

**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR PERKERASAN LENTUR  
DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN ELASTIK DAN  
VISKOELASTIK PADA RUAS JALAN CIPATUJAH-  
KALAPAGENEP-PANGANDARAN  
(*EVALUATION OF PAVEMENT STRUCTURE DESIGN  
WITH APPROACHES ELASTIC AND VISCOELASTIC  
ON CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN  
ROAD*)**



**RIZKY ARIANTO**

**19511010**

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

**2023**

## TUGAS AKHIR

# EVALUASI KINERJA STRUKTUR PERKERASAN LENTUR DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK PADA RUAS JALAN CIPATUJAH- KALAPAGENEP-PANGANDARAN (*EVALUATION OF PAVEMENT STRUCTURE DESIGN WITH APPROACHES ELASTIC AND VISCOELASTIC ON CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN ROAD*)

Disusun oleh

**Rizky Arianto**  
19511010

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

Diuji pada tanggal

13 NOVEMBER 2023

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.  
NIK: 955110103

Penguji I

Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.  
NIK: 145110101

Penguji II

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
,NIK: 215111307

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian salah satu syarat di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 20 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Rizky Aianto  
(19511010)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan salah satu syarat pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, ada banyak rintangan yang dilalui penulis, namun atas bantuan semangat, kritik, dan saran yang sangat membangun dari berbagai pihak, *Alhamdulillah* Laporan ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu, Penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak bimbingan, nasihat, dan saran yang membangun selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi untuk menjadi pribadi yang lebih baik kedepannya
3. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan saran dan solusi selama perkuliahan sehingga mempermudah proses akademik saya secara maksimal.
5. Ayahanda Dawud Edy Suryanto, Ibunda Susi Ria Zulfina dan Kakak Reza Arianda selaku keluarga saya tercinta yang selalu memberikan semangat, dukungan, doa dan kasih sayang hingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Sahabat-sahabat seperjuangan Artha Putra yang banyak membantu dan saling menyemangati selama penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat-sahabat saya seperti Fadhil, Fuad dan Rayhan yang selalu solid dalam memberikan dukungan dan bantuan selama proses hingga berakhirnya Tugas Akhir ini.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kesalahan. Untuk itu saya memohon maaf serta mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya dan berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 31 Mei 2023

Penulis,

Rizky Arianto

19511010

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBARAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017	5
2.2 Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur dengan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	6
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Desain Tebal Perkerasan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017	12

3.1.1 Struktur Perkerasan	17
3.1.2 Desain Perkerasan	18
3.2 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris	20
3.2.1 Permodelan Lapis Perkerasan	21
3.3 Program <i>KENPAVE</i>	23
3.3.1 <i>Data Path</i>	24
3.3.2 <i>File Name</i>	24
3.3.3 <i>Help</i>	24
3.3.4 <i>LAYERINP</i> atau <i>SLABINP</i>	25
3.3.5 <i>KENLAYER</i> atau <i>KENSLAB</i>	25
3.4 Program <i>KENLAYER</i>	25
3.4.1 <i>File</i>	26
3.4.2 <i>Menu</i>	26
3.4.3 <i>Zcoord</i>	26
3.4.4 <i>Layer</i>	27
3.4.5 <i>NBOUND</i>	28
3.4.5 <i>Modul</i>	28
3.4.6 <i>Load</i>	29
3.4.7 <i>Viscoelastic</i>	29
3.5 Analisis Kerusakan Perkerasan	32
3.5.1 <i>Fatigue Cracking</i>	32
3.5.2 <i>Rutting</i>	33
3.5.3 <i>Permanent Deformation</i>	33
3.6 Nilai Sisa Umur Layan	33
3.7 Karakteristik Material	34

3.7.1 <i>Elastic Layer</i>	34
3.7.2 <i>Viscoelastic Layer</i>	34
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>36</b>
4.1 Pengumpulan Data	36
4.2 Analisis Data	36
4.3 Lokasi Studi Kasus	37
4.4 Tahapan Desain Struktur Perkerasan Bina Marga 2017	38
4.5 Prosedur Metode <i>KENPAVE</i>	38
4.6 Analisis Sisa Umur Pelayanan Perkerasan Jalan.	39
4.7 Bagan Alir Penelitian	39
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>41</b>
5.1 Perhitungan Tebal Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017	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
5.1.7 Pemilihan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2017	47
5.2 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Menggunakan <i>KENPAVE</i>	51
5.2.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan <i>KENPAVE</i> dengan Permodelan Elastik	51
5.2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Eksisting Menggunakan <i>KENPAVE</i> dengan Permodelan Viscoelastik	58
5.3 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 dengan <i>KENPAVE</i>	62



5.3.1 Desain Struktur Perkerasan AC Tebal $\geq 100$ mm dengan Lapis Fondasi Berbutir	62
5.3.2 Desain Struktur Perkerasan <i>CTB</i>	65
5.4 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Alternatif	67
5.4.1 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Alternatif <i>AC Base</i>	67
5.4.2 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Alternatif <i>CTB</i>	72
5.5 Pembahasan	76
5.5.1 Desain Struktur Perkerasan Lentur Ruas Jalan Cipatujah- Kalapagenep-Pangandaran dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017	77
5.5.2 Regangan dan Tegangan yang Terjadi Pada Struktur Perkerasan Dengan Program <i>KENPAVE</i> Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	77
5.5.3 Desain Alternatif Struktur Perkerasan Lentur Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017	81
5.5.4 Perbandingan Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan	83
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>86</b>
6.1 Kesimpulan	86
6.2 Saran	87
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>88</b>
<b>LAMPIRAN 90</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Bina Marga	8
Tabel 2.2	Perbandingan Penelitian dengan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	10
Tabel 3.1	Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	12
Tabel 3.2	Data LHR 2019 dan 2020	13
Tabel 3.3	Faktor Distribusi Lajur (DL)	14
Tabel 3.4	Nilai <i>VDF</i> Jenis Kendaraan Niaga	15
Tabel 3.5	Nilai <i>VDF</i> Jenis Kendaraan Niaga	16
Tabel 3.6	Pemilihan Jenis Struktur Perkerasan	18
Tabel 3.7	Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB	19
Tabel 3.8	Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir	19
Tabel 3.9	Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Material	22
Tabel 3.10	Nilai <i>Poisson's Ratio</i>	23
Tabel 4.1	Kondisi Jalan Kalapagenep – Cipatujah – Pangandaran	38
Tabel 5.1	Tebal Lapisan Struktur Perkerasan Eksisting	41
Tabel 5.2	Kondisi Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran	42
Tabel 5.3	Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran	43
Tabel 5.4	Nilai <i>VDF</i> Jenis Kendaraan	44
Tabel 5.5	Perhitungan Nilai <i>CESA 4</i>	45
Tabel 5.6	Perhitungan Nilai <i>CESA 5</i>	46
Tabel 5.7	Rekapitulasi <i>CESA4</i> dan <i>CESA5</i> Setiap Tahun	47
Tabel 5.8	Pemilihan Jenis Perkerasan	48

Tabel 5.9	Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB	49
Tabel 5.10	Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir	49
Tabel 5.11	Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan	51
Tabel 5.12	Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan	52
Tabel 5.13	Data Masukan pada Menu <i>General</i>	52
Tabel 5.14	Data <i>Input Layer</i>	54
Tabel 5.15	Data <i>Input Moduli</i>	54
Tabel 5.16	Data <i>Input Load</i>	54
Tabel 5.17	Hasil Analisis Permodelan Eksisting	56
Tabel 5.18	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Elastik	58
Tabel 5.19	Menu <i>General</i> dengan Pendekatan Viskoelastik	58
Tabel 5.20	Time of Duration for Creep Compliance	59
Tabel 5.21	Nilai <i>Creep Compliance</i>	60
Tabel 5.22	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Viscoelastik-Eksisting	61
Tabel 5.23	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik	61
Tabel 5.24	Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Eksisting (%)	62
Tabel 5.25	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Elastik <i>AC Base</i>	62
Tabel 5.26	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Viskoelastik <i>AC Base</i>	63
Tabel 5.27	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan <i>AC Base</i> dengan Pendekatan Elastik	63

Tabel 5.28	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan <i>AC Base</i> dengan Pendekatan Viskoelastik	63
Tabel 5.29	Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan <i>AC Base</i> (%)	64
Tabel 5.30	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Elastik <i>CTB</i>	65
Tabel 5.31	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Viskoelastik <i>CTB</i>	65
Tabel 5.32	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan <i>CTB</i> dengan Pendekatan Elastik	66
Tabel 5.33	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan <i>CTB</i> dengan Pendekatan Viskoelastik	66
Tabel 5.34	Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan <i>CTB</i> (%)	66
Tabel 5.35	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Elastik-Alternatif <i>AC Base</i>	68
Tabel 5.36	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Viskoelastik-Alternatif <i>AC Base</i>	68
Tabel 5.37	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan <i>AC Base</i> dengan Pendekatan Elastik	69
Tabel 5.38	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan <i>AC Base</i> dengan Pendekatan Viskoelastik	69
Tabel 5.39	Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif <i>AC Base</i> (%)	69
Tabel 5.40	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Elastik-Alternatif <i>CTB</i>	72
Tabel 5.41	Nilai <i>Vertical</i> dan <i>Horizontal Strain</i> Pendekatan Viskoelastik-Alternatif <i>CTB</i>	73
Tabel 5.43	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif <i>CTB</i> dengan Pendekatan Elastik	73

