Available online https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno

T E K N O

Volume 24, No. 96, Tahun 2026 p-ISSN: 0215-9617

Analisis Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris Dan Mekanistik Empiris (Studi Kasus Ruas Jalan MORR III)

Fajar R. Satomo[#a], Joice E. Waani[#b], Lucia I. R. Lefrandt[#c]

[#]*Program Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia*
[a]fr6682@yahoo.com, [b]joice.waani@unsrat.ac.id, [c]lucia.lefrandt@unsrat.ac.id

Abstrak

Peningkatan volume lalu lintas logistik berat memerlukan struktur perkerasan jalan yang kokoh dan efisien. Selama beberapa dekade, perencanaan tebal perkerasan di Indonesia didominasi oleh metode empiris berbasis statistik historis. Namun, seiring terbitnya Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 melalui SE Nomor 15/SE/Db/2024, paradigma beralih ke pendekatan Mekanistik-Empiris (M-E). Penelitian ini mengambil studi kasus Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III di Sulawesi Utara yang dirancang sebagai jalur logistik berat. Urgensi penelitian ini didasarkan pada risiko kegagalan struktur dini akibat ketidaktepatan pemilihan metode desain pada ruas jalan dengan beban lalu lintas tinggi tersebut. Penelitian ini menggunakan sumber data lapangan yang konsisten, meliputi data LHR, nilai CBR tanah dasar sebesar 3% dan distabilisasi menjadi 6%, karakteristik material, dan parameter drainase yang seragam. Analisis dibatasi pada dua metode utama, yaitu Metode Empiris (SNI 2002) yang dihitung secara manual, serta Metode Mekanistik-Empiris (MDPJ 2024) yang diselesaikan melalui katalog desain dan simulasi program Pavement-PastDean. Parameter tegangan (stress) dan regangan (strain) pada metode M-E diturunkan secara langsung berdasarkan tabel karakterisasi material standar dari dokumen MDPJ 2024. Metodologi penelitian mengintegrasikan pendekatan analitis-komparatif dan pemodelan numerik dengan proyeksi umur rencana 20 tahun (2025–2045). Perhitungan empiris difokuskan untuk mendapatkan nilai Structural Number (SN) dalam menentukan tebal nominal perkerasan. Sementara itu, analisis mekanistik-empiris diaplikasikan secara iteratif menggunakan program Pavement-PastDean untuk memodelkan respons struktur multi-lapisan di bawah beban roda kendaraan. Melalui program ini, nilai regangan kritis pada dasar aspal (fatigue cracking) dan permukaan tanah dasar (rutting) dievaluasi hingga diperoleh konfigurasi tebal yang aman memenuhi repetisi beban izin. Hasil perhitungan menunjukkan Metode Empiris (SNI 2002) menghasilkan dua tipe perkerasan : Tipe Granular Roadbase (AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 17 cm, LPA Kelas A 20 cm, LPA Kelas B 27 cm) dengan total ketebalan 74 cm (740 mm) dan Tipe Cement Treated Base (AC-WC 7 cm, CTB 30 cm, LPA Kelas B 37 cm) dengan total ketebalan 54 cm (540 mm). Sebaliknya, Metode Mekanistik-Empiris (MDPJ 2024) menghasilkan dua pilihan alternatif: Alternatif 1/Opsi CTB dengan total tebal 67,5 cm (675 mm) (AC-WC 4 cm, AC-BC1 6,5 cm, AC-BC2 7 cm, CTB 15 cm, LFA Kelas B 15 cm, LFA Kelas C 20 cm) serta Alternatif 2/Opsi Berbutir dengan total tebal 81 cm (810 mm) (AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 16 cm, LFA Kelas A 20 cm, LFA Kelas B 15 cm, LFA Kelas C 20 cm). Analisis komparatif membuktikan metode empiris hanya menghasilkan beban akumulatif CESA = 11.352.889,07 ESAL, sedangkan metode M-E menghasilkan CESA5 yang lebih realistis yaitu 20.343.766,70 ESAL karena memperhitungkan faktor beban lebih (TM = 1,8). Pendekatan Mekanistik-Empiris melalui Alternatif 1 (CTB) memberikan desain lapis beraspal yang lebih tipis namun memiliki kekakuan struktural yang jauh lebih rasional, adaptif, dan ekonomis untuk menahan beban kendaraan berat di MORR III.

Kata kunci: perkerasan lentur, Metode Empiris (SNI 2002), mekanistik-empiris, MDPJ 2024, PastDean, MORR III

1. Pendahuluan

Seiring dengan kemajuan teknologi material dan tuntutan akurasi, paradigma desain bergeser menuju Metode Mekanistik-Empiris (M-E). Berbeda dengan pendekatan konvesional, metode M-E mengintegrasikan prinsip mekanika material dengan data kinerja lapangan untuk memprediksi kerusakan spesifik seperti retak lelah (*fatigue cracking*) dan deformasi permanen (*rutting*). Fleksibilitas ini memungkinkan perencana untuk mensimulasikan penggunaan material inovatif dan merespons variasi lingkungan secara lebih presisi, meskipun memerlukan input data yang lebih mendetail serta perangkat lunak analisis yang mumpuni.

Di Indonesia, transisi ini telah diformalkan melalui penerbitan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 (SE Nomor 15/SE/Db/2024). MDPJ 2024 tidak hanya memperbarui standar edisi 2017, tetapi juga memperkuat implementasi pendekatan mekanistik-empiris melalui katalog struktur yang lebih komprehensif dan penyesuaian parameter material lokal. Untuk mendukung penerapan metode ini, penggunaan alat bantu perangkat lunak seperti Pavement-PastDean menjadi sangat relevan. Program ini memungkinkan analisis respon struktur dan desain mekanistik dilakukan secara terintegrasi, memberikan gambaran yang lebih transparan mengenai perilaku lapisan perkerasan di bawah beban roda.

Namun, implementasi metode M-E di lapangan masih menghadapi tantangan dalam hal kalibrasi data lokal dan perbandingan efisiensi dengan metode empiris yang sudah mapan. Ruas Jalan Manado Outer Ring Road (MORR) III merupakan infrastruktur strategis di Sulawesi Utara yang dirancang untuk mengalihkan arus lalu lintas logistik berat dan mengurangi kemacetan di pusat kota. Mengingat peran strategis dan beban lalu lintas yang diprediksi akan terus meningkat, diperlukan analisis mendalam mengenai optimasi tebal perkerasan pada ruas ini. Bila terjadi ketidaktepatan dalam pemilihan metode desain pada ruas MORR III berisiko menyebabkan kegagalan struktur dini atau pemborosan anggaran konstruksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan Analisis Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur menggunakan Metode Empiris dan Mekanistik Empiris sebagai studi perbandingan.

