

STUDI PENINGKATAN PERKERASAN LENTUR (*FLEXIBLE PAVEMENT*) MENGUNAKAN METODE BINA MARGA 2024 PADA RUAS JALAN NASIONAL III JAWA TIMUR

Muhammad Iqbal Fachrudin¹, Anang Bakhtiar² dan Gilang Ramadan Kololikiye³

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22001051061@unisma.ac.id

² Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: anang.bakhtiar@unisma.ac.id

³ Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: gilangft@unisma.ac.id

ABSTRACT

National Road Section III has been experiencing a steady increase in motorized vehicle activity over recent years. Despite this, the existing roadway does not align with the standard geometric design criteria for connector roads, particularly in terms of accommodating larger vehicles, due to its limited width of approximately 4.3 to 4.5 meters. To overcome these deficiencies and improve traffic capacity, road widening is proposed using a flexible pavement system. The design, developed using the 2024 Bina Marga method, yields a CESA5 traffic load estimate of 18,817,027.305 ESAL for a road width of 11 meters. Under the ESA load range of >5–10 million, the pavement structure includes: 4 cm of AC-WC, 6 cm of AC-BC, two layers of 8 cm AC-Base, 20 cm LPA Class A, 15 cm LPA Class B, and 20 cm of selected embankment material. Further structural analysis using the KENPAVE software indicates the pavement can resist a fatigue load of 371,315,046.098 ESAL at a depth of 25.99 cm, rutting of 75,833,597.243 ESAL, and permanent deformation of 54,040,482.100 ESAL at 61.01 cm. The estimated total cost for implementing this pavement design is Rp. 105,832,239,000.00. These findings demonstrate that the proposed pavement configuration meets durability and performance standards suitable for high-volume traffic corridors.

Keywords : Bina Marga 2024, KENPAVE Application, Flexible Pavement

1. LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan memegang peran penting dalam memperkuat konektivitas antarwilayah, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Infrastruktur jalan yang memadai dapat menunjang aktivitas ekonomi dan mobilitas masyarakat secara luas [1]. Seiring meningkatnya aktivitas harian masyarakat, pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor juga mengalami peningkatan signifikan setiap tahun. Kondisi ini berdampak pada tingginya volume lalu lintas serta beban kendaraan yang melewati ruas jalan, sehingga menimbulkan tekanan berlebih pada struktur perkerasan. Akibatnya, jalan menjadi lebih rentan terhadap kerusakan dan menurunkan

kenyamanan serta keselamatan pengguna jalan.

Salah satu ruas jalan yang mengalami kondisi tersebut adalah Jalan Nasional III, yang terbagi menjadi empat segmen: STA 43+950 – 44+367, STA 47+070 – 53+380, STA 53+960 – 58+210, dan STA 58+960 – 60+250. Jalan sepanjang 12,267 km ini berfungsi sebagai jalur alternatif yang menghubungkan wilayah barat dengan akses utama. Berdasarkan kondisi eksisting, lebar badan jalan berada pada kisaran 4,3 - 4,5 meter..

Perencanaan ketebalan lapisan perkerasan lentur dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan acuan dari Metode Bina Marga edisi 2024. Untuk menunjang analisis struktur jalan, digunakan pula perangkat lunak KENPAVE. Selain itu, disusun Rencana Anggaran

Biaya (RAB) untuk mengestimasi kebutuhan biaya peningkatan jalan secara menyeluruh. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh solusi teknis yang tepat, ekonomis, dan aplikatif dalam peningkatan kinerja jalan pada ruas tersebut.

1.2 Identifikasi Masalah

- 1. Terjadinya kerusakan jalan akibat beban kendaraan berlebih dan meningkatnya jumlah kendaraan yang menyebabkan tingkat pelayanan jalan menurun, kondisi ini mengakibatkan eksisting jalan tidak lagi mampu menampung arus lalu lintas harian, sehingga diperlukan peningkatan lebar dan struktur jalan.
- 2. Pada ruas jalan Nasional III memiliki eksisting jalan yang berkisar antara 4,3 – 4,5 meter, sehingga jalan tersebut tidak memenuhi standar jalan Arteri Primer dengan lebar jalan ≥ 7 meter.
- 3. Kondisi perkerasan jalan yang sudah melewati umur rencana mengakibatkan deformasi permanen dan kerusakan.

1.3 Rumusan Masalah

- 1. Berapakah total beban lalu lintas kumulatif yang setara dengan sumbu standar (CESA) selama masa umur rencana pada Ruas Jalan Nasional III?
- 2. Berapakah ketebalan lapisan perkerasan lentur pada Ruas Jalan Nasional III berdasarkan perhitungan menggunakan Metode Bina Marga 2024?
- 3. Bagaimana hasil evaluasi aplikasi menggunakan aplikasi *KENPAVE* terhadap tebal lapis perkerasan lentur di ruas jalan Nasional III?
- 4. Berapa Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan perkerasan lentur pada ruas jalan Nasional III?

