TUGAS AKHIR

PREDIKSI KERUSAKAN DAN UMUR LAYAN PERKERASAN PADA RUAS JALAN SIMPANG JAMBI–BATAS SUMATERA BARAT (*PREDICTION OF DAMAGE AND SERVICE LIFE OF PAVEMENT ON THE ROAD SIMPANG JAMBI-BATAS SUMATERA BARAT)*

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Sakilla Adinda Zahira
21511237

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

PREDIKSI KERUSAKAN DAN UMUR LAYAN PERKERASAN PADA RUAS JALAN SIMPANG JAMBI–BATAS SUMATERA BARAT

(PREDICTION OF DAMAGE AND SERVICE LIFE OF PAVEMENT ON THE ROAD SIMPANG JAMBI-BATAS SUMATERA BARAT)

Disusun oleh

Sakilla Adinda Zahira
21511237

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 15 Oktober 2025
Oleh Dewan Penguji

Pebimbing	Penguji 1	Penguji 2
Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.	**Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.**	**Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng**
NIK: 955110103	**NIK: 145110101**	**NIK: 215111305**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

3 / 11 2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan penuh kesadaran menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil karya saya sendiri, disusun sebagai salah satu syarat penyelesaian studi pada Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Setiap bagian dalam laporan ini yang berasal dari karya pihak lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas, sesuai dengan aturan, kaidah, dan etika penulisan ilmiah yang berlaku. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa laporan Tugas Akhir ini, baik sebagian maupun seluruhnya, bukan merupakan karya asli saya atau mengandung unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 23 September 2025

Penulis,



Sakilla Adinda Zahira

(21511237)

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul *"Prediksi Kerusakan dan Umur Layan Perkerasan pada Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat"* ini dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana (S-1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas segala bimbingan, kesabaran, dan ketulusan dalam membimbing penulis sejak awal hingga akhir.
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. dan Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi untuk menjadi pribadi yang lebih baik kedepannya.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.**,** selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Seluruh Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menempuh studi.
5. Kepada yang tercinta, sandaran dalam hidup Ibu Widiyawati dan Bapak Hadi, dua orang yang sangat berjasa, dua orang yang selalu mengusahakan anak terakhirnya ini menempuh pendidikan setinggi tingginya. Terima kasih atas setiap cucuran keringat, kerja keras, motivasi, doa, dan harapan

yang selalu mengiringi setiap langkah dan ikhtiar penulis menjadi seseorang yang berpendidikan, terima kasih atas kasih sayang tanpa batas yang tak pernah lekang oleh waktu, atas kesabaran dan pengorbanan yang selalu mendampingi hidup penulis, terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan inspirasi, serta pelita yang tak pernah padam dalam setiap langkah yang penulis tempuh.

6. Kepada seseorang yang sempat berpisah namun kembali lagi, yang tidak kalah penting kehadirannya, M Dhimas Putra Rosa. Terima kasih telah menjadi bagian dalam perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak baik tenaga, waktu, maupun materi. Telah menjadi rumah, pendamping dalam segala hal yang menemani, mendukung ataupun menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, memberi semangat untuk tidak menyerah. Semoga Allah selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang kita lalui. Terima kasih atas kesempatan berharga yang diberikan lagi kepada penulis.
7. Seluruh keluarga tercinta nenek, ibu, tante dan dua saudara laki-laki penulis yang selalu memberi doa dan menyayangi penulis dengan tulus.
8. Yang teramat penulis sayangi, Aulia Ananda Bahtiar. Terima kasih sudah menjadi keluarga tidak sedarah yang hangat serta sumber penyemangat, kebahagiaan, hiburan, dan masukan yang tiada henti dengan tulus diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Teruntuk sahabat tersayang, Cinday Kinanti Pramusinta dan Iffatus'aadah Yunus terima kasih sudah banyak memberikan memori baik dan dukungan semangat kepada penulis.
10. Kepada bang alhilal dan bang ken, Terima kasih sudah berkenan dengan tulus memberi masukan dan solusi dalam kelancaran skripsi ini.
11. Terakhir, penulis berterima kasih kepada sosok gadis yang selama ini diam-diam berjuang tanpa henti, seorang perempuan berhati kecil dengan impian besar. Terima kasih kepada peneliti skripsi ini yaitu diriku sendiri, Sakilla Adinda Zahira. Anak perempuan terakhir satu-satunya dan harapan orang tuanya. Terima kasih telah hadir di dunia ini, telah bertahan sejauh ini, dan

terus berjalan melewati segala tantangan yang semesta hadirkan. Terima kasih tetap berani menjadi diri sendiri. Penulis bangga atas setiap Langkah kecil yang kamu ambil, atas semua pencapaian yang mungkin tidak dirayakan orang lain. Walau harapanmu tidak sesuai dengan apa yang semesta berikan, tetaplah belajar menerima dan mensyukuri apapun yang kamu dapatkan. Jangan lelah dan tetaplah berusaha, berbahagialah dimanapun kamu berada. Rayakan apapun dalam dirimu dan jadikan dirimu sebagai sosok yang bermanfaat untuk dirimu sendiri dan orang lain. Penulis berdoa semoga langah kecilmu setiap detiknya selalu diperkuat, dikelilingi orang-orang baik dan hebat, serta mimpimu satu persatu akan terjawab, Aamiin.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi inovasi untuk kedepannya dan bermanfaat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membacanya. *Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.*

Yogyakarta, 23 September 2025

Penulis,

Sakilla Adinda Zahira

21511237

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii
KATA PENGANTAR ii
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tinjauan Umum 5
2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode MDPJ 2024 5
2.3 Evaluasi Struktur Perkerasan dengan *Software KENPAVE* 7
BAB III LANDASAN TEORI 14
3.1 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode MDPJ 2024 14
3.1.1 Umur Rencana 14
3.1.2 Lalu Lintas 15
3.1.3 Faktor Distribusi Lajur 16
3.1.4 Faktor Ekivalen Beban 17
3.1.5 Faktor Ekivalen Beban 18
3.1.6 Struktur Perkerasan 18
3.2 Metode Mekanistik – Empiris 19
3.3 Program *KENPAVE* 24
3.3.1 Data *Path* 25

3.3.2 *File Name* 25
3.3.3 *Help* 25
3.3.4 Editor 25
3.3.5 LAYERINP atau SLABSINP 26
3.3.6 KENLAYER atau KENSLAB 26
3.3.7 LGRAPH atau SGRAPH 27
3.3.8 *Contour* 27
3.4 Program KENLAYER 27
3.4.1 *File* 27
3.4.2 *General* 27
3.4.3 *Zcoord* 29
3.4.4 *Layer* 30
3.4.5 *Interface* 30
3.4.6 *Modul* 31
3.4.7 *Load* 32
3.5 Analisis Kerusakan Perkerasan 32
3.5.1 *Fatigue cracking* 33
3.5.2 *Rutting* 33
3.5.3 *Permanent Deformation* 34
3.6 Nilai Sisa Umur Layan 34
3.7 *Elastic Layer* 35
BAB IV METODE PENELITIAN 36
4.1 Pengumpulan Data 36
4.2 Lokasi Studi Kasus 36
4.3 Prosedur Desain Struktur Perkerasan MDPJ 2024 37
4.4 Prosedur Metode *KENPAVE* 38
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 41
5.1 Perhitungan Tebal Perkerasan Menggunakan Metode Bina Marga 2024 41
5.1.1 Data Penelitian 41
5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisting 41
5.1.3 Kondisi Ruas Jalan 42

5.1.4 Data Lalu Lintas 42
5.1.5 Perhitungan Beban Lalu Lintas 43
5.1.6 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2024 47
5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Menggunakan *KENPAVE* 56
5.2.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan *KENPAVE* 56
5.2.2 Hasil Analisis *KENLAYER* 60
5.3 Alternatif Tebal Struktur Perkerasan 68
5.4 Umur Sisa Perkerasan Jalan 73
5.5 Pembahasan 77
5.5.1 Perbandingan Tebal Perkerasan Eksiting 78
5.5.2 Tegangan Regangan Maksimum dan Prediksi Kerusakan Perkerasan Eksisting 82
5.5.3 Perbandingan Nilai Umur Sisa dari Struktur Perkerasan Jalan dari struktur Perkerasan Eksisting 89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 93
6.1 Kesimpulan 93
6.2 Saran 94
DAFTAR PUSTAKA 95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Sebelumnya Terkait Kinerja Perkerasan Lentur Berdasarkan MDPJ 2024 Menggunakan Program *KENPAVE*	10
Tabel 3.1	Umur Rencana Perkerasan Baru (UR)	15
Tabel 3.2	Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)	16
Tabel 3.3	Faktor Distribusi Lajur (DL)	17
Tabel 3.4	Nilai *VDF* Masing-Masing Kendaraan Niaga	17
Tabel 3.5	Pemilihan Jenis Perkerasan	19
Tabel 3.6	Karaterisasi Modulus Bahan untuk Desain dan Analisis	23
Tabel 5.1	Tebal Lapis Perkerasan Eksisting	41
Tabel 5.2	Kondisi Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat	42
Tabel 5.3	Data Lalu Lintas Harian Rata-rata Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat	42
Tabel 5.4	Data LHR 2022 dan 2024	44
Tabel 5.5	Perhitungan Nilai *CESA* 5	46
Tabel 5.6	Rekapitulasi Rencana Jumlah Kendaraan Setiap Tahun	47
Tabel 5.7	Pemilihan Jenis Perkerasan Berdasarkan Nilai Pembebanan	48
Tabel 5.8	Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 150 mm (aspal pen 60/70 dan PG70)	49
Tabel 5.9	Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 200 mm (aspal pen 60/70 dan PG70)	50
Tabel 5.10	Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 250 mm (aspal pen 60/70 dan PG70)	51
Tabel 5.11	Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 300 mm (aspal pen 60/70 dan PG70)	52
Tabel 5.12	Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Fondasi Agregat (aspal pen 60/70 dan PG70)	53
Tabel 5.13	Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan	56

Tabel 5.14 Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan 57
Tabel 5.15 Data Masukkan pada Menu *General* 57
Tabel 5.16 Data Masukkan pada Menu *Layer* 59
Tabel 5.17 Data Masukkan pada Menu *Moduli* 59
Tabel 5.18 Data Masukkan *Load* 60
Tabel 5.19 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Eksisting 61
Tabel 5.20 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 1 61
Tabel 5.21 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 2 61
Tabel 5.22 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 3 61
Tabel 5.23 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 4 62
Tabel 5.24 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 5 62
Tabel 5.25 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Eksisting 66
Tabel 5.26 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 1 (CTB 150 mm) 66
Tabel 5.27 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 2 (CTB 200 mm) 66
Tabel 5.28 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 3 (CTB 250 mm) 67
Tabel 5.29 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 4 (CTB 300 mm) 67
Tabel 5.30 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 5 (LFA 200 mm) 67
Tabel 5.31 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 4(A) 71
Tabel 5.32 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 5(A) 71
Tabel 5.33 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 4(A) 71
Tabel 5.34 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 5(A) 72
Tabel 5.35 Umur Layan Struktur Perkerasan Jalan Alternatif 4(A) 73
Tabel 5.36 Umur Layan Struktur Perkerasan Jalan Alternatif 5(A) 74
Tabel 5.37 Rekapitulasi Tebal Desain Lapis Perkerasan 79
Tabel 5.38 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Alternatif Desain 84
Tabel 5.39 Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Maksimum pada Tiap Kondisi 88
Tabel 5.40 Nilai Sisa Selama Masa Layan 20 Tahun 89
Tabel 5.41 Rekapitulasi Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan 90
Tabel 5.42 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan 90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kondisi Rusak *Fatigue* dan *Rutting* pada Jalan	1
Gambar 3.1	Sistem Lapis Banyak	21
Gambar 3.2	Lokasi Analisis Horizontal	22
Gambar 3.3	Tampilan Awal Program *KENPAVE*	24
Gambar 3.4	*Main Menu of Layerinp*	26
Gambar 3.5	Tampilan Layar *General*	28
Gambar 3.6	Jendela Menu *Zcoord*	29
Gambar 3.7	Tampilan Jendela *Layer*	30
Gambar 3.8	Tampilan Jendela *Interface*	31
Gambar 3.9	Tampilan Jendela *Interface*	31
Gambar 3.10	Tampilan Jendela *Modul*	32
Gambar 4.1	Peta Ruas Jalan Objek Penelitian	37
Gambar 4.2	Bagan Alir dengan Metode Bina Marga 2024	38
Gambar 4.3	Prosedur Desain Dengan Program *KENPAVE*	39
Gambar 4.4	Bagan Alir Penelitian	40
Gambar 5.1	Alternatif Desain Tebal Lapis Perkerasan	55
Gambar 5.2	Letak Titik Tinjau Kerusakan Eksisting	58
Gambar 5.3	Letak Titik Tinjau Berdasarkan Jenis Roda	60
Gambar 5.4	Perbandingan Tebal Perkerasan Eksisting dan Desain Alternatif	70
Gambar 5.5	Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif Perkerasan 4(A)	76
Gambar 5.6	Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif Perkerasan 5(A)	77
Gambar 5.7	Perbandingan Tebal Perkerasan Desain Alternatif	80
Gambar 5.8	Nilai Regangan Maksimum Lapis Perkerasan	83
Gambar 5.9	Perbandingan Nilai Repetisi Beban Maksimum	86
Gambar 5.10	Perbandingan Umur Sisa pada Masing-masing Perkerasan	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat 99

Lampiran 2 Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Elastik 100

Lampiran 3 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 1 *CTB* 150 mm dengan Pendekatan Elastik 101

Lampiran 4 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 2 *CTB* 200 mm dengan Pendekatan Elastik 102

Lampiran 5 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 3 *CTB* 250 mm dengan Pendekatan Elastik 103

Lampiran 6 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 4 *CTB* 300 mm dengan Pendekatan Elastik 104

Lampiran 7 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 5 Lapis Fondasi Agregat dengan Pendekatan Elastik 105

Lampiran 8 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 5(A) dengan Pendekatan Elastik 106

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AASHTO : *American Association of State Highway and Transportation Officials*

AC Base : *Asphalt Concrete Base*

AC-BC : *Asphalt Concrete – Binder Course*

AC-WC : *Asphalt Concrete – Wearing Course*

CBR : *California Bearing Ratio*

CESA : *Cumulative Equivalent Standard Axle*

CESAL : *Cumulative Equivalent Standard Axle Load*

CIPR : *Cold In-Place Recycling*

CTB : *Cement Treated Base*

DD : Faktor distribusi arah

DL : Faktor distribusi lajur

ESAL : *Equivalent Single Axle Load*

HRS : *Hot Rolled Sheet*

JALINSUM : Jalan Lintas Sumatera

LFA : Lapis Fondasi Aspal

LHR : Lintas Harian Rata-rata

LHR_{JK} : Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tiap Jenis Kendaraan

LHRT : Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan

MDPJ : Manual Desain Perkerasan Jalan

MKJI : Manual Kapasitas Jalan Indonesia

P2JN : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional

RAP : *Recycled Asphalt Pavement*

RL : *Remaining Life*

UR : Umur Rencana

VDF : *Vehicle Damage Factor*

E : Modulus elastis pada bagian lapis permukaan

f_4, f_5 : Koefisien deformasi permanen

I : Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

km	: Kilometer
$N_{1,5}$	: Kumulatif W18 tahun terakhir umur rencana
Ndp	: Nilai repetisi beban sampai terjadi kerusakan deformasi
Ndr	: Nilai repetisi beban sampai terjadi kerusakan *rutting*
Nf	: Nilai repetisi beban sampai terjadi kerusakan *fatigue*
ε	: regangan
τ	: tegangan geser
R	: Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
VDF_{JK}	: Faktor ekivalen beban tiap jenis kendaraan

ABSTRAK

Ruas Jalan Simpang Jambi–Batas Sumatera Barat sepanjang ±50 km merupakan bagian dari Jalan Lintas Sumatera (Jalinsum) yang berfungsi sebagai jalur utama distribusi antar provinsi. Peningkatan volume kendaraan berat setiap tahun memicu timbulnya kerusakan dini berupa lubang dan gelombang, sehingga diperlukan evaluasi ulang desain perkerasan agar umur layan tetap tercapai.

Penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi kinerja desain perkerasan lentur dengan Metode Bina Marga 2024 berbasis mekanistik–empiris menggunakan program *KENPAVE*. Data penelitian mencakup LHR, karakteristik material, dan kondisi perkerasan eksisting.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa struktur perkerasan eksisting dengan tebal lapisan *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, dan LFA Kelas A 30 cm dengan total ketebalan 40 cm tidak memenuhi persyaratan umur rencana akibat tidak mampu menahan beban lalu lintas berulang secara optimal. Berdasarkan hasil analisis perbandingan terhadap beberapa alternatif desain perkerasan menggunakan metode MDPJ 2024, diperoleh desain perkerasan Alternatif 5(A) merupakan konfigurasi yang paling optimal. Desain ini terdiri atas lapisan *AC-WC* 5 cm, *AC-BC* 8 cm, *AC Base* 15 cm, LFA Kelas A 30 cm, LFA Kelas B 15 cm, dan LFA Kelas C 20 cm dengan total ketebalan 93 cm. Struktur perkerasan tersebut memiliki kapasitas struktural yang memadai untuk mendukung beban lalu lintas berat serta menunjukkan efisiensi penggunaan material yang lebih baik dibandingkan dengan alternatif desain lainnya. Dengan demikian penerapan desain perkerasan Alternatif 5(A) direkomendasikan sebagai solusi yang tepat untuk menggantikan struktur eksisting yang telah mengalami penurunan kinerja, guna mencapai umur rencana sesuai standar perencanaan perkerasan jalan yang berlaku.

Kata Kunci : Bina Marga 2024, elastik, *KENPAVE,* mekanistik empiris, perkerasan lentur

ABSTRACT

The Simpang Jambi–West Sumatra Border Road, stretching approximately 50 km, is part of the Trans-Sumatra Highway serving as a primary interprovincial distribution route. The continuous increase in heavy vehicle traffic each year has accelerated early pavement failures, such as potholes and surface undulations, necessitating a redesign evaluation to ensure the intended service life is achieved.

This study evaluates the performance of flexible pavement design using the 2024 Bina Marga mechanistic–empirical method, implemented through the KENPAVE program. The research data include average daily traffic, material characteristics, and the condition of the existing pavement structure.

The results show that the existing pavement structure, consisting of 4 cm AC-WC, 6 cm AC-BC, and 30 cm LFA Class A layers with a total thickness of 40 cm, does not meet the design life requirements due to insufficient strength to withstand repeated traffic loads. Based on a comparative analysis of several alternative pavement designs using the 2024 MDPJ method, Alternative 5(A) was identified as the most optimal configuration. This design comprises 5 cm AC-WC, 8 cm AC-BC, 15 cm AC Base, 30 cm LFA Class A, 15 cm LFA Class B, and 20 cm LFA Class C layers, with a total thickness of 93 cm. The structure demonstrates adequate structural capacity to support heavy traffic loads and exhibits higher material efficiency compared to other alternatives. Therefore, the implementation of the Alternative 5(A) pavement design is recommended as the most appropriate solution to replace the existing structure that has decreased in performance, ensuring that the pavement service life meets the current design standards.

Keywords : Bina Marga 2024, elastic, flexible pavement, KENPAVE, mechanistic-empirical.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkerasan jalan merupakan urat nadi dari suatu konstruksi jalan yang mempunyai kedudukan paling sentral pada sebuah badan jalan. Mulanya ditemukan hanya terdiri dari tanah asli dilapisi batu-batu besar kemudian ditutup dengan batu kerikil. Seiring berjalannya waktu konstruksi jalan berkembang pesat bersamaan dengan kepentingan manusia untuk menjangkau daerah satu ke daerah lainnya guna memperlancar kegiatan ekonomi. Pertambahan jumlah penduduk dapat memicu peningkatan aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat yang berimbas pada kebutuhan akan mobilitas baik untuk keperluan pribadi maupun dalam pendistribusian barang dan jasa. Peningkatan volume ditambah dengan muatan yang melebihi kapasitas menyebabkan umur perkerasan jalan menurun dan kerusakan dapat terjadi lebih cepat dari umur rencana, untuk menjaga ketahanan jalan tetap pada performa yang layak hingga akhir masa layanan perencanaan jalan harus memperhitungkan beban lalu lintas yang terus bertambah serta menerapkan program pemeliharaan rutin yang terencana dengan baik. Berikut kondisi kerusakan akibat peningkatan volume kendaraan yang melebihi kapasitas dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kondisi Rusak *Fatigue* dan *Rutting* pada Jalan

Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat membentang sepanjang ± 50 km merupakan jalan nasional yang menjadi bagian dari jalur vital konektivitas antarprovinsi. JALINSUM (Jalan Lintas Sumatera) berfungsi sebagai jalur arteri utama yang dilalui ribuan kendaraan setiap harinya termasuk truk muatan berat yang berasal dari sektor industri dan perkebunan. Sebagian besar jalan tampak berfungsi dengan baik namun ditemukan sejumlah titik berlubang dan bergelombang. Laju pertumbuhan angkutan barang pada ruas jalan ini mengalami peningkatan sebesar 8-10% per tahunnya (Dinas Perhubungan Provinsi Jambi, 2023).

Pada penelitian ini analisis dilakukan pada perkerasan lentur (*flexible pavement*) dengan bantuan program *KENPAVE*, khususnya *KENLAYER* yang memodelkan respon tegangan dan regangan akibat beban lalu lintas berulang. Pemilihan perkerasan lentur didasarkan pada karakteristik Ruas Jalan Simpang Jambi–Batas Sumatera Barat yang lebih sesuai menggunakan sistem fleksibel karena intensitas lalu lintas berat yang tinggi serta kondisi tanah dasar yang bervariasi. Evaluasi dilakukan berdasarkan MDPJ 2024 yang merupakan pembaruan dari edisi sebelumnya dengan pendekatan mekanistik–empiris. Metode ini dinilai lebih akurat dalam memperkirakan kinerja perkerasan melalui integrasi data lalu lintas, material, serta kondisi tanah dasar, sehingga menghasilkan desain yang lebih adaptif terhadap kondisi nyata di lapangan.

Pembangunan jalan merupakan bagian penting dari infrastruktur transportasi, menuntut pemilihan jenis perkerasan yang sesuai dengan kondisi tanah dan beban lalu lintas. Di Indonesia, perkerasan lentur dan perkerasan kaku merupakan pilihan utama di mana perkerasan lentur lebih sering digunakan karena biaya yang relatif rendah dan konstruksi yang sederhana (Tjokroadikoesoemo, 1996). Namun, ruas jalan antarprovinsi dengan volume kendaraan berat yang tinggi membutuhkan sistem perkerasan yang lebih andal untuk menahan kerusakan jangka panjang. Penggunaan *KENPAVE* dalam penelitian ini menjadi relevan dengan penelitian sebelumnya masih terbatas pada perbandingan metode konvensional dengan MDPJ 2017 tanpa analisis mekanistik yang lebih detail. Penelitian yang dilakukan oleh

Hadi (2024) menunjukkan bahwa pemodelan dengan *KENPAVE* mampu menggambarkan distribusi regangan dan umur layan perkerasan secara lebih akurat.

Analisis *KENPAVE* banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja perkerasan lentur. Program ini mampu memodelkan perilaku material sehingga distribusi tegangan dan regangan pada setiap lapisan dapat dianalisis secara lebih akurat. Pada penelitian Putra dan Tajudin (2021) mengatakan *KENPAVE* memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dibanding perangkat lunak sejenis dalam menilai respons struktural perkerasan serta dapat digunakan sebagai dasar perencanaan maupun analisis umur layan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diperoleh rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana tebal lapis perkerasan pada Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat serta alternatif desain tebal perkerasan yang mampu memenuhi umur rencana berdasarkan metode MDPJ 2024 dengan pemodelan program *KENPAVE*?
2. Berapa nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur eksisting dan struktur perkerasan alternatif akibat beban lalu lintas menggunakan program *KENPAVE?*
3. Berapa sisa umur layan perkerasan eksisting dan struktur perkerasan alternatif dari jumlah akumulasi beban yang terjadi dengan masa layan 20 tahun?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengusulkan alternatif tebal lapis perkerasan menggunakan metode MDPJ 2024 dengan pemodelan program *KENPAVE* serta dapat menentukan alternatif tebal perkerasan yang paling optimal dan mampu memenuhi umur rencana.
2. Menghitung nilai tegangan dan regangan perkerasan dan memprediksi kerusakan struktur perkerasan alternatif dengan menggunakan program *KENPAVE*.

3. Mengetahui nilai sisa umur layan perkerasan eksisting dan struktur perkerasan alternatif dengan masa layanan 20 tahun.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Objek dan lokasi dari penelitian ini pada Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat.
2. Data yang digunakan pada penelitian menggunakan data yang didapat dari Perencanaan Pengawas Jalan Nasional Provinsi Jambi.
3. Analisis tebal perkerasan dengan menggunakan metode MDPJ 2024 berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 03/M/BM/2024.
4. Perhitungan nilai tegangan dan regangan menggunakan pemodelan program *KENPAVE*.
5. Parameter yang digunakan mengacu pada ketentuan dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menjadi masukan pertimbangan dan acuan dalam menentukan tebal lapis perkerasan kepada instansi terkait khususnya Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Jambi.
2. Memaksimalkan pemahaman terhadap desain tebal lapis perkerasan berdasarkan metode MDPJ 2024.
3. Memberikan gambaran yang diperoleh dari penggunaan program *KENPAVE* dalam menganalisis tegangan dan regangan jalan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam menyusun penelitian ini tinjauan pustaka berperan sebagai komponen penting yang memuat beragam topik dan hasil studi dari penelitian terdahulu yang relavan dengan persoalan yang dikaji. Tinjauan pustaka bukan hanya memberi informasi, namun juga membantu menempatkan penelitian sesuai dengan kondisi ilmiah yang lebih luas. Analisis kerusakan dan umur layan simpang Jambi-Batas Sumatera Barat memerlukan metode MDPJ 2024 sebagai acuan dan *KENPAVE* sebagai perangkat lunak.

2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode MDPJ 2024

Rayid dkk. (2025) melakukan kajian pada perencanaan ketebalan perkerasan di ruas Jalan Kembur – Paka – Nceang, Kabupaten Manggarai Timur. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui jenis struktur perkerasan yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana jalan dengan mengamati kondisi eksisting seperti lalu lintas harian rata-rata (LHR), nilai *CBR* tanah dasar serta prediksi pertumbuhan lalu lintas. Metode yang digunakan adalah MDPJ 2024. Berdasarkan hasil penelitian melalui pendekatan mekanistik-empiris mampu menghasilkan rancangan struktur perkerasan yang lebih adaptif terhadap kondisi lalu lintas dan tanah dasar di lapangan, serta metode MDPJ 2024 dinilai lebih efektif dalam memperhitungkan faktor lingkungan dan umur rencana sesuai dengan keberlanjutan lalu lintas jangka panjang.

Penelitian yang dilakukan oleh Sugema dan Maulana (2024) membandingkan metode *AASHTO* 1993 dengan MDPJ 2024 dalam merencanakan tebal perkerasan dengan hasil yang menunjukkan bahwa MDPJ 2024 menghasilkan desain yang lebih efisien dengan ketebalan total 62 cm dibandingkan 75 cm pada metode *AASHTO* 1993 dengan parameter lalu lintas 5 juta *ESAL* dan nilai *CBR* tanah dasar sebesar 6%. Selisih ketebalan sebesar 17,3% ini berdampak signifikan terhadap

penghematan material dan energi serta berkontribusi pada penurunan emisi karbon hingga 25% dicapai melalui pendekatan mekanistik empiris dalam MDPJ 2024 yang mempertimbangkan Modulus Resilien dari tanah lokal serta mendukung pemanfaatan material daur ulang seperti *Recycled Asphalt Pavement (*RAP*)* dan teknologi *Cold In-Place Recycling (*CIPR*)*.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Budiana (2024) terkait analisis tebal perkerasan lentur pada Ruas Tol Palimanan-Kanci tepatnya pada segmen KM 188 hingga KM 214 dilakukan penambahan lajur dari dua menjadi tiga per arah dilakukan sebagai upaya meningkatkan kapasitas jalan terhadap tingginya volume lalu lintas. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode MDPJ 2024 diperoleh total tebal perkerasan sebesar 105 cm. Struktur perkerasan tersebut terdiri dari lapis permukaan *AC-WC* setebal 5 cm dan *AC-BC* 7 cm, dilanjutkan dengan lapis *AC Base* dengan ketebalan 28 cm. Untuk lapisan pondasi atas digunakan LFA kelas A setebal 30 cm dan lapis pondasi bawah menggunakan LFA kelas B setebal 15 cm. Selain itu ditambahkan lapisan timbunan pilihan berbutir kasar dengan tebal 20 cm sebagai bagian dari sistem pendukung struktur perkerasan.

Penelitian serupa yang dilakukan oleh Hadi (2024) yang membandingkan kinerja desain perkerasan lentur antara MDPJ 2017 dan MDPJ 2024 dengan program *KENPAVE* pada ruas jalan Prambanan-Piyungan. Hasil analisis menunjukkan nilai *CESA* 5 menggunakan MDPJ 2017 sebesar 20.328.065 *ESAL* sementara MDPJ 2024 hanya sebesar 7.753.005 *ESAL*. Berdasarkan studi *Weight-In-Motion* selisih terjadi karena MDPJ 2024 mengacu pada data spesifik provinsi yang menyebabkan perbedaan pendekatan nilai *Vehicle Damage Factor (VDF).* Struktur perkerasan yang dihasilkan MDPJ 2017 terdiri atas *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, *AC Base* 7,5 cm, *CTB* 15 cm dan LFA kelas A 15 cm sementara pada MDPJ 2024 mengalami perubahan susunan dengan *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 7,5 cm, *CTB* 15 cm, LFA kelas B 15 cm dan LFA kelas C 20 cm. Perbedaan struktur lapisan ini kemudian disimulasikan menggunakan *KENPAVE* untuk mengevaluasi kinerja struktural terhadap beban lalu lintas. Hasil simulasi menunjukkan kedua desain memenuhi kriteria umur rencana 20 tahun, namun desain berdasarkan MDPJ 2024 menunjukkan prediksi kerusakan lebih rendah baik pada *fatigue cracking* (*Nf*),

rutting (*Nr*) *maupun permanent deformation* (*Nd*) dibandingkan MDPJ 2017. Kerusakan pertama MDPJ 2024 terjadi saat nilai *ESAL* 8.318.910 atau 7,3% diatas beban rencana, sedangkan nilai kerusakan pada MDPJ 2017 unggul 1,8% yaitu dengan nilai *ESAL* 20.700.145. Dapat disimpulkan kemampuan struktural meningkat sebesar 5,5% dalam merespon beban serta lebih optimal melalui metode MDPJ 2024.

