

ANALISIS UMUR RENCANA TEBAL DESAIN PERKERASAN LENTUR BERDASARKAN AASHTO 1993 DAN METODE MEKANISTIK EMPIRIS

Anjeli Alfhira¹, Edi Yusuf Adiman^{2*}, Mardani Sebayang², dan Agus Ika Putra²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM. 12,5, Pekanbaru, Indonesia

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM. 12,5, Pekanbaru, Indonesia

*edi.yusuf@eng.unri.ac.id

Masuk: 23-07-2025, revisi: 28-10-2025, diterima untuk diterbitkan: 06-11-2025

ABSTRACT

One important aspect in road construction design is considering the service life or design life, which is how long the pavement can withstand traffic loads. This study aims to analyze the design life in relation to pavement thickness design using two methods: the empirical method based on AASHTO 1993 and the mechanistic-empirical method assisted by the KENPAVE program, adapted to the latest provisions in MDPJ 2024. The analysis results indicate that the study location falls into the low-traffic category ($1,135,374 < 2$ million CESAL5). Calculations of design life using both the empirical and mechanistic-empirical methods indicate that the designed pavement has not yet achieved the 20-year design life as required by MDPJ 2024. The recommendation for the empirical method (AASHTO 1993) is to add an AC-WC layer of 6 cm, while the mechanistic-empirical method (KENPAVE) recommends adding an AC-WC layer of 4 cm. This analysis shows that for locations with low vehicle loads, the use of the empirical method is more effective in analyzing the design life and pavement thickness design because it provides more conservative and practical results.

Keywords: Flexible pavement; AASHTO 1993; MDPJ 2024; KENPAVE

ABSTRAK

Salah satu aspek penting dalam perancangan konstruksi jalan adalah mempertimbangkan masa pelayanan atau umur rencana, yaitu berapa lama perkerasan mampu menahan beban lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis umur rencana terhadap desain ketebalan perkerasan jalan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode empiris berdasarkan AASHTO 1993 dan metode mekanistik empiris yang dibantu oleh program KENPAVE, disesuaikan dengan ketentuan terbaru dalam MDPJ 2024. Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi penelitian termasuk dalam kategori lalu lintas rendah ($1.135.374 < 2$ Juta CESAL5). Dari perhitungan umur rencana dengan metode empiris dan mekanistik empiris diperoleh hasil bahwa perkerasan yang dirancang belum mampu mencapai umur rencana 20 tahun sesuai dengan ketentuan MDPJ 2024. Rekomendasi pada metode empiris (AASHTO 1993) yaitu dengan tambahan lapis AC-WC sebesar 6 cm, sedangkan metode mekanistik empiris (KENPAVE) dengan tambahan lapis AC-WC sebesar 4 cm. Analisis ini menunjukkan bahwa untuk lokasi dengan beban kendaraan rendah, penggunaan metode empiris lebih efektif dalam menganalisis umur rencana dan desain ketebalan perkerasan karena memberikan hasil yang lebih konservatif dan praktis.

Kata kunci: Perkerasan lentur; AASHTO 1993; MDPJ 2024; KENPAVE

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan elemen penting dalam infrastruktur transportasi yang berfungsi untuk mendukung dan menyalurkan beban lalu lintas secara aman dan efisien ke lapisan tanah dasar. Salah satu jenis perkerasan yang umum digunakan adalah perkerasan lentur, yang terdiri dari lapisan-lapisan material fleksibel yang dirancang untuk menyesuaikan diri dengan deformasi tanah dasar tanpa menyebabkan keretakan pada lapisan atas. Kualitas konstruksi jalan sangat dipengaruhi oleh perancangan yang tepat, khususnya dalam pemilihan jenis perkerasan dan perencanaan ketebalan lapisan perkerasan. Salah satu aspek penting dalam perancangan tersebut adalah mempertimbangkan masa pelayanan atau umur rencana, yaitu berapa lama perkerasan mampu menahan beban lalu lintas. Dalam perencanaan perkerasan jalan, sangat penting untuk mengikuti pedoman yang telah ditetapkan serta menyesuaikan dengan kondisi wilayah setempat.

Umur rencana adalah jumlah waktu dan tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu diberi lapis permukaan yang baru (Arief, 2023; Sharah, 2023). Umur rencana ini menentukan sejauh mana perkerasan mampu mempertahankan kinerjanya sebelum memerlukan rehabilitasi atau

perbaikan. Analisis umur rencana pada desain perkerasan lentur dilakukan dengan menggunakan metode empiris berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) 1993 dan selanjutnya akan dianalisis mekanistik empiris 2024 menggunakan program KENPAVE. Hasil dari analisis dengan program KENPAVE akan digunakan untuk mengetahui nilai regangan-tegangan yaitu nilai *vertical strain* dan nilai *horizontal principal strain* pada lapis perkerasan berdasarkan tebal perkerasan hasil analisis dan mengetahui tebal perkerasan yang memberikan kualitas yang baik dengan melihat dari nilai repetisi beban yang terjadi.

Nasution (2023) melakukan analisis perhitungan ketebalan perkerasan lentur Metode MDPJ tahun 2017. Nastiti (2024) melakukan penilaian desain struktur perkerasan lentur dilakukan dengan menggunakan pemodelan elastik dan viskoelastik. Adiman dan Pranata (2024) melakukan analisis desain perkerasan lentur berdasarkan MDPJ 2017 menggunakan metode mekanistik empiris pada program KENPAVE. Meskipun metode yang digunakan dalam penelitian ini sama dari berbagai literatur, tetap terdapat perbedaan dalam pendekatan analisis umur rencana perkerasan. Pada penelitian ini, analisis umur rencana menggunakan metode empiris berdasarkan AASHTO 1993, yaitu dilakukannya perhitungan mundur (*back calculation*) dari data tebal perkerasan dan LHR di lokasi penelitian. Sementara itu, pada metode mekanistik empiris digunakan program KENPAVE untuk memperoleh nilai regangan dan tegangan. Perbedaan analisis terletak pada tahap analisis lanjutan, di mana hasil regangan dan tegangan dari metode mekanistik empiris diolah lebih lanjut menggunakan rumus *remaining life* untuk menentukan umur rencana perkerasan. Selanjutnya hasil analisis umur pada kedua metode tersebut dilengkapi tabel nilai penurunan umur rencana tiap tahunnya dan juga disediakan grafik penurunan umur rencana sehingga penelitian ini lebih koheren.

Pada desain proyek ini terdapat adanya perbedaan antara luaran desain seperti jenis material dan tebal lapisan perkerasan dengan ketentuan bagan desain metode terbaru, yakni MDPJ 2024. Lapisan AC-WC yang digunakan lebih tipis dan tidak terdapat lapis agregat kelas B, sehingga terdapat kesan beban lalu lintas rendah (<2 juta CESAL5) di lokasi penelitian yang dapat dilihat pada tabel pemilihan jenis perkerasan dalam umur rencana 20 tahun pada MDPJ 2024. Dengan itu, perlu di cek berdasarkan metode mekanistik empiris 2024 dengan program KENPAVE maupun metode empiris menggunakan AASHTO 1993 untuk menganalisis umur rencana terhadap desain proyek tersebut.