1.4 Batasan Masalah

- 1. Menggunakan Aplikasi *KENPAVE* sebagai kontrol hasil tebal lapis perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2024.
- 2. Pada ruas jalan Nasional III terbagi dalam 4 segmen, yaitu :
 - Segmen 1 : Km. 43+950 – Km. 44+367
 - Segmen 2 : Km. 47+070 – Km. 53+380

- Segmen 3 : Km. 53+960 – Km. 58+210
 - Segmen 4 : Km. 58+960 – Km. 60+250
- 3. Tidak menghitung drainase dan geometrik jalan.
 - 4. Tidak menghitung dinding penahan tanah dan perkerasan bahu jalan.
 - 5. Tidak membahas RAB untuk pelaksanaan pekerjaan drainase, dan dinding penahan tanah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Jalan raya merupakan hasil rekayasa manusia berupa jalur di atas permukaan tanah yang dirancang dengan bentuk, dimensi, serta jenis konstruksi tertentu, sehingga mampu menopang dan mengalirkan beban kendaraan yang melintasinya [2]. Sementara itu, perkerasan jalan merupakan suatu struktur berlapis yang menjadi bagian integral dari badan jalan, yang berfungsi untuk menanggung beban lalu lintas dan mendistribusikannya secara aman serta merata ke lapisan tanah dasar di bawahnya.

2.2. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Secara umum, perkerasan lentur lebih cocok diterapkan pada jalan yang menerima beban lalu lintas ringan hingga sedang. Jenis perkerasan ini sering digunakan pada jalan-jalan di kawasan perkotaan, jalur dengan sistem utilitas yang berada di bawah permukaan perkerasan, bahu jalan, maupun pada konstruksi jalan yang dibangun secara bertahap.

2.3. Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2024

1. Umur Rencana

Tabel 1. Umur Rencana Perkerasan Jalan (Ur)

Jalan Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Perkerasan Lentur	Lapis aspal dan lapisan berbutir	20
	Lapis Fondasi Jalan	40
	Semua lapisan perkerasan diizinkan sering ditinggalkan akibat pelapisan ulang, misal : jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan dan terowongan.	
	Lapis Fondasi Berpengikat Semen, <i>Cement treated based</i> (CTB).	
Perkerasan Kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen dan pondasi jalan.	10
Jalan tanpa penutup	Semua Elemen (termasuk fondasi jalan)	

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

Umur rencana merupakan jangka waktu dalam satuan tahun yang dimulai sejak jalan pertama kali dioperasikan hingga saat diperlukan rehabilitasi besar atau pelapisan ulang permukaan jalan.

Dalam mendesain suatu tebal lapis perkerasan lentur dibutuhkan data-data sebagai berikut:

1. Data Lalu Lintas.

Berikut persamaan untuk mencari lalu lintas harian rata-rata (LHRT):

$$LHR = LHR_0 (1 + i)^n \dots\dots\dots (1)$$

2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas.

Tabel 2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%) Minimum Untuk Desain Perkerasan.

Kelas Jalan	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan (%)	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural (%)	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa (%)	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

Proyeksi pertumbuhan lalu lintas selama masa umur layan dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$R = \frac{1+0,1i^{UR}-1}{0,1i} \dots\dots\dots (2)$$

3. Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Pada jalan raya dengan sistem dua arah, faktor distribusi arah (DD) biasanya ditetapkan sebesar 0,50, kecuali pada situasi tertentu di mana jumlah kendaraan niaga secara signifikan lebih banyak di salah satu arah [3].

Di sisi lain, faktor distribusi lajur (DL) digunakan untuk menyesuaikan akumulasi beban sumbu ekivalen (ESA) pada ruas jalan yang memiliki dua atau lebih lajur dalam satu arah. Nilai dari faktor ini ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Faktor Distribusi Kendaraan (DL)

Jumlah Lajur Tiap Arah	Kendaraan Niaga Pada Lajur Desain (%) Terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga)

2. Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas yang didesain pada lajur desain umur

rencana, yang ditentukan dengan persamaan berikut:

$$ESA = \sum_{jenis\ kendaraan} LHRT \times VDF \dots\dots\dots (3)$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R \dots\dots\dots (4)$$

3. Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan tipe struktur perkerasan harus disesuaikan dengan perkiraan volume lalu lintas, umur layan perencanaan, serta kondisi lapisan pondasi jalan. Rincian pemilihan jenis perkerasan disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Desain	ESA 5 (juta) dalam 20 tahun				
		0-1	1-4	4-10	>10-30	>30
AC modifikasi	3, 3A, 3B	-	-	-	-	2
AC dengan CTB					2	-
AC dengan lapis fondasi agregat					-	2
AC dengan lapis fondasi agregat	3, 3A, 3B	-	1,2	1,2	2	-
HRS tipis di atas lapis fondasi agregat	4	2	2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan lapis fondasi agregat	5	3	3	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi <i>Soil Cement</i>	6	2	2	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi agregat dan perbaikan tanah dasar (dengan stabilisasi semen)	7	2	2	-	-	-
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	8	-	-	-	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah	8A	-	-	1,2	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat dan jalan kerikil	9	1	-	-	-	-

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

4. Desain Pondasi Jalan

Nilai CBR_{segmen} yang diperoleh melalui metode grafis merupakan nilai persentil ke-90 dari seluruh data CBR dalam satu segmen. Artinya, CBR_{segmen} adalah nilai CBR di mana 90% data dalam segmen tersebut memiliki nilai lebih besar dari nilai tersebut.

