

Analisis Perbandingan Desain Perkerasan Kaku Metode MDPJ 2024 dengan PCA pada Ruas Jalan Veteran – Kapten Darmo Sugondo

Feby Dwi Prihatini¹, Akbar Bayu Kresno Suharso, S.T., M.T.*²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

Email: ¹prihatinifeby@gmail.com, ²akbarbks@uwks.ac.id

Abstrak

Pembangunan infrastruktur di kawasan industri Kabupaten Gresik, khususnya ruas Jalan Veteran – Kapten Darmo Sugondo, membutuhkan struktur jalan yang andal akibat tingginya intensitas kendaraan niaga berat yang memicu degradasi perkerasan. Penelitian ini bertujuan membandingkan efisiensi desain perkerasan kaku (*rigid pavement*) menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 dan metode *Portland Cement Association* (PCA) ditinjau dari aspek mekanistik dan *value engineering*. Pendekatan kuantitatif komparatif diterapkan menggunakan data spektrum beban aktual dan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) desain sebesar 25,12%. Analisis dilakukan melalui iterasi ketebalan pelat beton di atas lapis fondasi *Lean Mix Concrete* (LMC) 150 mm untuk mengevaluasi persentase kerusakan fatik dan erosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode MDPJ 2024 menetapkan ketebalan pelat optimum 300 mm, sedangkan metode PCA menghasilkan desain yang lebih tipis yakni 250 mm dengan kriteria keamanan yang tetap terpenuhi. Dari aspek ekonomi, metode PCA memberikan penghematan biaya material sebesar Rp 1.140.385 per meter panjang jalan. Disimpulkan bahwa metode PCA lebih unggul dan efisien untuk investasi awal, namun MDPJ 2024 memberikan faktor keamanan (*safety factor*) yang lebih tangguh terhadap risiko muatan berlebih (*overloading*) di masa depan.

Kata kunci: Desain Perkerasan, Erosi, Fatik, MDPJ 2024, PCA

Abstract

Infrastructure development in the Gresik industrial area, particularly the Veteran – Kapten Darmo Sugondo Road section, requires reliable road structures due to the high intensity of heavy commercial vehicles causing pavement degradation. This study aims to compare the efficiency of rigid pavement design using the 2024 Road Pavement Design Manual (MDPJ) and the Portland Cement Association (PCA) method from mechanistic-structural and value engineering perspectives. A comparative quantitative approach was applied using actual traffic load spectrums and a design California Bearing Ratio (CBR) of 25.12%. The analysis was conducted through concrete slab thickness iterations over a 150 mm Lean Mix Concrete (LMC) base to evaluate fatigue and erosion damage percentages. The results showed that the 2024 MDPJ method recommends an optimum slab thickness of 300 mm, while the PCA method produces a thinner design of 250 mm while meeting safety criteria. Economically, the PCA method provides material cost savings of IDR 1.140.385 per meter of road length. In conclusion, the PCA method is significantly more efficient for initial investment, yet the 2024 MDPJ provides a higher safety factor against future overloading risks.

Keywords: Erosion, Fatigue, MDPJ 2024, PCA, Rigid Pavement

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur transportasi jalan raya di kawasan industri strategis seperti Kabupaten Gresik merupakan faktor determinan bagi kelancaran distribusi logistik nasional. Efisiensi pergerakan barang dari pusat produksi ke pelabuhan sangat bergantung pada kondisi mantap infrastruktur jalan yang tersedia. Ruas Jalan Veteran – Jalan Kapten Darmo Sugondo merupakan urat nadi utama di Gresik yang melayani pergerakan kendaraan niaga berat dengan intensitas tinggi setiap harinya. Oleh karena itu, keberhasilan konektivitas ekonomi di wilayah ini menuntut adanya struktur jalan yang andal dan mampu menahan beban kendaraan berat secara berkelanjutan dalam jangka waktu panjang [1].



Gambar 1. Peta Jalan Veteran – Jalan Kapten Darmo sugondo
Sumber : Google Maps,2025

Kondisi eksisting pada ruas jalan tersebut saat ini menunjukkan gejala degradasi struktur yang masif dan mengkhawatirkan. Pengamatan lapangan mengidentifikasi munculnya kerusakan berupa lubang (*potholes*) yang cukup dalam serta indikasi kegagalan struktural pada beberapa segmen kritis. Kerusakan ini tidak hanya menghambat laju logistik, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan kerja bagi pengemudi armada angkutan berat. Masalah utama yang teridentifikasi adalah beban berlebih (*overloading*) dari spektrum kendaraan niaga yang melintas secara repetitif, sehingga memicu tegangan kritis yang melampaui daya dukung sisa dari struktur perkerasan lama [2].