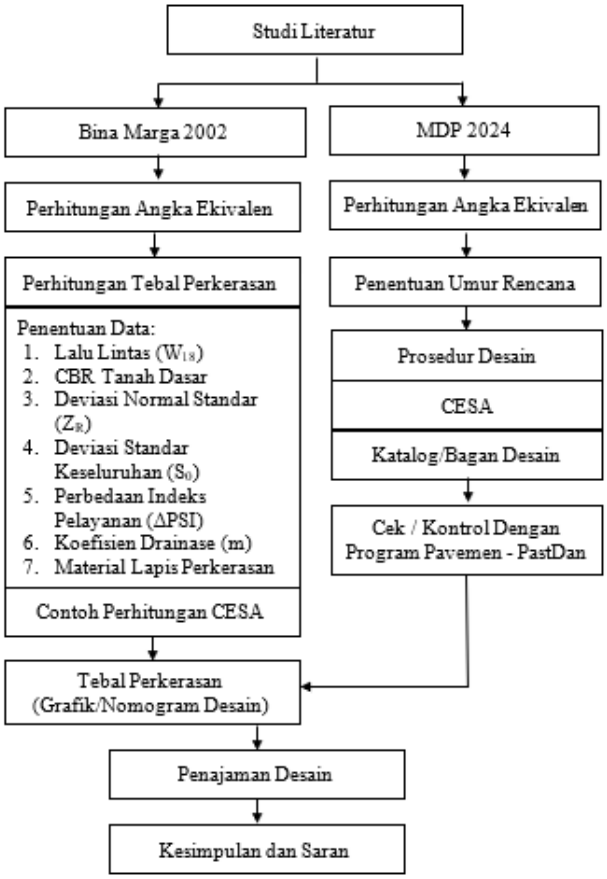
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain yang tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga optimal secara ekonomis bagi keberlanjutan infrastruktur di wilayah Manado. Poin-poin utama yang dipertajam : a). Dinamika Regulasi: Menekankan bahwa MDPJ 2024 adalah mandat terbaru yang mewajibkan pendekatan M-E; b). Urgensi Lokasi: Menambahkan alasan spesifik mengapa MORR III dipilih (jalur logistik berat, urgensi ekonomi); c). Kontras Metode: Memperjelas perbedaan antara "pengamatan masa lalu" (Empiris) dengan "prediksi berbasis fisika/mekanika" (M-E); d). Output Penelitian : menegaskan bahwa tujuannya bukan sekadar menghitung, tapi mencari "optimasi" antara teknis dan ekonomis. Efisiensi desain tebal perkerasan yang tepat dan adaptif juga selaras dengan aspek kelestarian lingkungan (*Goal 7 MDGs*), kelanjutan dari Goal 7 MDGs, PBB meluncurkan program baru sebagai pengganti MDGs, yaitu SDGs (*Sustainable Development Goals*) atau Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, yang memiliki 17 tujuan dan ditargetkan selesai pada tahun 2030. Penggunaan metode Mekanistik-Empiris (MDPJ 2024) yang mampu mengoptimalkan ketebalan lapisan fisis jalan—seperti penggunaan opsi *Cement Treated Base* (CTB)—menawarkan pendekatan perencanaan yang lebih meminimalkan eksploitasi material galian alam (agregat berbutir konvensional) dan ini sejalan dengan tujuan ke-12 SDGs (*Sustainable Development Goals*) Industri, Inovasi dan Infrastruktur. Penelitian ini bertujuan untuk a). menganalisis tebal perkerasan lentur berdasarkan data lapangan menggunakan metode empiris (menggunakan Metode SNI 2002) dan metode mekanistik-empiris (M-E) (menggunakan Program Pavement – PastDean); b). membandingkan analisis tebal perkerasan lentur metode empiris dan metode mekanistik-empiris (M-E).

2. Metode

Berdasarkan Jenis Data dan Analisis maka penelitian ini termasuk dalam metode kuantitatif. Metode ini berfokus pada data berupa angka, statistik, dan variabel yang dapat diukur. Tujuannya adalah untuk menguji teori, menunjukkan hubungan antar variabel, atau melihat sebab-akibat. yaitu hubungan antar variabel beban lalu lintas, data karaktersitik material lapisan perkerasan dan tanah dasar yang akan mempengaruhi ketebalan total lapisan perkerasan. Berdasarkan tujuan penelitian maka penelitian ini termasuk dalam metode deskriptif eksperimen yaiti peneliti memanipulasi satu variabel untuk melihat dampaknya terhadap variabel lain dalam

kondisi yang terkontrol (mencari hubungan sebab-akibat yang pasti) antara beban lalu lintas, data karaktersitik material lapisan perkerasan dan tanah dasar yang akan mempengaruhi ketebalan total lapisan perkerasan. Berdasarkan sumber data penelitian maka penelitian ini termasuk dalam penelitian sekunder yaitu peneliti menggunakan data yang sudah dikumpulkan oleh pihak lain (BPJN Provinsi Sulawesi Utara).

Manual / panduan perhitungan tebal perkerasan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah Rumus SNI 2002 masih "berlaku" secara matematis, tetapi sudah tidak valid secara teknis untuk memikul beban kendaraan berat masa kini (sering menghasilkan desain yang terlalu tipis). Rumus/Metode MDP 2024 berlaku sebagai standar utama. Metode ini meninggalkan perhitungan manual yang rumit dan menggantinya dengan sistem katalog yang didasarkan pada pemodelan komputer yang lebih akurat. Kesimpulannya adalah rumus SNI 2002 dapat digunakan untuk memahami konsep, namun untuk mengerjakan proyek nyata maka harus menggunakan Katalog Desain MDP 2024. Dapat dilihat dalam Bagan Alir dibawah ini :



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian
Sumber : Hasil Analisis, 2026

3. Kajian Literatur

Kajian literatur dalam penelitian ini menggunakan referensi dari Metode SNI 2002 dan metode MDP 2024 serta dukungan dari beberapa literatur dalam penulisan dapat dilihat pada bagian referensi dalam makalah ini.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data LHR dan Perhitungan Kumulatif Beban Sumbu Standar menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MPDJ) 2024

Perhitungan kumulatif beban sumbu standar (CESA) dalam penelitian ini, digunakan data LHR Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III (MORR III), 2024, 2-lajur 2-arah terbagi (2/2 D). Data LHR yang digunakan adalah data LHR Ruas Jalan Manado Outer Ring Road I (MORR I)

seperti dibawah ini. Data LHR di Ruas Jalan Manado Outer Ring Road I (MORR I) di Tabel 1. kemudian di hitung data LHR di tahun 2025 dan tahun 2028 sebagai berikut :

Tabel 1. LHR Ruas Jalan Manado Outer Ring Road I (MORR I) Tahun 2024, 2025 dan 2028