Tabel 5. Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah dasar (%)	Kelas kekuatan tanah dasar	Uraian struktur fondasi	Perkerasan lentur		Perkerasan kaku
			Beban lalu lintas pada jalur rencana dengan unsur rencana 40 tahun (juta ESAS)		
			<10	>10	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar (mm)		
5	SG5	Perbaikan tanah dengan material timbunan pilihan (CBR≥10%)	200	200	200
4	SG4		300	400	400
3	SG3			600	600
2,5	SG2,5				
Kekuatan tanah dasar <2,5% atau tanah lunak			Untuk tebal tanah lunak > 1 m harus ditangani dengan penanganan geoteknik, sedangkan untuk ketebalan ≤ 1 m dapat diganti tanah timbunan dengan tebal minimum yang sama dengan ketentuan dan berlaku untuk tanah SG2,5 Bagan Desain ini.		
Tanah ekspansif			Penanganan sesuai dengan kajian geoteknik terhadap besaran potensi pemuain dengan ketebalan penutup tidak kurang dari 600 mm berupa material dengan potensi pemuain tidak lebih besar dari 1,5%. Di atas lapis penutup tersebut harus ditambahkan lapis perbaikan SG2,5		

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

Tabel 6. Bagan Desain 3A desain Perkerasan Lentur -aspal dengan lapis fondasi agregat

	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 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
AC- BASE ⁽³⁾	-	80	80	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	100	80	85	100	100	80
	-	-	-	-	80	100	100	100	80
Lapis Fondasi Agregat Kelas A ⁽⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	90
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽⁵⁾	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	-	-	200	200	200	200	200	200	200

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

5. Desain Tebal Perkerasan

Pada prinsipnya, perhitungan ketebalan perkerasan lentur didasarkan pada nilai beban sumbu ekivalen kumulatif (CESAL) selama umur rencana. Ketebalan struktur perkerasan tersebut kemudian ditentukan dengan mengacu pada Bagan Desain 3A sesuai pedoman Bina Marga 2024.

2.4. Program Aplikasi Kenpave

KENPAVE adalah perangkat lunak perencanaan perkerasan jalan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H. Huang, seorang *Profesor Emeritus* Teknik Sipil dari *University of Kentucky*. Salah satu modul dalam program ini, yaitu *KENLAYER*, digunakan untuk menganalisis rasio kerusakan perkerasan dengan pendekatan model respons tegangan. Model ini mengevaluasi kinerja struktur perkerasan melalui dua parameter utama, yaitu retak (*cracking*) dan deformasi (*deformation*) [4].

1. Fatigue Cracking (Nd)

Fatigue cracking merupakan bentuk kerusakan yang timbul pada lapisan permukaan perkerasan sebagai akibat dari akumulasi tegangan berulang yang terjadi.

$$N_f = 0,0796 \cdot (\epsilon_t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854} \dots\dots\dots (5)$$

2. Rutting (Nd)

Untuk menjaga keselamatan lalu lintas, terutama pada kecepatan tinggi, kedalaman alur maksimum akibat *rutting* harus dikendalikan agar tidak menimbulkan potensi bahaya bagi pengguna jalan.

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5} \dots\dots\dots (6)$$

3. Permanent Deformation (Nf)

Deformasi permanen dapat terjadi pada setiap lapisan dalam struktur perkerasan, sehingga membuat proses prediksi kerusakan menjadi lebih kompleks dibandingkan dengan retak leleh (*fatigue cracking*).

$$N_d = f_4(\epsilon_d)^{-f_5} \dots\dots\dots (7)$$

2.5. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) dilakukan dengan mengacu pada beberapa standar dan pedoman yang berlaku, yaitu Standar Satuan Harga Bahan, Peralatan, dan Upah Tahun 2024 untuk Jawa Timur.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada ruas jalan Nasional III yang menghubungkan Kabupaten Malang dan Kabupaten Lumajang sepanjang 12,417 km.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Sumber: www.google.com, 2024

3.2 Letak Geografis

Secara geografis, Kabupaten Lumajang berbatasan dengan wilayah-wilayah sebagai berikut:

- Sebelah utara: Kabupaten Probolinggo
- Sebelah timur: Kabupaten Jember
- Sebelah selatan: Samudera Hindia
- Sebelah barat: Kabupaten Malang

Kabupaten ini terdiri atas sejumlah kecamatan, dengan total 198 desa dan 7 kelurahan.