Gambar 2. Kondisi Jalan Berlubang

Fenomena kerusakan tersebut menuntut dilakukannya transformasi struktural secara radikal melalui penerapan teknologi perkerasan kaku (*rigid pavement*). Berbeda dengan perkerasan lentur, material beton semen memiliki nilai modulus elastisitas yang jauh lebih tinggi, sehingga mampu mendistribusikan beban roda kendaraan secara lebih luas ke seluruh lapisan tanah dasar [3]. Penggunaan perkerasan kaku pada kawasan industri berat dinilai sangat ideal karena ketahannya yang superior terhadap genangan air, tumpahan bahan kimia industri, serta beban statis kendaraan yang seringkali berhenti di bahu jalan.

Perencanaan perkerasan kaku di Indonesia saat ini tengah berada pada masa transisi dari penggunaan metode standar internasional menuju pedoman nasional yang lebih adaptif. Selama dua dekade terakhir, metode *Portland Cement Association* (PCA) yang diadaptasi ke dalam standar nasional melalui Pd T-14-2003 telah menjadi referensi utama bagi para praktisi jalan di Indonesia [4]. Meskipun telah lama digunakan, metode ini mulai mendapatkan tantangan dari perkembangan teknologi material dan perubahan karakteristik beban sumbu kendaraan niaga modern yang semakin kompleks.

Sejalan dengan dinamika tersebut, Kementerian PUPR melalui Direktorat Jenderal Bina Marga secara resmi merilis pemutakhiran standar nasional terbaru yakni Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 (MDPJ 2024) No. 03/M/BM/2024 [5]. Standar terbaru ini membawa paradigma baru dalam analisis struktur jalan di Indonesia dengan mengintegrasikan data material lokal dan kondisi lingkungan tropis secara lebih akurat. Munculnya standar MDPJ 2024 menciptakan kebutuhan mendesak bagi akademisi dan praktisi untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensinya jika dibandingkan dengan metode klasik PCA dalam menangani karakteristik beban lalu lintas logistik di kawasan industri berat.

Secara teknis, terdapat potensi perbedaan filosofis yang signifikan antara metode PCA dan MDPJ 2024, terutama pada kriteria analisis kerusakan erosi. Metode PCA klasik dikembangkan berdasarkan data pengujian skala penuh di Amerika Serikat, yang seringkali dinilai memberikan respons berbeda terhadap

repetisi beban Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG). Hal ini memicu perdebatan teknis mengenai sejauh mana ketelitian algoritma masing-masing metode dalam memprediksi masa layan perkerasan ketika dihadapkan pada lalu lintas kendaraan logistik modern di Indonesia [4].

Di sisi lain, MDPJ 2024 memperkenalkan pendekatan mekanistik-empiris yang lebih terintegrasi dengan memanfaatkan lapisan pondasi *Lean Mix Concrete* (LMC). Lapis pondasi yang distabilisasi semen ini dirancang untuk mengoptimalkan nilai *modulus of subgrade reaction* atau CBR efektif, sehingga secara teknis dapat mereduksi potensi kegagalan erosi. Perbedaan pendekatan ini memicu pertanyaan kritis mengenai metode mana yang paling mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan struktur dan efisiensi dimensi pelat beton di lapangan [5].

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Isna Fauziyah telah mencoba melakukan studi komparasi antara metode Bina Marga versi 2017 dengan PCA pada ruas jalan arteri di Jawa Tengah [6]. Namun, studi tersebut memiliki batasan karena belum mengakomodasi parameter desain terbaru serta algoritma perhitungan spektrum beban yang diperkenalkan dalam revisi MDPJ tahun 2024. Kesenjangan penelitian inilah yang menjadi dasar bagi penulis untuk melakukan pengujian mendalam pada ruas jalan dengan karakteristik beban logistik ekstrem seperti di Kabupaten Gresik.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penggunaan Spektrum Beban (*Axle Load Spectrum*) aktual yang disesuaikan dengan regulasi terbaru MDPJ 2024, bukan lagi sekadar mengandalkan faktor daya rusak rata-rata atau konsep *Equivalent Single Axle* (ESA). Dengan menggunakan spektrum beban sumbu, analisis interaksi antara beban sumbu STRT, STRG, dan STdRG terhadap struktur perkerasan dapat dipetakan secara lebih presisi. Hal ini sangat krusial untuk mengidentifikasi perilaku struktur perkerasan kaku dalam menghadapi beban kendaraan niaga industri yang memiliki konfigurasi sumbu sangat berat.