No.	Uraian Jenis Kendaraan	Gol Kend.	LHR	LHR	LHR
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3	1	27251	28205	31271
2	Kendaraan ringan-sedan, jeep & station wagon	2	23964	24803	27499
3	Kendaraan ringan - angkutan umum sedang	3	84	87	96
4	Kendaraan ringan - pick up dan micro truck	4	2757	2853	3164
5	Bus kecil	5A	42	43	48
6	Bus besar	5B	39	40	45
7	Truk 2 sumbu-truk ringan	6A	889	920	1020
8	Truk 2 sumbu-truk sedang	6B	762	789	874
9	Truk 3 sumbu-berat	7A1	81	84	93
10	Truk 3 sumbu-berat	7A2	0	0	0
11	Truk 4 sumbu-berat	7A3	0	0	0
12	Truk 4 sumbu-berat	7B1	0	0	0
13	Truk 5 sumbu-berat	7B2	0	0	0
14	Truk 5 sumbu-berat	7B3	0	0	0
15	Truk 4 sumbu-berat	7C1	126	130	145
16	Truk 5 sumbu-berat	7C2A	0	0	0
17	Truk 5 sumbu-berat	7C2B	0	0	0
18	Truk 6 sumbu-berat	7C3	0	0	0
19	Truk 7 sumbu-berat	7C4	0	0	0
20	Kendaraan tak bermotor	8	0	0	0

Sumber : BPJN Sulawesi Utara dan Hasil Analisis, 2026

Tabel 2. Hasil Perhitungan Beban Gandar Standar Kumulatif ($\hat{w}_{18}$) menurut SNI 2002

Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	LHR	Faktor Ekivalen	Jumlah Kendaraan Ekivalen
Kend. ringan - sedan, jeep, dan station wagon	1.1	0	0,0005	0,000
Kendaraan ringan - angkutan umum sedang	1.1	0	0,1592	0,000
Kendaraan ringan - pick up dan micro truck	1.1	0	0,3501	0,000
Bus kecil	1.1	0	1,0375	0,000
Bus besar	1.2	39	1,0375	40,461
Truk 2 sumbu-truk ringan	1.1	889	1,0375	922,312
Truk 2 sumbu-truk sedang	1.2	762	1,0375	790,553
Truk 3 sumbu-berat	11.2	81	2,1565	174,679
Truk 4 sumbu-berat	1.2-22	126	2,1565	271,723
			$\hat{w}_{18}$ =	2.199,728

Sumber : Hasil Analisis, 2026

Lalu lintas pada lajur rencana pertahun menggunakan rumus:

w_{18} per hari $= D_D \times D_L \times \hat{w}_{18}$

$= 0,5 \times 1,0 \times 2.199,728$

$= 1.099,864$ ESAL per hari

Lalu lintas kumulatif selama umur rencana menggunakan rumus :

W_{18} per tahun $= 365 \times w_{18}$

$= 401.450,38$ ESAL per tahun

$W_{18} = w_{18} \times ((1+g)^n - 1) / g)$

$= 1099,864 \times ((1+0,035)^{20} - 1) / 0,035)$

$= 11.352.889,07$ ESAL

4.2. Data LHR dan Perhitungan Kumulatif Beban Sumbu Standar menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MPDJ) 2024

Dalam Manual Desain Perkerasan Jalan (MPDJ) 2024 untuk perhitungan nilai VDF sudah

diberikan nilainya sesuai dengan jenis kendaraannya. Dalam tabel tersebut, terdapat dua nilai VDF yaitu VDF_4 dan VDF_5. Dari kedua nilai VDF tersebut dapat dihitung nilai ESA.

$ESA_4 = \Sigma_{jeniskendaraan} LHRT \times VDF_4$

$ESA_5 = \Sigma_{jeniskendaraan} LHRT \times VDF_5$

Dari hasil ESA_4 dan ESA_5 dapat dihitung $CESA_4$ dan $CESA_5$ dengan rumus:

$CESA_4 = ESA_4 \times 365 \times R$

$CESA_5 = ESA_5 \times 365 \times R$

$CESA_5$ juga dapat diperoleh dengan cara :

$CESA_5 = TM \times CESA_4$.

Nilai TM yang digunakan sebesar 1,8.

Sehingga CESA dari contoh perhitungan menggunakan **Manual Desain Perkerasan Jalan (MPDJ) 2024** diperoleh tiga nilai yaitu $CESA_4$ dan $CESA_5$ (dari nilai VDF yang telah diberikan dalam tabel), dan $CESA_5$ (dari TM x $CESA_4$).

Berdasarkan tabel diatas kemudian dihitung besaranya kumulatif beban (ESA4 & ESA5) untuk umur rencana 20 (dua puluh) tahun (2025-2045). Rencana *open traffic* pada Januari 2025, perkerasan direncanakan memiliki umur layan selama 20 (dua puluh) tahun dari Januari 2025 hingga Desember 2045. Hitung kumulatif beban (ESA4 & ESA5) untuk umur rencana 20 (dua puluh) tahun (2025-2045) dengan menggunakan VDF dan angka pertumbuhan lalu lintas regional. Asumsikan bahwa beban kendaraan sudah terkendali pada tahun 2028.

Tahapan perhitungan kumulatif beban (ESA4 & ESA5)

1) Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun 3,50 % (sesuai dengan pertumbuhan lalu lintas untuk arteri dan perkotaan di Pulau Sulawesi).
2) Karena jalan rencana merupakan jalan dua arah maka distribusi arah sebesar 0,5. Selanjutnya, dengan jalan yang dirancang merupakan jalan 4 lajur – 2 arah terbagi, maka diperoleh faktor distribusi lajur sebesar 1,0.

Pengumpulan data survei LHR dilakukan pada Januari 2024; sedangkan tahun pertama pembukaan lalu lintas dilakukan pada Januari 2025 (1 tahun setelah 2024); permulaan periode beban normal MST 12 t pada Januari 2028 (4 tahun setelah survei tahun 2024). Perhitungan lalu lintas pada saat dimulainya operasi jalan pada tahun 2025 (1 tahun setelah 2024): LHR 2025=LHR 2024×$(1+i/100)^n$.

Lalu lintas pada lajur rencana selama umur rencana 20 tahun :

CESA4 = 11.302.119,61 ESAL (dihitung dari angka pertumbuhan lalu lintas rencana)

CESA5 = 12.539.111,00 ESAL (dihitung dari angka pertumbuhan lalu lintas rencana)

CESA5 = 20.343.766,70 ESAL (dihitung dari CESA4 x TM)

Hasil dari perhitungan beban lalu lintas untuk perkerasan baru dengan umur rencana 20 tahun menggunakan metode SNI 2002 dan MDPJ 2024 diperoleh nilai CESA untuk LHR pada lajur rencana yang dapat dilihat pada tabel seperti dibawah ini:

Tabel 3. Hasil Perhitungan CESA Menurut metode SNI 2002 dan MDPJ 2024

No	Metode	W_{18} / CESA (ESAL)
1	SNI 2002	W_{18} = CESA = 11.352.889,07 ESAL
2	MDPJ 2024 $CESA_4$	$CESA_4$ = 11.302.092,61 ESAL
3	MDPJ 2024 $CESA_5$	$CESA_4$ = 12.539.111,00 ESAL
4	MDPJ 2024 $CESA_5$	$CESA_5$ = 20.343.766.70 ESAL

Sumber : Hasil Analisis, 2026.