3.3 Pengumpulan Data

a. Data LHR

1. Repetisi Beban Lalu Lintas
2. Perhitungan Kapasitas Jalan
3. Tebal Lapis Permukaan

b. Data Tanah

1. Menentukan daya dukung tanah

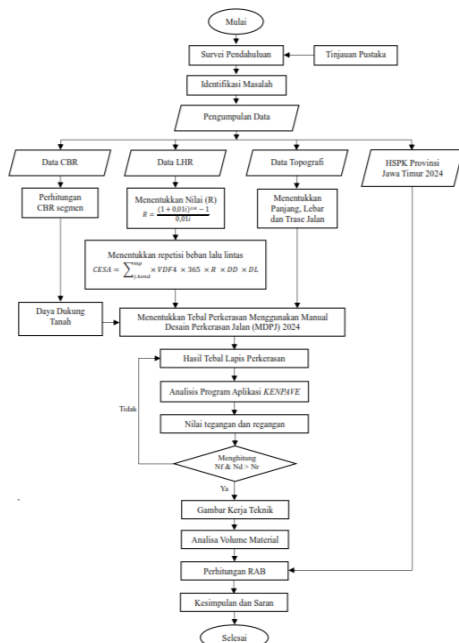
c. Data Topografi

1. Mengetahui Lokasi Studi
2. Menentukan perencanaan dibagi menjadi berapa segmen
3. Gambar Kerja Teknik (DED)

d. Data RAB

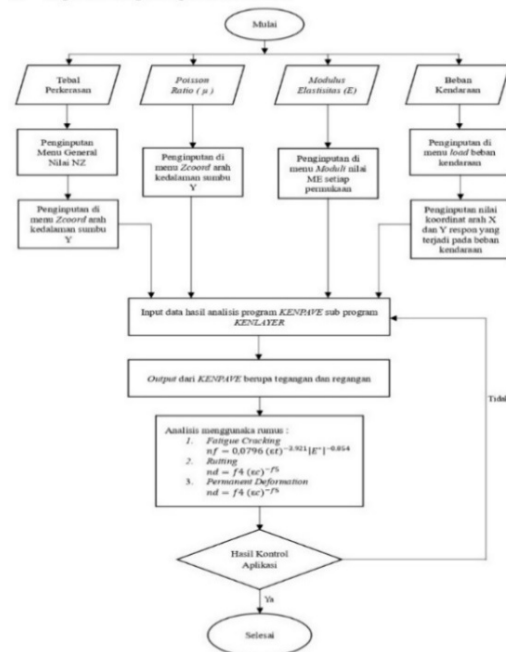
1. Daftar harga satuan bahan, upah, dan peralatan
2. Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

3.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian
Sumber: Hasil Perhitungan

3.5 Bagan Alir Aplikasi



Gambar 3 Bagan Alir Aplikasi
Sumber: Hasil Perhitungan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Lalu Lintas

Data lalu lintas harian pada ruas jalan Nasional III yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Lumajang selama periode 2020 hingga 2024 menjadi dasar dalam analisis perhitungan lalu lintas.

Tabel 7. Rekapitulasi Data Lalu Lintas Jl. Nasional III

Jenis kendaraan	LHRT 2020	LHRT 2021	LHRT 2022	LHRT 2023	LHRT 2024
Sepeda Motor (MC)	6029	6193	6780	6931	6789
Sedan, Jeep (LV)	1454	1491	1551	1664	1772
Bus Kecil (MHV)	785	793	804	815	849
Bus Besar (LB)	381	379	385	390	390
Truk 2 sumbu-ringan	1265	1344	1347	1355	1578
truk 3 sumbu-ringan	847	914	924	1071	1153
truk 2 sumbu- dan trailer penarik	232	364	383	434	542
truk 4 sumbu- trailer	3	2	4	5	4
Jumlah	10994	11479	12176	12663	13075

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga Kab. Lumajang)

Umur rencana (n) = 20 tahun

Tahun evaluasi jalan = 2024

Tahun akhir rencana = 2043

Perhitungan lalu lintas menggunakan rumus:

$$LHR_{2021} = LHR_{2020} (1 + i)^n$$

$$i = \left(\frac{11478,5}{10994} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 = \left(\frac{11478,5}{10994} \right)^{\frac{1}{1}} - 1$$

$$= 0,04407 \times 100\% = 4,407\%$$

Untuk hasil perhitungan pertumbuhan lalu lintas selanjutnya ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 8. Hasil Perhitungan Lalu Lintas 2020-2024

No	Tahun	Jumlah LHR	i
1.	2020	10.994	
2.	2021	11.478,5	4,407%
3.	2022	12.176	6,077%
4.	2023	12.663	4,000%
5.	2024	13.075	3,254%
Jumlah			17,737%
Rerata			4,434%

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)

Berikut spesifikas kendaraan yang melintas di jalan tersebut.