Permasalahan teknis yang menjadi fokus utama dalam studi ini adalah adanya selisih ketebalan pelat yang signifikan antara hasil rancangan kedua metode tersebut. Analisis mendalam sangat diperlukan untuk mengevaluasi bagaimana repetisi beban kumulatif selama umur rencana mempengaruhi degradasi struktur, baik dari aspek kelelahan pelat (*fatigue*) maupun ketahanan terhadap erosi fondasi. Evaluasi ini sangat penting untuk mencegah terjadinya inefisiensi anggaran pembangunan akibat desain struktur yang terlalu konservatif.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyajikan analisis perbandingan secara kuantitatif mengenai tingkat reliabilitas struktural dan efisiensi ekonomis (*Value Engineering*) antara metode MDPJ 2024 dan PCA pada ruas jalan sepanjang 5 km. Fokus evaluasi diarahkan pada penentuan ketebalan pelat beton yang paling optimum yang tetap memenuhi batas kritis kerusakan struktur di bawah 100%. Melalui komparasi teknis ini, penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang solid dalam pemilihan standar desain yang paling kompetitif secara biaya bagi infrastruktur kawasan industri.

Metodologi penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif mekanistik-empiris dengan basis data primer berupa volume lalu lintas aktual dan data sekunder berupa nilai daya dukung tanah dasar dari pengujian DCP sebesar 31,4%. Analisis struktur dilakukan melalui proses iterasi ketebalan pelat beton *Jointed Plain Concrete Pavement* (JPCP) dengan mutu f_{cf} 4,5 MPa. Terakhir, hasil rancangan dari kedua metode tersebut akan dikorelasikan dengan standar Harga Satuan Pokok Pekerjaan (HSPK) Kabupaten Gresik tahun 2025 guna mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai efisiensi fiskal yang dihasilkan [7].

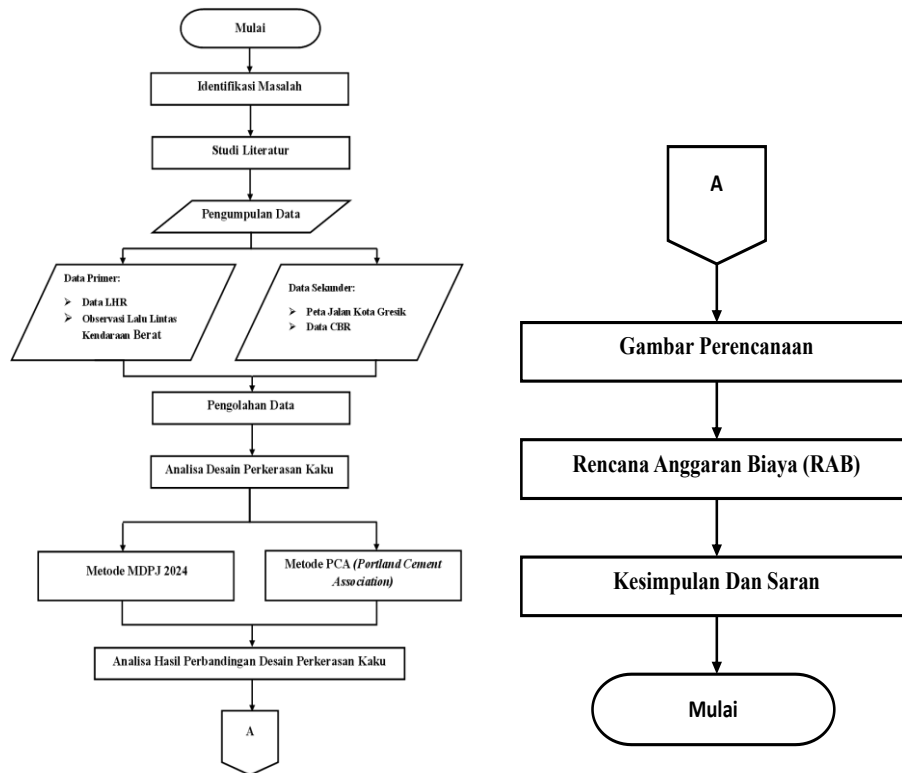
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif komparatif dengan metode analisis mekanistik-empiris. Fokus utama studi adalah membandingkan efisiensi algoritma desain struktur perkerasan kaku antara Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 [5] dan metode Portland Cement Association (PCA) yang diadaptasi dalam pedoman Pd T-14-2003 [4]. Lokasi studi ditetapkan pada ruas Jalan Veteran – Jalan Kapten Darmo Sugondo, Kabupaten Gresik, sepanjang 5 km. Koridor ini merupakan jalur arteri dengan beban logistik industri yang sangat berat, sehingga memerlukan akurasi pemodelan untuk menjamin reliabilitas struktur selama masa layan.

2.1. Desain Penelitian dan Tahapan Iterasi

Secara sistematis, tahapan pemodelan mekanistik dalam penelitian ini digambarkan pada Gambar 1. Proses dimulai dengan pengolahan data lalu lintas aktual yang dikonversi menjadi spektrum beban sumbu. Analisis dilakukan melalui prosedur literasi ketebalan pelat beton secara trial-and-error. Berdasarkan hasil pemodelan terhadap beban kendaraan niaga berat yang mendominasi lokasi studi,

ketebalan pelat beton yang dievaluasi dan ditetapkan sebagai hasil akhir adalah sebesar $h = 300$ mm untuk metode MDPJ 2024 dan $h = 250$ mm untuk metode PCA.