Perbedaan yang menonjol dari metode empiris dan mekanistik empiris adalah pada pendekatan dan kompleksitas perhitungannya. Pada metode empiris, desain perkerasan didasarkan pada pengalaman lapangan dan data historis, seperti yang digunakan dalam AASHTO 1993. Perhitungannya lebih sederhana karena menggunakan hubungan empiris antara jumlah lintasan beban (ESAL), indeks servisabilitas (PSI), dan ketebalan lapisan perkerasan (SN) tanpa menghitung tegangan atau regangan secara rinci. Metode ini tidak memperhitungkan sifat mekanik material secara langsung maupun kondisi lingkungan secara mendetail, sehingga cocok untuk kondisi beban lalu lintas rendah hingga sedang dan memberikan pendekatan desain yang lebih cepat dan praktis. Sedangkan analisis secara mekanistik empiris akan digunakan program bantu untuk memperoleh tegangan dan regangan yang dihasilkan oleh tekanan ban kendaraan menggunakan program KENPAVE. Selain memperhitungkan tekanan ban, jumlah beban sumbu lalu lintas, luas kontak area ban, jarak antar ban, juga memperhitungkan sifat mekanik material perkerasan (modulus elastisitas, koefisien poisson), dan kondisi lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam analisis penelitian ini dibagi menjadi empat bagian. Bagian pertama melakukan analisis kondisi beban lalu lintas dari hasil survei LHR (lalu lintas harian rerata), bagian kedua melakukan analisis umur rencana metode empiris berdasarkan ketentuan AASHTO 1993, bagian ketiga analisis umur rencana metode mekanistik empiris berdasarkan MDPJ 2024 dengan menggunakan program KENPAVE, dan bagian keempat yaitu melakukan rekomendasi desain tebal perkerasan lentur berdasarkan metode empiris dan mekanistik empiris ketika hasil umur rencana tidak tercapai yakni 20 tahun berdasarkan ketentuan MDPJ 2024.

Analisis kondisi beban lalu lintas

Penelitian ini menggunakan data LHR (lalu lintas harian rerata) yang diperoleh dari survei lalu lintas di lokasi penelitian. Berikut merupakan alur analisis kondisi beban lalu lintas:

- 1) Melakukan survei LHR di lokasi penelitian.
- 2) Menentukan Rumus VDF sesuai jenis sumbu kendaraan.
- 3) Menentukan beban kendaraan berdasarkan konfigurasi sumbu kendaraan.
- 4) Menghitung Angka Ekuivalen (ESAL).

Analisis umur rencana secara empiris (AASHTO 1993)

Berikut merupakan alur analisis umur rencana dari desain tebal perkerasan lentur metode empiris AASHTO 1993 berdasarkan Pedoman perancangan tebal perkerasan lentur No.12/SE/M/2013 dan Pt T-01-2002-B:

- 1) Menentukan Modulus Resilien (M_R).
- 2) Menentukan Koefisien Kekuatan Relatif (a).
- 3) Menentukan Koefisien Drainase (m).
- 4) Menghitung Angka Struktural (SN).
- 5) Menentukan Indeks Permukaan Akhir Umur Rencana (IP_t).
- 6) Menentukan Indeks Permukaan Awal Umur Rencana (IP_0).
- 7) Menghitung Indeks Permukaan (ΔIP).
- 8) Menentukan Tingkat Reliabilitas (R) dan Deviasi standar normal (*normal standard deviation*) (Z_r).
- 9) Menentukan Deviasi standar keseluruhan (*overall standard deviation*) (S_o).
- 10) Menentukan Jumlah beban sumbu standar ekivalen.
- 11) Nilai Faktor Distribusi Lajur (D_L) dan Faktor Distribusi Arah (D_D).
- 12) Penentuan Umur Rencana Menggunakan Rumus *Reamaining Life*.

Analisis umur rencana secara mekanistik empiris (program KENPAVE)

Tampilan menu utama program KENPAVE dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan menu utama program KENPAVE

Berikut merupakan alur analisis umur rencana dari desain tebal perkerasan lentur metode mekanistik empiris menggunakan program KENPAVE (Huang, 2004):

- 1) Memilih menu *Layerinp* untuk memasukkan data-data inputan.
- 2) Pilih menu File dan *New* untuk membuat lembar kerja baru.
- 3) Selanjutnya menu *General* untuk menentukan informasi umum mengenai struktur perkerasan yang ingin dianalisis.
- 4) Memilih menu *Zcoord* dan memasukkan titik koordinat nilai regangannya yang ditinjau.
- 5) Kemudian beralih ke menu *Layer* untuk memasukkan tebal setiap lapis perkerasan dan angka *poisson ratio*.
- 6) Menu Moduli digunakan untuk memasukkan modulus elastisitas.
- 7) Pilih Menu *Load* untuk memasukkan tekanan ban.
- 8) Memasukkan koordinat NR or NSPT yang merupakan jumlah titik koordinat x dan y yang dianalisis berdasarkan pada beberapa roda.
- 9) Selanjutnya masuk pada menu *Viscoelastict* dengan memasukkan inputan pada bagian (*general, time layer, creep, temperature*).
- 10) *Running* data yang dimasukkan pada menu KENLAYER, sehingga didapat nilai *Vertical strain* dan *Horizontal strain*.
- 11) Perhitungan nilai kerusakan *fatigue cracking* dan *permanent deformation* dalam memikul beban lalu lintas (CESAL).
- 12) Perhitungan nilai umur rencana.

Persamaan 1 untuk menghitung *creep compliance*. Parameter *creep compliances* terdiri dari E_0 , E_1 , T_0 , dan T_i digunakan pada lapis AC-WC dan AC-BC yang didapatkan dari beberapa penelitian, diantaranya adalah Permata et al. (2022), Florez et al. (2021), Harnaeni et al. (2020), Mackiewicz dan Szydło (2019), dan Suaryana et al. (2014). Dengan mengambil parameter yang dapat dilihat pada Tabel 1.

$$D(t) = \frac{1}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0}\right) + \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_i} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_i}\right)\right] \quad (1)$$

Tabel 1. Parameter konstanta waktu dan modulus pada creep compliance

Lapisan	E ₀ (Mpa)	E ₁ (Mpa)	T ₀ (s)	T _i (s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AC-WC	2.200	1.700	1,0	0,5
AC-BC	2.000	1.400	1,2	0,8

Persamaan 2 merupakan nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol kerusakan *fatigue cracking*, $\mu\epsilon$ merupakan regangan tarik horizontal di bawah beton aspal (*microstrain*), V_b merupakan volume aspal dalam campuran (%), S_{mix} merupakan modulus campuran aspal (MPa), dan RF merupakan faktor reliabilitas.

$$N = \frac{SF}{RF} \times \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{E_{mix}^{0,36} \times \mu\epsilon} \right]^5 \quad (2)$$

Persamaan 3 merupakan nilai repetisi beban yang diizinkan untuk kerusakan *permanent deformation*, dan $\mu\epsilon$ merupakan regangan tekan vertikal di atas tanah dasar (*microstrain*).

$$N = \left[\frac{9300}{\mu\epsilon} \right]^7 \quad (3)$$

Perhitungan nilai umur rencana dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4, *remaining life* (sisa umur layan) sehingga diketahui pada tahun berapa perkerasan mengalami kerusakan.

$$RL = \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

dengan N_p merupakan kumulatif W18 per tahun (ESAL) dan $N_{1,5}$ merupakan nilai repetisi beban (ESAL).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kondisi beban lalu lintas

Tabel 2, perhitungan beban lalu lintas untuk memperoleh nilai berupa ESAL dalam penelitian ini dilakukan menggunakan rumus Bina Marga tahun 2005. Nilai beban kendaraan (ton) mengacu pada manual perkerasan jalan dengan alat Benkelman Beam.

