dihitung bobot prioritas dari setiap actor. Perhitungan bobot prioritas dilakukan dengan mengubah nilai eigen vector ke dalam bentuk persentase yang kemudian akan diranking. Tabulasi bobot prioritas dan perankingan setiap faktor dapat dilihat dalam tabel berikut ini.

Tabel 6. Perankingan dan bobot setiap faktor

Faktor	Bobot Prioritas	Ranking
A Keterampilan tenaga kerja	14,5%	1
B Peralatan yang digunakan	12,8%	2
C Material yang tersedia	9,9%	8
D Ruang kerja (<i>space</i>)	9,4%	9
E Koordinasi antar pekerja	10,2%	6
F Kondisi fisik pekerja	11,4%	3
G <i>Jobdesk</i> dan instruksi pekerjaan	11,3%	4
H Kedisiplinan pekerja	10,1%	7
I <i>Timeschedule</i>	10,5%	5

Sumber: Analisis Pribadi, 2024

Perankingan dan persentase setiap faktor juga disajikan dalam grafik berikut ini.



Gambar 2. Grafik persentase bobot prioritas

Sumber: Analisis Pribadi, 2024

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan jika faktor yang paling berpengaruh dalam produktivitas tenaga kerja dalam pelaksanaan proyek konstruksi secara berurutan, yaitu keterampilan tenaga kerja dalam melaksanakan pekerjaan di lapangan (14,5%), Peralatan yang digunakan selama bekerja (12,8%), Kondisi fisik pekerja (11,4%), *Jobdesk* dan instruksi pekerjaan yang diberikan oleh atasan (11,3%), *Timeschedule* atau waktu pelaksanaan pekerjaan (10,5%), koordinasi antar para pekerja (10,2%), Kedisiplinan pekerja selama bekerja atau pelaksanaan proyek (10,1%), material yang tersedia (9,9%), dan yang terakhir adalah ruang kerja atau *space* yang tersedia dalam melakukan suatu pekerjaan (9,4%).

REFERENSI

- Herjanto, E. (2007). *Manajemen Operasi*. Jakarta: Grasindo.
- Hernandi, Y., & Tamtana, S. (2020). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Pekerja Pada Pelaksanaan Konstruksi Gedung Bertingkat. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(2), 299-312.
- Kevin, Y., & Sulistio, H. (2018). Pengaruh Produktivitas Terhadap Biaya Pekerjaan Fabrikasi Besi Proyek Indonesia 1 Dengan Metode Crew Balance Chart. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 61-70.
- Laksmi, I. A. (2019). Faktor Sukses Penerbitan IMB di Kabupaten Gianyar, Bali. *Jurnal Spektran* Vol. 7, No 2, 195-203.
- Laksmi, I. C. (2023). Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Biaya-Biaya dalam Pelaksanaan Proyek Skala Kecil di Bali. Denpasar: Universitas Warmadewa.
- Laksmi, I. V. (2022). Faktor dan Metode Estimasi Biaya Proyek Selama Masa Pandemi Covid-19 Pada Pelaksana Jasa Konstruksi Skala Kecil di Bali. Denpasar: Lembaga Penelitian Universitas Warmadewa.
- Monica Tanskanovia Magna, Widi Hartono, & Sugiyarto. (2017). ANALISIS RISIKO KONSTRUKSI STRUKTUR BORE PILE PADA PROYEK DENGAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP). *Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 598-604.
- Ningsih, S. (2024). Pengaruh Teknologi Terhadap Produktivitas Tenaga Kerja di Indonesia. *BENEFIT: Journal Of Business, Economics, And Finance*, 2(1), 1-9.
- Parengkuan, E. (2019). Produktivitas Kerja yang dilihat dari Faktor Usia dan Pengalaman Kerja. *Jurnal Manajemen*, 02(02), 145-153.
- Sean A.M.Pebakirang, Agung Sutrisno, & Johan Neyland. (2017). Penerapan Metode Ahp (Analytical Hierarchy Process) Untuk Pemilihan Supplier Suku Cadang Di Pltd Bitung. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin* Volume 6 Nomor 1, 32-44.
- Sumadi, I. E., Wiranata, A., & Asmara, A. A. (2016). Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Pembengkakan Biaya Konstruksi (Cost Overrun) Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Pada Proyek Konstruksi Di Kota Denpasar dan Kabupaten Badung. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil • A Scientific Journal Of Civil Engineering* Vol. 20 No. 1 □ Januari 2016, 66-71.
- Suyatno. (2010). Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan Penyelesaian Proyek Gedung (Aplikasi Model Regresi). Semarang: Universitas Diponegoro.

Kajian Penerapan Health, Safety, Security And Environment (HSSE) Management System Berbasis ISO Pada PT. PELINDO IV (Persero) Terminal Petikemal Bitung

Study of the Implementation of the ISO-Based Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Management System at PT. PELINDO IV (Persero) Bitung Container Terminal

Adrian Philip Marthinus¹, Jermias Tjakra, Grace Yoyce Malingkas

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Telp: (0431) 863886.

email: adrianphmarth@unsrat.ac.id

Abstrak

Penerapan Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Management System berbasis ISO menjadi tuntutan dalam dunia industri untuk memastikan keselamatan, kesehatan kerja, keamanan, dan perlindungan lingkungan di tempat kerja. Pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung, sebagai salah satu pelabuhan utama di kawasan Indonesia Timur, HSSE Management System berbasis ISO menjadi sangat penting dalam menghadapi risiko kerja yang tinggi, terutama dengan intensitas penggunaan alat berat, jumlah karyawan, serta volume material yang besar. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengkajian penerapan Health, Safety, Security and Environment (HSSE) Management System Berbasis ISO pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung. Penelitian dilakukan menggunakan metode survei melalui lembar kuisioner dan wawancara, kemudian diolah dalam bentuk tabel distribusi frekuensi. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa hasil kajian penerapan HSSE Management System berbasis ISO pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung dikategorikan “baik” untuk Kepemimpinan dan Partisipasi Pekerja, “baik” untuk Perencanaan, “baik” untuk Dukungan dan Operasi, “baik” untuk Evaluasi Kinerja, dan “baik” untuk Peningkatan Berkesinambungan.

Kata Kunci: HSSE Management System; Industri; ISO; Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung.

Abstract

The implementation of the ISO-based Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Management System has become a critical demand in the industrial world to ensure safety, occupational health, security, and environmental protection in the workplace. At PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung, as one of the main ports in Eastern Indonesia, the ISO-based HSSE Management System is crucial in addressing high work risks, especially with the intensive use of heavy equipment, a large workforce, and high material volume. This research aims to assess the implementation of the ISO-based Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Management System at PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung. The study was conducted using a survey method through questionnaires and interviews, with the results processed into frequency distribution tables. The research concluded that the assessment of the ISO-based HSSE Management System implementation at PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung was categorized as “good” in Leadership and Worker Participation, “good” in Planning, “good” in Support and Operation, “good” in Performance Evaluation, and “good” in Continual Improvement.

Keywords: HSSE Management System; Industry; ISO; Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung.

PENDAHULUAN

Penerapan *Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Management System* berbasis ISO menjadi tuntutan dalam dunia industri untuk

memastikan keselamatan, kesehatan kerja, keamanan, dan perlindungan lingkungan di tempat kerja. Di Indonesia, pemerintah telah mengatur penerapan *HSSE Management System* melalui beberapa regulasi, seperti Peraturan Pemerintah No.

50 Tahun 2012 tentang penerapan SMK3, dan diperkuat oleh Peraturan Menteri PUPR No. 10 Tahun 2021 serta PP No. 22 Tahun 2020. Peraturan ini mewajibkan perusahaan, terutama di sektor konstruksi dan industri, untuk menerapkan SMK3 guna memastikan standar keselamatan yang lebih baik di tempat kerja.

Namun, data Prioritas Ketenagakerjaan SDI 2024 menunjukkan bahwa jumlah kecelakaan kerja di Indonesia mencapai 162.327 kasus dari Januari hingga Mei 2024 (Goodstats.id, 2024). Tingginya angka kecelakaan kerja ini sebagian besar diakibatkan oleh kelemahan dalam penerapan sistem manajemen keselamatan yang kurang berfokus pada peningkatan berkelanjutan (*continual improvement*). Sebagian besar perusahaan hanya berfokus pada pemenuhan regulasi tanpa adanya komitmen yang kuat terhadap peningkatan internal sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja.

Dalam tujuh tahun terakhir, beberapa penelitian terkait penerapan *HSSE Management System* di sektor konstruksi dan industri menunjukkan bahwa banyak perusahaan masih belum mengoptimalkan penerapan sistem ini. Adrian (2019), dalam studinya pada proyek konstruksi berisiko tinggi di Indonesia, menemukan bahwa kelengkapan fasilitas K3 masih dikategorikan sedang, dengan angka penerapan sebesar 75%. Setyawati (2020) mengungkapkan bahwa pada industri pelabuhan, implementasi K3 sering kali mengalami kendala dalam hal dukungan operasional dan pemantauan yang lemah. Rahman (2018) dalam penelitiannya pada PT. Krakatau Steel juga menemukan bahwa evaluasi kinerja K3 sering kali tidak dilakukan secara berkala, sehingga menimbulkan kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan di lapangan.

Pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung, sebagai salah satu pelabuhan utama di kawasan Indonesia Timur, *HSSE Management System* berbasis ISO menjadi sangat penting dalam menghadapi risiko kerja yang tinggi, terutama dengan intensitas penggunaan alat berat, jumlah karyawan, serta volume material yang besar. Penerapan *HSSE Management System* di lingkungan ini menjadi krusial untuk mengantisipasi terjadinya kecelakaan dan penyakit akibat kerja, mengingat Terminal Petikemas Bitung merupakan salah satu pusat operasional utama PT. Pelindo IV.

Berbagai laporan dan berita terkait penerapan *HSSE Management System* di PT. Pelindo IV Terminal Petikemas Bitung menunjukkan bahwa meskipun sudah dilakukan upaya penerapan, tantangan dalam pelaksanaan tetap ada. Dirangkum dari *money.kompas.com* dan *bisnis.com* bahwa dukungan operasional dan partisipasi pekerja dalam

penerapan sistem K3 perlu diperkuat, terutama dalam upaya peningkatan berkelanjutan dan evaluasi kinerja yang lebih intensif. Selain itu, dukungan dari manajemen juga harus lebih difokuskan pada perencanaan dan penyediaan sarana serta prasarana yang memadai guna memastikan implementasi sistem berjalan dengan efektif.

Untuk menanggapi permasalahan tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk melakukan pengkajian penerapan *HSSE Management System* berbasis ISO di PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung. Penelitian dilakukan dengan metode survei menggunakan kuesioner dan wawancara, kemudian hasilnya akan diolah dalam bentuk tabel distribusi frekuensi untuk analisis lebih lanjut.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan pengkajian penerapan *Health, Safety, Security and Environment (HSSE) Management System* Berbasis ISO pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung.

Batasan Penelitian

Penelitian ini menggunakan batasan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung.
2. Penerapan *Health, Safety, Security and Environment (HSSE) Management System* di lokasi penelitian
3. ISO 45001 : 2018.
4. Penelitian dilakukan pada jam kerja dengan pengambilan data kuesioner, wawancara dan observasi di proyek terkait sesuai dengan peraturan-peraturan yang berlaku.

Manfaat Penelitian

1. Manfaat Akademis
Manfaat akademis yang diharapkan dari hasil penelitian adalah seperti berikut yaitu:
 - a. Untuk bidang ilmu pengetahuan, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya pada pengembangan upaya-upaya untuk menghasilkan terobosan baru dibidang K3 Konstruksi dan Industri.
 - b. Referensi untuk penelitian *HSSE* selanjutnya.
 - c. Dapat digunakan sebagai bahan ajar dalam mata kuliah terkait K3L sehingga membantu mahasiswa memahami penerapan K3L

berbasis standar ISO di dunia Konstruksi dan Industri.

2. Manfaat Praktis

Manfaat praktis yang diharapkan dari hasil penelitian adalah seperti berikut yaitu:

- a. Peningkatan efektifitas *HSSE* di PT. Pelindo IV dan perusahaan pelabuhan lainnya.
- b. Dapat dijadikan panduan penerapan *HSSE* berbasis ISO.
- c. Sebagai bahan evaluasi untuk perbaikan berkelanjutan dalam penerapan *HSSE* bagi praktisi industri.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung yang berlokasi di kota Bitung, Sulawesi Utara.

Data Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah metode *deskriptif* dan *verifikatif*. Metode ini digunakan untuk meneliti kondisi sekelompok individu, objek, sistem, atau peristiwa pada saat ini (Moh. Nazir, 2005:54). Penelitian dilakukan dengan metode survei melalui pendekatan *participative research*, yaitu metode yang menekankan pada pengumpulan data melalui pertanyaan serta analisis terhadap jawaban yang diberikan.

Pengambilan data terbagi menjadi dua, yaitu:

1) Data Primer

Data primer *dikumpulkan* melalui survei dengan menggunakan kuesioner terstruktur yang disusun berdasarkan Siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) ISO 45001:2018. Responden terdiri dari pihak-pihak yang memiliki kewenangan dalam penerapan *HSSE* di perusahaan, yaitu *Top Management* dan *Health, Safety, Security, and Environment (HSSE) Executive Committee* sebanyak 20 orang. Kuesioner penelitian ini terdiri dari 27 pertanyaan yang dibagi ke dalam 5 kategori, di mana penerapan *HSSE* dievaluasi dalam kategori baik jika > 75 % pertanyaan yang jawabannya “ya”, kategori sedang jika 40 - 75 % pertanyaan yang jawabannya “ya”, dan kategori buruk jika 40 % pertanyaan yang jawabannya “ya”, serta diikuti dengan argumentasi responden terkait penerapan *HSSE*.

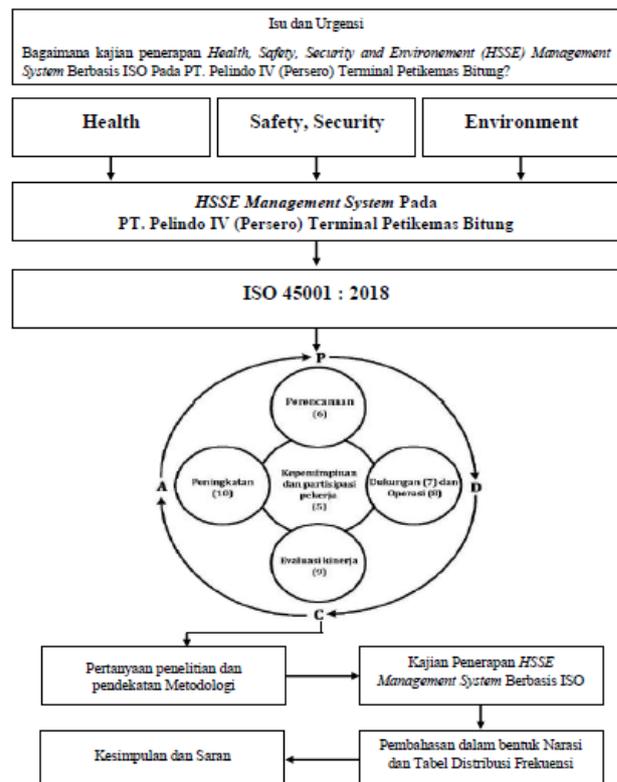
2) Data Sekunder

Data sekunder *dikumpulkan* melalui pengumpulan informasi mengenai jumlah pekerja yang terlibat, dokumen tentang *HSSE* seperti Laporan Bulanan Sistem Manajemen K3L

(SMK3L), serta beberapa referensi dari hasil penelitian yang relevan.

Data kuesioner yang telah dikumpulkan kemudian diolah, dianalisis, dan disajikan dalam bentuk tabel distribusi frekuensi. Sementara itu, data sekunder disajikan dalam bentuk narasi berdasarkan ketentuan yang berlaku untuk mendukung pembahasan, kesimpulan, dan saran yang tepat.

Diagram Alur Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Penerapan *HSSE Management System* Berbasis ISO pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung

Health, Safety, Security and Environment Management System, PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung ini dijabarkan sesuai aturan standar ISO 45001 : 2018, sebagai berikut:

• Kepemimpinan dan Partisipasi Pekerja

Dalam penerapan *HSSE Management System*, kepemimpinan di PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung menunjukkan peran yang signifikan. Pimpinan bertindak sebagai *role model*, berfokus pada program-program *HSSE* sebagai bagian dari indikator *Key Performance Indicator* (KPI) perusahaan, dengan tujuan utama mencapai *zero accident*. Aktivitas ini menunjukkan komitmen manajemen untuk menjadikan *HSSE*

sebagai prioritas yang ditanamkan pada semua level organisasi.

Selain itu, perusahaan secara rutin melaksanakan *sharing session* dan Rapat Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3) untuk memantau dan mengevaluasi penerapan *HSSE* di perusahaan. Partisipasi pekerja dalam rapat dan sesi berbagi ini memperkuat keterlibatan pekerja dalam menjaga keselamatan dan kesehatan kerja. Dukungan dari manajemen juga sangat baik, menunjukkan adanya sinergi yang kuat antara pimpinan dan pekerja dalam menjaga lingkungan kerja yang aman.

• **Perencanaan**

Perencanaan dan program *HSSE* di Terminal Petikemas Bitung mendapat arahan langsung dari kantor pusat, sementara cabang bertanggung jawab atas implementasi dan operasionalisasi program-program tersebut. PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung juga telah melengkapi pekerja terkait dengan pendidikan dan pelatihan (diklat) untuk memperoleh sertifikasi *HSSE Management System*, guna memastikan setiap pekerja memiliki kompetensi yang dibutuhkan dalam melaksanakan tugasnya secara aman dan sesuai dengan standar *HSSE*.

• **Dukungan dan Operasi**

Dukungan dan operasi dalam *HSSE Management System* di PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung dijalankan dengan disiplin tinggi. Setiap individu yang berada di area operasional, termasuk pihak eksternal seperti tamu, diwajibkan mematuhi protokol *HSSE*, seperti penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dan mengikuti prosedur *safety induction* dan *safety briefing*. Komitmen bersama yang melibatkan 18 stakeholder di area perusahaan juga mencerminkan pendekatan kolaboratif dalam menjaga keselamatan kerja.

• **Evaluasi Kinerja**

Evaluasi kinerja *HSSE Management System* dilakukan secara teratur melalui Rapat P2K3 yang diadakan setiap triwulan, dengan laporan disampaikan kepada Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi Provinsi Sulawesi Utara. Selain itu, perusahaan juga melaksanakan rapat evaluasi bulanan yang diadakan bersama kantor pusat untuk memantau implementasi dan efektivitas program *HSSE*.

• **Peningkatan Berkesinambungan**

PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung telah melakukan berbagai program untuk mendukung peningkatan berkesinambungan, seperti program SMS (Safety Induction, Minimum Requirement, dan Sterilisasi Terminal). Program

ini bertujuan untuk memperbaiki kondisi keselamatan kerja dan menumbuhkan *HSSE culture* di lingkungan perusahaan. Selain itu, sosialisasi terkait program *HSSE* juga dilakukan secara rutin.

Gambaran Hasil Penelitian dengan Kuesioner di PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung

Penilaian Penerapan *HSSE Management System* di PT. PELINDO IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung diukur melalui siklus PDCA (*Plan - Do - Check - Act*) pada penerapan ISO 45001 : 2018, karena itu kuesioner yang diberikan kepada responden ditinjau dan dibahas secara khusus untuk setiap kategorinya seperti berikut:

Tabel 1. Distribusi Responden Berdasarkan Kepemimpinan dan Partisipasi Pekerja PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung tahun 2024

Kategori Kepemimpinan dan Partisipasi Pekerja	Jumlah	
	Frekuensi	Presentase (%)
Baik	20	100
Sedang	0	0
Buruk	0	0
Jumlah	20	100

Sumber : Hasil kuesioner 2024

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa 100% responden menyatakan Kepemimpinan dan Partisipasi Pekerja dalam penerapan *HSSE management system* di perusahaan berjalan dengan baik. Hal ini mencerminkan adanya komitmen kuat dari pimpinan yang berperan sebagai *role model* serta partisipasi pekerja yang aktif dalam penerapan *HSSE*.

Tabel 2. Distribusi Responden Berdasarkan Perencanaan PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung tahun 2024

Kategori Perencanaan	Jumlah	
	Frekuensi	Presentase (%)
Baik	19	95
Sedang	1	5
Buruk	0	0
Jumlah	20	100

Sumber : Hasil kuesioner 2024

Sebagian besar responden menilai perencanaan *HSSE* di PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung telah dijalankan dengan baik, meskipun ada sedikit ruang untuk perbaikan. Sebanyak 95% responden menyatakan bahwa

perencanaan berjalan baik, sementara 5% menyatakan berada pada kategori sedang.

Sumber : Hasil kuesioner 2024

Tabel 3. Distribusi Responden Berdasarkan Dukungan dan Operasi PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung tahun 2024

Kategori Dukungan dan Operasi	Jumlah	
	Frekuensi	Presentase (%)
Baik	20	100
Sedang	0	0
Buruk	0	0
Jumlah	20	100

Sumber : Hasil kuesioner 2024

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa 100% responden menyatakan Dukungan dan Operasi dalam penerapan *HSSE management system* di perusahaan berjalan dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan *HSSE* dalam operasional sehari-hari dilakukan dengan disiplin dan konsisten, termasuk dalam penggunaan APD dan penerapan prosedur keselamatan.

Tabel 4. Distribusi Responden Berdasarkan Evaluasi Kinerja PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung tahun 2024

Kategori Evaluasi Kinerja	Jumlah	
	Frekuensi	Presentase (%)
Baik	20	100
Sedang	0	0
Buruk	0	0
Jumlah	20	100

Sumber : Hasil kuesioner 2024

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa 100% responden menyatakan Evaluasi Kinerja dalam penerapan *HSSE* berjalan dengan baik. Ini menegaskan bahwa monitoring terhadap penerapan *HSSE* dilakukan sesuai dengan prosedur dan jadwal yang ditetapkan.

Tabel 5. Distribusi Responden Berdasarkan Peningkatan Berkelanjutan PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung tahun 2024

Kategori Peningkatan Berkesinambungan	Jumlah	
	Frekuensi	Presentase (%)
Baik	20	100
Sedang	0	0
Buruk	0	0
Jumlah	20	100

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa 100% responden menyatakan Peningkatan Berkelanjutan dilakukan dengan baik. Ini menunjukkan bahwa PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung terus berupaya melakukan perbaikan dalam *HSSE system* secara konsisten.

PENUTUP Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian langsung di lapangan, hasil wawancara kepada pihak *Health, Safety, Security and Environment (HSSE) Executive Committee* perusahaan dan berdasarkan hasil kuesioner dari para responden disimpulkan bahwa hasil kajian penerapan *HSSE Management System* berbasis ISO pada PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Petikemas Bitung dikategorikan “baik” untuk Kepemimpinan dan Partisipasi Pekerja, “baik” untuk Perencanaan, “baik” untuk Dukungan dan Operasi, “baik” untuk Evaluasi Kinerja, dan “baik” untuk Peningkatan Berkesinambungan.

Rekomendasi

1. Perusahaan harus meningkatkan dukungan terhadap program pelatihan *HSSE* berkelanjutan guna memastikan pembaruan keterampilan pekerja terkait *HSSE*.
2. Untuk mengurangi kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan *HSSE*, perusahaan sebaiknya menerapkan sistem monitoring lapangan berbasis teknologi yang dapat memberikan data *real-time* terkait penerapan *HSSE*.
3. Melakukan pelatihan *HSSE* secara rutin dan difokuskan pada peningkatan kesadaran pentingnya *HSSE* di seluruh level perusahaan.
4. Perlu dilakukan integrasi secara menyeluruh terkait 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat, Rajin) dalam proses kerja operasional di lingkungan kerja.
5. Perusahaan perlu melakukan penguatan budaya K3 melalui pendekatan langsung dan tidak langsung disertai sistem penghargaan bagi pekerja yang mematuhi protokol *HSSE*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Riset Dasar Unggulan UNSRAT Klaster 2 (RDUU_K2) ini dilaksanakan dengan pembiayaan yang bersumber dari Daftar Isian Pelaksanaan

Anggaran (DIPA) Universitas Sam Ratulangi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Tahun 2024.

2023 (92-98) ISSN: 2655-6421, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.

REFERENSI

- Bustamin, M. O., Nugroho, W. A., Kuroumang, U. U., 2022. Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Proyek Apartemen Klaska Residence Surabaya. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil*, Vol. 4 No. 2 2022, ISSN: 2655-6421, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- GoodStats, 2024. Indonesia Catat Lebih dari 160 Ribu Kecelakaan Kerja pada 2024. Jakarta. <https://goodstats.id/article/indonesia-catat-lebih-dari-160-ribu-kecelakaan-kerja-pada-2024-ZPCSs>
- Instruksi Menteri Tenaga Kerja No. 02/M/BW/BK/1984. *Pengesahan Alat Pelindung Diri*, Jakarta.
- ISO 45001:2018. *Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja-Persyaratan dan pedoman penggunaan*.
- Kompas, 2024. Pelindo Petikemas Lanjutkan Transformasi di 32 Terminal Peti Kemas. Jakarta. <https://money.kompas.com/read/2024/05/28/194146726/pelindo-petikemas-lanjutkan-transformasi-di-32-terminal-peti-kemas>
- Marthinus, A.P., Manoppo, F. J., Lumeno, S. S., 2019. "Model Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pada Proyek Infrastuktur Jalan Tol Manado-Bitung", *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 7 No.4, April 2019 (433-448) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Marthinus, A.P., Pratasias, P. A. K., Arsjad, T. A., 2023. "Evaluasi Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pada Proyek Konstruksi Puri Kelapa Gading Minahasa Utara", *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil*, Vol. 5 No.2, Desember 2023 (92-98) ISSN: 2655-6421, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Mentang, M. I. F., J. Tjakra, J. E. Ch. Langi, D. R. O. Walangitan, 2013. Evaluasi Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pada Peningkatan Fasilitas PT. Trakindo Utama Balikpapan. *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 01 No. 05 April 2013, ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Nazir, M., 2005. *Desain Penelitian*. Penerbit Gramedia Pustaka Uta, Jakarta.
- Pattisinai, A. R., Widayanti, F. R., Nusantara, D. A. D., Nadiar, F., 2020. Pentingnya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Site Proyek Konstruksi Di Era Pandemi Covid-19. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil*, Vol. 2 No. 2 2020, ISSN: 2655-6421, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Peraturan Menteri PUPR No. 10 Tahun 2021. *Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi*, Jakarta .
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja No.05/ MEN/1996. *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*, Jakarta.
- Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2020. *Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 Tentang Jasa Konstruksi*, Jakarta.
- Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012. *Penerapan Sistem Manajemen Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerjai*, Jakarta.
- Prasetyono, P. N., Dani, H., 2022. Identifikasi Risiko Pada Pekerjaan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung Sebagai Tempat Tinggal. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil*, Vol. 4 No. 1 2022, ISSN: 2655-6421, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Ridley, J., 2008. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sulawesi Bisnis, 2020. Pelindo IV Pacu Pengembangan Temrinal Peti Kemas Bitung. Manado. <https://sulawesi.bisnis.com/read/20200103/540/1186784/pelindo-iv-pacu-pengembangan-terminal-peti-kemas-bitung>

Perbandingan Debit Limpasan Metode Rasional dan Pemodelan SWMM Jaringan Drainase Jalan Parangtritis KM 3,5-4,5

Comparison of Runoff Discharge Using Rational Method and SWMM Modeling for The Drainage Network of Parangtritis Road, KM 3.5-4.5

Titiek Widyasari¹, Inanda Andita Meigawati²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra Yogyakarta, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55 -57 Yogyakarta 55231. Telp: (024) 543676. Email : titiekwidyasari@janabadra.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan debit limpasan menggunakan metode rasional dan pemodelan *Storm Water Management Model* (SWMM) dalam studi kasus drainase di Jalan Parangtritis KM 3.5-4.5, yang terdiri dari 11 *sub catchment* (SC). Total debit limpasan untuk metode rasional dengan periode ulang 2 tahun adalah 0,90 m³/s, untuk 5 tahun adalah 1,22 m³/s, dan untuk 10 tahun adalah 1,60 m³/s. Sedangkan dari pemodelan SWMM, periode ulang 2 tahun adalah 1,28 m³/s, untuk 5 tahun adalah 1,79 m³/s, dan untuk 10 tahun adalah 2,44 m³/s. Hasil dari koefisien limpasan dari pemodelan SWMM lebih besar daripada koefisien limpasan dari metode rasional, sehingga debit limpasan dari pemodelan SWMM lebih tinggi dibandingkan metode rasional. Hal ini disebabkan oleh koefisien limpasan metode rasional yang mengasumsikan lapisan kedap air dalam bentuk perumahan multi-unit tertutup dan persentase kedap air (*impervious*) di setiap *subcatchment*. Setelah dilakukan koreksi, maka hasil perhitungan debit limpasan menggunakan metode rasional akan sama dengan hasil perhitungan limpasan dari pemodelan SWMM jika koefisien limpasan metode rasional sama dengan pemodelan SWMM.

Kata Kunci: drainase; metode rasional; pemodelan; SWMM

Abstract

This research aims to compare runoff discharge using the rational method and the Storm Water Management Model (SWMM) modeling in a case study of drainage on Parangtritis Road KM 3.5-4.5, which consists of 11 sub catchments. The total runoff discharge for the rational method with a return period of 2 years is 0.90 m³/s, for 5 years is 1.22 m³/s, and for 10 years is 1.60 m³/s, and from the SWMM modeling, a return period of 2 years is 1.28 m³/s, for 5 years is 1.79 m³/s, and for 10 years is 2.44 m³/s. The runoff coefficient from the SWMM modeling is greater than the runoff coefficient from the rational method, and the runoff discharge from the SWMM modeling is higher than that from the rational method. This is caused by the runoff coefficient of the rational method, which assumes a waterproof layer in the form of closed multi-unit housing and the percentage of imperviousness in each watershed area. After correction, the results of runoff calculations using the rational method will be the same as the runoff calculations from SWMM modeling if the runoff coefficient of the rational method is equal to that of the SWMM modeling.

Keywords: drainage; rational method; modeling; SWMM

PENDAHULUAN

Drainase adalah jaringan saluran yang mengalir limpasan hujan dari daerah tangkapan (jalan, kebun, dan area pemukiman) ke tempat pembuangan air akhir di badan air, seperti sungai atau selokan. Pemodelan *runoff* (debit limpasan)

dapat digunakan untuk perancangan sistem drainase yang akan dibangun baik yang belum ada atau yang sudah ada (*redesign*) (Tamimi et al., 2016). Ada beberapa pemodelan yang bertujuan untuk mempermudah perhitungan perancangan sistem jaringan saluran untuk menampung limpasan hujan melalui program/software. Program *Storm Water*

Management Model (SWMM) yang dikembangkan oleh *United States - Environmental Protection Agency* (EPA) adalah salah satu *software/program* untuk pemodelan jaringan drainase yang sedang berkembang dan perlu diaplikasikan untuk perancangan atau penelitian (riset) (Rossman, 2022). Program SWMM merupakan pemodelan *runoff* sebagai solusi untuk membantu mengevaluasi dan merancang sistem drainase perkotaan (Ar-Rafi & Pamudjianto, 2023; Gibran & Badriani, 2024; Kartiko et al., 2018; Kinanthi et al., 2023).

Debit limpasan dapat dihitung menggunakan metode rasiona dengan memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan dari hujan pada daerah tangkapan air (DTA) (Ardiansyah et al., 2022). Intesitas hujan, durasi hujan, frekuensi, luas daerah tangkapan, abstraksi (kehilangan air akibat evaporasi, intersepsi, infiltrasi, dan tampungan permukaan), dan konsentrasi aliran adalah beberapa parameter hidrologi yang diperhitungkan dalam metode rasional (Triatmodjo, 2014).