2.3 Evaluasi Struktur Perkerasan dengan *Software KENPAVE*

Aji dan Susilo (2023) melakukan evaluasi tebal perkerasan dengan pendekatan menggunakan *software KENPAVE* dan acuan desain dari MDPJ 2017. Penelitian ini menganalisis tingkat kerusakan seperti *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* berdasarkan tegangan dan regangan dari hasil pemodelan elastik dan viskoelastik pada ruas Jalan Dekso – Tempel, Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil yang diperoleh menjelaskan bahwa struktur perkerasan eksisting tidak mampu menahan kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*, hanya sanggup menahan beban *fatigue* selama umur yang direncanakan. Penelitian ini memberikan alternatif berupa perencanaan ulang struktur perkerasan dan perbaikan *overlay* menggunakan MDPJ 2017. Desain baru yang diperoleh menghasilkan peningkatan umur layan hingga 80 tahun lebih untuk kerusakan *fatigue*, sedangkan *rutting* dan deformasi permanen mampu menahan masing-masing selama 37 tahun dan 13 tahun. Perbaikan *overlay* menghasilkan ketebalan 5,5 cm namun masih memiliki umur layan yang pendek dibanding dengan desain baru.

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Lia dan Mahardi (2022) yang berfokus pada evaluasi kinerja struktur perkerasan lentur dengan pendekatan mekanistik-empiris menggunakan *software KENPAVE* yang berbasis analisis regangan dan modulus elastisitas untuk memprediksi kerusakan struktural akibat beban lalu lintas pada ruas Jalan Lintas Selatan Lot 6, Kabupaten Tulungagung. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan tiga metode perencanaan yang umum digunakan di Indonesia yaitu metode *AASHTO* 1993, Analisa Komponen, serta MDPJ 2017. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa struktur perkerasan

berdasarkan metode MDPJ 2017 mengalami kerusakan yang signifikan yaitu retak lelah dan retak alur sebelum mencapai umur rencana, namun tidak ditemukan deformasi permanen. Hal tersebut menunjukkan bahwa desain yang dihasilkan oleh metode tersebut belum sepenuhnya mampu menahan lalu lintas kumulatif sebesar 37 juta *ESAL*, kinerja *KENPAVE* dapat dipercaya sebagai alat bantu dalam revisi atau penyempurnaan metode perencanaan yang ada karena lebih realistis dan prediktif.

Ottu dkk. (2023) juga melakukan evaluasi terhadap tebal perkerasan lentur pada ruas Jalan Denggung-Wonorejo menggunakan metode MDPJ 2017 dan *AASHTO* 1993. Ketebalan hasil perhitungan kedua metode tersebut kemudian dianalisis menggunakan *KENPAVE* untuk mengetahui respon tegangan, regangan, serta lendutan yang menjadi dasar dalam memprediksi potensi kerusakan. Hasil simulasi menunjukkan regangan horizontal maksimum mengalami kerusakan *fatigue cracking* pada kedalaman 21,4997 cm dengan nilai 0,03910 sementara itu pada kedalaman 52,5030 cm terjadi kerusakan *rutting* sebesar 0,03998 dan *permanent deformation* sebesar 0,03698. Desain yang mengacu pada MDPJ 2017 lebih efisien dan ekonomis karena menghasilkan struktur perkerasan yang lebih tipis namun tetap memenuhi kinerja struktural dengan *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, *CTB* 15 cm, dan LFA kelas A 15 cm. Analisis menggunakan *KENPAVE* membuktikan bahwa dengan pendekatan mekanistik ini mampu memberikan gambaran yang lebih akurat terhadap prediksi kerusakan dan umur layan serta jenis kerusakan dominan yang muncul selama masa pelayanan jalan.

Sejumlah penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa penerapan MDPJ 2024 mampu menghasilkan desain perkerasan yang lebih efisien dibandingkan pedoman sebelumnya, dengan tetap menjamin umur layan yang memadai. Safari dan Fauziah (2024) melakukan penelitian pengaruh beban berlebih terhadap umur perkerasan dan mendapati bahwa MDPJ 2024 memberikan prediksi kinerja jalan yang lebih panjang dibandingkan MDPJ 2017, sehingga lebih relavan dalam menghadapi kondisi lalu lintas aktual. Selanjutnya, Nasution dan Fauziah (2024) di Jalan Peureulak, Aceh Timur, juga menunjukkan bahwa dengan pendekatan viskoelastik desain yang merujuk pada MDPJ 2024 lebih adaptif dalam mengendalikan potensi

kerusakan dibanding pedoman lama. Hasil penelitian Widhiatmoko dan Fauziah (2024) yang berlokasi pada ruas Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo mengatakan bahwa MDPJ 2024 mampu menghasilkan lapisan yang lebih ramping tanpa mengurangi kemampuan struktur dalam mendistribusikan tegangan maupun regangan sehingga risiko kerusakan dapat diminimalkan. Sejalan dengan itu, penelitian Zuasri dan Fauziah (2024) di Jalan Peumeulak, Aceh Timur memperlihatkan bahwa desain alternatif dengan MDPJ 2024 tidak hanya lebih hemat material, tetapi juga tetap handal dalam menahan kerusakan utama seperti *fatigue cracking*, *rutting*, dan deformasi permanen.

Kajian tentang evaluasi kinerja perkerasan telah banyak dilakukan dan dipublikasikan oleh peneliti sebelumnya, yaitu Sumarsono dan Fauziah (2022) pada ruas Jalan Jogja–Solo, Hadi dan Fauziah (2022) terkait perbandingan umur pelayanan campuran aspal, Apriyadi dan Fauziah (2018) mengenai pengaruh beban berlebih di Jalan Diponegoro Cilacap, Saputra dkk. (2023) terkait alternatif desain perkerasan dan perkuatan lereng longsor, Tolab dkk. (2022) mengenai perbandingan kinerja perkerasan *AC-WC* berbahan ikat modifikasi serta Pambudi dan Fauziah (2020) yang mengevaluasi desain perkerasan dengan pedoman MDPJ 2017 menggunakan *KENPAVE*. Keseluruhan studi tersebut memperlihatkan bahwa prediksi kerusakan dan umur layan perkerasan lentur telah menjadi fokus penting dalam berbagai penelitian dan memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut.

.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya Terkait Kinerja Perkerasan Lentur Berdasarkan MDPJ 2024 Menggunakan Program *KENPAVE*

Aspek	Rayid dkk. (2025)	Hadi (2024)	Sugema dan Maulana (2024)	Budiana (2024)	Aji dan Susilo (2023)	Lia dan Mahardi (2022)	Ottu dkk. (2023)	Zahira (2025)
Judul Penelitian	Studi Alternatif Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Kembur-Paka-Nceang Kecamatan Borong, Manggarai Timur Dengan Metode MDPJ 2024	Eksplorasi Dampak Perubahan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 ke 2024 Menggunakan Program *KENPAVE*	Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode *AASHTO* 1993 dan MDPJ 2024 Dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan	Analisis Perkerasan Lentur dengan Metode MDPJ 2024 pada Peningkatan Lajur Ruas Tol Palikanci	Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program *Software KENPAVE*	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi *KENPAVE*	Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Metode MDPJ 2017 dan *AASHTO* 1993 pada Jalan Denggung-Wonorejo, Sleman	Prediksi Kerusakan dan Umur Layan Perkerasan pada Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat

Sumber : Rayid (2025), Hadi (2024), Sugema dan Maulana (2024), Budiana (2024), Aji dan Susilo (2023), Lia dan Mahardi (2022), Ottu (2023).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya Terkait Kinerja Perkerasan Lentur Berdasarkan MDPJ 2024 Menggunakan Program *KENPAVE*

Aspek	Rayid dkk. (2025)	Hadi (2024)	Sugema dan Maulana (2024)	Budiana (2024)	Aji dan Susilo (2023)	Lia dan Mahardi (2022)	Ottu dkk. (2023)	Zahira (2025)
Tujuan Penelitian	Merancang ketebalan struktur perkerasan lentur dengan metode MDPJ 2024 untuk meningkatkan kualitas dan ketahanan jalan sesuai kondisi eksisting	Mengevaluasi dan membandingkan perbedaan kinerja desain struktur perkerasan jalan dengan MDPJ 2017 dan MDPJ 2024	Menganalisis perbandingan desain perkerasan jalan lentur menggunakan metode AASHTO 1993 dan MDPJ 2024	Menganalisis struktur perkerasan lentur dengan pendekatan mekanistik-empiris dalam MDPJ 2024	Mengevaluasi kondisi perkerasan jalan dan menentukan solusi alternatif melalui analisis kerusakan berdasarkan MDPJ 2017 dan program *KENPAVE*	Mengevaluasi kinerja struktur perkerasan untuk memastikan perkerasan mampu menerima beban selama umur rencana	Membandingkan dan mengevaluasi hasil perencanaan tebal perkerasan menggunakan MDPJ 2017 dan *AASHTO* 1993	Memprediksi dan menentukan alternatif yang paling optimaln pada tebal lapis perkerasan jalan

Sumber : Rayid (2025), Hadi (2024), Sugema dan Maulana (2024), Budiana (2024), Aji dan Susilo (2023), Lia dan Mahardi (2022), Ottu (2023).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya Terkait Kinerja Perkerasan Lentur Berdasarkan MDPJ 2024 Menggunakan Program *KENPAVE*

Aspek	Rayid dkk. (2025)	Hadi (2024)	Sugema dan Maulana (2024)	Budiana (2024)	Aji dan Susilo (2023)	Lia dan Mahardi (2022)	Ottu dkk. (2023)	Zahira (2025)
Lokasi Penelitian	Ruas Jalan Kembur-Paka-Nceang Kabupaten Manggarai Timur	Ruas Jalan Prambanan-Piyungan, Yogyakarta	-	Ruas Tol Palimanan-Kanci (Palikanci) Kabupaten Cirebon	Ruas Jalan Dekso-Tempel, Kabupaten Sleman, Yogyakarta	Ruas Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung	Ruas Jalan Denggung-Wonorejo, Kabupaten Sleman, Yogyakarta	Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat
Metode Penelitian	Metode MDPJ 2024	Metode MDPJ 2017 dan MDPJ 2024 menggunakan program *KENPAVE*	Metode *AASHTO* 1993 dan MDPJ 2024	Metode MDPJ 2024	Metode elastik dan viskoelastik pada *KENPAVE* berdasarkan metode MDPJ 2017	Metode *AASHTO* 1993 dan MDPJ 2017 menggunakan *KENPAVE*	Metode MDPJ 2017 dengan program *KENPAVE*	Metode MDPJ 2024 dengan program *KENPAVE*

Sumber : Rayid (2025), Hadi (2024), Sugema dan Maulana (2024), Budiana (2024), Aji dan Susilo (2023), Lia dan Mahardi (2022), Ottu (2023).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya Terkait Kinerja Perkerasan Lentur Berdasarkan MDPJ 2024 Menggunakan Program *KENPAVE*

Aspek	Rayid dkk. (2025)	Hadi (2024)	Sugema dan Maulana (2024)	Budiana (2024)	Aji dan Susilo (2023)	Lia dan Mahardi (2022)	Ottu dkk. (2023)	Zahira (2025)
Hasil	Metode MDPJ 2024 mampu menghasilkan struktur perkerasan yang optimal sesuai dengan kebutuhan lalu lintas selama umur rencana dan efesien secara biaya	Hasil analisis membuktikan MDPJ 2024 menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding MDPJ 2017 dengan struktur lapisan yang lebih kuat meskipun ketebalan aspal lebih tipis	Perbandingan antara kedua metode menunjukkan MDPJ 2024 menghasilkan perkerasan yang lebih tipis namun tidak mengurangi performa struktural melalui pemanfaatan daur ulang	Hasil desain berdasarkan MDPJ 2024 tidak hanya terbukti relavan terhadap kondisi lalu lintas tetapi juga selaras dengan lapisan lama	Berdasarkan simulasi *KENPAVE* perkerasan eksisting gagal terhadap *rutting* dan *permanent deformation* sehingga desain ulang lebih disarankan	Semakin tebal lapisan perkerasan maka lendutan yang terjadi semakin kecil sehingga struktur lebih tahan terhadap beban berulang, MDPJ 2017 memiliki kinerja yang paling baik	Tegangan dan regangan yang dihasilkan metode MDPJ 2017 tetap dalam batas aman meski lebih tipis namun tetap unggul untuk jalan dengan volume lalu lintas tinggi	Hasil analisis melalui *KENPAVE* membuktikan desain eksisting tidak memadai dan alternatif dengan metode MDPJ 2024 dinilai optimal karena ketebalan dan tahan terhadap kerusakan sesuai umur rencana

Sumber : Rayid (2025), Hadi (2024), Sugema dan Maulana (2024), Budiana (2024), Aji dan Susilo (2023), Lia dan Mahardi (2022), Ottu (2023).

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode MDPJ 2024

Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 merupakan hasil penyempurnaan dari MDPJ 2017 yang berfungsi sebagai acuan utama bagi perencanaan teknis perkerasan diseluruh jaringan jalan di Indonesia. Manual ini diterbitkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga pada tanggal 14 Mei Tahun 2024 melalui keputusan Nomor 03/M/BM/2024. MDPJ 2024 ini merevisi pedoman perkerasan tahun 2002, 2003, dan 2013 dengan peningkatan keakuratan umur rencana jalan, efisiensi pemakaian material, penyesuaian terhadap iklim, analisis terhadap beban sumbu kendaraan, serta pengaruh temperature terhadap kinerja struktur jalan. Manual ini terbagi menjadi dua bagian utama yaitu bagian desain struktur perkerasan baru dan bagian perbaikan perkerasan eksisting.

Dalam proses perencanaan konstruksi jalan memerlukan data yang akurat serta pendekatan yang lebih terukur untuk mencapai hasil desain perkerasan yang optimal sehingga desain akhir dapat menjamin kinerja yang direncanakan. Berikut langkah-langkah yang perlu dilakukan.

3.1.1 Umur Rencana

Dalam merencanakan tebal lapis perkerasan, penentuan umur rencana menjadi salah satu tahapan penting yang harus diperhitungkan. Umur rencana mengacu pada lamanya jalan mampu melayani lalu lintas tanpa perbaikan struktural skala besar atau pelapisan ulang secara signifikan. Evaluasi umur rencana dilakukan dengan menghitung beban lalu lintas kumulatif dalam satuan *Cumulative Equivalent Standard Axle* (*CESA*) yang menunjukkan total beban sumbu standar selama masa layanan jalan. Nilai *CESA* inilah yang dipakai sebagai dasar untuk menentukan ketebalan lapisan perkerasan dan pengelompokkan kategori umur rencana perkerasan baru, sebagaimana dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)[1]
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir[2]	20
	Lapis Fondasi Jalan	40
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (*overlay*), seperti: jalan perkotaan, *underpass*, jembatan, dan terowongan	
	Lapis Fondasi Berpengikat Semen, *Cement Treated Based* (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

3.1.2 Lalu Lintas

Tebal lapis perkerasan jalan dirancang berdasarkan beban lalu lintas yang melintasi jalan tersebut. Beban tersebut didapatkan dari volume kendaraan pada saat dilaksanakan survei, lalu diperhitungkan untuk mencakup seluruh masa penggunaan jalan sesuai umur rencana. Beban lalu lintas tersebut diperoleh melalui langkah-langkah sebagai berikut :

1. Data lalu lintas

   Data lalu lintas yang digunakan meliputi volume kendaraan, jenis kendaraan, dan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) yang dikonversikan menjadi Satuan Mobil Penumpang per jam (SMP/jam) menggunakan nilai ekivalen berdasarkan MKJI 1997. Volume lalu lintas dihitung sebagai jumlah kendaraan yang melintas dalam satu hari dan diperoleh melalui survei sesuai Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B).

2. Faktor Pertumbuhan Laju Lalu Lintas (i)

   Peningkatan volume kendaraan dari tahun ke tahun dipengaruhi oleh aspek sosial dan ekonomi. Dalam perencanaan teknis bila data Riwayat pertumbuhan lalu lintas tidak tersedia, Tabel 3.2 dapat dijadikan sebagai acuan nilai minimun yang disarankan.

Tabel 3.2 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

Klasifikasi	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)

Dalam perhitungan pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dapat menggunakan faktor pertumbuhan kumulatif *(Cumulative Growth Factor)* seperti Persamaan 3.1 berikut *:*

$$R = \frac{(1+0{,}01\ i)^{UR}-1}{0{,}01\ i} \qquad (3.1)$$

dengan

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

I = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%), dan

UR = umur rencana (tahun).

3.1.3 Faktor Distribusi Lajur

Lajur rencana dipilih sebagai dasar analisis karena menanggung beban lalu lintas terbesar dan dinyatakan dalam bentuk kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan mempertimbangkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur (DL). Nilai DD umumnya digunakan sebesar 0,5 untuk jalan dua arah, namun bisa

disesuaikan jika terjadi dominasi arus kendaraan berat pada salah satu arah. dengan kisaran nilai antara 0,3 hingga 0,7 menurut beberapa studi. Adapun faktor DL digunakan untuk menyesuaikan pembagian beban pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah, sebagaimana tercantum pada Tabel 3.3 ini.

Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (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, 2024)

3.1.4 Faktor Ekivalen Beban

Dalam perencanaan tebal perkerasan jalan, beban lalu lintas perlu dikonversi ke satuan beban gandar standar (*ESA*) menggunakan Faktor Kerusakan Kendaraan (*Vehicle Damage Factor*). Perhitungan struktur perkerasan didasari pada total kumulatif *ESA* yang dihitung selama umur rencana jalan. Survei beban gandar perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai *VDF* yang akurat. Apabila pelaksanaan survei tidak memungkinkan atau data sebelumnya tidak tersedia, maka perhitungan dapat menggunakan nilai *VDF* dari Tabel 3.4 dibawah ini sebagai pendekatan.

Tabel 3.4 Nilai *VDF* Masing-Masing Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Jambi			
	Faktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1,2	1,2	1,3	1,3
6A	0,5	0,5	0,4	0,4
6B	1,4	0,5	1,8	0,4
7A1	-	-	-	-
7A2	13,8	4,6	25,4	6,0

Lanjutan Tabel 3.4 Nilai *VDF* Masing-Masing Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Jambi			
	Faktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
7A3	-	-	-	-
7B1	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-
7B3	-	-	-	-
7C1	8,4	6,1	11,9	8,0
7C2A	5,5	5,5	7,5	7,5
7C2B	-	-	-	-
7C3	10,1	5,7	18,0	8,2
7C4	-	-	-	-

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

3.1.5 Faktor Ekivalen Beban

Beban lalu lintas yang berulang pada permukaan jalan dikonversi menjadi beban kumulatif dalam bentuk beban sumbu standar (*ESA*). Perhitungan ini mempertimbangkan faktor ekivalen beban dan dihitung menggunakan Persamaan 3.2 sebagai berikut :

$$\text{CESAL} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \quad (3.2)$$

dengan

LHR_{JK} : lalu lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan,

VDF_{JK} : faktor ekivalen beban tiap jenis kendaraan,

DD : faktor distribusi arah,

DL : faktor distribusi lajur, dan

R : faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3.1.6 Struktur Perkerasan

Pendekatan desain perkerasan ditentukan melalui proses evaluasi terhadap volume lalu lintas dan kondisi tanah dasar untuk memastikan struktur yang sesuai

dengan kebutuhan layanan jalan. Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 03/M/BM/2024 penentuan tipe perkerasan dilakukan dengan pendekatan klasifikasi teknis yang menggabungkan data lalu lintas, kualitas *subgrade*, serta fungsi ruas jalan. Tabel 3.5 menjadi acuan dalam proses pemilihan jenis perkerasan yang optimal sebagai berikut.

Tabel 3.5 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA5 (juta) dalam 20 tahun				
		0 - 1	1 - 4	4 - 10	>10 - 30	>30
AC modifikasi	3,3A,3B	-	-	-	-	2
AC dengan CTB					2	-
AC modifikasi dengan CTB					-	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 Soil Cement	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)

3.2 Metode Mekanistik – Empiris

Metode mekanistik-empiris merupakan pendekatan komprehensif dalam desain struktur perkerasan yang menggabungkan prinsip mekanika teknik dengan data empiris hasil pengamatan dan pengujian lapangan. Pendekatan ini dirancang

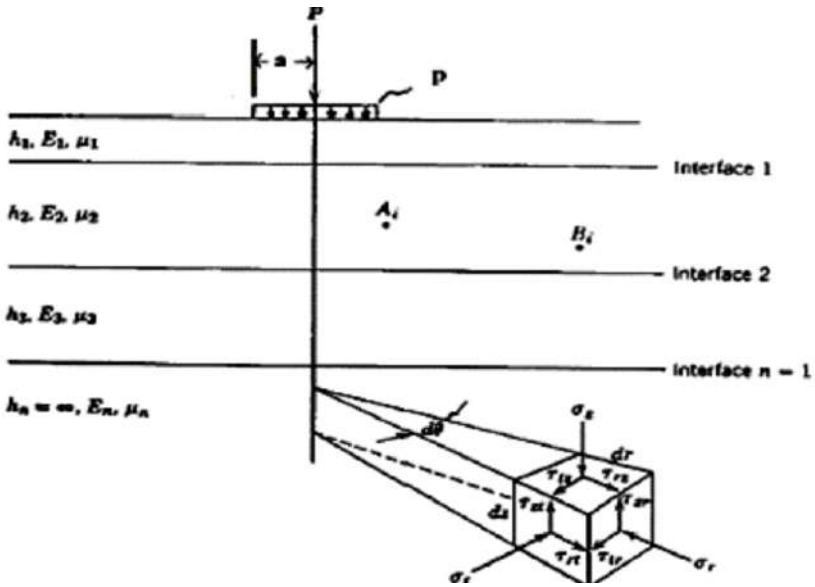
untuk mengatasi keterbatasan metode empiris sebelumnya yang hanya mengandalkan korelasi data masa lampau tanpa mempertimbangkan perilaku mekanis material, serta metode mekanistik murni yang cenderung idealis dan belum tentu sesuai dengan kondisi asli di lapangan. Dalam metode ini, perkerasan dianalisis berdasarkan respon fisik terhadap pembebanan seperti regangan, tegangan, dan lendutan yang dihitung dengan menggunakan prinsip mekanika material dan elastisitas. Respon struktural tersebut menjadi dasar untuk memperkirakan jenis dan tingkatan kerusakan melalui fungsi transfer kerusakan (*damage transfer function*) yang disesuaikan menggunakan data kinerja perkerasan dari berbagai kondisi lingkungan dan lalu lintas.

Metode perencanaan mekanistik-empiris berlandaskan pada prinsip mekanika bahan yang membutuhkan sejumlah data penting seperti beban roda serta respons struktur perkerasan berupa tegangan dan regangan. Respons tersebut dimanfaatkan untuk memperkirakan tekanan yang muncul dalam uji laboratorium maupun performa aktual di lapangan. Evaluasi terhadap kinerja perkerasan sangat diperlukan karena pendekatan teoritis saja belum cukup meyakinkan untuk menghasilkan desain perkerasan yang realistis. *Multilayer Elastic System* merupakan salah satu pendekatan analisis yang digunakan dalam metode mekanistik. Sistem ini menekankan pada perhitungan tegangan, regangan, dan lendutan sebagai respons struktur perkerasan terhadap beban roda kendaraan yang melintasi permukaan jalan. Dalam sistem elastis berlapis tersebut terdapat sejumlah asumsi yang diterapkan dalam proses perhitungan respon struktural seperti berikut.

1. Setiap lapisan dalam struktur perkerasan diasumsikan memiliki ketebalan tertentu, sedangkan tanah dasar dianggap memiliki ketebalan tak terbatas. Selain itu lebar dari setiap lapisan juga diasumsikan tidak terbatas.
2. Material dari setiap lapisan perkerasan memiliki sifat yang beragam sehingga perilaku struktural dapat diprediksi secara konsisten tanpa memperhitungkan variasi didalam satu lapisan.
3. Sifat bahan pada setiap lapisan diasumsikan bersifat isotropik yaitu memiliki karakteristik yang sama ke segala arah pada satu titik yang sama, sehingga respon terhadap beban tidak dipengaruhi oleh orientasi.

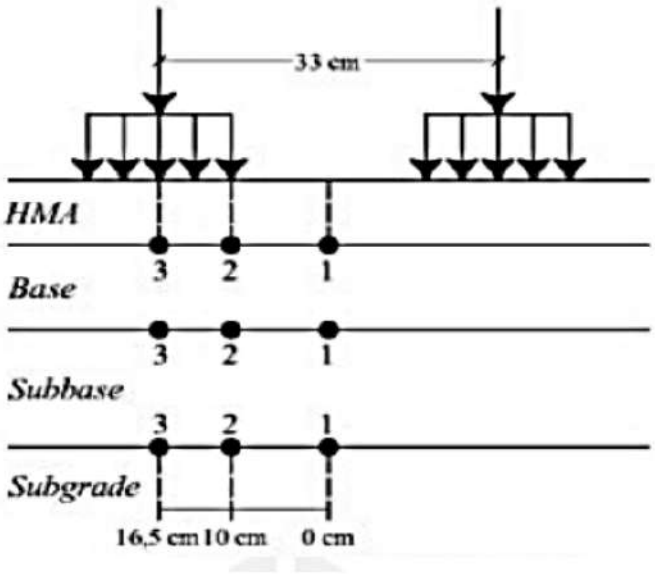
4. Hubungan antara tegangan dan regangan dalam lapisan diasumsikan bersifat linear dan ketika tegangan dihilangkan, regangan akan Kembali ke bentuk semula yang disebut sifat elastis.
5. Karateristik material diwakili oleh dua parameter utama yaitu modulus *resilien* (E atau MR) dan rasio poisson (μ)
6. Diasumsikan tidak terjadi gesekan atau slip antara lapisan perkerasan sehingga distribusi beban hanya bergantung pada kekakuan masing-masing lapisan.
7. Tekanan dari beban roda kendaraan dianggap bekerja secara vertikal terhadap permukaan lapisan perkerasan.

Penjelasan mengenai sistem lapis banyak pada perkerasan yang menggambarkan hubungan antara lapisan-lapisan material penyusun jalan serta distribusi beban yang bekerja akibat tekanan roda kendaraan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan untuk memahami posisi dan titik analisis tegangan serta regangan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Sistem Lapis Banyak

Sumber : Yoder dan Witczak (1975)



Gambar 3.2 Lokasi Analisis Horizontal

1. Parameter setiap lapis

   a. Modulus elastis

   Material elastis adalah jenis bahan yang mampu kembali ke bentuk awal setelah mengalami tarikan atau tekanan. Modulus elastisitas merupakan rasio antara tegangan yang dialami dan regangan yang terjadi pada suatu benda. Istilah lain dari modulus elastisitas adalah Modulus Young, yang biasanya disimbolkan dengan huruf E. Nilai dari modulus elastisitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \tag{3.3}$$

   dengan

   E : modulus elastisitas (kPa atau Psi),

   τ : tegangan (kPa), dan

   ε : regangan.

   Setiap material memiliki batas elastisitas tertentu yang menggambarkan kemampuan maksimum dalam menahan regangan dan tegangan sebelum

mengalami deformasi permanen. Batas elastis suatu material tidak hanya mencerminkan kekuatan material terhadap tegangan atau regangan, tetapi menjadi indikator kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan dimensi awal setelah beban dihilangkan.

b. Poisson's Ratio

Salah satu parameter krusial dalam analisis elastis pada sistem struktur perkerasan jalan adalah *Poisson ratio*, yaitu rasio antara regangan horizontal terhadap regangan vertical yang timbul akibat pembebanan searah sumbu. Nilai modulus elastisitas dan *Poisson ratio* dari berbagai material perkerasan disajikan pada Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6 Karaterisasi Modulus Bahan untuk Desain dan Analisis

Material	**Modulus Tipikal**	***Poisson's Ratio***
HRS-WC	800 MPa	0,40
HRS-BC	900 MPa	
AC-WC (2 x 75 tumbukan)	1.100 MPa	
AC-WC (2 x 50 tumbukan)	1.000 MPa	
AC-BC (2 x 75 tumbukan)	1.200 MPa	
AC-*Base* (2 x 75 tumbukan)	1.500 MPa	
AC-WC PG70 (2 x 75 tumbukan)	1.300 MPa	
AC-BC PG70 (2 x 75 tumbukan)	1.400 MPa	
Bahan bersemen (CTB)	3.000 Mpa (*pre cracking*)	0,20
Bahan bersemen (CTB)	500 MPa retak (*post cracking*)	0,20 (mulus)
		0,35 (retak)
Tanah dasar	10 x CBR (MPa)	0,45 (tanah kohesif)
		0,35 (tanah non-kohesif)

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

2. Ketebalan setiap lapis perkerasan

Informasi mengenai ketebalan lapisan perkerasan merupakan komponen penting dalam penerapan teori elastis berlapis banyak, yang berfungsi sebagai data input dalam proses analisis menggunakan perangkat lunak. Nilai ketebalan tersebut dinyatakan dalam satuan milimeter (mm) atau inci (*inch*).