Tabel 2. Volume lalu lintas

Gol.	Jenis Kendaraan	Beban Kendaraan (ton)	Jumlah Kendaraan
(1)	(2)	(3)	(4)
1	Sepeda Motor	0	21.197
2	Mobil penumpang	2	6.880
3	Angkutan Penumpang (Angkot, Minibus)	2	18
4	Pick Up	4	152
5a	Bus kecil	6	57
6a	Truk Ringan 2 Sumbu	10	42
6b	Truk Sedang 2 Sumbu	14	16

Pada penelitian ini nilai VDF dibedakan menjadi 3 jenis yaitu VDF4, VDF5, VDF7, yang mengacu pada rumus Bina Marga tahun 2005 untuk mendapatkan nilai $ESAL^4$, $ESAL^5$, dan $ESAL^7$ dapat dilihat pada Tabel 3.

Analisis umur rencana secara empiris (AASHTO 1993)

Analisis umur rencana tebal perkerasan lentur pada desain penambahan jalur di lokasi penelitian dilakukan perhitungan metode empiris menggunakan AASHTO 1993 berdasarkan data desain yang tersedia pada proyek. Data desain merupakan data sekunder berupa tipe material, tebal lapis perkerasan lentur, CBR agregat Kelas A, JMF lapis AC-WC, sehingga nilai kekuatan bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai ESAL/tahun

Gol.	Jenis Kendaraan	Nilai ESAL/Tahun		
		ESAL ⁴	ESAL ⁵	ESAL ⁷
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)
2	Mobil penumpang	16,182	2,997	0,103
3	Angkutan Penumpang (Angkot, Minibus)	0,042	0,008	0,0003
4	Pick Up	5,720	2,119	0,291
5a	Bus kecil	10,860	6,033	1,862
6a	Truk Ringan 2 Sumbu	61,743	57,169	49,013
6b	Truk Sedang 2 Sumbu	39,221	41,669	47,543
Total ESAL		133,769	109,995	98,812
ESAL/Tahun		48.826	40.148	36.066

Tabel 4. Parameter nilai kekuatan bahan

Lapisan Jalan	Lapisan Material	D		MR		a
		(cm)	(inch)	Mpa	psi	
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)
Lapis Perkerasan	AC-WC	5	1,969	3.000	435.000	0,400
Jalan	LFA Kelas A	30	11,811	200	29.000	0,135
Fondasi Jalan	Timbunan Pilihan	30	11,811		9.000	

Parameter-parameter yang digunakan pada analisis metode empiris menyesuaikan dengan klasifikasi jalan dan kondisi lingkungan pada lokasi penelitian yang telah disesuaikan dengan ketentuan AASHTO 1993 mengacu pada pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter-parameter analisis empiris

PARAMETER	Simbol	Nilai
(1)	(2)	(3)
Koefisien Drainase	m	1,15
Reliabilitas	R	90
Deviasi Standar Normal	Zr	1,282
Deviasi Standar Keseluruhan	So	0,4
Faktor Distribusi Arah	DD	1
Faktor Distribusi Lajur	DL	0,8
Indeks Permukaan Akhir Umur Rencana	IP _t	2,5
Indeks Permukaan Awal Umur Rencana	IP ₀	4,2
Indeks Permukaan	ΔIP	2,7
Indeks Pelayanan jalan hancur	IPf	1,5

Menghitung jumlah beban sumbu standar ekivalen dapat menggunakan contoh perhitungan di bawah dengan memasukkan parameter-parameter yang sudah diketahui pada Tabel 5:

- 1) Jumlah beban sumbu standar ekivalen (kemampuan lapisan perkerasan)

$$\log(w_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{IP_0 - IP_f} \right]}{0,4 + \frac{1}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} M_R - 8,07$$

$$\log(w_{18}) = -1,282 \times 0,4 + 9,36 \times \log(2,62+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{1,7}{4,2-1,5} \right]}{0,4 + \frac{1}{(2,62+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} 9000 - 8,07$$

$$\log(w_{18}) = 5,497$$

$$(w_{18}) = 314.156 \text{ CESAL}^4$$

- 2) Jumlah beban sumbu standar ekivalen (kemampuan lapisan permukaan)

$$\log(w_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{IP_0 - IP_f} \right]}{0,4 + \frac{1}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} M_R - 8,07$$

$$\log(w_{18}) = -1,282 \times 0,4 + 9,36 \times \log(0,79+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{1,7}{4,2-1,5} \right]}{0,4 + \frac{1}{(0,79+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} 2900 - 8,07$$

$$\log(w_{18}) = 3,927$$

$$(w_{18}) = 8.458 \text{ CESAL}^4$$

Berdasarkan klasifikasi, lokasi penelitian termasuk dalam kategori jalan kolektor, dimana sesuai dengan kriteria jalan pada (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021) dan terletak di wilayah Sumatera, sehingga sesuai dengan tabel tersebut, laju pertumbuhan lalu lintas yang digunakan adalah sebesar 3,5% per tahun. Penentuan umur rencana pada jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif dapat menggunakan rumus pada perhitungan berikut. Berikut contoh perhitungan umur rencana untuk kemampuan lapisan perkerasan dengan menggunakan faktor laju pertumbuhan lalu lintas 3,5%.

$$w_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18} = 1 \times 0,8 \times 48.826 = 39.060,441$$

$$Wt = W18 = w_{18} \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

$$314.156,528 = 39.060,441 \frac{(1 + 0,035)^n - 1}{0,035}$$

$$n = 7,3 = 7,3 \text{ tahun}$$

Contoh perhitungan umur rencana untuk kemampuan lapisan permukaan.