Berdasarkan latar belakang di atas perlu dilakukan penelitian tentang perhitungan debit limpasan menggunakan metode rasional secara manual dan menggunakan pemodelan program SWMM di suatu jaringan drainase. Penelitian ini mengambil kasus permasalahan drainase di sekitar Jalan Parangtritis KM 3,5 - 4,5 Yogyakarta yang sering mengalami genangan air saat terjadi hujan. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil perhitungan debit limpasan menggunakan metode rasional dan menggunakan pemodelan *Storm Water Management Model* (SWMM) versi 5.2.4.

Program *Storm Water Management Model* (SWMM)

SWMM adalah pemodelan simulasi hujan limpasan dinamis kejadian tunggal atau jangka panjang (berkelanjutan) baik kuantitas maupun kualitas limpasan terutama di daerah perkotaan. Komponen limpasan SWMM beroperasi pada kumpulan *subcatchment* yang menerima hujan, menghasilkan limpasan, dan beban polutan. Selama periode simulasi yang terdiri dari beberapa langkah waktu, bagian penelusuran SWMM mengangkut limpasan ini melalui sistem pipa, saluran, perangkat penyimpanan/pengolahan, pompa, dan regulator. SWMM juga melacak kuantitas dan kualitas limpasan yang dihasilkan di masing-masing *subcatchment*, serta debit aliran, kedalaman aliran, dan kualitas air di setiap pipa dan saluran (Al Amin, 2020).

SWMM dirilis pada tahun 1971, yang telah mengalami peningkatan besar dan terus digunakan secara luas di dunia untuk perencanaan, analisis, dan

desain yang terkait dengan limpasan air hujan, saluran pembuangan gabungan, saluran pembuangan sanitasi, dan sistem drainase lainnya di perkotaan, dengan banyak aplikasi di daerah non-perkotaan juga. Edisi terbaru versi 5 adalah penulisan ulang lengkap dari rilis sebelumnya (Rossman, 2022).

Drainase jalan raya terletak di sisi kiri lajur di luar bahu jalan dan merupakan bagian penting dari sistem jalan raya. Karena fungsi drainase sangat bermanfaat dalam menjaga fungsional jalan, maka evaluasi fungsional rutin secara berkala (Widyasari et al., 2021). Hasil evaluasi akan menunjukkan kemampuan drainase untuk mengalir limpasan air hujan. Jika dimensi awal tidak cukup untuk mengalirkan debit limpasan, drainase memerlukan perencanaan ulang. Untuk mempermudah analisis setiap saluran, pemodelan sistem drainase sangat penting. Versi saat ini EPA SWMM 5.2 adalah salah satu program yang dapat mensimulasikan dan menganalisis model kuantitas dan kualitas air pada drainase (Widyasari et al., 2024).

Hujan Rancangan

Banjir rancangan (*design flood*) diperlukan untuk desain bangunan air, yang diperoleh dengan mengubah hujan menjadi aliran dari data hujan terukur. Hasil hidrometri harus dapat menginterpretasikan data yang tersedia, yaitu data debit atau hujan yang diukur, untuk mendapatkan besaran rancangan baik debit rancangan maupun hujan rancangan. Analisis frekuensi, sebuah proses ilmu statistik yang membantu menginterpretasikan data hidrologi menjadi besaran rancangan, antara lain untuk menghitung besaran hujan rancangan dari data hujan yang dipilih, baik dengan metode *annual maximum series* maupun *partial series*.

Analisis frekuensi adalah studi tentang banyaknya kejadian, seperti banjir, debit, atau hujan, sehingga diperlukan data yang cukup panjang. Persyaratan untuk perhitungan banjir rancangan meliputi ketersediaan dan kualitas data, untuk analisis frekuensi, periode pencatatan harus lebih dari dua puluh tahun (20 seri data) pengamatan dan (Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana ICS 93.140 Badan Standardisasi Nasional, 2016). Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah untuk menemukan hubungan antara kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Beberapa jenis distribusi frekuensi (distribusi data hidrologi) dalam analisis frekuensi data adalah normal, log-normal, Gumbel, dan log-Pearson III. Parameter statistik petunjuk untuk menentukan awal sebagai hipotesa jenis distribusi data yang sesuai. Langkah dalam analisis frekuensi adalah menentukan parameter statistik

yang akan digunakan yang terdiri dari rata-rata/*mean*, standar deviasi (*standard deviation*), koefisien variasi (*coefficient of variation*), koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*), dan koefisien kurtosis (Widyasari, 2023).

Uji kecocokan parameter dilakukan untuk memastikan distribusi frekuensi sampel data cocok dengan fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menunjukkan distribusi frekuensi tersebut dan untuk memastikan hipotesis awal bahwa distribusi data yang dipilih mengikuti distribusi data yang dipilih (normal, log-normal, Gumbel, atau log-Person III) adalah benar atau dapat diterima. Uji chi-kuadrat (*chi-square*) dan uji *Smirnov-Kolmogorov* adalah dua jenis uji kecocokan (Triatmodjo, 2014).

Uji kecocokan chi-kuadrat (χ^2) dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi data yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan ini menggunakan parameter χ^2 . Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov* dengan membandingkan probabilitas untuk tiap-tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan (D_i). Hasil uji *Smirnov-Kolmogorov* adalah hipotesis awal distribusi data yang digunakan dapat diterima, apabila selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis (D_{max}) lebih kecil dari nilai kritis uji *Smirnov-Kolmogorov* (D_o) atau dengan notasi $D_{max} < D_o$ (Widyasari, 2023).

Metode Rasional

Dianggap sebagai metode perkiraan limpasan paling tua dan paling umum, beberapa sumber mengatakan bahwa Mulvaney (1851), Kuichling (1889), atau Lloyd-Davis (1906) pertama kali menggunakan pendekatan rasional (Harto, 2000). Metode rasional digunakan pada area tangkapan yang kecil untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan besar dengan distribusi hujan dapat dianggap seragam dalam ruang dan waktu. Menurut beberapa ahli, luas tangkapan kurang dari 2,5 km² dianggap kecil. Metode rasional sangat mudah digunakan dan umum digunakan merancang sistem drainase (Triatmodjo, 2014). Parameter hidrologi yang diperhitungkan dalam metode rasional adalah durasi hujan, intensitas hujan, luas daerah tangkapan, dan koefisien aliran, seperti pada Persamaan [1].

$$Q = 0,278 \times \beta \times C \times I \times A \dots\dots\dots [1]$$

keterangan:

- Q = debit limpasan di daerah tangkapan (m³/s),
- C = koefisien limpasan total (*runoff coefficient*),
- β = koefisien penyebaran hujan,

- I = intensitas hujan (mm/jam),
- A = luas daerah tangkapan (km²).

Koefisien penyebaran hujan (β) adalah besaran reduksi hujan yang jatuh di daerah tangkapan air hujan, dimana semakin kecil luasan maka hujan yang tertangkap besar atau terfokus dan begitu pula sebaliknya. Besaran nilai β tergantung pada luas daerah tangkapan/penyebaran dan waktu hujan. Bila daerah penyebaran (A) hujan ≤ 1 km² maka besar $\beta = 100 \% = 1$.

Konsep penting dalam analisis banjir adalah koefisien aliran permukaan/pengaliran total (*runoff coefficient*) yang biasa dilambangkan dengan C atau α_{total} . Koefisien limpasan tergantung pada jenis permukaan lahan. Koefisien limpasan tiap tata guna lahan didefinisikan sebagai nisbah antara laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan (Zainuddin et al., 2023). Besaran C dihitung berdasarkan presentase luasan dan koefisien limpasan tiap tata guna lahan, seperti pada Persamaan [2].

$$C = \%A \times \alpha \dots\dots\dots [2]$$

keterangan:

- $\%A$ = presentase luasan tiap tata guna lahan,
- α = koefisien limpasan tiap tata guna lahan, perumahan multi unit tertutup dengan besaran $\alpha = 0,60 - 0,75$.

Presentase luasan tiap tata guna lahan ($\%A$) adalah perbandingan antara luasan tiap tata guna lahan (A_i) dengan luasan total daerah tangkapan (DTA). Dalam program pemodelan SWMM dikenal variabel $\%imperv$ yaitu presentase kedap air dari daerah tangkapan air yang kedap air (Rossman, 2022). Untuk itu besaran $\%A$ sama dengan $\%imperv$ yaitu dari perbandingan antara luas lahan kedap air dengan luas daerah tangkapan yang ditinjau, seperti pada Persamaan [3].

$$\%imperv = \frac{A_{imperv}}{A_{DTA}} \dots\dots\dots [3]$$

keterangan:

- $\%imperv$ = presentase kedap air (*impervious*),
- A_{imperv} = luas kawasan kedap air,
- A_{DTA} = luas daerah tangkapan air yang ditinjau.

Waktu konsentrasi yaitu waktu yang dibutuhkan oleh setetes air hujan yang jatuh di titik terjauh dalam DAS untuk mengalir ke titik kontrol. Penetapan waktu konsentrasi dapat ditetapkan menggunakan persamaan hidraulika atau persamaan

empiris. Persamaan untuk menghitung waktu konsentrasi yang cukup dikenal adalah persamaan Kirpich seperti pada persamaan [4].

$$t_c = 3,97 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \dots\dots\dots [4]$$

keterangan:

- t_c = waktu konsentrasi (menit),
- L = panjang saluran (km),
- S = kemiringan saluran.

Kemiringan saluran dalam perhitungan waktu konsentrasi menggunakan persamaan Kirpich, yang digunakan untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari titik terjauh di daerah tangkapan (hulu) ke titik keluar (hilir). Kemiringan saluran (S) adalah perbandingan antara perubahan elevasi (selisih tinggi antara titik awal dan titik akhir aliran) dengan panjang aliran itu sendiri, rumus seperti pada Persamaan [5].

$$S = \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots [5]$$

keterangan:

Δh = selisih elevasi di hulu dan hilir (m).

Intensitas hujan adalah tinggi air hujan per satuan waktu. Sifat umum intensitas hujan adalah makin kecil waktu hujan maka intensitas hujan makin tinggi dan makin besar kala ulang maka intensitas hujan makin tinggi. Wilayah yang tidak mempunyai data hujan durasi pendek dari stasiun hujan otomatis dan hanya tersedia data hujan harian, maka perhitungan besaran intensitas hujan dapat menggunakan rumus Mononobe, yang mengubah intensitas hujan harian ke intensitas hujan yang lebih pendek. Rumus Mononobe seperti pada Persamaan [6] sebagai berikut (Triatmodjo, 2014):

$$I_t = \left(\frac{R_{24}}{24}\right) \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots [6]$$

keterangan:

- I_t = intensitas hujan tiap interval waktu t (mm/jam),
- R_{24} = hujan harian dari hujan rancangan pada kala ulang tertentu (mm),
- t = waktu hujan atau interval waktu (menit).

METODE

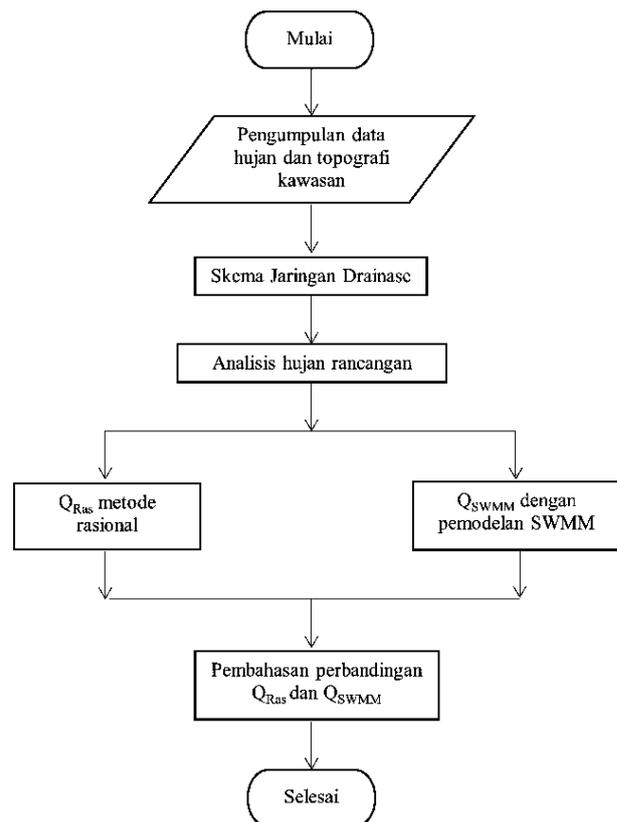
Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus di ruas Jalan Parangtritis KM 3,5 dari arah utara ke selatan dengan koordinat P1 (7°49'28.55"S,

110°22'3.72"E) sampai dengan KM 4 dengan koordinat P2 (7°50'6.79"S, 110°21'57.10"E) yang terletak di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Pengumpulan data, tahap ini digunakan untuk memperoleh data sebagai bahan tahap analisis. Data saluran drainase eksisting yang didapatkan dari pengukuran saluran dan data topografi diperoleh dari pengamatan peta *Google Earth Pro*. Data hujan yang didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Serayu Opak dan Bidang Sumber Daya Air Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta (DPUPESDM DIY).
2. Membuat skema jaringan drainase eksisting, dari data pengukuran saluran drainase dan kondisi daerah tangkapan air (DTA).
3. Menganalisis hujan rancangan, data hujan yang digunakan adalah data hujan harian stasiun Nyemengan dari tahun 2013 – 2022 dengan metode pemilihan data yaitu metode *partial series* dimana nilai batas ambang (*threshold*) diambil angka terkecil dari data maksimum dari tahun 2013 - 2022. Analisis hujan rancangan pada penelitian ini menggunakan *software excel* program analisis frekuensi (Maftuh, 2000).
4. Analisis debit limpasan dengan metode rasional secara manual di masing-masing daerah tangkapan air (DTA) menggunakan program *microsoft excel*. Perhitungan meliputi:
 - Menghitung besaran kemiringan saluran (S) menggunakan Persamaan [5] untuk menghitung waktu hujan yang didekati dengan waktu konsentrasi.
 - Menghitung besaran waktu konsentrasi (t_c) menggunakan Persamaan [4] untuk menghitung intensitas hujan.
 - Menghitung intensitas hujan (I_t) menggunakan Persamaan [6] untuk menghitung debit limpasan baik dengan metode rasional secara manual maupun pemodelan SWMM.
 - Menghitung luasan setiap daerah tangkapan air (A_{DTA}) esuai skema jaringan drainase menggunakan *Google Earth Pro*, dalam penelitian ini penamaan DTA adalah SC atau *subcatchments* (A_{SC}). Setiap DTA/SC diukur dan dihitung kondisi tata guna lahan yang kedap air (*impervious*) sehingga diperoleh luasan lahan kedap air (A_{imperv}), yang digunakan untuk menghitung %*imperv* dengan menggunakan Persamaan [3].

- Menentukan koefisien limpasan tiap tata guna lahan (α) pada kondisi tata guna lahan yang kedap air, dimana tata guna lahan untuk lokasi penelitian berupa perumahan multi unit tertutup dengan asumsi besaran $\alpha = 0,75 = 75\%$.
 - Menghitung koefisien aliran permukaan total (C) dengan menggunakan Persamaan [2], dimana $\%A$ sama dengan $\%imperv$.
 - Menentukan koefisien penyebaran hujan (β) berdasarkan luas daerah tangkapan (A_{DTA}), karena pada penelitian ini $A_{DTA} \leq 1 \text{ km}^2$ maka $\beta = 100\% = 1$.
 - Menghitung besaran debit limpasan dengan menggunakan metode rasional seperti pada Persamaan [1].
5. Analisis debit limpasan di masing-masing daerah tangkapan air dengan pemodelan program SWMM dan diambil hasil perhitungan debit limpasan di masing-masing DTA. Pemodelan SWMM dimulai dengan melakukan *input* data sesuai skema jaringan drainase, berdasarkan luas daerah tangkapan (A_{DTA}), kemiringan saluran (S), presentase daerah tangkapan air yang kedap air ($\%imperv$), dan intensitas hujan. Simulasi dengan pemodelan SWMM bertujuan untuk mengetahui limpasan air yang terjadi pada daerah penelitian yang ditinjau. Data yang sudah diolah dimodelkan pada program SWMM untuk dilakukan simulasi drainase. Simulasi dilakukan sampai dengan hasil *running* pemodelan SWMM berhasil *Run was succesful* dengan *Continuity Error (Surface Runoff dan Flow Routing)* sebesar 0,00 %.
6. Membandingkan hasil perhitungan debit limpasan dengan metode rasional secara manual pada tahap no 4 dan program SWMM pada tahap no 5.
- Diagram alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perbandingan metode rasional dan pemodelan SWMM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran saluran drainase dan kondisi daerah tangkapan pada lokasi penelitian di *Google Earth Pro* dibuat skema jaringan drainase eksisting yang dapat dilihat pada Gambar 2, penamaan sesuai pemodelan SWMM. Skema jaringan dalam SWMM terdiri dari **Subcatchments (SC)** merupakan daerah tangkapan air (DTA) yang terdiri SC1-SC2-SC3-SC4-SC5-SC6-SC7-SC8-SC9-SC10-SC11, **Conduits (CON)** merupakan saluran drainase, **Junction (J)** merupakan titik pertemuan antar saluran, **Outfalls (OUT1)** merupakan titik akhir (titik kontrol) pada sistem saluran drainase, dan **Rain gages (Sta.Nyemengan)** merupakan stasiun hujan.



Gambar 2. Skema jaringan drainase eksisting

Distribusi data hujan rancangan pada *software excel program analisis frekuensi* adalah distribusi log-Pearson III dan hujan rancangan yang yang diperoleh $R_2 = 88,10$ mm, $R_5 = 123,43$ mm, dan $R_{10} = 163,86$ mm. Data elevasi hulu + 85 m (*junction 1 = J1*) dan hilir + 77 m (*outfalls 1 = OUT1*), jadi selisih elevasi di hulu dan hilir (Δh) sebesar 8 m, dan panjang saluran (L) 1225,85 m. Kemiringan saluran (S) dihitung menggunakan Persamaan [5] diperoleh $S = 0,0065 = 0,65$ %. Waktu konsentrasi (t_c) dihitung menggunakan Persamaan [4] diperoleh $t_c = 32,23 \approx 30$ menit. Intensitas hujan (I_t) dihitung menggunakan Persamaan [6] dengan besaran hujan rancangan dan besaran t_c yang telah diperoleh. Hasil intensitas hujan $I_{R_2} = 49,04$ mm/jam, $I_{R_5} = 67,92$ mm/jam, dan $I_{R_{10}} = 90,18$ mm/jam. Besaran I_t akan digunakan untuk menghitung debit limpasan baik dengan metode rasional secara manual maupun pemodelan SWMM.

Tabel 1. Debit limpasan metode rasional kala ulang 2 tahunan (Q_{Ras,R_2})

No	DTA	Luas SC (ha)	Luas SC (m ²)	Lahan Kedap Air (m ²)	Presentase Lahan Kedap Air (% <i>imperv</i>)	Koefisien Limpasan tiap Tata Guna Lahan (α)	Runoff Coeff (C)	I_{R_2} (mm/jam)	Q_{Ras,R_2} (m ³ /s)
1	SC 1	1,00	10.000	7.100	71	0,75	0,53	49,04	0,08
2	SC 2	1,64	16.400	14.699	90	0,75	0,68	49,04	0,16
3	SC 3	1,36	13.600	4.000	30	0,75	0,23	49,04	0,05
4	SC 4	0,78	7.800	4.700	61	0,75	0,46	49,04	0,05
5	SC 5	1,39	13.900	13.500	98	0,75	0,74	49,04	0,14
6	SC 6	1,46	14.600	13.200	91	0,75	0,68	49,04	0,14
7	SC 7	0,68	6.800	1.000	15	0,75	0,11	49,04	0,02
8	SC 8	0,96	9.600	5.800	61	0,75	0,46	49,04	0,06
9	SC 9	1,17	11.700	9.200	79	0,75	0,59	49,04	0,10
10	SC 10	0,64	6.400	4.200	66	0,75	0,50	49,04	0,05
11	SC 11	0,60	6.000	4.800	80	0,75	0,60	49,04	0,05
	Total		116.800						0,90

(Hasil Analisis, 2024)

Tabel 2. Debit limpasan metode rasional kala ulang 5 tahunan (Q_{Ras,R_5})

No	DTA	Luas SC (ha)	Luas SC (m ²)	Lahan Kedap Air (m ²)	Presentase Lahan Kedap Air (% <i>imperv</i>)	Koefisien Limpasan tiap Tata Guna Lahan (α)	Runoff Coeff (C)	I_{R_5} (mm/jam)	Q_{Ras,R_5} (m ³ /s)
1	SC 1	1,00	10.000	7.100	71	0,75	0,53	67,92	0,11
2	SC 2	1,64	16.400	14.699	90	0,75	0,68	67,92	0,21
3	SC 3	1,36	13.600	4.000	30	0,75	0,23	67,92	0,06
4	SC 4	0,78	7.800	4.700	61	0,75	0,46	67,92	0,07
5	SC 5	1,39	13.900	13.500	98	0,75	0,74	67,92	0,20
6	SC 6	1,46	14.600	13.200	91	0,75	0,68	67,92	0,19
7	SC 7	0,68	6.800	1.000	15	0,75	0,11	67,92	0,02
8	SC 8	0,96	9.600	5.800	61	0,75	0,46	67,92	0,09
9	SC 9	1,17	11.700	9.200	79	0,75	0,59	67,92	0,14
10	SC 10	0,64	6.400	4.200	66	0,75	0,50	67,92	0,06
11	SC 11	0,60	6.000	4.800	80	0,75	0,60	67,92	0,07
	Total		116.800						1,22

(Hasil Analisis, 2024)

Tabel 3. Debit limpasan metode rasional kala ulang 10 tahunan ($Q_{Ras.R10}$)

No	DTA	Luas SC (ha)	Luas SC (m ²)	Lahan Kedap Air (m ²)	Presentase Lahan Kedap Air (% <i>imperv</i>)	Koefisien Limpasan tiap Tata Guna Lahan (α)	Runoff Coeff (C)	I _{R10} (mm/jam)	Q _{Ras.R10} (m ³ /s)
1	SC 1	1,00	10.000	7.100	71	0,75	0,53	90,18	0,14
2	SC 2	1,64	16.400	14.699	90	0,75	0,68	90,18	0,28
3	SC 3	1,36	13.600	4.000	30	0,75	0,23	90,18	0,08
4	SC 4	0,78	7.800	4.700	61	0,75	0,46	90,18	0,09
5	SC 5	1,39	13.900	13.500	98	0,75	0,74	90,18	0,26
6	SC 6	1,46	14.600	13.200	91	0,75	0,68	90,18	0,25
7	SC 7	0,68	6.800	1.000	15	0,75	0,11	90,18	0,02
8	SC 8	0,96	9.600	5.800	61	0,75	0,46	90,18	0,12
9	SC 9	1,17	11.700	9.200	79	0,75	0,59	90,18	0,18
10	SC 10	0,64	6.400	4.200	66	0,75	0,50	90,18	0,08
11	SC 11	0,60	6.000	4.800	80	0,75	0,60	90,18	0,10
Total			116.800						1,60

(Hasil Analisis, 2024)

Analisis debit limpasan metode rasional (Q_{Ras}) DTA sesuai Persamaan [1] untuk kala ulang 2, 5, dan 10 tahunan. Secara rinci hitungan dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, yang hasil debit limpasan total metode rasional yang diperoleh untuk kala ulang 2 tahunan ($Q_{Ras.R2}$) **0,90** m³/s, 5 tahunan ($Q_{Ras.R5}$) **1,22** m³/s, dan 10 tahunan ($Q_{Ras.R10}$) **1,60** m³/s.

Pemodelan untuk menganalisis debit limpasan di masing-masing daerah tangkapan air (DTA) dengan menggunakan program SWMM sesuai skema jaringan drainase eksisting pada Gambar 1. Data yang dipersiapkan untuk diinputkan ke program SWMM di Menu *Hydrology* – Sub Menu *Subcatchments* adalah kode daerah tangkapan air (*subcatchment* = SC), luas *subcatchment* (A_{SC}) dalam satuan ha, lebar SC (*Width*) yaitu akar dari A_{SC} dalam satuan m, kemiringan saluran (*S*), dan presentase lahan kedap air (% *imperv*) seperti pada perhitungan metode rasional di atas. Rincian data SWMM dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data SWMM menu *Hydrology* – sub menu *Subcatchments*

DTA	A_{SC} (ha)	Width (m)	Kemiringan Lahan (% <i>Slope</i>)	Presentase Lahan Kedap Air (% <i>imperv</i>)
SC 1	1,00	100,00	0,65	71
SC 2	1,64	128,07	0,65	90
SC 3	1,36	116,62	0,65	30
SC 4	0,78	88,32	0,65	61
SC 5	1,39	117,90	0,65	98
SC 6	1,46	120,84	0,65	91

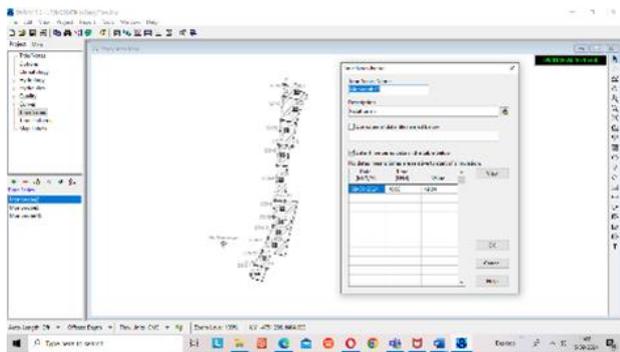
DTA	A_{SC} (ha)	Width (m)	Kemiringan Lahan (% <i>Slope</i>)	Presentase Lahan Kedap Air (% <i>imperv</i>)
SC 7	0,68	82,47	0,65	15
SC 8	0,96	97,98	0,65	61
SC 9	1,17	108,17	0,65	79
SC 10	0,64	80,00	0,65	66
SC 11	0,6	77,46	0,65	80

(Hasil Analisis, 2024)

Pemodelan SWMM pada penelitian ini berfokus pada simulasi perhitungan debit limpasan di daerah tangkapan air tidak sampai ke simulasi di kapasitas saluran, sehingga data yang diinputkan terkait dengan *subcatchment*. Pemodelan dimulai dengan memasukkan data ke menu program SWMM, meliputi penggambaran skema jaringan drainase eksisting seperti pada Gambar 2, memasukkan data simulasi di menu *Option* - Sub menu *General* - Sub menu *Dates* - Sub menu *Time Steps*, kemudian masuk ke menu *Curves*, dengan memasukkan data intensitas hujan kala ulang 2, 5, dan 10 tahunan pada sub menu *Time Series* contoh seperti pada Gambar 3.

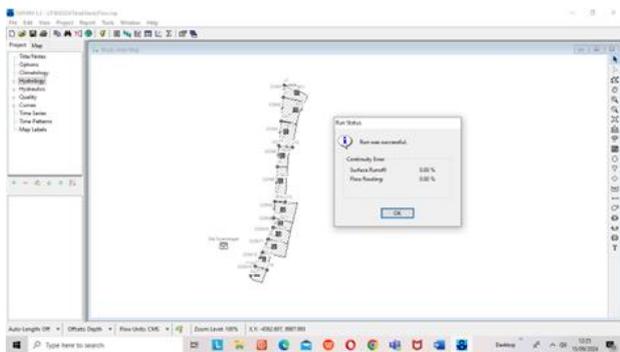
Penelitian ini merupakan pemodelan SWMM hanya pada hasil perhitungan debit limpasan tidak sampai ke perancangan saluran drainase, sehingga untuk model penelusuran adalah *steady flow* yang mewakili jenis penelusuran yang paling sederhana dengan mengasumsikan bahwa dalam setiap aliran langkah waktu komputasi seragam dan stabil (Rossman, 2022). Aliran dianggap konstan, tidak ada

perubahan debit atau ketinggian permukaan air seiring waktu, sesuai dengan metode rasional.



Gambar 3. Data intensitas hujan pada menu *Curves* - sub menu *Time Series*

Kemudian masuk ke menu *Hydrology*, dengan memasukkan data hujan (stasiun Nyemengan) ke Sub menu *Rain Gages* - Sub menu *Subcatchment* memasukkan data pada Tabel 4. Setelah semua data diinputkan dalam pemodelan SWMM, maka untuk simulasi dilakukan misal untuk intensitas hujan kala ulang 2 tahunan (Mononobe2) diproses dengan memencet icon *Run a simulation* (tanda petir pada *bar menu*) atau klik di Menu *Project* – *Run Simulation* (klik F9) akan muncul hasil proses simulasi seperti pada Gambar 4.

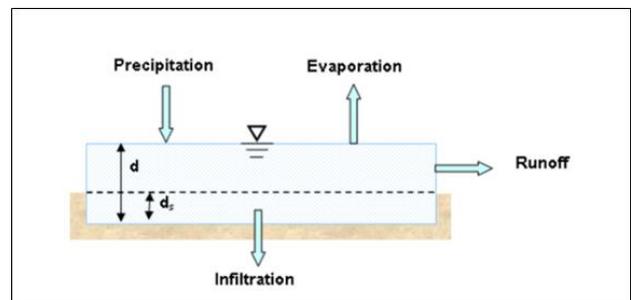


Gambar 4. Hasil proses *Run Simulation*

Hasil pemodelan SWMM pada penelitian ini diambil besaran *peak runoff* atau debit limpasan puncak dengan satuan CMS. Dalam konteks perhitungan debit, CMS sebenarnya lebih sering dipakai sebagai singkatan dari *Cubic Meter per Second* (m^3/s). Selain besaran *peak runoff*, besaran *runoff coefficient* atau koefisien limpasan yang dihasilkan dalam pemodelan SWMM diperlukan dalam penelitian untuk koreksi besaran koefisien limpasan atau koefisien aliran permukaan total (C) pada perhitungan debit limpasan metode rasional.

Tampilan konseptual limpasan permukaan yang digunakan oleh SWMM diilustrasikan pada

Gambar 5, bahwa setiap permukaan tangkapan air diperlakukan sebagai reservoir nonlinier. Aliran masuk berasal dari hujan dan tangkapan hulu yang mempengaruhi. Ada beberapa aliran keluar, yaitu termasuk infiltrasi, penguapan, dan limpasan permukaan. Kapasitas "reservoir" ini adalah penyimpanan depresi maksimum, yang merupakan penyimpanan permukaan maksimum (terbesar) yang disediakan oleh kolam, pembasahan permukaan, dan intersepsi. Limpasan permukaan per satuan luas hanya terjadi ketika kedalaman air di "reservoir" melebihi penyimpanan depresi maksimum (d_s), dalam hal ini aliran keluar diberikan oleh persamaan Manning. Kedalaman air di atas tangkapan air (d) terus diperbarui seiring waktu dengan menyelesaikan secara numerik persamaan keseimbangan air di atas tangkapan air (Rossman, 2022).



Gambar 5. Tampilan konseptual debit limpasan permukaan SWMM (Rossman, 2022)

Debit limpasan total pemodelan SWMM kala ulang 2 tahunan ($Q_{SWMM,R2}$) $1,28 m^3/s$, 5 tahunan ($Q_{SWMM,R5}$) sebesar $1,79 m^3/s$, dan 10 tahunan ($Q_{SWMM,R10}$) sebesar $2,44 m^3/s$. Rekapitulasi hasil debit limpasan pada pemodelan SWMM dapat dilihat pada Tabel 5.