Tabel 5.44	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif <i>CTB</i> dengan Pendekatan Viskoelastik	74
Tabel 5.45	Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif <i>CTB</i> (%)	74
Tabel 5.46	Rekapitulasi Tebal Desain Perkerasan	77
Tabel 5.47	Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	78
Tabel 5.48	Rekapitulasi Regangan Tegangan Desain Perkerasan Eksisting	79
Tabel 5.49	Rekapitulasi Regangan Tegangan Desain Perkerasan <i>AC Base</i>	80
Tabel 5.50	Rekapitulasi Regangan Tegangan Desain Perkerasan <i>CTB</i>	80
Tabel 5.51	Rekapitulasi Regangan Tegangan Alternatif Desain Perkerasan <i>AC Base</i>	81
Tabel 5.52	Rekapitulasi Regangan Tegangan Alternatif Desain Perkerasan <i>CTB</i>	82
Tabel 5.53	Rekapitulasi Repetisi Beban	83
Tabel 5.54	Rekapitulasi Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan (Tahun)	83
Tabel 6.1	Nilai Umur Layan Eksisting dan Desain Bina Marga 2017	<b>Error!</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>	
Tabel 6.2	Nilai Umur Layan Eksisting, Desain Bina Marga 2017 dan Alternatif Desain	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Detail Lapis Banyak	21
Gambar 3.2	Tampilan Awal <i>KENPAVE</i>	24
Gambar 3.3	Tampilan <i>Layerinp</i>	25
Gambar 3.4	Tampilan <i>General</i>	26
Gambar 3.5	Tampilan <i>Zcoord</i>	27
Gambar 3.6	Tampilan <i>Layer</i>	27
Gambar 3.7	Tampilan <i>Interface</i>	28
Gambar 3.8	Tampilan <i>Module</i>	28
Gambar 3.9	Tampilan <i>Load</i>	29
Gambar 3.10	Tampilan <i>General</i> pada <i>Viscoelastic</i>	30
Gambar 3.11	Tampilan Jendela <i>Time</i> pada Menu <i>Viscoelastic</i>	30
Gambar 3.11	Tampilan Jendela <i>Layer</i> pada <i>Viscoelastic</i>	31
Gambar 3.12	Tampilan Jendela <i>Creep</i> pada Menu <i>Viscoelastic</i>	31
Gambar 3.13	Tampilan Jendela <i>Temperature</i> pada <i>Viscoelastic</i>	32
Gambar 4.1	Peta Ruas Jalan Kalapagenep – Cipatujuh – Pangandaran	37
Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	40
Gambar 5.1	Tebal Perkerasan Lentur Eksisting	42
Gambar 5.1	Tebal Perkerasan Lentur dengan <i>AC Base</i>	50
Gambar 5.2	Tebal Perkerasan Lentur dengan <i>CTB</i>	50
Gambar 5.3	Letak Titik Tinjauan Kerusakan	53
Gambar 5.4	<i>Plan View of Multiple Wheels</i>	55

Gambar 5.5	Letak Titik Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda	56
Gambar 5.6	Grafik <i>Remaining Life</i> Alternatif Struktur Perkerasan <i>AC Base</i> Elastis	71
Gambar 5.7	Grafik <i>Remaining Life</i> Alternatif Struktur Perkerasan <i>AC Base</i> Viskoelastis	71
Gambar 5.8	Grafik <i>Remaining Life</i> Alternatif Struktur Perkerasan <i>CTB</i> Elastis	75
Gambar 5.9	Grafik <i>Remaining Life</i> Alternatif Struktur Perkerasan <i>CTB</i> Viskoelastis	76

## DAFTAR NOTASI

<i>AASHTO</i>	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
<i>AC-WC</i>	= <i>asphalt concrete-wearing course</i> (lapis permukaan)
<i>AC-BC</i>	= <i>asphalt concrete-binder course</i> (lapis pondasi)
cm	= centimeter
m	= meter
kg	= kilogram
<i>CTB</i>	= <i>cement treated base</i>
<i>ESAL</i>	= <i>equivalent standard axle load</i>
<i>CBR</i>	= <i>california bearing ratio</i>
R	= faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
I	= tingkat pertumbuhan lalu lintas (%)
UR	= umur rencana (tahun)
<i>CESAL</i>	= <i>Cumulative Equivalent Single Axle Load</i>
LHRT	= lalu lintas harian rata-rata tahunan
<i>ESA</i>	= <i>equivalent standard axle</i>
<i>VDF</i>	= <i>vehicle damage factor</i>
E	= modulus elastisitas (kPa)
$\mu$	= angka <i>Poisson's Ratio</i>
$\tau$	= tegangan geser
$\sigma$	= tegangan normal
P	= beban terpusat roda
kPa	= kilo Pascal
Psi	= <i>pound per square inch</i> (pon per inci persegi)



## ABSTRAK

Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran merupakan jalan nasional yang menghubungkan beberapa provinsi di wilayah selatan Jawa Barat atau bisa disebut dengan jalur lintas selatan. Pangandaran juga dikenal menjadi destinasi kawasan wisata sehingga banyak kendaraan bermuatan kecil hingga bermuatan besar melintas pada ruas jalan ini. Arus lalu lintas yang cukup tinggi dan beban lalu lintas yang besar dapat menyebabkan penurunan kualitas struktur perkerasan jalan tersebut. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi struktur perkerasan dan mengusulkan desain ulang dengan pendekatan elastik dan viskoelastik untuk mendapatkan struktur perkerasan yang optimal.

Pengumpulan data sekunder berupa data eksisting struktur perkerasan dan data LHR yang diperoleh dari P2JN Jawa Barat pada tahun 2022. Metode pada penelitian ini menggunakan data desain struktur perkerasan eksisting dan hasil desain ulang dengan Bina Marga 2017 dengan desain *AC Base* dan *CTB*, selanjutnya dievaluasi dengan aplikasi *KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan yang diakibatkan oleh beban lalu lintas dan memprediksi kerusakan yang akan terjadi. Setelah itu dapat memprediksi umur sisa layan yang tersedia dengan masing-masing pendekatan.

Kondisi perkerasan jalan didapatkan nilai CESA20 (Nr) selama umur rencana perkerasan selama 20 tahun adalah  $1,64E+07$  ESAL. Hasil penelitian diperoleh bahwa berdasarkan pada pendekatan yang digunakan yaitu elastik dan viskoelastik, desain elastik memiliki umur layan yang lebih tinggi dibandingkan dengan desain viskoelastik. Berdasarkan jenis desain perkerasan terjadi perbedaan pada jenis kerusakan yang terjadi lebih awal, pada desain *AC Base* terjadi kerusakan *permanent deformation* terlebih dahulu sedangkan pada desain *CTB* terjadi kerusakan awal pada *rutting*. Kasus tersebut terjadi dikarenakan adanya perbedaan pada jenis material dan tebal setiap lapisan pada desain perkerasan tersebut.

**Kata kunci :** Bina Marga 2017, *KENPAVE*, mekanistik empirik, elastis, viskoelastik

## **ABSTRACT**

*Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran road is a national road that connects several provinces in the southern region of West Java or can be called the southern crossing route. Pangandaran is also known as a tourist destination, so many small to large vehicles pass through this road section. The high traffic flow and large traffic load can cause a decrease in the quality of the pavement structure. This study was conducted to evaluate the pavement structure and propose a redesign with elastic and viscoelastic approaches to obtain an optimal pavement structure.*

*Secondary data collection in the form of existing pavement structure data and LHR data obtained from P2JN West Java in 2022. The method in this study uses existing pavement structure design data and redesign results with Bina Marga 2017 with AC Base and CTB designs, then evaluated with the KENPAVE application with elastic and viscoelastic approaches to obtain strain and stress values caused by traffic loads and predict damage that will occur. After that, it can predict the remaining service life available with each approach.*

*The pavement condition obtained CESA20 (Nr) value during the pavement plan life of 20 years is  $1.64E+07$  ESAL. The results showed that based on the approaches used, namely elastic and viscoelastic, the elastic design has a higher service life than the viscoelastic design. Based on the type of pavement design there is a difference in the type of damage that occurs earlier, in the AC Base design permanent deformation damage occurs first while in the CTB design early damage occurs in rutting. This case occurs due to differences in the type of material and thickness of each layer in the pavement design.*

**Keyword :** *Bina Marga 2017, KENPAVE, mechanistic empiric, elastic, viscoelastic*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jalan merupakan komponen yang penting dalam bidang perhubungan sebagai prasarana angkutan darat dalam memenuhi kebutuhan masyarakat baik dari ekonomi, sosial, dan budaya. Pada Pasal no 2 Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan menjelaskan bahwa penyelenggaraan jalan berdasarkan atas keselamatan, keamanan dan kemanfaatannya sehingga tercipta kondisi jalan yang baik. Jalan yang memiliki kondisi baik dibutuhkan untuk meningkatkan kelancaran dari kegiatan transportasi yaitu memberikan rasa aman dan nyaman sehingga mempercepat mobilisasi kebutuhan-kebutuhan berupa barang atau jasa. Untuk menjaga kondisi jalan tersebut maka pekerjaan jalan harus memiliki konstruksi yang kuat sehingga dapat menjaga kualitas jalan tersebut.

Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran merupakan Jalan Nasional yang memiliki panjang jalan  $\pm 90$  km. Menurut survei yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistika Jawa Barat, jumlah wisatawan yang berkunjung ke daerah Pangandaran pada tahun 2019 sebesar  $\pm 3,2$  juta jiwa dan pada tahun 2021 sebesar  $\pm 3,6$  juta jiwa. Peningkatan terus berlangsung setiap tahunnya sehingga arus lalu lintas dan beban lalu lintas terus mengalami pertumbuhan, hal itu harus diimbangi dengan kualitas perkerasan jalan yang baik. Secara umum pada kondisi jalan cukup mulus dan baik tetapi di beberapa titik ditemukan jalan yang bergelombang dan berlubang, hal tersebut dapat mengurangi rasa aman dan kenyamanan bagi pengguna jalan. Evaluasi terhadap kualitas perkerasan jalan perlu dilakukan secara rutin agar dapat mengidentifikasi jenis pemeliharaan jalan yang tepat.