3.3 Program *KENPAVE*

KENPAVE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk perencanaan desain perkerasan, dikembangkan oleh Dr. Yang Huang, P.E. (1985), seorang Profesor Emeritus di bidang Teknik Sipil dari *University of Kentucky*. Program ini dirancang menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic* dan kompatibel. Perangkat lunak ini mengintegrasikan dua modul utama, yaitu *KENLAYER* untuk analisis perkerasan lentur dan *KENSLABS* untuk analisis perkerasan kaku, sehingga mampu digunakan untuk berbagai jenis studi perkerasan. Selain itu, *KENPAVE* menyediakan keluaran berupa data numerik dan grafik yang memudahkan interpretasi hasil analisis, mulai dari distribusi tegangan dan regangan hingga prediksi umur layan perkerasan. Tampilan antarmuka awal dari perangkat lunak *KENPAVE* secara lengkap disajikan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Tampilan Awal Program *KENPAVE*

Perangkat lunak *KENPAVE* terdiri dari dua komponen utama untuk melakukan analisis perkerasan, yaitu perkerasan lentur yang didasarkan pada teori sistem berlapis, dan perkerasan kaku yang mengacu pada metode elemen tak hingga. Dalam penggunaannya, tersedia empat menu utama untuk menganalisis struktur perkerasan, yaitu *LAYERINP, KENLAYER, SLABSINP, dan KENSLABS.* Masing-masing menu memiliki fungsi spesifik berdasarkan jenis perkerasan *LAYERINP* dan *KENLAYER* digunakan untuk analisis perkerasan lentur, sementara *SLABSINP* dan *KENSLABS* diperuntukkan bagi perkerasan kaku. Penjelasan lebih lanjut mengenai fungsi setiap menu dalam program *KENPAVE* disajikan berikut ini.

3.3.1 Data *Path*

Merupakan informasi mengenai lokasi penyimpanan *file* data, yang secara *default* berada di folder penginstalan perangkat lunak *KENPAVE*.

3.3.2 *File Name*

Menu ini menampilkan *file* yang dihasilkan oleh *LAYERINP* atau *SLABSINP*. Pengguna tidak perlu mengubah nama *file* secara manual karena *file* yang dibuat akan otomatis tersimpan dengan nama *Untitled.DAT*, namun nama *file* tersebut dapat diedit kemudian.

3.3.3 *Help*

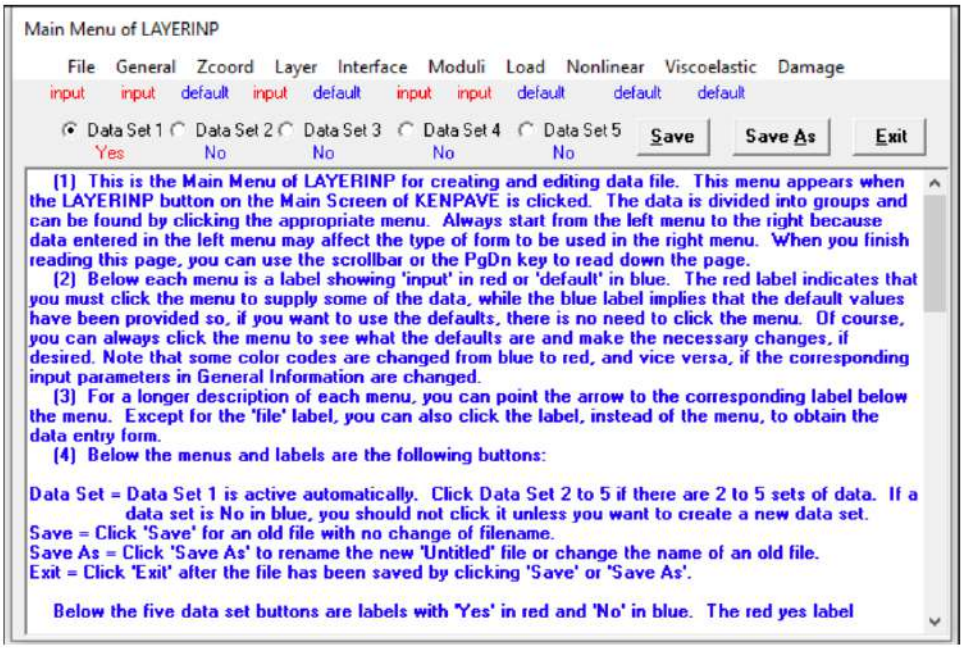
Menu *Help* menyediakan panduan penggunaan serta penjelasan mengenai parameter input yang diperlukan. Beberapa tampilan layar memiliki tombol ‘BANTUAN’ atau menu ‘Bantuan’ yang menampilkan kotak teks secara terpisah. Pengguna dapat mencetak informasi tersebut dengan mengklik menu *Print* di atas kotak teks, atau memindahkan tampilan ke atas maupun ke bawah agar keduanya dapat dibaca secara bersamaan.

3.3.4 Editor

Menu *Editor* berfungsi untuk meninjau, memodifikasi, dan mencetak *file* data. Penggunaan editor ini sangat disarankan bagi pengguna pemula. Bagi pengguna berpengalaman, editor ini dapat mempercepat proses input data dan meminimalisir kesalahan yang dapat menyebabkan *file* tidak dapat dimuat atau diedit melalui *LAYERINP* maupun *SLABSINP* karena ketidaksesuaian data.

3.3.5 LAYERINP atau SLABSINP

LAYERINP atau *SLABSINP* berfungsi untuk menyusun file data yang diperlukan sebelum program *KENLAYER* atau *KENSLABS* dapat dijalankan. Tampilan jendela *LAYERINP* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Main Menu of Layerinp*

Pada bagian menu terdapat label *'input'* yang menunjukkan bahwa bagian tersebut perlu disesuaikan dengan data struktur perkerasan yang akan dianalisis. Apabila tercantum *'default'*, maka pengisian pada bagian tersebut tidak diwajibkan.

3.3.6 KENLAYER atau KENSLAB

KENLAYER maupun *KENSLABS* merupakan program utama yang digunakan untuk analisis struktur perkerasan dan hanya dapat dijalankan setelah *file* data disiapkan. Program ini membaca data dari *file* yang tersedia dan memulai proses eksekusi. Selama proses berlangsung, beberapa hasil akan ditampilkan di layar untuk memberikan informasi bahwa program sedang berjalan.

3.3.7 LGRAPH atau SGRAPH

LGRAPH atau *SGRAPH* digunakan untuk menghasilkan grafik rencana serta penampang perkerasan, disertai dengan informasi terkait data input dan hasil output. Perangkat ini juga memudahkan proses visualisasi hasil perhitungan sehingga perencana dapat memeriksa kesesuaian desain dengan parameter teknis yang telah ditentukan.

3.3.8 *Contour*

Fitur ini bermanfaat untuk menggambarkan kontur tekanan atau momen pada arah x atau y. Pada struktur pelat perkerasan, tidak terdapat momen eksternal yang bekerja, sehingga hanya tekanan pada pelat akibat pembebanan yang ditampilkan dalam bentuk kontur. Representasi visual ini membantu analis dalam mengidentifikasi distribusi beban pada permukaan pelat serta mendeteksi area yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan, sehingga dapat menjadi acuan dalam evaluasi desain dan perbaikan struktur.

3.4 Program KENLAYER

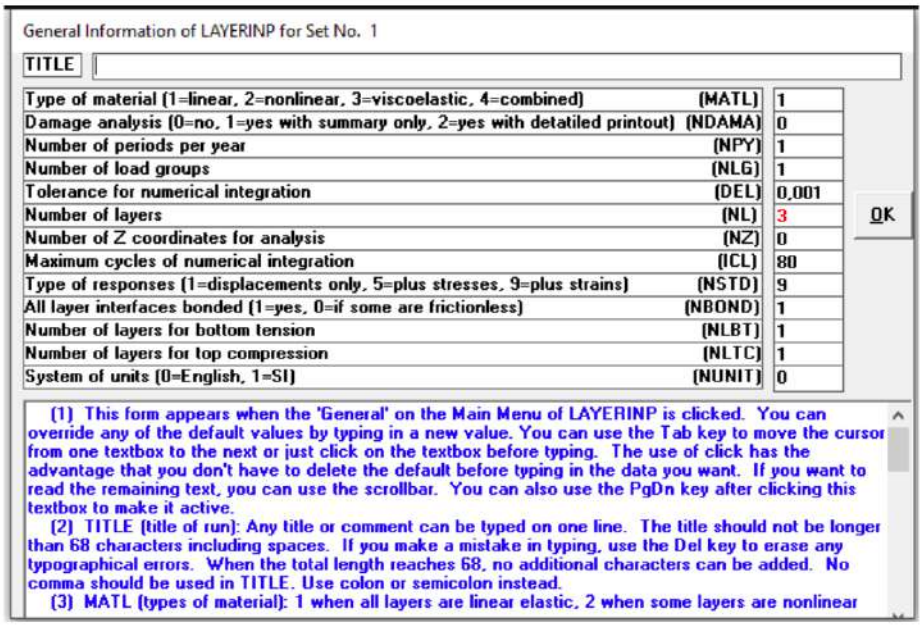
KENLAYER merupakan perangkat lunak yang digunakan dalam analisis perkerasan lentur, dan hanya dapat dijalankan setelah data dimasukkan melalui menu *LAYERINP*. Menu pada *LAYERINP* terdiri dari 11 (sebelas) bagian, di mana masing-masing memuat data yang wajib diinput. Penjabaran mengenai setiap menu dalam *LAYERINP* dijelaskan pada bagian berikut.

3.4.1 *File*

Menu *file* digunakan untuk memulai proses pekerjaan dengan dua opsi, yaitu *new* untuk pembuatan *file* baru dan *old* untuk membuka *file* yang telah tersedia sebelumnya.

3.4.2 *General*

Menu ini berfungsi untuk menampilkan informasi umum terkait jenis struktur perkerasan yang akan dianalisis. Informasi yang ditampilkan mencakup tiper perkerasan, jumlah lapisan, serta parameter dasar yang digunakan dalam proses perhitungan. Dengan adanya menu ini, pengguna dapat memastikan data sesuai dengan kebutuhan analisis. Visualisasi dari menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tampilan Layar *General*

Pada menu *General*, terdapat beberapa entri yang harus diisi dengan nilai tertentu, antara lain sebagai berikut :

a. *TITLE* : Digunakan untuk memasukkan judul analisis, dengan batas maksimal 68 karakter.

b. *MATML* : Berfungsi untuk menentukan jenis material yang digunakan pada pilihan sebagai berikut: (1) material bersifat elastis linier, (2) material bersifat elastis non-linier, (3) material bersifat viskoelastis, atau (4) kombinasi dari ketiga jenis material tersebut.

c. *NDAMA* : Digunakan untuk memilih opsi analisis kerusakan. Pilihan nilai meliputi (0) tanpa analisis kerusakan, (1) terdapat analisis kerusakan dengan keluaran hasil standar, dan (2) analisis kerusakan disertai dengan hasil keluaran yang lebih rinci.

d. *DEL* : Tingkat ketelitian atau akurasi data dalam perhitungan.

e. *NL* : Menyatakan jumlah lapisan yang dianalisis, dengan batas maksimum sebanyak 19 lapisan.

f. *NZ* : Menentukan posisi koordinat arah z yang akan dianalisis. apabila *NDAMA* sebesar 1 atau 2, maka *NZ* diisi 0 otomatis menganalisis titik koordinat lokasi evaluasi kerusakan.

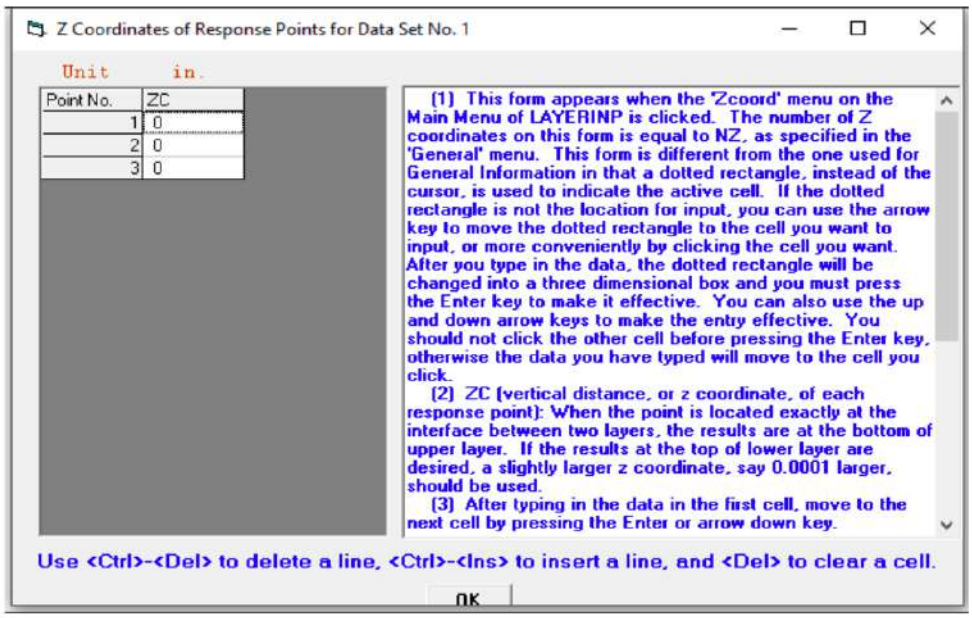
g. *NSTD* : Penentuan jenis output yang diinginkan berupa tegangan, regangan, dan perpindahan. Pilihan (1) menunjukkan perpindahan vertikal dan tegangan, sedangkan pilihan (5) mencakup perpindahan vertikal, regangan, serta tegangan.

h. *NBOND* : Pilihan ini digunakan untuk mendefinisikan kondisi antar lapisan, (1) apabila lapisan saling terikat, (2) jika lapisan tidak terikat dan gaya gesek lapisan tidak diperhitungkan.

i. *NUNIT* : Menentukan sistem satuan yang akan digunakan dalam analisis, yaitu (0) sistem satuan imperial (Inggris) dan (1) untuk sistem satuan internasional (SI).

3.4.3 *Zcoord*

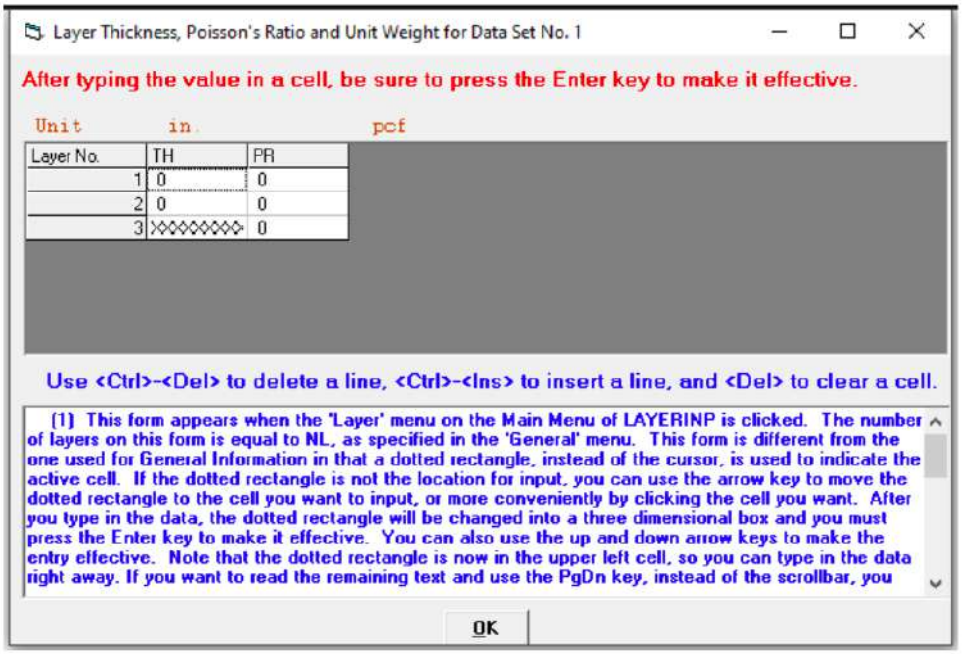
Zcoord adalah menu untuk menganalisis perkerasan pada titik tertentu sepanjang sumbu Z. Jumlah titik disesuaikan otomatis dengan nilai *NZ* pada menu general seperti ilustrasi pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Jendela Menu *Zcoord*

3.4.4 *Layer*

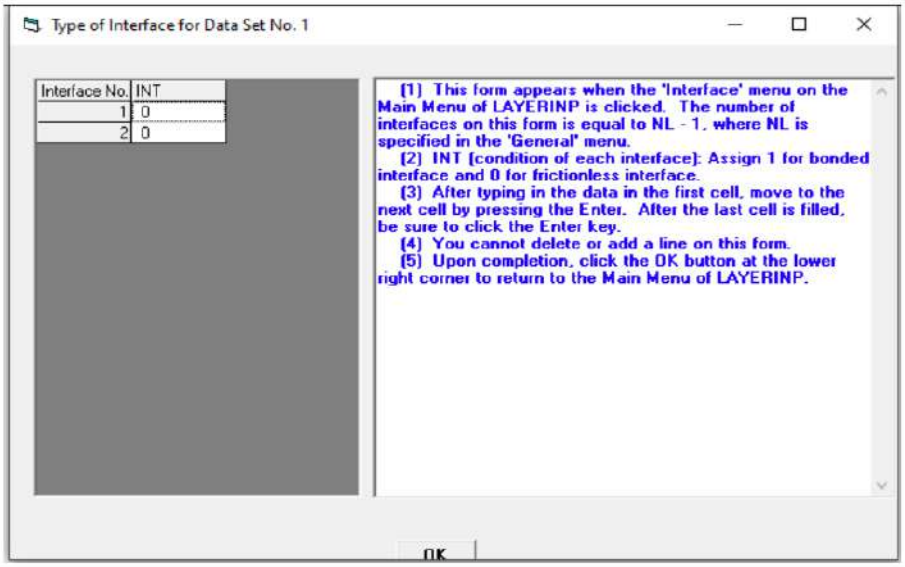
Menu layer terdiri atas dua kolom isian data. Kolom pertama yaitu TH merepresentasikan ketebalan setiap lapisan, sedangkan kolom kedua PR menunjukkan nilai rasio *poisson* untuk masing-masing lapisan. Penjelasan lebih lanjut mengenai hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Tampilan Jendela *Layer*

3.4.5 *Interface*

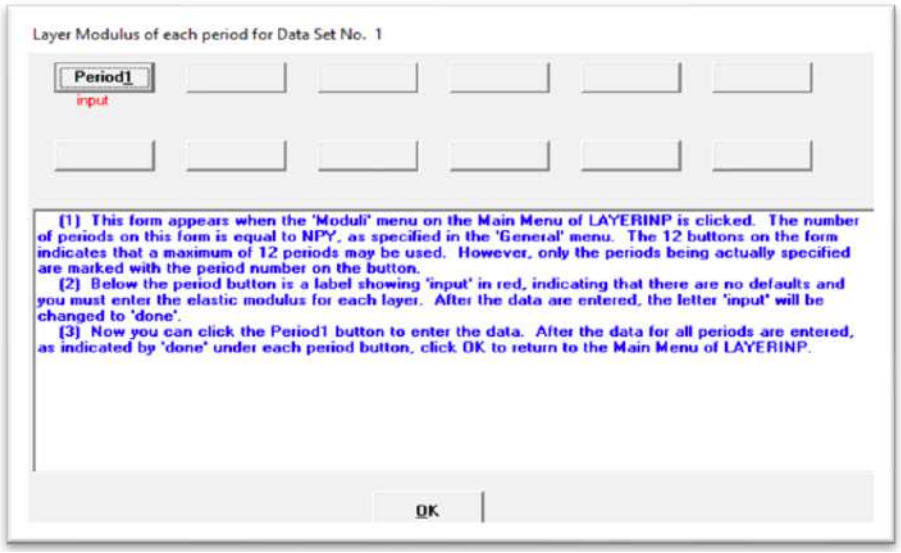
Menu *interface* bergantung pada parameter *NBOUND* yang diisikan di bagian *general*. Apabila *NBOUND* bernilai 1, maka menu *interface* dalam kondisi *default*. Namun jika *NBOUND* diatur ke angka 2, maka menu *interface* akan aktif dan dapat diisi. Pengaturan ini memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan parameter batas sesuai kebutuhan analisis, seperti menentukan kondisi kontak antarlapisan atau sifat interaksi yang terjadi pada perkerasan. Penyesuaian tersebut berperan penting dalam menghasilkan simulasi yang lebih realistis, terutama pada analisis yang melibatkan variasi kekakuan atau gesekan antarpermukaan. Ilustrasi mengenai hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Tampilan Jendela *Interface*

3.4.6 *Modul*

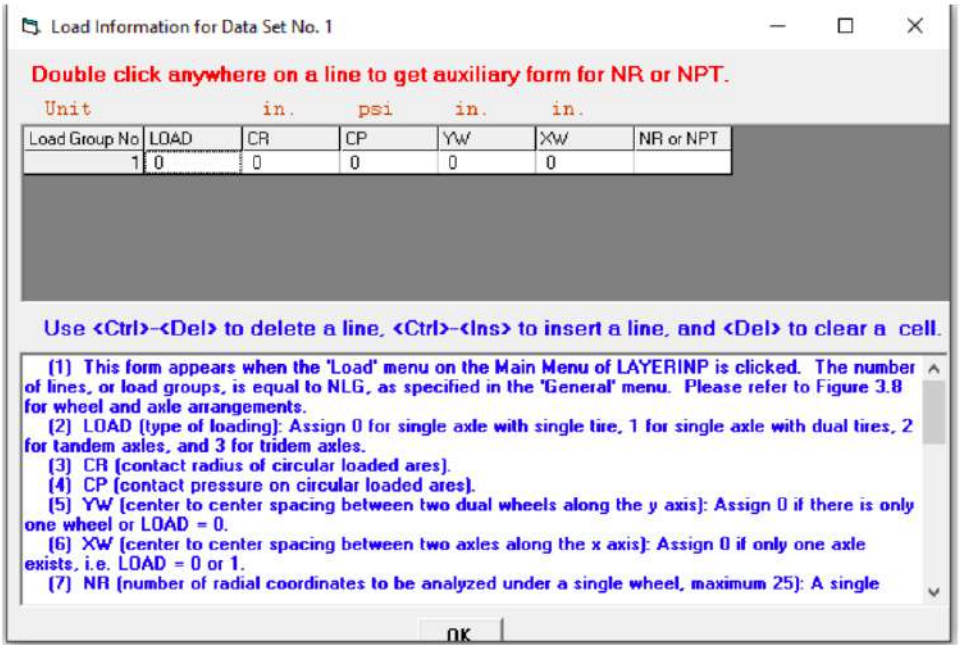
Pada Modul ini, jumlah periode mengikuti nilai *NY* pada menu general dengan maksimum 12 periode. Setiap periode memiliki kolom untuk memasukkan nilai modulus elastisitas (E) berdasarkan masing-masing lapisan, seperti dilihat pada Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Tampilan Jendela *Interface*

3.4.7 *Load*

Jumlah unit yang tersedia pada menu ini disesuaikan dengan nilai *NLG* yang telah ditentukan dalam menu *general*. Pada kolom *load*, input nilai (0) menunjukkan sumbu tunggal, (1) untuk sumbu tunggal dengan roda ganda, (2) untuk sumbu tandem, dan (3) untuk sumbu triple. Kolom *CR* digunakan untuk mengisikan jari-jari area kontak pembebanan. Kolom *CP* berisi besar nilai beban yang diterapkan. Sedangkan kolom *XW* dan *YW* menunjukkan jarak antar roda dalam arah x dan y. Kolom *NR* dan *NPT* merujuk pada titik koordinat lokasi tegangan dan regangan yang akan dianalisis. Tampilan jendela *load* secara visual dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tampilan Jendela *Modul*

3.5 Analisis Kerusakan Perkerasan

Kerusakan pada struktur lapisan perkerasan seringkali terjadi, dan salah satu faktor utamanya adalah beban lalu lintas kendaraan yang melintas di atas permukaan jalan. Melalui analisis menggunakan perangkat lunak *KENPAVE*, dapat diperoleh nilai tegangan dan regangan yang berperan dalam memprediksi jenis

kerusakan yang mungkin timbul. Beberapa bentuk kerusakan yang dapat diperkirakan antara lain *fatigue cracking, permanent deformation, rutting.*

3.5.1 *Fatigue cracking*

Persamaan untuk menghitung fatigue cracking digunakan guna mengetahui jumlah pengulangan beban yang terjadi berdasarkan nilai regangan tarik di bawah lapisan permukaan perkerasan lentur, sehingga ketahanan terhadap retak akibat beban berulang dapat diprediksi menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3{,}921}\ |E|^{\ -0{,}854} \qquad (3.4)$$

dengan

N_f : jumlah nilai pengulangan beban yang diijinkan,

ε_t : *tensile strain* bagian bawah aspal yang dihitung berdasar respon model, dan

E : modulus elastis pada bagian lapis permukaan.

3.5.2 *Rutting*

Jumlah nilai pengulangan beban terhadap terjadinya *rutting* ditentukan berdasarkan regangan tekan yang terjadi di bawah lapisan pondasi. Nilai ini menjadi indicator penting untuk menilai ketahanan perkerasan terhadap deformasi permanen akibat pembebanan lalu lintas berulang. Semakin tinggi regangan yang terjadi, maka semakin kecil jumlah siklus beban yang dapat ditahan sebelum terjadi kerusakan. Nilai ini dapat dihitung melalui Persamaan 3.5 berikut.

$$N_r = f_4\ (\varepsilon_t)^{-f_5} \qquad (3.5)$$

dengan

N_r : jumlah nilai repitisi beban yang diijinkan,

f_4, f_5 : koefisien deformasi permanen, dan

ε_t : regangan tegangan vertikal di atas lapis dasar.

3.5.3 *Permanent Deformation*

Persamaan untuk menghitung deformasi permanen dalam rangka menentukan jumlah repetisi beban pada perkerasan lentur disajikan pada Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5} \quad (3.6)$$

dengan

N_d : jumlah nilai repitisi beban yang diijinkan,

f_4, f_5 : koefisien deformasi permanen, dan

ε_c : regangan tegangan vertikal di atas lapis dasar.

3.6 Nilai Sisa Umur Layan

Umur layan struktur perkerasan merupakan kapasitas daya dukung dari struktur perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas berulang hingga mencapai kondisi yang memerlukan tindakan pemeliharaan. Penentuan umur layan dapat dinyatakan dalam satuan tahun atau satuan beban standar juta sumbu setara (*Million Standard Axle/MSA*). Estimasi nilai sisa umur layan diperoleh melalui analisis terhadap volume lalu lintas dan jumlah repetisi beban yang diizinkan, yang dinyatakan dalam satuan 18-Kip *Equivalent Single Axle Load* (*ESAL*). Perhitungan nilai umur sisa layan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.7 berikut.

$$RL = 100 \text{ x } (1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}) \quad (3.7)$$

dengan

RL : *remaining Life,*

N_p : Σ kumulatif W18 per tahun, dan

$N_{1,5}$: kumulatif W18 tahun terakhir umur rencana.

3.7 *Elastic Layer*

Lapisan elastik (*elastic layer*) merupakan salah satu karakteristik material pada struktur perkerasan jalan. Karakteristik ini mengasumsikan bahwa setiap lapisan bersifat homogen, isotropik, dan berperilaku elastis secara linear. Pemodelan lapisan elastik dilakukan dengan menghitung nilai regangan, tegangan, serta defleksi pada struktur perkerasan yang menerima beban dari lalu lintas di permukaannya. Model elastik ini menggunakan pendekatan matematis yang sederhana dan didasarkan pada sejumlah asumsi mendasar. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Lapisan perkerasan diasumsikan membentang secara horizontal dalam arah tak hingga.
2. Lapisan tanah dasar dianggap membentang ke arah vertikal tanpa batas.
3. Material perkerasan diasumsikan tidak mengalami tegangan yang melebihi batas elastisnya.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data

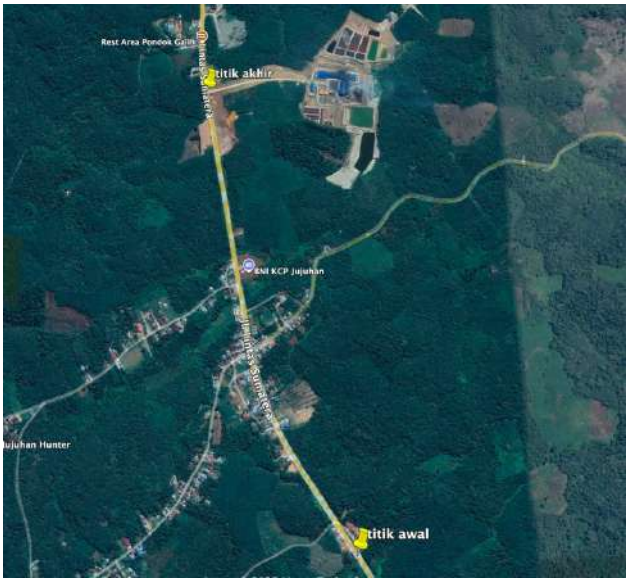
Dalam pelaksanaan penelitian ini ketersediaan data yang memadai untuk dianalisis secara menyeluruh. Apabila data tidak dapat diperoleh secara lengkap, maka hal tersebut dapat menghambat jalannya proses penelitian. Dalam pelaksanaannya terdapat dua jenis data yang digunakan, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari sumber pertama melalui observasi lapangan secara langsung sedangkan data sekunder merupakan data yang telah tersedia di instansi pemerintah, perusahaan, perguruan tinggi, Badan Pusat Statistik, maupun perpustakaan. Kekurangan pada data sekunder yang tersedia dapat dilengkapi melalui pengumpulan data primer.

Pada penelitian ini, sumber utama data sekunder diperoleh dari P2JN Provinsi Jambi. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses analisis terhadap kondisi ruas jalan arteri yang berada di wilayah Provinsi Jambi.