Penelitian ini bertujuan membandingkan perhitungan debit limpasan (*runoff*) menggunakan metode rasional dan menggunakan pemodelan *Storm Water Management Model 5.2.4* (SWMM 5.2.4) pada studi kasus drainase di Jalan Parangtritis KM 3,5 - 4,5 yang terbagi menjadi 11 *subcatchment* (SC) atau daerah tangkapan air (DTA). Hasil yang diperoleh berupa debit limpasan metode rasional (Q_{Ras}) versus debit limpasan pemodelan SWMM (Q_{SWMM}) pada kala ulang 2, 5, dan 10 tahunan.

Tabel 5. *Peak runoff* (Q_{SWMM}) pemodelan SWMM

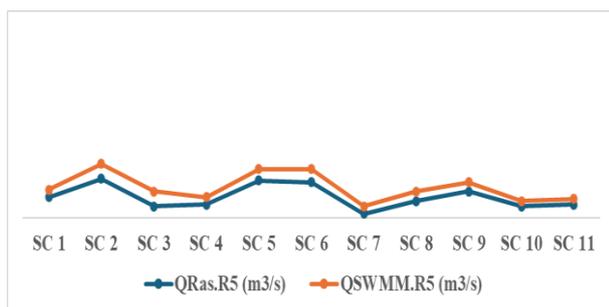
No	DTA	Q_{SWMMR2} (m^3/s)	Q_{SWMMR5} (m^3/s)	$Q_{SWMMR10}$ (m^3/s)
Kala Ulang		2 Tahunan	5 Tahunan	10 Tahunan
1	SC 1	0,11	0,15	0,21
2	SC 2	0,21	0,29	0,39
3	SC 3	0,09	0,14	0,20
4	SC 4	0,08	0,11	0,15
5	SC 5	0,19	0,26	0,34
6	SC 6	0,19	0,26	0,35
7	SC 7	0,04	0,06	0,09
8	SC 8	0,09	0,14	0,19
9	SC 9	0,14	0,19	0,26
10	SC 10	0,07	0,09	0,13
11	SC 11	0,07	0,10	0,13
Total		1,28	1,79	2,44

(Hasil Analisis, 2024)



Gambar 6. Q_{Ras} vs Q_{SWMM} kala ulang 2 tahunan

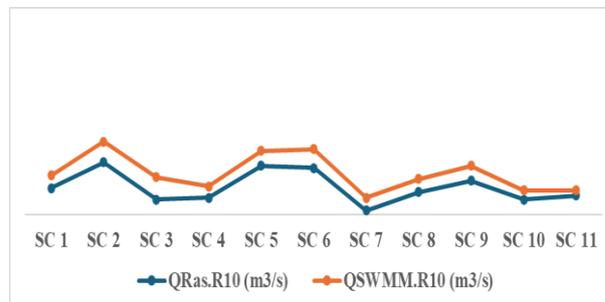
Gambar 6 menunjukkan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM kala ulang 2 tahunan ($Q_{SWMM.R2}$) mendekati debit limpasan metode rasional ($Q_{Ras.R2}$), namun ada selisih terkecil 0,02 m^3/s , terbesar 0,05 m^3/s , dan rata-rata selisih dari debit limpasan 11 DTA yaitu 0,03 m^3/s .



Gambar 7. Q_{Ras} vs Q_{SWMM} kala ulang 5 tahunan

Gambar 7 menunjukkan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM kala ulang 5 tahunan ($Q_{SWMM.R5}$) lebih besar dari debit limpasan metode rasional ($Q_{Ras.R5}$), dengan selisih terkecil 0,03 m^3/s , terbesar 0,08 m^3/s , dan rata-rata selisih dari debit limpasan 11 DTA yaitu 0,05 m^3/s .

Gambar 8 menunjukkan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM kala ulang 10 tahunan ($Q_{SWMM.R10}$) lebih besar dari debit limpasan metode rasional ($Q_{Ras.R10}$), dengan selisih terkecil 0,03 m^3/s , terbesar 0,12 m^3/s , dan rata-rata selisih dari debit limpasan 11 DTA yaitu 0,08 m^3/s .



Gambar 8. Q_{Ras} vs Q_{SWMM} kala ulang 10 tahunan

Secara keseluruhan bila dibandingkan Q_{SWMM} lebih besar dari Q_{Ras} . Semakin besar kala ulang maka semakin besar Q_{SWMM} dan Q_{Ras} yang disebabkan semakin besar kala ulang maka semakin besar juga intensitas hujan yang akan mempengaruhi perhitungan debit limpasan baik Q_{SWMM} maupun Q_{Ras} . Besaran *runoff coefficient* yang dihasilkan dari pemodelan SWMM (C_{SWMM}) dengan *runoff coefficient* yang digunakan dalam metode rasional (C_{Ras}) secara rinci ada pada Tabel 6, bahwa semakin besar kala ulang semakin besar maka nilai C_{SWMM} semakin besar. Sementara besaran C_{Ras} pada penelitian ini baik kala ulang 2, 5, dan 10 tahunan adalah sama dengan menggunakan asumsi lapisan kedap air berupa perumahan multi unit tertutup $\alpha = 0,75$ dan hanya beda pada nilai *%imperv* di tiap daerah tangkapan air.

Tabel 6. *Runoff coefficient* C_{SWMM} dan C_{Ras}

No	DTA	<i>Runoff Coeff</i> SWMMR2 (C_{SWMMR2})	<i>Runoff Coeff</i> SWMMR5 (C_{SWMMR5})	<i>Runoff Coeff</i> SWMMR10 ($C_{SWMMR10}$)	<i>Runoff Coeff</i> (C_{Ras})
Kala Ulang		2 Tahunan	5 Tahunan	10 Tahunan	
1	SC 1	0,79	0,81	0,83	0,53
2	SC 2	0,93	0,94	0,94	0,68
3	SC 3	0,50	0,54	0,59	0,23
4	SC 4	0,72	0,75	0,77	0,46
5	SC 5	0,99	0,99	0,99	0,74
6	SC 6	0,94	0,94	0,95	0,68
7	SC 7	0,39	0,45	0,50	0,11
8	SC 8	0,72	0,75	0,77	0,46
9	SC 9	0,85	0,86	0,88	0,59
10	SC 10	0,76	0,78	0,80	0,50
11	SC 11	0,86	0,87	0,88	0,60

(Hasil Analisis, 2024)

Karena C_{SWMM} yang dihasilkan pada pemodelan SWMM lebih besar dari C_{Ras} dan besaran C_{Ras} tetap, maka menghasilkan Q_{SWMM} lebih besar dari Q_{Ras} . Penelitian ini juga mengetahui perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM memiliki prinsip perhitungan yang sama dengan metode rasional. Jika dilihat dari konseptual limpasan permukaan yang digunakan oleh SWMM berupa aliran masuk dipengaruhi oleh hujan dan kondisi tangkapan.

Pada pemodelan SWMM aliran keluar berupa limpasan permukaan per satuan luas hanya terjadi ketika kedalaman air di "reservoir" melebihi penyimpanan depresi maksimum (ds) dan kedalaman air di atas tangkapan air (d) yang terus diperbarui seiring waktu dengan menyelesaikan secara numerik persamaan keseimbangan air di atas tangkapan air, ilustrasi pada Gambar 5. **Error! Reference source not found.** (Rossman, 2022). Jadi hasil $Q_{SWMM} \approx Q_{Ras}$ dengan selisih terkecil $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ dan terbesar $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ pada kala ulang 10 tahunan, karena pada perhitungan debit limpasan metode rasional dimana *runoff coefficient* (C_{Ras}) sama di semua kala ulang sementara pada pemodelan SWMM semakin besar kala ulang besaran *runoff coefficient* (C_{SWMM}) semakin besar.

Untuk membuktikan perhitungan debit limpasan metode rasional mendekati hasil debit limpasan pemodelan SWMM, maka perhitungan dengan metode rasional dikoreksi menggunakan *runoff coefficient* (C_{SWMM}) hasil dari pemodelan SWMM.

Perhitungan debit limpasan metode rasional koreksi $Q_{Ras.Koreksi}$ dengan menggunakan Persamaan [1] dapat dilihat secara rinci pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9

Tabel 7. Debit Limpasan Metode Rasional Koreksi 2 Tahunan ($Q_{Ras.R2.Koreksi}$)

No	DTA	Luas SC (ha)	Luas SC (m ²)	Runoff Coeff Koreksi ($C_{Koreksi}$)	I _{R2} (mm/jam)	Q _{Ras.R2.Koreksi} (m ³ /s)
1	SC 1	1,00	10.000	0,79	49,04	0,11
2	SC 2	1,64	16.400	0,93	49,04	0,21
3	SC 3	1,36	13.600	0,50	49,04	0,10
4	SC 4	0,78	7.800	0,72	49,04	0,08
5	SC 5	1,39	13.900	0,99	49,04	0,19
6	SC 6	1,46	14.600	0,94	49,04	0,19
7	SC 7	0,68	6.800	0,39	49,04	0,04
8	SC 8	0,96	9.600	0,72	49,04	0,10
9	SC 9	1,17	11.700	0,85	49,04	0,14
10	SC 10	0,64	6.400	0,76	49,04	0,07
11	SC 11	0,60	6.000	0,86	49,04	0,08
Total			116800			

(Hasil Analisis, 2024)

Tabel 8. Debit Limpasan Metode Rasional Koreksi 5 Tahunan ($Q_{Ras.R5.Koreksi}$)

No	DTA	Luas SC (ha)	Luas SC (m ²)	Runoff Coeff Koreksi ($C_{Koreksi}$)	I _{R5} (mm/jam)	Q _{Ras.R5.Koreksi} (m ³ /s)
1	SC 1	1,00	10.000	0,81	67,92	0,16
2	SC 2	1,64	16.400	0,94	67,92	0,29
3	SC 3	1,36	13.600	0,54	67,92	0,14
4	SC 4	0,78	7.800	0,75	67,92	0,11
5	SC 5	1,39	13.900	0,99	67,92	0,26
6	SC 6	1,46	14.600	0,94	67,92	0,26
7	SC 7	0,68	6.800	0,45	67,92	0,06
8	SC 8	0,96	9.600	0,75	67,92	0,14
9	SC 9	1,17	11.700	0,86	67,92	0,20
10	SC 10	0,64	6.400	0,78	67,92	0,10
11	SC 11	0,60	6.000	0,87	67,92	0,10
Total			116800			

(Hasil Analisis, 2024)

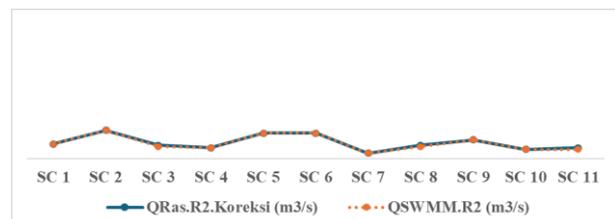
Tabel 9. Debit Limpasan Metode Rasional Koreksi 10 Tahunan ($Q_{Ras.R10.Koreksi}$)

No	DTA	Luas SC (ha)	Luas SC (m ²)	Runoff Coeff Koreksi ($C_{Koreksi}$)	I _{R10} (mm/jam)	Q _{Ras.R10.Koreksi} (m ³ /s)
1	SC 1	1,00	10.000	0,83	90,18	0,21
2	SC 2	1,64	16.400	0,94	90,18	0,39
3	SC 3	1,36	13.600	0,59	90,18	0,21
4	SC 4	0,78	7.800	0,77	90,18	0,16
5	SC 5	1,39	13.900	0,99	90,18	0,35
6	SC 6	1,46	14.600	0,95	90,18	0,35
7	SC 7	0,68	6.800	0,50	90,18	0,09
8	SC 8	0,96	9.600	0,77	90,18	0,19
9	SC 9	1,17	11.700	0,88	90,18	0,26
10	SC 10	0,64	6.400	0,80	90,18	0,13
11	SC 11	0,60	6.000	0,88	90,18	0,14
Total			116800			

(Hasil Analisis, 2024)

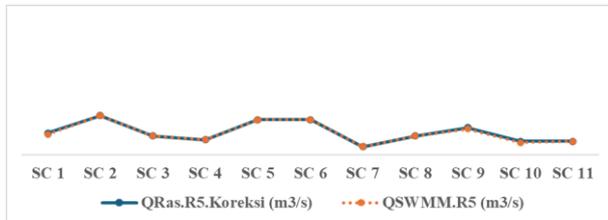
Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9 untuk debit limpasan metode rasional koreksi ($Q_{Ras.Koreksi}$) dibandingkan dengan debit limpasan pemodelan SWMM (Q_{SWMM}) yang dirinci pada

Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



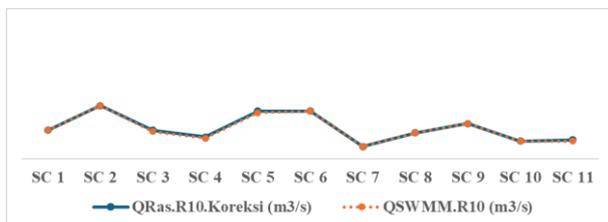
Gambar 9. $Q_{Ras.Koreksi}$ vs Q_{SWMM} kala ulang 2 tahunan

Gambar 9 menunjukkan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM kala ulang 2 tahunan ($Q_{SWMM.R2}$) **relatif sama (berimpit)** dengan debit limpasan metode rasional koreksi ($Q_{Ras.R2.Koreksi}$), dengan sangat kecil 0,01 m³/s di 3 daerah tangkapan yaitu SC 3, SC 8, dan SC 11. Debit limpasan total untuk $Q_{Ras.R2.Koreksi}$ sebesar 1,31 m³/s selisih 0,03 dari $Q_{SWMM.R2}$ sebesar 1,28 m³/s.



Gambar 10. $Q_{Ras.Koreksi}$ vs Q_{SWMM} kala ulang 5 tahunan

Gambar 10 menunjukkan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM kala ulang 5 tahunan ($Q_{SWMM.R5}$) **relatif sama (berimpit)** dengan dari debit limpasan metode rasional koreksi ($Q_{Ras.R5.Koreksi}$), dengan sangat kecil 0,01 m³/s di 3 daerah tangkapan yaitu SC 1, SC 9, dan SC 10. Debit limpasan total untuk $Q_{Ras.R5.Koreksi}$ sebesar 1,82 m³/s selisih 0,03 dari $Q_{SWMM.R5}$ sebesar 1,79 m³/s.



Gambar 11. $Q_{Ras.Koreksi}$ vs Q_{SWMM} kala ulang 10 tahunan

Gambar 11 menunjukkan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM kala ulang 10 tahunan ($Q_{SWMM.R10}$) **relatif sama (berimpit)** dengan dari debit limpasan metode rasional koreksi ($Q_{Ras.R10.Koreksi}$), dengan sangat kecil 0,01 m³/s di 4 daerah tangkapan yaitu SC 3, SC 4, SC 5 dan SC 11. Debit limpasan total untuk $Q_{Ras.R10.Koreksi}$ sebesar 2,48 m³/s selisih 0,04 dari $Q_{SWMM.R10}$ sebesar 2,44 m³/s.

Secara keseluruhan hasil perhitungan debit limpasan metode rasional koreksi dengan $C_{Ras.Koreksi} = C_{SWMM}$ sama dengan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM, maka dapat disimpulkan bahwa perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM merupakan perhitungan dengan debit limpasan metode rasional. Dengan catatan jika kondisi *runoff coefficient*

metode rasional sama dengan kondisi *runoff coefficient* pada pemodelan SWMM.

KESIMPULAN

Hasil penelitian perbandingan perhitungan debit limpasan menggunakan metode rasional dan dengan pemodelan *Storm Water Management Model* 5.2.4 (SWMM 5.2.4) pada studi kasus drainase di Jalan Parangtritis KM 3,5 - 4,5 dapat disimpulkan sebagai berikut:

Debit limpasan total metode rasional 11 daerah tangkapan air di lokasi penelitian, untuk kala ulang 2 tahunan ($Q_{Ras.R2}$) sebesar 0,90 m³/s, 5 tahunan ($Q_{Ras.R5}$) sebesar 1,22 m³/s, dan 10 tahunan ($Q_{Ras.R10}$) sebesar 1,60 m³/s. Debit limpasan total pemodelan SWMM 11 daerah tangkapan air di lokasi penelitian, untuk kala ulang 2 tahunan ($Q_{SWMM.R2}$) sebesar 1,28 m³/s, 5 tahunan ($Q_{SWMM.R5}$) sebesar 1,79 m³/s, dan 10 tahunan ($Q_{SWMM.R10}$) sebesar 2,44 m³/s.

Hasil koefisien aliran permukaan total (*runoff coefficient* atau koefisien limpasan) pemodelan SWMM (C_{SWMM}) lebih besar dari *runoff coefficient* metode rasional (C_{Ras}) untuk semua kala ulang. Hasil debit limpasan pemodelan SWMM (Q_{SWMM}) lebih besar dari debit limpasan metode rasional (Q_{Ras}) untuk semua kala ulang, karena C_{SWMM} yang dihasilkan pada pemodelan SWMM lebih besar dari C_{Ras} yang merupakan asumsi lapisan kedap air berupa perumahan multi unit tertutup $\alpha = 0,75$ dan nilai *%imperv* di tiap daerah tangkapan air.

Untuk membuktikan perhitungan debit limpasan metode rasional mendekati hasil debit limpasan pemodelan SWMM, maka perhitungan dengan metode rasional dikoreksi menggunakan *runoff coefficient* (C_{SWMM}) hasil dari pemodelan SWMM. Debit limpasan total metode rasional 11 daerah tangkapan air di lokasi penelitian, untuk kala ulang 2 tahunan ($Q_{Ras.R2.Koreksi}$) sebesar 1,31 m³/s, 5 tahunan ($Q_{Ras.R5.Koreksi}$) sebesar 1,82 m³/s, dan 10 tahunan ($Q_{Ras.R10.Koreksi}$) sebesar 2,48 m³/s. Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan debit limpasan pemodelan SWMM (Q_{SWMM}) relatif sama (berimpit) dengan dari debit limpasan metode rasional koreksi ($Q_{Ras.Koreksi}$), dengan sangat kecil 0,01 m³/s dan hanya di beberapa daerah tangkapan dan sebagian menunjukkan sama antara Q_{SWMM} dan $Q_{Ras.Koreksi}$.

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perhitungan debit limpasan pada pemodelan SWMM sama dengan perhitungan metode rasional, sehingga pemodelan SWMM dapat digunakan dalam perancangan sistem drainase. Penelitian lanjutan perlu dilakukan penggunaan metode yang lain seperti metode Melchior, metode Weduwen, atau

metode-metode lain, agar bisa digunakan sebagai pembandingan

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Rektor Universitas Janabadra atas dana Hibah Penelitian Internal Perguruan Tinggi Universitas Janabadra Tahun 2024.

REFERENSI

- Al Amin, M. B. (2020). *Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan SWMM*. Deepublish.
- Ardiansyah, Y., Satyarno, I., Triatmadja, R., & Supraba, I. (2022). Evaluasi Sistem Drainase Underpass Yogyakarta International Airport (YIA). *Rang Teknik Journal*, 5(2), 225–234.
<https://doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3074>
- Ar-Rafi, M. H., & Pamudjianto, A. (2023). Studi Evaluasi Sistem Drainase Di Kawasan Komplek Harapan Indah Kota Sorong Dengan Menggunakan Software EPA-SWMM 5.1. *Casuarina: Environmental Engineering Journal*, 1(1), 13–21.
<https://www.ejournal.um-sorong.ac.id/index.php/ceej/article/view/2859>
- Gibran, D. A., & Badriani, R. E. (2024). Analisis Kapasitas Drainase Jalan Piere Tendean Banyuwangi dengan Perangkat Lunak EPA-SWMM. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 143–157.
<https://doi.org/https://doi.org/10.28932/jts.v20i1.5194>
- Harto, S. (2000). *Hidrologi (Teori - Masalah - Penyelesaian)* (1st ed., Vol. 1). Nafiri Offset.
- Kartiko, L., Santoso, D. R., & Waspododo, B. (2018). *Analisis Kapasitas Saluran Drainase Menggunakan Program SWMM 5.1 (Drainage Channel Capacity Evaluation Using SWMM 5.1 in Tasmania Residence Bogor, West Java)* (Vol. 03).
- Kinanthi, S., Bisri, M., & Fidari, J. S. (2023). Analisis Potensi Kerugian Genangan Menggunakan SWMM 5.2 di Kelurahan Purwantoro, Kota Malang. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 451–461.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jtr.esda.2023.003.02.039>
- Maftuh, A. (2000). *Program Analisis Frekuensi, Software Excel*.
- Rossmann, L. (2022). *Storm Water Management Model User's Manual Version*.
www.epa.gov/water-research
- Tamimi, R., Wahyuni, S., & Hidayah, E. (2016). Kajian Evaluasi Sistem Drainase Jalan Srikoyo Kecamatan Patrang Kabupaten Jember (Evaluation of Drainage System in Jalan Srikoyo Kecamatan Patrang Kabupaten Jember). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 1(01), 18.
<https://doi.org/10.19184/jrsl.v1i01.3741>
- Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana ICS 93.140 Badan Standardisasi Nasional, 1 (2016). www.bsn.go.id
- Triatmodjo, B. (2014). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- Widyasari, T. (2023). Hidrologi: Edisi Banjir Rancangan. In T. E. Bhakty (Ed.), *Eureka Media Aksara*. Eureka Media Aksara.
<https://repository.penerbiteureka.com/publications/565032/hidrologi-edisi-banjir-rancangan#cite>
- Widyasari, T., Achmad, N., Bhakty, T. E., & Perdana, A. C. (2024). Analysis of Runoff Discharge on Kaliurang Road Drainage Channels KM 6.5 – 7 Using SWMM 5.2 Model. In B. S. Mohammed, T. H. Min, M. H. Sutanto, T. B. Joewono, & S. As'ad (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Emerging Smart Cities (ICESC2022)* (pp. 765–774). Springer Nature Singapore.
https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-99-1111-0_66
- Widyasari, T., Achmad, N., & Pradipta, D. A. (2021). Redesign Saluran Drainase Jalan Kaliurang km. 6, 5-7. *RANCANG BANGUN TEKNIK SIPIL*, 8(1), 6.
- Zainuddin, M. R., Selintung, M., & Lopa, R. (2023). Pengaruh Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir pada Daerah Aliran Sungai Pangkajene. *Konstruksia*, 14(2), 66–72.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24853/jk.14.2.66-72>

Durabilitas Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Abu Cangkang Kemiri dan Getah Damar Sebagai Material Substitusi

Durability of AC-WC Mixture with the Utilization of Candlenut Shell Ash and Damar Resin as Substitute Materials

Kusmira Agustian¹, Cut Liliiza Yusra², Roni Agusmaniza³

^{1,2}Program Studi Konstruksi Pondasi, Beton dan Pengaspalan Jalan, Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat, Jln. Alue Peunyareng, Ujong Tanoh Darat, Kec. Meureubo, Aceh Barat, Aceh 23681

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Jl. Alue Peunyareng, Gunong Kleng, Kec. Meureubo, Aceh Barat, Aceh 23681
Email : kusmira@aknacehbarat.ac.id

Abstrak

Durabilitas merupakan satu dari beberapa karakteristik yang dibutuhkan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran aspal dalam menghadapi perubahan iklim dan cuaca. Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan perbandingan ketahanan campuran aspal jenis AC-WC dengan penggunaan material substitusi abu cangkang kemiri dan getah damar. Tahapan yang dilakukan adalah merencanakan komposisi campuran, membuat briket Marshall, menimbang dan merendam briket selama 30 menit dalam air bersuhu 60°C, selanjutnya dilakukan uji Marshall baik pada campuran konvensional maupun dengan material substitusi untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Kadar substitusi getah damar yang digunakan adalah 2%, 4%, 6% dari berat total aspal, sementara abu cangkang kemiri sebesar 10% dari berat total *filler* dalam campuran. Setelah diperoleh KAO, tahap berikutnya adalah membuat briket pada KAO dari setiap jenis campuran, dilanjutkan dengan uji Marshall setelah direndam selama 30 menit dan 24 jam. Nilai durabilitas merupakan hasil bagi nilai stabilitas briket rendaman selama 24 jam dengan briket rendaman selama 30 menit. Hasil perhitungan yang didapat menunjukkan bahwa pemanfaatan abu cangkang kemiri dan getah damar dapat meningkatkan durabilitas campuran aspal. Durabilitas tertinggi diperoleh pada kadar substitusi 6% getah damar dan 10% abu cangkang kemiri yaitu 117,65%, sedangkan durabilitas terendah diperoleh pada campuran aspal konvensional yaitu sebesar 94,10%.

Kata Kunci: Durabilitas AC-WC, Abu cangkang kemiri; Getah damar

Abstract

Durability is one of several characteristics needed to determine the level of asphalt mixture resistance in facing climate and weather changes. This study is intended to compare the resistance of AC-WC type asphalt mixtures with the use of substitute materials of candlenut shell ash and damar resin. The stages carried out are planning the composition of the mix, making test specimens, weighing and soaking the test specimens for 30 minutes in water at a temperature of 60°C, then a Marshall test is carried out on both conventional mixtures and with substitute materials to obtain the optimum asphalt content (OAC). The substitution levels of damar resin used are 2%, 4%, and 6% of the total weight of asphalt, while candlenut shell ash is 10% of the total weight of filler in the mixture. After obtaining the OAC, the next stage is to make test specimens on the OAC of each type of mixture, followed by a Marshall test after being soaked for 30 minutes and 24 hours. The durability value is the result of dividing the stability value of the test specimen soaked for 24 hours by the test specimen soaked for 30 minutes. The calculation results obtained show that the use of candlenut shell ash and damar resin can increase the durability of the asphalt mixture. The highest durability was obtained at a substitution rate of 6% damar resin and 10% candlenut shell ash, which is 117.65%, while the lowest durability was obtained in a conventional asphalt mixture, which is 94.10%.

Keywords: Candlenut shell ash; AC-WC; Damar resin

PENDAHULUAN

Perkerasan aspal merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang paling umum dan banyak digunakan di Indonesia. Masalah yang sering ditemui pada perkerasan aspal adalah terjadinya keretakan pada permukaannya akibat nilai durabilitas yang rendah (Awuah & Garcia-Hernández, 2022). Durabilitas atau ketahanan campuran pada perkerasan aspal sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama perubahan iklim dan cuaca (Liu et al., 2022).

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki curah hujan yang relatif tinggi dengan durasi yang relatif lama, sehingga sering menimbulkan genangan air atau banjir pada permukaan jalan (Setiawan et al., 2019). Fenomena tersebut telah diidentifikasi menjadi pemicu utama penurunan tingkat ketahanan campuran aspal yang pada akhirnya menyebabkan kerusakan jalan. Hal tersebut semakin diperkuat oleh Adiman & Suparma (2022) bahwa banjir atau genangan air memiliki kemampuan untuk melemahkan ikatan kohesif aspal serta ikatan adhesif antara aspal dengan agregat. Oleh karena itu, sangat penting untuk menguji ketahanan campuran aspal terhadap perubahan iklim dan cuaca guna menghindari terjadinya kerusakan jalan (Yu-Shan & Shakiba, 2021).

Pengujian tentang pemanfaatan bahan lain dengan tujuan untuk meningkatkan durabilitas/ketahanan campuran aspal telah banyak dilakukan, diantaranya:

1. Agustian & Ridha (2018) mengungkapkan bahwa penggunaan getah damar dengan kadar 2% sebagai material pengganti aspal berpengaruh positif terhadap nilai durabilitas.
2. Agustian & Agusmaniza (2021) menyatakan bahwa pemanfaatan abu cangkang kemiri sebagai material pengganti *filler* mampu meningkatkan ketahanan campuran *asphalt concrete base course* (AC-BC) ketika terjadi perubahan temperatur udara.
3. Agustian & Agusmaniza (2022) menyebutkan pemakaian 4% getah damar sebagai material substitusi aspal terbukti mampu meningkatkan stabilitas campuran AC-BC dibandingkan dengan campuran aspal konvensional.
4. Wahyudin et al (2024) menganalisis penambahan abu cangkang kemiri sebagai *filler* pada campuran *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC). Dari hasil analisisnya, diperoleh kesimpulan bahwa peningkatan persentase abu cangkang kemiri dalam campuran berbanding lurus dengan stabilitas, atau dapat dikatakan semakin tinggi kadar penambahan abu cangkang

kemiri, menyebabkan stabilitas Marshall yang semakin baik.

Informasi latar belakang di atas mendorong penulis untuk melakukan penelitian tentang ketahanan campuran AC-WC yang diproduksi menggunakan kombinasi abu cangkang kemiri (AK) sebagai material substitusi *filler* dan getah damar (D) sebagai material substitusi aspal. Besaran kadar substitusi abu cangkang kemiri yang diaplikasikan dalam campuran adalah 10% dari berat total *filler*, sementara besaran kadar substitusi getah damar yaitu 2%, 4% dan 6% dari berat total aspal dalam campuran.

Campuran Beton Aspal

Campuran beton aspal merupakan hasil dari gabungan agregat (kasar dan halus), *filler* dan aspal yang dipanaskan dengan suhu tertentu untuk selanjutnya dilakukan pemadatan sesuai dengan ketentuan (Sukirman, 2010).

Ketentuan campuran beton aspal jenis AC-WC berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2018) seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan Beton Aspal AC

Sifat Campuran	Beton Aspal (AC)	Beton Aspal (AC-Modif)
Penyerapan aspal (%)		1,20
Jumlah tumbukan per bidang		75,00
VIM (%)		3,00 – 5,00
VMA (%)		Min. 15,00
VFB (%)		Min. 65,00
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 800	Min. 1.000
Flow (mm)	2,00 – 4,00	2,00 – 4,00
Sisa stabilitas Marshall		Min. 90,00
VIM (%) kondisi kepadatan membal (<i>refusal</i>)		Min. 2,00

Sumber: Bina Marga (2018)

Durabilitas

Durabilitas dikenal sebagai daya tahan campuran beton aspal (campuran aspal padat) dalam menerima beban lalu lintas yang berulang, seperti kendaraan dengan tonase tinggi, gesekan antara permukaan aspal dan roda kendaraan, serta kemampuan dalam menghindari terjadi keausan yang disebabkan oleh perubahan cuaca dan iklim (Sukirman, 2016).

Durabilitas campuran beton aspal dipengaruhi oleh:

1. Film aspal (selimut aspal); semakin tebal film aspal dapat meningkatkan durabilitas campuran

- beton aspal, tetapi memungkinkan terjadinya *bleeding* sehingga membuat permukaannya cenderung licin;
2. VIM (*voids in mix*) kecil, menjadikan campuran beton aspal yang kedap air sehingga udara tidak masuk ke dalam campuran. Dimana udara merupakan penyebab utama yang membuat aspal menjadi rapuh;
 3. VMA (*voids in mineral aggregate*) besar, sehingga film aspal yang dihasilkan cenderung lebih tebal. Bila VMA dan VIM rendah serta kadar aspal tinggi, kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi semakin besar.

Nilai durabilitas adalah perbandingan antara nilai stabilitas durasi rendam 24 jam dan nilai stabilitas durasi rendam 30 menit (dalam persen). Spesifikasi umum Bina Marga (2018) menyebutkan nilai durabilitas dikatakan baik apabila nilainya $\geq 90\%$.

Abu Cangkang Kemiri

Abu cangkang kemiri merupakan hasil pembakaran dari cangkang buah kemiri (*aleurites moluccanus*). Cangkang kemiri memiliki senyawa penyusun berupa CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , H_2O , Fe_2O_3 (Minanulloh et al., 2020). Berdasarkan pengujian komposisi kimia yang dilakukan Jannat et al (2021), abu cangkang kemiri mengandung unsur CaO 50,48%, SiO_2 4,89%, Al_2O_3 0,77%, Fe_2O_3 1,89%, MgO 1,67%, K_2O 27,73%, Na_2O 2,89%, SO_3 3,20%. Senyawa yang terkandung dalam abu cangkang kemiri sama dengan komponen utama yang digunakan dalam pembuatan semen yaitu kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Getah Damar

Getah damar diperoleh dari hasil sekresi (getah) dari pohon *shorea sp*, *vatica sp*, *dryobalanops sp*, dan jenis lain dari *dipterocarpaceae* termasuk damar mata kucing dan damar batu (Kuspradini et al., 2016). Getah ini biasanya keluar dari pohon setelah bagian kulit pohon terluka, baik secara alami maupun karena proses penerasan (*tapping*) oleh manusia.