Dari contoh perhitungan menggunakan data yang sama menghasilkan nilai yang CESA yang berbeda. CESA menurut MDPJ 2024 lebih besar dibandingkan dengan CESA yang diperoleh dari SNI 2002. Hal ini terjadi karena perhitungan angka ekivalen dari masing – masing metode yang berbeda. Untuk SNI 2002, perhitungan angka ekivalen untuk sumbu tunggal roda tunggal menggunakan rumus fungsi pangkat empat, sedangkan untuk sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem roda ganda, sumbu triple roda ganda menggunakan tabel yang menggunakan nilai IP_t dan SN.

4.3. Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Menurut Metode SNI 2002

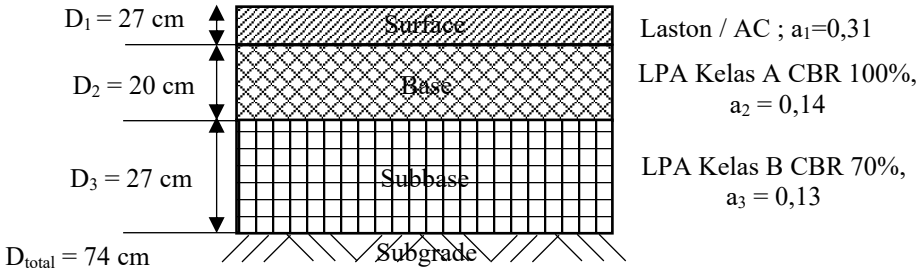
Material lapis perkerasan untuk perencanaan tebal perkerasan berdasarkan rencana susunan lapisan perkerasan terdiri atas 2 tipe, yaitu Tipe *Granular Roadbase – Structural Surface* dan Tipe *Cement Treated Base – Structural Surface.*

a) *Tipe Granular Roadbase – Structural Surface*

Material yang digunakan pada struktur perkerasan *Granular Roadbase – Structural Surface* adalah:

- Lapis permukaan (*surface*) menggunakan Laston/AC, koefisien kekuatan relatif bahan, $a_1 = 0{,}31$ ($E_{AC} = 400.000$ psi).
- Lapis pondasi atas menggunakan agregat kelas A untuk lapis pondasi atas dengan nilai CBR 100%, koefisien kekuatan relatif bahan, $a_2 = 0{,}14$ ($E_{BS} = 30.000$ psi).
- Lapis pondasi bawah menggunakan agregat kelas B, dengan nilai CBR 70%, koefisien kekuatan relatif bahan, $a_3 = 0{,}13$ ($E_{SB} = 18.000$ psi).

Susunan perkerasan tipe *Granular Roadbase – Structural Surface* dapat dilihat pada Gambar seperti dibawah ini :



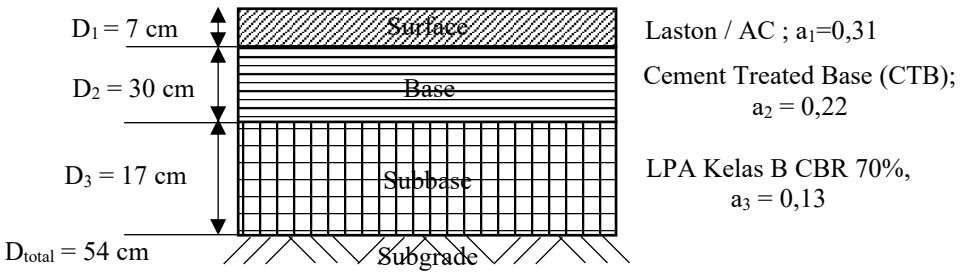
Gambar 1. Struktur Perkerasan tipe Granular Roadbase – Structural Surface
Sumber : Hasil Analisis, 2026

b) *Tipe Cement Treated Base – Structural Surface*

Material yang digunakan pada struktur perkerasan *Cement Treated Base – Structural Surface* adalah:

- Lapis permukaan (*surface*) menggunakan Laston/AC, koefisien kekuatan relatif bahan, $a_1 = 0{,}31$ ($E_{AC} = 400.000$ psi).
- Lapis pondasi atas menggunakan CTB untuk lapis pondasi atas dengan nilai kuat tekan 45 – 55 kg/cm^2 (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2) koefisien kekuatan relatif bahan, $a_2 = 0{,}22$ ($E_C = 800.000$ psi).
- Lapis pondasi bawah menggunakan agregat kelas B, dengan nilai CBR 70%, koefisien kekuatan relatif bahan, $a_3 = 0{,}13$ ($E_{SB} = 18.000$ psi).

Susunan perkerasan tipe *Cement Treated Base – Structural Surface* dapat dilihat pada Gambar seperti dibawah ini :



Gambar 2. Struktur Perkerasan tipe *Cement Treated Base – Structural Surface*
Sumber : Hasil Analisis, 2026

4.4. Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Menurut Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024

MDPJ 2024 memberikan solusi untuk desain pondasi jalan minimum untuk nilai CBR

dibawah dari 6% dimana bila diketahui nilai $CESA_5$ dan nilai CBR tanah dasar maka dapat ditentukan tebal minimum penggunaan lapis penopang (*capping layer*) dari bagan tersebut. Berdasarkan contoh perhitungan, kedua nilai $CESA_5$ yang diperoleh dari contoh perhitungan menggunakan MDPJ 2024 yaitu Nilai $CESA_5$ yang diperoleh ada dua yaitu nilai $CESA_5$ ($ESA_5 \times 365 \times R$) sebesar 12.539.111,00 ESAL dan nilai $CESA_5$ ($TM \times CESA_4$) sebesar 1,8 x 12.539.111,00 ESAL = 20.343.766,70 ESAL dengan nilai CBR tanah dasar 6 %.

Untuk Desain tebal perkerasan ini kemudian dihasilkan ada 2 alternatif desain tebal perkerasan yaitu :

1) Alternatif 1 yaitu menggunakan Bagan Desain-3(1) Desain perkerasan lentur dengan 150 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)
2) Alternatif 2 yaitu menggunakan Bagan Desain-3A Desain perkerasan lentur – aspal dengan lapis fondasi agregat (aspal pen 60/70 dan PG70)

Kemudian dapat dilihat seperti berikut ini :

Tabel 4. Bagan Desain-3(1) Desain perkerasan lentur dengan 150 mm CTB (Aspal Pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN									
	F(1) 1	F(1) 2	F(1) 3	F(1) 4	F(1) 5	F(1) 6	F(1) 7	F(1) 8	F(1) 9	F(1) 10
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				**Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70(3)**					
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	> 1 - 6	> 6 - 10	> 10 - 20	>20 - 30	> 30 - 40	> 40 - 50	> 50 - 80	> 80 - 100	> 100 - 150	> 150 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC									
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)									
Tebal Perkerasan (mm)										
AC WC	40	40	50	40	40	40	40	50	40	40
AC BC	60	75	80	65	60	60	80	80	60	60
	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-
AC *Base* (1)	-	-	-	-	90	100	100	100	75	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	75	90
CTB	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen(2)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC *Base* dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.
(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm^2). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

Sumber : MDP 2024 hal 7-14.