1. Peta lokasi pekerjaan
2. Data Lalu Lintas Harian Rencana (LHR)
3. Data *properties material*
4. Data struktur perkerasan eksisting seperti geometri jalan (panjang jalan, lebar jalan, jumlah arah dan jalur jalan)

4.2 Lokasi Studi Kasus

Lokasi yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini terletak pada ruas jalan yang menghubungkan Provinsi Jambi dengan Provinsi Sumatera Barat, Ruas jalan yang memiliki peran strategis sebagai jalur utama mobilitas masyarakat antarprovinsi sehingga tingkat aktivitas lalu lintasnya sagat tinggi. Kondisi gepgrafisnya melintasi wilayah dengan kontur bervariasi, yang dapat mempengaruhi kinerja dan umur layan perkerasan. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Peta Ruas Jalan Objek Penelitian

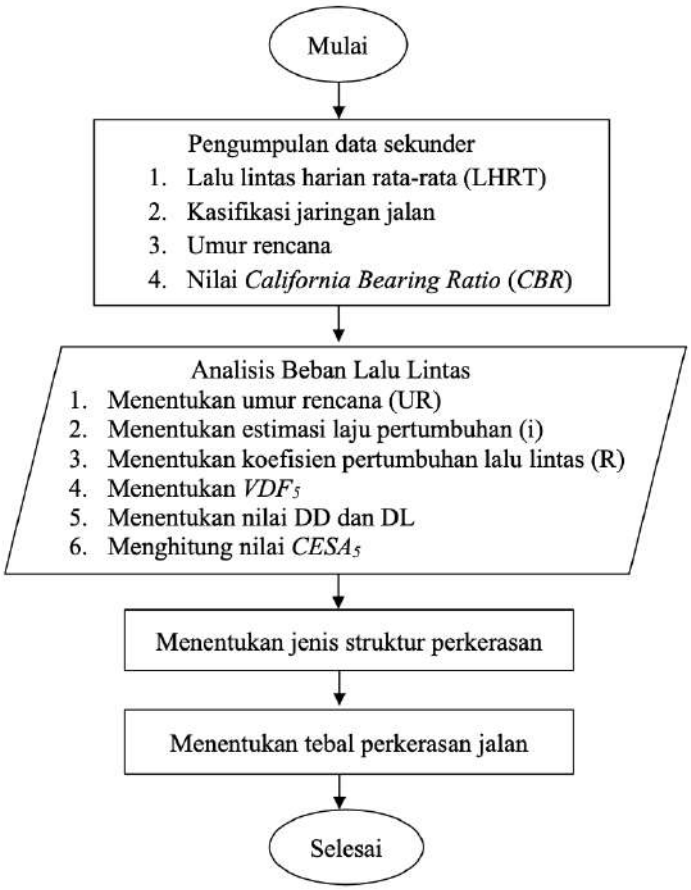
(Sumber : Google Earth, 2025)

4.3 Prosedur Desain Struktur Perkerasan MDPJ 2024

Langkah-langkah dalam perancangan perkerasan lentur merujuk pada ketentuan yang tertuang dalam Manual Desain Perkerasan Jalan No.02/M/BM/2024. Setiap tahap dalam panduan ini disusun untuk menjamin hasil desain yang sesuai dengan standar kinerja dan umur rencana. Berikut ini merupakan tahapan desain perkerasan lentur berdasarkan pedoman teknis yang dikeluarkan oleh MDPJ 2024.

1. Menetapkan umur rencana (UR)
2. Menganalisis data lalu lintas dan lalu lintas harian rerata tahunan (LHRT)
3. Menentukan laju pertumbuhan lalu lintas
4. Menentukan faktor lajur rencana
5. Menentukan faktor ekivalen beban kendaraan
6. Menghitung nilai *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (*CESAL*)
7. Menentukan tipe perkerasan

Adapun dalam penelitian ini dapat dijelaskan secara ringkas pada bagan alir Bina Marga 2024 seperti pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir dengan Metode Bina Marga 2024

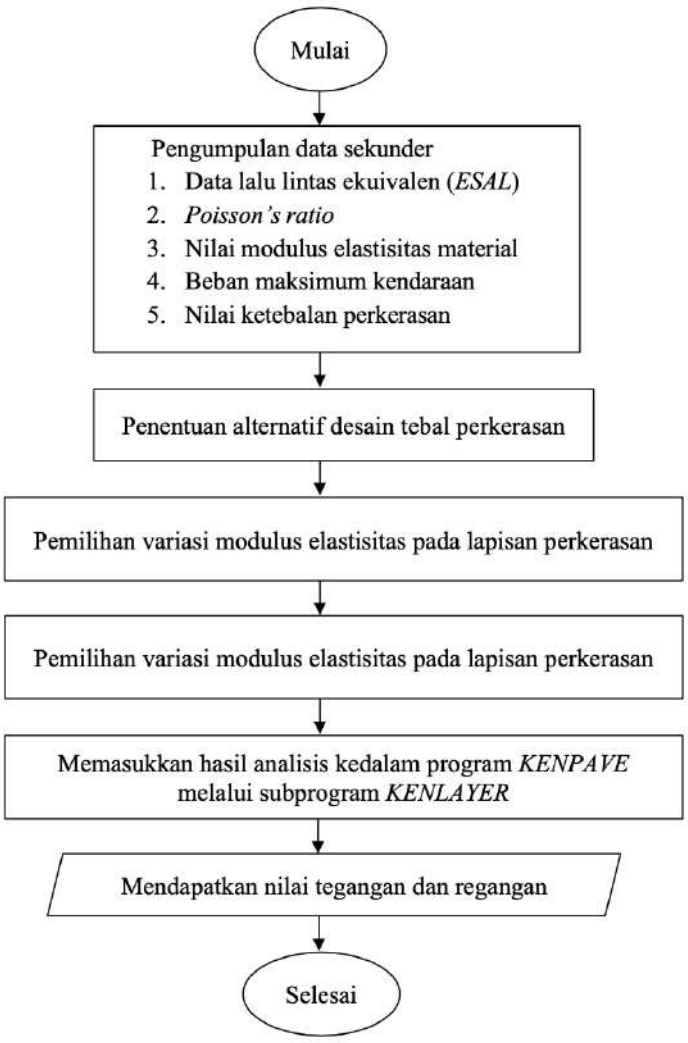
4.4 Prosedur Metode *KENPAVE*

Pemodelan ketebalan lapisan struktur perkerasan menggunakan perangkat lunak *KENPAVE* dilakukan melalui tahapan berikut :

1. Menetapkan data karakteristik material yang meliputi
   a. Ketebalan masing-masing lapisan perkerasan
   b. Asumsi nilai modulus elastisitas (E) pada tiap lapisan
   c. Penetapan nilai *poisson's ratio* untuk setiap lapisan berdasarkan jenis material perkerasan
2. Melakukan analisis terhadap data lalu lintas minimum
3. Memodelkan struktur perkerasan menggunakan program *KENPAVE*
4. Memodelkan perkerasan lentur dengan sub-program *KENLAYER*

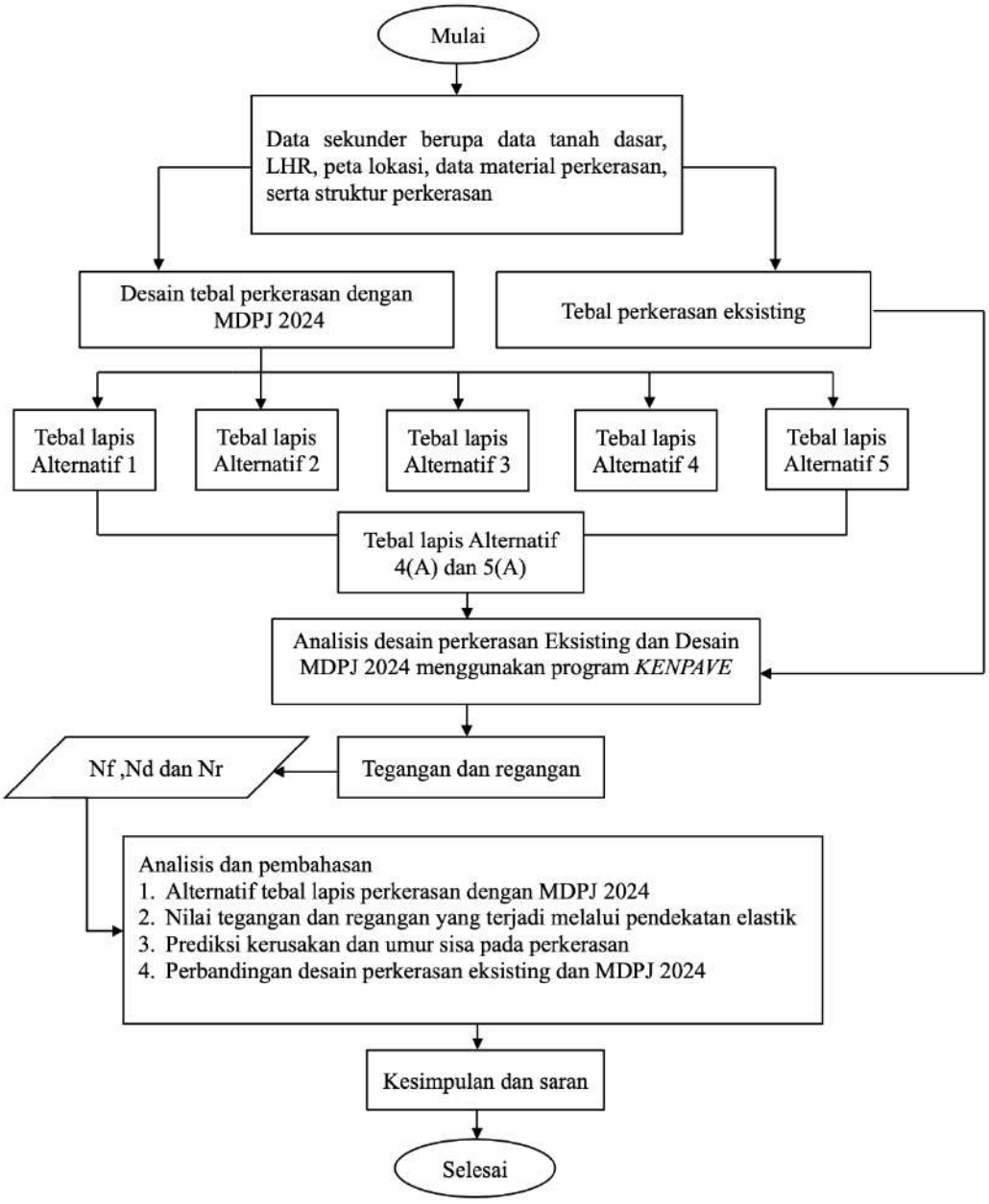
5. Memasukkan data struktur perkerasan, termasuk material, jumlah lapisan, jenis respon, tipe ikatan, dan satuan
6. Menginput titik analisis, jarak vertikal, ketebalan, serta nilai poisson tiap lapisan dan menambahkan data ikatan antar lapis perkerasan
7. Memasukkan jumlah periode, nilai modulus elastisitas tiap lapisan, dan data beban lalu lintas
8. Mendapatkan hasil dari simulasi *KENLAYER*.

Adapun Langkah dalam penelitian ini dapat dijabarkan dengan singkat pada bagian bagan alir menggunakan program *KENPAVE* pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Prosedur Desain Dengan Program *KENPAVE*

Untuk mempermudah pemahaman seluruh proses penelitian dari tahap awal hingga akhir dirangkum dalam bagan alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Tebal Perkerasan Menggunakan Metode Bina Marga 2024

Metode ini digunakan untuk menentukan tebal perkerasan yang sesuai dengan kondisi tanah dasar, karakteristik material, serta beban lalu lintas rencana.

5.1.1 Data Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi Jambi. Data tersebut mencakup informasi data terkait struktur perkerasan eksisting dan data volume lalu lintas di tahun 2024.

5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisting

Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat merupakan salah satu jalur arteri dengan panjang total ± 50 km. Pada ruas ini direncanakan akan mengalami proses rekonstruksi pada struktur perkerasannya. Kondisi tanah dasar pada lokasi penelitian menunjukkan nilai *CBR* ≥6% yang berarti daya dukung tanah cukup baik sehingga tidak diperlukan adanya perbaikan atau stabilisasi tambahan pada *subgrade*. Berdasarkan informasi dari P2JN Provinsi Jambi rincian ketebalan struktur perkerasan rencana dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Tebal Lapis Perkerasan Eksisting

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan (cm)
AC-WC	4 cm
AC-BC	6 cm
LPA kelas A	30 cm

(Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jambi, 2022)

5.1.3 Kondisi Ruas Jalan

Kondisi Ruas Jalan Simpang Jambi Batas-Sumatera Barat dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Kondisi Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat

No	Data	Keterangan
1.	Jenis Jalan	Arteri
2.	Umur Rencana (UR)	20 Tahun
3.	Pertumbuhan Lalu Lintas (i)	8,91% (Berdasarkan LHR 2022 dan LHR 2024)
4.	Distribusi Kendaraan	2 Jalur 2 Arah

(Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jambi, 2022)

5.1.4 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas harian rata-rata pada Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Data Lalu Lintas Harian Rata-rata Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat

No	Gol.	Jenis Kendaraan	LHR 2022	LHR 2024
1.	1	Sepeda Motor	5551	11444
2.	2	Sedan, Jeep dan Station Wagon	3112	5313
3.	3	Pick Up, Combi dan Mini Bus	0	89
4.	4	Pick Up, Mini Truk, dan Mobil Hataran	1455	1448
5.	5a	Bus Kecil	0	22
6.	5b	Bus Besar	16	121
7.	6a	Truk Ringan 2 Sumbu	0	115
8.	6b	Truk Berat 2 Sumbu	11157	2008
9.	7a	Truk Ringan 3 Sumbu	852	707
10.	7b	Truk 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	0	0
11.	7c	Truk 4 Sumbu - Trailer	119	8
12.	8	Kendaraan Tak Bermotor	0	3

(Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jambi 2022 dan 2024)

5.1.5 Perhitungan Beban Lalu Lintas

Data lalu lintas berperan penting dalam menentukan besaran *CESA*, untuk memperoleh nilai *CESA* membutuhkan sejumlah faktor sebagai berikut.

a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Satuan yang digunakan untuk menyatakan faktor pertumbuhan lalu lintas adalah persen per tahun (%/tahun). Analisis pertumbuhan dilakukan dengan memanfaatkan data LHR 2022 dan 2024 yang dinyatakan dalam kend/jam. Besar laju pertumbuhan lalu lintas tahunan i(2022-2024) dihitung dengan persamaan berikut.

$$i_1 = \left(\frac{LHR\ 2024}{LHR\ 2022}\right)^{\left(\frac{1}{2024-2022}\right)} - 1$$

$$i_1 = \left(\frac{11444}{5551}\right)^{\left(\frac{1}{2024-2022}\right)} - 1$$

$$i_1 = 0{,}4358206$$

$$\text{i pakai} = \frac{\sum i}{n} x\ 100\%$$

$$\text{i pakai} = \frac{1{,}0695820}{12} x\ 100\%$$

$$\text{i pakai} = 8{,}91\%$$

Besaran faktor pertumbuhan lalu lintas terbagi menjadi 2 yaitu R3(2025-2028) untuk faktual dan R17(2028-2045) untuk normal dengan contoh perhitungan menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

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

$$R_3 = \frac{(1+0{,}01\ x\ 8{,}91\%)^3-1}{0{,}01\ x\ 8{,}91\%}$$

$$R = 3{,}28$$

Hasil rekapitulasi perhitungan nilai (i) sebagai laju pertumbuhan tahunan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Data LHR 2022 dan 2024

No	Golongan kendaraan	LHR 2022 (kend/jam)	LHR 2024 (kend/jam)	i
1.	1	5551	11444	0,4358206
2.	2	3112	5313	0,3066224
3.	3	0	89	0
4.	4	1455	1448	-0,002295
5.	5a	0	22	0
6.	5b	16	121	1,7300854
7.	6a	0	115	0
8.	6b	11157	2008	-05757727
9.	7a	852	707	-0,0891761
10.	7b	0	0	0
11.	7c	119	8	-0,7357023
12.	8	0	3	0
∑i				1,0695820

b. Faktor distribusi lajur (D_L)

Faktor distribusi lajur ditetapkan berdasarkan acuan pada Tabel 3.2. Untuk kondisi kendaraan niaga dengan jumlah lajur tiap arah hanya satu, maka seluruh beban lalu lintas dianggap terdistribusi pada lajur tersebut sehingga diperoleh nilai DL sebesar 100%.

c. Faktor distribusi arah (D_D)

Mengacu pada ketentuan dalam Bina Marga 2024, faktor distribusi arah ditentukan berdasarkan kondisi lalu lintas dua arah. Pada ruas jalan dengan pergerakan lalu lintas yang relatif seimbang, nilai DD umumnya diambil sebesar 0,5. Pemilihan angka ini dimaksudkan untuk merepresentasikan distribusi beban kendaraan yang proporsional pada masing-masing arah.

d. *VDF (Vehicle Damage Factor)*

Nilai *VDF* untuk setiap jenis kendaraan niaga yang digunakan dalam proses perhitungan *ESA* telah disajikan pada Tabel 3.4 dan dijelaskan sebelumnya sehingga nilai tersebut menjadi dasar dalam menentukan besarnya kontribusi kerusakan masing-masing golongan kendaraan terhadap perkerasan. Berdasarkan data *VDF* tersebut perhitungan *CESA* 5 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.2 sesuai pedoman yang berlaku. Sebagai bentuk penerapan perhitungan secara nyata analisis *CESA* 5 disajikan dalam dua kondisi yaitu *ESA* 5 faktual untuk periode 2025-2028 yang mencerminkan kondisi lalu lintas aktual pada awal umur rencana serta *ESA* 5 normal untuk periode 2028-2045 yang merepresentasikan kondisi lalu lintas setelah memasuki pola pertumbuhan normal. Fokus analisis dalam contoh ini ditujukan pada golongan kendaraan 5b.

LHR 2025 $= \text{LHR 2024} \times (1 + i)^{UR}$

$= 121 \times (1 + 8{,}91\%)^{1}$

$= 132$ kend/jam

CESA (2025-2028) $= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R_3$

$= (132 \times 1{,}3) \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times 3{,}28$

$= 102.407$

LHR 2028 $= \text{LHR 2024} \times (1 + i)^{UR}$

$= 121 \times (1 + 8{,}91\%)^{4}$

$= 170$ kend/jam

CESA (2028-2045) $= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R_{17}$

$= (170 \times 1{,}3) \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times 36{,}68$

$= 1.481.664$

Hasil rekapitulasi perhitungan *CESA* 5 dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.5 Perhitungan Nilai *CESA* 5

Golongan Kendaraan	LHR 2024	LHR 2025	LHR 2028	VDF 5 Faktual	VDF 5 Normal	R (i = 8,91%)		ESA 5	
						3 Tahun (2025-2028)	17 Tahun (2028-2045)	Beban Faktual 2025-2028	Beban Normal 2028-2044
1	11444	12464	16103	-	-	3,28	36,68	-	-
2,3,4	6850	7461	9638	-	-	3,28	36,68	-	-
5A	22	24	31	-	-	3,28	36,68	-	-
5B	121	132	170	1,3	1,3	3,28	36,68	102.407	1.481.664
6A	115	125	162	0,4	0,4	3,28	36,68	29.947	433.290
6B	2008	2187	2825	1,8	0,4	3,28	36,68	2.353.076	7.565.623
7A1	707	770	995	-	-	3,28	36,68	-	-
7A2	-	-	-	25,4	6	3,28	36,68	-	-
7C1	8	9	11	11,9	8	3,28	36,68	61.978	602.838
7C2A	-	-	-	7,5	7,5	3,28	36,68	-	-
7C3	-	-	-	18	8,2	3,28	36,68	-	-
CESA 20 Tahun (*ESAL*)								2.547.408	10.083.416
								12.630.823	

Tabel 5.6 Rekapitulasi Rencana Jumlah Kendaraan Setiap Tahun

Tahun	CESA 5 (*ESAL*)
2026	777.754
2027	1.624.830
2028	2.547.408
2029	1.255.535
2030	1.642.341
2031	2.063.623
2032	2.522.456
2033	3.022.185
2034	3.566.455
2035	4.159.238
2036	4.804.856
2037	5.508.020
2038	6.273.858
2039	7.107.956
2040	8.016.399
2041	9.005.813
2042	10.083.416
2043	11.257.067
2044	12.535.328
2045	13.927.522

5.1.6 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2024

Penentuan tebal lapis perkerasan berdasarkan pada hasil perhitungan nilai *CESA* 5 dengan umur rencana 20 tahun sebesar 12,63 x 10^6. Nilai tersebut dijadikan acuan dalam menentukan jenis perkerasan yang sesuai dengan ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Berdasarkan pedoman tersebut pemilihan tipe perkerasan merujuk pada Bagan Desain 3, 3A, dan 3B. Hasil keputusan pemilihan jenis perkerasan yang diperoleh dari proses perhitungan tersebut dapat dilihat secara rinci pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Pemilihan Jenis Perkerasan Berdasarkan Nilai Pembebanan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA5 (juta) dalam 20 tahun				
		0 - 1	1 - 4	4 - 10	>10 - 30	>30
AC modifikasi	3,3A,3B	-	-	-	-	2
AC dengan CTB					2	-
AC modifikasi dengan CTB					-	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 Soil Cement	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)

Berdasarkan Tabel 5.7 pemilihan jenis perkerasan ditentukan berdasarkan Bagan Desain 3, 3A, dan 3B sebagaimana tercantum dalam MDPJ 2024. Dari hasil tersebut struktur perkerasan yang sesuai adalah *AC* dengan *CTB* maupun *AC* dengan lapis fondasi agregat yang disesuaikan dengan kategori pembebanan lalu lintas pada umur rencana 20 tahun. Rincian lebih lanjut mengenai tebal perkerasan disajikan pada Tabel 5.8 – Tabel 5.12.

Tabel 5.8 Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 150 mm (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					
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	-	-	-	-	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 atau LFA Kelas C	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

Tabel 5.9 Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 200 mm (aspal pen 60/70 dan PG70)

	Struktur Perkerasan							
	F(2) 1	F(2) 2	F(2) 3	F(2) 4	F(2) 5	F(2) 6	F(2) 7	F(2) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70			
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	> 1 - 8	> 8 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 95	> 95-150	> 150-200
Jenis permukaan berpengikat	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
	Tebal Perkerasan (mm)							
AC WC	40	50	50	40	40	40	50	40
AC BC	60	70	80	70	60	70	80	60
	-	-	-	70	-	-	-	-
AC Base	-	-	-	-	100	100	100	75
	-	-	-	-	-	-	-	75
CTB	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan atau LFA Kelas C	200	200	200	200	200	200	200	200

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

Tabel 5.10 Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 250 mm (aspal pen 60/70 dan PG70)

	Struktur Perkerasan						
	F(3) 1	F(3) 2	F(3) 3	F(3) 4	F(3) 5	F(3) 6	F(3) 7
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70		
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	> 1 – 9	> 9 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 110	> 110-200
Jenis permukaan berpengikat	AC						
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)						
Tebal Perkerasan (mm)							
AC WC	40	40	50	40	40	40	40
AC BC	60	70	80	60	70	65	80
	-	-	-	70	-	-	-
AC Base	-	-	-	-	80	100	100
	-	-	-	-	-	-	-
CTB	250	250	250	250	250	250	250
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan atau LFA Kelas C	200	200	200	200	200	200	200

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

Tabel 5.11 Desain Perkerasan Lentur dengan CTB 300 mm (aspal pen 60/70 dan PG70)

	Struktur Perkerasan							
	F(4) 1	F(4) 2	F(4) 3	F(4) 4	F(4) 5	F(4) 6	F(4) 7	F(4) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70			
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	> 1 - 10	> 10 - 17	> 17 - 30	> 30 - 40	> 40 - 60	> 60 - 90	> 90 - 150	> 150-200
Jenis permukaan berpengikat	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
	Tebal Perkerasan (mm)							
AC WC	40	40	50	50	40	50	50	50
AC BC	60	70	75	80	60	60	60	75
	-	-	-	-	70	-	-	-
AC Base	-	-	-	-	-	80	100	100
	-	-	-	-	-	-	-	-
CTB	300	300	300	300	300	300	300	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan atau LFA Kelas C	200	200	200	200	200	200	200	200

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

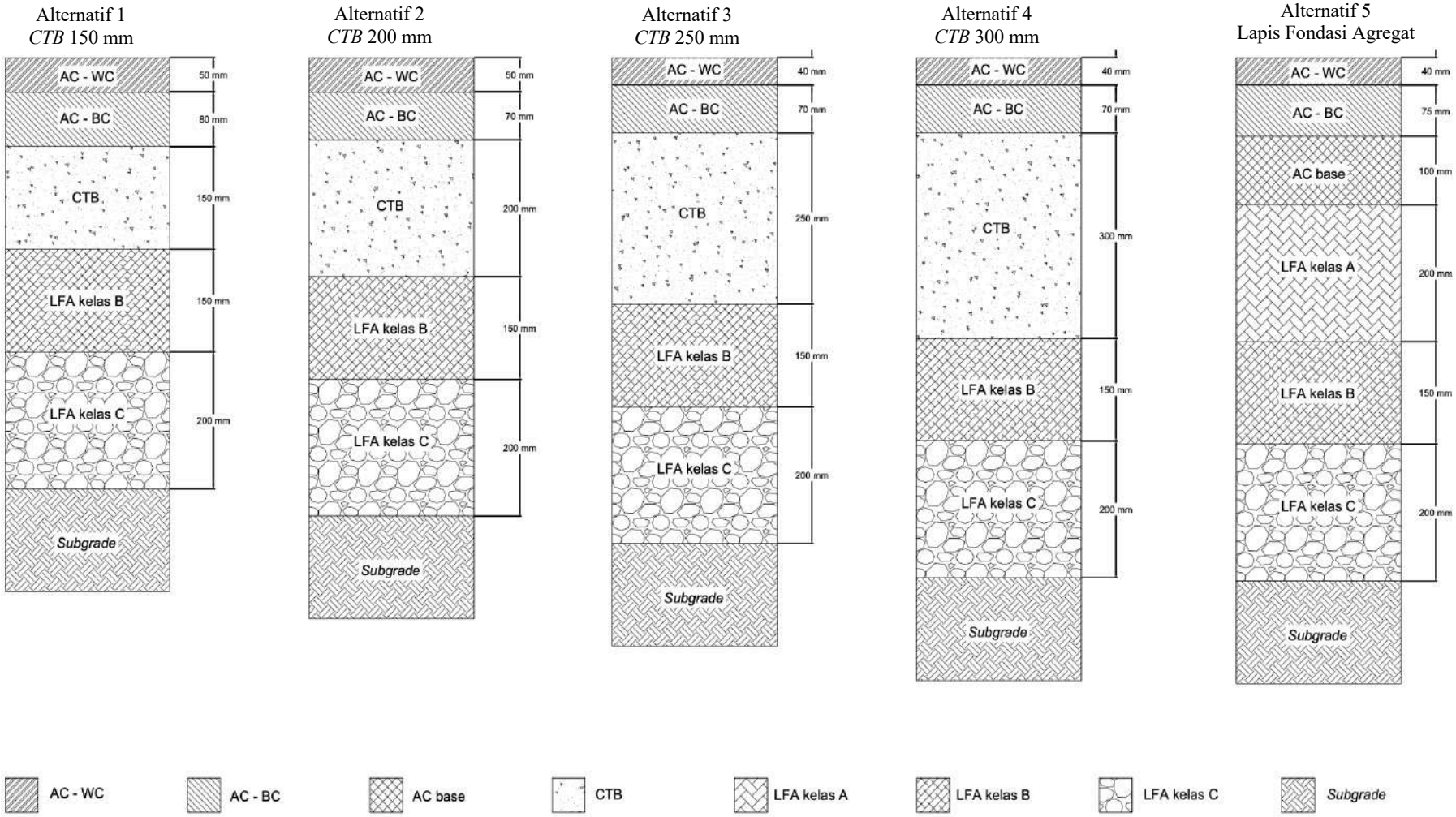
Tabel 5.12 Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Fondasi Agregat (aspal pen 60/70 dan PG70)

	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				
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	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	-	65	75	75	60	60	75	80	80
	-	80	80	-	-	-	-	-	-
AC Base	-	-	-	100	80	85	100	100	80
	-	-	-	-	80	100	100	100	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	90
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	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 atau LFA Kelas C	-	-	200	200	200	200	200	200	200

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 5.8 hingga Tabel 5.12 diperoleh lima alternatif rancangan tebal lapis perkerasan yang dijadikan acuan dalam proses analisis. Alternatif tersebut menunjukkan variasi struktur perkerasan yang sesuai dengan kondisi pembebanan lalu lintas serta umur rencana yang telah ditentukan. Setelah perhitungan dilakukan dengan metode Bina Marga 2024, langkah berikutnya melakukan verifikasi melalui program *KENPAVE* sehingga hasil analisis tidak hanya didasarkan pada perhitungan teoritis tetapi juga diperkuat dengan simulasi mekanis.