Gambar 3. Flow Chart

2.2. Teknik Pengumpulan Data dan Parameter Input

Pemodelan digerakkan oleh integrasi data primer dan sekunder yang spesifik. Data primer berupa volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) yang diperoleh melalui survei selama 7 hari. Dalam tahap pembersihan data, kendaraan ringan (Golongan 1 hingga 4) direduksi karena kontribusi dayanya yang tidak signifikan terhadap kerusakan mekanistik beton, sehingga analisis difokuskan murni pada spektrum kendaraan niaga berat (Golongan 5B ke atas). Data sekunder mencakup nilai daya dukung tanah dasar hasil pengujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP) dengan nilai CBR rata-rata sebesar 25,12% [8]. Seluruh parameter desain konstan yang diinput ke dalam model matematis dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Desain Pemodelan

Parameter Teknis	Simbol	Nilai / Spesifikasi	Acuan Standar	Parameter Teknis
Umur Rencana	UR	40 Tahun	MDPJ 2024 [5]	Umur Rencana
Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas	i	3,5%	Data Statistik	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas
Kuat Tarik Lentur Beton (28 hari)	f'_{cf}	4,5 MPa	Spesifikasi Teknis	Kuat Tarik Lentur Beton (28 hari)
Faktor Keamanan Beban	LSF	1,2 (MDPJ) 1,1 (PCA)	MDPJ 2024 [5] Pd T-14-2003 [4]	Faktor Keamanan Beban
Tebal Lapis Fondasi LMC	h_{LMC}	150 mm (MDPJ) BP 100 mm (PCA)	MDPJ 2024 [5] Pd T-14-2003 [4]	Tebal Lapis Fondasi LMC
Tebal Pelat Beton (MDPJ 2024)	h_{slab}	300 mm	Analisis Peneliti	Tebal Pelat Beton (MDPJ 2024)
Tebal Pelat Beton (PCA)	h_{slab}	250 mm	Analisis Peneliti	Tebal Pelat Beton (PCA)

Sumber : MDPJ 2024 & Pd T-14-2003

Berdasarkan Tabel 1, pemodelan ini menggunakan umur rencana (UR) 40 tahun yang merupakan standar untuk jalan beton berkinerja tinggi. Variabel faktor pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 3,5% mempresentasikan proyeksi perkembangan kendaraan industri di Kabupaten Gresik. Kuat tarik lentur beton

ditetapkan 4,5 MPa yang menjadi indikator kapasitas beton dalam menahan regangan batas bawah. Selain itu, penempatan tebal fondasi LMC 150 mm difungsikan sebagai penopang rigiditas yang akan meningkatkan nilai CBR efektif secara signifikan sebelum beban ditransfer ke tanah dasar asli.

2.3. Formulasi Proyeksi Pembebanan Lalu Lintas

Permasalahan beban lalu lintas diformulasikan ke dalam akumulasi repetisi beban sumbu kumulatif. Proyeksi pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung menggunakan deret ukur bunga majemuk sebagai berikut:

$$R = \frac{(1 + i)^{UR} - 1}{i} \quad [1]$$

Persamaan [1] di atas berfungsi untuk mengakumulasi total volume kendaraan niaga selama masa layan jalan. Karena karakteristik volume logistik tidak statis, nilai pengali pertumbuhan (R) memproyeksikan lonjakan beban di masa depan berdasarkan tren pertumbuhan tahunan yang telah ditetapkan. Untuk mengakomodasi fenomena beban berlebih (*overloading*), repetisi beban aktual lapangan dikalibrasi menjadi beban sumbu desain (W_d) menggunakan variabel *Load Safety Factor* (LSF):

$$W_d = W_a \times LSF \quad [2]$$

Melalui Persamaan [2], spektrum sumbu aktual (W_a) berupa STRT, STRG, maupun STdRG dikalibrasi menggunakan variabel *Load Safety Factor* (LSF). Penggunaan LSF bernilai 1,2 memberikan margin ruang aman (*safety factor*) sebesar 20% lebih tinggi terhadap beban riil di lapangan. Hasil perkalian inilah yang kemudian menjadi input utama dalam menghitung tegangan ekuivalen beton.

2.4. Algoritma Analisis Kerusakan Kumulatif (Fatik dan Erosi)

Kedua metode mengevaluasi reliabilitas struktur berdasarkan dua kriteria kegagalan kritis. Pertama adalah Kerusakan Fatik (*Fatigue Cracking*) yang meninjau tegangan tarik lentur di serat bawah beton. Kedua adalah Kerusakan Erosi (*Pumping/Faulting*) yang meninjau lendutan sudut pelat terhadap lapisan fondasi. Perbedaan algoritma terletak pada metode PCA yang menggunakan matriks Faktor Rasio Tegangan (FRT) dan Faktor Kerja Erosi (C_1) [4], sedangkan MDPJ 2024 menggunakan algoritma transfer mekanistik yang mengintegrasikan nilai CBR efektif dari kontribusi lapis LMC secara dinamis [5].