Tabel 9. Klasifikasi Kendaraan

Jenis Kendaraan	Klasifikasi Kendaraan
Sepeda Motor	1
Sedan, Jeep	2,3,4
Bus Kecil	5A
Bus Besar	5B
Truk 2 sumbu-ringan	6A
Truk 2 sumbu-Sedang	6B
truk 3 sumbu-berat	7A1
truk 4 sumbu- berat	7C1

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga hal 4:5, 2024)

4.2 Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2024

1. Menentukan Nilai VDF (*Vechine Damage Factor*)

Tabel 10. Nilai Vdf (*Vechine Damage Factor*) Jawa Timur Jalan Penghubung Lintas Pulau Jawa

Kelas Kendaran	VDF4		VDF 5	
	Faktual	Normal	Faktual	Normal
5B	1,2	1,2	1,3	1,3
6A	0,5	0,5	0,4	0,4
6B	1,1	0,3	1,4	0,3
7A1	4,6	2,5	6,3	2,8
7A2	6,0	3,4	9,5	4,3
7A3	-	-	-	-
7B1	2,5	1,5	3,5	1,6
7B2	7,1	5,0	9,1	5,7
7B3	-	-	-	-
7C1	10,7	7,4	15,3	9,5
7C2A	6,4	5,1	9,1	6,5
7C2B	5,3	3,8	8,4	5,1
7C3	8,8	6,1	13,5	8,2
7C4	-	-	-	-

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga hal H:7, 2024)

2. Menentukan dimulainya operasi jalan (Tahun 2025) dan beban terkendali (Tahun 2028)

Berikut contoh perhitungan dimulainya operasi jalan (Tahun 2025) dan beban terkendali (tahun 2028) :

- Perhitungan lalu lintas pada saat dimulainya operasi jalan pada tahun 2025 (1 setelah 2024)

$$LHR_{2025} = 6789 \left(1 + \frac{4,80}{100}\right)^1$$

= 7114 *kend/hari* (tergantung jenis

kendaraan)

- Perhitungan lalu lintas pada saat periode beban sudah terkendali pada tahun 2028 (4 tahun dari 2024)

$$LHR_{2028} = 6789 \left(1 + \frac{4,80}{100}\right)^4$$

= 8189 *kend/hari* (tergantung jenis kendaraan)

Tabel 11. Tabel rekapitulasi perhitungan operasi jalan dan beban terkendali

LHR 2024	LHR 2025	LHR 2028
6789	7114	8189
1772	1857	2137
849	890	1024
390	408	470
1578	1653	1903
1153	1208	1391
542	568	654
4	4	5

(Sumber: Hasil Perhitungan)

3. Menentukan Faktor Penggali Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

Tingkat pertumbuhan lalu lintas dinyatakan dalam bentuk persentase per tahun (%/tahun), dan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

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

- Beban Faktual CESA5 (3 Tahun)

$$R_{(2024-2026)} = \frac{(1+0,01 \times 4,80)^3 - 1}{0,01 \times 4,80} = 3,15$$

- Beban Normal CESA5 (17 Tahun)

$$R_{(2027-2043)} = \frac{(1+0,01 \times 4,80)^{17} - 1}{0,01 \times 4,80} = 25,39$$

Dengan nilai I = 4,80% berdasarkan tabel 2 dan ketentuan bina marga 2024.

4. Menentukan Nilai CESA

Total kumulatif beban sumbu kendaraan pada lajur desain selama periode umur rencana ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

- CESA5 Beban Faktual 2024-2027 (3 tahun)
 $ESA = (LHR_{2025} \times VDF5) \times 365 \times R_{(2024-2027)} \times DD \times DL \times R$ (7)
5B = $408 \times 1,3 \times 365 \times 3,15 \times 0,5 \times 1,0$
= 304.702,241 ESAL
6A = $1653 \times 0,4 \times 365 \times 3,15 \times 0,5 \times 1,0$
= 379.711,887 ESAL
6B = $1208 \times 0,3 \times 365 \times 3,15 \times 0,5 \times 1,0$
= 208.149,511 ESAL
7A1 = $568 \times 2,8 \times 365 \times 3,15 \times 0,5 \times 1,0$
= 913.234,168 ESAL

$$7C1 = 4 \times 9,5 \times 365 \times 3,15 \times 0,5 \times 1,0$$

$$= 22.866,960 \text{ ESAL}$$

Total CESA5 beban faktual = 5B + 6A + 6B + 7A1 + 7C1 = 1.828.664,767 ESAL

- CESA5 Beban Normal 2027 – 2043 (17 tahun)

$$ESA = (LHR_{2028} \times VDF5) \times 365 \times R_{(2027-2043)} \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots (8)$$