MATERIAL DAN METODE

Material

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah agregat kasar dan halus hasil dari mesin pemecah batu pada *stone crusher* yang berada di Aceh Barat, aspal penetrasi 60/70 produksi PT.

Pertamina, abu cangkang kemiri dan getah damar yang diambil dari perkebunan warga yang ada di Aceh Tenggara, dan semen produksi PT. Solusi Bangun Andalas.

Abu cangkang kemiri yang dimasukkan ke dalam campuran aspal sebagai substitusi *filler* diperoleh dari proses pembakaran sempurna, selanjutnya dilakukan penyaringan dan abu yang digunakan adalah material yang tertampung di dalam *pan* (lolos ayakan 200), sama halnya dengan getah damar yang nantinya dicampur ke dalam aspal, adalah material yang lolos ayakan 200 yang sebelumnya telah ditumbuk sampai halus dan dilakukan proses penyaringan untuk memperoleh material yang diinginkan.



Gambar 1a.
Abu cangkang kemiri

Gambar 1b.
Bubuk getah damar

Sebelum dilakukan perhitungan komposisi campuran dan pembuatan briket Marshall, semua material penyusun tersebut harus dilakukan pemeriksaan sifat fisisnya, agar diketahui apakah material yang digunakan telah memenuhi persyaratan atau tidak.

Pemeriksaan sifat fisis agregat yang dilakukan adalah berat jenis, penyerapan, berat isi, kekerasan dan keausan agregat. Sementara pemeriksaan aspal meliputi berat jenis, titik lembek, daktilitas dan penetrasi mengacu pada spesifikasi umum Bina Marga (2018).

Khusus untuk abu cangkang kemiri dan aspal yang disubstitusi dengan getah damar hanya dilakukan pengujian berat jenis.

Metode

Tahap lanjutan yang dilakukan dalam penelitian ini setelah semua material memenuhi persyaratan yaitu menghitung komposisi agregat dalam campuran AC-WC baik campuran konvensional maupun dengan pemanfaatan material substitusi, menghitung kadar aspal ideal (*Pb*) untuk menentukan variasi kadar aspal yang nantinya diaplikasikan dalam campuran, dilanjutkan dengan pembuatan briket Marshall, penimbangan briket dan diakhiri dengan pengujian kuat tekan Marshall setelah perendaman sesuai dengan durasi yang

direncanakan di dalam *waterbath* bersuhu 60 derajat celcius.

Berdasar pada data yang diperoleh tersebut, dilakukan analisis untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO) pada tiap jenis campuran berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2018). Setelah KAO didapat, kembali dilakukan pembuatan briket Marshall pada tiap-tiap KAO, setelahnya dilakukan uji tekan Marshall pada briket dengan durasi rendam dalam *waterbath* selama 24 jam dan 30 menit untuk mengetahui perbandingan durabilitas

dari tiap jenis campuran AC-WC yang dibuat dalam penelitian ini.

Perhitungan Komposisi Agregat

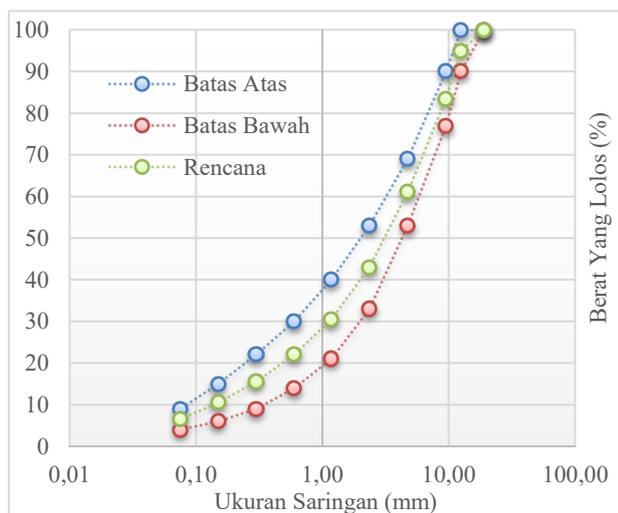
Komposisi agregat pada penelitian ini mengacu pada nilai tengah *range* gradasi campuran AC-WC sesuai spesifikasi umum Bina Marga (2018) seperti yang terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi agregat campuran AC-WC

Ukuran Saringan		% Lolos		% Tertahan		
ASTM	(mm)	Spesifikasi	Komposisi Rencana	Tertahan	Kumulatif	
3/4"	19 mm	100	100			
1/2"	12,5 mm	90 - 100	95	5	5	
3/8"	9,5 mm	77 - 90	83,5	11,5	16,5	%CA = 57,00%
No. 4	4,75 mm	53 - 69	61	22,5	39	
No. 8	2,36 mm	33 - 53	43	18	57	
No. 16	1,18 mm	21 - 40	30,5	12,5	69,5	
No. 30	0,6 mm	14 - 30	22	8,5	78	
No. 50	0,3 mm	9 - 22	15,5	6,5	84,5	%FA = 36,50%
No. 150	0,15 mm	6 - 15	10,5	5	89,5	
No. 200	0,075 mm	4 - 9	6,5	4	93,5	
Filler	Pan	0	0	6,5	100	%Filler = 6,50%

Sumber: Bina Marga (2018)

Komposisi rencana agregat campuran AC-WC sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2 dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik komposisi rencana agregat

Perhitungan Kadar Aspal Ideal (P_b)

Perhitungan P_b mengacu pada rumus empiris yang telah ditetapkan oleh Bina Marga (2018) berdasarkan besaran persentase agregat kasar (CA),

agregat halus (FA) dan *filler* yang telah diperoleh dari perhitungan komposisi agregat, serta nilai konstanta. Pada penelitian ini nilai konstanta (C) yang digunakan adalah 0,5, sehingga P_b dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_b = 0,035CA + 0,045FA + 0,18FF + C \dots\dots [1]$$

$$P_b = 0,035(57) + 0,045(36,5) + 0,18(6,5) + 0,5$$

$$P_b = 5,30\%$$

Dari hasil perhitungan tersebut, nilai P_b kemudian digenapkan menjadi 5,5%. Sehingga variasi kadar aspal yang digunakan untuk pembuatan briket Marshall yaitu 2 (dua) kadar aspal di bawah P_b dan 2 (dua) kadar aspal diatas P_b dengan selisih 0,5%. Dengan demikian diperoleh lima variasi kadar aspal yang digunakan dalam campuran yaitu 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5%.

Pembuatan Briket Marshall Untuk Perhitungan KAO

Pembuatan briket Marshall untuk memperoleh nilai KAO pada tiap-tiap jenis campuran dilakukan pada campuran aspal konvensional dan campuran

aspal dengan material substitusi yaitu abu cangkang kemiri dan getah damar.

Jumlah briket Marshall yang dibuat untuk perhitungan KAO seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Jumlah briket Marshall untuk perhitungan KAO

Kadar Aspal	0%D, 100% Semen	2%D, 10%AK; 90% Semen	4%D, 10%AK; 90% semen	6%D, 10%AK; 90% Semen
4,5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
5,5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
6%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
6,5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
Total	15 briket	15 briket	15 briket	15 briket

Briket Marshall, mulanya dibuat pada campuran aspal konvensional yaitu dengan menggunakan 100% aspal penetrasi 60/70 dan 100% *filler* semen, selanjutnya dibuat kembali briket untuk jenis campuran dengan substitusi 2%, 4% dan 6% bubuk getah damar pada aspal serta gabungan 90% semen dan 10% abu cangkang kemiri sebagai *filler*.

Proses pencampuran getah damar ke dalam aspal dilakukan dengan cara basah yaitu dengan memanaskan aspal terlebih dahulu hingga mencair, selanjutnya dimasukkan bubuk getah damar sesuai dengan kadar yang direncanakan. Kedua material tersebut diaduk merata hingga tercampur sempurna dan homogen, selanjutnya dimasukkan agregat serta *filler* gabungan antara semen dan abu cangkang kemiri sesuai komposisi berat yang telah dihitung berdasarkan masing-masing persentase kadar aspal.

Setelah semua material tersebut tercampur dengan baik sesuai dengan suhu pencampuran yang ditetapkan Bina Marga (2018), selanjutnya dilakukan pemadatan briket.

Tahap berikutnya, setelah proses pembuatan briket Marshall selesai adalah menimbang briket dalam keadaan kering, dalam air dan berat jenuh kering permukaan. Selanjutnya dilakukan perendaman briket dalam *waterbath* berisi air dengan suhu 60 derajat celcius selama 30 menit untuk kemudian dilakukan uji tekan Marshall.

Berdasarkan data-data tersebut, dilakukan perhitungan dan analisis sifat Marshall untuk memperoleh KAO dari setiap jenis campuran aspal .

Analisis Data

Analisis data perhitungan sifat Marshall dalam penelitian ini menggunakan metode regresi non-linear dua ordo untuk mengidentifikasi hubungan antara variasi kadar aspal dengan sifat Marshall.

Hubungan sifat Marshall dengan variasi kadar aspal *diplotting* pada diagram x,y sehingga terbentuk titik-titik sebar yang disebut diagram pencar, dimana sumbu y mewakili sifat Marshall dan sumbu x mewakili variasi kadar aspal dalam campuran. Kurva pendekatan yang menghubungkan setiap titik pada diagram adalah berupa garis lengkung yang menunjukkan hubungan dari kedua variabel tersebut (Triadmodjo, 2010).

Nilai KAO pada semua jenis campuran AC-WC dapat dihitung dengan menggunakan metode *narrow range*. KAO ditentukan berdasarkan nilai rata-rata yang memenuhi serangkaian persyaratan sifat Marshall diantaranya yaitu stabilitas Marshall, *flow*, *void in mix*, *void in mineral aggregate*, *void filled by bitumen* dan *Marshall quotient* (Dhir et al., 2019).

Pembuatan Briket Marshall Pada KAO

Pembuatan briket Marshall pada masing-masing KAO dari setiap jenis campuran aspal, dilakukan baik pada campuran konvensional maupun campuran dengan material substitusi, yaitu abu cangkang kemiri dan getah damar.

Dengan tahapan yang sama, briket Marshall di timbang baik dalam kondisi kering, kondisi dalam air maupun kondisi jenuh kering permukaan, kemudian direndam dalam *waterbath* yang telah berisi air bersuhu 60 derajat celcius selama 30 menit dan 24 jam untuk selanjutnya dilakukan uji kuat tekan Marshall.

Nilai durabilitas campuran aspal merupakan hasil bagi antara bacaan dial stabilitas briket Marshall dengan durasi rendaman 24 jam dan 30 menit setelah dikalikan angka kalibrasi alat dan faktor koreksi briket dalam satuan persen (Pratama et al., 2023).

Rekapitulasi jumlah briket Marshall pada KAO dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah briket Marshall pada KAO

Campuran Aspal Pada KAO	Durasi Rendam 30 Menit	Durasi Rendam 24 Jam
0%D dan 100%Semen	3 briket	3 briket
2%D dan 10%AK; 90% Semen	3 briket	3 briket
4%D dan 10%AK; 90% Semen	3 briket	3 briket
6%D dan 10%AK; 90% Semen	3 briket	3 briket
Total	12 briket	12 briket

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Aspal

Hasil pemeriksaan aspal memperlihatkan bahwa aspal penetrasi 60/70 dapat digunakan karena telah memenuhi setiap karakteristik yang ditentukan. Hasil pemeriksaan sifat aspal sebagaimana disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan aspal

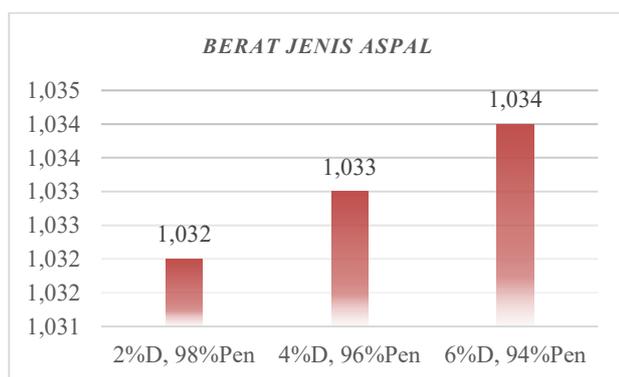
Jenis Pemeriksaan	Metoda	Hasil	Ketentuan
Penetrasi	SNI06-2456-1991	62	60–70
Berat jenis	SNI2441-12011	1,031	Min. 1
Titik leleh	SNI2434-2011	50,1	Min. 48 °C
Daktalitas	SNI2432-2011	140	Min. 100 cm

Hasil Pemeriksaan Aspal dengan Substitusi Getah Damar

Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70 dengan material substitusi getah damar sebesar 2%, 4% dan 6% yang mengacu pada besaran berat total aspal dalam campuran hanya difokuskan pada pemeriksaan berat jenis.

Hasil pemeriksaan berat jenis aspal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.

Memperhatikan gambar 3, dapat ditarik kesimpulan bahwa berat jenis aspal dengan substitusi getah damar telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga (2018) yaitu lebih besar dari 1 (satu), sehingga dapat digunakan dalam pembuatan campuran aspal.



Gambar 3. Berat jenis aspal dengan substitusi getah damar

Hasil Pemeriksaan Agregat

Hasil pemeriksaan agregat sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan agregat

Jenis Pemeriksaan	Metoda	Hasil	Ketentuan
Berat jenis	SNI03-1969-1991	2,668	-
Penyerapan	SNI03-1969-1991	0,31	Maks. 3%
Abrasi	SNI2417:2008	15	Maks. 40%
Kelekatan pada aspal	SNI2439:2011	98	Min. 95%

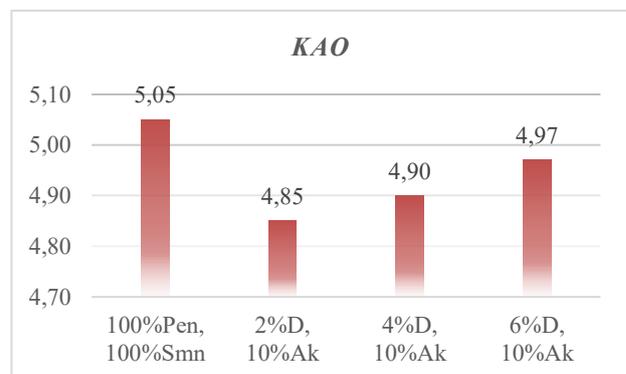
Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel 6, dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat yang diperiksa tersebut telah memenuhi persyaratan yang ditentukan, sehingga dapat diaplikasikan pada campuran aspal. Jika terdapat satu atau lebih hasil pemeriksaan agregat yang tidak sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan, maka agregat tersebut tetap dapat digunakan bila memenuhi persyaratan hasil pemeriksaan keausan (*abrasion test*) dengan mesin *los angeles*.

Hasil Perhitungan KAO

Perhitungan KAO dilakukan dengan menganalisis data sifat Marshall yang terdiri dari: kepadatan, *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA), *void filled by bitument* (VFB), stabilitas dan *flow* baik pada campuran aspal konvensional maupun campuran aspal dengan pemanfaatan material substitusi.

Nilai masing-masing sifat Marshall dengan variasi kadar aspal selanjutnya digambarkan pada diagram x;y agar diketahui bagaimana relasi antara kedua variabel tersebut dengan menggunakan analisis regresi non-linear. Relasi antara kedua variabel tersebut merupakan acuan dasar dalam menghitung KAO pada setiap jenis campuran.

Pada penelitian ini, KAO dihitung menggunakan metode *narrow range* untuk menentukan berapa persen aspal yang memenuhi semua ketentuan sifat Marshall. Nilai KAO untuk setiap jenis campuran ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. KAO masing-masing campuran AC-WC

Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat disimilaritas nilai KAO yang dihasilkan antara campuran aspal konvensional dengan campuran aspal dengan material substitusi, dimana KAO campuran aspal dengan material substitusi sedikit lebih rendah dari KAO pada campuran aspal konvensional. Ada kemungkinan hal ini terjadi karena keberadaan material getah damar dan abu cangkang kemiri yang ada pada campuran sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan kadar aspal tersebut.

Kadar aspal yang rendah memungkinkan terjadinya penurunan sifat kohesif dan adhesif aspal. Namun demikian, diharapkan KAO ini akan menghasilkan sifat Marshall yang lebih baik daripada campuran aspal konvensional.

Hasil Perhitungan durabilitas Pada KAO

Hasil perhitungan nilai durabilitas dari setiap jenis campuran aspal ditunjukkan pada tabel 7.

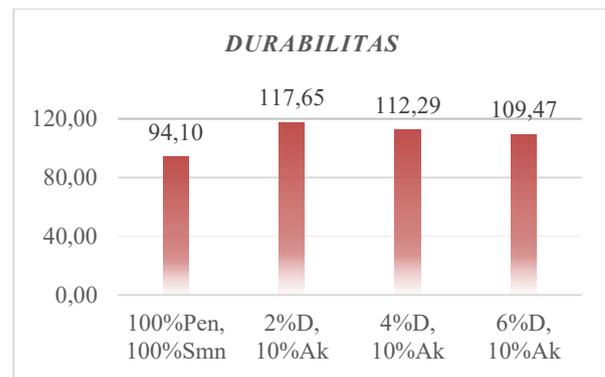
Tabel 7. Nilai durabilitas pada KAO

Jenis campuran	Stabilitas durasi rendam 30 Menit	Stabilitas durasi rendam 24 Jam	Nilai durabilitas (%)
(a)	(b)	(c)	(4) = c/b x 100
0%D & 100%Semen	2.037,78	1.917,50	94,1
2%D & 10%AK; 90%Semen	2.044,86	2.405,72	117,65
4%D & 10%AK; 90%Semen	2.073,16	2.327,89	112,29
6%D & 10%AK; 90%Semen	2.158,07	2.362,52	109,47

Hasil perhitungan tersebut dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.

Berdasarkan data gambar 5, menunjukkan bahwa nilai durabilitas terbaik diperoleh pada campuran aspal dengan material substitusi 6% getah damar pada aspal dan 10% abu cangkang kemiri pada *filler* yaitu 117,65%, sementara nilai durabilitas terendah dihasilkan pada campuran aspal konvensional yaitu 94,10%.

Hasil tersebut dapat dianalisis bahwasanya keberadaan material abu cangkang kemiri dan getah damar pada campuran AC-WC dapat berpengaruh positif terhadap nilai durabilitas, sehingga mampu menjadikan ketahanan campuran aspal yang lebih baik ketika dihadapkan dengan perubahan cuaca dan iklim yang sering terjadi di Indonesia.



Gambar 5. Nilai durabilitas masing-masing campuran AC-WC

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan abu cangkang kemiri sebagai material substitusi *filler* sebesar 10% dan getah damar sebagai substitusi aspal sebesar 2%, 4% dan 6% pada campuran AC-WC telah mampu menghasilkan nilai durabilitas yang lebih baik bila dibandingkan dengan campuran konvensional.

Kehadiran abu cangkang kemiri dan getah damar dengan kadar tersebut telah mampu meningkatkan ketahanan campuran AC-WC dalam menghadapi perubahan cuaca dan iklim.

Nilai durabilitas terbaik diperoleh pada kadar substitusi 6% getah damar pada aspal, sementara yang terendah diperoleh pada campuran aspal konvensional. Nilai durabilitas yang diatur dalam spesifikasi umum Bina Marga (2018) adalah minimal 90%, dan semua jenis campuran telah memenuhi persyaratan tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan dukungan dalam bentuk pendanaan penelitian melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik, serta ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat yang telah bersedia memfasilitasi pelaksanaan penelitian melalui izin penggunaan laboratorium material jalan pada Prodi DII Konstruksi Pondasi, Beton dan Pengaspalan Jalan.

REFERENSI

Adiman, E. Y., & Suparma, L. B, 2022, "Effect Of Water Immersion On The Ac-Wc Mixture Utilizing Elastomeric Modified Asphalt To

- Compressive Strength, Elastic Modulus And Durability", *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, 15(3), 179–184. <https://doi.org/10.30772/qjes.v15i3.831>
- Agustian, K., & Agusmaniza, R., 2021, "Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi Filler terhadap Parameter Marshall", *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 86–93.
- Agustian, K., & Agusmaniza, R., 2022, "Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Menggunakan 4% Getah Damar Sebagai Pengganti Aspal", *Siklus Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 161–173.
- Agustian, K., & Ridha, M., 2018, "Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Dengan Menggunakan 6% Getah Damar Sebagai Bahan Substitusi Aspal", *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 4(1), 1–10.
- Auwah, F. K. A., & Garcia-Hernández, A., 2022, "Machine-Filling Of Cracks In Asphalt Concrete", *Automation in Construction*, 141(July), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104463>
- Dhir, R. K., de Brito, J., Silva, R. V., & Lye, C. Q., 2019, "Use of Recycled Aggregates in Road Pavement Applications", *Sustainable Construction Materials*, 451–494. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100985-7.00012-1>
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018, "*Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan*", Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Jannat, N., Latif Al-Mufti, R., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A., 2021, "Utilisation of nut shell wastes in brick, mortar and concrete: A review", *Construction and Building Materials*, 293, 123546. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.123546>
- Kuspradini, H., Enih, R., Sukaton, E., Arung, E. T., & Kusuma, I. W., 2016, "*Buku Pengetahuan Jenis Getah, Gum-Lateks-Resin*".
- Liu, Z., Balieu, R., & Kringos, N., 2022, "Integrating Sustainability Into Pavement Maintenance Effectiveness Evaluation: A Systematic Review", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 104(February), 103187. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103187>
- Minanulloh, M. A. B., Cahyo, Y., & Ridwan, A., 2020, "Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kemiri Terhadap Kuat Tekan Beton K-300", *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(1), 12. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v3i1.875>
- Pratama, U. A., Saleh, S. M., & Darma, Y., 2023, "The Durability of Asphalt Concrete Mix (AC-WC) Using Fly Ash from Coal Bottom Ash as Filler Substitution", *NanoWorld Journal*, 9(S2), S144–S148. <https://doi.org/10.17756/nwj.2023-s2-026>
- Setiawan, A., Suparma, L. B., & Mulyono, A. T., 2019, "Flood Water Resistance Of Asphalt Concrete By Using Unconfined Compressive Strength Test", *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012022>
- Sukirman, S., 2010, "Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur", In *Nova* (3rd ed.).
- Sukirman, S., 2016, "Beton Aspal Campuran Panas", In *Bandung* (3rd ed., Vol. 3). Institut Teknologi Nasional.
- Triadmodjo, B., 2010, "*Metode Numerik*" (8th ed.). Beta Offset.
- Wahyudin, Sainudin, Saudi, A. I., Suryani, H., & Okviani, N., 2024, "Pengaruh Kekuatan Aspal Dengan Penambahan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Filler Pada Lapis AC – WC", *BANDAR: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 6(1), 16–23.
- Yu-Shan, A., & Shakiba, M., 2021, "Flooded Pavement: Numerical Investigation of Saturation Effects on Asphalt Pavement Structures", *Journal of Transportation Engineering Part B*, 147(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000276>

Pengaruh Laminasi Silang Dengan Perekat Epoxy Pada Kayu Palaka Terhadap Nilai Kuat Lentur Kayu

Effect of Cross Lamination with Epoxy Adhesive on Palaka Wood on the Flexural Strength of Wood

Muhammad Nur Fajar¹, Didik Setya Purwanto², Herlina Arifin³, Alfina Maysyurah⁴,
Mohammad Aris⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong, Jl. Pendidikan No.27, Kel. Klabulu, Kec. Malaimsimsa, Kota Sorong, Papua Barat Daya. Telp: (0951) 322382. Email : muhammad.n.fajar53@gmail.com

Abstrak

Indonesia adalah salah satu negara dengan sumber daya kayu yang melimpah. Kebutuhan kayu sangat besar sehingga berdampak pada ketersediaan kayu yang semakin berkurang tiap tahunnya dan mengakibatkan eksploitasi dilakukan secara besar-besaran. Untuk itu, perlu dilakukan inovasi atau teknologi pengelolaan kayu dalam rangka mengatasi masalah tersebut, kayu laminasi merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kuat lentur terhadap kayu tanpa proses laminasi dan kayu dengan proses laminasi silang dengan menggunakan epoxy. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan laminasi silang pada kayu, dan jenis kayu yang digunakan adalah kayu Palaka. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui nilai kuat lentur kayu palaka tanpa laminasi adalah 28,60 MPa, sedangkan kayu palaka hasil laminasi silang dengan perekat epoxy memiliki nilai kuat lentur sebesar 16,06 MPa. Besaran penurunan nilai kuat lentur yang terjadi setelah melakukan proses laminasi silang dengan epoxy adalah 43,84% terhadap kayu palaka tanpa proses laminasi.

Kata Kunci: Laminasi Silang, Kuat lentur, Kayu Palaka

Abstract

Indonesia is one of the countries with abundant timber resources. The huge demand for timber has an impact on the availability of timber which is decreasing every year due to large-scale exploitation. So it is necessary to carry out innovations or wood management technology to overcome these problems, one of the technologies that can be used is laminated wood. In this study, a test of bending strength will be carried out on wood without lamination process and wood with a cross-lamination process using epoxy. This test was carried out to see the effect of the use of cross lamination on wood, and the type of wood used was Palaka wood. From the results of this study, it can be seen that the bending strength value of palaka wood without lamination is 28.60 MPa, while palaka wood cross-laminated with epoxy adhesive has a bending strength value of 16.06 MPa. The amount of decrease in bending strength that occurs after cross-laminating with epoxy is 43.84% for palaka wood without lamination process.

Keywords: Cross laminated, flexible strength, Palaka wood

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara dengan sumber daya kayu yang melimpah (Syaiful 2015, & Fajar 2023). Saat ini, penggunaan kayu dalam dunia konstruksi terus mengalami peningkatan yang baik untuk pemakaian struktural dan non struktural. Kebutuhan kayu yang sangat besar juga berdampak pada ketersediaan kayu yang semakin berkurang setiap tahunnya akibat eksploitasi yang dilakukan

secara besar-besaran. (Handayani 2016; Wulandari, Amin, and Raehanayati 2022)

Eksploitasi kayu adalah tindakan pemanfaatan berlebihan terhadap material kayu yang mempengaruhi ketersediaan kayu dengan ukuran yang besar. Sehingga, perlu dilakukannya inovasi atau teknologi pengelolaan kayu untuk mengatasi masalah tersebut. Teknologi yang dapat digunakan, salah satunya adalah kayu laminasi. Laminasi (glulam) merupakan gabungan dari satu macam

bahan atau lebih. Dimana, bahan tersebut dibuat berupa lapisan-lapisan yang relatif tipis dan merekat satu sama lain. (Muammar Khadafi 2019) Keberhasilan dari proses laminasi dapat dipengaruhi oleh beberapa aspek yaitu, aspek bahan yang direkat, aspek bahan perekat dan aspek teknologi perekatan. (Puluhulawa, Rafika, and Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis 2018)

Pada penelitian yang dilakukan Tjondro dkk pada tahun 2013 menggunakan kayu dengan laminasi silang yang selanjutnya dilakukan pengujian lentur dengan metode third point static loading. Hasil yang diperoleh adalah balok kayu laminasi silang memiliki daktilitas yang cukup tinggi yaitu 2,20 – 3,51. (Tjondro and Kusumo 2013) Selain itu penelitian yang dilakukan affan dkk pada tahun 2019, menunjukkan kayu laminasi menggunakan epoxy dapat memikul beban sebesar 85,45 Kg dan lendutan dengan rata-rata sebesar 23,51 mm. (Annaafi, Yasin, and Shulhan 2019)

Berdasarkan kedua penelitian terdahulu yang dilakukan Tjondro dan Affan. Selanjutnya, akan dilakukan pengujian kuat lentur terhadap kayu tanpa proses laminasi, dan kayu dengan proses laminasi silang dengan menggunakan epoxy. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan laminasi silang pada kayu dengan menggunakan jenis kayu Palaka.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong, dengan menggunakan alat-alat yang ada di Laboratorium diantaranya :

1. Mesin uji lentur (Hydraulic Concrete Beam Testing Machine)
2. Mesin Potong
3. Mesin pres
4. Lem epoxy
5. Kuas

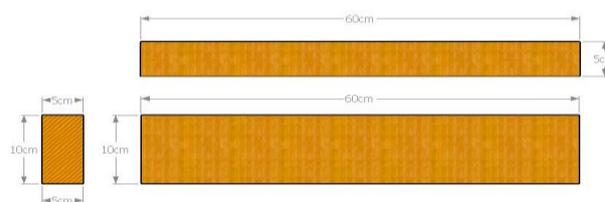
Berikut ini adalah peta lokasi dari pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Teknik Sipil UNAMIN yang dapat dilihat pada Gambar 1.



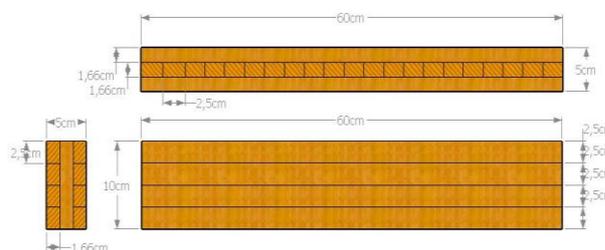
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Model Sampel dan Set Up Alat Uji

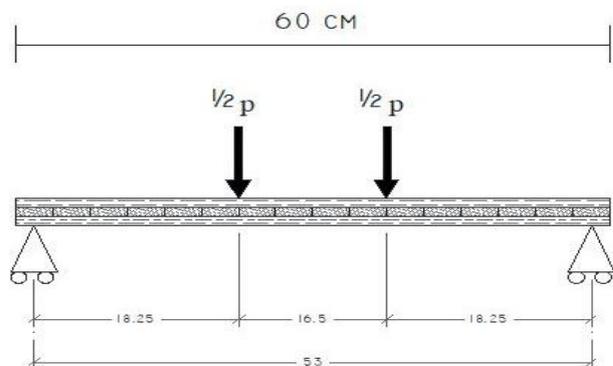
Berikut gambar detail sampel yang akan di lakukan uji lentur, dan set up alat :



Gambar 2. Penampang Sampel Kayu Palaka Tanpa Laminasi.



Gambar 3. Penampang Sampel Kayu Laminasi Silang.



Gambar 4. Set Up Benda Uji



Gambar 5. Alat Uji Lentur

Tahapan Penelitian

1. Tahapan Persiapan

Pada persiapan akan dilakukan beberapa tahapan, yakni :

- a) Studi Pustaka dengan membaca dan mencatat beberapa jurnal serta literatur yang memiliki kaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.
- b) Mengumpulkan data primer yang diperlukan dengan melakukan observasi pada TPK di wilayah Kota Sorong.
- c) Mengumpulkan data sekunder yang diperlukan.
- d) Sampel Uji dengan ukuran 50 x 100 x 600 mm, dan ukur dimensi kayu tinggi (h) x lebar (b).
- e) Melakukan persiapan kebutuhan alat serta bahan yang dibutuhkan dalam penelitian.