Untuk menentukan status keamanan dari dimensi pelat 300 mm dan 250 mm yang diuji, algoritma menggunakan hipotesis kerusakan kumulatif linier *Miner* [9]. Struktur dinyatakan memenuhi syarat (aman) apabila total persentase kerusakan gabungan tidak melampaui batas kritis 100%:

$$D_{total} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{n_j}{N_j} \right) \times 100\% \leq 100\% \quad [3]$$

Persamaan [3] ini merupakan inti dari analisis kekuatan mekanistik. Rasio kerusakan dihitung dengan membagi jumlah repetisi beban kendaraan yang melintas (n_j) dengan jumlah repetisi beban maksimal yang masih mampu ditahan oleh struktur beton sebelum retak (N_j). Akumulasi kerusakan dari seluruh kelas beban (D_{total}) tidak boleh melebihi rasio absolut 100%. Apabila melebihi batas tersebut, desain dianggap mengalami kegagalan (*under-design*).

2.5. Evaluasi Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Tahap akhir metodologi adalah komparasi efisiensi biaya pekerjaan. Perhitungan biaya didasarkan pada volume material langsung per meter lari (m') yang meliputi pekerjaan persiapan, stabilisasi LMC, pengecoran pelat beton, serta sistem sambungan (*dowel* dan *tie bar*). Harga satuan mengacu pada Peraturan AHSP Bidang Bina Marga Nomor 68/SE/DK/2024 & Bupati Gresik Nomor 53 Tahun 2024 tentang Harga Satuan Pokok Pekerjaan (HSPK) Tahun 2025 [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Tanah Dasar dan Lalu Lintas Aktual

Kekuatan struktur perkerasan kaku sangat dipengaruhi oleh daya dukung tanah dasar (*subgrade*). Berdasarkan data sekunder pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) pada ruas Jalan Veteran – Jalan

Kapten Darmo Sugondo, diperoleh nilai CBR rata-rata lapangan yang cukup tinggi sebesar 31,4%. Namun, untuk menjamin reliabilitas desain secara statistik, dilakukan konversi menjadi CBR Desain menggunakan metode persentil, sehingga didapatkan nilai acuan sebesar 25,12% yang dikategorikan sebagai tanah dasar kualitas baik (*good subgrade*).

Dalam pemodelan ini, sistem perkerasan tidak diletakkan langsung di atas tanah dasar asli, melainkan ditopang oleh lapis fondasi bawah (*sub-base*) berupa *Lean Mix Concrete* (LMC) setebal 150 mm. Secara mekanistik, penggunaan LMC berfungsi sebagai lantai kerja sekaligus lapisan stabilisasi yang meningkatkan nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (k) secara signifikan. Integrasi antara CBR desain 25,12% dengan LMC 150 mm menghasilkan nilai CBR Efektif sebesar 60% atau setara dengan nilai k efektif 78 MPa/m, yang memberikan kekakuan fondasi yang sangat mumpuni dalam mereduksi lendutan sudut pelat beton.

Dari aspek pembebanan, analisis difokuskan pada spektrum kendaraan niaga berat (Bus dan Truk) dengan mengeliminasi kendaraan ringan untuk akurasi perhitungan tegangan. Proyeksi pertumbuhan lalu lintas tahunan sebesar 3,5% selama umur rencana 40 tahun menghasilkan akumulasi Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) yang masif. Hasil analisis spektrum beban sumbu menunjukkan bahwa konfigurasi Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG) memiliki frekuensi repetisi yang paling dominan, yang secara teoritis menjadi faktor penyebab utama terjadinya kelelahan struktur dan degradasi pada lapisan fondasi bawah akibat gaya tekan vertikal yang berulang.

3.2. Evaluasi Kinerja Struktural Metode MDPJ 2024

Analisis kinerja struktural menggunakan algoritma Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 dilakukan melalui prosedur iterasi ketebalan untuk mencari dimensi paling efisien. Hasil pemodelan mekanistik menetapkan bahwa ketebalan pelat beton JPCP yang memenuhi syarat keamanan adalah 300 mm dengan mutu kuat tarik lentur (f'_{cf}) sebesar 4,5 MPa. Rekapitulasi persentase kerusakan kumulatif untuk ketebalan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Kerusakan Kumulatif MDPJ 2024 (Tebal 300 mm)

Kriteria Kegagalan	Persentase Kerusakan (%)	Batas Izin (%)	Status
Kerusakan Fatik (<i>Fatigue</i>)	00,00	100	AMAN
Kerusakan Erosi (<i>Erosion</i>)	44,35	100	AMAN

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa nilai kerusakan fatik menunjukkan angka mutlak 0,00%. Hal ini menandakan bahwa pelat beton setebal 300 mm memiliki tingkat kekakuan yang sangat masif, sehingga nyaris tidak mengalami tegangan tarik lentur yang berarti ketika dilintasi beban sumbu kendaraan. Kapasitas sisa pelat terhadap kelelahan lentur sangat maksimal karena tegangan aktual yang terjadi jauh di bawah modulus keruntuhan beton.