$$5B = 470 \times 1,3 \times 365 \times 25,39 \times 0,5 \times 1,0$$

$$= 2.830.694,957 \text{ ESAL}$$

$$6A = 1903 \times 0,4 \times 365 \times 25,39 \times 0,5 \times 1,0$$

$$= 3.527.537,312 \text{ ESAL}$$

$$6B = 1391 \times 0,3 \times 365 \times 25,39 \times 0,5 \times 1,0$$

$$= 1.933.716,571 \text{ ESAL}$$

$$7A1 = 654 \times 2,8 \times 365 \times 25,39 \times 0,5 \times 1,0$$

$$= 8.483.978,804 \text{ ESAL}$$

$$7C1 = 5 \times 9,5 \times 365 \times 25,39 \times 0,5 \times 1,0$$

$$= 212.434,894 \text{ ESAL}$$

Total CESA5 beban normal = 5B + 6A + 6B + 7A1 + 7C1 = 16.988.362,538 ESAL

Dari Perhitungan tersebut didapatkan CESA5 Sebesar = CESA5 beban faktual + CESA5 beban normal = 18.817.027,305 ESAL.

4.3 Peningkatan Daya Dukung Tanah

1. CBR Segmen

Dari hasil pengujian CBR di 4 segmen ruas jalan Turen – Bts. Kab. Lumajang I diperoleh nilai CBR titik pengamatan seperti tabel 12, dengan menggunakan metode grafis sebagai salah satu metode perhitungan CBR segmen, sebagai berikut :

Tabel 12. Data *California Bearing Ratio* (CBR)
Segmen 1

NO	STA	CBR (%)	NO	STA	CBR (%)
1.	43+950	6,118	17.	53+380	5,736
2.	44+200	6,054	18.	53+960	5,991
3.	44+367	6,025	19.	54+460	6,025
4.	47+070	5,164	20.	54+960	6,024
5.	47+570	6,012	21.	55+460	6,014
6.	48+070	9,385	22.	55+960	5,991
7.	48+570	6,011	23.	56+460	6,116
8.	49+070	6,118	24.	56+960	6,221
9.	49+570	8,038	25.	57+460	6,221
10.	50+070	9,490	26.	57+960	6,049
11.	50+570	6,118	27.	58+210	5,532
12.	51+070	5,221	28.	58+960	5,292
13.	51+570	5,532	29.	59+460	5,164
14.	52+070	6,012	30.	59+960	4,050
15.	52+570	5,221	31.	60+250	5,221
16.	53+070	6,025	Rerata		6,071

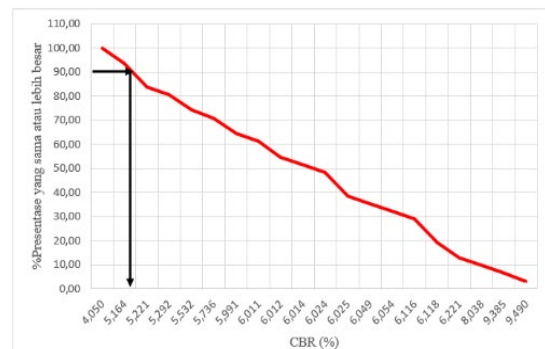
(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga Kab. Lumajang)

Berikut perhitungan metode grafis :

Tabel 13. Perhitungan persentase dari yang sama atau lebih besar

CBR (%)	Jumlah Yang Sama atau Lebih Besa	Persentase Yang Sama atau Lebih Besar
4,050	31	31/31 x 100% = 100,00
5,164	29	29/31 x 100% = 93,55
5,221	26	26/31 x 100% = 83,87
5,292	25	25/31 x 100% = 80,65
5,532	23	23/31 x 100% = 74,19
5,736	22	22/31 x 100% = 70,97
5,991	20	20/31 x 100% = 64,52
6,011	19	19/31 x 100% = 61,29
6,012	17	17/31 x 100% = 54,84
6,014	16	16/31 x 100% = 51,61
6,024	15	15/31 x 100% = 48,38
6,025	12	12/31 x 100% = 38,71
6,049	11	11/31 x 100% = 35,48
6,054	10	10/31 x 100% = 32,26
6,116	9	9/31 x 100% = 29,03
6,118	6	6/31 x 100% = 19,35
6,221	4	4/31 x 100% = 12,90
8,038	3	3/31 x 100% = 9,68
9,385	2	2/31 x 100% = 6,45
9,490	1	1/31 x 100% = 3,23

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)



Gambar Bagan Alir Penelitian

Sumber: Hasil Perhitungan

Nilai CBR pada segmen dengan kondisi 90% sebesar 5,18%. Berdasarkan Tabel 5, nilai tersebut menunjukkan bahwa diperlukan perbaikan tanah dengan ketebalan 200 mm.