2. Tahapan pengambilan data

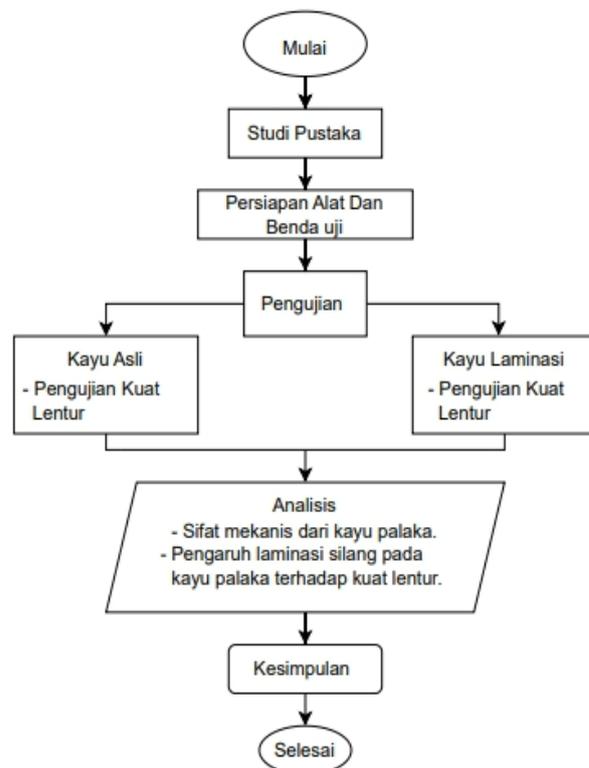
- a) Sampel kering udara dilakukan proses pengeringan terlebih dahulu selama 2-4 hari.
- b) Tahapan pengambilan data serta pengujian di laboratorium dilakukan untuk mengetahui nilai beban maksimum dari pengujian kuat tekan sejajar serat kayu untuk kering udara.

3. Tahapan analisis data

Pada tahap ini, data yang telah diperoleh akan dilakukan Analisis, untuk mengetahui nilai kuat lentur kayu baik kering udara dan menggunakan persamaan (1) lalu dibagi dengan Faktor Konversi Format (Fk) pada Tabel 2 untuk menentukan Nilai Desain Acuan dan Kode Mutu berdasarkan pengujian kuat tekan sejajar serat kayu menurut SNI 73479 : 2013 pada Tabel 1.

4. Tahapan akhir

Pada tahap akhir, akan dilakukan pembahasan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Observasi Pada Lokasi Pengambilan Sampel

Penelitian dimulai dengan melakukan pendataan pada Tempat Penjualan Kayu (TPK) yang ada di wilayah Kota Sorong, Provinsi Papua Barat Daya, Indonesia, terkait nama TPK dan jenis kayu yang dijual pada setiap TPK. Setelah observasi, dilakukan penelitian yang dimulai dengan pembelian kayu dan dilanjutkan dengan penelitian bertempat di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong. Dalam penelitian ini, hanya akan dilakukan menguji kayu Damar yang tersedia pada TPK yang telah didata.

Tabel 1. Data Observasi Pengambilan Sampel

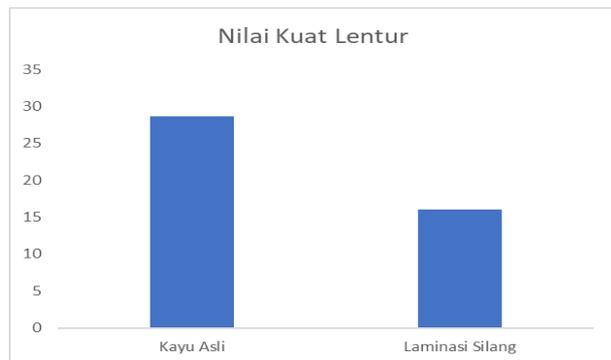
Nama TPK	Alamat	Titik Koordinat
TPK Sinar Saton	Klasaman, Kec. Sorong Timur, Kota Sorong, Papua Barat Daya	0.90040664S 131.33071357E

Sumber : (Data Lokasi, 2024)

Data Pengujian Kuat Lentur

Berikut merupakan grafik pengujian lentur untuk kayu palaka tanpa laminasi dan kayu palaka

dengan laminasi silang menggunakan epoxy, dengan masing-masing 3 sampel yang hasilnya telah dirata-ratakan.

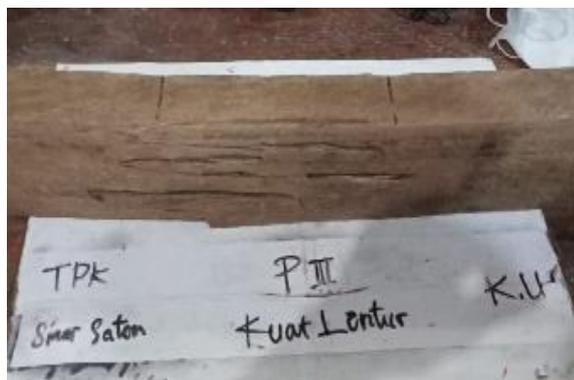


Gambar 7. Grafik Nilai Kuat Lentur

Berdasarkan gambar 7, nilai kuat lentur kayu palaka tanpa laminasi adalah 28,60 MPa, sedangkan kayu palaka hasil laminasi silang dengan perekat epoxy memiliki nilai kuat lentur sebesar 16,06 MPa. Kayu palaka hasil proses laminasi mengalami penurunan nilai kuat lentur dikarenakan proses keruntuhan benda uji dalam kondisi gagal di area sambungan berbeda dengan kayu palaka tanpa proses laminasi yang mengalami keruntuhan benda uji pada area lentur.



Gambar 8. Retak Pada Area Sambungan



Gambar 9. Retak Pada Area Lentur

Persentase Penurunan Nilai Kuat Lentur

Setelah memperoleh nilai kuat lentur dari kayu palaka tanpa proses laminasi dan kayu palaka laminasi silang dengan epoxy, tahapan Analisa selanjutnya dilakukan untuk mengetahui besar persentase penurunan antara kedua jenis sampel benda uji.

Tabel 2. Besar Penurunan Nilai Kuat Lentur

Sampel	Nilai Kuat Lentur Mpa	Penurunan %
Kayu Asli	28,6	-
Laminasi Silang	16,06	43,84

Sumber : Hasil Uji Laboratorium Teknik Sipil UNAMIN

Berdasarkan tabel 2, Kayu Palaka yang melalui proses laminasi silang dengan epoxy mengalami penurunan nilai kuat lentur sebesar 43,84% dari kayu palaka tanpa proses laminasi.

KESIMPULAN

Hasil penelitian diperoleh, nilai kuat lentur kayu palaka tanpa laminasi adalah 28,60 MPa, sedangkan kayu palaka hasil laminasi silang dengan perekat epoxy memiliki nilai kuat lentur sebesar 16,06 MPa. Kayu palaka hasil proses laminasi mengalami penurunan nilai kuat lentur dikarenakan proses keruntuhan benda uji dalam kondisi gagal di area sambungan berbeda dengan kayu palaka tanpa proses laminasi yang mengalami keruntuhan benda uji pada area lentur

Besaran penurunan nilai kuat lentur yang terjadi setelah melakukan proses laminasi silang dengan epoxy adalah 43,84% terhadap kayu palaka tanpa proses laminasi.

REFERENSI

- Annaafi, Affan Annur, Iskandar Yasin, and M. Afif Shulhan. 2019. ANALISIS KUAT LENTUR BALOK LAMINASI LENGKUNG DENGAN PEREKAT EPOXY. Vol. 4.
- Fajar, Muhammad Nur, Herlina Arifin, Purwantoro, Setyo Didik, Alfina Maysyurah, and Awal Al-Ghazali. 2023. "Pengaruh Kadar Air Kayu Terhadap Kuat Lentur Kayu Di Kota – Papua Barat Daya." 18(2):86–94. doi: 10.26623/teknika.v18i2.7828.
- Handayani, Sri. 2016. Analisis Pengujian Struktur Balok Laminasi Kayu Sengon Dan Kayu Kelapa-Sri Handayani ANALISIS

PENGUJIAN STRUKTUR BALOK
LAMINASI KAYU SENGON DAN KAYU
KELAPA.

- Muammar Khadafi. 2019. "PENGARUH PERKUATAN DENGAN BILAH BAMBU TERHADAP KUAT BALOK KAYU LAMINASI." *Jurnal Sangkareang Mataram* 05(01).
- Puluhulawa, Indriyani, Diana Rafika, and Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis. 2018. PENGARUH PENAMBAHAN BAUT DAN PAKU TERHADAP KUAT LENTUR BALOK LAMINASI KAYU MAHANG DAN MERANTI. Vol. 1.
- SNI 7973:2013.(2013). Spesifikasi nilai desain acuan untuk konstruksi kayu. Badan Standar Nasional. Badan Standar Nasional.
- Standar Nasional Indonesia RSNI-3 REVISI PKKI NI-5 Tahun 2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI NI-5). Jakarta
- Syaiful, Listyorini, T., & Maharani, R. M. (2015). ANALISA DAN PERANCANGAN SISTEM PERSEDIAAN HASIL HUTAN RAKYAT KOTA JEPARA. *Prosiding SNATIF Ke-2* (pp. 381-388). Kudus: Fakultas Teknik-Universitas Muria Kudus.
- Tjondro, Johannes Adhijoso, and Dan Benny Kusumo. 2013. KUAT LENTUR DAN PERILAKU BALOK PAPAN KAYU LAMINASI SILANG DENGAN PEREKAT (251M). Vol. 7.
- Wulandari, Febriana Tri, Radjali Amin, and Raehanayati Raehanayati. 2022. "Karateristik Sifat Fisika Dan Mekanika Papan Laminasi Kayu Sengon Dan Kayu Bayur." *Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains Dan Teknologi* 10(1):75-87. doi: 10.34312/euler.v10i1.13961.

Analisis Pemanfaatan Sampah Plastik Berjenis PET Pada *Paving Block*

Analysis Of the Use of PET Type Plastic Waste in Paving Blocks

M. Rafi Zafran¹, Revianty Nurmeiyandari Nurhendi², Denie Chandra³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Jln. Jend. Sudirman Km.4 Palembang. Telp: 0711-357754. Email : revianty@uigm.ac.id

Abstrak

Sampah plastik, khususnya Polyethylene Terephthalate (PET), menjadi masalah lingkungan yang signifikan akibat meningkatnya pemakaian plastik di keseharian. Pemanfaatan sampah plastik merupakan solusi untuk mengurangi dampak negatifnya, salah satunya di dalam pembuatan *paving block*. Penelitian ini bermaksud untuk mengevaluasi pemanfaatan sampah plastik PET dalam pembuatan bata beton, dengan fokus pada pengujian kuat tekan dan kapasitas penyerapan air. Metode yang digunakan mengikuti standar SNI 03-0691-1996, dengan tiga variasi campuran antara pasir dan plastik PET: 30% pasir : 70% plastik, 40% pasir : 60% plastik, dan 50% pasir : 50% plastik. *Paving block* dibuat berdasarkan perbandingan campuran yang telah ditentukan, dan diuji kuat tekan dan tingkat penyerapan airnya. Data yang diperoleh dianalisis untuk menentukan efektivitas penggunaan plastik PET sebagai bahan substitusi dalam *paving block*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan perbandingan 50% pasir : 50% plastik menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 12.41 MPa. Daya serap air juga dievaluasi, menunjukkan kinerja yang memadai untuk aplikasi *paving block* yakni <6%. Hasil penelitian ini bermanfaat bagi industri konstruksi sebagai alternatif material yang lebih ramah lingkungan, serta memberikan kontribusi pada upaya pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Kuat tekan; *Paving block*; Penyerapan air; Plastik PET

Abstract

Plastic waste, especially Polyethylene Terephthalate (PET), is becoming a significant environmental problem due to the increasing use of plastic in daily life. One solution to reduce the negative impact of plastic waste is to utilize it in the construction industry, such as in the manufacture of paving blocks. This research intends to evaluate the utilization of PET plastic waste in the manufacture of concrete bricks, with a focus on testing compressive strength and water absorption capacity. The method used follows the standard of SNI 03-0691-1996, with three variations of the mixture between sand and PET plastic: 30% sand: 70% plastic, 40% sand: 60% plastic, and 50% sand: 50% plastic. Paving blocks were made based on the predetermined mix ratio, and tested for compressive strength and water absorption. The data obtained were analyzed to determine the effectiveness of using PET plastic as a substitute material in paving blocks. The results showed that a mixture with a ratio of 50% sand: 50% plastic produced the highest compressive strength value of 12.41 MPa. Water absorption was also evaluated, showing adequate performance for paving block applications. The results of this research are useful for the construction industry as an alternative material that is more environmentally friendly, as well as contributing to efforts to manage plastic waste in a sustainable manner.

Keywords: *Compressive strength; Paving block; Water absorption; PET Plastic*

PENDAHULUAN

Paving block adalah salah satu teknologi penutup permukaan alternatif dalam konstruksi. Menurut SNI 03-0691-1996 batu bata beton atau *paving block* dibuat dari kombinasi semen atau perekat hidrolis sejenis, air, dan agregat; komponen-komponen ini mungkin dilengkapi atau tidak dengan

bahan tambahan, tergantung pada efek yang diinginkan. Selain untuk lapis perkerasan permukaan, bata beton juga dimanfaatkan dalam hal memperindah jalur pejalan kaki, memperindah taman, jalan komplek perumahan, pekarangan dan teras rumah serta area parkir. Selama mutu tetap terjaga, maka diperbolehkan menggunakan bahan tambahan lain saat pembuatan *paving block*. *Paving block* hias merupakan pilihan umum untuk trotoar,

tempat parkir, jalan raya, dan teras Nayak dkk., 2023).

Jenis bahan yang dapat dimanfaatkan pada pembuatan bata beton adalah plastik. Plastik merupakan satu dari banyaknya bahan yang dimanfaatkan dan digunakan oleh manusia pada abad 21. Di antara banyak manfaat plastik adalah kepadatannya yang rendah dan rasio kekuatan terhadap beratnya yang tinggi, kelenturannya, ketahanannya terhadap korosi dan pecah, kelenturannya terhadap warna dan bentuk, serta sifat insulasinya yang luar biasa (Purwaningrum, 2016). Produksi plastik makin meningkat seiring pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari. Pada tahun 2022, produksi plastik mencapai 400,3 juta metrik ton atau meningkat 1,6 persen dari tahun sebelumnya (Jaganmohan, 2024). Hal ini dikarenakan keserbagunaan plastik yang menyebabkan pertumbuhan produksi yang berkelanjutan dari tahun ke tahun. Plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET) ini mempunyai transparansi yang baik, ringan, mempunyai sifat penghalang gas dan air, tahan terhadap benturan, UV, dan jika dibandingkan dengan botol kaca maka plastik jenis PET tidak mudah pecah (Benyathiar dkk. 2022). Mengingat keserbagunaan plastik yang tak terbatas dan kemudahan daur ulang, pentingnya PET sebagai polimer termoplastik tidak dapat dipungkiri (McKeen, 2018). Selain dapat didaur ulang dan memiliki kemampuan pemrosesan yang kuat, PET juga mampu diwarnai (Zair dkk. 2021). Karena penggunaan plastik yang begitu besar serta sulitnya terurai secara alami membuat plastik menjadi limbah walaupun sudah terdapat TPA.

Pembuangan limbah plastik di TPA juga bukan merupakan hal yang baik karena dapat menyebabkan masalah lainnya. Selain bercampur dengan sampah lainnya yang ada di TPA, lokasi yang luas juga diperlukan untuk menampung sampah harian yang dihasilkan. Limbah plastik yang tertimbun tanah juga akan mencemari tanah, apabila dibakar tentu akan menghasilkan polusi gas. Dalam laporan penilaian siklus hidup, botol PET yang didaur ulang hanya 42%, 38% di TPA dan 20% sisanya di bakar (Ministry of Environment 2018). Pembuatan batu paving dengan menggunakan sampah plastik sebagai pengganti semen hanyalah salah satu dari banyak pendekatan yang bisa dilakukan. Cara pemanasan adalah yang terbaik untuk mengolah plastik karena plastik jenis PET ini mudah diubah menjadi berbagai bentuk atau kembali ke bentuk semula (Okatama, 2016).

Menurut Loganayagan dkk., (2021) kombinasi sampah plastik dan debu pertambangan memiliki kuat tekan tertinggi dari seluruh campuran yang diuji dan juga meleleh pada suhu lebih tinggi dari 140 °C.

Menurut Agyeman dkk., (2019) *paving block* yang terbentuk dari sampah plastik daur ulang mempunyai kuat tekan yang lebih kuat dan kemampuan menyerap air yang lebih kecil dibandingkan batako berbahan virgin plastik. Penelitian yang dilakukan (Riyandini dkk., 2024) dengan menggunakan plastik PET dan *fly ash* menyatakan bahwa campuran terbaik untuk paving block adalah 1 kg plastik : 1 kg *fly ash* dengan kuat tekan sebesar 8,30 Mpa dan kapasitas resapan air 15,20%. Sementara Brizi (2019) dengan penelitian menggunakan campuran plastik LDPE dan pasir menghasilkan kuat tekan tertinggi didapat dari komposisi 100:0 yang mencapai 15,289 Mpa dan daya tekan paling rendah pada variasi 80:20 sebesar 7,735 Mpa.

Penelitian ini akan membahas mengenai kuat tekan, daya serap, dan potensi dari plastik PET untuk menggantikan semen dan mengurangi sampah plastik secara efektif. Tujuan penelitian ini ialah memeriksa bagaimana plastik Polyethylene Terephthalate (PET) mempengaruhi kapasitas penyerapan air dan kekuatan tekan *paving block* serta menentukan berapa perbandingan campuran yang diperlukan untuk membuat *paving block* mutu D. Mengingat hal tersebut, diperlukan lebih banyak penelitian yang mendalam mengenai pemanfaatan plastik PET sebagai substitusi semen dalam produksi paving block.

METODE

Studi ini dilaksanakan menggunakan pendekatan eksperimental yang dilakukan di laboratorium pada setiap proses pembuatan serta seluruh pengujian *paving block*. Penjelasan lebih lanjut ialah sebagai berikut:

Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas
Variabel bebas pada penelitian ini adalah Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai pengganti semen.
- b. Variabel terikat
pada penelitian ini adalah daya serap air dan kuat tekan dengan Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai pengganti semen.
- c. Variabel kontrol
Variabel kontrol pada penelitian ini adalah waktu pengeringan *paving block*.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam studi *paving block* ini antara lain ialah gunting, baskom, centong, cetakan *paving block*, kompor gas, wajan, sutil,

timbangan, sarung tangan, masker, alat tulis, kamera, gerinda dan mesin uji kuat tekan.

Sementara bahan yang akan digunakan antara lain plastik PET, pasir, oli dan air. Jenis plastik PET yang digunakan adalah botol plastik dari berbagai macam merek minuman kemasan yang ada di masyarakat. Botol-botol plastik ini didapat dari pengumpul plastik di kawasan Sukawinatan Kota Palembang. Jenis plastik ini dipilih karena bahannya yang mudah di dapat dan kemudahan untuk di daur ulang. Adapun pasir yang digunakan berasal dari *quarry* yang ada di Kota Palembang. Untuk oli yang digunakan adalah oli yang biasa dipakai untuk sepeda motor.

Benda Uji

Pada penelitian ini terdapat tiga perbandingan/komposisi dengan sampel berjumlah tiga buah setiap perbandingan. Perbandingan antara pasir dan plastik sebagai pengganti semen digunakan komposisi 30% pasir + 70% plastik, 40% plastik + 60% pasir dan 50% pasir + 50% plastik. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Tabel 1. berikut ini:

Tabel 1. Jumlah Sampel Penelitian

Umur Pengamatan	Perbandingan Pasir : Plastik	Jumlah Sampel
7 hari	30 : 70	3
	40 : 60	3
	50 : 50	3
14 hari	30 : 70	3
	40 : 60	3
	50 : 50	3
28 hari	30 : 70	3
	40 : 60	3
	50 : 50	3

Pembuatan Benda Uji

Proses produksi sampel mengikuti standar SNI 03-0691-1966. Penelitian menggunakan cetakan *paving block* dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm.



Gambar 1. Dimensi paving block

Plastik PET dicuci bersih dan dikeringkan, sementara pasir diuji kelayakannya di laboratorium. Langkah-langkahnya adalah:

1. Persiapkan alat dan bahan,

2. Panaskan oli di wajan,
3. Lelehkan plastik sambil diaduk,
4. Tambahkan pasir dan aduk hingga merata.
5. Setelah tercampur, tuangkan ke cetakan paving block, biarkan mendingin, lalu rendam selama 15 menit sebelum dilepas.
6. Setelah dilepas, paving block direndam untuk menjaga kelembapan selama 7, 14, dan 28 hari.

Pengujian Paving Block

Benda uji akan diuji sesuai SNI 03-0691-1966. Setelah direndam, paving block diuji untuk penyerapan air dan kuat tekan.

1. Pengujian Penyerapan Air:
 - a. Paving block ditimbang setelah direndam 24 jam.
 - b. Dikeringkan dalam oven 105°C, lalu ditimbang lagi.
2. Pengujian Kuat Tekan:
 - a. Potong terlebih *paving block* menjadi kubus
 - b. Benda uji dibersihkan, diletakkan di alat uji, dan diberi beban sampai hancur untuk mendapatkan beban maksimal.

Perhitungan Penyerapan Air

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berapa fraksi air yang mampu terserap oleh pori-pori *paving block*. Untuk melakukan pengujian, batu *paving* yang telah direndam dalam air selama 24 jam ditimbang lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu sekitar 105°C dengan waktu yang sama saat perendaman kemudian berat kering diukur. Rumus untuk menentukan serapan air adalah:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots[1]$$

Keterangan:

- A = berat *paving block* basah
B = berat *paving block* kering

Perhitungan Kuat Tekan

Mengetahui seberapa besar tekanan yang dapat diberikan mesin press pada suatu area *paving block* tertentu sebelum dipatahkan merupakan tujuan dari uji kuat tekan. Rumus berikut dipakai dalam menghitung kuat tekan:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots[2]$$

Keterangan:

- P = beban tekan (N)

A = luas bidang tekan (mm²)

Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif berupa eksperimen. Setelah dilaksanakan penelitian di laboratorium, data kemudian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel, diagram dan perhitungan.

Penelitian ini dijelaskan dengan diagram alir berikut ini:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan serangkaian pengujian, temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mustakim dkk., 2023 bahwa penambahan Polyethylene Terephthalate (PET) dalam campuran paving block dapat mengurangi daya serap air dan meningkatkan kuat tekan seiring dengan bertambahnya waktu perawatan dan jumlah pasir yang ada di dalam campuran paving block. Namun, penelitian ini menunjukkan perbedaan

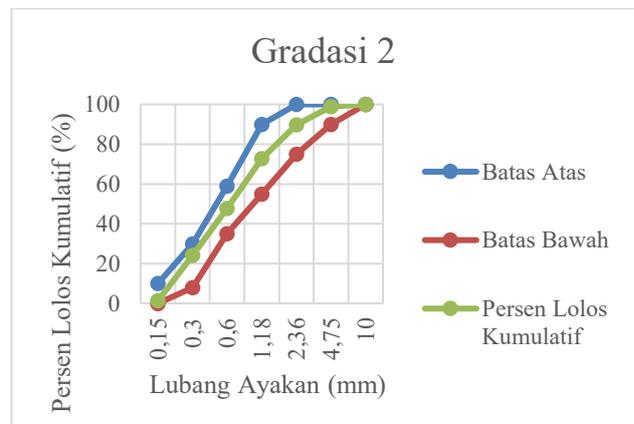
dalam kuat tekan terhadap penelitian yang dilakukan oleh Nursakinah dkk., 2023, di mana kuat tekan tertinggi yang terdapat plastik PET hanya sebesar 9,92 Mpa. Hal ini mungkin disebabkan karena terdapat perbedaan variasi dan komposisi bahan yang digunakan.

Pengujian Analisis Saringan Agregat

Analisis saringan dilaksanakan dengan standar SNI 03-1968-1990 yang bertujuan untuk memastikan gradasi agregat halus. Hasil analisis ayakan pasir disajikan di Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0	0	100
4,75	5,8	1,16	1,16	98,94%
2,36	45,4	9,08	10,24	89,76%
1,18	85,2	17,04	27,28	72,72%
0,60	124,6	24,92	52,20	47,80%
0,30	118,6	23,72	75,92	24,08%
0,15	113,8	22,76	98,68	1,32%
Pan	6,6	1,32		
Σ	500	100	360,08	



Gambar 3. Grafik gradasi agregat halus

Dari Gambar 3. terlihat bahwa pasir masuk pada kategori II yang berarti tergolong pasir agak kasar.

Pengujian Kandungan Zat Organik

Pengujian bahan organik pada agregat halus mengacu pada standar SNI 2816:2014. Campuran beton mungkin rusak jika agregat halus mengandung bahan organik dalam jumlah berlebihan. Standar nomor organik plate untuk kandungan organik maksimal berada di angka 3. Larutan uji menjadi kuning keemasan atau warna yang sebanding 3 ketika mendeteksi kadar bahan organik. Oleh karena itu, diharuskan untuk mencuci pasir sebelum

digunakan untuk menurunkan kandungan organiknya.



Gambar 4. Hasil pengujian kandungan zat organik

Pengujian Kadar Air

Mencari tahu berapa banyak air dalam agregat sebagai proporsi berat keringnya adalah tujuan utama pengujian kadar air. Berdasarkan ASTM D6780 / D6780M, penting untuk mengetahui kadar air agregat dibatasi jumlahnya berkisar antara 0% - 3%. Tabel 3 menunjukkan hasil dari pengujian kadar air.

Tabel 3. Perhitungan Kadar Air Agregat Halus

Berat	W	Benda Uji (gr)
B. Talam	W1	158.7
B. Talam + Benda Uji	W2	658.7
B. Benda Uji	W3 = W2 - W1	500
B. Benda Uji kering oven + talam	W4	653.7
B. Benda Uji kering oven	W5	495
Kadar Air (%)		$\frac{W3-w5}{W5} \times 100\% = 1,01\%$

Dari hasil perhitungan kandungan kadar air agregat halus, didapatkan hasil sebesar 1,01% yang artinya pasir masih memenuhi kisaran aman untuk digunakan.

Pengujian Kadar Lumpur

Untuk agregat halus (pasir), SK SNI S-04-1989-F menetapkan kadar kotoran maksimal 5%. Pasir harus dibersihkan sebelum digunakan jika persentasenya lebih dari 5%. Hasil dari pengujian kadar lumpur ditampilkan di Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Kadar Lumpur Agregat Halus

Benda Uji	Berat	Satuan
Tinggi Pasir (V1)	210	ml
Tinggi Lumpur (V2)	10	ml
Kadar Lumpur		
$\frac{V2}{(V1 + V2)} \times 100\%$	4,55	%

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4 didapatkan besar kandungan lumpur pada agregat halus ialah 4,55%. Hal ini menandakan pasir aman untuk dipakai secara langsung tanpa dibersihkan terlebih dahulu.

Pengujian Berat Jenis

Uji berat jenis pasir bermaksud untuk menentukan daya serap air, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu. Standar pengujian ini menggunakan SNI 1970:2008. Tabel 4 menampilkan hasil pengujian berat jenis tertentu yang dilakukan pada agregat halus.

Tabel 5. Perhitungan Berat Jenis Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat benda uji kering oven (A), gr	483,2
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan(S), gr	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (C), gr	978,8
Berat piknometer berisi air (B), gr	672,5
Berat jenis curah kering (A/(B+S-C))	2,495
Berat jenis kering muka (S/(B+S-C))	2,581
Berat jenis semu, A/(B+A-C)	2,731
Penyerapan Air, [(S-A)/A] x 100%	4,48%

Penyerapan Air *Paving Block*

Tiga variasi *paving block* dengan masing-masing 3 benda uji berbeda melalui pengujian penyerapan air. Keseluruhan daya serap air dapat diketahui pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi Daya Serap Air *Paving Block*

Variasi Campuran	Penyerapan Air Rata-rata (%)	Umur	Mutu	Fungsi
30:70	3.52	7	B	Parkir Mobil
40:60	4.21	7	B	Parkir Mobil
50:50	5.05	7	B	Parkir Mobil
30:70	3.78	14	B	Parkir Mobil
40:60	4.47	14	B	Parkir Mobil
50:50	5.22	14	B	Parkir Mobil

Variasi Campuran	Penyerapan Air Rata-rata (%)	Umur	Mutu	Fungsi
30:70	4.16	28	B	Parkir Mobil
40:60	4.78	28	B	Parkir Mobil
50:50	5.80	28	B	Parkir Mobil



Gambar 5. Besar penyerapan air paving block

Dari hasil uji serapan air, paving block dengan kombinasi plastik baik itu variasi 30:70, 40:60 dan 50:50 semuanya memiliki nilai penyerapan air di bawah 6%. Paving block dengan tingkat penyerapan air antara 3 sampai 6 persen tergolong untuk digunakan pada lahan parkir berdasarkan SNI 03-0691-1996. Kemampuan paving block dalam menyerap air ditingkatkan dengan menurunkan jumlah plastik PET dan meningkatkan proporsi pasir. Semakin banyak kandungan plastik yang terkandung di campuran paving block maka semakin sedikit air yang dapat terserap. Ini menunjukkan bahwa plastik memiliki pengaruh yang baik terhadap daya serap dari paving block. Hal ini sesuai dengan sifat hidrofobik yang melekat pada plastik, yang juga berdampak pada kemampuannya menyerap air.

Kuat Tekan Paving Block

Tiga buah paving block dari masing-masing tiga varian benda uji yang berbeda dilakukan pengujian kuat tekan. Sebelum dilakukan uji kuat tekan, bata beton terlebih dahulu digerinda menjadi kubus dengan ukuran 6x6x6 cm. Mengacu pada SNI 03-0691-1996 ketebalan batu paving berkisar antara 55,2-64,8 mm dengan toleransi ±8%. Ketebalan minimum harus 60 mm. Berdasarkan temuan pengukuran, seluruh paving block yang diproduksi mempunyai ketebalan yang beragam namun tetap

sesuai. Hasil perhitungan kuat tekan paving block dapat ditunjukkan oleh Tabel 6.