Namun demikian, perhatian utama pada metode MDPJ 2024 terletak pada kriteria erosi yang tercatat pada angka 44,35%. Secara mekanistik, angka ini mengindikasikan bahwa meskipun pelat sama sekali tidak mengalami retak (*fatik* 0%), beban tekan vertikal dari Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG) logistik berat tetap memicu defleksi yang diakumulasi sebagai kerusakan erosi pada fondasi. Nilai erosi 44,35% ini merepresentasikan kehati-hatian dari standar nasional terbaru dalam membatasi degradasi pumping di area sambungan agar struktur mampu bertahan hingga umur rencana 40 tahun penuh.

3.3. Evaluasi Kinerja Struktural Metode PCA (Pd T-14-2003)

Analisis komparatif menggunakan metode *Portland Cement Association* (PCA) sesuai pedoman Pd T-14-2003 memberikan fleksibilitas desain yang berbeda dibandingkan standar nasional. Menggunakan parameter input daya dukung dan spektrum beban yang sama, hasil iterasi membuktikan bahwa ketebalan pelat beton 250 mm sudah mampu memenuhi kriteria kelayakan batas. Detail persentase kerusakan mekanistik untuk metode PCA dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Kerusakan Kumulatif PCA (Tebal 250 mm)

Kriteria Kegagalan	Persentase Kerusakan (%)	Batas Izin (%)	Status
Kerusakan Fatik (<i>Fatigue</i>)	00,00	100	AMAN
Kerusakan Erosi (<i>Erosion</i>)	16,82	100	AMAN

Data pada Tabel 3 memperlihatkan fenomena teknis yang sangat menarik. Meskipun ketebalan pelat direduksi secara signifikan menjadi 250 mm (lebih tipis 50 mm dari MDPJ), nilai kerusakan fatik tetap berada pada angka 0,00%, dan kerusakan erosi tercatat sangat rendah di angka 16,82%. Hal ini

menunjukkan bahwa algoritma respons struktural PCA menilai kombinasi antara beton kaku dan fondasi LMC sangat optimal dalam meredam tegangan.

Rendahnya nilai erosi (16,82%) pada metode PCA membuktikan bahwa faktor kerja erosi (C_1) dalam perhitungan ini sangat merespons positif kehadiran lapis fondasi kaku. Metode PCA berasumsi bahwa CBR efektif sebesar 60% yang disumbangkan oleh LMC sudah lebih dari cukup untuk menopang pelat 250 mm dari bahaya defleksi sudut, sehingga struktur masih memiliki margin sisa umur rencana erosi yang sangat besar (83,18%).

3.4. Analisis Komparatif

Selisih ketebalan sebesar 50 mm antara MDPJ 2024 (300 mm) dan PCA (250 mm) membawa implikasi linier terhadap kebutuhan volume material beton dan baja tulangan. Analisis ini sangat krusial dalam konteks *Value Engineering* untuk menentukan metode mana yang memberikan rasio manfaat-biaya terbaik. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) per meter lari (m') dilakukan dengan mengacu pada standar Harga Satuan Pokok Pekerjaan (HSPK) Kabupaten Gresik Tahun 2025. Hasil komparasi ekonomi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Komparasi Ekonomi Biaya Material Konstruksi

Komponen Analisis	Metode MDPJ 2024	Metode PCA	Selisih Efisiensi
Tebal Pelat Beton	300 mm	250 mm	50 mm
Total Biaya Proyek	Rp 34.211.548.783	Rp 28.509.623.986	Rp 5.701.924.797
Biaya per Meter Lari (m')	Rp 6.842.310	Rp 5.701.925	Rp 1.140.385

Berdasarkan komparasi teknis-ekonomis pada Tabel 4, penggunaan metode PCA memproyeksikan efisiensi biaya yang sangat signifikan sebesar Rp 1.140.385 per meter panjang jalan. Untuk total panjang 5 km, penggunaan metode PCA mampu menghemat anggaran daerah sebesar Rp 5.701.924.797 (Rp 5,7 Miliar). Temuan ini menegaskan bahwa metode PCA memberikan rasio Value Engineering yang sangat tinggi, memungkinkan pengalokasian sisa anggaran untuk pengembangan infrastruktur penunjang lainnya di kawasan industri Gresik.