Dalam rangka memperbaiki dan meningkatkan kinerja ruas jalan untuk pelaksanaan proyek jalan dalam menjamin terjaganya kualitas suatu perkerasan jalan, maka dibutuhkan perencanaan berupa desain perkerasan tersebut. Penelitian ini dilaksanakan untuk melakukan evaluasi kinerja struktur perkerasan lentur pada Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran. Perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui respon struktural pada perkerasan tersebut. Metode ini juga digunakan dalam penelitian yang telah dipublikasi seperti jurnal penelitian yang dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021) pada Ruas Jalan Simpang Pundu-Tumbang Samba dan Ramadhani dan Fauziah (2018) pada Ruas Jalan Jogja-Solo.

*KENPAVE* adalah sebuah *software* desain struktur perkerasan jalan yang dibentuk oleh Dr. Yang H Huang, P.E. Profesor *Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. Program ini telah diterapkan oleh Lia dan Mahardi (2022) pada penelitian tentang evaluasi kinerja struktur Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung. Pemilihan metode pada program ini tergolong *user friendly* sehingga dapat mempermudah dan membandingkan analisis dari kedua metode yang akan digunakan dalam *redesign* tebal perkerasan yaitu menggunakan Bina Marga 2017 dan Program *KENPAVE*. Pada penelitian ini menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik dalam analisis respon regangan dan tegangan, pada pendekatan elastik struktur lapisan dianggap homogen, isotropis dan elastis secara linear sedangkan pada pendekatan viskoelastik, lapisan dibedakan menjadi 2 bagian yaitu bagian struktur aspal dan struktur agregat (hingga tanah dasar) selain itu adanya penambahan parameter yaitu suhu dan *creep compliance*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini.

1. Bagaimana desain lapis perkerasan Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran jika perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2017 ?
2. Berapa nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan akibat beban lalu lintas menggunakan *software KENPAVE* ?

3. Bagaimana desain alternatif lapis perkerasan Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran untuk memenuhi beban lalu lintas yang terjadi ?
4. Bagaimana perbandingan beberapa alternatif desain dengan perkerasan eksisting pada *software* dilihat dari pemilihan material perkerasan, tebal perkerasan, regangan-tegangan, nilai sisa umur layan dan prediksi kerusakan dengan pendekatan elastik dan viskoelastik ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Merancang desain lapis perkerasan Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran dengan perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2017
2. Menganalisis nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan akibat beban lalu lintas menggunakan *software KENPAVE*
3. Mengusulkan alternatif desain dari lapis perkerasan Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran
4. Melakukan perbandingan beberapa alternatif desain perkerasan dan perkerasan eksisting dengan *software KENPAVE* dilihat dari pemilihan material perkerasan, tebal perkerasan, regangan-tegangan, nilai sisa umur layan dan prediksi kerusakan dengan pendekatan elastik dan viskoelastik.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan beberapa alternatif untuk pemilihan metode dalam menghitung tebal perkerasan jalan
2. Meningkatkan informasi mengenai metode analisis perkerasan dengan menggunakan Bina Marga 2017
3. Meningkatkan informasi mengenai perhitungan tegangan dan regangan pada perkerasan jalan dengan *software KENPAVE*.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Berikut merupakan batasan dalam pembahasan untuk penelitian ini sesuai dengan masalah yang ada.

1. Lokasi Objek dari penelitian ini berada pada Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran
2. Perhitungan desain perkerasan dan alternatif desain perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017
3. Data yang dipakai dalam penelitian menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Kantor Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Jawa Barat.
4. Perhitungan analisis respon tegangan-regangan dan umur sisa layan menggunakan metode mekanistik-empirik *software KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik.
5. Pada penelitian ini hanya membahas hasil dari kondisi ruas jalan, respon tegangan-regangan akibat beban akibat lalu lintas dan prediksi sisa umur layan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017**

Desain perkerasan umumnya merupakan penentuan tebal lapis perkerasan yang nantinya akan memberikan ketahanan dan sebagai perlindungan tanah dasar akibat beban yang terjadi di atasnya. Pertambahan volume lalu lintas tiap tahunnya maka dalam menjaga agar lapis perkerasan dapat memberikan kinerja yang baik maka diperlukannya evaluasi tebal perkerasan, Desain perkerasan dipengaruhi oleh volume lalu lintas dan kondisi tanah pada lokasi pekerjaan tersebut. Berikut beberapa evaluasi yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu seperti Saputra (2022) yang melakukan penelitian pada Ruas Jalan Sorong – Makbon, jalan ini tergolong jalan yang memiliki volume kendaraan cukup kecil dapat dilihat pada hasil CESA5 yang didapat  $2,4 \times 10^6$ . Begitu juga dengan Sirait dkk. (2020) melakukan penelitian pada Ruas Jalan Kecipir, Kota Palangka Raya yang termasuk kategori jalan kolektor sekunder, nilai CESA5 yang didapatkan sebesar  $0,32 \times 10^6$  sehingga desain perkerasan yang efisien dan optimal untuk kedua penelitian diatas adalah Perkerasan dengan AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi.

Saputro dkk. (2021) melakukan penelitian mengenai metode Bina Marga 2017 dalam perencanaan tebal perkerasan lentur pada Ruas Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, Kalimantan Timur (STA 10+000 – STA 13+000). Pada ruas jalan tol umumnya volume lalu lintas yang terjadi cukup tinggi sehingga dapat mempengaruhi perbedaan desain dengan penelitian diatas, hal itu dapat dilihat dari hasil CESA5 pada penelitian ini sebesar  $30 \times 10^6$ . Pemilihan jenis perkerasan yang optimal adalah AC dengan CTB. Mukhlis dan Abduh (2021) meneliti mengenai analisis perencanaan lapis *overlay* pada Ruas Jalan Hasyim Ashari, Kota Jombang.

Hasil dari penelitian tersebut diambil kesimpulan bahwa Ruas Jalan Hasyim Ashari memerlukan lapis *overlay* dengan jenis perkerasan berupa AC yang memiliki ketebalan sebesar 5 cm. Dengan tujuan penelitian yang sama yaitu desain *overlay* tetapi penggunaan metode yang berbeda, Sumarsono dan Fauziah (2022) melakukan penelitian dengan metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik empirik pada ruas jalan Jogja-Solo. Desain tebal *overlay* didapatkan dengan menganalisis lendutan maksimum pada jalan tersebut, selanjutnya nilai tersebut akan dimasukkan pada grafik sehingga didapatkan desain *overlay* aspal sebesar 100 mm atau 10 cm.

## **2.2 Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur dengan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik**

Evaluasi desain perkerasan dengan pendekatan elastik dan viskoelastik menghasilkan data analisis regangan dan tegangan seperti pada salah satu penelitian yang dilakukan oleh Putra dan Tajudin (2021) dengan membandingkan beberapa metode yaitu Bina Marga 2002, 2013, dan 2017. Pada metode Bina Marga 2002 memiliki tiga alternatif desain yaitu granular, beraspal, dan bersemen sedangkan untuk metode 2013 hanya memiliki satu desain yaitu menggunakan lapis AC-WC dengan pondasi CTB. Dengan metode 2017 didapatkan dua alternatif yaitu lapis pondasi CTB dan lapis pondasi berbutir. Berdasarkan perbandingan nilai  $N_f$  dan  $N_d$ , desain perkerasan dari semua metode telah memenuhi repetisi beban/aktual tetapi pada desain 2002 pada desain bersemen memiliki nilai repetisi izin yang terlampaui jauh sehingga dapat dinamakan dengan *overdesign*. Juhindra dan Fauziah (2020) melakukan penelitian pada Ruas Jalan Yogyakarta-Bantul dengan Metode AASHTO 1993 dan metode Bina Marga 2017 dan program KENPAVE. Berdasarkan hasil analisis KENPAVE diketahui bahwa dalam metode Bina Marga 2017 mengalami kerusakan *Rutting* dahulu sedangkan pada metode AASHTO 1993 terjadi kerusakan *Permanent Deformation* terlebih dahulu. Perbandingan dengan nilai  $SN$ , metode AASHTO 1993 mendapatkan hasil  $SN$  yang lebih tinggi daripada Bina Marga 2017.



Pambudi dan Fauziah (2021) melakukan penelitian pada Jalan Simpang Pundu – Tumbang Samba dengan metode Bina Marga 2017 dengan pendekatan elastik dan viskoelastik. Berdasarkan perhitungan kerusakan *rutting*, *fatigue cracking* dan *deformation* didapatkan bahwa perkerasan *existing* memiliki desain perkerasan yang memiliki umur layan kurang baik dalam menahan repetisi beban yang diberikan oleh lalu lintas. Dengan perhitungan Bina Marga 2017 didapatkan alternatif 1, 2, dan 3 desain dengan penggunaan lapis pondasi *CTB* dengan perbedaan pada tebal perkerasan tersebut. Perbandingan dilakukan pada masing – masing alternatif desain perkerasan, semua desain telah memenuhi repetisi beban tetapi pada alternatif 1 memiliki nilai yang lebih optimal dibandingkan dengan alternatif 2 dan 3. Penelitian yang dilakukan oleh Lia dan Mahardi (2022) yaitu Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi *KENPAVE* . *Fatigue cracking* hanya terjadi pada metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO 1993*, untuk kerusakan *rutting* terjadi pada metode Bina Marga 2017. Kerusakan permanent deformation tidak terjadi selama umur rencana.. Penelitian lainnya dilakukan oleh Satria (2022) melakukan analisis perbandingan desain mekanistik-empiris dengan pemodelan elastik dan viskoelastik dengan tujuan untuk memprediksi umur masa pelayanan perkerasan lentur *eksisting*. Pada pemodelan viskoelastis kerusakan *permanent deformation* terjadi pada umur ke 14 sedangkan untuk *fatigue cracking* pada umur ke 39. Untuk pemodelan elastis kerusakan *permanent deformation* pada umur ke 21 dan *fatigue cracking* pada umur ke 55.

