



Analisis Komparatif Sensitivitas Metode Mekanistik-Empiris dan Empiris dalam Penentuan Ketebalan Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat

Irvan Efendi¹, Kurnia Hadi Putra², Ratih Sekartadji³, Theresia Maria C.A.⁴

^{1,2,3,4}Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: ¹irvanefendi627@gmail.com, ²kurnia_putra@itats.ac.id, ³ratih.sekartadji@itats.ac.id,

⁴theresiamca@itats.ac.id

Abstract

This study analyzes the design of rigid pavement thickness on the Dawarblandong road segment using four planning methods: MDPJ 2024, MDPJ 2017, Pd T-14-2003, and AASHTO 1993. Traffic load data and subgrade soil conditions were used to calculate the concrete slab thickness and foundation layers according to each method's procedure. The results show that the MDPJ 2024 and MDPJ 2017 methods yield concrete slab thicknesses of approximately 305–310 mm using a mechanistic-empirical approach and cumulative traffic load values, while the Pd T-14-2003 and AASHTO 1993 methods produce thinner slabs of 175 mm and 210 mm, respectively, using simpler empirical approaches. These differences indicate that methods incorporating mechanistic analysis of fatigue and erosion damage provide more conservative and safer designs. Reinforcement configuration and slab dimensions are relatively consistent across all methods, though foundation layer thickness and damage control differ. The findings can serve as a reference for selecting concrete pavement design methods that align with traffic conditions and structural safety requirements. Further research is recommended to evaluate field performance and develop integrated design methods.

Keywords: Rigid Pavement, Concrete Slab Thickness, MDPJ Method, Pd T-14, AASHTO.

Abstrak

Penelitian ini menganalisis desain tebal perkerasan kaku pada ruas Jalan Dawarblandong menggunakan empat metode perencanaan, yaitu MDPJ 2024, MDPJ 2017, Pd T-14-2003, dan AASHTO 1993. Data beban lalu lintas dan kondisi tanah dasar digunakan untuk menghitung tebal pelat beton dan lapis fondasi sesuai prosedur setiap metode. Hasil menunjukkan bahwa metode MDPJ 2024 dan MDPJ 2017 menghasilkan tebal pelat beton sekitar 305–310 mm dengan pendekatan mekanistik-empiris dan nilai kumulatif beban lalu lintas, sedangkan metode Pd T-14-2003 dan AASHTO 1993 menghasilkan tebal yang lebih tipis, masing-masing 175 mm dan 210 mm, dengan pendekatan empiris yang lebih sederhana. Perbedaan ini menegaskan bahwa metode dengan analisis kerusakan fatigue dan erosi secara mekanistik memberikan hasil desain yang lebih konservatif dan aman. Konfigurasi tulangan dan dimensi pelat relatif seragam pada semua metode, namun ketebalan lapis fondasi dan kontrol kerusakan berbeda. Temuan penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pemilihan metode desain perkerasan beton yang sesuai dengan kondisi lalu lintas dan kebutuhan keamanan struktur. Penelitian lanjutan disarankan untuk evaluasi performa lapangan dan pengembangan metode desain yang terintegrasi.

Kata Kunci: Perkerasan Kaku, Tebal Pelat Beton, Metode MDPI, Pd T-14, AASHTO.

1. PENDAHULUAN

Perencanaan perkerasan jalan terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan terhadap infrastruktur transportasi yang andal dan berkelanjutan. Dalam beberapa dekade terakhir, pendekatan desain telah bergeser dari metode empiris menuju metode

mekanistik-empiris yang lebih mampu merepresentasikan respons struktur terhadap beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Metode empiris seperti Pd T-14-2003 dan AASHTO 1993 didasarkan pada pengamatan lapangan dan hubungan statistik, sehingga memiliki keterbatasan dalam menggambarkan mekanisme kerusakan secara detail. Sebaliknya, metode mekanistik-empiris seperti MDPJ 2017 dan MDPJ 2024 mengintegrasikan analisis tegangan dan regangan dengan model kerusakan material, sehingga menghasilkan desain yang lebih rasional dan sesuai dengan kondisi aktual. (Kololikiye *et al.*, 2024; Wibawa *et al.*, 2025).

Perkembangan metode desain ini juga hal ini didukung oleh berbagai studi terkini yang menunjukkan bahwa pendekatan mekanistik-empiris memberikan hasil desain yang lebih konservatif dibandingkan metode empiris. (Darmayuda *et al.*, 2024) menyatakan bahwa perbedaan pendekatan dalam perencanaan perkerasan kaku dapat menghasilkan variasi ketebalan yang signifikan, terutama pada ruas dengan lalu lintas berat. Hal serupa juga ditemukan oleh (Nabila & Lubis, 2025), yang menunjukkan bahwa metode berbasis mekanistik cenderung menghasilkan struktur yang lebih tahan terhadap kerusakan dini akibat repetisi beban. Selain itu, penelitian oleh (Apituley *et al.*, 2026) menegaskan bahwa pemilihan metode desain harus mempertimbangkan karakteristik lalu lintas dan kondisi tanah dasar agar diperoleh kinerja perkerasan yang optimal.