4.4 Menentukan Jenis Dan Tebal Perkerasan Menurut Bina Marga

1. Pemilihan Jenis Perkerasan

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 dan merujuk pada Tabel 4, nilai tersebut termasuk dalam kategori beban lalu lintas ESA sebesar 18,8 juta, yang berada dalam rentang >15 hingga 30 juta ESA. Mengacu pada tabel pemilihan jenis struktur perkerasan pada MDPJ 2024, tipe perkerasan yang direkomendasikan untuk kategori ini

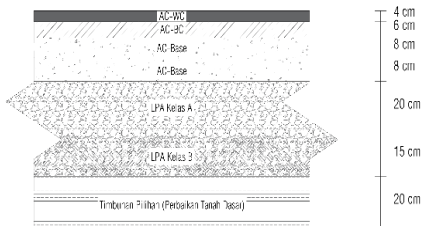
adalah perkerasan lentur (*Asphalt Concrete/AC*) dengan lapisan fondasi agregat, yang ditandai dengan kode desain 3A dan nilai desain 3A pada kolom ESA >15–30 juta

2. Menentukan Desain Tebal Perkerasan

Mengacu pada Tabel 6, ketebalan lapisan untuk struktur perkerasan lentur pada kategori beban lalu lintas ESA >15–30 juta ditetapkan sebagai berikut:

- AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*): 40 mm
- AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*): 60 mm
- AC-Base (*Asphalt Concrete – Base Course*): 80 mm
- Lapis Pondasi Agregat (LPA) Kelas A: 200 mm
- Lapis Pondasi Agregat (LPA) Kelas B: 150 mm
- Perbaikan tanah dasar: 200 mm

Struktur tersebut dirancang untuk mendukung beban lalu lintas tinggi dengan mempertimbangkan standar dari MDPJ 2024.



Gambar 4. Tebal Lapis Perkerasan
Sumber: Hasil Perhitungan

4.5 Analisa Tebal Perkerasan Menggunakan Program Kenpave

Data yang digunakan sebagai input pada aplikasi *KENPAVE* diperoleh dari nilai karakteristik material serta hasil perhitungan ketebalan perkerasan berstruktur lapis ganda. Rincian data tersebut disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 14. Karakteristik Material

Lapis Perkerasan	Modulus Elastis, E (Kpa)	Poisson Ratio, μ	Tebal Perkerasan (Cm)
AC-WC	1.100.000	0,4	4
AC-BC	1.200.000	0,4	6
AC-Base	1.500.000	0,4	8
AC-Base	1.500.000	0,4	8
LPA Kelas A	220.000	0,35	20
LPA Kelas B	170.000	0,35	15
subgrade	60.000	0,45	∞

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga hal 7:11, 2024)

Rekapitulasi hasil output dari seluruh repetisi beban pada masing-masing lapisan tebal perkerasan dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 15. Nilai *Vertical Strain* Dan *Tangential Strain*

Pengulangan beban	<i>Fatigue cracking</i> di 25,99 cm (kPa)	<i>Rutting</i> di 61,01 cm (kPa)	<i>Permanent deformation</i> di 61,01 cm (kPa)
1	0,0001468	0,0001819	0,0001856
2	0,0001545	0,0001765	0,0001962
Maksimum	0,0001545	0,0001819	0,0001962

(Sumber: Hasil *KENPAVE*)

Analisis terhadap hasil tersebut dilakukan dengan menerapkan Persamaan 5 hingga Persamaan 7, yang digunakan untuk menghitung jumlah repetisi beban melalui evaluasi terhadap retak lelah (*fatigue cracking*), penyusutan (*rutting*), dan deformasi permanen pada struktur perkerasan.

1. Menghitung nilai N_f untuk *fatigue cracking*

$$N_f = 0,0796 \cdot (\epsilon_t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854}$$

$$N_f = 0,0796 \cdot (0,0001545)^{-3,921} |1500000|^{-0,854}$$

$$N_f = 371.315.046,098 \text{ ESAL}$$

2. Menghitung nilai N_d untuk *rutting*

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001819)^{-4,477}$$

$$N_d = 75.833.597,243 \text{ ESAL}$$

3. Menghitung nilai N_d untuk *permanent deformation*

$$N_d = f_4(\epsilon_d)^{-f_5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001962)^{-4,477}$$

$$N_d = 54.040.482,100 \text{ ESAL}$$

Tabel 16. Tabel perhitungan hasil running *KENPAVE*

Beban Lalu Lintas Rencana (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Analisa Beban Lalu Lintas
18.817.027,305 ESAL	N_f	371.315.046,098 ESAL	$N_f > N_r$ (Ya)
18.817.027,305 ESAL	N_d	75.833.597,243 ESAL	$N_d > N_r$ (Ya)
18.817.027,305 ESAL	N_d	54.040.482,100 ESAL	$N_d < N_r$ (Ya)

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Berdasarkan Tabel 16, dapat disimpulkan bahwa hasil perencanaan tebal perkerasan menggunakan Metode Bina Marga 2024 mampu menahan beban rencana (N_r) sebesar 18.817.027,305 ESAL.