Hasil rancangan alternatif dari Bina Marga pada prinsipnya memperlihatkan adanya perbedaan cara dalam memperkuat struktur jalan. Ada desain yang lebih menekankan pada lapisan beraspal dan ada pula yang mengandalkan *CTB* untuk menambah kekakuan, serta sebagian lainnya menggunakan pondasi agregat sebagai lapisan perantara agar beban lebih merata ke tanah dasar. Perbedaan pendekatan ini menunjukkan bahwa metode MDPJ cukup fleksibel karena mampu memberikan pilihan sesuai kondisi lapangan, ketersediaan material, maupun beban lalu lintas yang direncanakan. Langkah analisis selanjutnya adalah menilai sejauh mana perbedaan konfigurasi lapisan tersebut berpengaruh terhadap kinerja struktur perkerasan. Pada tahap ini tiap alternatif diuji melalui simulasi tegangan dan regangan dengan *KENPAVE*, sehingga dapat terlihat kecenderungan potensi kerusakan yang mungkin terjadi baik berupa *fatigue cracking*, *rutting*, maupun *permanent deformation*. Dengan demikian evaluasi tidak hanya berhenti pada perhitungan tebal lapisan, tetapi juga mempertimbangkan respon struktural yang lebih realistis ketika menerima beban berulang kendaraan berat. Hasil verifikasi ini sangat penting karena memberikan gambaran apakah suatu rancangan berpotensi mengalami *overdesign* atau sebaliknya yaitu kurang mampu menahan lalu lintas selama umur rencana. Melalui tahapan ini pula dapat diketahui alternatif mana yang paling seimbang dalam aspek ketahanan, efisiensi material, serta kesesuaian terhadap kondisi lapangan. Susunan lapisan dari masing-masing alternatif dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Tebal Alternatif Desain Lapis Perkerasan

5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Menggunakan *KENPAVE*

Evaluasi tebal struktur perkerasan dengan menggunakan program *KENPAVE* dilakukan dengan memasukkan parameter utama berupa modulus elastisitas dan *Poisson's Ratio* pada setiap lapisan perkerasan. Nilai tegangan dan regangan dianalisis untuk menentukan repetisi beban, di mana regangan pada lapisan permukaan aspal dan di bawah lapisan pondasi menjadi acuan utama. Struktur perkerasan yang dievaluasi meliputi kondisi eksisting serta lima alternatif desain berdasarkan Bina Marga 2024. Rekapitulasi ketebalan masing-masing kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan

Lapis Perkerasan	**Desain Tebal Perkerasan (mm)**						
	Jenis Perkerasan	**Eksisting**	**Bina Marga 2024**				
			Alt 1	**Alt 2**	**Alt 3**	**Alt 4**	**Alt 5**
			***CTB* 150**	***CTB* 200**	***CTB* 250**	***CTB* 300**	**Fondasi Agregat**
Surface	*AC-WC*	40	50	50	40	40	40
	AC-BC	60	80	70	70	70	75
Base	*AC Base*	-	-	-	-	-	100
	CTB	-	150	200	250	300	-
Subbase	LFA A	30	-	-	-	-	200
	LFA B	-	150	150	150	150	150
	LFA C	-	200	200	200	200	200

5.2.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan *KENPAVE*

Data yang dianalisis pada evaluasi ini berupa ketebalan desain struktur perkerasan eksisting dengan menggunakan program *KENPAVE*, yang bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya potensi kerusakan

1. Data yang diperlukan untuk analisis *KENPAVE*

   Data mengenai jenis material pada setiap lapisan perkerasan disajikan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan

AC-WC	Modulus Elastisitas (MPa)	1100
	Poisson's Ratio	0,4
AC-BC	Modulus Elastisitas (MPa)	1200
	Poisson's Ratio	0,4
AC Base	Modulus Elastisitas (MPa)	1500
	Poisson's Ratio	0,4
CTB	Modulus Elastisitas (MPa)	3000
	Poisson's Ratio	0,2
LFA Sub Lapis 1	Modulus Elastisitas (MPa)	220
	Poisson's Ratio	0,35
LFA Sub Lapis 2	Modulus Elastisitas (MPa)	170
	Poisson's Ratio	0,35
LFA Sub Lapis 3	Modulus Elastisitas (MPa)	131
	Poisson's Ratio	0,35
Subgrade	Modulus Elastisitas (MPa)	60
	Poisson's Ratio	0,45

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2024)

2. Evaluasi tebal struktur perkerasan menggunakan *KENPAVE*

   Evaluasi ketebalan desain struktur perkerasan eksisting dengan menggunakan *KENPAVE* dilakukan untuk menganalisis besaran tegangan dan regangan pada perkerasan lentur. Pada tahap awal, dipilih menu *LAYERINP*, kemudian dilanjutkan dengan pengisian data pada masing-masing *toolbar* yang tersedia.

   a. *General*

      Pada tahapan ini, data yang digunakan dapat dimasukkan sesuai dengan nilai yang tercantum pada Tabel 5.15

Tabel 5.15 Data Masukkan pada Menu *General*

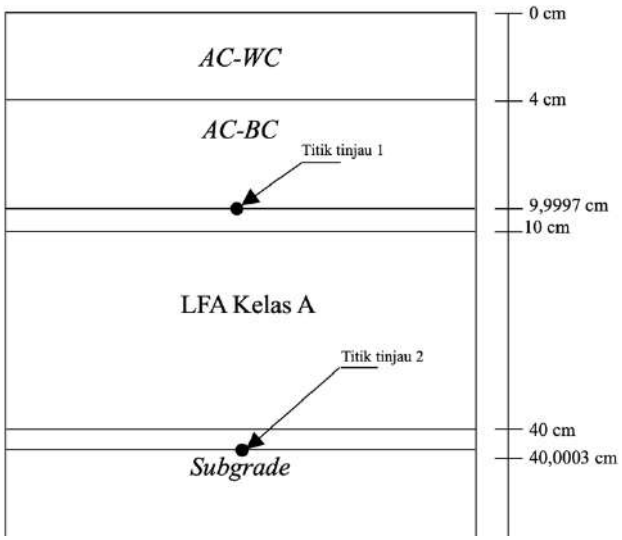
Istilah	Nilai	Keterangan
Title	Eksisting	Ditulis sesuai desain yang dimasukkan
MATL	1	Analisis lapis perkerasan dengan metode linier
NDMA	0	Tidak adanya kerusakan

Lanjutan Tabel 5.15 Data Masukkan pada Menu *General*

Istilah	Nilai	Keterangan
NPY	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NLG	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	4	Jumlah *layer* perkerasan yang ditinjau
NZ	5	Letak koordinat arah Z yang dianalisis
ICL	80	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NSDT	9	Untuk *vertical displacement,* nilai tegangan - regangan
NBOND	1	Semua lapisan saling mengikat
NLBT	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NLTC	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NUNIT	1	SI (Standar Internasional)

b. *Zcoord*

Penentuan titik tinjau kerusakan dilakukan dengan mengacu pada nilai *NZ*. Titik tinjau pertama ditempatkan di bagian bawah lapisan perkerasan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*, sedangkan evaluasi terhadap *rutting* dan *fatigue cracking* dilakukan pada titik tinjau kedua. Rincian posisi masing-masing titik tinjau ditampilkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Letak Titik Tinjau Kerusakan Eksisting

c. *Layer*

Pada tahap pengisian data di layer ini, parameter yang dimasukkan adalah nilai *Poisson's Ratio* untuk setiap lapisan struktur perkerasan yang dianalisis. Data lengkap pada masing-masing lapisan dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Data Masukkan pada Menu *Layer*

No *Layer*	*Thickness* (cm)	*Poisson's Ratio*
1	4	0,4
2	6	0,4
3	30	0,35
4	∞	0,45

d. *Moduli*

Pada menu ini digunakan data modulus elastisitas dari setiap lapisan perkerasan, dengan detail nilai yang tercantum pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Data Masukkan pada Menu *Moduli*

No	Bahan	Modulus Elastisitas (kPa)
1	*AC-WC*	1100000
2	*AC-BC*	1200000
3	LFA Kelas A	220000
4	*Subgrade*	60000

e. *Load*

Pengisian data pada menu *Load* mengacu pada kondisi beban kendaraan di Indonesia menurut Sukirman (2010). Parameter yang digunakan mencakup jarak antar roda ganda, dimensi sumbu kendaraan, serta tekanan ban, dengan rincian berikut.

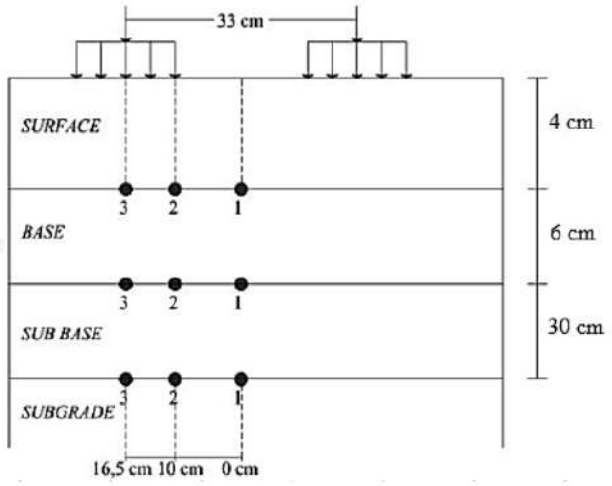
1. Jarak antar sumbu roda ganda sebesar 33 cm.
2. Beban kendaraan standar 18.000 pon atau 8,16 ton.
3. Jari-jari bidang kontak ban 11 cm, serta tekanan roda tunggal sebesar 5,5 kg/cm^2.

Data yang digunakan pada menu *Load* ditampilkan pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Data Masukkan *Load*

Data No	Nilai	Group
Load	1	*Single axle load,* roda gandar tunggal
CR	11	Nilai jarak antar ban (cm)
CP	550	Nilai tekanan ban (KPa)
YW	33	Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*
XW	0	Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*
NPT or NR	3	Jumlah koordinat titik tinjau

Setelah seluruh data dimasukkan, *file* disimpan lalu diarahkan kembali ke menu utama. Selanjutnya analisis dijalankan melalui menu *KENLAYER* dan hasilnya akan muncul dalam format *file'.textdocument'* setelah proses berlangsung beberapa saat.



Gambar 5.3 Letak Titik Tinjau Berdasarkan Jenis Roda

5.2.2 Hasil Analisis *KENLAYER*

Program *KENLAYER* menghasilkan *output* berupa regangan yang terjadi pada struktur perkerasan jalan. Rincian mengenai hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.19 – Tabel 5.24 yang menggambarkan nilai regangan dan tegangan saat perkerasan menerima beban pada titik koordinat tertentu.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Eksisting

Titik Tinjau Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* Pada Kedalaman 9,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 9,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 40,0003 cm
1	0,0006220	0,0009675	0,0008305
2	0,0005260	0,0006763	0,0007742
3	0,0003476	0,0002444	0,0006683
Maksimum	0,0006220	0,0009675	0,0008305

Tabel 5.20 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 1

Titik Tinjau Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* Pada Kedalaman 12,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 12,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 63,0003 cm
1	0,0000874	0,0003161	0,0001149
2	0,0000671	0,0002047	0,0001117
3	0,0000326	0,0000529	0,0001051
Maksimum	0,0000874	0,0003161	0,0001149

Tabel 5.21 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 2

Titik Tinjau Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* Pada Kedalaman 11,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 11,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 67,0003 cm
1	0,0000919	0,0003378	0,0001004
2	0,0000706	0,0002170	0,0000978
3	0,0000332	0,0000499	0,0000926
Maksimum	0,0000919	0,0003378	0,0001004

Tabel 5.22 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 3

Titik Tinjau Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* Pada Kedalaman 10,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 10,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 71,0003 cm
1	0,0000949	0,0003582	0,0000885

Lanjutan Tabel 5.22 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 3

Titik Tinjau Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* Pada Kedalaman 10,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 10,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 71,0003 cm
2	0,0000731	0,0002289	0,0000865
3	0,0000329	0,0000453	0,0000822
Maksimum	0,0000949	0,0003582	0,0000885

Tabel 5.23 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 4

Titik Tinjau Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* Pada Kedalaman 10,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 10,9997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 76,0003 cm
1	0,0000853	0,0002826	0,0001390
2	0,0000449	0,0001736	0,0001369
3	0,0000376	0,0000199	0,0001321
Maksimum	0,0000853	0,0002826	0,0001390

Tabel 5.24 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 5

Titik Tinjau Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* Pada Kedalaman 21,4997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 21,4997 cm	*Vertical Strain* Pada Kedalaman 76,5003 cm
1	0,0002629	0,0003927	0,0002452
2	0,0002371	0,0003204	0,0002403
3	0,0001929	0,0002112	0,0002300
Maksimum	0,0002629	0,0003927	0,0002452

Berdasarkan data pada Tabel, diperoleh nilai regangan vertikal pada lapisan di bawah permukaan serta pada lapisan pondasi. Nilai-nilai tersebut menjadi dasar dalam proses analisis untuk menilai potensi kerusakan pada perkerasan lentur yang meliputi *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Selanjutnya, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.4 hingga 3.6 agar dapat

menggambarkan besarnya pengaruh beban lalu lintas terhadap kemungkinan terjadinya ketiga jenis kerusakan tersebut sepanjang umur rencana perkerasan.

1. Perhitungan untuk Eksisting Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat
   a. Perhitungan jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

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

      $N_f = 0{,}0796\ (0{,}0006220)^{-3{,}921}\ |1400000|^{-0{,}854}$

      $N_f = 1.673.662$ *ESAL*

   b. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *rutting*

      $N_{dr} = f_4\ (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dr} = 1{,}365 \times 10^{-9}\ (0{,}0009675)^{-4{,}477}$

      $N_{dr} = 40.670$ *ESAL*

   c. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *permanent deformation*

      $N_{dp} = f_4\ (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dp} = 1{,}365 \times 10^{-9}\ (0{,}0008305)^{-4{,}477}$

      $N_{dp} = 80.479$ *ESAL*

2. Perhitungan untuk Alternatif 1
   a. Perhitungan jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

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

      $N_f = 0{,}0796\ (0{,}0000874)^{-3{,}921}\ |1500000|^{-0{,}854}$

      $N_f = 3.466.289.289$ *ESAL*

   b. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *rutting*

      $N_{dr} = f_4\ (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dr} = 1{,}365 \times 10^{-9}\ (0{,}0003161)^{-4{,}477}$

      $N_{dr} = 6.038.334$ *ESAL*

   c. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *permanent deformation*

      $N_{dp} = f_4\ (\varepsilon_c)^{-f5}$

$N_{dp} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0001149)^{-4{,}477}$

$N_{dp} = 556.547.355$ *ESAL*

3. Perhitungan untuk Alternatif 2
   a. Perhitungan jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

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

      $N_f = 0{,}0796 (0{,}0000919)^{-3{,}921} |1500000|^{-0{,}854}$

      $N_f = 2.850.539.022$ *ESAL*

   b. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *rutting*

      $N_{dr} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dr} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0003378)^{-4{,}477}$

      $N_{dr} = 4.487.702$ *ESAL*

   c. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *permanent deformation*

      $N_{dp} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dp} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0001004)^{-4{,}477}$

      $N_{dp} = 1.017.145.203$ *ESAL*

4. Perhitungan untuk Alternatif 3
   a. Perhitungan jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

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

      $N_f = 0{,}0796 (0{,}0000949)^{-3{,}921} |1500000|^{-0{,}854}$

      $N_f = 2.513.093.884$ *ESAL*

   b. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *rutting*

      $N_{dr} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dr} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0003582)^{-4{,}477}$

      $N_{dr} = 3.452.958$ *ESAL*

   c. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *permanent deformation*

$N_{dp} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

$N_{dp} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0000885)^{-4{,}477}$

$N_{dp} = 1.789.513.553$ *ESAL*

5. Perhitungan untuk Alternatif 4
   a. Perhitungan jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

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

      $N_f = 0{,}0796 (0{,}0000853)^{-3{,}921} |1400000|^{-0{,}854}$

      $N_f = 4.051.979.999$ *ESAL*

   b. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *rutting*

      $N_{dr} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dr} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0002826)^{-4{,}477}$

      $N_{dr} = 9.963.068$ *ESAL*

   c. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *permanent deformation*

      $N_{dp} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dp} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0001390)^{-4{,}477}$

      $N_{dp} = 237.605.503$ *ESAL*

6. Perhitungan untuk Alternatif 5
   a. Perhitungan jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

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

      $N_f = 0{,}0796 (0{,}0002629)^{-3{,}921} |1500000|^{-0{,}854}$

      $N_f = 46.188.328$ *ESAL*

   b. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *rutting*

      $N_{dr} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

      $N_{dr} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0003927)^{-4{,}477}$

      $N_{dr} = 2.289.183$ *ESAL*

c. Perhitungan nilai Nd untuk kerusakan *permanent deformation*

$N_{dp} = f_4 (\varepsilon_c)^{-f5}$

$N_{dp} = 1{,}365 \times 10^{-9} (0{,}0002300)^{-4{,}477}$

$N_{dp} = 18.792.137$ *ESAL*

Berdasarkan hasil analisis menggunakan program *KENPAVE* pada pemodelan eksisting diperoleh jumlah repetisi beban yang dihitung melalui parameter tegangan dan regangan pada setiap lapisan perkerasan. Nilai tersebut menjadi dasar evaluasi kinerja struktur perkerasan terhadap beban lalu lintas yang bekerja. Selanjutnya hasil analisis dari *KENLAYER* disajikan secara rinci pada Tabel 5.25 hingga Tabel 5.30 untuk memberikan gambaran mengenai respon struktur perkerasan terhadap beban berulang yang terjadi selama umur rencana.

Tabel 5.25 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Eksisting

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nf*	1.673.662	*Nf < Nr (no)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	40.670	*Ndr < Nr (no)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	80.479	*Ndp < Nr (no)*

Tabel 5.26 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 1 (*CTB* 150 mm)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nf*	3.466.289.289	*Nf > Nr (yes)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	6.038.334	*Ndr > Nr (no)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	556.547.355	*Ndp > Nr (yes)*

Tabel 5.27 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 2 (*CTB* 200 mm)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	Nf	2.850.539.022	*Nf > Nr (yes)*

Lanjutan Tabel 5.27 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 2 (*CTB* 200 mm)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	4.487.702	*Ndr > Nr (no)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	1.017.145.203	*Ndp > Nr (yes)*

Tabel 5.28 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 3 (*CTB* 250 mm)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nf*	2.513.093.884	*Nf > Nr (yes)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	3.452.958	*Ndr > Nr (no)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	1.789.513.553	*Ndp > Nr (yes)*

Tabel 5.29 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 4 (*CTB* 300 mm)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nf*	4.051.979.999	*Nf > Nr (yes)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	9.963.068	*Ndr < Nr (no)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	237.605.503	*Ndp > Nr (yes)*

Tabel 5.30 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 5 (LFA 200 mm)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nf*	46.188.328	*Nf > Nr (yes)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	2.289.183	*Ndr < Nr (no)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	18.792.137	*Ndp > Nr (yes)*

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa pada pemodelan tebal perkerasan eksisting nilai *Nf, Nd rutting,* dan *Nd deformation* semuanya berada di bawah nilai repetisi beban lalu lintas (*Nr*). Keterangan *(yes)* menunjukkan bahwa nilai repetisi beban hasil analisis telah melampaui nilai *ESAL* sebesar 12.630.823 sehingga perkerasan dinilai mampu menahan beban lalu lintas rencana, sebaliknya *(no)*

menunjukkan bahwa nilai repetisi beban belum mencapai nilai *ESAL* sehingga perkerasan belum mampu menahan beban lalu lintas rencana. Hal ini menunjukkan bahwa struktur perkerasan eksisting belum mampu menahan beban lalu lintas sepanjang umur rencana yang ditetapkan. Hasil pada Alternatif 1 hingga Alternatif 5 menunjukkan bahwa seluruh nilai kerusakan *rutting* masih lebih kecil dari *Nr* sehingga ketahanan terhadap deformasi permanen belum sepenuhnya tercapai. Meskipun demikian nilai *fatigue* dan *permanent deformation* pada kelima alternatif tersebut telah memenuhi kriteria umur rencana. Berdasarkan hasil tersebut dilakukan pengembangan dua rancangan tambahan yang berasal dari Alternatif 4 dan Alternatif 5 karena kedua alternatif ini menunjukkan kinerja paling mendekati umur rencana 20 tahun dibandingkan dengan Alternatif 1–3. Tujuannya adalah untuk memperbaiki kekurangan pada parameter *rutting* agar diperoleh kombinasi lapis perkerasan yang lebih optimal dan mampu memenuhi ketiga parameter kerusakan sesuai umur rencana.

Perbedaan hasil desain disebabkan oleh variasi data masukan yang digunakan pada program *KENLAYER*, seperti besaran beban roda, nilai modulus elastisitas tiap lapisan, titik koordinat analisis tegangan-regangan, nilai *Poisson's ratio*, serta ketebalan masing-masing lapisan perkerasan. Variasi parameter tersebut secara langsung memengaruhi hasil keluaran berupa tegangan, regangan, maupun lendutan, yang pada akhirnya menentukan tingkat kerusakan serta prediksi umur layan jalan. Oleh karena itu pemilihan desain alternatif yang paling optimal menjadi langkah penting agar diperoleh struktur perkerasan yang andal dan sesuai dengan kondisi lalu lintas pada umur rencana.

5.3 Alternatif Tebal Struktur Perkerasan

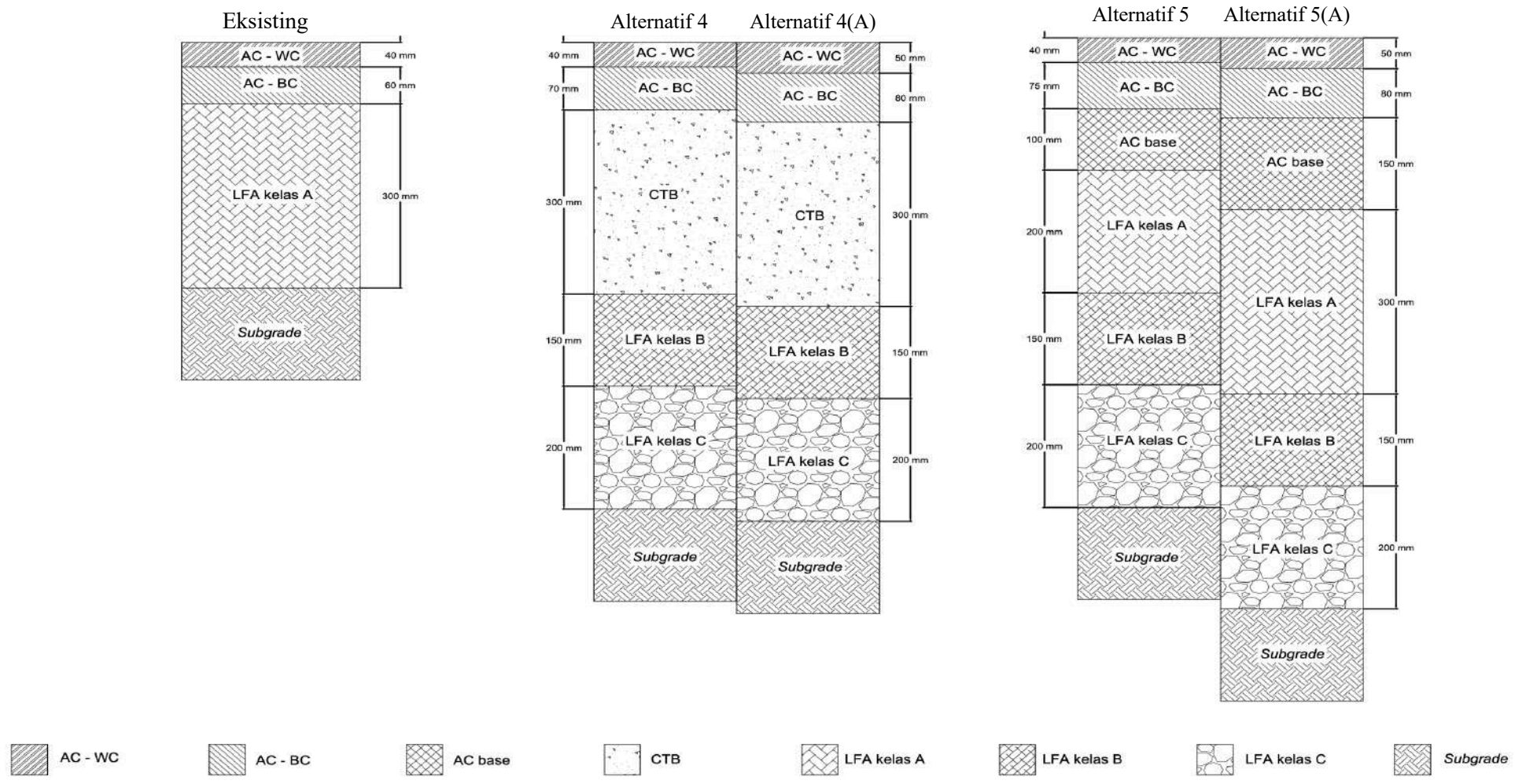
Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis menakan *KENPAVE* yang mengacu pada MDPJ 2024, struktur perkerasan eksisting dijadikan sebagai dasar evaluasi. Melalui pendekatan ini dilakukan perancangan ulang dengan menyusun dua alternatif desain menggunakan kombinasi material yang berbeda dengan tujuan memperoleh nilai minimum yang sesuai pada parameter *Nf* (*fatigue cracking*) maupun *Nd* (*rutting dan permanent deformation*). Perbedaan utama antar alternatif

terletak pada ketebalan lapisan. Kedua alternatif menggunakan material yang sama, namun dibedakan melalui ketebalan pada lapisan *AC-BC*. Berikut ini merupakan rencana desain alternatif dan analisis tebal struktur perkerasannya.

1. Alternatif 4(A)
   AC-WC = 50 mm
   AC-BC = 80 mm
   CTB = 300 mm
   LFA Kelas B = 150 mm
   LFA Kelas C = 200 mm
2. Alternatif 5(A)
   AC-WC = 50 mm
   AC-BC = 80 mm
   AC Base = 150 mm
   LFA Kelas A = 300 mm
   LFA Kelas B = 150 mm
   LFA Kelas C = 200 mm

Analisis terhadap Alternatif 4 dan Alternatif 5 yang mengacu pada MDPJ 2024 menunjukkan bahwa kombinasi lapis termasuk *CTB* dan *AC-BC* pada beberapa opsi memperbaiki kinerja dibanding kondisi eksisting, kemampuan menahan beban terhadap kerusakan *rutting* (nilai repetisi *Ndr*) masih belum memenuhi kebutuhan *CESA* 5 sebesar 12,6 juta *ESAL*. Hasil analisis *KENPAVE* menunjukkan nilai *Ndr* pada Alternatif 4 dan Alternatif 5 yang dihasilkan lebih kecil dari nilai *CESA* 5 sehingga *rutting* diperkirakan terjadi sebelum umur rencana 20 tahun. Kondisi ini berkaitan dengan besarnya tegangan vertikal dan regangan vertikal pada lapisan yang menyalurkan beban ke pondasi meskipun beberapa lapis penutup dan *CTB* cukup tebal, distribusi tegangan belum optimal untuk menekan regangan vertikal pada kedalaman kritis.

Untuk mengatasi hal tersebut dibuat opsi pengembangan tanpa merombak susunan lapis secara keseluruhan. Ilustrasi perbandingan masing-masing desain dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5.4 Perbandingan Tebal Perkerasan Eksisting dan Desain Alternatif

Setelah ketebalan pada masing-masing alternatif desain ditentukan, tahap berikutnya melakukan proses analisis menggunakan *KENPAVE*. Proses ini dijalankan melalui *KENLAYER* untuk menghitung parameter tegangan dan regangan yang terjadi pada lapisan perkerasan. Hasil perhitungan analisis tersebut kemudian dirangkum dan disajikan pada Tabel 5.31 dan Tabel 5.32.

Tabel 5.31 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 4(A)

Titik Tinjau Pengulangan Beban	***Horizontal Strain* Pada Kedalaman 12,9997 cm**	***Vertical Strain* Pada Kedalaman 12,9997 cm**	***Vertical Strain* Pada Kedalaman 78,0003 cm**
1	0,0000793	0,0002545	0,0001308
2	0,0000449	0,0001601	0,0001289
3	0,0000376	0,0000325	0,0001245
Maksimum	0,0000793	0,0002545	0,0001308

Tabel 5.32 Rekapitulasi Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Alternatif 5(A)

Titik Tinjau Pengulangan Beban	***Horizontal Strain* Pada Kedalaman 27,9997 cm**	***Vertical Strain* Pada Kedalaman 27,9997 cm**	***Vertical Strain* Pada Kedalaman 93,0003 cm**
1	0,0001724	0,0002573	0,0001614
2	0,0001600	0,0002221	0,0001593
3	0,0001375	0,0001647	0,0001545
Maksimum	0,0001724	0,0002573	0,0001614

Pemodelan kinerja beban lalu lintas untuk desain alternatif 4(A) dan 5(A) dianalisis melalui aplikasi *KENPAVE*, sedangkan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.33 dan Tabel 5.34.

Tabel 5.33 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 4(A)

***CESA5* 20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nf*	5.085.575.801	*Nf > Nr (yes)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	15.911.395	*Ndr > Nr (yes)*

Lanjutan Tabel 5.33 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 4(A)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	311.814.305	*Ndp > Nr (yes)*

Tabel 5.34 Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas Alternatif 5(A)

CESA5 **20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
12.630.823 *ESAL*	*Nf*	241.584.202	*Nf > Nr (yes)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd rutting*	15.151.890	*Ndr > Nr (yes)*
12.630.823 *ESAL*	*Nd deformation*	121.843.922	*Ndp > Nr (yes)*

Hasil analisis memperlihatkan bahwa desain alternatif 4(A) dan 5(A) merupakan rancangan yang paling optimal dibandingkan alternatif lain. Kedua desain tersebut memiliki nilai repetisi beban *Nf, Ndr*, dan *Ndp* yang melampaui nilai *CESA* 5 sebesar 12,6 juta sehingga dapat dipastikan mampu menahan beban lalu lintas selama periode umur rencana 20 tahun. Pencapaian ini menandakan bahwa struktur perkerasan yang dirancang pada kedua alternatif tersebut tidak hanya memenuhi ketentuan ketahanan beban, tetapi juga menunjukkan tingkat keandalan yang sejalan dengan standar desain mekanistik-empiris.