Tabel 5. Bagan Desain-3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF(1) 1	FFF(1) 2	FFF(1) 3	FFF(1) 4	FFF(1) 5	FFF(1) 6	FFF(1) 7	FFF(1) 8	FFF(1) 9
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				**Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70(1)**				
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	< 2	> 2 - 5	> 5 - 10	> 10 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 150	> 150 - 200
Tebal Perkerasan (mm)									
AC WC	60(2)	40	40	40	40	40	40	50	40
AC BC	-	65	75	75	60	60	75	80	60
	-	80	80	-	-	-	-	-	-
AC *Base* (3)	-	-	-	100	80	85	100	100	80
	-	-	-	-	80	100	100	100	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	90
Lapis Fondasi Agregat Kelas A(4)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen(5)	-	-	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC WC dan AC BC.
(2) Tumbukan *Marshall* sebanyak 2 x 50 tumbukan.
(3) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana di atas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.
(4) Untuk perkerasan dengan jumlah lajur lebih dari 2 per arahnya, tebal lapis fondasi agregat kelas A minimal 300 mm.
(5) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm^2). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.

Sumber : MDP 2024 hal 7-18.

Untuk CBR tanah dasar 6% dan CESA yang melebihi 4 juta ESAL maka penanganan desain pondasi jalan menggunakan metode desain A (untuk tanah normal). Untuk kondisi tersebut, dilakukan perbaikan tanah dasar menggunakan lapis penopang (*capping layer*) dengan material stabilisasi kapur maupun timbunan pilihan dengan tebal minimum 300 mm. Dalam Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 Divisi 3 terkait timbunan pilihan nilai CBR paling sedikit adalah 10%. Setelah dilakukan penajaman desain berdasarkan MDPJ 2024 terkait umur rencana, pengenalan struktur perkerasan CTB, analisis beban sumbu secara menyeluruh, pengaruh temperatur, koreksi faktor iklim, serta pengenalan prosedur rinci untuk desain pondasi jalan maka tebal lapis perkerasan lentur yang diperoleh dapat dilihat seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Struktur Perkerasan Alternatif 1 yaitu menggunakan Bagan Desain-3(1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB

Lapisan	Tebal Lapisan (mm)	Tebal Lapisan (mm) (Disesuaikan)
AC WC	40	40
AC BC	65	135
AC BC	70	
Cement Treated Base	150	150
LFA Kelas B	150	150
LFA Kelas C	200	200
Tebal Total	675	675

Sumber : Hasil Analisis, 2026

Pada Tabel 6, berdasarkan hasil bacaan tebal lapisan perkerasan menurut tabel 4. yang menjelaskan tentang Bagan Desain-3(1) Desain perkerasan lentur dengan 150 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70) terlihat lapisan AC-BC ada 2 layer dengan tebal masing-masing 65 cm dan 70 cm, kedua layer ini karena sama tipe material yaitu AC-BC maka di gabung menjadi 1 layer dengan tebal 135 mm.

Tabel 7. Struktur Perkerasan Alternatif 2 yaitu menggunakan Bagan Desain-3A Desain perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat

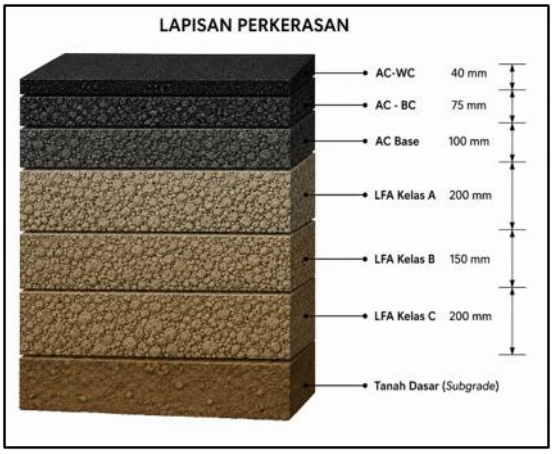
Lapisan	Tebal Lapisan (mm)	Tebal Lapisan (mm) (Disesuaikan)
AC WC	40	40
AC BC	60	60
AC Base	80	160
AC Base	80	
LFA Kelas A	200	200
LFA Kelas B	150	150
LFA Kelas C	200	200
Tebal Total	810	810

Sumber : Hasil Analisis, 2026

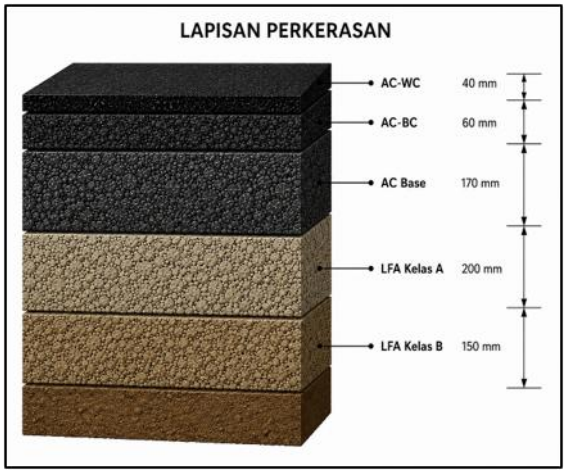
Pada Tabel 7, berdasarkan hasil bacaan tebal lapisan perkerasan menurut tabel 5 yang menjelaskan tentang Bagan Desain-3A Desain perkerasan lentur – aspal dengan lapis fondasi agregat (aspal pen 60/70 dan PG70) terlihat lapisan AC-Base ada 2 layer dengan tebal masing-masing 80 cm dan 80 cm, kedua layer ini karena sama tipe material yaitu AC-Base maka di gabung menjadi 1 layer dengan tebal 160 mm.

Setelah diperoleh tebal lapis perkerasan baik $CESA_4$ dari SNI 2002 dan $CESA_5$ untuk menghitung tebal lapis perkerasan dari katalog desain dalam MDPJ 2024 dapat dilihat pada seperti Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.