Kesimpulan akhir dari pembahasan ini menekankan bahwa metode PCA menawarkan solusi desain yang jauh lebih ekonomis secara investasi awal (*initial cost*). Namun, pemilihan metode 250 mm (PCA) harus diimbangi dengan pertimbangan risiko biaya pemeliharaan di masa depan, mengingat margin keamanannya terhadap erosi yang lebih tipis dibandingkan MDPJ 2024. Sebaliknya, MDPJ 2024 dengan tebal 300 mm memberikan tingkat keamanan (*safety factor*) yang lebih tinggi terhadap ketidakpastian beban di masa depan, meskipun membutuhkan investasi awal yang lebih besar.

3.4. Diskusi

Munculnya selisih ketebalan sebesar 50 mm, di mana metode PCA menghasilkan dimensi 250 mm sementara MDPJ 2024 menetapkan 300 mm, merupakan refleksi dari perbedaan filosofi perhitungan dalam merespons kekakuan struktur. Temuan ini membuktikan bahwa metode PCA (Pd T-14-2003) bekerja secara lebih sensitif dalam mengoptimalkan interaksi antara kekakuan pelat beton dan dukungan fondasi bawah. Efektivitas dimensi 250 mm pada metode PCA didukung oleh teori mekanika pelat elastis yang menyatakan bahwa distribusi tegangan pada perkerasan kaku sangat dipengaruhi oleh rasio kekakuan relatif antara pelat beton dan fondasi. Hal ini sejalan dengan penelitian Aditya Ambudi Kurniawan [2] yang menyatakan bahwa metode PCA memiliki keunggulan dalam pemodelan respons struktur di area sudut pelat, sehingga mampu menghasilkan desain yang lebih ramping namun tetap stabil secara mekanistik.

Faktor kunci yang menjadikan metode PCA lebih efektif dalam studi kasus Jalan Veteran – Kapten Darmo Sugondo adalah optimalisasi dukungan lapis fondasi *Beton Pengikat 100mm* yang mampu menghasilkan nilai CBR Efektif sebesar 60%. Dalam algoritma PCA, peningkatan nilai *modulus of subgrade reaction* (k_s) secara linier mereduksi indeks kerja erosi, sehingga kebutuhan tebal pelat untuk menahan lendutan menjadi lebih rendah. Dukungan fondasi yang kaku ini memfasilitasi pelat beton setebal 250 mm untuk tetap bekerja dalam koridor elastis meskipun menerima beban repetisi tinggi dari kendaraan berat. Hal ini dibuktikan dengan rendahnya angka kerusakan erosi pada metode PCA yang hanya menyentuh 16,82%, jauh di bawah batas izin 100%.

Sebaliknya, penetapan tebal 300 mm pada metode MDPJ 2024 mencerminkan prinsip konservatisme struktural yang diadaptasi untuk kondisi lingkungan di Indonesia. Standar nasional terbaru ini dikembangkan dengan mengintegrasikan faktor keamanan (*safety factor*) regional yang lebih tinggi untuk mengantisipasi fenomena muatan berlebih (*overloading*) yang ekstrem. Isna Fauziyah [6] dalam

penelitiannya mengidentifikasi bahwa standar Bina Marga cenderung menetapkan parameter batas yang lebih ketat sebagai langkah preventif. Hal ini terlihat dari angka kerusakan erosi MDPJ yang mencapai 44,35% pada tebal 300 mm. Meskipun pelat lebih tebal, MDPJ memberikan penalti kerusakan yang lebih berat terhadap beban sumbu tandem dibandingkan PCA, guna menjamin tercapainya umur rencana 40 tahun di tengah ketidakpastian beban logistik aktual.

Secara teknis-ekonomis, pemilihan tebal 250 mm melalui metode PCA dapat dikategorikan sebagai tindakan *Value Engineering* yang rasional. Berdasarkan analisis biaya pada ruas jalan sepanjang 5 km dengan lebar 7,2 m, metode PCA membutuhkan total biaya sebesar Rp 28,50 Miliar, sedangkan MDPJ 2024 membutuhkan Rp 34,21 Miliar. Justifikasi ini menegaskan bahwa metode PCA mampu menjawab tantangan keterbatasan anggaran pembangunan infrastruktur dengan memberikan efisiensi biaya material sebesar Rp 5,70 Miliar. Angka tersebut menunjukkan bahwa struktur beroperasi pada utilitas material yang paling maksimal untuk mencapai efisiensi biaya tanpa harus mengorbankan integritas struktural yang disyaratkan oleh pedoman teknis perkerasan beton semen [4], [9].