Meskipun demikian, jika ditinjau lebih mendalam kapasitas pada alternatif 4(A) menunjukkan performa struktural yang relatif lebih tinggi dibandingkan alternatif 5(A). Hal ini mengindikasikan bahwa alternatif 4(A) tidak hanya memenuhi persyaratan minimum tetapi juga menawarkan keamanan tambahan tanpa menimbulkan kecenderungan *overdesign*. Kondisi tersebut penting karena desain yang terlalu konservatif akan berdampak pada kebutuhan material yang berlebih, biaya konstruksi yang lebih tinggi, serta efisiensi pemanfaatan sumber daya yang kurang optimal. Dengan demikian alternatif 5(A) dapat dianggap lebih unggul secara teknis dan ekonomis sementara alternatif 4(A) tetap relevan sebagai opsi yang masih sejalan dengan umur rencana yang ditetapkan.

5.4 Umur Sisa Perkerasan Jalan

Hasil perhitungan kerusakan dari analisis *KENPAVE* dimanfaatkan untuk menghitung umur sisa perkerasan selama umur rencana. Analisis ini menggunakan Persamaan 3.7. Berikut contoh hasil perhitungan pada desain alternatif 4(A).

$RL_{Fatigue}$ $= 100 \text{ x } (1 - \frac{N_p}{N_{1,5}})$

$= 100 \text{ x } (1 - \frac{12.630.823}{5.085.575.801})$

$= 99{,}72\%$

$RL_{Rutting}$ $= 100 \text{ x } (1 - \frac{N_p}{N_{1,5}})$

$= 100 \text{ x } (1 - \frac{12.630.823}{15.911.395})$

$= 12{,}46\%$

$RL_{Deformation}$ $= 100 \text{ x } (1 - \frac{N_p}{N_{1,5}})$

$= 100 \text{ x } (1 - \frac{12.630.823}{311.814.305})$

$= 95{,}53\%$

dengan :

Np = nilai lalu lintas pertahun, dan

N1,5 = nilai repetisi beban.

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan hasil perhitungan umur sisa untuk $RL_{Fatigue}$, $RL_{Rutting}$, dan $RL_{Deformation}$ untuk setiap kondisi. Rekapitulasi perhitungan nilai diatas dapat dilihat pada Tabel 5.35 dan Tabel 5.36.

Tabel 5.35 Umur Layan Struktur Perkerasan Jalan Alternatif 4(A)

Tahun	Np (*ESAL*)	*RL Fatigue* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
1	777.754	99,98	95,11	99,75
2	1.624.830	99,96	89,78	99,47

Lanjutan Tabel 5.35 Umur Layan Struktur Perkerasan Jalan Alternatif 4(A)

Tahun	Np (*ESAL*)	*RL Fatigue* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
3	2.547.408	99,94	83,99	99,18
4	1.255.535	99,97	92.10	99,59
5	1.642.341	99,96	89,67	99,47
6	2.063.623	99,95	87,03	99,33
7	2.522.456	99,95	84,14	99,19
8	3.022.185	99,94	81,00	99,03
9	3.566.455	99,92	77,58	98,85
10	4.159.238	99,91	73,86	98,66
11	4.804.856	99,90	69,80	98,45
12	5.508.020	99,89	65,38	98,23
13	6.273.858	99,87	60,57	97,98
14	7.107.956	99,86	55,32	97,72
15	8.016.399	99,84	49,61	97,42
16	9.005.813	99,82	43,40	97,11
17	10.083.416	99,80	36,62	96,76
18	11.257.067	99,77	29,25	96,38
19	12.535.328	99,75	21,21	95,97
20	13.927.522	99,72	12,46	95,53
21	15.443.806	99,69	2,93	95,04
22	17.095.238	99,66	*FAIL*	90,15

Tabel 5.36 Umur Layan Struktur Perkerasan Jalan Alternatif 5(A)

Tahun	Np (*ESAL*)	*RL Fatigue* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
1	1.078.821	99,67	94,86	99,36
2	2.253.800	99,32	89,27	98,66
3	3.533.507	98,94	83,18	97,90
4	4.927.276	99,48	91,71	98,96
5	6.445.274	99,32	89,16	98,65

Lanjutan Tabel 5.36 Umur Layan Struktur Perkerasan Jalan Alternatif 5(A)

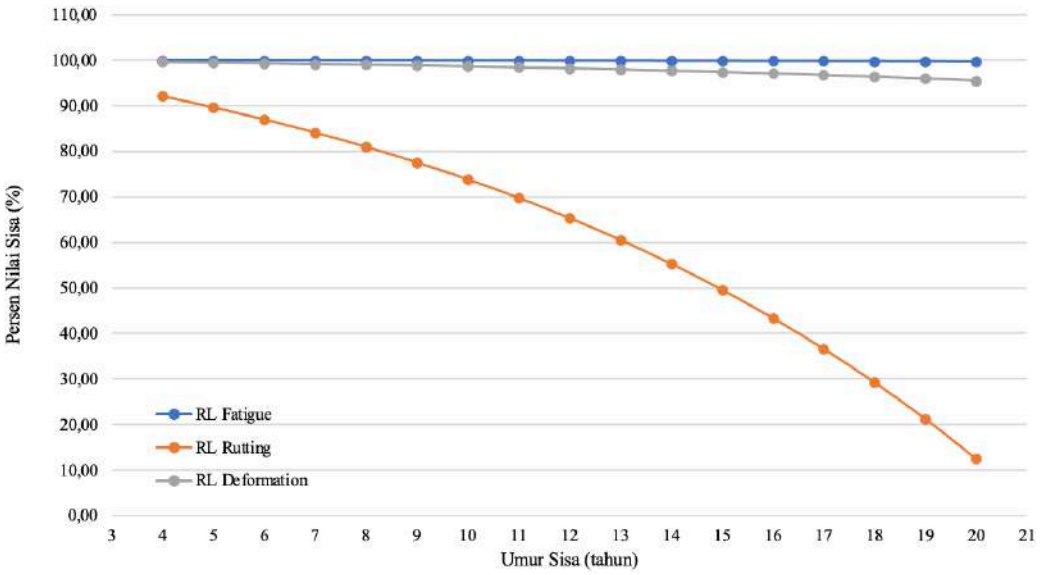
Tahun	Np (*ESAL*)	*RL Fatigue* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
6	2.063.623	99,14	86,38	98,30
7	2.522.456	98,95	83,35	97,92
8	3.022.185	98,74	80,05	97,51
9	3.566.455	98,52	76,46	97,07
10	4.159.238	98,27	72,54	96,58
11	4.804.856	98,01	68,28	96,05
12	5.508.020	97,72	63,64	95,47
13	6.273.858	97,40	58,59	94,85
14	7.107.956	97,05	53,08	94,16
15	8.016.399	96,68	47,09	93,42
16	9.005.813	96,27	40,56	92,60
17	10.083.416	95,82	33,45	91,72
18	11.257.067	95,34	25,70	90,76
19	12.535.328	94,81	17,26	89,71
20	13.927.522	94,23	8,08	88,56
21	15.443.806	93,60	*FAIL*	87,32

Berdasarkan hasil analisis umur rencana yang ditunjukkan pada tabel untuk Alternatif 4(A) dan 5(A) terlihat bahwa kedua desain ini memiliki kinerja yang jauh lebih baik dibandingkan kondisi eksisting. Pada struktur eksisting, kerusakan berupa *rutting* dan *permanent deformation* sudah mulai terjadi sejak tahun pertama, sementara kerusakan akibat *fatigue* muncul pada tahun ketiga. Hal ini menunjukkan bahwa perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas secara optimal sesuai dengan umur rencana sehingga diperlukan desain rekonstruksi yang lebih andal. Pada desain Alternatif 4(A) ketahanan struktur perkerasan terbukti melampaui umur rencana 20 tahun. Nilai *Remaining Life* untuk *fatigue* tetap tinggi hingga tahun ke 22 sementara *rutting* baru mendekati batas kritis pada periode yang sama dengan sisa 2,93%, dan *permanent deformation* masih berada pada kondisi aman dengan persentase di atas 85%. Kondisi ini menegaskan bahwa Alternatif

4(A) tidak hanya memenuhi syarat umur rencana tetapi juga memberikan cadangan umur layan tambahan sekitar lima tahun.

Sementara itu, Alternatif 5(A) juga menunjukkan performa yang sangat baik dengan umur layan yang melampaui 20 tahun di mana nilai *rutting* masih menyisakan 8,08% dan *permanent deformation* tercatat sebesar 87,32%. Meski kapasitas sisa lebih rendah dibandingkan Alternatif 4(A) desain ini tetap dinyatakan layak karena tidak menunjukkan indikasi *overdesign* dan mampu mencapai target kinerja.

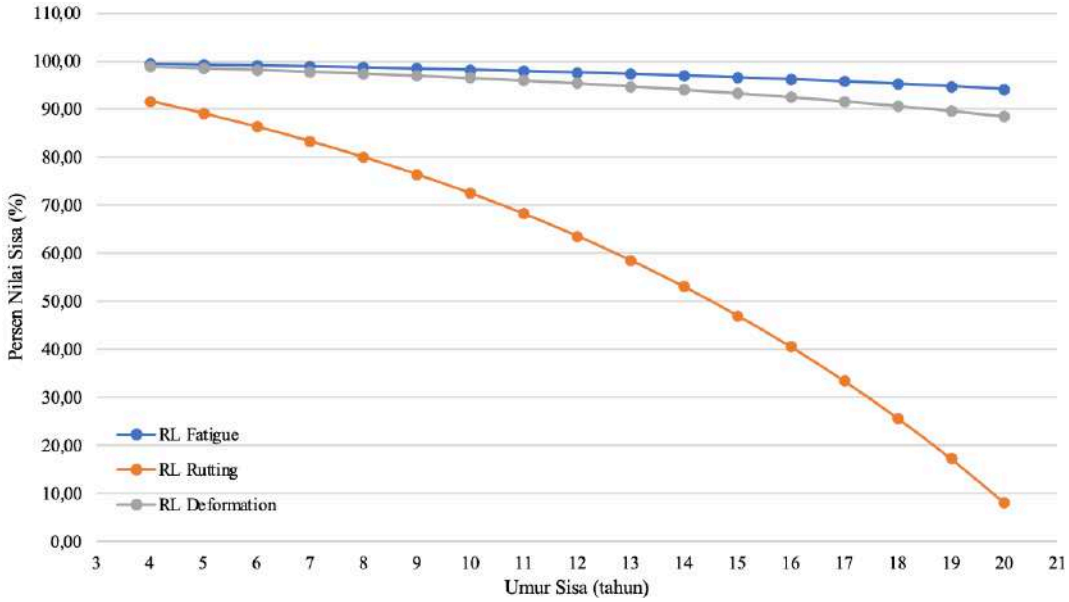
Hasil *Remaining Life* yang telah disajikan dalam tabel kemudian digambarkan dalam grafik untuk memperjelas penurunan umur sisa layan dan perbedaan kinerja alternatif 4(A) serta 5(A) pada *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.5 dan 5.6.



Gambar 5.5 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif Perkerasan 4(A)

Berdasarkan hasil pada tebal perkerasan Alternatif 4(A) nilai *deformation* di tahun pertama sebesar 99,18% dan di tahun ke 20 menurun menjadi 90,15%. Kerusakan yang disebabkan oleh *rutting* sejak tahun pertama sebesar 83,99% dan secara perlahan menurun hingga 2,93% pada tahun akhir rencana, sedangkan pada kerusakan *fatigue* dengan nilai di tahun pertama sebesar 99,94% tetap konstan hingga tahun ke 20 yaitu sebesar 99,66%. Dari hasil grafik pada Gambar 5.5 dapat

disimpulkan bahwa alternatif 4(A) mempunyai ketahanan terhadap kerusakan *fatigue* selama 20 tahun, namun *rutting* menjadi aspek kerusakan dominan yang lebih awal melewati batas umur rencana.



Gambar 5.6 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif Perkerasan 5(A)

Pada hasil tebal perkerasan alternatif 5(A) nilai *deformation* di tahun pertama sebesar 99,36% dan di tahun ke 20 menurun menjadi 87,32%. Kerusakan yang disebabkan oleh *rutting* sejak tahun pertama sebesar 86,38% dan secara perlahan menurun hingga 8,08% pada tahun akhir rencana. Sedangkan pada kerusakan *fatigue* dengan nilai pada tahun pertama sebesar 99,14% berangsur mengalami penurunan menjadi 93,60% di tahun ke 20. Dari hasil grafik pada Gambar 5.6 dapat disimpulkan bahwa alternatif 5(A) lebih rentan terhadap kerusakan *rutting* dan *deformation*, namun tetap masih mempertahankan kinerja yang baik terhadap kerusakan *fatigue* selama umur rencana.

5.5 Pembahasan

Analisis struktur perkerasan lentur pada Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat dengan metode mekanistik empiris menghasilkan *output* sebagai berikut.

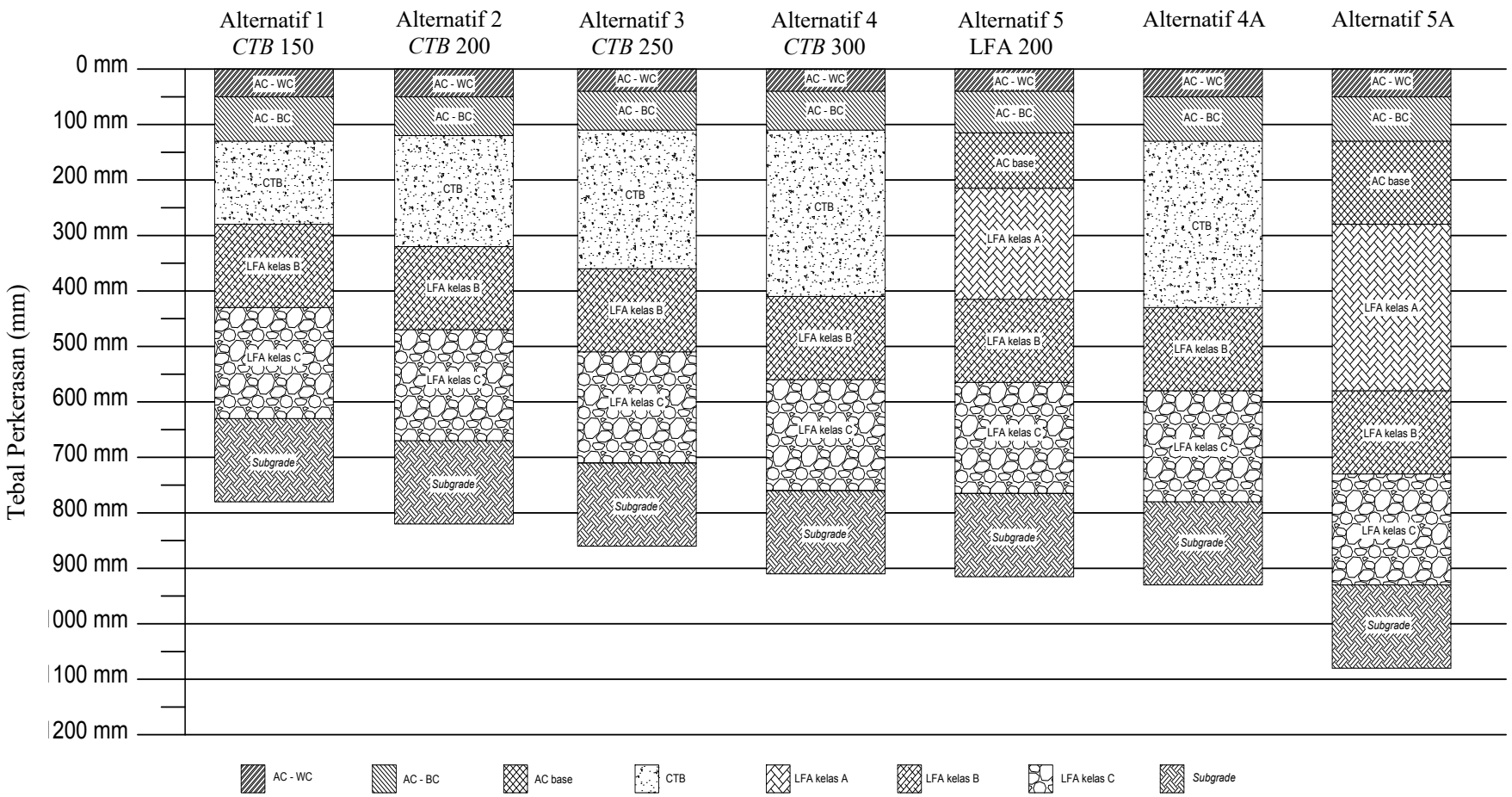
5.5.1 Perbandingan Tebal Perkerasan Eksiting, Desain Bina Marga 2024 dan Desain Alternatif Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat dengan Bina Marga 2024

Tebal perkerasan eksisting pada Ruas Jalan Simpang Jambi–Batas Sumatera Barat diperoleh dari data BP2JN Jambi dengan susunan lapis *AC-WC* setebal 4 cm, *AC-BC* setebal 6 cm, serta LFA Kelas A setebal 30 cm. Struktur yang ada terbukti tidak mampu memberikan kinerja optimal, karena kondisi lapangan menunjukkan terjadinya penurunan performa lebih cepat dari yang diperkirakan, sehingga ketebalan lapis yang digunakan tidak lagi sebanding dengan beban lalu lintas aktual. Hal ini menegaskan perlunya dilakukan evaluasi desain ulang untuk menjamin kinerja perkerasan dalam jangka panjang. Perhitungan ulang dilakukan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga, 2024) yang berbasis pendekatan mekanistik-empiris. Metode ini memerlukan beberapa data penting antara lain Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), *Vehicle Damage Factor (VDF)*, distribusi arah (DD), dan distribusi lajur (DL). Dari data tersebut dihitung nilai kumulatif beban sumbu ekivalen (*CESA*) selama umur rencana 20 tahun, yang kemudian menjadi dasar penentuan kebutuhan ketebalan lapis perkerasan pada setiap alternatif.

Berdasarkan hasil analisis diperoleh lima alternatif rancangan tebal perkerasan dengan kombinasi material *AC-BC, AC Base, CTB*, serta pondasi agregat LFA Kelas B dan C. Alternatif 5 memiliki ketebalan total paling besar, sedangkan kondisi eksisting merupakan yang paling tipis. Variasi ketebalan ini terjadi karena perhitungan MDPJ 2024 lebih sensitif terhadap perubahan lalu lintas dan karakteristik tanah dasar dibandingkan metode sebelumnya. Semakin besar nilai *CESA* yang diperoleh, maka semakin besar pula ketebalan lapisan yang disarankan. Hal ini memberikan gambaran bahwa metode terbaru cenderung menghasilkan desain yang adaptif sekaligus membuka peluang optimasi. Rekapitulasi detail ketebalan tiap lapisan pada struktur eksisting maupun seluruh alternatif desain disajikan pada Tabel 5.37 dan Gambar 5.7.

Tabel 5.37 Rekapitulasi Tebal Desain Lapis Perkerasan

Lapis Lapisan	**Desain Tebal Perkerasan (mm)**								
	Jenis Lapisan	**Eksisting**	**Bina Marga 2024**					**Desain Optimum**	
			Alternatif 1 *CTB* 150	**Alternatif 2 *CTB* 200**	**Alternatif 3 *CTB* 250**	**Alternatif 4 *CTB* 300**	**Alternatif 5 Pondasi Agregat**	**Alternatif 4(A) Modifikasi *AC-BC***	**Alternatif 5(A) Modifikasi LFA**
Surface	*AC-WC*	40	50	50	40	40	40	50	50
	AC-BC	60	80	70	70	70	75	80	80
Base	*AC Base*	-	-	-	-	-	100	-	150
	CTB	-	150	200	250	300	-	300	-
Subbase	LFA Kelas A	300	-	-	-	-	200	-	300
	LFA Kelas B	-	150	150	150	150	150	150	150
	LFA Kelas C	-	200	200	200	200	200	200	200



Gambar 5.7 Perbandingan Tebal Perkerasan Desain Alternatif

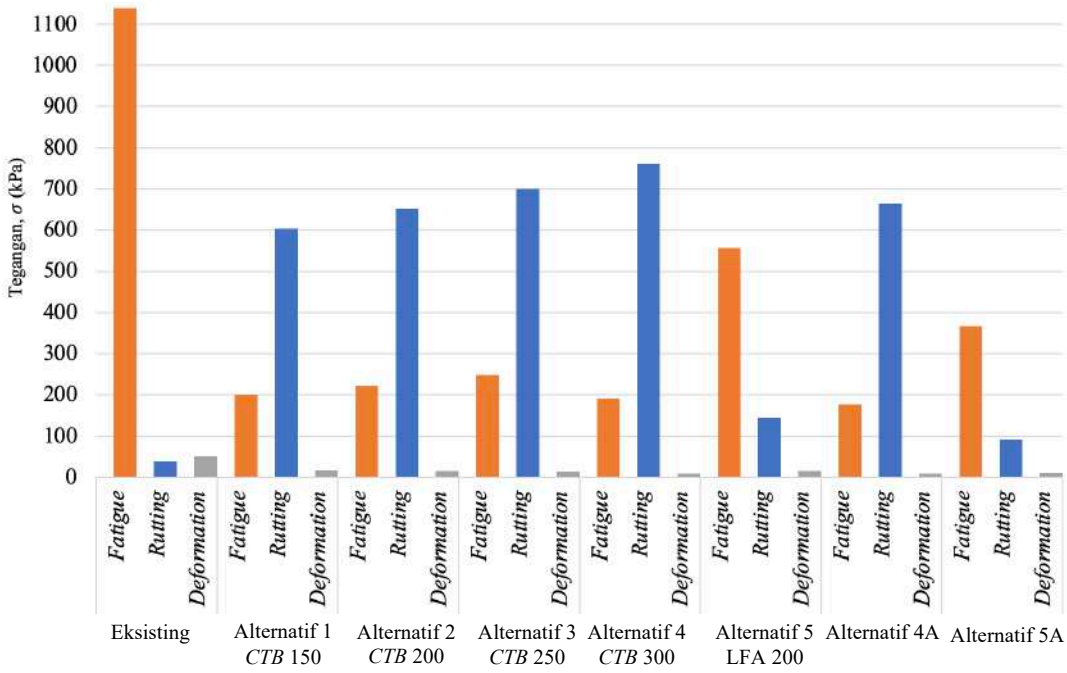
Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Safari dan Fauziah (2024) yang menunjukkan bahwa metode Bina Marga 2024 lebih adaptif dalam menyesuaikan desain terhadap beban berlebih (*overload*) dibandingkan metode 2017. Hasil studi Nasution dan Fauziah (2024) juga mendukung, di mana pendekatan viskoelastik dengan pedoman terbaru menghasilkan prediksi kerusakan yang lebih akurat terhadap kondisi nyata jalan. Selain itu, penelitian Widhiatmoko dan Fauziah (2024) menemukan bahwa MDP 2024 menghasilkan ketebalan yang berbeda secara signifikan dengan MDPJ 2017, khususnya pada jalan tol Solo–Yogyakarta–NYIA, sehingga menguatkan bahwa metode baru lebih sensitif terhadap variasi lalu lintas dan tanah dasar. Studi Zuasri dan Fauziah (2024) turut mempertegas bahwa alternatif desain dengan metode 2024 memberikan daya tahan lebih baik terhadap lalu lintas jangka panjang, meskipun berpotensi menghasilkan ketebalan yang lebih besar dibanding metode lama. Dengan demikian, pembahasan ini konsisten dengan literatur bahwa meskipun MDPJ 2024 berpotensi menimbulkan kecenderungan *overdesign*, metode ini tetap memberikan dasar yang lebih kuat untuk menghasilkan desain modifikasi yang lebih optimal.

Meskipun seluruh alternatif memberikan ketahanan yang lebih baik dibandingkan struktur eksisting, beberapa desain masih menunjukkan kecenderungan *overdesign* terutama pada penggunaan *CTB* dengan ketebalan yang relatif tinggi. Hal tersebut berimplikasi pada kebutuhan material yang lebih besar dan biaya konstruksi yang meningkat padahal tidak selalu diikuti oleh peningkatan kinerja yang sepadan. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan desain modifikasi berupa Alternatif 4(A) dan 5(A) dengan penyesuaian ketebalan pada lapisan. Modifikasi ini menghasilkan struktur yang lebih efisien dalam penggunaan material namun tetap memenuhi persyaratan umur rencana 20 tahun. Dengan demikian, penerapan MDPJ 2024 pada ruas jalan ini tidak hanya memperlihatkan kelemahan kondisi eksisting, tetapi juga menegaskan perlunya desain alternatif yang lebih optimal sebagai solusi perencanaan.

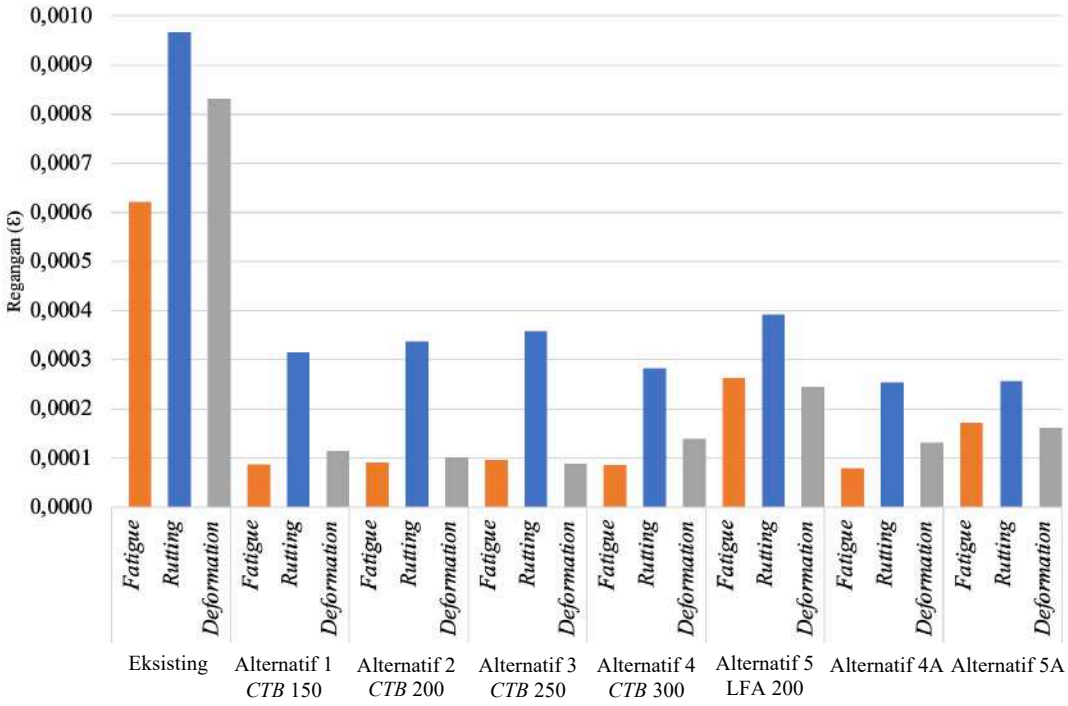
5.5.2 Tegangan Regangan Maksimum dan Prediksi Kerusakan Perkerasan Eksisting, Desain Bina Marga 2024, dan Desain Alternatif Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat dengan Bina Marga 2024 dievaluasi Menggunakan *KENPAVE* Pendekatan Elastik

Berdasarkan hasil rekapitulasi distribusi tegangan dan regangan maksimum pada tiap alternatif desain menunjukkan variasi yang signifikan terhadap potensi kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Pada struktur eksisting nilai tegangan sebesar 1139,178 kPa dengan regangan 0,0006220 menunjukkan tingkat kerentanan yang tinggi terhadap retak lelah karena lapisan aspal mengalami regangan tarik berlebih sehingga umur layan menjadi relatif singkat. Sebaliknya, alternatif 1 (*CTB* 150 mm) menunjukkan tegangan 200,529 kPa dan regangan 0,0000874 yang menggambarkan kemampuan lebih baik dalam menahan *fatigue cracking* dengan umur layan yang lebih lama. Alternatif 2 (*CTB* 200 mm) dengan tegangan 221,588 kPa dan regangan 0,0000919 juga menunjukkan performa baik namun sedikit lebih tinggi dibanding Alternatif 1, sedangkan Alternatif 5 (LFA 200 mm) memiliki tegangan 555,574 kPa dan regangan 0,0002629 yang menandakan ketahanan terhadap retak lelah lebih rendah.

Dari aspek *rutting*, hasil menunjukkan bahwa Alternatif 4 memiliki tegangan tertinggi sebesar 494,228 kPa dan regangan 0,0001969 yang berarti struktur tersebut cenderung lebih mudah mengalami deformasi plastis akibat pembebanan berulang. Sebaliknya Alternatif 1 dengan tegangan 296,855 kPa dan regangan 0,0001242 menunjukkan performa lebih baik dalam menahan *rutting*, sementara Alternatif 5(A) dengan tegangan 60,820 kPa dan regangan 0,0001891 memiliki kestabilan yang cukup baik. Alternatif 3 (*CTB* 250 mm) dengan tegangan 416,633 kPa dan regangan 0,0001591 menunjukkan daya tahan menengah terhadap deformasi plastis, sedangkan Alternatif 2 memiliki nilai 372,199 kPa dan 0,0001443 yang menempatkannya pada kinerja yang relatif stabil. Hasil perbandingan hubungan tegangan dan regangan untuk tiap alternatif ini juga dapat dilihat lebih jelas pada grafik rekapitulasi tegangan dan regangan maksimum yang menggambarkan pola kecenderungan peningkatan regangan seiring bertambahnya tegangan pada setiap kondisi kerusakan dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan 5.9.