Gambar 6. Pengujian Kuat Tekan Paving Block

Tabel 7. Hasil Perhitungan Kuat Tekan Paving Block

Variasi	Kode	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Beban Maks (KN)	Umur (Hari)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
30:70	S1A	36.6	14	7	3.83	4.03
	S1B	36	14	7	3.89	
	S1C	36.6	16	7	4.37	
40:60	S2A	37.2	24	7	6.45	6.40
	S2B	37.8	23	7	6.08	
	S2C	36	24	7	6.67	
50:50	S3A	37.2	30	7	8.06	8.06
	S3B	36.6	29	7	7.92	
	S3C	36.6	30	7	8.20	
30:70	S1A	37.2	20	14	5.38	5.80
	S1B	36	21	14	5.83	
	S1C	37.2	23	14	6.18	
40:60	S2A	36.6	30	14	8.19	8.24
	S2B	36.6	29	14	7.92	
	S2C	37.2	32	14	8.60	
50:50	S3A	36	35	14	9.72	10.14
	S3B	37.2	39	14	10.48	
	S3C	37.2	38	14	10.21	
30:70	S1A	36.6	27	28	7.37	7.23
	S1B	36	26	28	7.22	
	S1C	36.6	26	28	7.10	
40:60	S2A	36.6	36	28	9.83	10.07
	S2B	36.6	37	28	10.10	
	S2C	36	35	28	10.28	
50:50	S3A	37.2	48	28	12.90	12.41
	S3B	37.2	45	28	12.10	
	S3C	36.6	44	28	12.22	

Berikut adalah salah satu contoh yang diambil untuk mendapatkan besar kuat tekan pada paving block umur 7 hari dengan kode sampel S1A.

$$\begin{aligned} \text{Panjang (P)} &= 6.1 \text{ cm} \\ \text{Lebar (l)} &= 6.0 \text{ cm} \\ \text{Luas (L)} &= 6.1 \text{ cm} \times 6.0 \text{ cm} \\ &= 36.6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban (p)} &= 14 \text{ kN} \\ \text{Kuat tekan} &= \frac{P}{L} \\ &= \frac{47 \text{ kN}}{36.6 \text{ cm}^2} \\ &= 0.383 \text{ kN/cm}^2 \\ &= 3.83 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

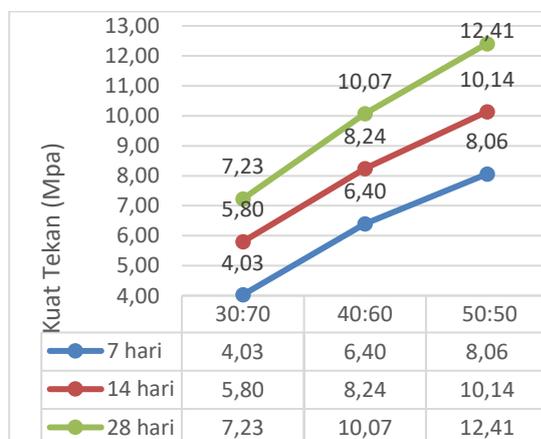
Setelah didapatkan hasil perhitungan dari masing-masing sampel lalu dihitung nilai rerata dengan cara di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan} &= \frac{\sum \text{Kuat Tekan}}{n} \\ &= \frac{3.83+3.89+4.37}{3} \\ &= 4.03 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Setelah semua kuat tekan *paving block* dihitung kemudian diklasifikasikan sesuai dengan mutu berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Kuat Tekan dan Klasifikasi Mutu *Paving Block*

Variasi	Umur	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)	Kuat Tekan Min. SNI (Mpa)	Mutu	Fungsi
30:70	7	4.03	8.5	D	Taman Kota
40:60	7	6.40	8.5	D	Taman Kota
50:50	7	8.06	8.5	D	Taman Kota
30:70	14	5.80	8.5	D	Taman Kota
40:60	14	8.24	8.5	D	Taman Kota
50:50	14	10.14	8.5	D	Taman Kota
30:70	28	7.23	8.5	D	Taman Kota
40:60	28	10.07	8.5	D	Taman Kota
50:50	28	12.41	8.5	D	Taman Kota



Gambar 7. Menunjukkan hasil kuat tekan rata-rata dari *paving block* yang telah diuji.

Paving block campuran plastik yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi ialah *paving block* dengan variasi 50% pasir : 50% plastik di umur 28 hari sebesar 12.41 Mpa yang dikategorikan untuk penggunaan taman kota. Selain itu, *paving block* dengan variasi 50:50 pada umur 14 hari dan 40:60 pada umur 28 hari juga memenuhi standar minimum SNI 03-0691-1996 untuk penggunaan taman kota. Komposisi campuran optimum dengan hasil kuat tekan terbaik baik di umur 7 hari maupun 14 hari adalah 50% pasir dan 50% plastik PET. Untuk *paving block* dengan variasi 30% pasir : 70% plastik PET di umur 7, 14 dan 28 hari serta *paving block* variasi 40% pasir dan 60% plastik PET umur 7 dan 14 hari belum memenuhi standar SNI. Hal ini dikarenakan tidak terjadinya lekatan yang cukup baik antara pasir dan plastik PET yang mengakibatkan *paving block* menjadi kurang kuat saat dilakukan pengujian kuat tekan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan penggunaan plastik Polyethylene Terephthalate (PET) memiliki pengaruh yang baik terhadap daya serap dari *paving block*. Semakin banyak kandungan plastik yang terdapat pada campuran *paving block* maka semakin sedikit air yang dapat terserap. Sementara untuk kuat tekan, plastik memberikan pengaruh yang kurang signifikan secara keseluruhan terhadap kuat tekan *paving block*. Hal ini dikarenakan tidak terjadinya lekatan yang baik antara plastik PET dengan pasir sehingga terdapat rongga yang membuat struktur *paving block* menjadi kurang padat. Persentase minimum plastik PET yang dapat digunakan dalam pembuatan *paving block* agar dapat memenuhi standar kuat tekan SNI 03-0691-1996 untuk *paving block* bermutu D adalah 40% pasir : 60% plastik dengan umur 28 hari. Untuk umur 14 hari yang memenuhi standar mutu D adalah 50% pasir dan 50% plastik. Untuk meningkatkan proses pemadatan paving block, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan cetakan besi. Penelitian di masa depan diharapkan memanfaatkan berbagai modifikasi campuran untuk mengevaluasi dampaknya terhadap kualitas paving block. Jika ingin meningkatkan kualitas bata beton, perlu dilaksanakan studi lebih lanjut mengenai pembuatan dengan menggunakan berbagai jenis plastik, seperti HDPE atau PP.

REFERENSI

Agyeman, S., N. K. Obeng-Ahenkora, S. Assiamah, & G. Twumasi. 2019. "Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for

- paving blocks production.” *Case Studies in Construction Materials* 11 (Desember).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00246>.
- Benyathiar, Patnarin, Pankaj Kumar, Gregory Carpenter, John Brace, & Dharmendra K. Mishra. 2022. “Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review.” *Polymers*. MDPI.
<https://doi.org/10.3390/polym14122366>.
- Brizi, Muhammad Rifqi Attib. 2019. “Pemanfaatan Limbah Plastik LDPE Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Bata Beton (Paving Block).” Magelang: Universitas Tidar.
- Jaganmohan, Madhumitha. 2024. “Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2022.” Statista.com. 2024.
- Laurence W. McKeen. 2018. “The Effect of Sterilization Methods on Plastics and Elastomers (Fourth Edition).” *A Volume in the Plastics Design Library Series* 4:139–86.
- Loganayagan, Keerthana, Abishek, & Amudhan Vetrivel. 2021. “Study on plastic pet bottles characteristics to develop eco-friendly plastic paver blocks.” Dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1059. IOP Publishing Ltd.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1059/1/012042>.
- Ministry of Environment, Forest & Climate Change, Govt. of India. 2018. “Life Cycle Assessment (LCA) Study of Plastics Packaging Products.” New Delhi.
- Mustakim, Rahima, Abd. Muis & Andi Sulfanita. 2023. “Studi Perbandingan Kuat Tekan dan Daya Serap Paving Block Berbahan Dasar Limbah Plastik.” *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 20(1), 41-50.
- Nursakinah, Zulfazri, Syamsul Bahri & Ahmad Fikri. 2023. “Analisa Variasi Polyethylene Terephthalate (PET) Dan Cangkang Telur Sebagai Bahan Pembuatan Paving Block Ramah Lingkungan.” *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(4), 560.
<https://doi.org/10.29103/cejs.v3i4.11093>
- Okatama, Irvan. 2016. “Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphthalate (PET) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik.” *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*. Vol. 05.
- Purwaningrum, Pramati. 2016. “Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan. .” *Indonesian Journal of Urban And Environmental Technology* 8 (2): 141–47.
- Riyandini, Vina Lestari, Hendri Sawir, & Syukri Ilham. 2024. “Daur Ulang Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dan Abu Terbang (*Fly Ash*) Menjadi Paving Block.” *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology* 5 (1): 37–41.
<https://doi.org/10.52158/jaceit.v5i1.754>.
- Zair, Mohamed Meftah Ben, Fauzan Mohd Jakarni, Ratnasamy Muniandy, & Salihudin Hassim. 2021. “A brief review: Application of recycled polyethylene terephthalate in asphalt pavement reinforcement.” *Sustainability (Switzerland)*. MDPI.
<https://doi.org/10.3390/su13031303>.

Pengaruh Pemanfaatan Limbah Plastik LDPE Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Metode Marshall

The Influence of LDPE Plastic Waste Utilization on the Characteristics of AC-WC Mixture Using the Marshall Method

Iqbal¹, Dwi Guntoro Sukowati², Muhammad Rusmin³, Faried Desembardi⁴, Kartika Puspita⁵

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong, Jl. Pendidikan No.27, Kel. Klabulu, Kec. Malaimsimsa, Kota Sorong, Papua Barat Daya. Telp: (0951) 322382. Email : dwiguntoro886688@gmail.com

Abstrak

Limbah plastik LDPE adalah salah satu jenis limbah plastik yang sering ditemukan di Kota Sorong, Provinsi Papua Barat Daya. Penggunaan LDPE sebagai bahan pembungkus untuk produk sehari-hari menjadi penyebab utama. Penggunaan limbah plastik LDPE sebagai bahan tambah dalam Laston (AC-WC) memiliki beberapa manfaat, seperti mampu meningkatkan kualitas aspal beton, mempercepat proses pembuatan aspal beton, dan meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik campuran laston AC-WC dengan dan tanpa penambahan limbah plastik LDPE berdasarkan parameter *Marshall Standard*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium yang meliputi beberapa tahap, seperti pengujian sifat fisik agregat dan aspal, penentuan kadar aspal optimum, serta pengujian untuk mengukur parameter Marshall dengan menambahkan plastik LDPE sebanyak 2,5%, 5%, dan 7% dari berat aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai KAO untuk campuran AC-WC adalah 6,5%. Berdasarkan pengujian *Marshall* ditinjau dari sifat mekanisnya, penambahan 5% plastik LDPE pada campuran AC-WC menghasilkan nilai stabilitas tertinggi, yaitu sebesar 1824,54 kg. Sedangkan pada sifat volumetriknya, penambahan plastik LDPE dapat meningkatkan nilai VIM dan VMA. Kesimpulannya, dengan adanya penambahan limbah plastik LDPE mampu memperbaiki kinerja campuran AC-WC.

Kata Kunci: AC-WC; LDPE; Limbah; Metode Marshall; Plastik

Abstract

LDPE plastic waste is a common type of plastic waste found in Sorong City, Southwest Papua Province. The primary cause is the widespread use of LDPE as a packaging material for everyday products. The use of LDPE plastic waste as an additive in Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) offers several benefits, such as improving asphalt concrete quality, speeding up the production process, and minimizing environmental impact. This study aims to identify the characteristics of AC-WC mixtures with and without the addition of LDPE plastic waste based on Marshall Standard parameters. The research used a laboratory experimental method, which included several stages such as testing the physical properties of aggregate and asphalt, determining the optimum asphalt content, and testing to measure Marshall parameters by adding LDPE plastic at 2.5%, 5%, and 7% of asphalt weight. The results showed that the optimum bitumen content (OBC) for the AC-WC mixture is 6.5%. Based on the Marshall test focused on mechanical properties, the addition of 5% LDPE plastic to the AC-WC mixture yielded the highest stability value of 1824.54 kg. As for volumetric properties, the addition of LDPE plastic increased the VIM and VMA values. In conclusion, adding LDPE plastic waste can enhance the performance of the AC-WC mixture.

Keywords: AC-WC; LDPE; Waste; Marshall Method; Plastic

PENDAHULUAN

Aspal merupakan bahan pengikat pada campuran aspal dan berperan penting dalam peningkatan kualitas jalan. Saat ini banyak campuran bahan aspal yang dikembangkan untuk meningkatkan kinerja perkerasan, khususnya perkerasan lentur, dan dievaluasi berdasarkan biaya

konstruksi, ketersediaan bahan perkerasan, dan kemudahan pelaksanaan. Namun penggunaan aspal beton mempunyai beberapa kelemahan, seperti harganya yang relatif mahal dan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu usulan alternatif produksi beton aspal yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan adalah penggunaan

limbah plastik sebagai bahan tambah. Limbah plastik jenis *low density polyethylene* (LDPE) adalah salah satu jenis sampah plastik yang banyak ditemukan di Kota Sorong, Papua Barat Daya.

Penggunaan limbah plastik LDPE sebagai bahan kemasan untuk produk sehari-hari merupakan penyebab utamanya. Namun, karena tidak semua produk tersebut bisa didaur ulang, limbah plastik LDPE sering menjadi sampah yang sulit diolah dan dibuang di tempat-tempat yang tidak semestinya. Pemanfaatan bahan polimer atau plastik dalam campuran aspal dipandang sebagai salah satu solusi yang diharapkan mampu meningkatkan kestabilan aspal. Banyak penelitian telah dilakukan mengenai penggunaan sampah plastik sebagai pengganti sebagian bahan aspal. Penelitian-penelitian ini melibatkan variasi persentase plastik, berbagai jenis plastik, serta variasi campuran aspal yang digunakan.

Pemanfaatan limbah plastik LDPE sebagai bahan tambahan dalam campuran laston (AC-WC) menawarkan beberapa manfaat, seperti mampu meningkatkan kualitas aspal beton, mempercepat proses pembuatan aspal beton. Penambahan plastik LDPE berdampak pada peningkatan nilai stabilitas bila dibandingkan dengan campuran aspal beton yang tidak mengandung plastik LDPE (Priyadi, dkk 2023).

(Wijayanti & Radam, 2022) dalam penelitiannya tentang pemanfaatan limbah plastik pada campuran laston, menjelaskan bahwa penambahan plastik adalah salah satu solusi yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai stabilitas campuran aspal. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Razak & Erdiansa, 2016) dengan penambahan limbah plastik LDPE dapat meningkatkan kepadatan pada campuran laston.

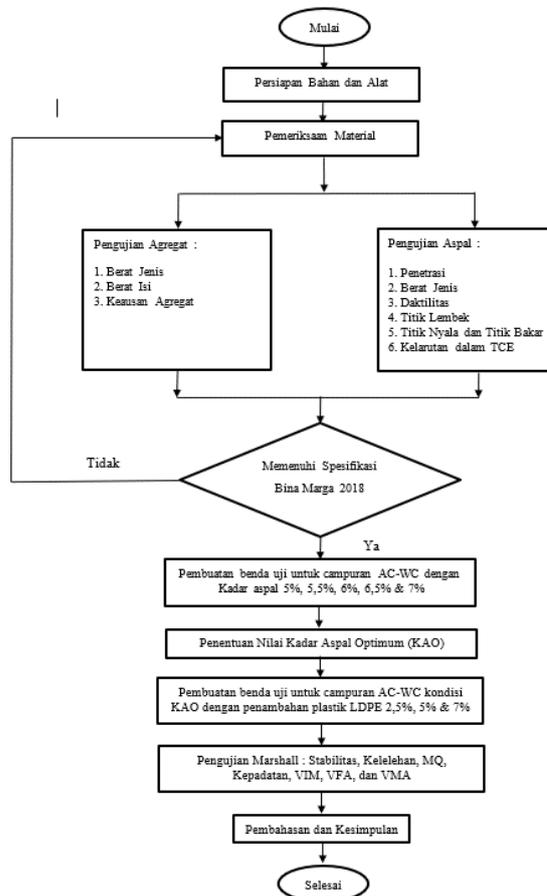
Berdasarkan uraian penjelasan diatas, penulis merasa perlu mengidentifikasi pengaruh penambahan limbah plastik jenis LDPE pada campuran AC-WC dengan menggunakan Metode *marshall*, yang diharapkan dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan stabilitas dan parameter *Marshall* lainnya pada campuran aspal, sekaligus menawarkan solusi untuk memanfaatkan limbah plastik LDPE.

METODE

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium yang berfokus pada kajian pemanfaatan limbah plastik LDPE terhadap karakteristik campuran laston (AC-WC) dengan parameter *Marshall Standard*. Pengujian ini dirasa penting untuk memahami bagaimana jenis plastik LDPE dapat berperan dalam meningkatkan nilai-nilai parameter marshall khususnya stabilitas dan

nilai IRS, terutama dalam memanfaatkan limbah plastik yang ada di Kota Sorong, Papua Barat Daya. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sorong.

Diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan meliputi agregat, bahan pengisi (*filler*), aspal dan plastik jenis LDPE dengan variasi penambahan 2,5%, 5% dan 7%. Agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) diperoleh dari stone crusher quarry Saoka, Kota Sorong, sementara bahan pengikat yang digunakan adalah Aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70. Langkah-langkah dalam penelitian ini mencakup persiapan dan pengujian sifat fisik agregat, pembuatan benda uji untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO), serta pengujian benda uji dengan dan tanpa penambahan plastik LDPE. Parameter Marshall yang dianalisis meliputi nilai stabilitas, pelelehan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), kepadatan (*density*), rongga udara dalam campuran atau *Void In Mix* (VIM), rongga udara terisi aspal atau *Void Filled Bitumen* (VFB), serta rongga udara dalam agregat atau *Void in Material Aggregate* (VMA).

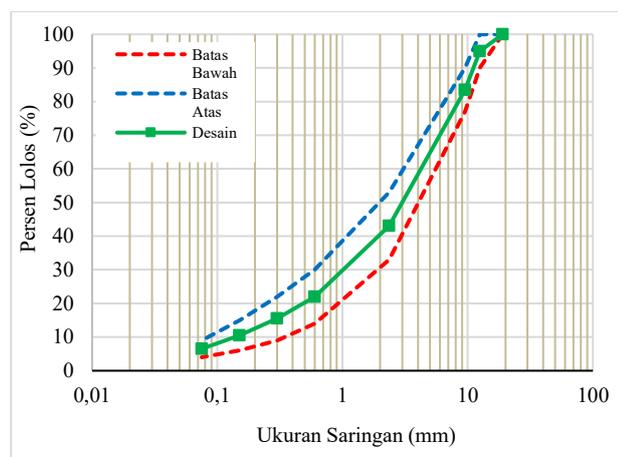
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melaksanakan beberapa pengujian sifat fisik agregat, yang meliputi berat jenis dan penyerapan air, berat isi, serta keausan abrasi, hasil pengujian menunjukkan bahwa material yang digunakan dalam campuran AC-WC memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Langkah selanjutnya adalah merancang proporsi agregat. Perancangan dimaksudkan untuk menentukan persentase pada masing-masing fraksi agregat sehingga nilai kadar aspal perkiraan (*Pb*) atau kadar aspal tengah dapat dihitung.

Dalam penelitian ini, campuran AC-WC yang digunakan mengikuti Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Gradasi rencana campuran AC-WC disajikan dalam Tabel 1 dan digambarkan dalam kurva yang menunjukkan hubungan antara ukuran saringan dan persentase lolos, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Gradasi Rencana Campuran AC-WC

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)
ASTM	(mm)	Min	Maks	Lolos
3/4"	19	100	100	100
1/2"	12.5	90	100	95
3/8"	9.5	77	90	83.5
No. 4	4.75	53	69	61
No. 8	2.36	33	53	43
No. 16	1.18	21	40	30,5
No. 30	0.6	14	30	22
No. 50	0.3	9	22	15.5
No. 100	0.15	6	15	10.5
No. 200	0.075	4	9	6.5



Gambar 2. Gradasi Rencana Campuran AC-WC

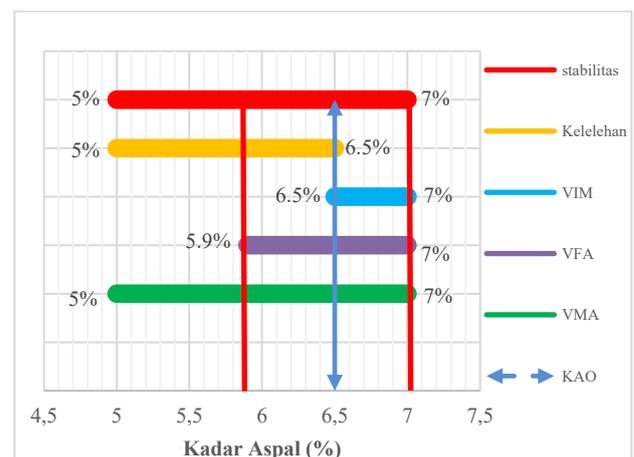
Setelah menentukan gradasi rencana, proses selanjutnya adalah merencanakan kadar aspal

perkiraan (*Pb*) atau kadar aspal tengah. Perancangan tersebut dimaksudkan untuk memudahkan untuk menentukan nilai KAO. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai *Pb* sebesar 6%. Selanjutnya, untuk menentukan nilai KAO pada campuran AC-WC, dibuat dua variasi kadar aspal di bawah dan di atas nilai *Pb* dengan interval 0,5%. Dengan demikian, variasi kadar aspal untuk menentukan nilai KAO pada campuran AC-WC adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Setiap variasi kadar aspal memiliki 3 buah sampel benda uji yang akan diuji menggunakan metode *marshall*.

Dari hasil pengujian *marshall* diperoleh parameter-parameter diantaranya adalah stabilitas, pelelehan, MQ, kepadatan, VIM, VFB, dan VMA. Hasil pengujian *marshall* pada campuran AC-WC untuk menentukan nilai KAO disajikan dalam Tabel 2 dan ditampilkan dalam bentuk diagram batang, seperti yang terlihat pada Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Marshall

Parameter Marshall	Kadar Aspal				
	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Stabilitas	1013.43	1132.80	1411.45	1483.93	1307.90
Pelelehan	3,60	3,70	4,00	4,00	4,70
MQ	281.92	306.23	357.46	371.03	276.29
Kepadatan	2.25	2.28	2.31	2.32	2.33
VIM	9.58	8.34	6.72	5.07	4.02
VFA	53.35	58.01	66.06	74.29	78.80
VMA	20.54	20.82	19.71	19.70	19.84



Gambar 3. Diagram Batang Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Nilai kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan hasil uji parameter *marshall* yang memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018.

Pada Gambar 3, terlihat bahwa kadar aspal yang memenuhi nilai persyaratan sifat campuran AC-WC berada dalam rentang 5,9% hingga 7%,

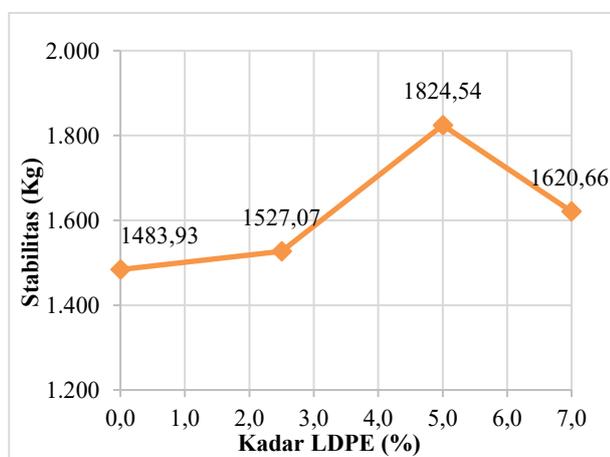
sehingga nilai kadar aspal optimum yang diperoleh untuk campuran AC-WC adalah 6,5%. Setelah nilai KAO diperoleh, tahap selanjutnya adalah membuat kembali benda uji dengan variasi penambahan plastik LDPE sebesar 0%, 2,5%, 5% dan 7% pada kondisi KAO. Jumlah sampel pada setiap variasi adalah 3 buah sampel, sehingga total jumlah sampel adalah sebanyak 12 buah sampel.

Proses selanjutnya adalah melakukan kembali pengujian *marshall* untuk memperoleh beberapa nilai parameter yang diantaranya stabilitas, kelelahan (*flow*), MQ, kepadatan, VIM, VFB, dan VMA berdasarkan hasil penambahan variasi plastik LDPE. Rekapitulasi hasil pengujian *marshall test* untuk campuran laston (AC-WC) dengan variasi penambahan plastik LDPE ditampilkan dalam Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall Dengan Penambahan Plastik LDPE

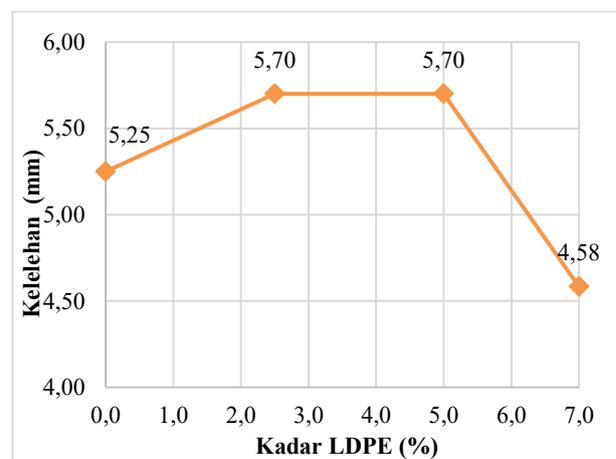
Parameter Marshall	Variasi Plastik LDPE			
	0%	2.5%	5%	7%
Stabilitas	1483.93	1527.07	1824.54	1620.66
Pelelehan	5.25	5.70	5.70	4.58
MQ	221.12	284.95	356.46	357.42
Kepadatan	2.32	2.30	2.28	2.27
VIM	5.22	5.84	6.09	6.79
VFB	74.29	71.31	70.38	67.63
VMA	19.70	20.69	21.07	21.22

Dari analisis data yang ditampilkan pada Tabel 3, penggunaan plastik LDPE sebagai bahan tambahan terhadap karakteristik campuran AC-WC akan dibahas pada masing-masing parameter *marshall*, yang mencakup stabilitas, kelelahan (*flow*), MQ, kepadatan, VIM, VFA, dan VMA, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 hingga 10.



Gambar 4. Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi Plastik LDPE Pada Campuran AC-WC

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, terlihat bahwa dengan penambahan plastik LDPE dalam campuran AC-WC dapat meningkatkan nilai stabilitas. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada variasi penambahan 5% dengan nilai sebesar 1824,54 kg. Sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Razak & Erdiansa, 2016) yang menyatakan bahwa penambahan plastik LDPE dalam campuran laston dapat memengaruhi nilai stabilitas. Hal ini disebabkan oleh kemampuan plastik untuk mengisi rongga di antara butiran agregat, sehingga rongga antar butiran agregat menjadi lebih padat. Seluruh variasi penambahan plastik LDPE mampu meningkatkan nilai stabilitas dan memenuhi persyaratan nilai campuran laston (AC-WC) berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018.

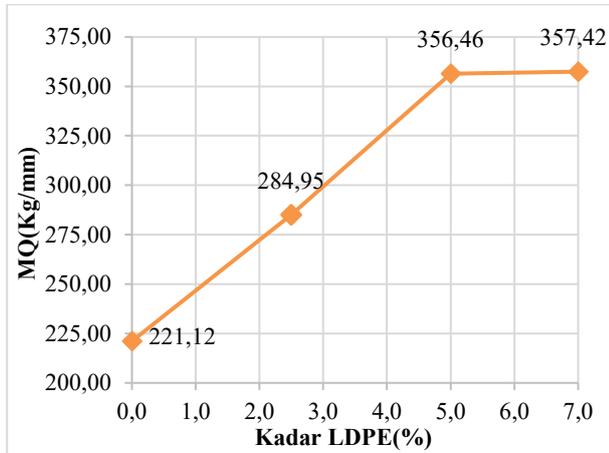


Gambar 5. Hubungan Kelelahan Terhadap Variasi Plastik LDPE Pada Campuran AC-WC

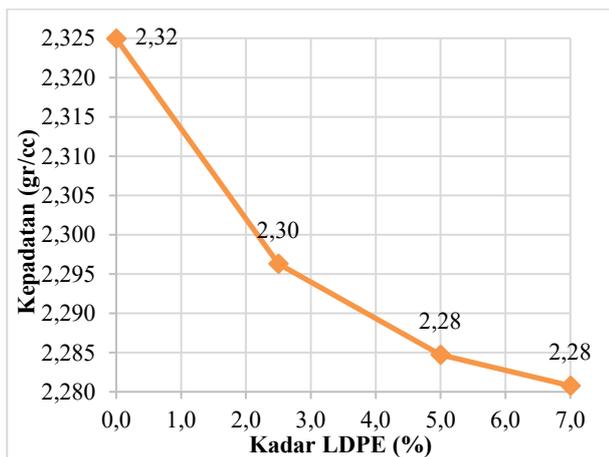
Penambahan plastik LDPE dalam campuran laston AC-WC mampu mempengaruhi nilai kelelahan (*flow*). Seperti yang ditampilkan dalam Gambar 5, dapat disimpulkan bahwa penambahan plastik LDPE dengan kadar 2,5% dan 5% dapat meningkatkan nilai kelelahan. Sedangkan pada penambahan kadar 7% nilai kelelahan lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran tanpa plastik LDPE atau pada kadar 0%. (Wijayanti & Radam, 2022) dalam penelitiannya menyatakan bahwa Semakin tinggi kadar penambahan plastik LDPE dalam campuran aspal beton, semakin rendah nilai kelelahan (*flow*) yang dihasilkan.

Pada Gambar 6, terlihat bahwa seiring dengan penambahan plastik LDPE dalam campuran AC-WC, nilai MQ semakin meningkat. Peningkatan nilai MQ yang signifikan yaitu pada kadar penambahan 2,5% dan 5%. Sementara pada kadar penambahan 7% kenaikan nilai MQ tidak terlalu signifikan. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wijayanti & Radam, 2022) yang menyimpulkan

Bahwa semakin tinggi kadar penambahan plastik LDPE dalam campuran AC-WC, semakin tinggi pula nilai MQ yang diperoleh.

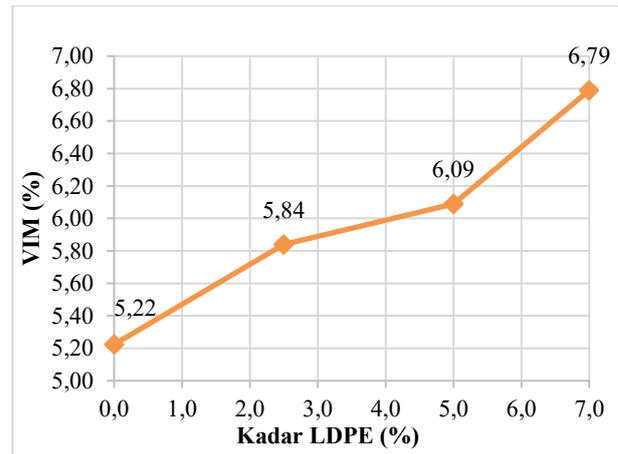


Gambar 6. Hubungan MQ Terhadap Variasi Plastik LDPE Pada Campuran AC-WC



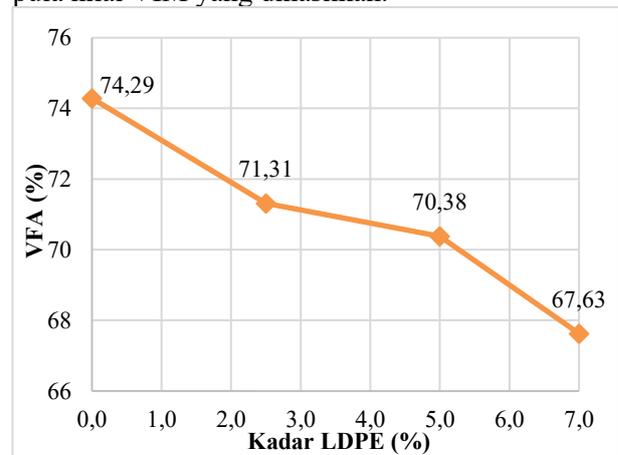
Gambar 7. Hubungan Kepadatan Terhadap Variasi Plastik LDPE Pada Campuran AC-WC

Berdasarkan grafik di Gambar 7, terlihat bahwa nilai kepadatan semakin menurun seiring dengan penambahan plastik LDPE. Dari hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan plastik LDPE dalam campuran AC-WC tidak dapat meningkatkan nilai kepadatan.