Tabel 17. Rekapitulasi Akhir

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Sat.	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga Satuan (Rp.)
a	b	c	d	e	f
I	Pekerjaan Perkerasan Jalan				
1	Laston Lapis Aus (AC-WC)	12.036,38	Ton	Rp.1.535.936,23	Rp. 18.487.112.695,33
2	Laston Lapis Antara (AC-BC)	18.054,57	Ton	Rp. 1.448.263,16	Rp. 26.147.769.535,90
3	Laston Lapis Fondasi (AC-Base)	28.844,96	Ton	Rp. 1.309.574,47	Rp. 37.774.624.161,42
4	Lapis Fondasi Agregat Kelas A	16.168,70	M3	Rp. 438.386,74	Rp. 7.088.143.618,65
5	Lapis Fondasi Agregat Kelas B	12.126,53	M3	Rp. 368.712,74	Rp. 4.471.204.256,20
6	Timbunan Biasa Dari Hasil Galian (Perbaikan Tanah Dasar)	16.168,70	M3	Rp. 85.072,12	Rp. 1.375.505.602,75
Sub Jumlah					Rp 95.344.359.870,24
JUMLAH					Rp 95.344.359.870,24
PPN 11%					Rp 10.487.879.585,73
TOTAL					Rp 105.832.239.455,97
PEMBULATAN					Rp 105.832.239.000,00
TERBILANG :					
<i>Seratus Lima Milyar Delapan Ratus Tiga Puluh Dua Juta Dua Ratus Tiga Puluh Sembilan Ribu Rupiah</i>					

(Sumber: Hasil Perhitungan)

4.6 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Berdasarkan tabel 17, diketahui RAB (Rencana Anggaran Biaya) dengan menggunakan metode Bina Marga 2024 dan Aplikasi KENPAVE sebesar, Rp. Rp. 105.832.239.000,00.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan CESA5, diperoleh nilai CESA sebesar 18.817.027,305 ESAL dengan mengacu pada Metode Bina Marga 2024. Salah satu faktor utama yang memengaruhi nilai CESA dalam metode ini adalah *Vehicle Damage Factor* (VDF), di mana nilai VDF ditentukan berdasarkan kondisi aktual kendaraan di Indonesia. Penentuan VDF tersebut dilakukan melalui survei *Weigh In Motion* (WIM), yaitu metode pengukuran beban sumbu kendaraan secara dinamis.
2. Nilai untuk tebal lapisan perkerasan lentur pada kondisi ESA >15-30 juta adalah sebagai berikut:
 - AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) = 4 cm
 - AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) = 6 cm
 - AC-Base (*Asphalt Concrete – Base Course*) = 8 cm
 - AC-Base (*Asphalt Concrete – Base Course*) = 8 cm
 - LPA Kelas A (Lapis Pondasi Agregat Kelas A) = 20 cm
 - LPA Kelas B (Lapis Pondasi Agregat Kelas B) = 15 cm
 - Timbunan Pilihan (Perbaikan Tanah Dasar) = 20 cm
3. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan melalui aplikasi KENPAVE, diperoleh nilai tegangan dan regangan yang menyebabkan kerusakan berupa retak leleh (*fatigue cracking/Nf*) sebesar 371.315.046,098 ESAL pada kedalaman 25,99 cm (di bawah lapisan permukaan HMA). Sementara itu, pada kedalaman 61,01 cm, diperoleh nilai kerusakan akibat *rutting* (Nd) sebesar 75.833.597,243 ESAL serta deformasi permanen (Nd) sebesar 54.040.482,100 ESAL. Berdasarkan evaluasi menggunakan KENPAVE, struktur perkerasan yang direncanakan mampu menahan beban lalu

lintas rencana (Nr) hingga 18.817.027,305 ESAL.

4. Berdasarkan hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan perkerasan lentur pada ruas Jalan Nasional III, total biaya yang dibutuhkan diperkirakan sebesar Rp 105.832.239.000,00.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan dalam kesimpulan, terdapat sejumlah rekomendasi yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian mendatang, perencanaan tebal perkerasan lentur dapat dilakukan dengan menggunakan metode alternatif seperti AUSTROADS atau NCSA.
2. Dapat menggunakan software SDPJ untuk desain perkerasan, sehingga lebih efisien dalam perencanaan.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian sisa umur layanan dengan parameter yang berbeda.
4. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum terbaru tentang Analisa harga satuan pekerjaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thasyara Nurhijriyah, Kurnia Hadi Putra, dan Theresia Maria Chandra Agusdini. 2024. "EVALUATION OF THE LEVEL OF ROAD DAMAGE IN JELIDRO II-KUWUKAN-SAMBIKEREP ROADS USING THE PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) AND BINA MARGA METHOD." *Journal Innovation of Civil Engineering (JICE)* 5 (1): 23–32.
- [2] Saputra, Krisna Wahyu Alvi, Azizah Rokhmawati, dan Anita Rahmawati. 2022 "STUDI PERENCANAAN PERKERASAN LENTUR JALAN JALUR LINTAS SELATAN (JLS) LOT9 KABUPATEN MALANG" *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 12 (1) : 80-92
- [3] Direktorat Jendral Bina Marga, 2024. "Manual-Desain-Perkerasan-Jalan-2024-MDP-2024." 2024.
- [4] Huang, Yang H. 2004. *Pavement Analysis and Design*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.