Di Indonesia, implementasi metode desain perkerasan masih menunjukkan adanya variasi penggunaan standar, terutama antara metode empiris dan mekanistik-empiris. Beberapa studi komparatif menunjukkan adanya perbedaan hasil desain yang cukup signifikan antar metode, yang disebabkan oleh perbedaan asumsi beban lalu lintas, parameter tanah dasar, serta model analisis yang digunakan (Darmayuda *et al.*, 2024; Wibawa *et al.*, 2025). Perbedaan ini tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga pada efisiensi biaya konstruksi dan umur layanan perkerasan. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang tidak hanya membandingkan hasil akhir berupa ketebalan perkerasan, tetapi juga menganalisis faktor-faktor penyebab perbedaan tersebut, khususnya parameter yang paling sensitif dalam pendekatan mekanistik-empiris.

Selain faktor metode desain, kondisi lalu lintas dan beban kendaraan juga menjadi aspek penting yang mempengaruhi kinerja perkerasan jalan. Penelitian menunjukkan bahwa kendaraan dengan muatan berlebih (*overloading*) dapat mempercepat kerusakan struktural perkerasan, baik dalam bentuk retak, deformasi permanen, maupun kerusakan pada lapis fondasi (Sastranegara, 2023; Subekti & Tjendani, 2024). Beban berulang yang tinggi juga berkontribusi terhadap mekanisme kerusakan seperti fatigue dan erosi, yang menjadi parameter utama dalam pendekatan mekanistik. Dalam konteks ini, pemahaman terhadap interaksi antara beban lalu lintas dan respon struktur menjadi kunci dalam menghasilkan desain perkerasan yang andal (Papagiannakis, A.T. & Masad, E.A., 2018).

Ruas Jalan Dawarblandong – Kedamean di Kabupaten Gresik merupakan salah satu jalur strategis yang berperan dalam mendukung aktivitas ekonomi dan distribusi barang di wilayah sekitarnya. Berdasarkan kondisi eksisting, ruas jalan ini masih menggunakan perkerasan lentur dan menunjukkan indikasi kerusakan berupa retak, deformasi, serta lubang yang terjadi sebelum mencapai umur rencana. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya potensi kegagalan struktural dini yang disebabkan oleh kombinasi antara beban lalu lintas berat, repetisi beban yang tinggi, serta kemungkinan kondisi tanah dasar yang kurang optimal. Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa ketidaksesuaian antara desain perkerasan dan kondisi aktual lalu lintas dapat mempercepat terjadinya kerusakan jalan (Kasaf *et al.*, 2023).

Dalam kondisi tersebut, perkerasan kaku menjadi alternatif yang lebih sesuai karena memiliki kekakuan tinggi dan kemampuan distribusi beban yang lebih merata ke tanah dasar. Namun, efektivitas perkerasan kaku sangat bergantung pada metode desain yang

digunakan. Perbedaan pendekatan antara metode mekanistik-empiris dan empiris dapat menghasilkan variasi ketebalan yang cukup besar, sehingga pemilihan metode desain yang tepat menjadi faktor krusial dalam menjamin kinerja struktur perkerasan (Apituley *et al.*, 2026; Wibawa *et al.*, 2025).

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sensitivitas parameter utama dalam metode mekanistik-empiris dan empiris serta mengidentifikasi faktor dominan yang menyebabkan perbedaan ketebalan perkerasan beton semen menggunakan metode MDPJ 2024, MDPJ 2017, AASHTO 1993, dan PdT-14 2003 pada ruas Jalan Dawarblandong–Kedamean. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji parameter yang berkontribusi terhadap peningkatan ketebalan perkerasan pada metode mekanistik-empiris serta implikasinya terhadap kinerja struktural perkerasan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data primer dan sekunder untuk menganalisis desain perkerasan menggunakan beberapa metode perencanaan. Data dikumpulkan melalui survei lalu lintas harian (LHR) dan pengamatan geometri jalan, serta data CBR tanah dasar yang diperoleh dari instansi terkait.

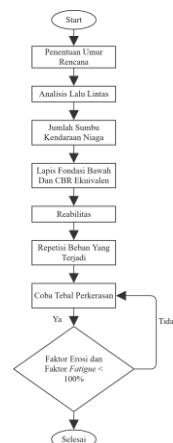
Lokasi penelitian berada pada ruas Jalan Dawarblandong – Kedamean, Kabupaten Gresik, dengan panjang ruas $\pm 1,170$ km. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, analisis desain perkerasan menggunakan metode MDPJ 2024, MDPJ 2017, PdT-14 2003, dan AASHTO 1993, analisis perbandingan hasil dari masing-masing metode, pembahasan, serta penarikan kesimpulan.

2.2 CBR Tanah

Data CBR tanah dasar diperoleh dari hasil pengujian oleh CV. Rubikon. Berdasarkan ketentuan MDPJ 2024, pengolahan data CBR dapat dilakukan menggunakan metode distribusi normal standar atau metode persentil. Dalam penelitian ini digunakan metode persentil untuk memperoleh nilai CBR representatif yang bersifat konservatif terhadap variasi kondisi tanah dasar. Perhitungan dilakukan dengan menentukan nilai persentil dari data CBR yang tersedia, sehingga diperoleh nilai yang digunakan sebagai dasar dalam analisis perencanaan perkerasan.

2.3 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024

. Alur perencanaan menggunakan metode MDPJ 2024 dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Metode MDPJ 2024

1. Umur Rencana

Berdasarkan metode MDPJ 2024, umur rencana ditentukan berdasarkan jenis perkerasan yang akan digunakan. Dalam penelitian ini dengan jenis perkerasan merupakan perkerasan kaku sehingga digunakan umur rencana sebesar 40 tahun.

2. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

Jumlah sumbu Kendaraan niaga dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \cdot \sum JSKN_{JK}) \cdot 365 \cdot DD \cdot DL R$$

3. Lapis Fondasi Bawah dan CBR Ekuivalen

Menentukan lapis fondasi bawah berdasarkan tabel 2.1 berikut:

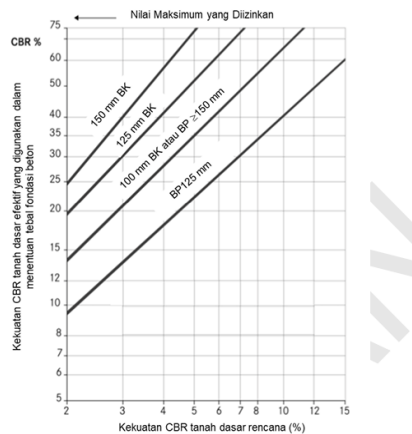
Tabel 1. Tebal Fondasi Bawah Minimum Untuk Perkerasan Beton Semen

(JSKN)	Lapis Fondasi Bawah
Hingga 10 ⁶	BP 0,125 m
10 ⁶ hingga 5 x 10 ⁶	BP 0,1 m atau BK 0,15 m
5 x 10 ⁶ hingga 1 x 10 ⁷	BK 0,125 m
Hingga 1 x 10 ⁷	BK 0,15 m

Nilai CBR ekuivalen dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$CBR \text{ Ekuivalen} = \left(\frac{\sum i \cdot hi \cdot CBR_i^{0,33}}{\sum i \cdot hi} \right)^3$$

Nilai CBR tanah dasar efektif diperoleh menggunakan gambar 2 berikut:



Gambar 2. CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Fondasi Bawah

4. Reabilitas

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024, pada penentuan beban rencana, beban sumbu kendaraan dikalikan dengan faktor keamanan beban (Load Safety Factor/Lsf). Nilai reliabilitas yang digunakan sebesar 90%, dengan nilai LSF pada perkerasan kaku tipe *Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP)* sebesar 1,1 dan *Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)* sebesar 1,2.

5. Tegangan Ekuivalen (Se) dan Faktor Erosi (F3)

Tegangan ekuivalensi dan faktor erosi dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

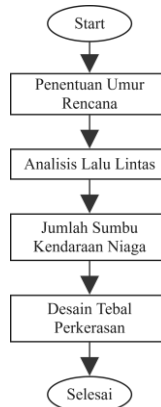
$$S_e \text{ atau } F_3 = a + \frac{b}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e [\ln(E_f)]^2 + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot [\ln(E_f)]^3 + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2} \tag{1}$$

6. Kerusakan Erosi

$$\log_{10}(F_2 N_e) = 14,524 - 6,777 \left[\max \left(0 \text{ atau } \left(\frac{P \cdot L_{sf}}{4,45 \cdot F_4} \right)^2 \times \frac{10^{f_3}}{41,35} - 9,0 \right) \right]^{0,103} \tag{2}$$

2.4 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Alur perencanaan menggunakan metode MDPJ 2017 dapat disajikan pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Metode MDPJ 2017

1. Analisis Klasifikasi Sumbu Kendaraan Niaga

Nilai jumlah klasifikasi sumbu kendaraan niaga diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$ESA = \sum LHR \times DD \times DL \times 365 \quad (3)$$

2. Tebal Perkerasan

Menentukan desain tebal perkerasan menggunakan metode MDPJ 2017 berdasarkan bagan desain 4 MDPJ 2017 Hal 7 - 16 dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 2. Desain Perkerasan untuk Jalan dengan Kapasitas Lalu Lintas Tinggi

Desain Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
JSKN	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu jalan	Ya				
Desain Perkerasan (m)					
Tebal perkerasan	0,265	0,275	0,285	0,295	0,305
Lapis fondasi bawah	0,100				
Lapis Drainase	0,150				

2.6 Metode Pd T-14 2003

Alur perencanaan menggunakan metode Pd T-14 2003 dapat disajikan pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Metode PD T-14 2003

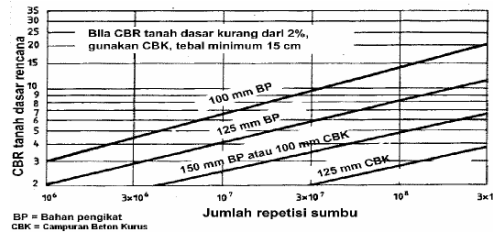
1. Total Sumbu Kendaraan Niaga

Total sumbu kendaraan niaga dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$JSKN = (JSKNH \times 365 \times R \times C) \tag{4}$$

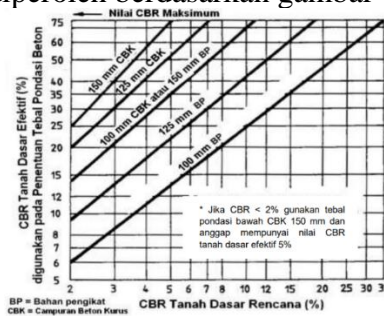
2. CBR Tanah Dasar Efektif dan Lapis Fondasi Bawah

Lapis fondasi bawah diperoleh menggunakan gambar 5 berikut :



Gambar 5. Tebal Fondasi Bawah

CBR tanah dasar efektif diperoleh berdasarkan gambar 6 berikut :