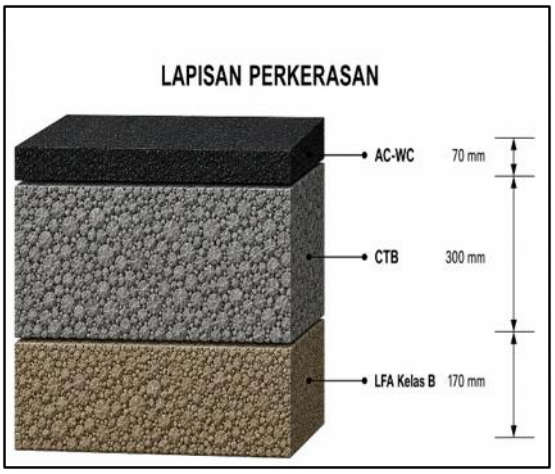
Gambar 3. Nota Desain Alternatif 1 : Tebal Struktur Perkerasan Tipe CTB-Struktural Surface dengan $CESA_5$ Menurut MDPJ 2024. Tebal Total = 630 mm



Gambar 4. Nota Desain Alternatif 2 : Tebal Struktur Perkerasan Tipe Granular Roadbase-Struktural Surface dengan $CESA_5$ Menurut MDPJ 2024. Tebal Total = 765 mm



Gambar 5. Tebal Struktur Perkerasan Tipe Granular Roadbase-Struktural Surface dengan CESA Menurut SNI 2002. Tebal Total = 620 mm



Gambar 6. Tebal Struktur Perkerasan Tipe CTB-Struktural Surface dengan CESA Menurut SNI 2002. Tebal Total = 540 mm

Gambar 7. Tebal Struktur Perkerasan Tipe CTB-Struktural Surface dengan $CESA_5$ Menurut MDPJ 2024. Tebal Total = 675 mm

Gambar 8. Tebal Struktur Perkerasan Tipe Granular Roadbase-Struktural Surface dengan $CESA_5$ Menurut MDPJ 2024. Tebal Total = 810 mm

4.5. Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Menurut Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 dengan Aplikasi PastDean

Menggunakan data yang sama digunakan dalam Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Menurut Metode SNI 2002 dan Tebal Perkerasan Lentur Menurut Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 maka dihitung kembali menggunakan aplikasi PastDean. Untuk masuk kedalam Program PastDean perlu masuk lewat link sebagai berikut : https://pavement.ftsl.itb.ac.id/Pavement-PastDean. Program PastDean telah dirancang sedemikian rupa agar dapat dioperasikan dengan mudah oleh calon pemakai yang mungkin sudah tertarik untuk melakukan proses desain struktur perkerasan lentur secara mekanistik dengan menggunakan program PastDean.

Setelah memiliki lisensi dan dapat login ke dalam program PastDean, maka pemakai dapat mengubah jumlah lapisan yang dianalisis dan menganalisis struktur perkerasan lentur yang memiliki lapisan CTB, sebagai pengganti dari lapisan agregat, seperti yang ada pada Manual Desain Perkerasan Jalan yang baru diberlakukan di Indonesia.

Data yang diperlukan :

Dalam menginput beban lalu lintas $CESA_5$ perencana dapat memilih untuk menggunakan $CESA_5$ yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan angka pertumbuhan menurut MDPJ 2024 dan hasil

perhitungan dengan TM menurut MDPJ 2024. Adapun hasil perhitungan $CESA_5$ sebagai berikut:

$CESA_5$ = 12.539.111,00 ESAL (hasil perhitungan dengan angka pertumbuhan menurut MDPJ 2024).

$CESA_5$ = $CESA_5$ (TM × $CESA_4$)

= 1,8 x 12.539.111,00 ESAL

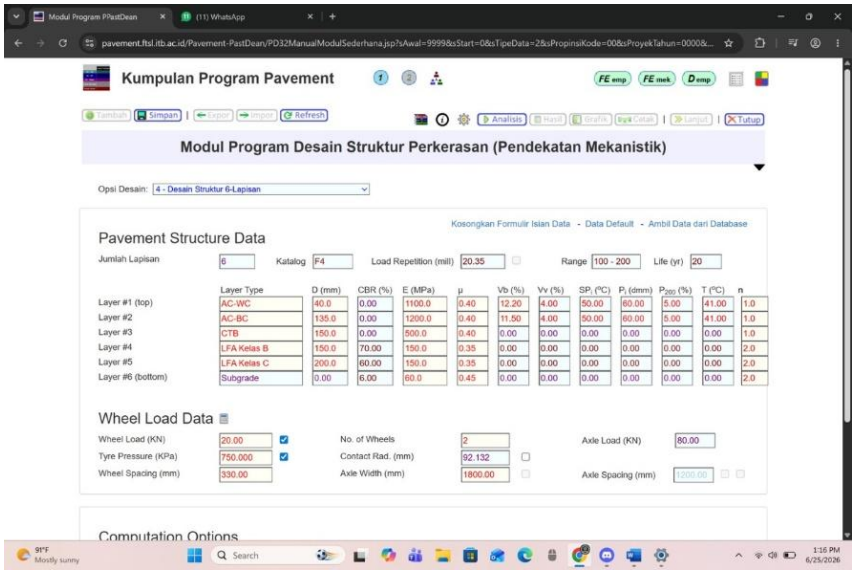
= 20.343.766,70 ESAL (hasil perhitungan dengan TM menurut MDPJ 2024).

Dalam penelitian ini yang digunakan adalah $CESA_5$ hasil perhitungan dengan TM menurut MDPJ 2024.

Desain Alternatif 1 terdiri lapisan sebagai berikut :

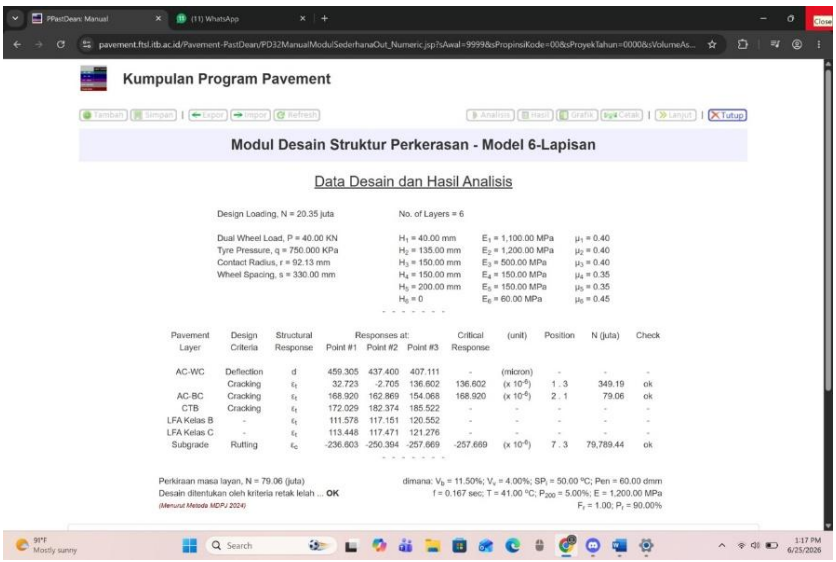
Layer #1 (top)	:	AC-WC di coba dengan ketebalan	:	40 mm
Layer #2	:	AC-BC di coba dengan ketebalan	:	135 mm
Layer #3	:	Cement Trated Base (CTB)	:	150 mm
Layer #4	:	LFA Kelas B di coba dengan ketebalan	:	150 mm
Layer #5	:	LFA Kelas C di coba dengan ketebalan	:	200 mm
Layer #6 (bottom)	:	Subgrade		
Tebal total			:	675 mm