Gambar 5.8 Nilai Tegangan Maksimum Lapis Perkerasan



Gambar 5.9 Nilai Regangan Maksimum Lapis Perkerasan

Pada aspek *permanent deformation*, Alternatif 4(A) menunjukkan performa paling baik dengan tegangan 7,158 kPa dan regangan 0,0001098 diikuti oleh

Alternatif 5(A) dengan tegangan 9,474 kPa dan regangan 0,0001570 yang keduanya menunjukkan stabilitas tinggi terhadap deformasi permanen. Nilai tegangan dan regangan yang rendah pada kedua alternatif ini mencerminkan kemampuan lapisan perkerasan untuk mendistribusikan beban secara merata tanpa mengalami penurunan kinerja yang signifikan. Secara keseluruhan, perbandingan ini memperlihatkan bahwa struktur eksisting memiliki kelemahan signifikan dalam menahan beban berulang karena nilai regangannya jauh lebih tinggi dibandingkan seluruh alternatif. Alternatif 2 menjadi pilihan terbaik dalam menekan kerusakan *fatigue cracking*, Alternatif 1 unggul dalam mengendalikan *rutting*, sementara Alternatif 4(A) dan Alternatif 5(A) terbukti stabil dalam menahan *permanent deformation*. Hubungan antara tegangan dan regangan menunjukkan pola bahwa semakin besar tegangan, cenderung semakin tinggi pula regangan yang terjadi. konfigurasi ketebalan lapisan dan sifat material memiliki pengaruh lebih besar terhadap kinerja perkerasan dibandingkan hanya mempertimbangkan besarnya beban lalu lintas semata.

Tabel 5.38 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban Hingga Terjadi Kerusakan pada Alternatif Desain

Kondisi Desain	***CESA5* 20 Tahun (Nr)**	**Repetisi Beban *(ESAL)***		**Analisis Beban Lalu Lintas**
Eksisting	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	1.673.662	*Nf < Nr (no)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	40.670	*Ndr < Nr (no)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	80.479	*Ndp < Nr (no)*
Alternatif 1	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	3.466.289.289	*Nf > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	6.038.334	*Ndr > Nr (no)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	556.547.355	*Ndp > Nr (yes)*
Alternatif 2	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	2.850.539.022	*Nf > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	4.487.702	*Ndr > Nr (no)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	1.017.145.203	*Ndp > Nr (yes)*
Alternatif 3	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	2.513.093.884	*Nf > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	3.452.958	*Ndr > Nr (no)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	1.789.513.553	*Ndp > Nr (yes)*

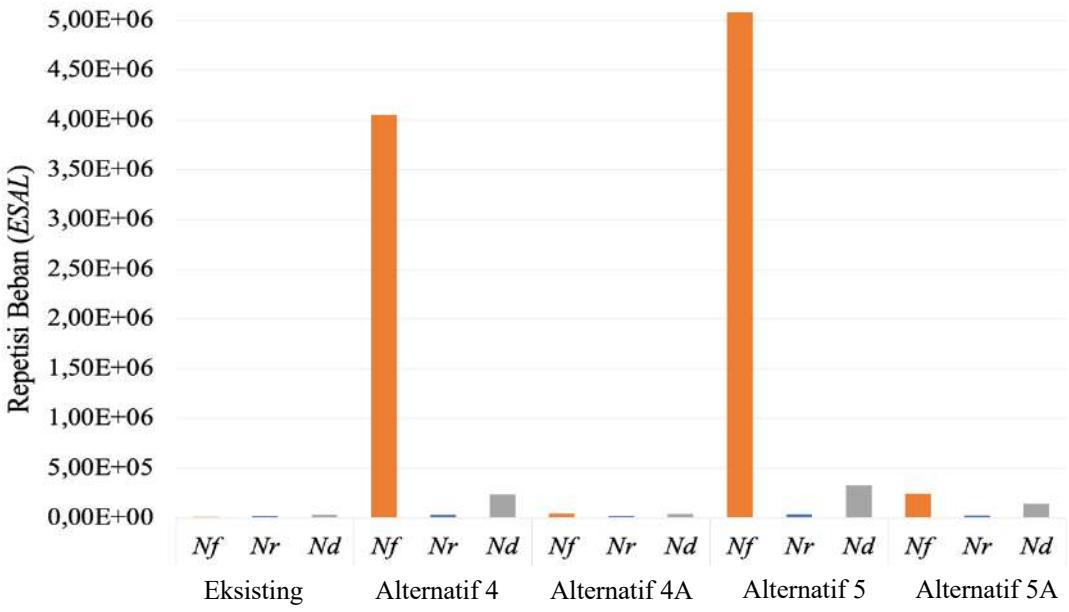
Lanjutan Tabel 5.39 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban Hingga Terjadi Kerusakan pada Alternatif Desain

Alternatif 4	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	4.051.979.999	*Nf > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	9.963.068	*Ndr < Nr (no)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	237.605.503	*Ndp > Nr (yes)*
Alternatif 5	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	46.188.328	*Nf > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	2.289.183	*Ndr < Nr (no)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	18.792.137	*Ndp > Nr (yes)*
Alternatif 4(A)	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	5.085.575.801	*Nf > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	15.911.395	*Ndr > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	311.814.305	*Ndp > Nr (yes)*
Alternatif 5(A)	12.630.823 *ESAL*	*Nf*	241.584.202	*Nf > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndr*	15.151.890	*Ndr > Nr (yes)*
	12.630.823 *ESAL*	*Ndp*	121.843.922	*Ndp > Nr (yes)*

Hasil rekapitulasi pada Tabel 5.38 menunjukkan bahwa desain eksisting memiliki kemampuan yang sangat terbatas dalam menahan repetisi beban lalu lintas. Nilai repetisi hingga terjadi kelelahan (*fatigue*) hanya sebesar 1,67 juta, *rutting* sebesar 40,67 ribu, dan deformasi permanen sekitar 80,47 ribu, yang semuanya jauh lebih rendah dari nilai *CESA* 5 rencana sebesar 12,6 juta *ESAL***.** Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur perkerasan eksisting tidak lagi memenuhi standar umur rencana 20 tahun. Hal ini wajar terjadi mengingat akumulasi beban kendaraan berat yang terus meningkat tidak sebanding dengan kapasitas struktural jalan.

Untuk desain alternatif terlihat adanya peningkatan signifikan pada kapasitas menahan beban. Alternatif 1 (*CTB* 150 mm) mampu mencapai nilai repetisi *fatigue* sebesar 3,46 miliar, *rutting* 6,93 juta dan deformasi permanen 556,54 juta yang hampir semuanya jauh melampaui *CESA* 5. Kondisi serupa juga tampak pada Alternatif 2 (*CTB* 200 mm) dengan nilai *fatigue* mencapai 2,85 miliar, *rutting* 4,48 juta dan deformasi permanen 1,01 miliar. Sementara itu Alternatif 3 (*CTB* 250 mm) memberikan nilai *fatigue* 2,51 miliar, *rutting* 3,45 juta serta deformasi permanen 1,78 miliar. Pada Alternatif 4 (*CTB* 300 mm) meskipun nilai *fatigue* tinggi 4,05

miliar dan deformasi permanen 237,60 juta namun kemampuan menahan *rutting* hanya sebesar 9,96 juta sehingga masih berada di bawah kebutuhan lalu lintas rencana. Kondisi inilah yang mendorong desain modifikasi pada Alternatif 4(A) di mana penambahan tebal lapisan menghasilkan peningkatan nilai *rutting* menjadi 15,91 juta dengan nilai *fatigue* tetap tinggi sebesar 5,08 miliar. Alternatif 5 (LFA 200 mm) memiliki performa *fatigue* 46,18 juta, *rutting* 2,28 juta dan deformasi permanen 18,79 juta di mana parameter *rutting* kembali menjadi titik lemah desain ini. Untuk itu dilakukan perbaikan melalui Alternatif 5(A) dengan menambah tebal lapisan. Hasilnya nilai *rutting* meningkat hingga 15,15 sementara nilai *fatigue* tercatat 241,58 juta dan deformasi permanen 121,84 juta. Dengan modifikasi tersebut Alternatif 4(A) maupun 5(A) akhirnya mampu melewati ambang batas *CESA* 5 dan memenuhi syarat umur rencana 20 tahun. Namun, desain Alternatif 5(A) lebih direkomendasikan sebagai pilihan optimum karena peningkatan nilainya tidak terlalu jauh dari kebutuhan rencana sehingga tidak *overdesign* namun tetap memberikan keseimbangan antara ketahanan terhadap *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik yang menampilkan perbandingan repetisi beban antara desain eksisting dan desain alternatif optimum seperti pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Perbandingan Nilai Repetisi Beban Maksimum

Hasil ini memiliki keterkaitan erat dengan temuan penelitian sebelumnya. Safari dan Fauziah (2024) juga menegaskan bahwa desain perkerasan dengan MDPJ 2024 lebih responsif terhadap beban berlebih sehingga mampu memperpanjang umur layan jalan, sejalan dengan capaian Alternatif 2 dalam menekan kerusakan *fatigue cracking*. Nasution dan Fauziah (2024) menunjukkan bahwa pendekatan mekanistik-empirik menghasilkan prediksi kerusakan yang lebih realistis dibandingkan metode lama dan hal ini tercermin pada studi ini di mana struktur eksisting jauh tertinggal dibandingkan seluruh alternatif. Selanjutnya, penelitian Widhiatmoko dan Fauziah (2024) membuktikan bahwa metode 2024 lebih sensitif terhadap variasi lalu lintas dan tanah dasar, yang konsisten dengan fenomena tingginya nilai *rutting* pada Alternatif 4 sebelum dimodifikasi. Sementara itu, Zuasri dan Fauziah (2024) menekankan pentingnya pemilihan alternatif desain yang mampu menahan beban lalu lintas jangka panjang, yang relevan dengan keberhasilan Alternatif 5(A) dalam mencapai keseimbangan antara ketahanan struktural dan efisiensi material.

Perbandingan antar desain menunjukkan bahwa pendekatan elastik pada program *KENPAVE* mampu merepresentasikan interaksi antara tegangan, regangan, dan kapasitas repetisi beban yang dapat diterima oleh struktur perkerasan secara akurat. Analisis ini memperlihatkan bahwa regangan horizontal di dasar lapisan aspal berperan dominan terhadap potensi *fatigue* karena regangan tarik berulang pada lapisan. Regangan vertikal di atas tanah dasar menjadi faktor utama penyebab *rutting*, di mana deformasi plastis akibat gaya tekan berulang menghasilkan alur permanen pada permukaan jalan. Temuan ini berbeda dengan hasil penelitian Ottu dkk. (2023) yang melaporkan bahwa kerusakan awal pada ruas Denggung–Wonorejo didominasi oleh *permanent deformation* akibat tingginya regangan pada lapisan bawah. Sementara dalam penelitian ini, kerusakan awal yang muncul berupa *rutting* karena regangan vertikal tinggi di atas tanah dasar. Perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan standar desain yang digunakan yakni MDPJ 2017 pada penelitian Ottu dkk. dan MDPJ 2024 pada penelitian ini. Tabel rekapitulasi nilai tegangan dan regangan maksimum pada setiap desain dapat dilihat pada Tabel 5.39.

Tabel 5.40 Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Maksimum pada Tiap Kondisi

Desain Perkerasan	*Fatigue cracking*		*Rutting*		*Permanent deformation*	
	Tegangan (KPa)	**Regangan**	**Tegangan (kPa)**	**Regangan**	**Tegangan (kPa)**	**Regangan**
Eksisting	1139.178	0,0006220	38.728	0,0009675	51.518	0,0008305
Alternatif 1 (*CTB* 150 mm)	200.529	0,0000874	604.002	0,0003161	17.302	0,0001149
Alternatif 2 (*CTB* 200 mm)	221.588	0,0000919	651.221	0,0003378	15.151	0,0001004
Alternatif 3 (*CTB* 250 mm)	247.355	0,0000949	700.448	0,0003582	13.385	0,0000885
Alternatif 4 (*CTB* 300 mm)	190.334	0,0000853	761.240	0,0002826	9.032	0,0001390
Alternatif 5 (LFA 200 mm)	555.574	0,0002629	143.131	0,0003927	14.733	0,0002452
Alternatif 4(A)	176.912	0,0000793	663.641	0,0002545	8.512	0,0001308
Alternatif 5(A)	366.888	0,0001724	91.723	0,0002573	9.654	0,0001614

5.5.3 Perbandingan Nilai Umur Sisa dari Struktur Perkerasan Jalan dari struktur Perkerasan Eksisting, Desain Bina Marga 2024, dan Desain Alternatif Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat dengan Bina Marga 2024 dievaluasi Menggunakan *KENPAVE* Pendekatan Elastik

Analisis umur sisa perkerasan pada Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat menggunakan acuan Persamaan 3.7. Proses perhitungan dilakukan dengan mengurangkan satu satuan terhadap rasio antara lalu lintas prediksi tahunan dan lalu lintas saat perkerasan mencapai batas kerusakan berupa *fatigue, rutting,* maupun deformasi permanen.

Tabel 5.41 Nilai Sisa Selama Masa Layan 20 Tahun

Jenis Perkerasan	**Jenis Kerusakan**		
	***Fatigue Cracking* (%)**	***Rutting* (%)**	***Permanent Deformation* (%)**
Eksisting	*FAIL*	*FAIL*	*FAIL*
Alternatif 1 (CTB 150)	99,59	*FAIL*	97,49
Alternatif 2 (CTB 200)	99,51	*FAIL*	98,63
Alternatif 3 (CTB 250)	99,44	*FAIL*	99,22
Alternatif 4 (CTB 300)	99,65	*FAIL*	94,13
Alternatif 5 (LFA 200)	69,84	*FAIL*	25,88
Alternatif 4(A)	99,72	12,46	95,53
Alternatif 5(A)	94,23	8,08	88,56

Berdasarkan Tabel 5.40 desain eksisting terbukti tidak memenuhi umur rencana karena gagal pada seluruh parameter kerusakan. Alternatif 1 hingga 5 menunjukkan ketahanan *fatigue cracking* yang sangat tinggi namun kinerjanya tidak seimbang pada *rutting* maupun deformasi permanen. Alternatif 4 dan 5 mengalami kegagalan pada *rutting* namun hampir mencapai ketahanan yang baik di parameter lainnya dan tidak terlalu jauh dengan desain rencana. Perbaikan melalui modifikasi menghasilkan Alternatif 4(A) dan 5(A) yang mampu memberikan kinerja lebih merata. Alternatif 4(A) mencatat capaian terbaik pada *permanent deformation* sebesar 95,53% dengan ketahanan *fatigue cracking* tetap

mendekati 100%, sementara Alternatif 5(A) juga unggul dalam mengendalikan rutting dengan nilai 8,08% serta masih aman pada dua parameter lainnya. Kedua alternatif ini dinilai lebih realistis untuk diterapkan di lapangan dibandingkan desain 1–5 yang meskipun berbasis acuan terbaru MDPJ 2024, cenderung menghasilkan tebal lapisan yang lebih besar dari kebutuhan sebenarnya. Kondisi tersebut dapat dikategorikan sebagai *overdesign*, yang berdampak pada peningkatan biaya konstruksi, penggunaan material berlebih, serta potensi ketidaksesuaian elevasi jalan dengan kondisi eksisting di sekitarnya. Hasil nilai sisa berdasarkan kerusakan dapat dilihat pada Tabel 5.41 dan Tabel 5.42.

Tabel 5.42 Rekapitulasi Repetisi Beban Hingga Terjadi Kerusakan

Jenis Perkerasan	**Repetisi Beban *(ESAL)***		
	Fatigue Cracking	***Rutting***	***Permanent Deformation***
Eksisting	1.673.662	40.670	80.479
Alternatif 1 (*CTB* 150 mm)	3.466.289.289	6.038.334	556.547.355
Alternatif 2 (*CTB* 200 mm)	2.850.539.022	4.487.702	1.017.145.203
Alternatif 3 (*CTB* 250 mm)	2.513.093.884	3.452.958	1.789.513.553
Alternatif 4 (*CTB* 300 mm)	4.051.979.999	9.963.063	237.605.503
Alternatif 5 (LFA 200 mm)	46.188.328	2.289.183	18.792.137
Alternatif 4(A)	5.085.575.801	15.911.395	311.814.305
Alternatif 5(A)	241.584.202	15.151.890	121.843.922

Tabel 5.43 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan

Jenis Perkerasan	**Prediksi Kerusakan (tahun)**		
	Fatigue Cracking	***Rutting***	***Permanent Deformation***
Eksisting	3	1	1
Alternatif 1 (*CTB* 150 mm)	83	13	61
Alternatif 2 (*CTB* 200 mm)	80	11	68
Alternatif 3 (*CTB* 250 mm)	79	9	75
Alternatif 4 (*CTB* 300 mm)	85	17	52
Alternatif 5 (LFA 200 mm)	33	3	23

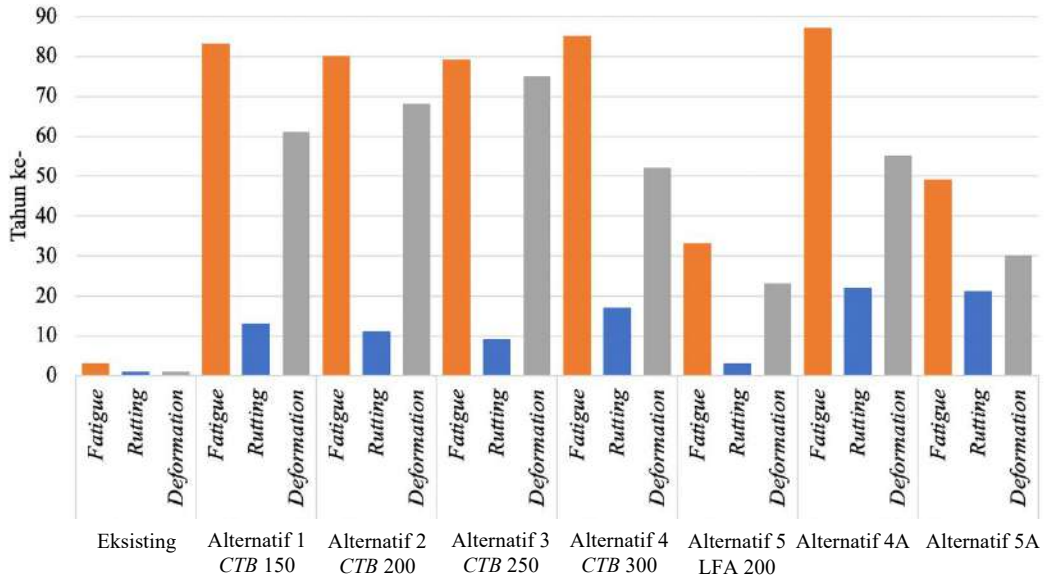
Lanjutan Tabel 5.42 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan

Jenis Perkerasan	Prediksi Kerusakan (tahun)		
	Fatigue Cracking	***Rutting***	***Permanent Deformation***
Alternatif 4(A)	87	22	55
Alternatif 5(A)	52	21	43

Berdasarkan Tabel 5.42 kondisi eksisting hanya mampu bertahan 1–2 tahun sehingga jelas tidak memenuhi umur rencana dan perlu diganti dengan desain baru. Seluruh alternatif menunjukkan kinerja lebih baik namun dengan karakteristik yang berbeda. Alternatif 1 memiliki daya tahan tinggi terhadap retak lelah, meski kelemahannya terletak pada *rutting* dan deformasi permanen. Alternatif 2 memiliki ketahanan yang baik terhadap retak lelah, deformasi permanen, namun lemah pada *rutting*. Alternatif 3 unggul dalam menahan deformasi permanen, tetapi relatif kurang pada *rutting*.

Sementara itu, Alternatif 4 juga baik dalam menahan deformasi jangka panjang, namun tetap lemah pada *rutting*. Sebaliknya, Alternatif 5 memperlihatkan kinerja paling rendah di antara seluruh alternatif sehingga kurang layak dijadikan pilihan utama. Modifikasi pada desain menghasilkan performa yang lebih baik Alternatif 4(A) seimbang antara ketahanan terhadap retak lelah, deformasi permanen, dan *rutting*, sedangkan Alternatif 5(A) menunjukkan peningkatan signifikan dari versi awalnya. Secara keseluruhan, Alternatif 5(A) dinilai paling optimal dibanding alternatif lainnya karena mampu mencapai keseimbangan antara ketahanan terhadap *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan umur layan yang memadai tanpa menimbulkan resiko *overdesign*. Desain ini memberikan kinerja yang efisien sekaligus berkelanjutan, baik dari segi ketahanan struktural maupun efisiensi penggunaan material, sehingga menjadi opsi terbaik untuk diterapkan di lapangan. Dari hasil analisis, Alternatif 5(A) menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan versi awal terutama pada ketahanan terhadap *rutting* yang sebelumnya menjadi titik lemah utama. Peningkatan tersebut dihasilkan melalui penyesuaian tebal lapisan yang mampu memperbaiki distribusi tegangan dan regangan di seluruh lapisan perkerasan tanpa menyebabkan

pemborosan material. Selain itu, keseimbangan nilai umur sisa pada ketiga parameter kerusakan menunjukkan bahwa struktur pada Alternatif 5(A) telah mencapai kondisi ideal di mana daya dukung terhadap beban lalu lintas tidak hanya tinggi, tetapi juga seragam pada setiap lapisan. Hal ini berarti bahwa tidak ada satu jenis kerusakan yang mendominasi lebih awal dibanding lainnya, sehingga umur layan jalan dapat tercapai secara optimal sesuai target rencana 20 tahun. Gambaran peningkatan kinerja ini dapat dilihat secara visual pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Perbandingan Umur Layan pada Masing-masing Perkerasan

Alternatif 5(A) memiliki distribusi umur sisa yang paling seimbang dibanding desain eksisting maupun alternatif lainnya, karena mampu mempertahankan ketahanan struktural tanpa menunjukkan indikasi *overdesign.* Dengan demikian dapat dikategorikan sebagai desain optimum yang tidak hanya memenuhi ketentuan teknis MDPJ 2024 tetapi juga selaras dengan prinsip efisiensi struktural dan keberlanjutan dalam rekayasa jalan. Temuan ini juga menguatkan hasil penelitian Sugema dan Maulana (2024) yang menegaskan bahwa penerapan pendekatan MDPJ 2024 mampu menghasilkan desain perkerasan yang lebih rasional.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada Ruas Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat dengan metode Bina Marga 2024 yang di evaluasi menggunakan program *KENPAVE* diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Struktur perkerasan eksisting dengan tebal *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, dan LFA Kelas A 30 cm tidak memenuhi umur rencana karena tidak mampu menahan beban lalu lintas berulang secara optimal. Melalui evaluasi terhadap beberapa alternatif desain, diperoleh hasil Alternatif 5(A) menggunakan MDPJ 2024 dengan penambahan tebal lapis tambah *AC-WC* 5 cm, *AC-BC* 8 cm, *AC Base* 15 cm, LFA Kelas A 30 cm, LFA Kelas B 15 cm, dan LFA Kelas C 20 cm merupakan desain optimal karena mampu memenuhi umur layan rencana selama 20 tahun serta memberikan efisiensi penggunaan material yang lebih baik dibandingkan desain alternatif lain.
2. Struktur eksisting dengan tegangan sebesar 1139,178 kPa dan regangan 0,0006220 menunjukkan kerentanan tinggi terhadap kerusakan, terutama retak lelah dan deformasi permanen akibat regangan tarik berlebih. Desain alternatif menunjukkan peningkatan kinerja dengan karakteristik yang berbeda pada tiap aspek. Alternatif 1 (*CTB* 150 mm) memiliki tegangan 200,529 kPa dan regangan 0,0000874 yang paling rendah, sedangkan Alternatif 2 (*CTB* 200 mm) dan Alternatif 3 (*CTB* 250 mm) juga memperlihatkan performa baik terhadap kerusakan lelah. Alternatif 4 (*CTB* 300 mm) memiliki tegangan tinggi 494,228 kPa pada lapisan bawah yang menunjukkan kecenderungan terhadap rutting, sehingga perlu dimodifikasi menjadi Alternatif 4(A) dengan performa optimal pada *permanent deformation*. Alternatif 5 (LFA 200 mm) awalnya memiliki tegangan rendah 555,574 KPa namun regangan tinggi 0,0002629 yang membuatnya masih

rentan terhadap *rutting*, namun setelah dimodifikasi menjadi Alternatif 5(A) dengan tegangan 60,820 KPa dan regangan 0,0001891, kinerjanya meningkat signifikan karena mampu mengendalikan *rutting* sekaligus menunjukkan ketahanan lebih seimbang terhadap retak lelah dan deformasi permanen.

3. Perkerasan eksisting hanya memiliki sisa umur layan sekitar 1 hingga 3 tahun sehingga tidak lagi mampu mendukung lalu lintas berat. Evaluasi dengan MDPJ 2024 membuktikan bahwa desain alternatif mampu memperpanjang masa layanan hingga mendekati umur rencana 20 tahun, dengan variasi kinerja sesuai karakteristik tiap alternatif dari seluruh desain. Alternatif 5(A) memberikan hasil paling optimal karena menunjukkan keseimbangan antara ketahanan terhadap *fatigue* selama 52 tahun, *rutting* 21 tahun, dan deformasi permanen selama 43 tahun. Hal ini menegaskan bahwa penerapan desain perkerasan alternatif sangat diperlukan untuk menggantikan struktur eksisting yang tidak lagi memadai.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Struktur perkerasan eksisting dengan total tebal 40 cm perlu dilakukan penyesuaian dengan mengacu pada alternatif desain sesuai ketentuan MDPJ 2024. Dari hasil analisis, seluruh desain alternatif menunjukkan peningkatan kinerja dibandingkan kondisi eksisting, namun Alternatif 5(A) dinilai paling optimal karena mampu mencapai umur rencana yang sesuai sekaligus memberikan ketahanan yang lebih seimbang terhadap berbagai jenis kerusakan.
2. Perlu dilakukan pengkajian lanjut terhadap ketebalan perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2024 dengan pendekatan viskoelastik sehingga diperoleh perbandingan kinerja antara pendekatan elastik dan viskoelastik dalam menahan beban lalu lintas.
3. Disarankan adanya analisis tambahan yang mempertimbangkan perbandingan biaya pembangunan dengan ketebalan perkerasan yang diusulkan.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, Z. A., & Susilo, B. H. (2023). Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program Software Kenpave. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*. 01(01): 96–105. https://doi.org/10.25105/jrltb.v1i1.15921

Annisa, I., Aprillia, W., Herius, A., & Mirza, A. (2024). Perencanaan Geometrik Dan Tebal Perkerasan Kaku Pada Jalan Simpang Kolam-Simpang Semambang Baru. *Pilar: Jurnal Teknik Sipil*. 19(02): 53–57.

Apriyadi, F., & Fauziah, M. (2018). Pengaruh beban berlebih kendaraan berat terhadap umur rencana perkerasan kaku pada Jalan Diponegoro, Cilacap. *Seminar Nasional Teknik Sipil 2018*.

Arianto, R., & Fauziah, M. (2024). Kajian kinerja struktur perkerasan lentur dengan pendekatan elastik dan v iskoelastik pada Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran. *The 6th Civil Engineering Research Forum.* 3(2):58–68.

Desa, K. Y. P., Sumanjaya, A. A. G., & Yujana, C. A. (2024). Analisis sisa umur rencana Jalan Baturinggit di wilayah Kubu Karangasem akibat adanya beban berlebih. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*. 13(2): 204–210. https://doi.org/10.22225/pd.13.2.10280.204-210

Hadi, M. A. (2024). Eksplorasi Dampak Perubahan Manual Desain Perkerasan Jalan (Mdpj) 2017 Ke 2024 Menggunakan Program Kenpave. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*. 29(2):416–427.

Hadi, M. A., & Fauziah, M. (2022). Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-WC menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik. *Teknisia*. 27(2):71–82.

Hermastuti, G. R., & Amudi, A. (2024). Analisis Life Cycle Cost Perkerasan Kaku Dan Lentur Jalan Provinsi (Studi Kasus: Jalan Raya Pare – Kediri). *Jurnal Teknik Sipil Giratory UPGRIS*. 1(1):1–9. https://doi.org/10.26877/giratory.v1i1.19453

Jannah, L. R., Yermadona, H., & Dewi, S. (2022). Analisis Kerusakan Perkerasan Jalan Dengan Metoda Bina Marga Dan Pavement Condition Index (PCI) (Studi kasus: Jl. Lintas Sumatera Km 203 - 213). *Ensiklopedia Research and Community Service Review*. 1(2):114–122. https://doi.org/10.33559/err.v1i2.1134

Kartika, T., & Usman, A. P. (2025). Perencanaan Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Simpang 3. *Master: Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science Technology and Educational Research*. 2(1):686–693.

Khaerat, N., Mahyuddin, Bachtiar, E., Tumpu, M., Mukrim, M. I., Irianto, Kadir, Y., Arifin, T. S. P., Ahmad, S. N., Masdiana, Halim, H., & Syukuriah. (2021). *Rencana Pengkerasan Jalan*. Yayasan Kita Menulis, Jakarta.

Lestari, I. G. A. A. I. (2013). Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur. *Jurnal Transportasi*. 7(1):128–134. http://unmasmataram.ac.id/wp/wp-content/uploads/18.-I-Gusti-Agung-Ayu-Istri-Lestari.pdf

Lia, N., & Purwo, M. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi Kenpave. *Rekayasa Teknik Sipil*. 4(2):1–10.

Marlina, E., Frans, J. H., & Nasjono, J. K. (2023). Analisis Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga Program Kenpave. *Jurnal Teknik Sipil*. 12(2):173–184.

Nasution, H. A. M., & Fauziah, M. (2024). Analisis kerusakan perkerasan lentur dengan pedoman Bina Marga 2017 dan 2024 menggunakan metode viskoelastik di Jalan Peureulak, Aceh Timur. *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun, Universitas Islam Indonesia.*

Pambudi, R. A., & Fauziah, M. (2020). Evaluasi perancangan struktur perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 dan program Kenpave menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik. *Seminar Nasional DPPM UII*.

Ramdani, A., Saepudin, U., & Sutrisna, D. (2023). Analisis tebal perkerasan lentur dengan metode analisa komponen dan metode aashto menggunakan program kenpave (Studi Kasus Ruas Jalan Ciawi – Singaparna Kabupaten Tasikmalaya). *Miteks: Media Ilmiah Teknik Sipil*. 1(1):55–64.