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Struktur Perkerasan Dengan Bina Marga 2019**

Peneliti	Sirait dkk. (2020)	Saputro dkk, (2021)	Saputra (2022)	Mukhlis dan Abduh (2021)	Sumarsono dan Fauziah (2022)
Judul Penelitian	Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur ( <i>Flexible Pavement</i> ) Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Tahun 2017	Studi Perbandingan Metode Bina Marga 2017 dan <i>AASHTO 1993</i> Dalam Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur	Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur Jalan Di Atas Tanah Rawan Longsor	Overlay Struktural Perkerasan Jalan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2017)	Evaluasi Kondisi Perkerasan, Penanganan Dan Nilai Sisa Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik Empirik
Tujuan Penelitian	Mengetahui desain tebal perkerasan berdasarkan Metode Manual Desain 2017	Mendapatkan desain tebal perkerasan dan kebutuhan biaya perkerasan lentur menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan <i>AASHTO 1993</i>	Mengusulkan berbagai alternatif desain perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2017	Menentukan Tebal Perkerasan Tambahan ( <i>overlay</i> )	Mengetahui respon struktural perkerasan lentur dan kerusakan yang terjadi pada perkerasan akibat pembebanan berulang
Lokasi Penelitian	Ruas Jalan Kecipir, Kota Palangka Raya	Ruas Jalan Tol Seksi 4 Balikpapan-Samarinda, Kalimantan Timur	Ruas Jalan Sorong-Makbon	Jalan Hasyim Ashari, Kota Jombang	Jalan Jogja-Solo Km 14+800 – 16+800

Sumber: Sirait dkk. (2020), Saputro dkk, (2021), Saputra (2022), Mukhlis dan Abduh (2021), Sumarsono dan Fauziah (2022)

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Bina Marga**

Peneliti	Sirait dkk. (2020)	Saputro dkk. (2021)	Saputra (2022)	Mukhlis dan Abduh (2021)	Sumarsono dan Fauziah (2022)
Metode Analisis	Manual Desain Perkerasan 2013 dan 2017	Metode Bina Marga 2017	Metode Bina Marga 2017	Manual Desain Perkerasan 2017	Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik Empirik
Hasil Penelitian	Berdasarkan analisis didapatkan Perkerasan dengan AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi	Desain perkerasan pada Jalan Tol adalah Perkerasan AC dengan CTB	Didapatkan desain perkerasan berupa AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi	Jalan tersebut memerlukan lapis overlay dengan jenis perkerasan berupa AC yang memiliki ketebalan sebesar 5 cm	Berdasarkan analisis lendutan maksimum didapatkan desain overlay aspal sebesar 100 mm atau 10 cm

Sumber: Sirait dkk. (2020), Saputro dkk, (2021), Saputra (2022), Mukhlis dan Abduh (2021), Sumarsono dan Fauziah (2022)

**Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Perkerasan dengan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik**

Peneliti	Juhindra dan Fauziah, M. (2020)	Putra dan Tajudin, (2021)	Pambudi dan Fauziah, M. (2021)	Lia dan Mahardi (2022)	Satria (2022)	Arianto dan Fauziah (2023)
Judul Penelitian	Studi Komparasi Desain Struktur Perkerasan Dengan Metode <i>AASHTO 1993</i> , Bina Marga 2017 Dengan Menggunakan Program <i>KENPAVE</i> Pada Ruas Jalan Yogyakarta-Bantul	Desain Ulang dan Analisis Respons Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Pantura Ruas Tangerang-Serang	Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program <i>KENPAVE</i> Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi <i>KENPAVE</i>	Analisis Perbandingan Desain Mekanistik-Empiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Dengan Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik Pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran
Tujuan Penelitian	Membandingkan respon struktural dengan Bina Marga 2017, <i>AASHTO 1993</i> dan <i>KENPAVE</i>	Mengetahui respon struktural perkerasan lentur dan kerusakan yang terjadi pada perkerasan	Memprediksi umur layan eksisting dan desain perkerasan alternatif Bina Marga	Mengevaluasi kinerja struktur perkerasan jalan	Memperkirakan masa pelayanan struktur perkerasan eksisting (Bina Marga 2017)	Memprediksi kerusakan pada perkerasan lentur dan melakukan perbandingan umur sisa
Lokasi Penelitian	Ruas Jalan Yogyakarta - Bantul	Jalan Pantura Ruas Tangerang - Serang	Simpang Pundu-Tumbang Samba	Ruas Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung	Ruas Jalan Milir-Sentolo	Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran

Sumber: Juhindra dan Fauziah, M. (2020), Putra dan Tajudin, (2021), Pambudi dan Fauziah, M. (2021), Lia dan Mahardi (2022), Satria (2022)

**Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian dengan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik**

Peneliti	Juhindra dan Fauziah, M. (2020)	Putra dan Tajudin, (2021)	Pambudi dan Fauziah, M. (2021)	Lia dan Mahardi (2022)	Satria (2022)	Arianto dan Fauziah (2023)
Metode Analisis	Metode Empirik dan Metode Mekanistik-Empirik dengan Bina Marga 2017 dan <i>AASHTO 1993</i> dengan Program <i>KENPAVE</i>	Metode Bina Marga 2002,2013,2017 dan Analisis Respon Struktural dengan Program <i>KENPAVE</i>	Metode Bina Marga 2017 dengan Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	Metode Mekanistik-Empirik dengan Bina Marga 2017, Analisis Komponen dan <i>AASHTO 1993</i>	Metode Mekanistik Empirik dengan pemodelan Elastik dan Viskoelastik	Metode Mekanistik Empiris dan Bina Marga 2017
Hasil Penelitian	Hasil analisis, Bina Marga mengalami kerusakan <i>Rutting</i> dahulu sedangkan pada metode <i>AASHTO 1993</i> terjadi kerusakan <i>Permanent Deformation</i> terlebih dahulu.	Perhitungan <i>fatigue</i> dan <i>rutting</i> tersebut didapatkan bahwa desain paling baik dimiliki oleh metode Bina Marga 2017.	Alternatif desain dengan jenis perkerasan <i>AC-WC</i> dengan <i>CTB</i> telah memenuhi repetisi beban	<i>Fatigue cracking</i> hanya terjadi pada metode Bina Marga 2017 dan <i>AASHTO 1993</i> , untuk kerusakan <i>rutting</i> terjadi pada metode Bina Marga 2017.	Pendekatan elastik memiliki umur layan yang lebih panjang dibandingkan dengan pendekatan viskoelastik pada kerusakan <i>rutting</i> dan <i>deformation</i>	Perbandingan dilakukan pada desain <i>AC Base</i> dan <i>CTB</i> , diketahui bahwa desain <i>AC Base</i> memiliki umur sisa layan lebih tinggi pada kerusakan <i>rutting</i> sedangkan desain <i>CTB</i> memiliki umur sisa layan lebih tinggi pada kerusakan <i>permanent defrmation</i>

Sumber: Juhindra dan Fauziah, M. (2020), Putra dan Tajudin, (2021), Pambudi dan Fauziah, M. (2021), Lia dan Mahardi (2022), Satria (2022)

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Desain Tebal Perkerasan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017

Perencanaan tebal perkerasan diawali dengan menentukan umur rencana pada jalan tersebut. Umur rencana merupakan kumulatif waktu dalam tahun yang dihitung saat jalan tersebut dibuka hingga memerlukan perbaikan kondisi atau lapis permukaan baru. Umur rencana perkerasan jalan dapat ditentukan pada Tabel 3.1 sebagai berikut

**Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)**

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan berbutir	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang ( <i>overlay</i> ), seperti jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
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 : Bina Marga (2017)

Data-data yang dibutuhkan dalam perencanaan tebal lapis perkerasan lentur sebagai berikut.

1. Data lalu lintas pada jalan tersebut seperti lalu lintas harian rata-rata, jenis kendaraan dan volume lalu lintas

2. Faktor pertumbuhan lalu lintas merupakan data-data pertumbuhan beberapa periode sebelumnya atau perhitungan yang berhubungan dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku, Tabel 3.2 menyajikan perhitungan pertumbuhan lalu lintas dengan menggunakan data LHR 2019 dan LHR 2020.

**Tabel 3.2 Data LHR 2019 dan 2020**

Jenis Kendaraan	LHR	LHR	LHR	LHR
	2019 kend/jam	2019 smp/jam	2020 kend/jam	2020 smp/jam
1	10174	4069.6	10052	4020.8
2,3,4	3103	3103	4414	4414
5A	219	284.7	145	188.5
5B	201	261.3	61	79.3
6A	278	361.4	659	856.7
6B	396	514.8	467	607.1
7A	159	206.7	112	145.6
7B	18	23.4	15	19.5
7C	147	191.1	17	22.1
Total		9016		10353,6

Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Jawa Barat (2022)

Data pertumbuhan kendaraan tahun 2019 dan 2020

$$= \frac{jml\ kend.tahun\ 2020 - jml\ kend.tahun2019}{jml\ kend.tahun2019} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$= \frac{10354 - 9016}{9016} \times 100\% = 14,84$$

Rata-rata persentase per tahun

$$= \frac{14,84\ \%}{banyaknya\ tahun}$$

$$= \frac{14,84\ \%}{1}$$

$$= 14,84\ \%$$

Perhitungan pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana menggunakan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) :

$$R = \frac{(1+0,01\ i)^{UR} - 1}{0,01\ i} \quad (3.2)$$

dengan  $R$  = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,  
 $I$  = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%), dan  
 $UR$  = umur rencana (tahun).