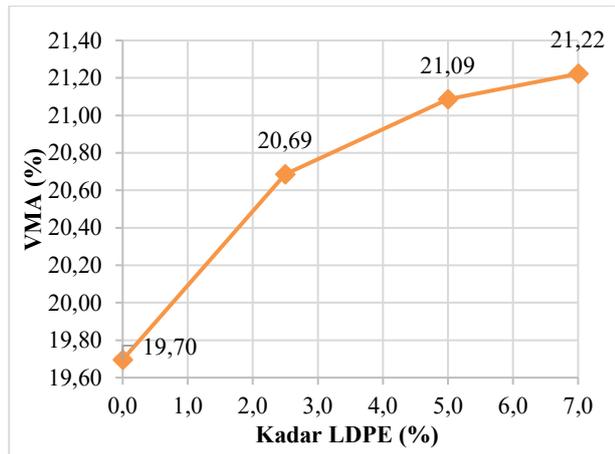
Gambar 8. Hubungan VIM Terhadap Variasi Plastik LDPE Pada Campuran AC-WC

Penambahan plastik LDPE dalam campuran AC-WC mampu meningkatkan nilai VIM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Dari hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan plastik LDPE dalam campuran laston AC-WC mampu mengisi rongga udara dalam campuran. Menurut (Wijayanti & Radam, 2022) Semakin tinggi kadar plastik LDPE, semakin tinggi pula nilai VIM yang dihasilkan.



Gambar 9. Hubungan VFB Terhadap Variasi Plastik LDPE Pada Campuran AC-WC

Grafik pada Gambar 9, terlihat bahwa seiring penambahan plastik LDPE pada campuran AC-WC maka nilai VFB atau rongga udara yang terisi aspal semakin menurun. Hal tersebut selaras dengan penelitian (Wijayanti & Radam, 2022) yang menyimpulkan bahwa semakin tinggi kadar plastik LDPE, semakin rendah nilai VFB yang diperoleh. (Situmorang dkk, 2015) juga menyatakan bahwa penambahan plastik LDPE pada campuran AC-WC dapat mempengaruhi nilai VFB.



Gambar 10. Hubungan VMA Terhadap Variasi Plastik LDPE Campuran AC-WC

Pada Gambar 10 terlihat bahwa seiring dengan penambahan plastik LDPE dalam campuran AC-WC maka nilai VMA semakin meningkat. Peningkatan nilai MQ yang signifikan yaitu pada kadar penambahan 2,5% dan 5%. Sementara pada kadar penambahan 7% kenaikan nilai VMA tidak terlalu signifikan. Sejalan dengan penelitian (Pribadi, dkk 2023), yang menunjukkan bahwa penambahan LDPE membuat nilai VMA meningkat jika dibandingkan dengan campuran laston tanpa penambahan LDPE.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian analisis yang telah dijelaskan, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan plastik LDPE pada campuran AC-WC berpengaruh terhadap karakteristik *marshall*, baik dari sifat mekanis maupun dari sifat volumetriknya. Berdasarkan hasil dari pengujian *marshall standard* diperoleh nilai kadar aspal optimum adalah sebesar 6,5%. Parameter *marshall* ditinjau dari sifat mekanisnya, dengan penambahan plastik LDPE dalam campuran laston AC-WC dapat meningkatkan nilai stabilitas, kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quotient* (MQ). Nilai stabilitas tertinggi tercatat pada kadar penambahan 5% dengan nilai sebesar 1824,54 kg, nilai kelelahan sebesar 5,70mm, dan nilai MQ sebesar 357,42 kg/mm. Pada sifat volumetriknya, penambahan plastik LDPE dalam campuran laston AC-WC dapat meningkatkan nilai VMA dan VIM. Sedangkan nilai kepadatan (*density*) dan nilai VFB semakin menurun seiring dengan penambahan plastik LDPE dalam campuran laston AC-WC. Dengan demikian, keluaran dari penelitian ini mampu memberikan gambaran bahwa penggunaan plastik jenis LDPE dalam campuran AC-WC perlu dipertimbangkan, karena dapat mempengaruhi

karakteristik Marshall baik dari sifat mekanis maupun dari sifat volumetriknya.

REFERENSI

- Iqbal, I., & Fauziah, M. (2023). Experimental study of the use of waste rubber tire additives using the sequential mixing method on the performance of Hot-Rolled Sheet-Wearing Course mixtures. *TEKNIK*, 44(2), 167-175.
- Bela, K. R. (2024). Analisis Nilai Durabilitas Laston HRS-WC dan Laston AC-WC menggunakan Material Agregat Bulat pada Pemadatan Sedang. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 6(1), 30-38.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Campuran Beraspal Panas (Hotmix). In *Spesifikasi Umum 2018*. Departemen Pekerjaan Umum
- Razak, B. A., & Erdiansa, A. (2016). Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *INTEK: Jurnal Penelitian*, 3(1), 8. <https://doi.org/10.31963/intek.v3i1.9>
- Situmorang, P., Yofianti, D., & Safitri, R. (2019, September). Penggunaan plastik LDPE (Low Density Polyethilen) sebagai substitusi aspal pada campuran AC-WC. In *Proceedings of National Colloquium Research and Community Service* (Vol. 3, pp. 27-30).
- Suripatty, R. (2020). Analisis Yuridis Pengelolaan Sampah Di Kota Sorong Ditinjau Dari Peraturan Daerah No. 15 Tahun 2013". *Analisis Yuridis Pengelolaan Sampah*, 15, 111-126.
- Susanto, I., & Suaryana, N. (2019). Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 17(2), 27. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v17i2.4980>
- Tirsa Widiatika, Desriantomy, & Mohamad Amin. (2021). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (Hrs-Wc) Menggunakan Bahan Tambah Plastik Bekas Jenis Low Density Polyethylene (Ldpe). *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 172-180. <https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2731>
- Wijayanti, A., & Radam, I. F. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC. *Jurnal Rivet*, 1(02), 80-90.

Analisis Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

Analysis of Egg Shell Powder Utilization on the Compressive Strength of Geopolymer Concrete

Debby Sinta Devi^{1*} Henggar Risa Destania² Muhammad Rizky Cahyadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Jln. Jend. Sudirman Km.4 No. 62, Palembang, Sumatera Selatan 30129.
Email : debbysintadevi@uigm.ac.id

Abstrak

Pembangunan infrastruktur yang pesat saat ini menyebabkan peningkatan penerapan beton menjadi bahan konstruksi utama. Beton memiliki beberapa keutamaan, seperti kekuatan tekan yang tinggi, durabilitas, dan ketahanan terhadap api, meskipun penggunaannya dapat menimbulkan dampak lingkungan, terutama terkait dengan emisi karbon dari produksi semen. Beton geopolimer merupakan salah satu alternatif material ramah lingkungan yang tidak memerlukan semen Portland. Beton geopolimer menggunakan cairan alkali untuk bereaksi dengan silika dan aluminium dari bahan-bahan seperti *fly ash* dan serbuk cangkang telur. *Fly ash* dan cangkang telur, yang merupakan limbah industri dan domestik, dapat didaur ulang untuk menggantikan semen, mengurangi dampak lingkungan dari konstruksi beton. Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan serbuk cangkang telur dan *fly ash* pada kekuatan tekan beton geopolimer variasi serbuk cangkang telur dan *fly ash* menggunakan variasi 40:60, 50:50 dan 60:40. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa beton geopolimer dengan 0 % Serbuk cangkang telur adalah sebesar 30,77 MPa, sedangkan untuk semua variasi benda uji, penggunaan serbuk cangkang telur 40% dan *fly ash* 60% menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu adalah sebesar 32,33 MPa. Peningkatan kekuatan ini disebabkan magnesium, besi, dan kalsium karbonat sebagai senyawa yang ditemukan dalam serbuk cangkang telur dan semen Portland.

Kata Kunci: Beton, Geopolimer, Cangkang telur, *Fly ash*, Kuat tekan.

Abstract

The recent development of rapid infrastructure has led to an increase in the application of concrete as the main construction material. Concrete has several virtues, such as high compressive strength, durability, and fire resistance, although its use can have environmental impacts, especially related to carbon emissions from cement production. Geopolymer concrete is an alternative environmentally friendly material that does not require Portland cement. Geopolymer concrete uses an alkaline liquid to react with silica and aluminum from materials such as fly ash and eggshell powder. Fly ash and eggshells, which are industrial and domestic wastes, can be recycled to replace cement, reducing the environmental impact of concrete construction. This study evaluates the utilization of eggshell powder and fly ash on the compressive strength of geopolymer concrete using variations of 40:60, 50:50 and 60:40. The compressive strength test results show that geopolymer concrete with 0% eggshell powder is 30.77 MPa, while for all variations of test specimens, the use of 40% eggshell powder and 60% fly ash produces the highest compressive strength which is 32.33 MPa. This increase in strength is due to magnesium, iron, and calcium carbonate as compounds found in eggshell powder and Portland cement.

Keywords: Concrete, Geopolymer, Eggshell powder, Fly ash, Compressive strength.

PENDAHULUAN

Saat ini, pemerintah banyak membangun infrastruktur, termasuk hunian, bangunan tinggi, jembatan, waduk, jalan raya, pelabuhan, bandara, dan lainnya. Selain baja dan kayu, beton juga merupakan opsi struktural untuk konstruksi. Beton

didesain agar mampu bertahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk perubahan cuaca dan paparan bahan kimia (Devi et al., 2023). Beton sangat diminati karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan material lainnya. Beberapa keunggulannya meliputi harga yang relatif terjangkau, tinggi kuat tekan, durabilitas cuku tinggi,

ketahanan terhadap api, ketersediaan sumber daya material pembentuk yang mudah, serta sifatnya yang tidak akan terjadi pembusukan (Novianti et al., 2019).

Dalam hal peningkatan penggunaan beton konvensional, muncul berbagai permasalahan, salah satunya adalah tingginya pemakaian semen yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan. Bergantung pada berat semen yang dihasilkan, pembuatan semen dapat menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) yang meningkatkan kerusakan lingkungan, termasuk efek pemanasan global (Devi et al., 2022). Hingga saat ini telah ditemukan inovasi bahan pembuatan beton dari *fly ash* dan Serbuk cangkang telur, karena cangkang telur tidak mengandung bahan berbahaya atau beracun, serbuk cangkang telur dapat dianggap sebagai material konstruksi ramah lingkungan (Gunarso et al., 2020).

Beton geopolimer merupakan tipe beton yang diproduksi dengan tanpa memakai bahan pengikat berupa semen portland. Beton geopolimer diperkenalkan pertama kali oleh Joseph Davidovits, seorang ilmuwan asal Prancis pada tahun 1978. Beton geopolimer (GPC) adalah beton tanpa semen yang berkelanjutan yang dibuat dengan abu terbang, terak, dan bahan limbah lainnya sebagai produk sampingan industri (Chary et al., 2023). Bahan geopolimer dapat mengikat agregat menjadi bahan komposit yang kuat seperti hidrasi pada semen (Tran et al., 2023). Dalam hidrasi semen Portland, produk Geopolimer ditunjukkan sebagai senyawa semen, yang dapat mengikat agregat longgar menjadi bahan komposit yang kuat. Pada pembuatan beton geopolimer, larutan alkali digunakan untuk bereaksi dengan silika (Si) dan aluminium (Al) yang ditemukan dalam mineral alami seperti clay dan kaolin. Dalam pembuatan beton geopolimer, limbah seperti terak, abu sekam padi, abu burung, dan abu merah dapat digunakan sebagai pengganti semen. Dengan penggunaan natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat (Na₂SiO₃) atau kalium silikat (K₂SiO₃), cairan alkali terdiri dari logam alkali yang larut. Cangkang telur dan *fly ash* (FA) dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar setiap tahunnya. Indonesia memiliki kapasitas yang sangat besar hingga 178.566,33 ton limbah cangkang telur per tahun (Dalimunthe et al., 2022). Kedua bahan limbah tersebut dapat didaur ulang sebagai konstruksi bahan karena komposisi mineraloginya. Cangkang telur mengandung bentuk murni kalsium karbonat, yang bisa bermanfaat pengganti kapur dalam produksi semen. Selain itu, Serbuk Cangkang Telur mengandung jumlah CaO yang hampir sama dengan semen. Dengan demikian, Serbuk cangkang telur mempunyai komposisi kimia yang mirip dengan semen dapat digunakan sebagai

pengganti sebagian bahan konstruksi apa pun (Shekhawat, 2019).

Dengan digunakannya cangkang telur dan *fly ash* sebagai bahan campuran beton Geopolimer, maka akan dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terhadap analisis pemanfaatan serbuk cangkang telur dan *fly ash* terhadap kekuatan beton geopolimer untuk mengetahui bagaimana pengaruh pemanfaatan serbuk cangkang telur dan *fly ash* dalam campuran beton Geopolimer.

METODE

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang bertujuan mengetahui pengaruh perbandingan *fly ash* dan Serbuk Cangkang Telur terhadap karakteristik kuat tekan beton geopolimer. Variasi Perbandingan *fly ash* dan Serbuk Cangkang Telur sebesar 60%:40%, 50%:50%, dan 40%:60%. Uji kuat tekan dilaksanakan pada sampel berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm dengan rencana beton mutu Fc'25 MPa. Beberapa tahapan yang dilakukan dari penelitian ini antara lain:

1. Tahap pertama adalah persiapan material dan alat. Tahap ini berupa persiapan peralatan dan material yang diperlukan selama proses pembuatan beton geopolimer. Pada penelitian ini memanfaatkan *fly ash* yang didapatkan dari PT. Pupuk Sriwidjaja, berupa *fly ash* tipe F serta material lainnya seperti agregat kasar, agregat halus, air suling (aquades) dan larutan alkali aktivator yang terdiri dari soda api (NaOH) dan waterglass (Na₂SiO₃). Untuk peralatan yang digunakan berupa saringan (ayakan), timbangan, oven, piknometer, *sieve shaker*, *hand mix*, cetakan benda uji (silinder), kerucut abrams, vikat, jangka sorong dan mesin uji kuat tekan beton.
2. Tahap kedua adalah pengujian awal. Sebelum memulai pembuatan beton, dilakukan pengujian awal untuk mengidentifikasi sifat-sifat fisik dari material penyusunnya, serta agregat kasar dan halus. Dengan melakukan uji kelayakan agregat dapat diketahui karakteristik masing-masing material sebelum dicampurkan. Berikut tahapan pada pengujian agregat:
 - a) Analisis saringan agregat halus, agregat kasar, dan serbuk cangkang telur (SNI 03-1990-2000).
 - b) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar (SNI 1970-2008).
 - c) Pemeriksaan kadar air agregat halus dan agregat kasar (SNI 03-1971-1990-1990).
 - d) Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (SNI 03-4142-1996).

- e) Pemeriksaan berat isi atau volume agregat halus dan agregat kasar (SNI 03-4804-1998).
3. Tahap ketiga adalah Perencanaan campuran pembuatan beton DMF (*design mix formula*). Tahap ini bertujuan untuk menentukan kombinasi terbaik antara agregat halus, agregat kasar, serbuk cangkang telur, fly ash dan air. Untuk larutan alkali aktivator menggunakan perbandingan 2,5 (Na₂SiO₃) : 1 (NaOH). Prosedur pencampuran beton normal mengikuti standar (SNI 03-2834-2000, 2000), sedangkan untuk beton geopolimer ini merujuk pada penelitian terdahulu (Putri et.al., 2022). Proporsi campuran beton normal terdapat pada Tabel 1, sedangkan proporsi beton geopolimer per-m³ bisa dilihat pada Tabel 2 dan jumlah sampel benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Komposisi campuran beton normal

Variasi	Komposisi Campuran Beton (Kg)			
	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen	Air
BN	1,003	2,034	0,963	0,423

Tabel 2. Proporsi campuran beton variasi per-m³

Variasi	BG	BG-1	BG-2	BG-3
Fly ash (kg)	0,963	0,578	0,481	0,385
Agregat Halus (kg)	1,003	1,003	1,003	1,003
Agregat kasar (kg)	2,030	2,030	2,030	2,030
Air Suling (ltr)	0,240	0,240	0,240	0,240
Serbuk cangkang Telur (kg)	-	0,385	0,481	0,578
Soda Api (NaOH) (kg)	0,134	0,134	0,134	0,134
Water glass (Na ₂ SiO ₃) (kg)	0,168	0,168	0,168	0,168

Tabel 3. Jumlah sampel benda uji

Kode	Jumlah Sampel Benda Uji			Jumlah Sampel
	Kuat Tekan			
	7 Hari	14 Hari	28 Hari	
BG	3	3	3	9
BG - 1	3	3	3	9
BG - 2	3	3	3	9
BG - 3	3	3	3	9
Total Jumlah Sampel Benda Uji				36

Keterangan :

- BG = Beton Geopolimer FA 100%
BG 1 = FA 60% + SCT 40%
BG 2 = FA 50% + SCT 50%
BG 3 = FA 40% + SCT 60%

4. Pada tahap keempat yaitu pembuatan beton. Mutu beton direncanakan sebesar Fc' 25 Mpa dengan

campuran *fly ash* sebagai bahan pengikat, campuran bahan agregat halus, agregat kasar, alkali aktivator yang berupa soda api dan waterglass serta penggunaan variasi serbuk cangkang telur dan *fly ash* sebagai bahan pengikat beton geopolimer. Tahap-tahap pembuatan benda uji antara lain:

- Katalisasi dilakukan dengan menggabungkan soda api (NaOH) dengan air suling selama waktu 24 jam.
 - Kemudian *waterglass* (Na₂SiO₃) dicampurkan dengan hasil dari katalisasi sebelumnya diaduk sampai rata.
 - Fly ash, serbuk cangkang telur, agregat halus, dicampurkan dengan larutan alkali aktivator sampai rata hingga merata.
 - Setelah mortar diatas tercampur rata, agregat kasar dicampurkan dan diaduk kembali sampai merata.
 - Kemudian campuran tersebut dimasukkan kedalam cetakan silinder dan dipadatkan ditusuk dengan besi.
 - Setelah selesai dilakukan pemadatan, benda uji ditutupi dengan plastik warp agar menjaga proses hidrasi dan ditempatkan pada suhu ruangan selama 7, 14, hingga 28 hari untuk kemudian diuji kuat tekan beton.
5. Tahap kelima adalah pengujian *slump test*. Pengujian ini bertujuan untuk menilai kelecakan beton atau kualitas campuran beton. *Workability* diukur melalui *slump test*, yang merupakan faktor penting dalam kemudahan pengerjaan beton. Pengujian *slump test* dalam penelitian ini merujuk pada (SNI-1972-2008) dan akan digunakan untuk menentukan *workability* beton dengan substitusi serbuk cangkang telur.
6. Tahap keenam adalah perawatan beton (*curing*). Tahap *curing* dilakukan setelah benda uji mengeras dengan tujuan untuk menjaga kelembaban baik didalam maupun dipermukaan beton, serta memastikan kualitas beton sesuai dengan standar yang diinginkan. Metode *curing* untuk beton normal dan beton substitusi cangkang kerang dara, benda uji yang telah mengeras dilakukan proses perendaman dalam bak perendaman selama 7,14,dan 28 hari.
7. Tahap ketujuh adalah pengujian akhir. Di tahap pengujian akhir ini meliputi uji berat jenis beton dan pengujian kekuatan tekan pada beton yang dilakukan setelah proses *curing*. Beton pada hari ke 7, 14, dan 28 hari diuji kekuatan tekan. Sample ditempatkan secara vertikal pada mesin uji dan dibebani hingga mengalami kerusakan. Prosedur pengujian ini mengacu pada standar nasional Indonesia, yaitu SNI-1974-2011.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus merupakan butiran pasir alam atau hasil pemecahan batu dengan ukuran lulus saringan no. 4 (4,75 mm). Beberapa sifat agregat halus, seperti kebersihan, gradasi, berat jenis, dan kadar lumpur, sangat mempengaruhi kualitas beton. Penelitian ini dilakukan pengujian terhadap agregat halus yang mencakup analisis saringan, berat jenis, kadar lumpur, dan penyerapan air. Berdasarkan hasil pengujian dari agregat halus berupa pasir disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus

Pengujian	Ketentuan Kriteria	Hasil	Keterangan
Analisa penyingkangan (FM)	(SNI 03-1968-1990)	1,5-3,88	3,08 Terpenuhi
Berat jenis dan penyerapan	(SNI 03-1970-1990)	1,6-3,3 dan maks 4%	2,54% Terpenuhi
Persentase lumpur	SNI 03-4428-1997	maks 5%	1,25% Terpenuhi
Penyerapan air	(SNI 03-1971-1990)	maks 4%	0,77% Terpenuhi

Berdasarkan hasil uji karakteristik agregat halus menunjukkan bahwa pasir yang digunakan telah memenuhi standar kualitas sesuai SNI. Agregat halus menunjukkan gradasi yang bagus, tidak terikat material organik, lumpur, serta unsur lain yang berpotensi memengaruhi kualitas beton. Berdasarkan pengujian kadar lumpur, diketahui bahwa kandungannya berada dibawah batas maksimum yang diperbolehkan, sehingga tidak akan mengganggu proses hidrasi dalam campuran beton. Selain itu, berat jenis dan tingkat penyerapan air pasir berada dalam rentang sesuai persyaratan untuk mendukung kekuatan beton secara optimal, sehingga campuran beton dapat tercampur dengan baik tanpa risiko segregasi atau kelebihan kadar air.

Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar dilakukan untuk menentukan gradasi agregat kasar dan mengetahui butiran maksimum agregat. Berikut adalah hasil dari beberapa pengujian agregat kasar sesuai standar yang dijelaskan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian agregat kasar

Pengujian	Ketentuan Kriteria	Hasil	Keterangan
Analisa penyingkangan (FM)	(SNI 03-1968-1990)	5,50-8,50	4,67 Terpenuhi
Berat jenis dan penyerapan	(SNI 03-1970-1990)	2,58-2,83 dan maks 3%	2,61% Terpenuhi
Persentase lumpur	SNI 03-4428-1997	maks 1%	0,89% Terpenuhi
Penyerapan air	(SNI 03-1971-2011)	3-5%	4,09% Terpenuhi

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa agregat kasar berupa kerikil yang digunakan sudah memenuhi syarat agregat kasar standar untuk digunakan dalam pembuatan beton struktural. Agregat kasar memiliki tingkat kekerasan yang memadai dan bebas dari bahan organik yang dapat memengaruhi kualitas beton.

Hasil Pengujian Slump

Uji *slump* bertujuan untuk menilai *workability* dari campuran beton. Parameter ini penting untuk menentukan kemudahan dalam menempatkan, memadatkan, dan menyelesaikan beton segar. Baik beton normal maupun beton geopolimer, pengujian *slump* dilakukan sesuai dengan SNI:1972-2008. Hasil pengujian disajikan secara lengkap pada Tabel 6.

Tabel 6. *Slump test*

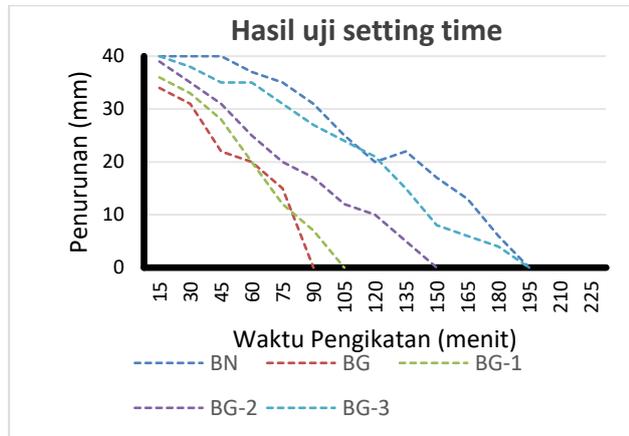
Sampel	Pengujian <i>Slump</i>	
	Hasil <i>Slump</i> (cm)	
BG	22,5	
BG 1	21,7	
BG 2	24,5	
BG 3	25	

Hasil *slump test* pada serbuk cangkang telur untuk beton geopolimer dengan variasi fly ash 100% sebesar 22,5 cm, nilai serbuk cangkang telur untuk BG-1 sebesar 21,7 cm, nilai serbuk cangkang telur untuk BG-2 sebesar 24,5 cm, dan nilai serbuk cangkang telur untuk BG-3 sebesar 25 cm. Berdasarkan dari hasil *slump test* beton geopolimer dengan serbuk cangkang telur 40% menunjukkan tingkat kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya.

Hasil Pengujian Setting Time

Sesuai dengan persyaratan ASTM C191, dilakukan pengujian waktu ikat untuk menentukan

lamanya waktu yang dibutuhkan campuran beton untuk mengeras. Hasil pengujian ini bisa dilihat secara rinci pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil uji setting time

Dari hasil pengujian *setting time* beton normal tanpa bahan tambah serbuk cangkang telur menghasilkan waktu ikat akhir sebesar 195 menit sedangkan untuk beton yang menggunakan fly ash 105 menit dan yang menggunakan 40% serbuk cangkang telur waktu ikat nya adalah 90 menit. Beton yang menggunakan Serbuk cangkang telur efektif untuk mempercepat waktu ikat akhir beton.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Untuk mengetahui kuat tekan pada beton, dilaksanakan pengujian beban tekan ketika beton mencapai umur 7,14, dan 28 hari. Data hasil pengujian kuat tekan disajikan rinci pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil kuat tekan beton

Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton (MPa)			
Benda Uji	7 hari	14 hari	28 hari
BG	20	27,08	30,77
BG-1	21,1	24,56	32,33
BG-2	14,25	22,55	26,42
BG-3	15,99	22,13	25,58

Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton Geopolimer dengan penggunaan 0 % Serbuk cangkang telur bebek adalah sebesar 30,77 Mpa, beton Geopolimer dengan penggunaan serbuk cangkang telur bebek 40% sebagai variasi *fly ash* sebesar 32,33 MPa, variasi serbuk cangkang telur bebek sebesar 50% adalah 26,42 MPa dan variasi serbuk cangkang telur bebek 60% adalah 25,58 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur bebek cukup efektif pada variasi 40% sedangkan pada variasi seterusnya menurun. Serbuk Cangkang Telur mengandung jumlah CaO yang

hampir sama dengan semen yang dapat berperan sebagai bahan pengikat pada proses hidrasi. Dengan demikian, Serbuk cangkang telur mempunyai komposisi kimia yang mirip dengan semen. Dari ketiga variasi substitusi sebagian semen dapat disimpulkan bahwa penggunaan cangkang telur bebek sebesar 40% pada umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 32,33 MPa.

KESIMPULAN

Studi ekperimental menunjukkan bahwa pemanfaatan serbuk cangkang telur bebek dalam beton Geopolimer efektif untuk meningkatkan kekuatan tekan beton pada variasi 40%. Penggunaan serbuk cangkang telur bebek dalam proporsi ini tidak hanya mengoptimalkan kuat tekan beton, menunjukkan potensi sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Persentase yang lebih tinggi dari 40% cenderung mengurangi kekuatan tekan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penggunaan serbuk cangkang telur bebek dengan bahan tambah lainnya. Serbuk cangkang telur bebek mengandung CaO dalam jumlah yang hampir sama dengan semen, sehingga secara kimiawi, serbuk ini dapat berfungsi sebagai campuran bahan pengikat pada beton geopolimer.

REFERENSI

- Asri, R., & Nisumanti, S. 2014. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan Conplast Sp 337. *JurnalTekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 3(1)
- Ayuningtyas, U., Made Agus Dharma Susila, I., Leopold Sihombing, A. S., Adi Sasongko, N., Anggraeni, P., Pribadi Adi Nugroho, T., & Tjahyo Eka Darmayanti, N. 2022. Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Material Konstruksi Ramah Lingkungan Dalam Rangka Mendukung Kriteria Bangunan Hijau. *Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat 2022*, 51–56.
- Chary, Konnoju Saikumar, and Nijagala Munilakshmi. 2023. "An Investigation on Mechanical and Durable Properties of Eggshell Based Geopolymer Concrete Using Flyash and GGBS." : 1–17.
- Dalimunthe, A., Nurbaya, S., Prilius, N and Pitalokasari br Ginting. 2022. "Analysis of Calcium Levels in Duck Egg (Anas Platyrhynchos-Domesticus) Shell for Making Toothpaste with Natural Dye from Pandan Leaf (Pandanus Amaryllifolius Roxb)."

- Farmanesia* 9(1): 34–40. <http://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/2/article/view/3427>.
- Devi, D. S., Baniva, R., & TT, M. N. 2022. Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Geopolymer *Foam Concrete* Dengan Variasi Rasio *Foaming Agent* Dan Air. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 7(4), 215-222.
- Devi, D.S., Fauzi, M., Syafitri, B., & Laksono, A. 2023. Durabilitas Geopolymer *Foam Concrete* Terhadap Ketahanan Sulfat. *Jurnal Tekno Global*, 12(01), 24–29.
- Gunarso., Purnawati, D. A. A., & Arbianto. 2024. Inovasi Eco-Friendly Self Compacting Concrete Menggunakan Serbuk Cangkang Telur, Serbuk Granit, dan Limbah Beton Untuk Mengurangi Limbah di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur Vol. 29 No.1*.
- Ilyas, Y. A., Yanti, G., & Putri, L. D. (2022). Studi Beton Geopolimer dengan Bahan Dasar Fly Ash terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 5(2), 83–92.
- Novianti, D., Putri, N. S., Tilik. L. F., & Hamdi. (2019). Pengaruh Cangkang Telur Ayam Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton (1-6)." *Pilar: Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya, vol. 14, no. 2*
- SNI-03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat, SNI-03-1971-1990. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 3–6.
- SNI-1972. 2008. Cara Uji Slump Beton. Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Cara uji slump beton revisi dari SNI 03 – 1972 – 1990 Metode pengujian slump.
- SNI-1974. 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011. Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 20.
- SNI 03-2834-2000. 2000. SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Sni 03-2834- 2000, 1–34.
- SNI 03-4804. 1998. Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, 1–6.
- SNI 1970. 2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standar Nasional Indonesia, 7–18.
- Tran, T. T., & Pham, V. M. H. 2023. Use Recycled Glass As Fine Aggregate in Slag-Blended Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. *Journal of Technical Education Science, 78B*, 1–7
- Shekhawat, Poonam, Gunwant Sharma, and Rao Martand Singh. 2019. "Strength Behavior of Alkaline Activated Eggshell Powder and Flyash Geopolymer Cured at Ambient Temperature." *Construction and Building Materials* 223: 1112–22. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.325.

Pengaruh Retak dan Pelapukan Tanah Terhadap Potensi Kelongsoran Saat Hujan Dengan Uji ERT, IP dan Pemodelan Numerik

The Effect of Cracks and Soil Weathering on Landslide Potential During Rain with ERT, IP and Numerical Modeling Tests

Putu Tantri K.Sari¹⁾, Mila Kusuma Wardani²⁾

¹⁾Departement Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur tantrigeoteknik@gmail.com

²⁾Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya Jl. Arief Rahman Hakim No.100, Klampis Ngasem, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117 milakusuma@itats.ac.id

Abstrak

Tanah longsor terjadi di daerah perbukitan Tulakan-Pacitan, Jawa Timur. Lokasi longsor berada tepat di bawah tiang SUTT untuk area Jawa dan Bali. Kelongsoran terjadi saat musim hujan dengan intensitas hujan mencapai 1000 mm/bulan dan intensitas maksimal yaitu 300 mm/hari. Pengamatan geoteknik serta pengamatan geofisik yaitu Electrical Resistivity Tomography (ERT) dan Induced Polarization (IP) telah dilakukan di lapangan. Pengujian geoteknik menyatakan bahwa, kondisi tanah di area perbukitan di sekitar kelongsoran adalah cenderung baik. Hasil uji ERT dan IP menunjukkan bahwa terdapat lapisan tanah yang mengalami pelapukan dan retakan yang cenderung dalam di area kelongsoran. Kondisi tanah yang lapuk dan retak tersebut tidak tertangkap pada hasil pengujian geoteknik yang telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penyebab kelongsoran di lapangan khususnya di area perbukitan dengan kondisi tanah yang dominan baik namun mengalami pelapukan dan retak pada tanah. Pemodelan numerik dengan *coupled program* limit equilibrium (LEM) dan finite element (FEM) dilakukan dengan memodelkan adanya pelapukan tanah dan retak pada tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa retak dan pelapukan pada tanah di lokasi kelongsoran ini dapat menurunkan kestabilan lereng saat terjadinya hujan lebat. Jumlah retak dan nilai parameter *seepage* pada tanah yang melapuk juga dapat mempengaruhi kestabilan suatu lereng hingga menyebabkan terjadinya kelongsoran.