Rayid, D. M. A., Rokhmawati, A., & Suhermin, I. (2025). Studi Alternatif Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Kembur - Paka – Nceang Kecamatan Borong, Manggarai Timur Dengan Metode Mdpj 2024. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 15(1):81–89.

Safari, R. S. I., & Fauziah, M. (2024). Analisis pengaruh overload kendaraan terhadap umur perkerasan jalan: Perbandingan metode Bina Marga 2017 dan Bina Marga 2024 menggunakan simulasi Kenpave. *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.*

Saodang, H. (2005). *Konstruksi Jalan Raya*. Nova, Bandung.

Saputra, A., Purwanto, E., & Fauziah, M. (2023). Alternatif desain perkerasan jalan dan perkuatan lereng longsor. *Rekayasa Sipil.* 17(2):192–198.

Satria, M. I. F. (2022). Analisis Perbandingan Desain Mekanistik-Empiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik Dan Viskoelastik: Studi Kasus Pada Ruas Jalan Milir. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*. 2(1). https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/38698

Sugema, R., & Maulana, R. (2024). Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*. 23(02):112–118.

Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Nova, Bandung.

Sumarsono, A., & Fauziah, M. (2022). Evaluasi kondisi perkerasan, penanganan dan nilai sisa perkerasan lentur jalan dengan metode Binamarga 2013 dan metode mekanistik empirik (Studi kasus: Jalan Jogja-Solo Km 14+800–16+800). *TEKNIKA: Jurnal Teknik.* 9(1):10–27.

Tolab, L. Z., Hadi, M., & Fauziah, M. (2022). Analisis perbandingan perkerasan AC-WC berbahan ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 menggunakan metode elastik linear. *The 3rd Civil Engineering Research Forum*. 2(1).

Widhiatmoko, G., & Fauziah, M. (2024). Analisis perbandingan tebal perkerasan lentur dengan metode viskoelastik pada MDPJ 2017 dan MDP 2024 menggunakan Kenpave (Studi kasus: Ruas Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo pada STA 02+00 – STA 07+500). *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun, Universitas Islam Indonesia.*

Zuasri, & Fauziah, M. (2024). Komparasi alternatif desain perkerasan lentur metode Bina Marga 2017 dan 2024 menggunakan Kenpave. *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun, Universitas Islam Indonesia.*

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Simpang Jambi-Batas Sumatera Barat

DATA LALU LINTAS HARIAN RATA-RATA TAHUN 2024														
NO RUAS	NAMA RUAS	Arus Rata-rata (kend/hari)												LHR
		veh 1	veh 2	veh 3	veh 4	veh 5a	veh 5b	veh 6a	veh 6b	veh 7a	veh 7b	veh 7c	veh 8	
1100900	BTS.KOTA MUARA BUNGO-BTS. PROV.SUMBAR	6.741	4.288	21	1.151	43	111	94	1.987	920	-	5	1	15.362
1100911	JLN.LINTAS SUMATERA II MUARA BUNGO (SP.JAMBI-BTS.KOTA MUARA BUNGO)	11.444	5.313	89	1.448	22	121	115	2.008	707	-	8	3	21.278

Lampiran 2 Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.08212	550.000	1977.103	1074.884	1968.626
	(STRAIN)		-3.872E-04	5.844E-04	-3.872E-04	5.752E-04
1	9.99970	0.07990	438.728	439.112	-1150.681	-1139.064
	(STRAIN)		9.675E-04	9.679E-04	-6.219E-04	-6.219E-04
1	10.00000	0.07990	438.718	439.102	-1150.782	-1139.178
	(STRAIN)		9.675E-04	9.679E-04	-6.220E-04	-6.220E-04
1	40.00000	0.05284	51.518	51.530	-97.358	-97.077
	(STRAIN)		5.435E-04	5.436E-04	-3.701E-04	-3.701E-04
1	40.00030	0.05284	51.518	51.554	1.840	1.878
	(STRAIN)		8.305E-04	8.314E-04	-3.701E-04	-3.701E-04
2	0.00000	0.07555	550.000	1473.517	702.117	1375.094
	(STRAIN)		-3.364E-04	4.943E-04	-3.364E-04	3.883E-04
2	9.99970	0.07414	331.164	345.041	-871.072	-681.864
	(STRAIN)		6.763E-04	6.902E-04	-5.260E-04	-5.260E-04
2	10.00000	0.07414	331.157	345.025	-871.154	-681.922
	(STRAIN)		6.763E-04	6.902E-04	-5.260E-04	-5.260E-04
2	40.00000	0.05180	48.619	48.992	-92.041	-87.874
	(STRAIN)		5.066E-04	5.089E-04	-3.565E-04	-3.565E-04
2	40.00030	0.05180	48.618	49.708	1.830	1.893
	(STRAIN)		7.742E-04	8.005E-04	-3.565E-04	-3.565E-04
3	0.00000	0.06576	0.000	828.518	307.559	720.215
	(STRAIN)		-2.399E-04	3.211E-04	-2.399E-04	2.045E-04
3	9.99970	0.06479	169.946	232.203	-422.065	-70.852
	(STRAIN)		2.444E-04	3.067E-04	-3.476E-04	-3.476E-04
3	10.00000	0.06478	169.945	232.177	-422.103	-70.835
	(STRAIN)		2.444E-04	3.067E-04	-3.476E-04	-3.476E-04
3	40.00000	0.04972	43.107	44.176	-81.889	-70.878
	(STRAIN)		4.373E-04	4.438E-04	-3.297E-04	-3.297E-04
3	40.00030	0.04972	43.107	46.064	1.807	1.918
	(STRAIN)		6.683E-04	7.398E-04	-3.297E-04	-3.297E-04

Lampiran 3 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 1 *CTB* 150 mm dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02700	550.000	1238.515	1138.178	1139.443
	(STRAIN)		2.519E-04	2.519E-04	1.438E-04	1.435E-04
1	12.99970	0.02159	604.002	607.874	199.341	200.529
	(STRAIN)		3.161E-04	3.199E-04	-8.859E-05	-8.740E-05
1	13.00000	0.02159	603.986	607.858	199.338	200.534
	(STRAIN)		3.161E-04	3.199E-04	-8.858E-05	-8.739E-05
1	28.00000	0.01812	172.020	172.876	2.727	3.201
	(STRAIN)		1.138E-04	1.145E-04	-2.166E-05	-2.128E-05
1	43.00000	0.01726	29.244	29.245	-276.838	-276.186
	(STRAIN)		7.427E-05	7.427E-05	-6.347E-05	-6.347E-05
1	63.00000	0.01449	17.302	17.305	-3.494	-3.485
	(STRAIN)		1.161E-04	1.162E-04	-4.901E-05	-4.901E-05
1	63.00030	0.01449	17.302	17.306	2.491	2.496
	(STRAIN)		1.149E-04	1.150E-04	-4.901E-05	-4.901E-05
2	0.00000	0.02329	550.000	702.286	668.841	687.875
	(STRAIN)		1.226E-04	1.228E-04	8.675E-05	8.663E-05
2	12.99970	0.02042	427.706	526.717	97.915	155.979
	(STRAIN)		2.047E-04	3.037E-04	-1.251E-04	-6.705E-05
2	13.00000	0.02042	427.696	526.708	97.912	155.980
	(STRAIN)		2.047E-04	3.037E-04	-1.251E-04	-6.705E-05
2	28.00000	0.01783	142.257	164.900	-16.102	1.150
	(STRAIN)		9.381E-05	1.119E-04	-3.287E-05	-1.907E-05
2	43.00000	0.01706	27.798	27.851	-262.212	-252.119
	(STRAIN)		6.926E-05	6.929E-05	-6.124E-05	-6.124E-05
2	63.00000	0.01439	16.932	17.023	-3.392	-3.282
	(STRAIN)		1.132E-04	1.139E-04	-4.824E-05	-4.824E-05
2	63.00030	0.01439	16.932	17.059	2.480	2.498
	(STRAIN)		1.117E-04	1.131E-04	-4.824E-05	-4.824E-05
3	0.00000	0.01970	0.000	349.909	307.558	334.567
	(STRAIN)		2.598E-05	7.158E-05	2.597E-05	5.506E-05
3	12.99970	0.01861	183.238	352.905	5.476	97.770
	(STRAIN)		5.291E-05	2.226E-04	-1.249E-04	-3.256E-05
3	13.00000	0.01861	183.238	352.902	5.472	97.770
	(STRAIN)		5.291E-05	2.226E-04	-1.249E-04	-3.256E-05
3	28.00000	0.01726	95.172	143.967	-38.747	-1.854
	(STRAIN)		6.236E-05	1.014E-04	-4.478E-05	-1.527E-05
3	43.00000	0.01664	25.062	25.216	-234.563	-207.984
	(STRAIN)		5.997E-05	6.004E-05	-5.686E-05	-5.686E-05
3	63.00000	0.01419	16.163	16.427	-3.187	-2.881
	(STRAIN)		1.070E-04	1.091E-04	-4.664E-05	-4.664E-05
3	63.00030	0.01419	16.163	16.531	2.451	2.492
	(STRAIN)		1.051E-04	1.092E-04	-4.664E-05	-4.664E-05

Lampiran 4 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 2 *CTB* 200 mm dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02600	550.000	1238.501	1128.875	1131.369
	(STRAIN)		2.572E-04	2.572E-04	1.392E-04	1.395E-04
1	11.99970	0.02094	651.221	655.374	220.168	221.588
	(STRAIN)		3.378E-04	3.419E-04	-9.330E-05	-9.187E-05
1	12.00000	0.02094	651.204	655.357	220.161	221.595
	(STRAIN)		3.377E-04	3.419E-04	-9.330E-05	-9.187E-05
1	32.00000	0.01663	129.460	130.034	-2.917	-2.590
	(STRAIN)		8.696E-05	8.742E-05	-1.894E-05	-1.868E-05
1	47.00000	0.01590	24.713	24.714	-234.417	-233.940
	(STRAIN)		6.288E-05	6.288E-05	-5.373E-05	-5.373E-05
1	67.00000	0.01351	15.151	15.153	-3.013	-3.006
	(STRAIN)		1.015E-04	1.015E-04	-4.274E-05	-4.274E-05
1	67.00030	0.01351	15.151	15.154	2.223	2.227
	(STRAIN)		1.004E-04	1.004E-04	-4.274E-05	-4.274E-05
2	0.00000	0.02231	550.000	702.101	661.367	680.703
	(STRAIN)		1.272E-04	1.271E-04	8.327E-05	8.328E-05
2	11.99970	0.01966	456.690	564.766	105.091	169.131
	(STRAIN)		2.170E-04	3.251E-04	-1.346E-04	-7.058E-05
2	12.00000	0.01966	456.680	564.757	105.087	169.132
	(STRAIN)		2.170E-04	3.250E-04	-1.346E-04	-7.058E-05
2	32.00000	0.01641	110.589	126.139	-15.769	-3.780
	(STRAIN)		7.426E-05	8.670E-05	-2.683E-05	-1.724E-05
2	47.00000	0.01574	23.663	23.702	-223.804	-216.455
	(STRAIN)		5.925E-05	5.926E-05	-5.211E-05	-5.211E-05
2	67.00000	0.01343	14.860	14.931	-2.934	-2.846
	(STRAIN)		9.916E-05	9.973E-05	-4.214E-05	-4.214E-05
2	67.00030	0.01343	14.860	14.959	2.215	2.229
	(STRAIN)		9.783E-05	9.893E-05	-4.214E-05	-4.214E-05
3	0.00000	0.01876	0.000	342.927	307.558	327.571
	(STRAIN)		3.028E-05	6.837E-05	3.028E-05	5.183E-05
3	11.99970	0.01770	184.521	365.277	4.331	101.439
	(STRAIN)		4.994E-05	2.307E-04	-1.303E-04	-3.315E-05
3	12.00000	0.01770	184.521	365.274	4.328	101.439
	(STRAIN)		4.994E-05	2.307E-04	-1.303E-04	-3.314E-05
3	32.00000	0.01597	79.356	114.405	-32.350	-5.578
	(STRAIN)		5.329E-05	8.133E-05	-3.608E-05	-1.466E-05
3	47.00000	0.01541	21.629	21.741	-203.279	-183.545
	(STRAIN)		5.233E-05	5.238E-05	-4.888E-05	-4.888E-05
3	67.00000	0.01327	14.243	14.452	-2.768	-2.524
	(STRAIN)		9.424E-05	9.590E-05	-4.084E-05	-4.084E-05
3	67.00030	0.01327	14.243	14.534	2.192	2.225
	(STRAIN)		9.255E-05	9.577E-05	-4.084E-05	-4.084E-05

Lampiran 5 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 3 *CTB* 250 mm dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02507	550.000	1238.494	1122.551	1125.595
	(STRAIN)		2.610E-04	2.609E-04	1.361E-04	1.367E-04
1	10.99970	0.02044	700.448	704.841	245.609	247.355
	(STRAIN)		3.582E-04	3.626E-04	-9.662E-05	-9.487E-05
1	11.00000	0.02044	700.430	704.823	245.599	247.364
	(STRAIN)		3.582E-04	3.626E-04	-9.663E-05	-9.486E-05
1	36.00000	0.01536	99.838	100.233	-6.523	-6.293
	(STRAIN)		6.821E-05	6.853E-05	-1.687E-05	-1.669E-05
1	51.00000	0.01474	21.163	21.164	-201.319	-200.982
	(STRAIN)		5.399E-05	5.399E-05	-4.613E-05	-4.613E-05
1	71.00000	0.01266	13.385	13.387	-2.633	-2.627
	(STRAIN)		8.956E-05	8.957E-05	-3.764E-05	-3.764E-05
1	71.00030	0.01266	13.385	13.387	1.990	1.993
	(STRAIN)		8.848E-05	8.851E-05	-3.764E-05	-3.764E-05
2	0.00000	0.02143	550.000	702.126	656.865	676.097
	(STRAIN)		1.299E-04	1.300E-04	8.121E-05	8.120E-05
2	10.99970	0.01904	487.229	604.916	114.130	185.216
	(STRAIN)		2.289E-04	3.466E-04	-1.442E-04	-7.314E-05
2	11.00000	0.01904	487.218	604.906	114.126	185.216
	(STRAIN)		2.289E-04	3.465E-04	-1.442E-04	-7.314E-05
2	36.00000	0.01519	87.517	98.437	-15.484	-6.989
	(STRAIN)		5.988E-05	6.862E-05	-2.252E-05	-1.572E-05
2	51.00000	0.01461	20.384	20.412	-193.452	-187.986
	(STRAIN)		5.129E-05	5.131E-05	-4.493E-05	-4.493E-05
2	71.00000	0.01259	13.152	13.209	-2.569	-2.500
	(STRAIN)		8.768E-05	8.814E-05	-3.716E-05	-3.716E-05
2	71.00030	0.01259	13.152	13.232	1.984	1.995
	(STRAIN)		8.646E-05	8.734E-05	-3.716E-05	-3.716E-05
3	0.00000	0.01794	0.000	338.377	307.545	322.781
	(STRAIN)		3.315E-05	6.634E-05	3.314E-05	4.952E-05
3	10.99970	0.01693	183.690	376.635	2.180	105.434
	(STRAIN)		4.533E-05	2.383E-04	-1.362E-04	-3.292E-05
3	11.00000	0.01693	183.691	376.633	2.176	105.434
	(STRAIN)		4.534E-05	2.383E-04	-1.362E-04	-3.292E-05
3	36.00000	0.01485	66.325	91.903	-27.740	-8.051
	(STRAIN)		4.558E-05	6.604E-05	-2.967E-05	-1.392E-05
3	51.00000	0.01435	18.843	18.926	-177.885	-162.966
	(STRAIN)		4.604E-05	4.607E-05	-4.249E-05	-4.249E-05
3	71.00000	0.01246	12.651	12.819	-2.431	-2.235
	(STRAIN)		8.368E-05	8.501E-05	-3.609E-05	-3.609E-05
3	71.00030	0.01246	12.651	12.885	1.968	1.995
	(STRAIN)		8.216E-05	8.475E-05	-3.609E-05	-3.609E-05

Lampiran 6 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 4 *CTB* 300 mm dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02852	550.000	326.569	274.475	274.475
	(STRAIN)		7.498E-06	8.230E-05	2.620E-05	6.355E-05
1	10.99970	0.02998	761.240	768.782	450.025	190.334
	(STRAIN)		2.826E-04	2.902E-04	-2.860E-05	-8.533E-05
1	11.00000	0.02998	761.221	768.764	450.044	456.372
	(STRAIN)		2.826E-04	2.901E-04	-2.858E-05	-2.225E-05
1	41.00000	0.02722	24.842	24.844	-265.685	-264.867
	(STRAIN)		4.365E-05	4.365E-05	-7.256E-05	-7.256E-05
1	56.00000	0.02516	14.427	14.431	-7.901	-7.890
	(STRAIN)		1.174E-04	1.174E-04	-5.995E-05	-5.994E-05
1	76.00000	0.02285	9.032	9.032	-7.369	-7.363
	(STRAIN)		1.083E-04	1.083E-04	-6.071E-05	-6.071E-05
1	76.00030	0.02285	9.032	9.033	0.769	0.770
	(STRAIN)		1.390E-04	1.390E-04	-6.071E-05	-6.071E-05
2	0.00000	0.02823	550.000	294.706	239.371	293.073
	(STRAIN)		3.276E-06	6.287E-05	3.276E-06	6.114E-05
2	10.99970	0.02908	518.627	679.646	194.785	333.096
	(STRAIN)		1.736E-04	3.346E-04	-1.502E-04	-1.191E-05
2	11.00000	0.02908	518.615	679.645	194.779	333.106
	(STRAIN)		1.736E-04	3.346E-04	-1.502E-04	-1.190E-05
2	41.00000	0.02701	23.440	23.506	-253.921	-241.489
	(STRAIN)		4.084E-05	4.086E-05	-7.011E-05	-7.011E-05
2	56.00000	0.02503	14.038	14.179	-7.743	-7.639
	(STRAIN)		1.140E-04	1.151E-04	-5.901E-05	-5.901E-05
2	76.00000	0.02277	8.928	8.947	-7.271	-7.187
	(STRAIN)		1.067E-04	1.069E-04	-6.021E-05	-6.021E-05
2	76.00030	0.02277	8.928	8.965	0.773	0.779
	(STRAIN)		1.369E-04	1.378E-04	-6.021E-05	-6.021E-05
3	0.00000	0.02691	0.000	206.998	129.588	203.892
	(STRAIN)		-2.674E-05	5.662E-05	-2.674E-05	5.327E-05
3	10.99970	0.02773	175.410	391.969	-10.678	163.173
	(STRAIN)		1.985E-05	2.364E-04	-1.662E-04	7.612E-06
3	11.00000	0.02773	175.411	391.969	-10.688	163.175
	(STRAIN)		1.985E-05	2.364E-04	-1.662E-04	7.616E-06
3	41.00000	0.02663	20.850	21.038	-231.403	-199.091
	(STRAIN)		3.564E-05	3.571E-05	-6.526E-05	-6.526E-05
3	56.00000	0.02483	13.254	13.659	-7.386	-7.106
	(STRAIN)		1.070E-04	1.102E-04	-5.694E-05	-5.694E-05
3	76.00000	0.02266	8.702	8.758	-7.024	-6.780
	(STRAIN)		1.032E-04	1.037E-04	-5.891E-05	-5.891E-05
3	76.00030	0.02266	8.701	8.813	0.798	0.815
	(STRAIN)		1.321E-04	1.348E-04	-5.891E-05	-5.891E-05

Lampiran 7 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 5 Lapis Fondasi Agregat dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.04742	550.000	774.828	512.685	773.222
	(STRAIN)		-8.195E-05	2.004E-04	-8.195E-05	1.989E-04
1	21.49970	0.04520	143.131	143.202	-559.330	-555.574
	(STRAIN)		3.927E-04	3.928E-04	-2.629E-04	-2.629E-04
1	21.50000	0.04520	143.128	143.199	-559.351	-555.608
	(STRAIN)		3.927E-04	3.928E-04	-2.629E-04	-2.629E-04
1	41.50000	0.03660	48.285	48.321	-21.243	-21.181
	(STRAIN)		2.869E-04	2.871E-04	-1.397E-04	-1.397E-04
1	56.50000	0.03266	26.481	26.493	-15.561	-15.539
	(STRAIN)		2.198E-04	2.199E-04	-1.141E-04	-1.141E-04
1	76.50000	0.02851	14.733	14.734	-14.297	-14.284
	(STRAIN)		1.888E-04	1.888E-04	-1.103E-04	-1.103E-04
1	76.50030	0.02851	14.733	14.736	0.022	0.025
	(STRAIN)		2.452E-04	2.452E-04	-1.103E-04	-1.103E-04
2	0.00000	0.04596	550.000	697.091	440.529	680.351
	(STRAIN)		-8.496E-05	1.913E-04	-8.496E-05	1.733E-04
2	21.49970	0.04381	121.532	123.664	-475.883	-424.084
	(STRAIN)		3.204E-04	3.224E-04	-2.371E-04	-2.371E-04
2	21.50000	0.04381	121.530	123.661	-475.906	-424.102
	(STRAIN)		3.205E-04	3.224E-04	-2.372E-04	-2.372E-04
2	41.50000	0.03615	45.508	46.605	-20.447	-20.032
	(STRAIN)		2.695E-04	2.762E-04	-1.352E-04	-1.352E-04
2	56.50000	0.03239	25.614	25.970	-15.243	-15.075
	(STRAIN)		2.124E-04	2.152E-04	-1.121E-04	-1.121E-04
2	76.50000	0.02835	14.492	14.540	-14.072	-13.881
	(STRAIN)		1.852E-04	1.857E-04	-1.092E-04	-1.092E-04
2	76.50030	0.02835	14.492	14.586	0.030	0.037
	(STRAIN)		2.403E-04	2.426E-04	-1.092E-04	-1.092E-04
3	0.00000	0.04214	0.000	459.532	230.968	435.091
	(STRAIN)		-9.760E-05	1.485E-04	-9.760E-05	1.222E-04
3	21.49970	0.04134	87.987	93.941	-344.928	-233.024
	(STRAIN)		2.112E-04	2.167E-04	-1.929E-04	-1.929E-04
3	21.50000	0.04134	87.986	93.937	-344.942	-233.031
	(STRAIN)		2.112E-04	2.168E-04	-1.929E-04	-1.929E-04
3	41.50000	0.03527	40.260	43.295	-18.888	-17.903
	(STRAIN)		2.367E-04	2.553E-04	-1.262E-04	-1.262E-04
3	56.50000	0.03186	23.871	24.900	-14.572	-14.125
	(STRAIN)		1.974E-04	2.056E-04	-1.079E-04	-1.079E-04
3	76.50000	0.02803	13.983	14.128	-13.578	-13.027
	(STRAIN)		1.774E-04	1.789E-04	-1.066E-04	-1.066E-04
3	76.50030	0.02803	13.983	14.264	0.056	0.071
	(STRAIN)		2.300E-04	2.368E-04	-1.066E-04	-1.066E-04

Lampiran 8 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 5(A) dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.03628	550.000	468.113	309.861	309.861
	(STRAIN)		-5.783E-05	1.694E-04	-1.022E-06	1.124E-04
1	27.99970	0.03552	91.723	91.755	-368.673	-366.888
	(STRAIN)		2.573E-04	2.573E-04	-1.724E-04	-1.724E-04
1	28.00000	0.03552	91.721	91.753	-368.692	-366.897
	(STRAIN)		2.573E-04	2.573E-04	-1.724E-04	-1.724E-04
1	58.00000	0.02795	24.848	24.859	-13.788	-13.770
	(STRAIN)		1.568E-04	1.568E-04	-8.031E-05	-8.032E-05
1	73.00000	0.02567	15.425	15.429	-10.577	-10.568
	(STRAIN)		1.343E-04	1.343E-04	-7.223E-05	-7.222E-05
1	93.00000	0.02302	9.654	9.655	-9.464	-9.457
	(STRAIN)		1.242E-04	1.243E-04	-7.277E-05	-7.277E-05
1	93.00030	0.02302	9.654	9.655	-0.038	-0.036
	(STRAIN)		1.614E-04	1.615E-04	-7.277E-05	-7.277E-05
2	0.00000	0.03571	550.000	395.235	239.370	390.362
	(STRAIN)		-5.759E-05	1.103E-04	-5.759E-05	1.050E-04
2	27.99970	0.03478	81.486	82.449	-327.899	-302.375
	(STRAIN)		2.221E-04	2.230E-04	-1.600E-04	-1.600E-04
2	28.00000	0.03478	81.485	82.447	-327.912	-302.386
	(STRAIN)		2.221E-04	2.230E-04	-1.600E-04	-1.600E-04
2	58.00000	0.02776	24.042	24.372	-13.520	-13.382
	(STRAIN)		1.516E-04	1.536E-04	-7.894E-05	-7.894E-05
2	73.00000	0.02554	15.114	15.241	-10.443	-10.368
	(STRAIN)		1.315E-04	1.325E-04	-7.146E-05	-7.146E-05
2	93.00000	0.02293	9.547	9.568	-9.362	-9.276
	(STRAIN)		1.226E-04	1.228E-04	-7.225E-05	-7.225E-05
2	93.00030	0.02293	9.547	9.589	-0.033	-0.029
	(STRAIN)		1.593E-04	1.603E-04	-7.224E-05	-7.224E-05
3	0.00000	0.03307	0.000	265.823	129.588	258.918
	(STRAIN)		-6.178E-05	8.494E-05	-6.178E-05	7.750E-05
3	27.99970	0.03343	64.412	67.089	-259.415	-199.976
	(STRAIN)		1.647E-04	1.672E-04	-1.375E-04	-1.375E-04
3	28.00000	0.03343	64.411	67.087	-259.424	-199.981
	(STRAIN)		1.647E-04	1.672E-04	-1.375E-04	-1.375E-04
3	58.00000	0.02741	22.429	23.386	-12.946	-12.584
	(STRAIN)		1.410E-04	1.469E-04	-7.603E-05	-7.603E-05
3	73.00000	0.02532	14.477	14.854	-10.136	-9.927
	(STRAIN)		1.257E-04	1.287E-04	-6.977E-05	-6.977E-05
3	93.00000	0.02280	9.329	9.394	-9.121	-8.869
	(STRAIN)		1.191E-04	1.198E-04	-7.103E-05	-7.103E-05
3	93.00030	0.02280	9.329	9.455	-0.006	0.003
	(STRAIN)		1.545E-04	1.576E-04	-7.103E-05	-7.103E-05

Lampiran 9 Hasil Analisis *KENLAYER* Alternatif 4(A) dengan Pendekatan Elastik

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02772	550.000	297.476	257.111	297.374
	(STRAIN)		1.475E-05	5.822E-05	1.475E-05	5.812E-05
1	12.99970	0.02870	663.641	670.378	378.060	176.912
	(STRAIN)		2.545E-04	2.613E-04	-3.106E-05	-7.932E-05
1	13.00000	0.02870	663.623	670.362	378.066	383.482
	(STRAIN)		2.545E-04	2.612E-04	-3.105E-05	-2.564E-05
1	43.00000	0.02624	22.851	22.853	-247.278	-246.575
	(STRAIN)		4.054E-05	4.054E-05	-6.751E-05	-6.751E-05
1	58.00000	0.02432	13.446	13.450	-7.472	-7.462
	(STRAIN)		1.098E-04	1.099E-04	-5.628E-05	-5.628E-05
1	78.00000	0.02215	8.512	8.512	-6.923	-6.918
	(STRAIN)		1.020E-04	1.020E-04	-5.711E-05	-5.711E-05
1	78.00030	0.02215	8.512	8.513	0.736	0.738
	(STRAIN)		1.308E-04	1.308E-04	-5.712E-05	-5.711E-05
2	0.00000	0.02744	550.000	283.338	239.370	282.000
	(STRAIN)		1.018E-05	5.753E-05	1.018E-05	5.609E-05
2	12.99970	0.02794	460.170	596.983	168.674	284.716
	(STRAIN)		1.601E-04	2.969E-04	-1.314E-04	-1.539E-05
2	13.00000	0.02794	460.160	596.982	168.669	284.725
	(STRAIN)		1.601E-04	2.969E-04	-1.314E-04	-1.538E-05
2	43.00000	0.02605	21.639	21.696	-237.036	-226.188
	(STRAIN)		3.809E-05	3.811E-05	-6.538E-05	-6.538E-05
2	58.00000	0.02421	13.101	13.226	-7.329	-7.235
	(STRAIN)		1.068E-04	1.078E-04	-5.545E-05	-5.545E-05
2	78.00000	0.02208	8.418	8.435	-6.834	-6.758
	(STRAIN)		1.005E-04	1.007E-04	-5.665E-05	-5.665E-05
2	78.00030	0.02208	8.417	8.451	0.740	0.746
	(STRAIN)		1.289E-04	1.297E-04	-5.665E-05	-5.665E-05
3	0.00000	0.02610	0.000	198.344	129.588	195.656
	(STRAIN)		-2.155E-05	5.250E-05	-2.155E-05	4.959E-05
3	12.99970	0.02681	181.462	373.007	-2.560	150.846
	(STRAIN)		3.252E-05	2.241E-04	-1.515E-04	1.905E-06
3	13.00000	0.02681	181.462	373.007	-2.567	150.849
	(STRAIN)		3.252E-05	2.241E-04	-1.515E-04	1.909E-06
3	43.00000	0.02573	19.377	19.540	-217.174	-188.700
	(STRAIN)		3.351E-05	3.357E-05	-6.111E-05	-6.111E-05
3	58.00000	0.02404	12.404	12.764	-6.999	-6.743
	(STRAIN)		1.005E-04	1.034E-04	-5.357E-05	-5.357E-05
3	78.00000	0.02200	8.216	8.267	-6.604	-6.382
	(STRAIN)		9.727E-05	9.780E-05	-5.545E-05	-5.545E-05
3	78.00030	0.02200	8.216	8.317	0.769	0.784
	(STRAIN)		1.245E-04	1.270E-04	-5.545E-05	-5.545E-05