3. Beban lalu lintas pada lajur yang telah direncanakan dapat dinyatakan dengan kumulatif beban gandar standar (ESA), faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Penentuan faktor distribusi arah (DD) ditentukan dengan jenis jalan tersebut, jika jalan dua arah umumnya diambil nilai 0,50 untuk faktor distribusi arahnya. Penggunaan faktor distribusi lajur untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan tersebut. Faktor distribusi dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

**Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (DL)**

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Bina Marga (2017)

Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) digunakan untuk mengonversi beban lalu lintas ke beban standar (ESA). Setelah mendapatkan jumlah kumulatif ESA pada jalur rencana selama umur rencana maka dapat dilanjutkan dengan analisis struktur perkerasan. Nilai VDF masing kendaraan terdapat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebagai berikut.



**Tabel 3.4 Nilai VDF Jenis Kendaraan Niaga**

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF4	VDF5	VDF 4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF 5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,50	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,20	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga (2017)

**Tabel 3.5 Nilai VDF Jenis Kendaraan Niaga**

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan - muatan yang diangkut	Kelompok Sumbu	Distribusi Tipikal		Faktor ekivalen beban (VDF) (ESAL/kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF pangkat	VDF pangkat
1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan - muatan yang diangkut	2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/angkot/pickup/station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu - kargo ringan	1.1	Muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	Muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	Muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2

Sumber : Bina Marga (2017)

4. Beban sumbu standar adalah kumulatif seluruh beban sumbu lalu lintas desain pada lajur yang akan dilaksanakan pekerjaan selama umur rencana, perhitungan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

VDF yang digunakan sesuai dengan masing-masing kendaraan niaga

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.3)$$

dengan

$ESA_{TH-1}$  : kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen di tahun pertama,

$LHR_{JK}$  : lalu lintas harian rerata untuk tiap jenis kendaraan,

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

DD : faktor distribusi arah,

DL : faktor distribusi jalur, dan

$CESAL$  : kumulatif seluruh beban sumbu lalu lintas desain selama umur rencana.

### 3.1.1 Struktur Perkerasan

Konstruksi struktur perkerasan dibagi menjadi 4 bagian yaitu *surface course*, *base course*, *subbase course*, *subgrade*. Lapis paling atas yaitu *surface course* harus dapat menahan seluruh jenis gaya yang diterima dari lalu lintas, *base course* menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan untuk *subbase course* dianggap hanya menerima gaya vertikal dari beban lalu lintas

Pemilihan struktur perkerasan akan memiliki banyak variasi menyesuaikan dengan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 memberikan beberapa pilihan alternatif struktur perkerasan terdapat pada Tabel 3.6 sebagai berikut :

**Tabel 3.6 Pemilihan Jenis Struktur Perkerasan**

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	>30 – 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan $CBR \geq 2,5\%$ )	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC – WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal $\geq 100$ mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasaan tanpa penutup (Japat, Jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga (2017)

### 3.1.2 Desain Perkerasan

Perhitungan desain struktur perkerasan disesuaikan dengan nilai *CESA* umur rencana, selanjutnya pemilihan desain dapat menggunakan Bagan Desain 3 pada Bina Marga 2017. Pada Tabel 3.7 dapat dilihat desain perkerasan dengan *CTB* sedangkan pada tabel 3.8 merupakan began desain 3B perkerasan dengan lapis pondasi berbutir.

**Tabel 3.7 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB**

	F1 <sup>2</sup>	F2	F3	F4	F5
Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat Bagan Desain – 3A, 3B dan 3C	Lihat Bagan Desain – 4 Untuk alternatif perkerasan kaku <sup>3</sup>				
Repetisi beban sumbu Kumulatif 20 tahun padajalur rencana (10 <sup>6</sup> ESA5)	>10 -30	>30 -50	>50 -100	>100 -200	>200 -500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	40	50
AC BC <sup>4</sup>	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB <sup>3</sup>	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

**Tabel 3.8 Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir**

	Struktur Perkerasan							
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
<b>Solusi yang dipilih</b>	<b>Lihat Catatan 2</b>							
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana ESA5)	< 2	≥ 2 - 7	> 7-10	> 10-20	> 20-30	> 50-100	> 50-100	> 100-200
Ketebalan Lapis Perkerasan (mm)								
AC-WC	40	40	40	40	40	40	40	40
AC-BC	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2		3				

### 3.2 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris

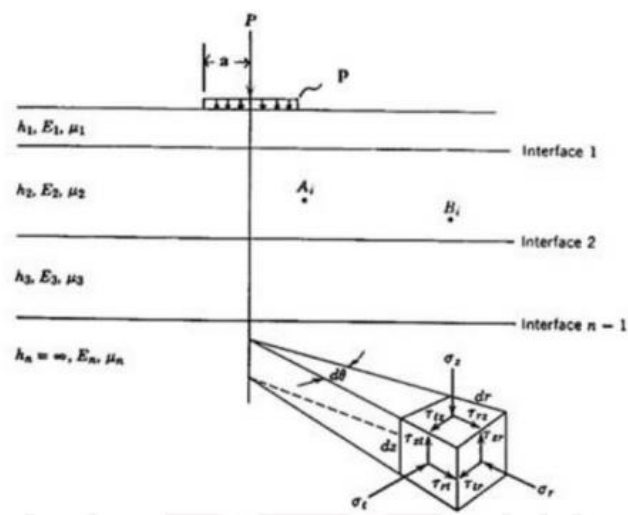
Metode ini adalah kombinasi antara metode mekanistik dan empiris dalam perencanaan perkerasan jalan. Setiap metode yang diteluh disebutkan diatas memiliki kekurangan pada penggunaannya dalam perencanaan desain struktur perkerasan. Awal mulanya perencanaan desain perkerasan yang diterapkan adalah metode mekanistik dengan mengacu pada hasil beberapa *test*. Perkembangan metode dilakukan mengacu pada kaidah teoritis dari sifat-sifat struktur perkerasan yang dilengkapi dengan perhitungan respon perkerasan terhadap beban lalu lintas dapat disebut dengan metode analitik – mekanisme. Kemajuan pada bidang ilmu teknologi untuk mempermudah dan terkontrolnya perhitungan desain perkerasan maka dibuatlah metode mekanistik – empiris.

Metode mekanistik – empiris didasari oleh mekanika material yang yang berhubungan dengan data-data yang dibutuhkan seperti beban roda, respon struktur perkerasan seperti regangan dan regangan. Nilai respon tersebut digunakan dalam memprediksi respon struktur berupa tekanan dari tes laboratorium maupun kinerja pada lapangan. Pengamatan pada kinerja sangat diperlukan karena setiap jenis bahan atau lokasi pekerjaan memiliki kondisi yang berbeda-beda sehingga teori saja belum terbukti untuk desain struktur perkerasan secara realistis. *Multilayer Elastic System* adalah salah satu metode analisis dalam metode mekanistik. Sistem ini sering berkenaan dengan regangan, tegangan dan lendutan yang merupakan respon dari beban roda kendaraan.

Pada *Multilayer Elastic System*, memakai beberapa asumsi untuk menghitung respon struktur, antara lain sebagai berikut.

1. Lapisan pada desain struktur perkerasan memiliki tebal yang bervariasi, kecuali tanah dasar yang tebalnya diasumsi tak terhingga, begitu juga dengan lebar setiap lapisan perkerasan diasumsi tak terhingga.
2. Sifat dari material-material yang digunakan pada perkerasan dianggap homogen.
3. Sifat dari material-material yang digunakan pada perkerasan dianggap *isotropic*, yaitu sifat bahan di setiap titik tertentu dalam setiap arah.

4. Lapisan linear elastis, kata linear dijelaskan sebagai hubungan antara tegangan-regangan dianggap linear, sedangkan untuk elastis dimaksudkan untuk regangan yang akan kembali ke bentuk semula jika tegangan yang terjadi dihilangkan.
5. Sifat-sifat pada material dapat menggunakan dua parameter struktural, yaitu konstanta *Poisson* dan modulus *resilient*.
6. Beban yang dihasilkan oleh roda kendaraan diasumsikan memberikan gaya vertikal yang sejenis terhadap struktur perkerasan dengan bentuk bidang lingkaran.
7. Lapis perkerasan dengan lapis dibawahnya tidak terjadi slip.



**Gambar 3.1 Detail Lapis Banyak**

Sumber : Yoder dan Witczak (1975)

### 3.2.1 Permodelan Lapis Perkerasan

#### 1. Parameter setiap lapis

##### a. Modulus elastis

Material elastis adalah bahan yang dapat kembali ke bentuk semula setelah mengalami tekanan atau diregangkan.

Modulus elastisitas atau dapat disebut dengan Modulus *Young* yang dilambangkan dengan E adalah perbandingan antara regangan dan tegangan suatu material. Dalam perhitungan nilai modulus elastisitas dapat menggunakan persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \quad (3.4)$$

dengan :

E = modulus elastisitas (kPa atau Psi),

$\tau$  = tegangan (kPa), dan

$\varepsilon$  = regangan.

Modulus elastisitas pada suatu material memiliki batas tegangan dan regangan elastisitasnya. Batas elastisitas suatu material tidak sama dengan kekuatan dalam menahan tegangan dan regangan pada benda tersebut tetapi seberapa baiknya suatu material dapat kembali ke ukuran dan bentuk semulanya. Berikut nilai modulus elastisitas dari beberapa jenis material perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.9 sebagai berikut

**Tabel 3.9 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Material**

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
<i>Cement Treated Granular Base</i>	$1x10^6 - 2x10^6$	$7x10^6 - 14x10^6$
Campuran agregat semen	$5x10^5 - 1x10^6$	$35x10^5 - 7x10^6$
<i>Asphalt Treated Base</i>	$7x10^4 - 45x10^4$	$49x10^4 - 3x10^6$
Aspal beton	$2x10^4 - 2x10^6$	$14x10^4 - 14x10^6$
Campuran distabilisasi bitumen	$4x10^4 - 3x10^5$	$28x10^4 - 21x10^5$
Campuran distabilisasi kapur	$2x10^4 - 7x10^4$	$14x10^4 - 49x10^4$
Material berbutir tidak terikat	$15x10^3 - 45x10^3$	$105x10^3 - 315x10^3$
Berbutir halus/Material tanah dasar	$3x10^3 - 4x10^4$	$21x10^3 - 28x10^4$

Sumber : Huang (2004)



b. *Poisson's Ratio*

Parameter *Poisson's Ratio* adalah angka yang didapat dari perbandingan antara regangan vertikal (*axial strain*) dengan regangan horizontal (*lateral strain*) yang terjadi dikarenakan beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Berikut pada tabel 3.10 tercantum beberapa nilai *Poisson's Ratio*.