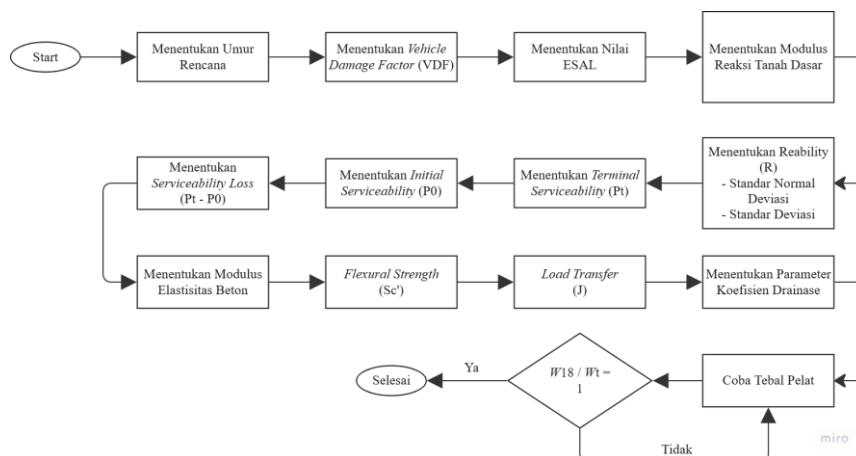
Gambar 6. CBR Tanah Dasar Efektif

3. Analisa Faktor Fatik dan Faktor Erosi

Tahap akhir perencanaan perkerasan kaku melibatkan analisis fatigue dan erosi untuk memastikan durabilitas struktur terhadap repetisi beban. Proses ini dilakukan dengan membandingkan repetisi beban yang terjadi dengan repetisi izin berdasarkan faktor tegangan dan erosi pada setiap jenis sumbu. Hasil analisis berupa persentase kerusakan kumulatif, di mana struktur dinyatakan memenuhi syarat jika total kerusakan tidak melebihi 100%, sehingga tebal pelat yang direncanakan aman secara struktural.

2.6 Metode AASHTO 1993

Alur perencanaan menggunakan metode AASHTO 1993 dapat disajikan pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. Diagram Alir Metode AASHTO 1993

1. Tebal Perkerasan

Nilai tebal perkerasan diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_O + 7,3 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta psi}{4,5-1,5}}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \times P_t) \times \log_{10} \frac{S'_c \times C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times j \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0,25}} \right]} \tag{5}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 CBR Tanah Dasar

Data CBR tanah dasar pada penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan oleh konsultan CV. Rubikon. Nilai CBR tersebut selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai representatif menggunakan metode persentil sesuai dengan ketentuan dalam MDPJ 2024. Metode ini dipilih untuk merepresentasikan kondisi tanah dasar secara konservatif terhadap variasi data lapangan. Nilai CBR tanah dasar disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Tanah

No.	STA	Nilai CBR (%)
1	0 + 100 Kiri	6,98
2	0 + 100 Kanan	9,59
3	0 + 350 Kiri	10,46
4	0 + 350 Kanan	5,23
5	0 + 500 Kiri	10,46
6	0 + 500 Kanan	5,23
7	0 + 750 Kiri	6,10
8	0 + 750 Kanan	7,85
9	0 + 950 Kiri	6,98
10	0 + 950 Kanan	9,59
11	1 + 200 Kiri	8,72
12	1 + 200 Kanan	10,46
13	1 + 400 Kiri	9,95
14	1 + 400 Kanan	8,72

Penentuan nilai CBR representatif dilakukan menggunakan metode persentil sesuai dengan ketentuan MDPJ 2024. Dalam penelitian ini digunakan persentil ke-10 (P10) untuk memperoleh nilai yang bersifat konservatif terhadap variasi data lapangan. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai CBR sebesar 5,49% yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perencanaan tebal perkerasan.

3.2 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024

Hasil analisis kerusakan fatigue dan erosi menggunakan metode MDPJ 2024 disajikan pada Tabel 6 hingga Tabel 11, sedangkan hasil perhitungan tegangan ekuivalen (Se) dan faktor erosi (F3) dirangkum pada Tabel 4 dan Tabel 5. Desain perkerasan yang digunakan adalah perkerasan kaku tipe *Jointed Reinforced Concrete Pavement* (JRCP) dengan faktor keamanan beban (LSF) sebesar 1,2. Kriteria kelayakan desain ditentukan berdasarkan nilai kerusakan fatigue dan erosi yang tidak melebihi batas ≤100%.

Tabel 4. Hasil Analisis Tegangan Ekuivalen (S_e)

Parameter	Dengan Bahu Jalan			
	Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
D	Desain Tebal Perkerasan (m)			0,310
E_F	CBR Efektif (%)			75
Nilai S_e	0,4145	0,2577	0,5352	0,4159

Tabel 5. Hasil Analisis Tegangan Ekuivalen (F_3)

Parameter	Dengan Bahu Jalan			
	Kelompok Gandar			
	STRT	STRG	STdRG & STdRT	STrRG & SQdRG
D	Desain Tebal Perkerasan (m)			0,310
E_F	CBR Efektif (%)			75
Nilai F_3	1,3759	1,7738	1,8611	2,0788

Tabel 6. Hasil Analisis Kerusakan *Fatigue* dan Erosi untuk STRT

Sumbu Tunggal Roda Tunggal						
Beban Kendaraan (kN)	Repetisi Beban L_{SF}	Repetisi Beban yang Diperbolehkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,415	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,376
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi Diperbolehkan	F_{atigue} (%)	Repetisi Diperbolehkan	Erosi (%)
20	24	215.629.012	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0001
30	36	619.817.729	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0002
40	48	610.563.265	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0002
50	60	335.242.960	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0001
60	72	193.418.298	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0001
70	84	219.793.521	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0001
Jumlah Kerusakan			<i>Fatigue</i> (%)	0,0000	Erosi (%)	0,0007