$$w_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18} = 1 \times 0,8 \times 48.826 = 39.060,441$$

$$Wt = W18 = w_{18} \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

$$8.458,191 = 39.060,441 \frac{(1 + 0,035)^n - 1}{0,035}$$

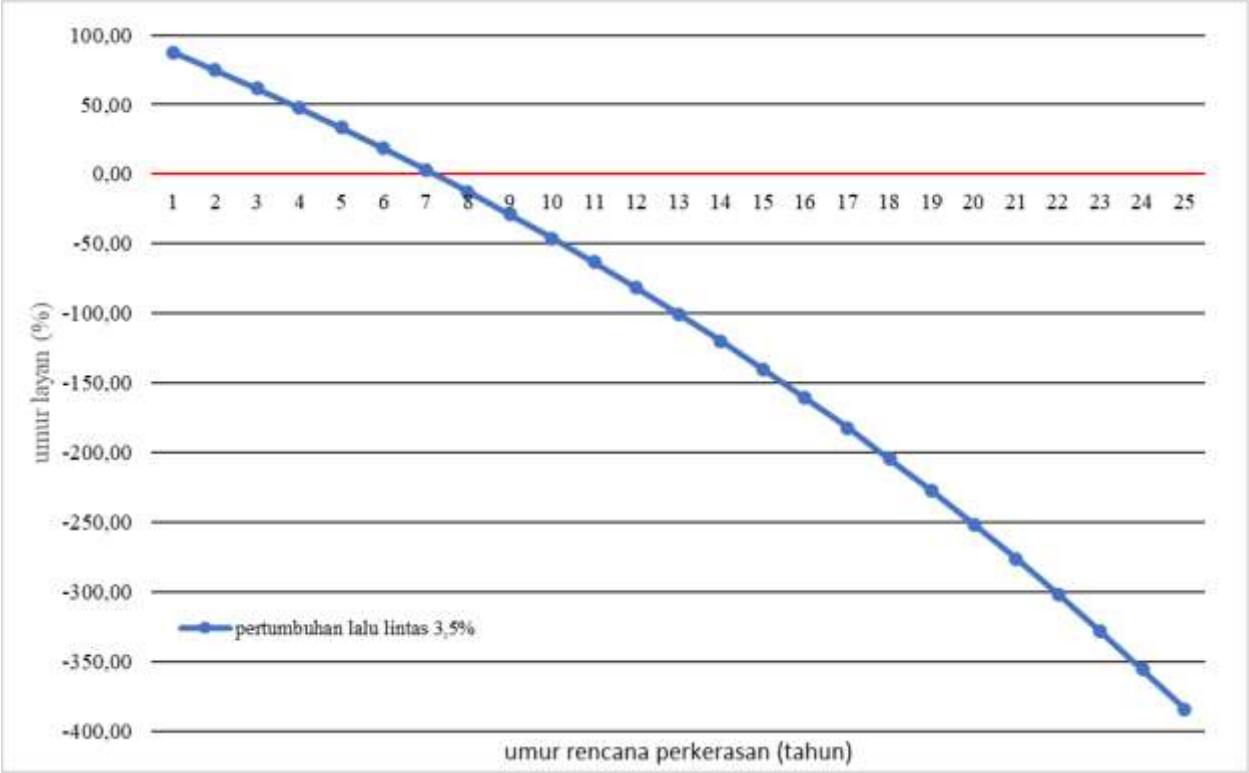
$$n = 0,22 = 0,22 \times 12 = 2,7 \text{ bulan}$$

Rekapan keseluruhan perhitungan untuk lapisan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Umur rencana lapisan perkerasan metode empiris

Tahun ke-	Lapisan Perkerasan	
	Beban (CESAL4)	Sisa Umur Layan (%)
1	39.060	87,57
2	79.488	74,70
3	121.331	61,38
4	164.638	47,59
5	209.460	33,33
6	255.852	18,56
7	303.867	3,28
8	353.563	-12,54
10	458.233	-45,86
11	513.332	-63,40
12	570.359	-81,55
13	629.382	-100,34
14	690.471	-119,79
15	753.698	-139,91
16	819.138	-160,74
17	886.868	-182,30
18	956.969	-204,62
19	1.029.523	-227,71
20	1.104.617	-251,61
21	1.182.339	-276,35
22	1.262.781	-301,96
23	1.346.039	-328,46
24	1.432.211	-355,89
25	1.521.399	-384,28

Berdasarkan analisis umur rencana lapis perkerasan terhadap sisa umur layan (*remaining life*), diketahui bahwa perkerasan mencapai kondisi sisa umur layan 0% atau dikatakan sudah mengalami kegagalan (*failure*) pada umur pelayanan 7,3 tahun (Gambar 2). Pada saat tersebut, nilai beban lalu lintas kumulatif yang diterima sebesar 318.597 CESAL⁴, yang telah melampaui kemampuan perkerasan dalam menahan beban, yaitu 314.156 CESAL⁴. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa lapisan perkerasan tidak mencapai umur rencana 20 tahun sesuai ketentuan MDPJ 2024, berdasarkan asumsi pertumbuhan lalu lintas tahunan sebesar 3,5%.



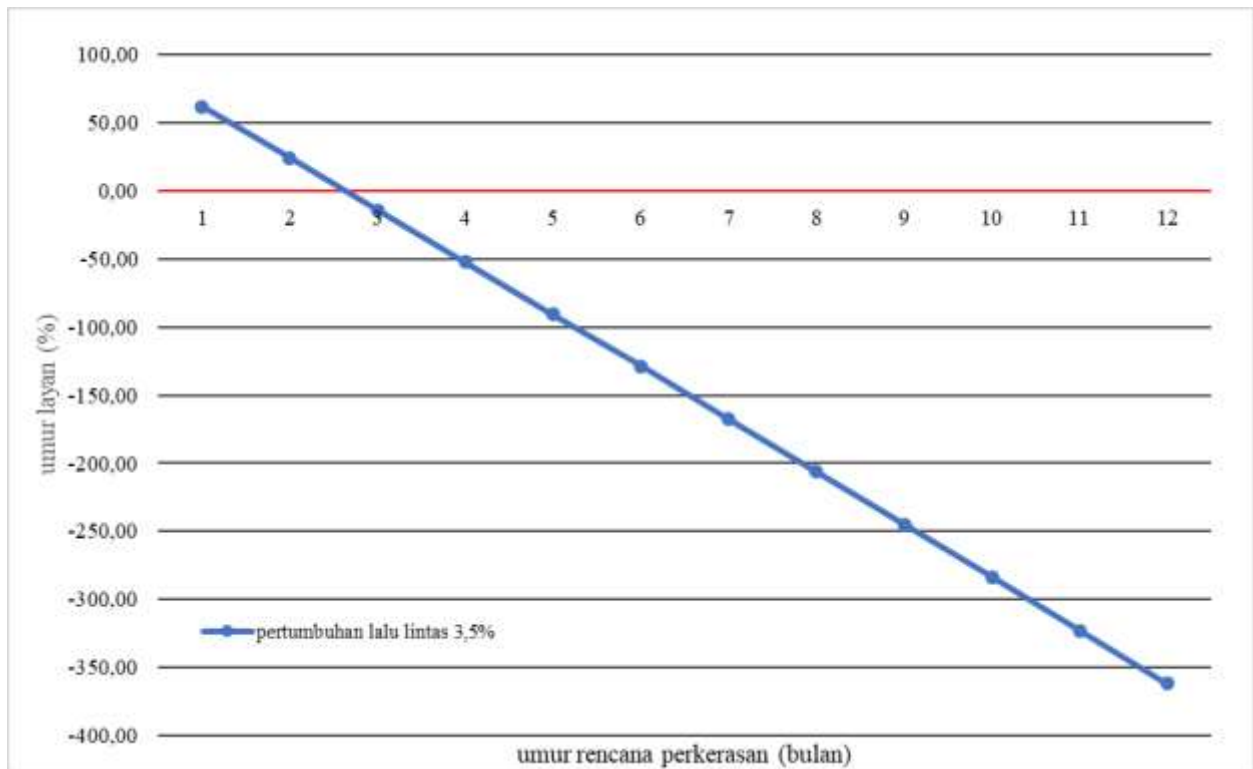
Gambar 2. Grafik penurunan umur rencana lapis perkerasan metode empiris