**Tabel 3.10 Nilai *Poisson's Ratio***

Material	Nilai $\nu$	$\nu$ tipikal
<i>Hot mix asphalt</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Portland cement concrete</i>	0,15 – 0,20	0,15
<i>Untreated granular material</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Cement-treated fine-granular material</i>	0,10 – 0,20	0,15
<i>Cement-treated fine-grained-material</i>	0,15 – 0,35	0,25
<i>Lime-stabilized material</i>	0,10 – 0,25	0,20
<i>Lime-flyash materia</i>	0,10 – 0,15	0,15
<i>Loose sand/silty sand</i>	0,20 – 0,40	0,30
<i>Dense sand</i>	0,30 – 0,45	0,35
<i>Fine-grained soil</i>	0,30 – 0,50	0,40
<i>Saturated soft clay</i>	0,40 – 0,40	0,45

2. Ketebalan setiap lapis perkerasan

Data tebal lapis perkerasan dibutuhkan dalam teori elastis lapis banyal untuk input dalam penyelesaian dengan program. Ketebalan memiliki satuan berupa mm atau *inch*.

**3.3 Program *KENPAVE***

Huang, Y. H. (2004) mengembangkan program analisis struktur perkerasan dengan sebutan *KENPAVE*. Berikut tampilan utama dari program *KENPAVE* ditunjukkan pada Gambar 3.2



**Gambar 3.2 Tampilan Awal KENPAVE**

Dalam program *KENPAVE* memiliki 4 (empat) pilihan untuk menganalisis struktur perkerasan seperti *LAYERINP*, *KENLAYER* untuk struktur perkerasan lentur sedangkan untuk *SLABINB* dan *KENSLAB* untuk struktur perkerasan kaku. Berikut adalah penjelasan dari menu yang ada di program *KENPAVE*.

### 3.3.1 Data Path

*Data Path* sebagai penyimpanan data hasil analisis, umumnya data akan tersimpan pada lokasi penginstalan *KENPAVE* berada.

### 3.3.2 File Name

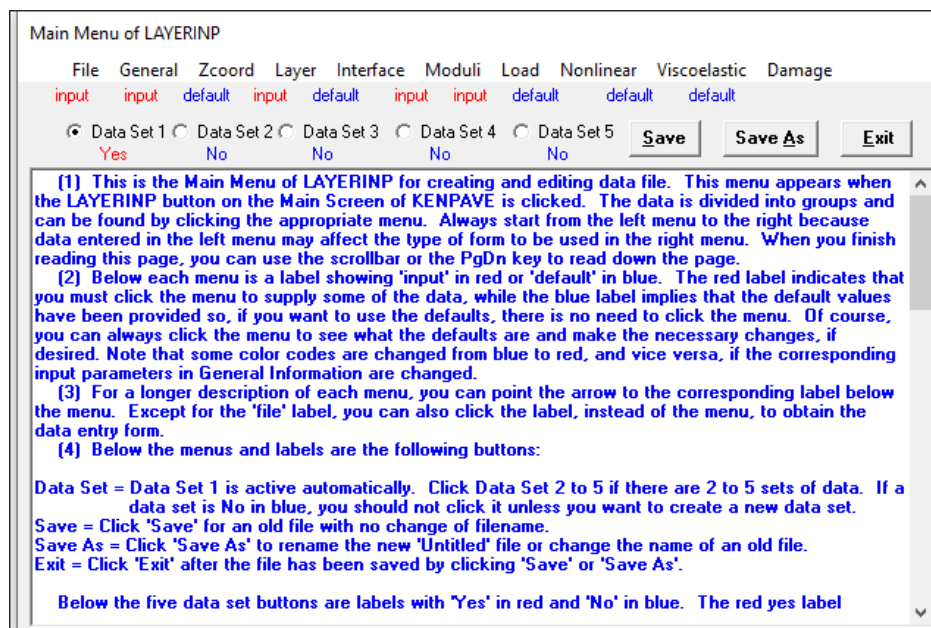
Pada menu ini peneliti dapat mengubah nama dari hasil analisis sesuai yang diinginkan.

### 3.3.3 Help

Menu *Help* adalah fitur yang menampilkan informasi seperti penggunaan dan penjelasan mengenai parameter input data.

### 3.3.4 *LAYERINP* atau *SLABINP*

*LAYERINP* dan *SLABINP* digunakan dalam pembuatan file data analisis struktur. Berikut gambar jendela *LAYERINP*.



**Gambar 3.3** Tampilan *Layerinp*

Pada bagian menu terdapat tulisan '*input*' yang dimana menu itu perlu disesuaikan dengan data struktur perkerasan yang akan dianalisis jika '*default*', tidak perlu mengisi bagian tersebut.

### 3.3.5 *KENLAYER* atau *KENSLAB*

*KENLAYER* atau *KENSLAB* merupakan menu utama dalam analisis perkerasan dan berjalan jika *file* data telah dibuat. Program ini akan menganalisis dari *file* data dan mulai eksekusi.

## 3.4 Program *KENLAYER*

Menu ini digunakan untuk jenis struktur perkerasan lentur yang dapat berjalan jika peneliti telah memasukkan data pada *LAYERINP*.

*LAYERINP* terdiri dari 11 bagian dengan masing-masing mempunyai fungsi dalam memasukkan data yang akan dianalisis.

### 3.4.1 File

Menu *file* berfungsi untuk memulai analisis baru dengan pilihan *new* atau *file* yang sudah ada dengan pilihan *old*.

### 3.4.2 Menu

Menu untuk menunjukkan informasi dari perkerasan yang akan dilakukan analisis. Berikut pada Gambar 3.4 tampilan dari *General*.

General Information of LAYERINP for Set No. 1		
TITLE		
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0,001
Number of layers	(NL)	3
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	0
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	1
Number of layers for top compression	(NLTC)	1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	0

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the remaining text, you can use the scrollbar. You can also use the PgDn key after clicking this textbox to make it active.

(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No comma should be used in TITLE. Use colon or semicolon instead.

(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Gambar 3.4 Tampilan *General*

### 3.4.3 Zcoord

*Zcoord* merupakan menu untuk menganalisis struktur perkerasan pada titik jarak koordinat Z. Nilai *NZ* pada menu general akan mempengaruhi jumlah *point* pada menu ini. Contoh terdapat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.

Unit in.

Point No.	ZC
1	0
2	0
3	0

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. You should not click the other cell before pressing the Enter key, otherwise the data you have typed will move to the cell you click.

(2) ZC (vertical distance, or z coordinate, of each response point): When the point is located exactly at the interface between two layers, the results are at the bottom of upper layer. If the results at the top of lower layer are desired, a slightly larger z coordinate, say 0.0001 larger, should be used.

(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell.

OK

**Gambar 3.5 Tampilan Zcoord**

#### 3.4.4 Layer

Pada menu *layer* terdapat dua kolom yang dapat diinput dengan data yang akan analisis. Pada kolom pertama adalah TH yaitu ketebalan perkerasan dari tiap lapisan dan kolom kedua PR yaitu *poisson's ratio* tiap lapisan. Contoh tampilan terdapat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.

After typing the value in a cell, be sure to press the Enter key to make it effective.

Unit in. pcf

Layer No.	TH	PR
1	0	0
2	0	0
3	XXXXXXXXXX	0

Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell.

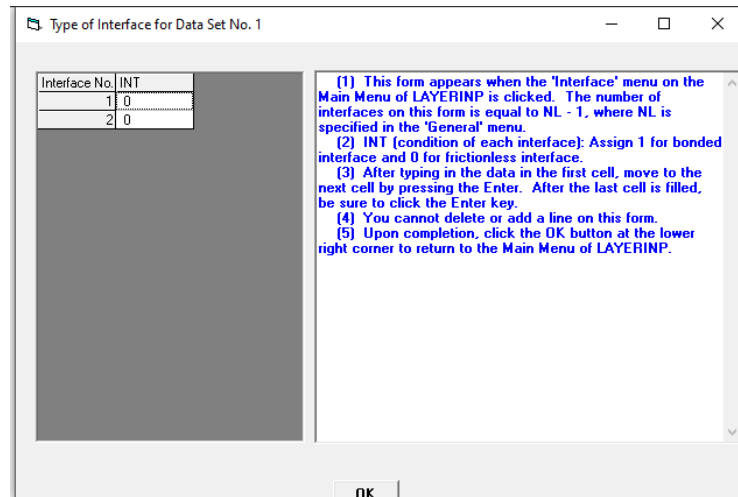
(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. Note that the dotted rectangle is now in the upper left cell, so you can type in the data right away. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you

OK

**Gambar 3.6 Tampilan Layer**

### 3.4.5 *NBOUND*

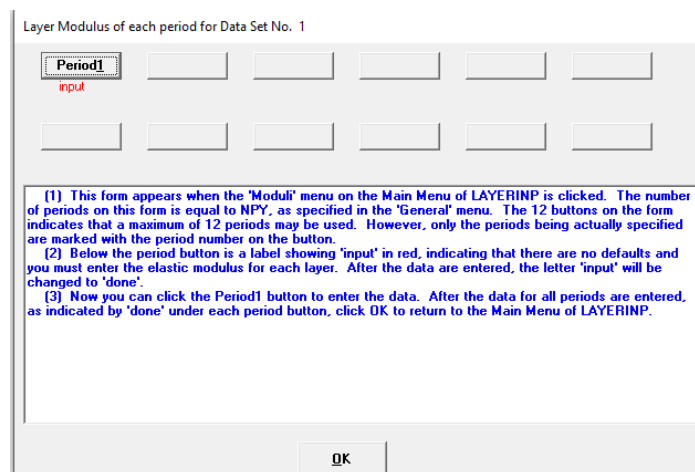
Nilai *NBOUND* pada menu general akan mempengaruhi dari kinerja menu ini, jika *NBOUND* = 1 maka kolom akan menjadi *default* sedangkan jika *NBOUND* = 2 maka kolom akan aktif dan dapat melakukan input data.