Tabel 7. Hasil Analisis Kerusakan *Fatigue* dan Erosi untuk STRG

Sumbu Tunggal Roda Ganda						
Beban Kendaraan (kN)	Repetisi Beban L_{SF}	Repetisi Beban yang Diperbolehkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,258	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,774
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi Diperbolehkan	F_{atigue} (%)	Repetisi Diperbolehkan	Erosi (%)
160	176	1.063.215	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0000
170	187	159.482	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,38 \times 10^8$	0,0472
180	198	584.768	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,25 \times 10^7$	1,8009
190	209	850.572	<i>Unlimited</i>	0,0000	$1,15 \times 10^7$	7,8321
Jumlah Kerusakan			<i>Fatigue</i> (%)	0,0000	Erosi (%)	19,5603

Tabel 8. Hasil Analisis Kerusakan *Fatigue* dan Erosi untuk STdRT

Sumbu Tandem Dengan Roda Tunggal						
Beban Kendaraan (kN)	Repetisi Beban L_{SF}	Repetisi Beban yang Diperbolehkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,415	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,861
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi Diperbolehkan	F_{atigue} (%)	Repetisi Diperbolehkan	Erosi (%)
130	143	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	0,0000	0,0000
140	154	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	0,0000	0,0000
150	165	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	0,0000	0,0000
160	176	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	0,0000	0,0000
Jumlah Kerusakan			<i>Fatigue</i> (%)	0,0000	Erosi (%)	0,0000

Tabel 9. Hasil Analisis Kerusakan *Fatigue* dan Erosi untuk SQdRG

Sumbu Tandem Dengan Roda Tunggal						
Beban Kendaraan (kN)	Repetisi Beban L_{SF}	Repetisi Beban yang Diperbolehkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,415	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,861
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi Diperbolehkan	<i>Faatigue</i> (%)	Repetisi Diperbolehkan	Erosi (%)
300	330	5.555.299	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^{14}$	0,0000
310	341	2.658.037	<i>Unlimited</i>	0,0000	$1,90 \times 10^8$	1,4001
320	352	18.845.488	<i>Unlimited</i>	0,0000	$5,15 \times 10^7$	36,6058
330	363	13.290	<i>Unlimited</i>	0,0000	$2,39 \times 10^7$	0,0556
Jumlah Kerusakan			<i>Fatigue</i> (%)	0,0000	Erosi (%)	38,0614

Tabel 10. Hasil Perhitungan Kerusakan *Fatigue* dan Erosi untuk STtRG

Sumbu Tridem Dengan Roda Ganda						
Beban Kendaraan (kN)	Repetisi Beban L_{SF}	Repetisi Beban yang Diperbolehkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,4169	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,0788
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi Diperbolehkan	<i>Faatigue</i> (%)	Repetisi Diperbolehkan	Erosi (%)
360	396	2.666.180	<i>Unlimited</i>	0,0000	$2,70 \times 10^8$	0,9886
370	407	1.330.235	<i>Unlimited</i>	0,0000	$7,04 \times 10^7$	1,8901
380	418	719.354	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,26 \times 10^7$	2,2047
390	429	1.535.765	<i>Unlimited</i>	0,0000	$1,87 \times 10^7$	8,1932
Jumlah Kerusakan			<i>Fatigue</i> (%)	0,0000	Erosi (%)	13,277

Tabel 11. Hasil Analisis Kerusakan *Fatigue* dan Erosi untuk SQdRG

Sumbu Empat Dengan Roda Ganda						
Beban Kendaraan (kN)	Repetisi Beban L_{SF}	Repetisi Beban yang Diperbolehkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,4169	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,0788
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi Diperbolehkan	<i>Faatigue</i> (%)	Repetisi Diperbolehkan	Erosi (%)
420	462	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	$6,09 \times 10^6$	0,0000
430	473	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	$4,59 \times 10^6$	0,0000
440	483	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	$3,56 \times 10^6$	0,0000
450	495	0,0000	<i>Unlimited</i>	0,0000	$2,83 \times 10^6$	0,0000
Jumlah Kerusakan			<i>Fatigue</i> (%)	0,0000	Erosi (%)	0,0000

3.3 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Desain perkerasan menggunakan metode MDPJ 2017 dilakukan berdasarkan parameter jumlah beban gandar kumulatif (ESA), selama umur rencana. Untuk penentuan tebal perkerasan dan jenis lapis fondasi bawah yakni menggunakan tabel 2. Dalam perencanaan menggunakan metode MDPJ 2017 lebih memfokuskan terhadap pemilihan tebal struktur yang telah ditetapkan dalam perencanaan desain untuk memikul jumlah beban lalu lintas niaga tanpa memerlukan kontrol *fatigue* dan erosi sebagaimana terdapat pada MDPJ 2024 dan Pd T-14-2003. Hasil perhitungan analisis jumlah klasifikasi sumbu kendaraan berat dilampirkan pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil Analisis Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Golongan Kendaraan	Lalu Lintas Harian	Jumlah Sumbu	JSKN	
	2027		2027	2027 - 2067
5B	10	2	20	30860851
6A	912	2	1824	2814509646
6B	579	2	1158	1786843295
7A2	84	3	252	388846727
7C3	64	6	384	592528346
Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga				5,61 + 10 ⁹

3.4 Metode Pd T-14-2003

Desain perkerasan menggunakan metode PdT-14 2003 dilakukan dengan analisis mekanistik dengan mengevaluasi respon pelat beton terhadap repetisi beban sumbu kendaraan niaga. Tebal perkerasan dinyatakan dapat digunakan selama umur rencana ketika kontrol kerusakan *fatigue* dan erosi harus lebih kecil dari 100%. Hasil analisa repetisi beban yang terjadi dan repetisi beban rencana dirangkum pada tabel 13. Hasil analisis kerusakan *fatigue* dan erosi dirangkum pada tabel 14.