Rekapan keseluruhan perhitungan untuk lapisan permukaan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Umur rencana lapisan permukaan metode empiris

Bulan ke-	Lapisan Permukaan	
	Beban (CESAL ⁴)	Sisa Umur Layan (%)
1	3.204	62,12
2	6.417	24,13
3	9.639	-13,97
5	16.112	-90,49
6	19.362	-128,92
7	22.622	-167,45
8	25.891	-206,10
9	29.169	-244,86
10	32.457	-283,73
11	35.754	-322,71
12	39.060	-361,81

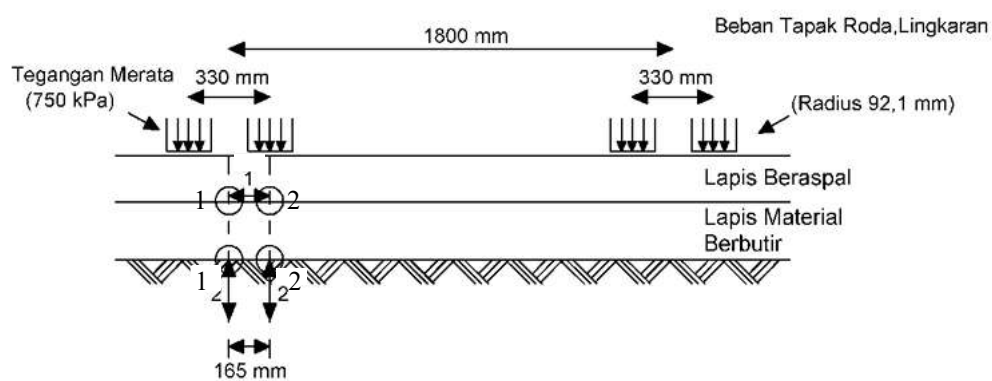
Berdasarkan analisis umur rencana lapis permukaan terhadap sisa umur layan (*remaining life*), diketahui bahwa permukaan mencapai kondisi sisa umur layan 0% atau dikatakan sudah mengalami kegagalan (*failure*) pada umur pelayanan 2,7 bulan (Gambar 3). Pada saat tersebut, nilai beban lalu lintas kumulatif yang diterima sebesar 8.478 CESAL⁴, yang telah melampaui kemampuan permukaan dalam menahan beban, yaitu 8.458 CESAL⁴. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa lapis permukaan tidak mencapai umur rencana 20 tahun sesuai ketentuan MDPJ 2024, berdasarkan asumsi pertumbuhan lalu lintas tahunan sebesar 3,5%.



Gambar 3. Grafik penurunan umur rencana lapis permukaan metode empiris

Analisis umur rencana secara mekanistik empiris (program KENPAVE)

Analisis umur rencana tebal perkerasan lentur pada desain penambahan jalur di lokasi penelitian dilakukan perhitungan metode mekanistik empiris (Gambar 4) dengan menggunakan program KENPAVE berdasarkan data desain yang tersedia pada proyek yang disesuaikan dengan ketentuan MDPJ 2024. Data desain merupakan data sekunder berupa tipe material, tebal lapis perkerasan lentur, CBR agregat Kelas A, JMF lapis AC-WC. Dalam analisis ini, karena lapisan permukaan menggunakan material *asphalt concrete* yang bersifat viskoelastik, maka diperlukan perhitungan volume bitumen yang diperoleh dari data JMF lapis AC-WC, maka dari hasil perhitungan nilai volume bitumen menjadi 11,5%. Nilai bahan perkerasan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 8.



Gambar 4. Model perkerasan pada prosedur mekanistik empiris (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024)

Keterangan:

1. Koordinat 0 cm tinjauan pada beban roda.
2. Koordinat 16,5 cm tinjauan pada beban roda.

Tabel 8. Parameter bahan perkerasan

Lapisan Jalan	Lapisan Material	Tebal Perkerasan	Modulus elastisitas, E		Angka Poisson	Volume Bitumen
		Lentur	(Mpa)	(Kpa)	(μ)	(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Lapis Perkerasan Jalan	AC-WC	5	1.100	1.100.000	0,40	11,5
	LFA Kelas A	30	200	200.000	0,35	
Fondasi Jalan	Timbunan Pilihan	30	60	60.000	0,45	

Lapisan fondasi atas kelas A dan lapisan tanah dasar diasumsikan sebagai material yang bersifat linier elastik, sehingga parameter yang dibutuhkan dalam analisis LFA untuk kedua lapisan tersebut hanyalah modulus elastisitas dan rasio Poisson. Untuk menentukan nilai modulus elastisitas tanah dasar, dilakukan korelasi antara nilai CBR dan modulus elastisitas. Berdasarkan MDPJ 2024, nilai modulus elastisitas tanah dasar dapat dihitung dengan rumus $10 \times \text{CBR}$ (MPa). Dengan mengacu pada nilai CBR minimum sebesar 6% sesuai spesifikasi umum tahun 2018 revisi 2 atau Direktorat Jenderal Bina Marga (2020), maka nilai modulus tanah dasar menjadi:

$$\begin{aligned} E \text{ tanah dasar} &= 10 \times \text{CBR (Mpa)} \\ &= 10 \times 6 \\ &= 60 \text{ Mpa} \\ &= 60.000 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Beban roda yang di input pada program KENPAVE dengan nilai Load adalah 1 untuk sumbu tunggal roda ganda (*single axle road*), nilai CR menggunakan 11 cm (jarak antar ban), nilai CP menggunakan 0,75 MPa atau 750 Kpa (tekanan ban), nilai YW menggunakan 33 dan XW menggunakan 0 (*single axle dual tires*) yang mengacu pada Sukirman (2010). Untuk koordinat tinjauan ban mengacu pada MDPJ 2024.

Waktu pengamatan creep untuk bahan Viscoelastic terdiri dari 11 variasi, masing-masing adalah: 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 berdasarkan saran FHWA (2002) dalam Huang (2004). Sementara itu temperatur di input sebesar 41°C yang merupakan temperatur perkerasan aspal (WMAPT) dimana diambil faktor koreksi modulus bernilai 1 berdasarkan MDPJ 2024. Parameter E_0 , E_1 , T_0 , dan T_i diambil berdasarkan Tabel 1. Berikut Berikut contoh perhitungan nilai *creep compliances* untuk lapisan AC WC dengan waktu pengamatan *creep* 0,001.

$$\begin{aligned} D(t) &= \frac{1}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) + \frac{1}{E_i} \left[1 - \exp \left(- \frac{t}{T_i} \right) \right] \\ &= \frac{1}{2200000} \left(1 + \frac{0,001}{1} \right) + \frac{1}{1700000} \left(1 - e^{\frac{0,001}{0,5}} \right) \\ &= 4,56 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

Respon perkerasan yang diambil pada proses analisis ini adalah regangan vertikal pada permukaan *subgrade* serta regangan horizontal dasar lapis aspal. Hasil analisis menggunakan program KENPAVE terdapat pada Tabel 9, sementara itu untuk rekapitulasi regangan maksimum terdapat pada Tabel 10.