**Gambar 3.7 Tampilan Interface**

### 3.4.5 *Modul*

Dalam menu *modul* terdapat beberapa periode yang dapat diinput dengan data-data nilai E. Jumlah dari periode tergantung pada nilai *NY* dalam menu *general*.



**Gambar 3.8 Tampilan Module**

### 3.4.6 Load

*Input data* pada kolom *load*, (0) untuk kendaraan sumbu tunggal, (1) untuk kendaraan tunggal yang memiliki roda ganda, (2) sumbu *tandem* dan (3) sumbu *triple*. CR merupakan radius dari kontak pembebanan kemudian CP merupakan nilai beban. Untuk kolom *YW* dan *XW* merupakan jarak antara roda arah *y* dan *x*. Kolom *NPT* dan *NR* adalah titik tinjau koordinat tegangan regangan yang akan dianalisis. Contoh terdapat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.

Unit in. psi in. in.

Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	0	0	0	0	0	

Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell.

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8 for wheel and axle arrangements.  
 (2) LOAD (type of loading): Assign 0 for single axle with single tire, 1 for single axle with dual tires, 2 for tandem axles, and 3 for tridem axles.  
 (3) CR (contact radius of circular loaded ares).  
 (4) CP (contact pressure on circular loaded ares).  
 (5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y axis): Assign 0 if there is only one wheel or LOAD = 0.  
 (6) XW (center to center spacing between two axles along the x axis): Assign 0 if only one axle exists, i.e. LOAD = 0 or 1.  
 (7) NR (number of radial coordinates to be analyzed under a single wheel, maximum 25): A single

OK

**Gambar 3.9 Tampilan Load**

### 3.4.7 Viscoelastic

Pada penelitian ini, pendekatan *viscoelastic* juga digunakan dalam analisis sehingga selanjutnya dapat dipilih menu *viscoelastic*. Menu ini terdiri dari *General, Time, Layer, Creep* dan *Temperature*. Berikut merupakan contoh tampilan menu *viscoelastic*.

Menu *General* digunakan untuk menginput data seperti *load duration*, jumlah *layer viscoelastic* dan *time duration of creep compliance*.

Viscoelastic General Information for Data Set No. 1

Load duration (0 for stationary load, 0.1 sec for moving load at 40 mph)	(DUR)	0.1
Number of viscoelastic layers	(NVL)	2
Number of time durations for creep compliances	(NTYME)	11

(1) This form appears when the 'General' menu of the Viscoelastic Layers Menu is clicked.  
 (2) Default values for DUR and NTYME are provided for analysis involving moving loads. For stationary Loads, DUR should be changed to 0 and NTYME may be any value. Note that NTYME for moving loads is the number of times at which creep compliances are provided, while NTYME for stationary loads is not only the number of times at which creep compliances are provided but also the times at which the results are desired. Note also that default NVL is 1 and may need to be changed, as indicated in red. A maximum NVL of 12 may be used.  
 (3) after completion, click OK to return to the Viscoelastic Layers Menu.

OK

**Gambar 3.10** Tampilan *General* pada *Viscoelastic*

Menu *Time* digunakan untuk data waktu durasi dari *creep compliance* yang sudah ditentukan oleh program *KENPAVE*.

Time Durations of Creep Compliances for Data Set No. 1

Sequence	TYME
1	.001
2	.003
3	.01
4	.03
5	.1
6	.3
7	1
8	3
9	10
10	30
11	100

(1) This form appears when the 'Duration' menu on the Viscoelastic Layers Menu is clicked. The number of time sequences on this form is equal to NTYME, as specified in the Viscoelastic General Information.  
 (2) TYME (times at which creep compliances are to be specified). For moving load, the 11 default times from 0.001 to 100 sec should be used, if possible, so the creep compliances can be computed more accurately from one temperature to the other over a wide range, when needed. For stationary load without temperature conversion, any TYME duration may be used.  
 (3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.  
 (4) You can delete a line, or one time sequence, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>-<Del> keys. The NTYME in the Viscoelastic General Information will be reduced automatically by 1.  
 (5) You can add a new line, or one more sequence, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NTYME in the Viscoelastic General Information will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NTYME in the Viscoelastic General Information.

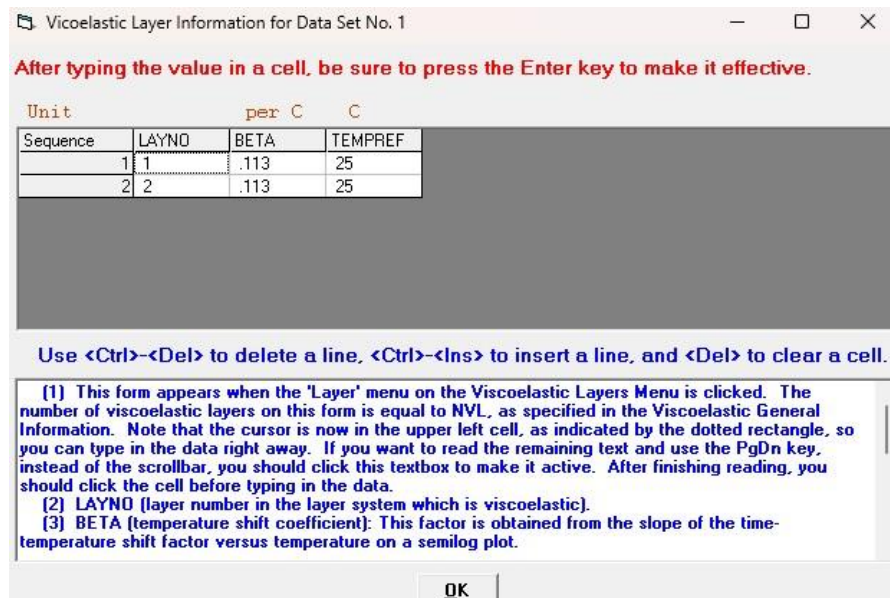
Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell.

OK

**Gambar 3.11** Tampilan Jendela *Time* pada Menu *Viscoelastic*

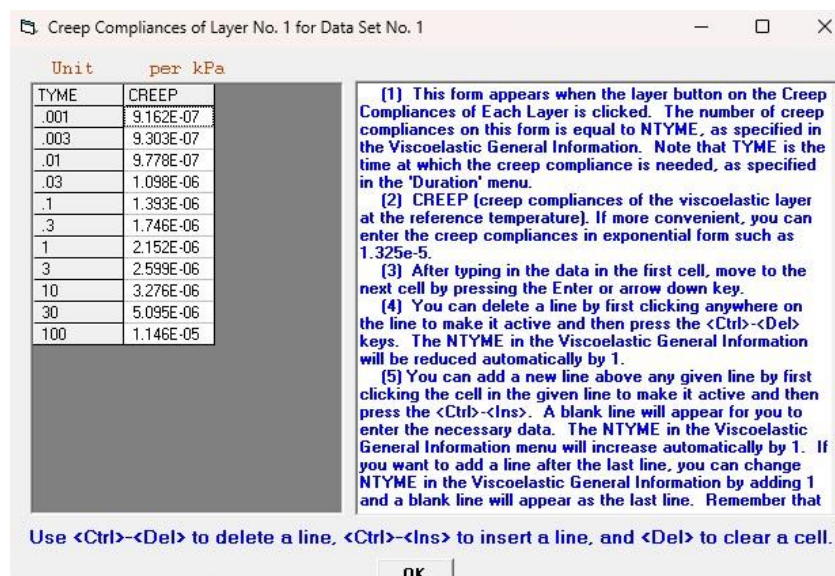


Pada menu *Layer*, data yang perlu diinput adalah data yang berhubungan dengan *layer viscoelastic* seperti Penamaan *layer*, nilai *Beta* dan temperatur *layer* tersebut.



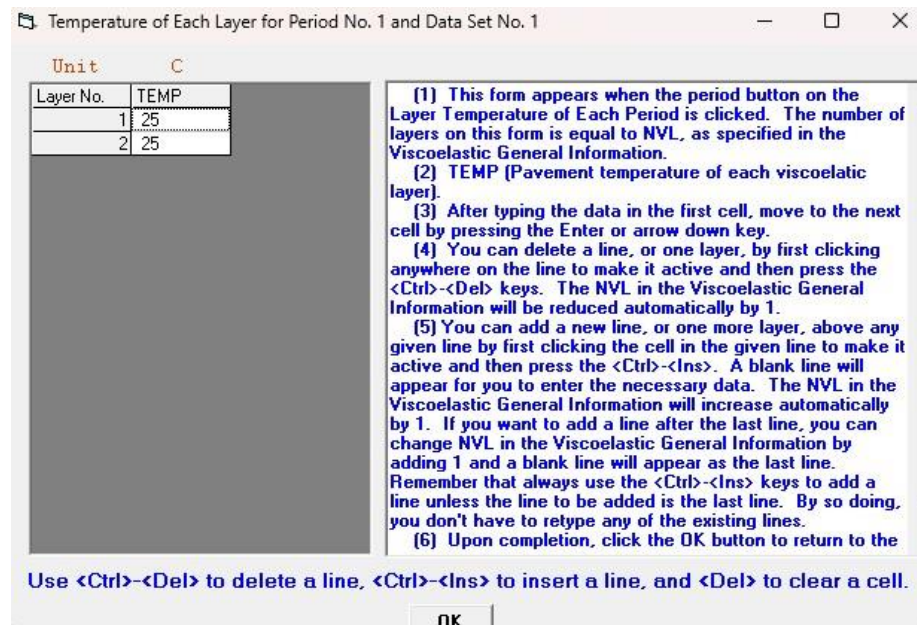
**Gambar 3.11 Tampilan Jendela *Layer* pada *Viscoelastic***

Menu *Creep* digunakan untuk menginput *creep compliance* setiap satuan waktu yang telah dimasukkan pada menu sebelumnya.