Tabel 13. Hasil Analisis Repetisi Beban yang Terjadi dan Repetisi Beban Rencana

Kelompok Sumbu	Berat Sumbu (Ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Berat	Proporsi Sumbu	JSKN	Repetisi yang Terjadi
1	2	3	4	5	6	7
STRT	6	142	0,057	0,777	50040870,51	2233124,96
	5	559	0,226	0,777	50040870,51	8790963,74
	4	881	0,356	0,777	50040870,51	13854810,47
	3	9	0,004	0,777	50040870,51	141536,09
	2	881	0,356	0,777	50040870,51	13854810,47
Jumlah		2472				
Kelompok Sumbu	Berat Sumbu (Ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Berat	Proporsi Sumbu	JSKN	Repetisi yang Terjadi
1	2	3	4	5	6	7
STRG	5	9	0,016	0,179	50040870,51	141536,09
	8	599	0,984	0,179	50040870,51	8790963,74
	14	0	0,000	0,179	50040870,51	0,00
Jumlah		568				
STdRG	14	81	0,570	0,045	50040870,51	1273824,80
	18	61	0,430	0,045	50040870,51	959300,16
Jumlah		142				

Tabel 14. Hasil Analisis Kerusakan *Fatigue* dan Erosi

Kelompok Sumbu	Berat Sumbu		Berat Rencana (FKB = 1,1)	Repetisi yang Terjadi	Parameter Tegangan dan Erosi	Analisa <i>Fatigue</i>		Analisa Erosi	
	Ton	kN				Repetisi Izin	Kerusakan %	Repetisi Izin	Kerusakan %
	1	2	3	4	5	6	7 = (4 x 100)/6	8	9 = (4 x 100)/8
STRT	6	60	33	2233124,96	TE = 1,04	Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
	5	50	27,5	8790963,74		Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
	4	40	22	13854810,47	FRT = 0,24	Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
	3	30	16,5	141536,09		Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
	2	20	11	13854810,47		Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
STRG	5	50	13,75	141536,09	TE = 1,53	Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
	8	80	22	8790963,74	FRT = 0,34	Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
	14	140	38,5	0,00	FE = 2,52	22.000	0,0000	200.000	0,0000
STdRG	14	140	19,25	1273824,80	TE = 1,28	Unlimited	0,0000	Unlimited	0,0000
	18	180	24,75	959300,16	FRT = 0,29	Unlimited	0,0000	20 x 10 ⁶	4,8000
FE = 2,50									
Total Kerusakan							0,00		4,80

3.5 Metode AASHTO 1993

Desain perkerasan menggunakan metode AASHTO 1993 didasarkan pada hubungan antara beban kendaraan rencana kumulatif W_{18} dan kapasitas struktural perkerasan W_t . Penentuan tebal pelat beton dilakukan secara iteratif hingga kapasitas perkerasan mampu menahan beban lalu lintas yang direncanakan.

Desain dinyatakan memenuhi apabila $W_{18} \leq W_t$, atau dalam bentuk logaritmik $\log_{10} W_{18} \leq \log_{10} W_t$. Selain itu, kontrol juga dapat dilakukan menggunakan rasio W_{18} / W_t . Parameter perhitungan disajikan pada Tabel 15, sedangkan hasil perencanaan tebal perkerasan ditampilkan pada Tabel 16.

Tabel 15. Parameter Tebal Perkerasan

Keterangan	Parameter	Nilai
<i>Reability</i>	R	85
<i>Standart Deviation</i>	S_o	0,35
Modulus Reaksi Tanah Dasar	k	424,562
<i>Drainage coefficient</i>	C_d	1,25
<i>Initial Serviceability</i>	P_o	4,5
<i>Load Transfer Coefficient</i>	J	2,8
<i>Terminal Serviceability</i>	P_t	2,5
Modulus Elastisitas Beton	E_c	4005229,169
<i>Standart Normal Deviation</i>	ZR	-1,037
<i>Flexural Strength</i>	$S'c$	640
ESAL	W_{18}	99294,9775
<i>Serviceability Loss</i>	ΔPSI	2

Desain tebal perkerasan dilakukan menggunakan Persamaan (5) dengan metode iterasi (*trial and error*) untuk memperoleh keseimbangan antara beban lalu lintas rencana dan kapasitas perkerasan. Proses iterasi dilakukan hingga rasio $W_{18} \leq W_t$ mendekati atau kurang dari 1. Hasil perhitungan tebal perkerasan selanjutnya dilampirkan pada Tabel 14.

Tabel 16. Hasil Analisis Tebal Perkerasan

D (inchi)	W_t	W_{18}	$\log_{10} W_t$	Rasio	Kontrol
8,10	2808030,37	6,432	6,448	0,9975	Not Ok
8,11	2808030,37	6,436	6,448	0,9980	Not Ok
8,12	2808030,37	6,439	6,448	0,9985	Not Ok
8,13	2808030,37	6,442	6,448	0,9990	Not Ok
8,14	2808030,37	6,446	6,448	0,9995	Not Ok
8,15	2808030,37	6,448	6,448	1,0000	OK

3.6 Pembahasan

Metode MDPJ 2024 menggunakan pendekatan mekanistik-empirik dengan kontrol terhadap kerusakan fatigue dan erosi. Perencanaan dilakukan dengan mengevaluasi respons struktur terhadap beban lalu lintas berulang hingga memenuhi kriteria kerusakan $\leq 100\%$. Hasil analisis menunjukkan tebal perkerasan sebesar 310 mm dengan kerusakan fatigue 0% dan erosi $< 100\%$, sehingga struktur dinyatakan aman.