Tabel 9. Hasil analisis eksisting pemodelan viskoelastik

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Horizontal	Regangan Vertikal
(1)	(2)	(3)	(4)
1	0.00	5,02E-04	5,35E-04
	4.99	5,10E-04	7,66E-04
	5.00	5,12E-04	7,69E-04
	35.00	3,99E-04	5,06E-04
	35.01	3,98E-04	7,52E-04
2	0.00	2,68E-04	9,90E-05
	4.99	2,72E-04	6,26E-05
	5.00	2,73E-04	6,27E-05
	35.00	4,32E-04	5,43E-04
	35.01	4,32E-04	8,06E-04

Tabel 10. Rekapitulasi regangan maksimum

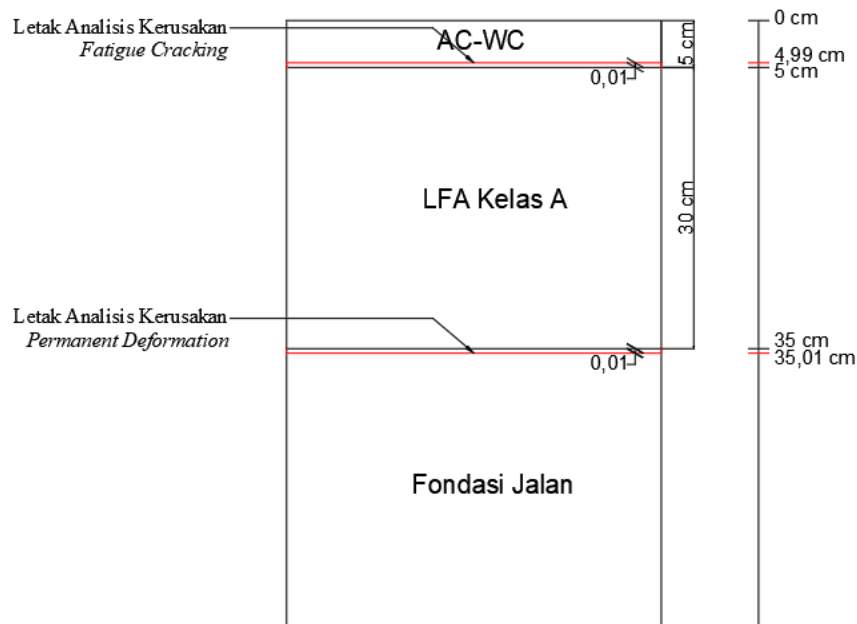
Koordinat	Regangan Horizontal di 4,99 cm	Regangan Vertikal di 35,01 cm	Satuan
(1)	(2)	(3)	(4)
1	5,10E-04	7,52E-04	Strain
2	2,72E-04	8,06E-04	
Max	5,10E-04	8,06E-04	
	509,50	806,40	Microstrain

Total nilai repetisi beban yang diijinkan berfungsi sebagai control pada *fatigue cracking* berdasarkan nilai regangan tarik di 4,99 cm dari permukaan perkerasan lentur atau di bawah lapisan asphalt concrete (AC) yaitu:

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{SF}{RF} \times \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{E_{mix}^{0,36} \times \mu \epsilon} \right]^5 \\
 &= \frac{6}{3,9} \times \left[\frac{6918 \times (0,856 \times 11,5 + 1,08)}{1100^{0,36} \times 509,60} \right]^5 \\
 &= 370.399 \text{ CESAL}^5
 \end{aligned}$$

Total nilai repetisi beban ijin yang berfungsi sebagai control pada kerusakan (Gambar 5) akibat *permanent deformation* dengan menggunakan nilai regangan tekan vertikal maksimum di 35,01 cm dari permukaan perkerasan lentur atau di bagian atas subgrade yaitu:

$$\begin{aligned}
 N &= \left[\frac{9300}{\mu \epsilon} \right]^7 \\
 &= \left[\frac{9300}{806,40} \right]^7 \\
 &= 27.134.824 \text{ CESAL}^7
 \end{aligned}$$



Gambar 5. Titik kerusakan yang ditinjau

Setelah mendapatkan nilai kerusakan berdasarkan pembebanan yang berasal dari *output* program KENPAVE maka dapat diuraikan untuk menghitung umur sisa dari perkerasan selama umur rencana dengan Persamaan 4. Berikut contoh perhitungan umur sisa layan:

$$RL \text{ Fatigue} = \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}} \right) \times 100\% = \left(1 - \frac{40.148,05}{370.399} \right) \times 100\% = 89,16\%$$

$$RL\ Deformation = \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{36.066,31}{27.134.824}\right) \times 100\% = 99,87\%$$

Penentuan umur rencana secara mekanistik empiris dapat dilihat pada Tabel 11, rekapitulasi nilai kumulatif beban dan umur sisa layan lapis perkerasan tiap tahunnya.

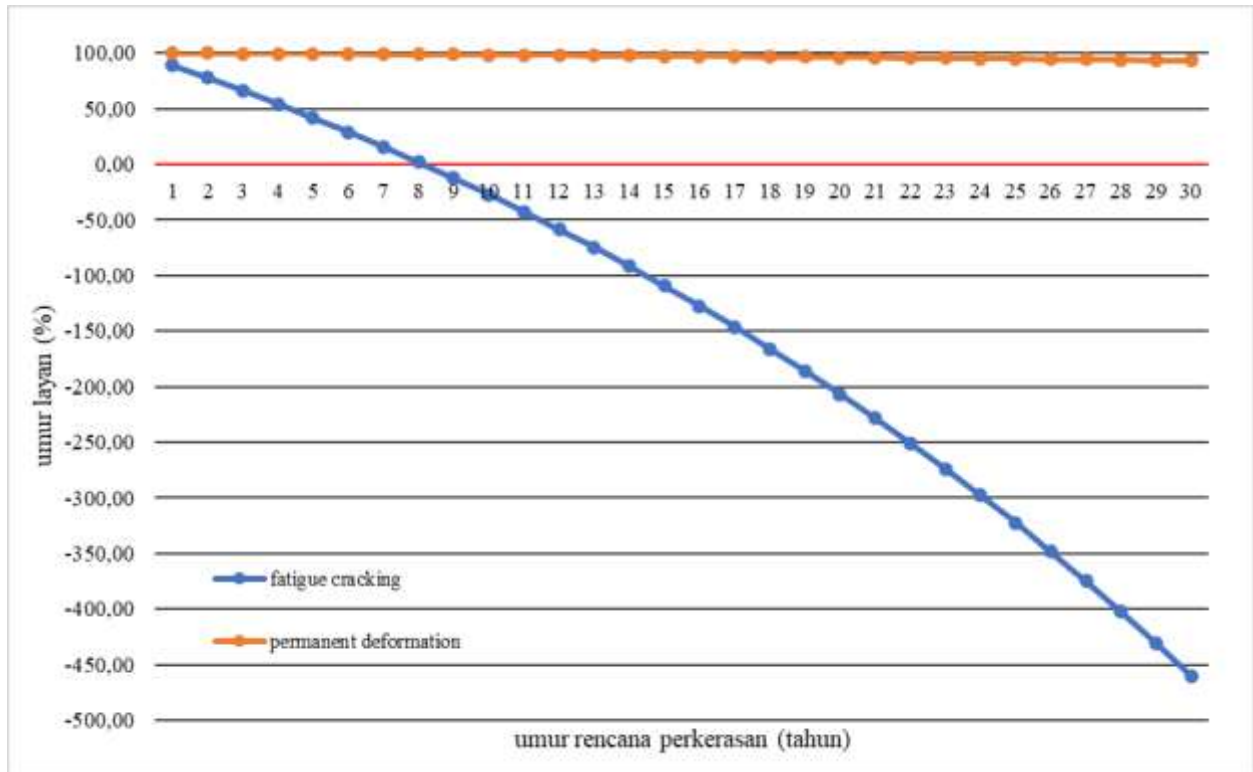
Tabel 11. Umur rencana lapisan perkerasan metode mekanistik empiris