Kata Kunci: Longsor, intensitas hujan, retak pada tanah, *Limit equilibrium method*, *seepage* pada tanah.

Abstract

Landslides occurred in the hilly area of Tulakan-Pacitan, East Java. The landslide location is right under the supplies electricity tower to the Java and Bali. The landslide occurred during the rainy season that the intensity reached 1000 mm/month and the maximum was 300 mm/day. Geotechnical observations and geophysical observations, Electrical Resistivity Tomography (ERT) and Induced Polarization (IP) have been carried out. Geotechnical testing stated that the soil conditions in the hilly area around the landslide tended to be good. The results of the ERT and IP tests showed that there were layers weathering and cracks in the landslide area. The weathered and cracked soil conditions were not captured in geotechnical tests. This study was conducted to determine the causes of landslides, in hilly areas with predominantly good soil but experiencing weathering and cracks. Numerical modeling based on limit equilibrium (LEM) and finite element (FEM) was carried out by modeling the presence of soil weathering and cracks. The results of this study indicate that the presence of soil cracks and weathering can reduce slope stability, especially during heavy rain. The number of cracks and the seepage parameter in weathered soil can also affect the stability of a slope, causing landslides.

Keyword: *landslide, rainfall intensity, crack soil, limit equilibrium method, soil seepage*

PENDAHULUAN

Tanah longsor di Desa Tulakan, Pacitan, Jawa Timur pada awal Desember 2017, disebabkan oleh hujan deras yang berlangsung beberapa hari sebelumnya. Kabupaten Pacitan berada di ujung barat daya Jawa Timur dan berbatasan dengan beberapa kabupaten lain, yaitu Ponorogo, Wonogiri (Jawa

Tengah), Trenggalek, dan Samudra Hindia. Daerah ini terdiri dari wilayah karst yang merupakan bagian dari Pegunungan Sewu dengan muka air tanah yang rendah, menjadikannya rentan terhadap tanah longsor, terutama di daerah perbukitan seperti Desa Tulakan.

Menurut peta geologi yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi pada tahun 1999, geologi di Pacitan sangat bervariasi.

Lokasi longsor berada pada formasi geologi Lava Oligo Miosen dan Sedimen Miosen Tengah yang terdiri dari berbagai jenis batuan seperti lava bantal basaltik, batupasir, batulempung, rijang, dan lainnya. Berdasarkan peta potensi longsor dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Badan Geologi, daerah tersebut memiliki potensi longsor yang berkisar dari sedang hingga tinggi. Kejadian longsor di lokasi ini juga menyebabkan pergeseran pondasi menara listrik tegangan tinggi yang berada di dekat lokasi longsor.



Gambar 1. Lokasi kelongsoran di bawah tower SUTT Listrik.

Jika tidak segera diambil tindakan untuk mengantisipasi tanah longsor di masa mendatang, pasokan listrik ke beberapa daerah di Jawa Timur bisa terancam. Lokasi longsor di Desa Tulakan adalah daerah perbukitan yang jarang penduduknya, namun memiliki sejarah tanah longsor kecil yang sebelumnya dianggap tidak perlu tindakan khusus. Namun, longsor baru-baru ini lebih dalam dan terjadi di dekat sumber listrik utama, sehingga membutuhkan penanganan yang lebih serius.

Untuk memahami penyebab longsor ini, beberapa uji lapangan telah dilakukan, termasuk Uji Penetrasi Standar (SPT-N) dan metode geofisika seperti resistivitas dan induced polarisasi. Selain itu, uji laboratorium, seperti uji volumetrik-gravimetri dan uji un-confined, dilakukan untuk mengidentifikasi parameter tanah. Pengukuran topografi juga dilakukan di berbagai lokasi untuk menentukan kontur lereng, yang berguna untuk analisis stabilitas lereng saat ini dan di masa mendatang.

Dari data curah hujan yang diperoleh dari tiga stasiun hujan terdekat, diketahui bahwa wilayah Pacitan mengalami curah hujan yang sangat tinggi pada bulan November sebelum tanah longsor terjadi. Curah hujan bulanan melebihi 1000 mm, dengan intensitas mencapai 300 mm per hari pada akhir bulan. Curah hujan yang tinggi ini diduga menjadi

penyebab utama tanah longsor, diperparah oleh kondisi tanah yang lapuk dan retak.

Pengujian tanah di lapangan dilakukan di empat lokasi berbeda, tiga di antaranya berada dalam satu garis lurus dengan lokasi longsor. Hasil Uji Penetrasi Standar (SPT-N) menunjukkan bahwa sebagian besar kondisi tanah dicirikan oleh lapisan tanah keras dengan nilai SPT-N yang tinggi. Pada kedalaman dangkal hingga sekitar 10 meter, lapisan tanah kohesif keras teridentifikasi, sementara lapisan yang lebih dalam terdiri dari material tidak kohesif dan berbatu. Di lokasi longsor, tanah diklasifikasikan menjadi empat lapisan: lapisan pertama terdiri dari lempung lanau, lapisan kedua dari lempung, lapisan ketiga dari lempung keras lanau, dan lapisan keempat berupa batu.

Penelitian ini bertujuan untuk memahami mekanisme tanah longsor yang terjadi di Tulakan, Pacitan, Jawa Timur. Analisis difokuskan pada pengaruh parameter tanah, keberadaan retakan dan pelapukan, serta fluktuasi intensitas curah hujan terhadap stabilitas lereng. Untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif, penelitian ini menggunakan pendekatan numerik dengan coupled program 2-dimensi SEEP/W dan SLOPE/W.

SEEP/W digunakan untuk menganalisis pola rembesan dan kondisi hidrologi tanah, sedangkan SLOPE/W digunakan untuk menilai stabilitas lereng berdasarkan data tanah dan parameter hidrologi yang dihasilkan. Kombinasi kedua program ini memungkinkan peneliti untuk mensimulasikan interaksi antara air, tanah, dan lereng, termasuk bagaimana perubahan intensitas curah hujan mempengaruhi kondisi rembesan dan, pada akhirnya, stabilitas lereng tersebut (GEO-SLOPE International Ltd, 2008). Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme longsor di Tulakan, serta membantu dalam merancang langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif untuk mencegah longsor di masa depan.

METODE

Model numerik profil lereng dibuat berdasarkan kondisi lapangan, meliputi topografi, lapisan bawah permukaan, dan kondisi hidrologi di lokasi longsor. Analisis dilakukan dengan berbagai pendekatan, termasuk analisis rembesan akibat hujan dan stabilitas lereng, menggunakan Finite Element Method (FEM) dan metode Limit Equilibrium Method (LEM). Analisis dilakukan dalam dua skenario, yaitu dengan dan tanpa mempertimbangkan retakan permukaan dan lapisan tanah yang lapuk.

Dalam analisis rembesan menggunakan FEM, dilakukan perhitungan tekanan air pori pada tanah.

Selanjutnya, analisis LEM digunakan untuk menghitung faktor keamanan (SF) sepanjang permukaan bidang longsor prediksi. Studi ini menekankan pada pemodelan rembesan air hujan pada tanah, dengan tujuan untuk menunjukkan metode pengintegrasian rembesan ke dalam analisis stabilitas lereng.

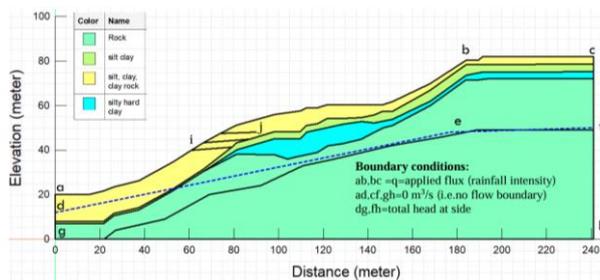
Beberapa faktor yang dianalisis meliputi variasi muka air tanah, konduktivitas hidrolik tanah, kadar air volumetrik, dan faktor keamanan dari massa tanah longsor akibat rembesan yang disebabkan oleh curah hujan (Sangrey dkk (1984), Jianping dkk

(2009), Bronnimann (2011)). Analisis ini menggunakan kondisi batas yang didasarkan pada studi sebelumnya seperti Rahimi (2011), Lin (2016), dan Sari (2023), sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2. Variasi muka air tanah yang digunakan dalam penelitian ini juga divisualisasikan dalam Gambar 3. Dengan menggabungkan metode FEM dan LEM, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme longsor di lereng, serta mengevaluasi efektivitas berbagai teknik mitigasi dalam menurunkan risiko longsor.

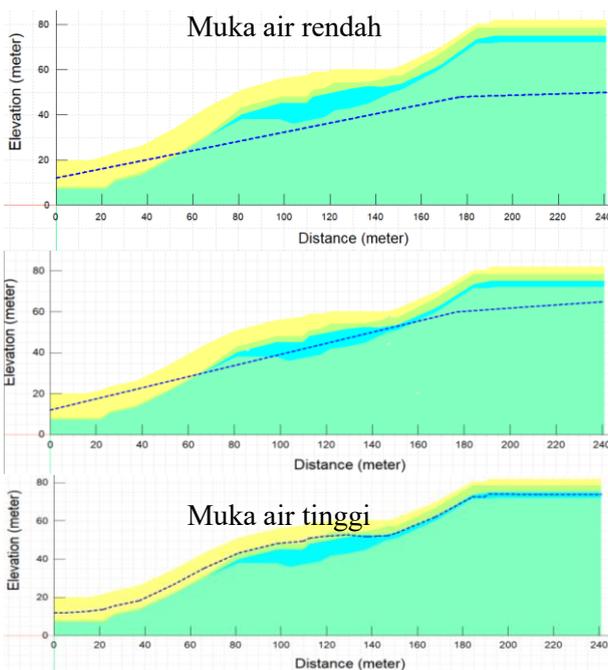
diperoleh melalui korelasi dengan data tanah di lapisan yang tidak memiliki data lengkap. Hasil dari pengujian ini memberikan gambaran mengenai berbagai parameter tanah yang penting untuk analisis stabilitas lereng.

Rentang parameter geoteknis yang ditemukan pada setiap lapisan tanah adalah sebagai berikut:

- Kohesi efektif (c'): 0–90 kPa
- Sudut gesekan internal efektif (ϕ'): 1–40°
- Berat satuan tanah (γ): 17–19 kN/m³



Gambar 2. Kondisi batas yang digunakan dalam analisa numerik



Gambar 2. Variasi muka air tanah

HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa berdasarkan pengujian di lapangan

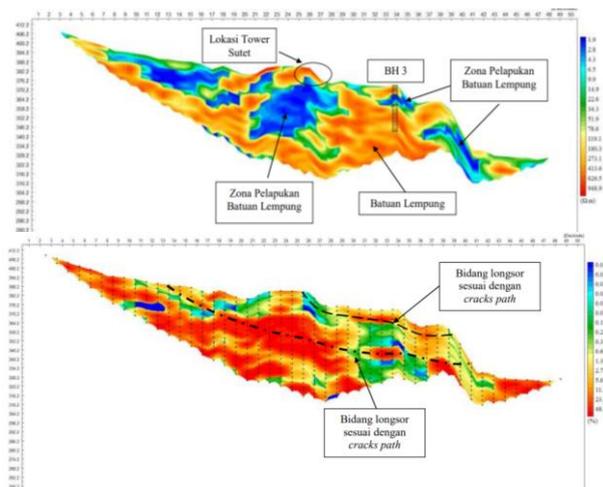
Pengujian geoteknis dan pengujian Electrical Resistivity Tomography (ERT) serta Induced Polarization (IP) telah dilakukan di lapangan untuk memperoleh data yang mendetail mengenai kondisi tanah di lokasi longsor (Alexsander dkk (2017), Alexander dkk (2019)). Data geoteknis lapangan

Rekapitulasi lengkap dari data tanah untuk setiap lapisan ditunjukkan pada Tabel 1, yang mencakup informasi penting seperti jenis tanah, nilai kohesi, sudut gesekan, dan parameter lainnya. Parameter retak vertikal pada tanah dan tanah yang melapuk adalah berdasarkan Gofar dkk (2006), Suryo (2012) dan Sari dkk (2024). Data ini digunakan untuk analisis lebih lanjut dalam pemodelan lereng dan evaluasi stabilitasnya, terutama untuk menilai faktor keamanan dan potensi longsor di masa depan. Parameter geoteknis ini akan menjadi dasar dalam pemodelan numerik dan simulasi menggunakan FEM dan LEM untuk memahami perilaku lereng dan pengaruh kondisi hidrologi terhadap stabilitas lereng.

Tabel 1. Parameter tanah yang digunakan dalam analisa

lapis	Jenis tanah	γ_{soil} (Kn/m ³)	ϕ'	Cu (Kpa)	Ksat (m/s)	n
1	Lempung berlanau dengan batuan lempung	17	1	50	2.34 x 10 ⁻⁸	0.53
2	Lempung berlanau	17	1	70	2.3 x 10 ⁻⁸	0.53
3	Lempung kaku berlanau	17.3	1	90	2.13 x 10 ⁻⁸	0.53
4	Batuan	19	40	0	2.3 x 10 ⁻⁸	0.33
5	Retak vertikal	15	0	0	0.01	0.53
6	Lapisan yang melapuk	15	17.5	5.4	0.001	0.43

Selain pengujian geoteknik, telah dilakukan pengujian ERT dan IP seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat area yang memiliki nilai resistivity yang rendah yang berdasarkan penelitian yang ada (Sudha dkk (2009), Ghazali (2013), Ronning et al. (2014)) merupakan lapisan tanah yang melapuk. Selain itu, dari hasil pengujian induced polarisasi diketahui bahwa terdapat area yang dicurigai merupakan retakan tanah yang menyebabkan terjadinya



Gambar 3. Hasil pengujian resistivity dan induced polarisasi

Hasil analisa dari pemodelan numerik

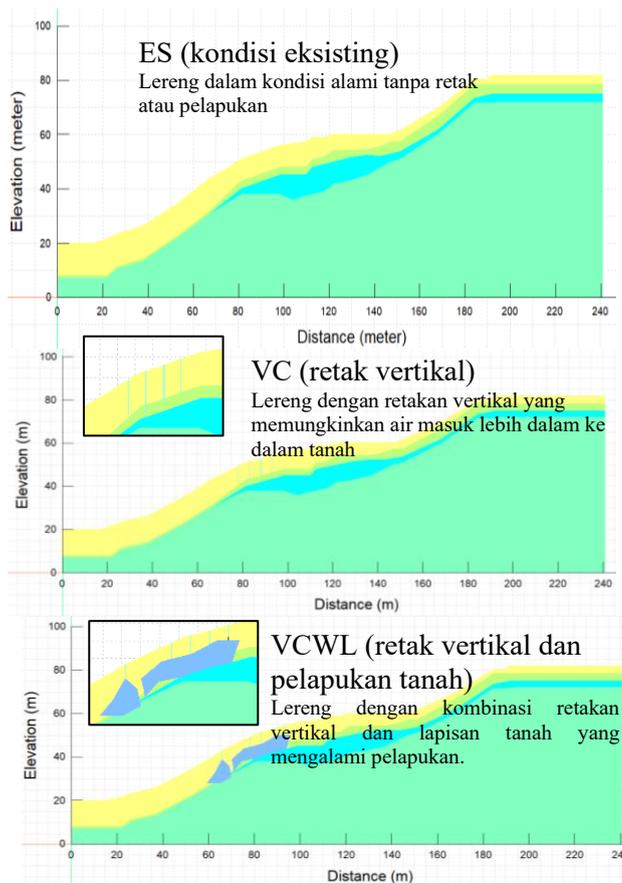
Analisis menggunakan program gabungan SEEP/W dan SLOPE/W dilakukan untuk memahami pengaruh rembesan air hujan terhadap perubahan faktor keamanan (safety factor) dan kestabilan lereng. Pengamatan difokuskan pada tiga kondisi lereng yang berbeda. Ilustrasi dari ketiga kondisi lereng ini dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan hasil analisis kestabilan lereng untuk masing-masing kondisi ditunjukkan pada Gambar 5. Analisis ini menghasilkan beberapa temuan penting:

- Pengaruh muka air tanah: Semakin tinggi muka air tanah, nilai faktor keamanan lereng semakin kecil. Ini menunjukkan bahwa keberadaan air di dalam tanah memiliki dampak negatif terhadap kestabilan lereng.
- Pengaruh curah hujan: Faktor keamanan lereng berkurang seiring dengan hujan yang berlangsung selama berhari-hari, yang menyebabkan peningkatan rembesan air dan saturasi tanah.
- Pengaruh retakan: Keberadaan retakan di permukaan tanah cenderung menurunkan faktor keamanan lereng. Retakan

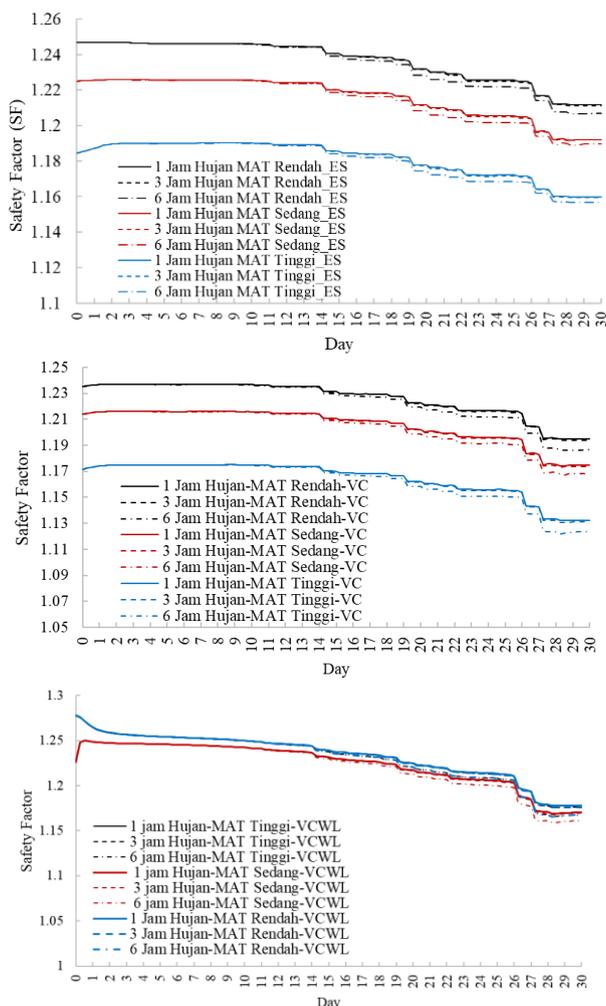
kelongsoran di lapangan (Alexander (2017)). Retak pada tanah dapat menyebabkan perubahan parameter geser tanah hingga menyebabkan penurunan stabilitas suatu lereng dan berakibat pada terjadinya kelongsoran (Hutagamisufardal (2018), Amalia dkk (2020), Alexander (2018)). Retak pada tanah dibarengi dengan intensitas hujan yang tinggi dan parameter rembesan tanah yang tinggi menyebabkan penurunan suatu angka keamanan lereng (Sari dan Mochtar (2022)).

memungkinkan air hujan meresap lebih cepat ke dalam tanah, meningkatkan tekanan air pori dan mengurangi kestabilan lereng.

- Pengaruh pelapukan: Lereng dengan lapisan tanah yang melapuk menunjukkan faktor keamanan yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi yang hanya memiliki retakan. Namun, hasil ini diduga dipengaruhi oleh parameter lapisan tanah yang melapuk yang mungkin belum sepenuhnya disesuaikan dengan kondisi lapangan.



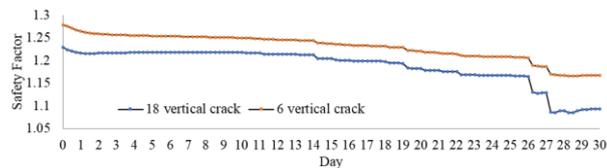
Gambar 4. Ilustrasi dari ketiga kondisi lereng



Gambar 5. Hasil analisis kestabilan lereng untuk masing-masing kondisi

Berdasarkan hasil analisis numerik ini, dapat disimpulkan bahwa keberadaan retakan pada tanah merupakan faktor utama yang memicu penurunan faktor keamanan lereng. Retakan memungkinkan air hujan masuk dan merembes melalui retakan, membentuk jebakan air pada lapisan bawah permukaan, yang dapat mempercepat proses pelapukan tanah. Seiring waktu, hal ini menyebabkan penurunan angka keamanan lereng hingga akhirnya terjadi kelongsoran. Semakin banyak retakan pada permukaan tanah, semakin rendah nilai safety factor lereng, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Adanya retakan tanah inilah yang menyebabkan kelongsoran di area study mengingat kondisi tanah dari hasil pengujian geoteknik adalah dominan tanah keras dan berbatu. Adanya retak permukaan yang merupakan jalan air untuk merembes masuk ke lapisan yang lebih dalam menyebabkan terjadinya pelapukan-pelapukan tanah di lapisan tanah yang lebih dalam. Adanya pelapukan dan prediksi retak baru dapat diketahui dari hasil pengujian ERT dan IP yang telah dilakukan di lokasi study ini.



Gambar 6. Semakin banyak retakan pada permukaan tanah, semakin rendah nilai safety factor lereng

KESIMPULAN

Kelongsoran dilokasi study terjadi pada daerah perbukitan yang memiliki kondisi tanah yang cenderung baik berdasarkan hasil uji geoteknik dimana semestinya tidak mengalami kelongsoran. Namun, berdasarkan hasil pengujian geofisika yaitu ERT dan IP, menunjukkan bahwa di lokasi kelongsoran terdapat lapisan tanah yang retak dan mengalami pelapukan tanah. Adanya retak dan pelapukan pada tanah tidak terbaca dari hasil pengujian geoteknik di lapangan. Analisa numerik yang dilakukan dengan coupled program SEEP/W dan SLOPE/W berdasarkan hasil uji geofisik dan geoteknik menunjukkan bahwa, adanya retak pada tanah dapat mempengaruhi kestabilan suatu lereng saat musim hujan.

Penurunan safety factor dapat terjadi apabila terdapat retak di permukaan tanah. Semakin banyak jumlah retak, maka semakin rendah nilai safety factor yang terjadi. Hujan deras di hari ke-26 pengamatan dengan intensitas 300 mm/hari dapat menurunkan nilai safety factor dari SF=1.2 menjadi SF=1.1. Dari hasil pengamatan di lapangan dan analisa numerik membuktikan bahwa adanya retak pada tanah dapat menjadi jalan bagi air hujan untuk merembes masuk ke lapisan yang lebih dalam sehingga dapat memicu terjadinya pelapukan serta dapat menurunkan safety factor pada slope khususnya saat terjadinya hujan lebat. Selain itu, jumlah retak pada tanah dan nilai parameter seepage pada tanah yang melapuk juga dapat mempengaruhi kestabilan suatu lereng hingga menyebabkan terjadinya kelongsoran.

Study ini menunjukkan bahwa, kelongsoran yang terjadi pada area perbukitan dengan kondisi tanah yang cukup baik dari hasil pengamatan geoteknik seperti yang terjadi di lokasi study dapat disebabkan oleh adanya retak di permukaan tanah dan pelapukan tanah. Gabungan pengamatan dengan geofisik diperlukan untuk mengetahui adanya retak dan pelapukan pada suatu slope untuk mengantisipasi adanya kelongsoran khususnya saat musim hujan.

REFERENSI

- A. Rahimi, H. Rahardjo, and E.-C. Leong, 2011, "Effect of antecedent rainfall patterns on

- rainfall - induced slope failure Effect of Antecedent Rainfall Patterns on Rainfall-Induced Slope Failure,” *ASCE J. Geotech. Eng. Div.*, vol. 137.
- C. S. Bronnimann, 2011, “Effect of Groundwater on Landslide Triggering.”
- D. Lin, S. Hung, C. Ku, and H. Chan, 2016, “Evaluating the Efficiency of Subsurface Drainages for Li-Shan Landslide in Taiwan,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss*, vol. 1, no. January, pp. 1–22.
- D. A. Sangrey, W. Harrop, and J. A. Klaiber, 1984, “Predicting Ground-Water Response to Precipitation,” *J. Geotech. Eng.*, vol. 110, no. 7.
- D. Amalia, P. N. Bandung, I. B. Mochtar, and N. E. Mochtar, 2018, “Penerapan Konsep Baru Cracked Soils Pada Penanggulangan Kelongsoran Lereng (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Reskrimsus Polda Kalimantan Timur, Balikpapan),” no. August.
- E. A. Suryo, 2013, “Real-time Prediction of Rainfall Induced Instability of Residual Soil Slopes Associated with Deep Cracks,”
- Hutagamissufardal, I. B. Mochtar, and N. E. B. Mochtar, 2018, “The Effect of Soil Cracks on Cohesion and Internal Friction Angle at Landslide,” *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 1–5.
- K. Sudha, M. Israil, S. Mittal, J. Rai, 2009, “Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations”, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 67, Issue 1 , Pages 74-79,
- M. A. Ghazali, A. G. Rafek, K. Desa, and S. Jamaluddin, 2013, “Effectiveness of Geoelectrical Resistivity Surveys for the Detection of a Debris Flow Causative Water Conducting Zone at KM 9 , Gap-Fraser ’ s Hill Road (FT 148), Fraser ’ s Hill , Pahang , Malaysia,” *J. Geol. Res.*
- N. Gofar, L. M. Lee, and M. Asof, 2006, “Transient Seepage and Slope Stability Analysis for Rainfall-Induced Landslide: A Case Study,” *Malaysian J. Civ. Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–13.
- P. T. K. Sari and I. B. Mochtar, 2023, “Causes of Landslides in Road Embankment with Retaining Wall and Pile Foundation : A Case Study of National Road Project in Porong-Sidoarjo , Indonesia,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 42–48.
- P. T. K. Sari and I. B. Mochtar, 2024, “Special Case on Landslide in Balikpapan , Indonesia Viewed from Crack Soil Approach,” *KSCE J Civ Eng* 28, 2173–2188.
- P. T. K. Sari, Y. Lastiasih, I. B. Mochtar, and Soewarno, 2023, “The Effect of Changes in Rainfall Patterns due to Climatic Change on the Cutting Slope Stability of Landslides Case in East Java , Indonesia,” in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1276 (2023) 012049 IOP, pp. 1–9.
- P. T. K. Sari, I. B. Mochtar, and S. Chaiyaput, 2023, “Effectiveness of Horizontal Sub - drain for Slope Stability on Crack Soil Using Numerical Model,” *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 41, no. 8, pp. 4821–4844.
- Rønning, J.S., Ganerød, G.V., Dalsegg, E. et al, 2014 “Resistivity mapping as a tool for identification and characterisation of weakness zones in crystalline bedrock: definition and testing of an interpretational model”. *Bull Eng Geol Environ* 73, 1225–1244.
- S. U. N. Jianping, L. I. U. Qingquan, L. I. Jiachun, and A. N. Yi, 2009, “Effects of rainfall infiltration on deep slope failure,” *Sci. China Ser. G Physics, Mech. Astron.*, vol. 52, no. 2002.
- S. Aleksander, I. B. Mochtar, and W. Utama, 2017, “The Measurements of Water Intrusion through Cracks Propagation Inside Slopes to Explain the Cause of Slope Failure — Case Study of Embankment in the Sanggu- Buntok Airport , Central Kalimantan , Indonesia,” *EJGE*, pp. 5347–5363.
- S. Aleksander, I. B. Mochtar, and W. Utama, 2019, “Field validated prediction of latent slope failure based on cracked soil approach,” *Lowl. Technol. Int.* 2018;, vol. 20, no. June, pp. 245–258.

Tabel 5 merupakan perhitungan dengan menjumlahkan total tonase KA barang tanpa menggunakan faktor pengali (koefisien) seperti yang terdapat pada Persamaan [1] maupun Persamaan [2], dan belum mempertimbangkan KA lain diluar tiga jenis komoditi yang diangkut oleh ketiga KA barang tersebut, seperti KA penumpang, KA angkutan rel, *ballast*, KA perawatan jalur, maupun yang lainnya, namun sepanjang tahun 2018 hingga 2023 nilainya telah diatas 20 juta ton atau telah berada di *range* kelas jalan I, dan di pertengahan 2024 nilainya sudah mendekati 20 juta ton.

Dari hasil ini, maka perjalanan KA barang yang mengangkut tiga komoditi yaitu *pulp*, semen, dan batubara total tonasenya (tanpa faktor pengali untuk mendapatkan total daya angkut tahunan suatu jalur KA) membuat wilayah perawatan UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari telah berada di *range* kelas jalan I, namun kedepan akan lebih baik apabila dipertimbangkan untuk menghitung kembali berapa *range* maksimal pada kelas jalan I, sebab jika tidak ada batasan pada karakteristik operasional seperti halnya daya angkut tahunan untuk kelas jalan I, maka suatu saat ada potensi terjadi konflik antara batasan karakteristik operasional dengan batasan kekuatan dari material seperti jenis rel, penambat, bantalan, jaraknya, dan *ballast*.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya, bahwa dengan mengetahui frekuensi perjalanan KA, jenis *rollingstock*, dan tonase muatan KA barang dapat diketahui total tonase suatu KA barang yang melintas di wilayah tertentu. Dalam penelitian ini sepanjang tahun 2018 hingga 2023 total tonase KA yang melintas di wilayah perawatan UPT Resor Jalan Rel IV.2 Rejosari telah melebihi 20 juta ton per tahun, namun masih dalam *range* kelas jalan I yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012.

REFERENSI

- Arta, M., Ansosry, 2019. "Rancangan Teknis *Stockpile* 2 di PT Bukit Asam Tbk, Unit Pelabuhan Tarahan Lampung". *Jurnal Bina Tambang* – Vol. 4, No. 1. Februari. 266-275. Universitas Negeri Padang. Padang.
- Esveld, C. 2001. "Modern Railway Track 2nd Edition". MRT Productions. Delft.
- Kementerian Perhubungan. 2012. "Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60". Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Jakarta.

- Komite Nasional Keselamatan Transportasi. 2017. "Laporan Investigasi Kecelakaan Perkeretaapian KA 3008 KM 262+100/200 Petak Jalan Antara St. Lubukrukam-St. Peninjawan Sumatera Selatan". Jakarta.
- Kramarz, M., et al., 2022. "Reliability of The Intermodal Transport Network Under Disrupted Conditions in The Rail Freight Transport". *Research in Transportation Business & Management* – Vol. 44, 100686, September, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100686>.
- Pamungkas, S.S., 2021. "Evaluasi Pemeliharaan Jalan Rel Berdasarkan Hasil Track Quality Index (TQI) Studi Kasus Jalan Rel Trip Kutoarjo-Yogyakarta". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas* – Vol. 5, No.4. Oktober. 51-58. ITS, Surabaya.
- Patakorn, K., et al., 2020. "Kajian Pola Operasi dan Desain Penataan Emplasemen Stasiun pada Jalur Longcut Tegineneng – Tarahan". *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain* – Vol. 8, No. 1. Maret. 135-146. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Railroad Administration. 2017. "Track And Rail And Infrastructure Integrity Compliance Manual". Office Of Railroad Safety. Washington.
- Yuliyanto, A., et al., 2024. "Evaluasi Rel dan Bantalan Berdasarkan Beban Angkut Lintas Kinerja Operasi Kereta Api Studi Kasus: Jalan Rel Tanjung Karang-Rejosari". *Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa* – Vol. 13, No.41. Oktober. 26-25. Universitas Warmadewa. Denpasar.
- Vatulia, G., et al., 2023. "Experimental Studies on the Strength of a Flatcar during Shunting Impacts". *Applied Science Article* – Vol. 13, 4901. 1-15. <https://doi.org/10.3390/app13084901>.