Dominasi kerusakan erosi berkaitan dengan fenomena *pumping*, yaitu keluarnya material halus akibat tekanan air dan beban berulang yang menurunkan daya dukung. Untuk mengantisipasi hal tersebut, digunakan lapis fondasi berupa beton kurus yang didukung agregat kelas A dan timbunan berbutir kasar, sehingga meningkatkan kekakuan dan ketahanan terhadap air serta beban dinamis. Kombinasi ini mampu meminimalkan *pumping* dan meningkatkan kinerja perkerasan. Oleh karena itu, desain tidak hanya mempertimbangkan fatigue, tetapi juga erosi secara bersamaan.

Metode MDPJ 2017 menggunakan pendekatan empiris berbasis nilai kumulatif beban lalu lintas (ESA) yang kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu untuk menentukan tebal perkerasan melalui tabel desain. Dari hasil analisis diperoleh nilai beban sebesar $5,61 \times 10^9$ yang termasuk kategori lalu lintas berat (R5), sehingga diperoleh desain tebal perkerasan sebesar 305 mm.

Metode Pd T-14-2003 menggunakan pendekatan mekanistik dengan analisis repetisi beban serta kontrol terhadap kerusakan fatigue dan erosi. Namun, pendekatan ini lebih sederhana dibandingkan MDPJ 2024 dan sangat bergantung pada distribusi beban serta asumsi parameter input. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tebal pelat beton yang memenuhi syarat adalah sebesar 175 mm, dengan nilai kerusakan masih di bawah batas yang diizinkan.

Metode AASHTO 1993 menggunakan pendekatan empiris berdasarkan hubungan antara beban lalu lintas kumulatif W_{18} dan kapasitas struktur perkerasan. Penentuan tebal pelat dilakukan melalui proses iterasi dengan mempertimbangkan parameter seperti reliabilitas dan tingkat pelayanan. Dari hasil perhitungan diperoleh tebal pelat beton sebesar 210 mm.

Hasil desain perkerasan menggunakan metode MDPJ 2024, AASHTO 1993, MDPJ 2017, dan Pd T-14-2003 dan dirangkum pada tabel 15 berikut :

Tabel 17. Desain Perkerasan Kaku

Uraian	Metode			
	MDPJ 2024	MDPJ 2017	Pd T-14-2003	AASHTO 1993
Tebal Pelat (mm)	310	305	175	210
Lapis Fondasi Bawah				
Beton Kurus (mm)	150	-	100	-
LFA Kelas A (mm)	200	-	-	-
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar (mm)	200	-	-	-
Lapis Drainase (mm)	-	150	-	-
Campuran Semen Agregat (mm)	-	-	-	100

Gambaran komprehensif mengenai perbedaan pendekatan desain, dilakukan perbandingan parameter kunci dari masing-masing metode sebagaimana disajikan pada tabel 16 berikut.

Tabel 18. Perbandingan Parameter Desain Antar Metode

Parameter	MDPJ 2024	MDPJ 2017	Pd T-14-2003	AASHTO 1993
Pendekatan	Mekanistik - Empiris	Empiris	Mekanistik Sederhana	Empiris
Beban Rencana	Repetisi beban + L_{SF}	ESA	Repetisi Beban + L_{SF}	W_{18} (ESAL)
Faktor Keamanan Beban	Ada	Tidak ada	Ada	Implisit (Z_R, S_o)
Analisis <i>Fatigue</i>	Ada (Detail)	Tidak ada	Ada (Berbasis Grafik)	Tidak ada
Analisis Erosi	Ada (Detail)	Tidak ada	Ada (Berbasis Grafik)	Tidak ada
CBR Tanah	CBR Efektif	Tabel	CBR Efektif	k
Kinerja	Kerusakan <100	Klasifikasi Lalu Lintas	Kerusakan <100	$W_{18} / W_t = 1$

Berdasarkan Tabel di atas, terdapat perbedaan mendasar antar metode dalam memperlakukan beban lalu lintas, parameter tanah dasar, dan kriteria kinerja. Metode MDPJ 2024 dan Pd T-14-2003 menggunakan pendekatan berbasis mekanisme kerusakan (fatigue dan erosi), sedangkan MDPJ 2017 dan AASHTO 1993 menggunakan pendekatan empiris berbasis hubungan beban dan kapasitas struktur.

Perbedaan juga terlihat pada parameter tanah dasar, di mana MDPJ menggunakan CBR, sedangkan AASHTO menggunakan modulus reaksi tanah (k), yang berpengaruh terhadap hasil tebal perkerasan. Selain itu, penggunaan faktor keamanan beban (LSF) pada MDPJ 2024 meningkatkan beban rencana sehingga menghasilkan desain yang lebih konservatif.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode MDPJ 2024 menghasilkan tebal perkerasan terbesar yaitu 310 mm, diikuti MDPJ 2017 sebesar 305 mm, AASHTO 1993 sebesar 210 mm, dan Pd T-14-2003 sebesar 175 mm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa metode mekanistik-empiris cenderung lebih konservatif dibandingkan metode empiris.