Tahun ke-	Fatigue Cracking		Permanent Deformation	
	Beban (CESAL5)	RL Fatigue (%)	Beban (CESAL7)	RL Deformation (%)
1	40.148	89,15	36.066	99,87
2	81.701	77,92	73.395	99,73
3	124.709	66,30	112.030	99,59
4	169.222	54,27	152.017	99,44
5	215.293	41,82	193.404	99,29
6	262.976	28,93	236.240	99,13
7	312.328	15,60	280.575	98,97
8	363.408	1,79	326.461	98,80
9	416.275	-12,50	373.953	98,62
11	527.625	-42,59	473.983	98,25
12	586.240	-58,43	526.639	98,06
13	646.907	-74,82	581.138	97,86
14	709.696	-91,79	637.544	97,65
15	774.684	-109,35	695.924	97,44
16	841.946	-127,53	756.348	97,21
17	911.562	-146,34	818.886	96,98
18	983.615	-165,82	883.614	96,74
19	1.058.189	-185,97	950.606	96,50
20	1.135.374	-206,83	1.019.944	96,24
21	1.215.260	-228,42	1.091.708	95,98
22	1.297.942	-250,76	1.165.984	95,70
23	1.383.518	-273,89	1.242.860	95,42
24	1.472.089	-297,82	1.322.427	95,13
25	1.563.761	-322,60	1.404.778	94,82
26	1.658.640	-348,24	1.490.011	94,51
27	1.756.841	-374,78	1.578.228	94,18
28	1.858.478	-402,24	1.669.532	93,85
29	1.963.673	-430,67	1.764.032	93,50
30	2.072.550	-460,09	1.861.840	93,14

Berdasarkan analisis umur rencana lapis perkerasan terhadap sisa umur layan (*remaining life*), diketahui bahwa pekerasan mencapai kondisi sisa umur layan 0% atau dikatakan sudah mengalami kerusakan *fatigue cracking* pada umur pelayanan >8 tahun (Gambar 6). Pada saat tersebut, nilai beban lalu lintas kumulatif yang diterima telah melampaui kemampuan perkerasan dalam menahan beban, yaitu 370.399 CESAL⁵. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa lapis perkerasan tidak mencapai umur rencana 20 tahun terhadap kerusakan *fatigue cracking* sesuai ketentuan MDPJ 2024, berdasarkan asumsi pertumbuhan lalu lintas tahunan sebesar 3,5%. Sedangkan kemampuan lapisan perkerasan terhadap kerusakan *Permanent Deformation*, beban lalu lintas lebih kecil dari kemampuan perkerasan dalam menahan beban sebesar 27.134.824 CESAL⁷, dapat dikatakan perkerasan lentur mampu menahan *permanent deformation* selama umur rencana.

Rekomendasi desain tebal perkerasan lentur

Hasil analisis empiris maupun mekanistik empiris cenderung mendapatkan hasil umur rencana tidak tercapai yakni 20 tahun berdasarkan ketentuan MDPJ 2024, sehingga perlu dilakukannya rekomendasi desain tebal perkerasan. Rekomendasi di lokasi penelitian ini sebaiknya disesuaikan dengan kondisi eksisting (LFA Kelas A 30 cm) dan lapis AC-WC dengan volume bitumen 11,5% guna memperkuat kemampuan desain yang sudah ada dalam menahan beban sekaligus mempertimbangkan aspek ekonomis.



Gambar 6. Grafik penurunan umur rencana lapis permukaan metode mekanistik empiris

1. Rekomendasi desain tebal perkerasan metode empiris

- o Menghitung akumulasi beban sumbu standar

$$Wt = W_{18} = w_{18} \frac{(1 + g)^n - 1}{g} = 48.826 \frac{(1 + 0,035)^{20} - 1}{0,035} = 1.104.617$$

$$\log(W_{18}) = 6,04321$$

- o Menghitung Nilai Angka Struktural

$$\log(w_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{IP_0 - IP_f} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} M_R - 8,07$$

$$6,04321 = -1,282 \times 0,4 + 9,36 \times \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{1,7}{4,2 - 1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} 29000 - 8,07$$

$$SN1 = 2,06$$

dengan perhitungan yang sama didapat, SN2 = 2,49 dan SN3 = 3,27

- o Menentukan Tebal Lapis Perkerasan, Tebal Perkerasan Berdasarkan Kondisi Eksisting (AC-WC 5 cm dan LFA Kelas A 30 cm)

$$D_{LFA-A} = 30 \text{ cm} = 11,81 \text{ inch}$$

$$\begin{aligned} SN_{LFA-A} &= a_{LFA-A} \times D_{LFA-A} \\ &= 0,135 \times 11,81 \\ &= 1,59 \end{aligned}$$

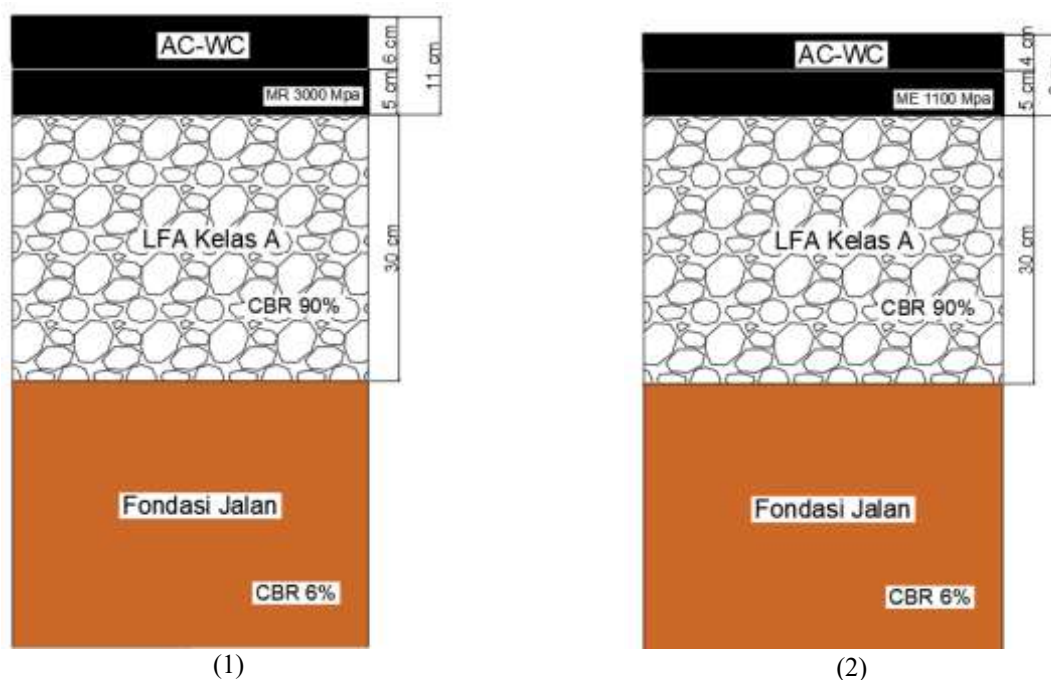
$$\begin{aligned} SN1 &= SN3 - SN2 \\ &= 3,27 - 1,59 \\ &= 1,68 \end{aligned}$$

$$D_{AC-WC} = \frac{SN1}{a_{AC-WC}} = \frac{1,68}{0,4} = 4,2 \text{ inch} = 11 \text{ cm (penambahan tebal AC-WC 6 cm)}$$