Penggunaan Program PastDean untuk menghitung Desain Alternatif 1 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Tampilan Layar Input Data Untuk Menghitung Desain Alternatif 1 pada Program Pastdean

Sumber: PastDean, 2026



Gambar 10. Tampilan Layar Hasil Runing Untuk Menghitung Desain Alternatif 1 pada Program Pastdean

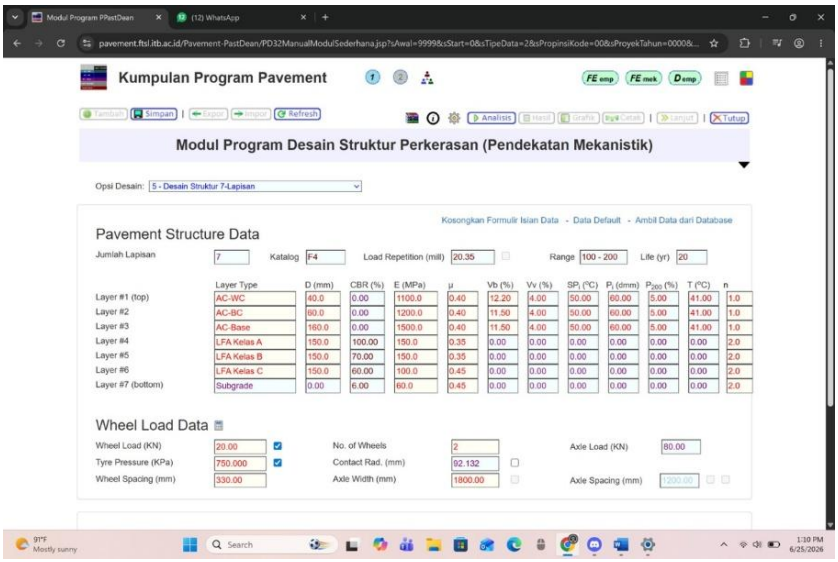
Sumber: PastDean, 2026

Menurut hasil Program PastDean dengan ketebalan yang dipilih menghasil lapis perkerasan jalan dengan Perkiraan masa layan, N = 79,06 juta ESAL ini jauh lebih besar dari nilai CESA yang lewat hanya sebesar 20.343.766,70 juta ESAL.

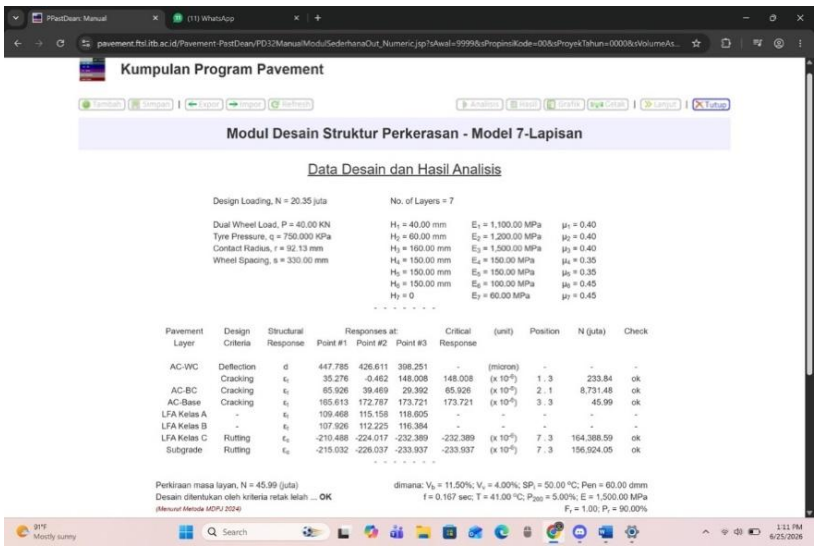
Desain Alternatif 2 terdiri lapisan sebagai berikut :

Layer #1 (top)	:	AC-WC di coba dengan ketebalan	:	40 mm
Layer #2	:	AC-BC di coba dengan ketebalan	:	60 mm
Layer #3	:	AC-Base di coba dengan ketebalan	:	160 mm
Layer #4	:	LFA Kelas A di coba dengan ketebalan	:	200 mm
Layer #5	:	LFA Kelas B di coba dengan ketebalan	:	150 mm
Layer #6	:	LFA Kelas C di coba dengan ketebalan	:	200 mm
Layer #7 (bottom)	:	Subgrade		
Tebal total			:	810 mm

Penggunaan Program PastDean untuk menghitung Desain Alternatif 2 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 11. Tampilan Layar Input Data Untuk Menghitung Desain Alternatif 2 pada Program Pastdean
Sumber : PastDean, 2026



Gambar 12. Tampilan Layar Hasil Runing Untuk Menghitung Desain Alternatif 2 pada Program Pastdean
Sumber : PastDean, 2026

Menurut hasil Program PastDean dengan ketebalan yang dipilih menghasil lapis perkerasan jalan dengan Perkiraan masa layan, N = 45,99 juta ESAL ini jauh lebih besar dari nilai CESA yang lewat hanya sebesar 20.343.766,70 juta ESAL.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang tercantum dalam perhitungan diatas kemudian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1). Analisis Tebal Perkerasan Lentur Berdasarkan Data Lapangan

A. Menggunakan Metode Empiris (SNI 2002 / AASHTO 1993)

a) Parameter Beban Lalu Lintas: Berdasarkan data LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata) tahun 2024 yang diproyeksikan untuk umur rencana 20 tahun (2025–2045) dengan pertumbuhan lalu lintas sebesar 3,5%, diperoleh nilai akumulasi beban gandar standar kumulatif sebesar: W_{18} = CESA = 11.352.889,07 ESAL

b) Parameter Tanah Dasar & Desain: Menggunakan nilai kekuatan tanah dasar hasil pengujian laboratorium murni. Penentuan tebal dilakukan secara *trial and error* (coba-coba) menggunakan bantuan program spreadsheet (Excel) untuk memenuhi *Structural Number* (SN) rencana.

c) Hasil Desain Tebal Perkerasan: Metode ini menghasilkan dua susunan tipe perkerasan:

1. Tipe Granular Roadbase – Structural Surface:
   - Lapis Permukaan (*Surface*): Laston / AC = 27 cm
   - Lapis Pondasi Atas (*Base*): Agregat Kelas A (CBR 100%) = 20 cm
   - Lapis Pondasi Bawah (*Subbase*): Agregat Kelas B (CBR 70%) = 15 cm
2. Tipe Cement Treated Base (CTB) – Structural Surface:
   - Lapis Permukaan (*Surface*): Laston / AC = 7 cm
   - Lapis Pondasi Atas (*Base*): *Cement Treated Base* (CTB) = 30 cm
   - Lapis Pondasi Bawah (*Subbase*): Agregat Kelas B (CBR 70%) = 17 cm

B. Menggunakan Metode Mekanistik-Empiris (M-E) (MDPJ 2024 & Program PastDean)

a) Parameter Beban Lalu Lintas**:** Perhitungan nilai VDF (Faktor Distribusi Kendaraan) dibagi menjadi kondisi Faktual (2025–2028) dan kondisi Normal (2028–2045). Berdasarkan rumus mekanistik diperoleh dua nilai standar:
   - $CESA_4$ = 11.302.092,61 ESAL
   - $CESA_5$ = 12.539.111,00 ESAL
   - Dengan *Traffic Multiplier* (TM = 1,8) untuk mengantisipasi kendaraan beban berlebih (*overloading*), nilai beban meningkat menjadi 20.343.766,70 ESAL

b) Parameter Tanah Dasar & Desain: MDPJ 2024 mempertimbangkan kondisi jenis tanah *alluvial* berpotensi jenuh air, sehingga nilai CBR laboratorium dikoreksi (diturunkan) demi keamanan menjadi CBR desain tanah dasar = 3%. Penentuan tebal mengacu pada Katalog Bagan Desain MDPJ yang kemudian disimulasikan ketahanannya menggunakan program PAstDean.

c) Hasil Desain Tebal Perkerasan (Simulasi PastDean): Metode ini merekomendasikan dua alternatif desain baru:

1. Alternatif 1 (Bagan Desain Struktur Kombinasi CTB):
   - Lapis Permukaan: AC-WC (40 mm) + AC-BC (65 mm) + AC BC (70 mm).
   - Lapis Pondasi Atas: *Cement Treated Base* (CTB) = 150 mm
   - Lapis Fondasi Agregat: LFA Kelas B = 150 mm
   - Lapis Fondasi Agregat: LFA Kelas C = 200 mm
2. Alternatif 2 (Bagan Desain Struktur Full-Asphalt / Deep Strength):
   - Lapis Permukaan & Atas: AC-WC (40 mm) + AC-BC (60 mm) + AC-Base (160 mm)
   - Lapis Fondasi Bawah: LFA Kelas A (200 mm) + LFA Kelas B (150 mm) + LFA Kelas C (200 mm)

2). Perbandingan Analisis Tebal Perkerasan Lentur Antara Kedua Metode. Metode Mekanistik-

Empiris (MDPJ 2024 / PastDean) menghasilkan analisis desain yang jauh lebih aman, adaptif, dan realistis untuk diterapkan pada Jalan Nasional MORR III Tahap 4. Meskipun menghasilkan nilai beban rencana (CESA) yang lebih besar akibat adanya faktor koreksi kendaraan *overloading*, metode ini mampu mereduksi ketebalan material kaku seperti CTB secara optimal (dari 30 cm menjadi 15 cm) melalui pembagian distribusi tegangan yang dihitung dengan program *PastDean.* Hasil perhitungan dengan menggunakan program *PastDean* menghasilkan masa layan yang lebih besar.

Ucapan terima kasih
Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian diantaranya Dosen Pembimbing 1 dan dosen Pembimbing 2.

Referensi

Al-Khateeb, G. G. (2025). *Fatigue cracking parameters and critical tensile strain modeling in mechanistic-empirical asphalt pavement design. International Journal of Pavement Engineering*, 26(1), 2341102. https://doi.org/10.1080/10298436.2025.2341102.
Bappenas. (2010). *Laporan Pencapaian Tujuan Pembangunan Milenium di Indonesia*. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
C. C Mantiri, T. K Sendow dan M. R. E Manoppo (2019). *Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Dengan Metode Bina Marga 2017 Dibandingkan Metode AASHTO 1993*. Manado. Jurnal Sipil Statik. Manado : Tekno.
Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Pt-T-01-2002-B)*. Jakarta.
Fillio J. Kaunang, T. K. Sendow dan Steve Ch. Palenewen (2026). Analisa Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode MDPJ 2024 Untuk Kondisi Segmen Yang Sering Banjir Pada Ruas Jalan Batas Kota Manado – Airmadidi Nomor Ruas 50.003 STA 3+810 – STA 4+100. Manado : Tekno.
Huang, Y. H. (2004*). Pavement Analysis and Design (2nd Edition).* Prentice Hall.
Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan, Surat Edaran Nomor 15/SE/Db/2024*. Jakarta.
Mikhael Rumerung, T. K. Sendow dan M. R. E Manoppo (2026). *Analisa Tebal Perkerasan Jalan Dengan Beban Berlebih Pada Kondisi Temperatur Perkerasan Tinggi Dan Tanah Lunak Perkerasan Jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III Tahap II Dengan MDPJ 2024*. Manado : Tekno.
Nguyen, M. T., & Park, D. W. (2026). *Subgrade rutting criteria and permanent deformation simulation under repetitive heavy vehicle overloading. Case Studies in Construction Materials*, 24, e03814. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2026.e03814
Piere J. Pasuhuk, T. K. Sendow dan L. G. J. Lalamentik (2026). *Perencanaan Desain Tebal Perkerasan Lentur Ruas Jalan Girian – Likupang dengan Metode Bina Marga 2024*. Manado : Tekno.
Putri Safitra dan T. K Sendow (2019). *Analisa Pengaruh Beban Berlebih Terhadap Umur Rencana Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado-Bitung)*. Manado : Tekno.
Ricky dan T. K Sendow (2017). *Analisis Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2013*. Manado : Tekno.
R. R Rantung, T. K Sendow dan S. C. N. Palenewen (2022). *Perbandingan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2013 dan AASHTO 1993 (Studi Kasus: Ruas Jalan Nasional R. Martadinata Dengan Nomor Ruas 500412)*. Manado : Tekno.
Saeed, A., & Hall, J. W. (2024). *Multi-layer elastic continuum modeling and strain analysis of flexible pavements under extreme loading conditions. Infrastructure*, 9(3), 45-58. https://doi.org/10.3390/infrastructure9030045
United Nations. (2000). *United Nations Millennium Declaration. New York*: UN General Assembly.
Wang, T., & Harvey, J. (2024). *Mechanistic-empirical structural optimization and environmental performance validation of semi-rigid pavements. Case Studies in Construction Materials*, 20, e02911. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02911.
Ziari, H., & Divandari, H. (2023*). Life-cycle carbon footprint and mechanistic evaluation of cement-treated base layers under high-volume commercial traffic*. International Journal of Pavement Engineering, 24(1), 2189341. https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2189341.