Perbedaan ketebalan dipengaruhi oleh sensitivitas parameter desain, terutama faktor keamanan beban (LSF), distribusi beban sumbu kendaraan, dan parameter erosi. Pada MDPJ 2024, dominasi kerusakan erosi menjadi faktor utama peningkatan ketebalan perkerasan.

Implikasinya, desain perkerasan tidak hanya harus memenuhi kriteria *fatigue*, tetapi juga mempertimbangkan potensi erosi melalui penggunaan lapis fondasi yang stabil untuk meminimalkan *pumping*. Dengan demikian, metode mekanistik-empiris lebih direkomendasikan untuk jalan dengan lalu lintas berat karena memberikan tingkat keandalan yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua atas segala dukungan yang diberikan. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Bapak Ir. Kurnia Hadi Putra, S.Pd., ST., MT. sebagai pemberi dana, fasilitas, dan dosen pembimbing yang sabar memberikan bimbingan serta memberikan instruksi yang menjadi dasar dalam proses pelaksanaan penelitian ini berlangsung.

REFERENCES

- Akhmalunni'am, M. (2026). *Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan Sukodadi – Plombon Kabupaten Lamongan Berdasarkan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2024*. <https://doi.org/10.31004/jutin.v9i1.56098>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993*. AASHTO. https://openlibrary.org/works/OL19878824W/AASHTOguidefordesignofpavementstructures_1993
- Apituley, J. H. F., Wijaya, M. T., & Suryan, V. (2026). Desain Perbaikan Perkerasan Kaku Akses Jalan PPKP dengan Metode AASHTO dan ESAL. *Vol.*, (1). <https://doi.org/10.58466/rigid.v5i1.1948>
- Darmayuda, T., Rulhendri, R., Alimuddin, A., Lutfi, M., & Sudrajat, E. (2024). Analisis Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) (Studi Kasus: Jalan Tanjakan Dramaga, Kabupaten Bogor). *Jurnal Komposit*, 8(1), 45–50. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i1.8051>

- Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah Republik Indonesia. (2003). *Perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd T-14-2003*. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah. <https://perpustakaan.bappenas.go.id/lontar/file?file=digital/12435-++Perencanaan+Perkerasan+Jalan+Beton+Semen.pdf>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan 2017*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/03mbm2017-manual-desain-perkerasan-jalan-2017>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024*. Bina Marga. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/03mbm2024-manual-desain-perkerasan-jalan-2024>
- Hendra, O. J. (2022). *Analisis Kerusakan Perkerasan Jalan menurut Bina Marga dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Ruas Jalan Utama Bunsur – Mengkapan)*.
- Hu, Y., Chen, N., Hou, Y., Lin, X., Jing, B., & Liu, P. (2025). Lightweight deep learning for real-time road distress detection on mobile devices. *Nature Communications*, 16(1), 4212. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59516-5>
- Kasaf, M., Taufik, T., & Harja, J. (2023). Penanganan Kerusakan Jalan dengan Menggunakan Metode Pavement Condition Index. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(1), 190–198. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i1.1649>
- Khan, M. S., Khan, M. S., Khan, M. I., Al-Nawasir, R., Maureira-Carsalade, N., Avudaiappan, S., & Choudhry, R. M. (2025). Enhancing rigid pavement performance: Experimental study and design optimization of bentonite clay-blended concrete with a focus on durability. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04641. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04641>
- Kololikiye, G. R., Gaus, A., & Saputra, M. T. Y. (2024). *Rigid Pavement Design With Aashto 1993 In Subaim – Buli Road*. 5(2). <https://doi.org/10.33474/jjce.v5i2.23368>
- Kurniawan, A. (2024). *Comparative Study of Rigid and Flexible Pavement Performance in Urban Roads*. <https://doi.org/10.70716/reswara.v2i1.372>
- Nabila, A., & Lubis, Y. (2025). Analisa Desain Ketebalan Rigid Pavement Pada Ruas Jalan Tol Binjai – Langsa. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 9. <https://doi.org/10.31004/jptam.v9i2.28829>
- Papagiannakis, A.T. & Masad, E.A. (2018). *Pavement Design and Materials*. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Pavement+Design+and+Materials-p-9780471052476>
- Sastranegara, R. R. D. (2023). *Analisa Faktor- Faktor Pengaruh Kerusakan Perkerasan Lentur Jalan (Studi Kasus : Jalan Prabu Gajah Agung, Persimpangan Bojong)*.
- Subekti, Y. D., & Tjendani, H. T. (2024). Analisis index kerusakan Jalan Rigid Pavement dengan metode Pavement Condition Index (PCI) pada Jalan Lebaksono – Jalan Purwojati Ngoro, Kabupaten Mojokerto. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 7(4), 2502–2510. <https://doi.org/10.31004/jutin.v7i4.37248>
- Sukirman, S. (2018). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova. <https://www.novapublisher.com/product/perkerasan-lentur-jalan-raya/>
- Suprianti. (2023). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Ruasjalan Pasir Putih Kelurahan Pasir Putih Kecamatan Sawangan Kota Depok. *Jurnal Teknik Sipil-Arsitektur*, 22(2). <https://doi.org/10.54564/jtsa.v22i2.161>
- Wibawa, I. P. C., Ariawan, I. M. A., & Winaya, P. K. (2025). Analisis Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan Jalan Kaku Menggunakan Metode AASHTO 1993, Pd T–14–2003, dan MDP 2024. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 4(2), 118–132. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v4i2.7155>
- Yoder, E.J & Witczak, M.W. (2017). *Principles of Pavement Design*. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Principles+of+Pavement+Design%2C+2nd+Edition-p-9780471052476>