2. Rekomendasi desain tebal perkerasan metode mekanistik empiris

Dengan menggunakan parameter yang sama pada analisis umur rencana yang sudah dilakukan pada metode mekanistik empiris sebelumnya, maka dilakukan analisis rekomendasi desain tebal perkerasan menggunakan program KENPAVE dan dirunning berdasarkan kondisi eksisting (LFA Kelas A 30). Pada rekomendasi ini, dilakukan uji coba dengan variasi ketebalan lapis AC-WC sebesar 6 cm, 7 cm, 8 cm, 9 cm, 10 cm, dan 11 cm. Berdasarkan hasil percobaan tebal perkerasan yang paling optimal berdasarkan kemampuan perkerasan dan faktor ekonomis, adalah lapis AC-WC setebal 9 cm (penambahan tebal AC-WC 4 cm) dan LFA Kelas A 30 cm dengan kemampuan 1.257.554 CESAL⁵ dimana lebih besar dibandingkan beban lalu lintas umur rencana 20 tahun yakni 1.135.374 CESAL⁵.

Hasil Rekomendasi desain perkerasan Metode Empiris dan mekanistik empiris dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rekomendasi desain metode empiris (1) dan mekanistik empiris (2)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Beban lalu lintas berupa ESAL pada lokasi penelitian dikategorikan memiliki beban lalu lintas rendah ($1.135.374 < 2$ Juta CESAL⁵). umur rencana lapis perkerasan terhadap sisa umur layan (*remaining life*), diketahui bahwa perkerasan mencapai kondisi sisa umur layan 0% atau dikatakan sudah mengalami kegagalan (*failure*) pada umur pelayanan 7,3 tahun. Sedangkan pada lapis permukaan pada umur pelayanan 2,7 bulan. Analisis mekanistik empiris menunjukkan umur rencana lapis perkerasan terhadap sisa umur layan (*remaining life*), diketahui bahwa pekerasan mencapai kondisi sisa umur layan 0% atau dikatakan sudah mengalami kerusakan *fatigue cracking* pada umur pelayanan >8 tahun. Sedangkan terhadap kerusakan *Permanent Deformation*, perkerasan mampu menahan beban > 30 tahun. Berdasarkan ketentuan umur rencana yang ditetapkan dalam MDPJ 2024, yaitu 20 tahun, hasil analisis menunjukkan bahwa struktur eksisting belum memenuhi persyaratan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan rekomendasi perbaikan desain tebal perkerasan. Rekomendasi di lokasi penelitian ini sebaiknya disesuaikan dengan kondisi eksisting (LFA Kelas A 30 cm) dan lapis AC-WC dengan volume bitumen 11,5% guna memperkuat kemampuan desain yang sudah ada dalam menahan beban sekaligus mempertimbangkan aspek ekonomis. Berdasarkan rekomendasi pada metode empiris (AASHTO 1993) yaitu dengan penambahan lapis AC-WC sebesar 6 cm, sedangkan pada metode mekanistik empiris (KENPAVE) dengan penambahan lapis AC-WC sebesar 4 cm untuk memenuhi target umur rencana tersebut. Analisis metode mekanistik-empiris pada model viskoelastis sebaiknya menggunakan data modulus statik (E_1 dan E_0) yang diperoleh dari pengujian sebelumnya, dengan mempertimbangkan temperatur serta jenis aspal yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiman, E. Y., & Yuda Pranata, A. (2024). Analisis desain perkerasan lentur berdasarkan MDPJ 2017 menggunakan metode mekanistik empiris pada program Kenpave. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(2), 651–662. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i2.26800>
- Arief, M. M. (2023). *Analisis perencanaan tebal perkerasan jalan provinsi berdasarkan manual desain perkerasan*

- (MDP) 2017 (*studi kasus: Jalan Airan Raya, Way Hui, Lampung*) [Skripsi, Universitas Lampung]. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/73144>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Pedoman desain geometrik jalan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Florez, S., Fausty, J., Alvarado, K., Murgas, B., & Bernacki, M. (2021). A 2d front-tracking lagrangian model for the modeling of anisotropic grain growth. *Materials*, 14(15), 4219.
- Harnaeni, S. R., Pramesti, F. P., Budiarto, A., Setyawan, A., Khan, M. I., & Sutanto, M. H. (2020). Study on structural performance of asphalt concrete and hot rolled sheet through viscoelastic characterization. *Materials*, 13(5), 1133. <https://doi.org/10.3390/ma13051133>
- Highway Subcommittee on Design. (1993). *Guide for design of pavement structure* (AASHTO 1993). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (edisi kedua). Pearson Education, Inc.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). *Pedoman perancangan tebal perkerasan lentur* (Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2013).
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2024). *Manual desain perkerasan jalan* (MDPJ 2024).
- Mackiewicz, P., & Szydło, A. (2019). Viscoelastic parameters of asphalt mixtures identified in static and dynamic tests. *Materials*, 12(13), 2084.
- Nastiti, N. (2024). *Evaluasi desain struktur perkerasan lentur dengan pemodelan elastik dan viskoelastik: Studi kasus pada ruas Jalan Siulak Deras – Batas Sumatera Barat (Sta. 4+600)* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia]. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/52409>
- Nasution, S. (2023). Perbandingan perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode AASHTO 1993 dan manual desain perkerasan jalan 2017 ruas Jalan Baruah Gunuang Puskesmas Baruah Gunuang Kabupaten Lima Puluh Kota. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 1–19.
- Permata, D. Y., Subagio, B. S., & Ayuningtyas, K. N. S. (2022). Performance of resilient modulus (SMix) and dynamic modulus ($|E^*|$) on asphalt concrete – wearing course (AC-WC) using pen 60/70 asphalt and styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(2), 655–660.
- Sharah, G. (2023). *Perencanaan ulang tebal perkerasan lentur menggunakan metode bina marga 2017 dan AASHTO 1993 Jl. Kh. Ahmad Dahlan Kota Payakumbuh* [Tesis, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat]. <http://eprints.umsb.ac.id/id/eprint/2307>
- Suaryana, N., Subagio, B. S., Kosasih, D., & Sjahdanulirwan, S. (2014). Pengembangan model korelasi antara modulus resiliensi dengan modulus dinamis untuk campuran stone matrix asphalt. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(2), 171.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan tebal struktur perkerasan lentur*. Nova.