Sebagai sintesis akhir, penelitian ini menyimpulkan bahwa efektivitas metode PCA sangat bergantung pada sinergi antara material beton mutu tinggi (f'_{cf} 4,5 MPa) dan pengawasan pelaksanaan konstruksi yang ketat. Penghematan biaya yang signifikan sebesar Rp 1.140.385 per meter panjang jalan memberikan peluang bagi instansi terkait untuk mengalokasikan anggaran pada pemeliharaan preventif. Namun demikian, jika keandalan jangka panjang terhadap beban *overloading* industri yang tidak terkendali menjadi prioritas utama, maka penggunaan metode MDPJ 2024 dengan ketebalan 300 mm tetap menjadi pilihan yang lebih aman. Pemilihan metode harus didasarkan pada pertimbangan matang antara optimasi teknis, ketersediaan anggaran, dan profil risiko beban lalu lintas di lokasi studi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan desain perkerasan kaku menggunakan metode MDPJ 2024 dan PCA (Pd T-14-2003) pada ruas Jalan Veteran – Jalan Kapten Darmo Sugondo, Kabupaten Gresik, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Hasil evaluasi daya dukung tanah dasar menunjukkan nilai CBR desain sebesar 25,12%. Dengan penggunaan lapis fondasi bawah *Lean Mix Concrete* (LMC) setebal 150 mm, terjadi peningkatan signifikan pada kekakuan fondasi dengan nilai CBR Efektif mencapai 60% ($k = 78 \text{ MPa/m}$). Karakteristik beban lalu lintas di lokasi studi didominasi oleh kendaraan niaga berat dengan konfigurasi Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG) yang menjadi parameter paling kritis terhadap kerusakan erosi.
2. Analisis teknis menggunakan metode MDPJ 2024 menghasilkan ketebalan pelat beton optimum sebesar 300 mm. Pada dimensi ini, struktur dinyatakan sangat aman dengan kerusakan fatik 0,00% dan kerusakan erosi sebesar 44,35%. Standar nasional terbaru ini terbukti lebih konservatif dalam membatasi lendutan sudut pelat guna mengantisipasi beban berlebih (*overloading*) industri yang ekstrem.
3. Analisis menggunakan metode PCA memberikan hasil yang lebih efisien dengan ketebalan pelat beton sebesar 250 mm. Meskipun lebih tipis 50 mm dibandingkan MDPJ 2024, desain ini tetap memenuhi syarat keamanan mekanistik dengan persentase fatik 0,00% dan erosi yang sangat rendah di angka 16,82%. Hal ini membuktikan efektivitas algoritma PCA dalam mengoptimalkan dukungan lapis fondasi kaku.
4. Ditinjau dari aspek ekonomi (*Value Engineering*), metode PCA (250 mm) terbukti jauh lebih efisien dengan total biaya Rp 28.509.623.986, dibandingkan MDPJ 2024 (300 mm) yang membutuhkan Rp 34.211.548.783. Penggunaan metode PCA memberikan potensi penghematan anggaran pembangunan yang sangat signifikan sebesar Rp 1.140.385 per meter atau total akumulatif sebesar Rp 5.701.924.797 untuk panjang jalan 5 km.
5. Secara keseluruhan, penelitian ini merekomendasikan penggunaan metode PCA apabila prioritas utama adalah efisiensi investasi awal anggaran daerah dengan syarat pengawasan mutu beton dan pemeliharaan sambungan yang sangat ketat. Namun, jika reliabilitas jangka panjang terhadap fluktuasi beban kendaraan logistik yang tak terprediksi menjadi prioritas, maka metode MDPJ 2024 dengan ketebalan 300 mm adalah pilihan yang lebih andal secara struktural sebagai upaya preventif kegalangan dini.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wijaya Kusuma Surabaya serta seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- [1] A. C. B. A. Santoso, "Perencanaan Jalan Di Sepanjang Jalan Kedung Mundu Raya Menggunakan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)," *Skripsi*, Universitas Semarang, Semarang, 2019.
- [2] A. A. Kurniawan, "Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Dengan Menggunakan Metode PCA (*Portland Cement Association*) (Studi Kasus: Jalan WR Supratman Kota Tarakan)," *Skripsi*, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, 2018.
- [3] S. Ari, *Perkerasan Jalan Beton Semen*, Yogyakarta: Beta Offset, 2009.
- [4] Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, "Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)," Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, Jakarta, 2003.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) No. 03/M/BM/2024," Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta, 2024.
- [6] I. Fauziah, "Studi Komparasi Perencanaan Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2017 dan PCA pada Jalan Semarang Purwodadi," *Skripsi*, Universitas Semarang, Semarang, 2023.
- [7] Pemerintah Kabupaten Gresik, "Peraturan Bupati Gresik Nomor 53 Tahun 2024 tentang Standar Harga Satuan Pokok Pekerjaan Konstruksi (HSPK) Tahun 2025," Lembaran Daerah Kabupaten Gresik, Gresik, 2024.
- [8] Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Gresik, "Data Pengujian Daya Dukung Tanah Dasar (*Dynamic Cone Penetrometer*) Ruas Jalan Veteran - Kapten Darmo Sugondo," Laporan Teknis, Gresik, 2024.
- [9] Y. H. Huang, *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed., New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.