**Gambar 3.12 Tampilan Jendela *Creep* pada Menu *Viscoelastic***

Pada menu *Temperature* diperlukan data temperature yang sudah ditetapkan sebelumnya yaitu sebesar  $25^{\circ}$ .



**Gambar 3.13** Tampilan Jendela *Temperature* pada *Viscoelastic*

### 3.5 Analisis Kerusakan Perkerasan

Kerusakan pada struktur lapis perkerasan kerap sering terjadi, salah satu penyebab utama yaitu beban kendaraan yang lewat di atasnya. Dengan analisis menggunakan *KENPAVE* menghasilkan nilai tegangan-regangan yang dapat memprediksi jenis kerusakan. Berikut beberapa kerusakan seperti *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*

#### 3.5.1 *Fatigue Cracking*

Untuk mengetahui jumlah repetisi beban yang telah terjadi berdasarkan regangan tarik pada bagian bawah permukaan perkerasan lentur, perlu menggunakan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$N_f = 0,0796 (\varepsilon_t)^{-3,921} |E|^{-0,854} \quad (3.5)$$

dengan:

$N_f$  = total nilai beban pengulangan yang diijinkan,

$\varepsilon_t$  = *tensile strain* di bagian bawah aspal, dan

$|E|$  = modulus elastis pada lapis permukaan.

### 3.5.2 *Rutting*

Total dari repetisi beban kendaraan untuk retak berdasarkan pada regangan tekan pada bagian bawah struktur pondasi dihitung dengan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{f_5} \quad (3.6)$$

dengan:

$N_r$  = total repetisi beban yang diijinkan,

$f_4 f_5$  = koefisien deformasi permanen, dan

$\varepsilon_c$  = tegangan regangan secara vertikal.

### 3.5.3 *Permanent Deformation*

Jumlah nilai repetisi beban dapat dihitung dengan Persamaan 3.7 sebagai berikut

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3.7)$$

$N_r$  = jumlah repetisi beban yang diijinkan,

$f_4 f_5$  = koefisien deformasi permanen, dan

$\varepsilon_c$  = regangan tegangan vertikal.

## 3.6 Nilai Sisa Umur Layan

Umur layan struktur perkerasan merupakan kemampuan struktur perkerasan jalan dalam menahan beban yang dihasilkan oleh lalu lintas secara berulang hingga

jalan tersebut membutuhkan adanya perbaikan. Dalam menentukan umur sisa layan dapat menggunakan satuan tahun.

Nilai umur sisa layan didapatkan dengan analisis dengan menghitung jumlah beban lalu lintas dan total repitisi beban ijin yang dinyatakan dengan satuan 18-Kip *ESAL*. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai umur sisa layan.

$$RL = 100 \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \quad (3.8)$$

dengan :

RL = *Remaining Life*,

$N_p$  =  $\sum$  kumulatif W18 per tahun, dan

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

### 3.7 Karakteristik Material

Karakteristik pada material dibagi beberapa jenis, berikut adalah karakteristik pada material tersebut.

#### 3.7.1 *Elastic Layer*

Karakteristik pada material ini dianggap bahwa setiap lapisan struktur elastis, isotropis dan homogen secara linear. Pada permodelan lapisan elastis dapat dengan menghitung regangan, tegangan dan defleksi pada struktur perkerasan yang pada permukaannya menerima beban lalu lintas.

#### 3.7.2 *Viscoelastic Layer*

Pada karakteristik material ini memiliki sifat yaitu pembebanan dapat mempengaruhi perilaku aspal. *Viscoelastic layer* dapat diperoleh dengan prinsip elastic-viscoelastik dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variable waktu. Pengukuran *creep compliances* ditinjau menggunakan 11 durasi waktu yang berbeda-beda. *Creep compliance* digunakan untuk mengklasifikasi material *viscoelastic* yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini.

$$D(t) = \frac{\epsilon(t)}{\sigma} \quad (3.9)$$

dengan :

$D(t)$  = *Creep compliance* pada durasi waktu tertentu,

$\epsilon(t)$  = regangan pada durasi tertentu,

$\sigma$  = tegangan.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini, tersedianya data yang akan dianalisis sangatlah penting, jika data-data tidak dapat diperoleh semua maka penelitian ini tidak akan berjalan. Data dibagi menjadi dua jenis yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapat dari orang pertama seperti hasil survei langsung pada lapangan sedangkan data sekunder adalah data yang telah tersedia diberbagai tempat seperti diperoleh dari pemerintah, universitas, perusahaan, perpustakaan, dan biru pusat statistik.

Penelitian ini hanya menggunakan data sekunder yang didapatkan dari P2JN Provinsi Jawa Barat. Berikut beberapa data yang didapatkan untuk melakukan analisis.

1. Peta lokasi pekerjaan
2. Data Lalu lintas Harian Rencana (LHR)
3. Data Material yang digunakan pada perkerasan
4. Data struktur perkerasan eksisting seperti geometri jalan (panjang jalan, lebar jalan, jumlah arah dan jalur jalan) dan desain struktur perkerasan tersebut.

#### **4.2 Analisis Data**

Analisis data pada penelitian ini dibantu dengan *software* untuk mempermudah proses perhitungan yaitu *Microsoft Excel 2018* dan *KENPAVE*. Berikut adalah tahapan analisis pada penelitian ini.

1. Melakukan perhitungan mengenai pembagian sumbu setiap jenis kendaraan
2. Menganalisis faktor pertumbuhan beban lalu lintas dengan Persamaan 4.1 sebagai berikut

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (4.1)$$

dengan

R = faktor pengali pertumbuhan beban lalu lintas kumulatif,

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

UR = umur rencana (tahun).

3. Menganalisis *vehicle damage factor* dengan menggunakan Tabel 3.4 dan Tabel 3.5

### 4.3 Lokasi Studi Kasus

Dalam penelitian ini, peninjaun data struktur perkerasan berada di Ruas Jalan Kalapagenep–Cipatujah–Pangandaran sepanjang 1.200 meter. Jalan tersebut merupakan jalan lintas selatan yang menghubungkan berbagai kota di wilayah Jawa Barat seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



**Gambar 4.1 Peta Ruas Jalan Kalapagenep – Cipatujah – Pangandaran**

Berikut adalah kondisi lokasi penelitian pada ruas Jalan Kalapagenep – Cipatujah – Pangandaran pada tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini

**Tabel 4.1 Kondisi Jalan Kalapagenep – Cipatujah – Pangandaran**

Klasifikasi Ruas Jalan	Data Ruas Jalan
Status Jalan	Jalan Arteri
Tipe Perkerasan	Perkerasan Lentur
Panjang Jalan (yang diteliti)	1,2 km
Lebar Jalan	7 m

#### 4.4 Tahapan Desain Struktur Perkerasan Bina Marga 2017

Tahapan desain perkerasan lentur tercantum pada Manual Desain Perkerasan Jalan No.04/SE/Db/2017. Berikut tahapan dari desain perkerasan lentur berdasarkan Bina Marga 2017.

- a. Menentukan umur rencana (UR)
- b. Analisis data lalu lintas dan lalu lintas harian rerata tahunan (LHRT)
- c. Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas
- d. Menentukan faktor lajur rencana
- e. Menentukan faktor ekivalen beban
- f. Menghitung Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)
- g. Menentukan desain pondasi jalan
- h. Menentukan desain perkerasan

#### 4.5 Prosedur Metode *KENPAVE*

Pemodelan desain perkerasan dengan *KENPAVE*, untuk prosedurnya sebagai berikut

1. Menentukan data material seperti
  - a. Mengetahui tebal desain perkerasan
  - b. Melakukan asumsi terhadap nilai modulus elastisitas (E) di tiap lapisan struktur perkerasan
  - c. Menentukan nilai *poisson's ratio* tiap lapisan struktur perkerasan
2. Menghitung minimum data lalu lintas
3. Membuat model desain struktur perkerasan pada *KENPAVE*
4. Membuat model struktur perkerasan lentur menggunakan *KENLAYER*



5. Memasukkan data mengenai struktur perkerasan, seperti jenis material, total *layer Z*, jenis respon yang dianalisis, jenis pengikat lapisan perkerasan dan menentukan satuan
6. Melakukan *input* jumlah point dengan jarak vertical kemudian dapat *input* ketebalan dan nilai *poisson's ratio* di setiap lapisan struktur perkerasan
7. Menambahkan data dari ikatan antar lapisan
8. Melakukan *input* jumlah periode dan nilai modulus elastisitas tiap lapis dilanjutkan dengan *input* data beban lalu lintas
9. Mendapatkan hasil berupa deflaksi dari *KENLAYER*.

#### 4.6 Analisis Sisa Umur Pelayanan Perkerasan Jalan.

Setelah menganalisis perkerasan jalan, kemudian mendapatkan nilai tegangan regangan, lalu hubungkan jenis kerusakan dengan repetisi beban, maka analisis prediksi sisa umur layan perkerasan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 4.1

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{NP}{N_{1,5}} \right) \right] \quad (4.1)$$

dengan:

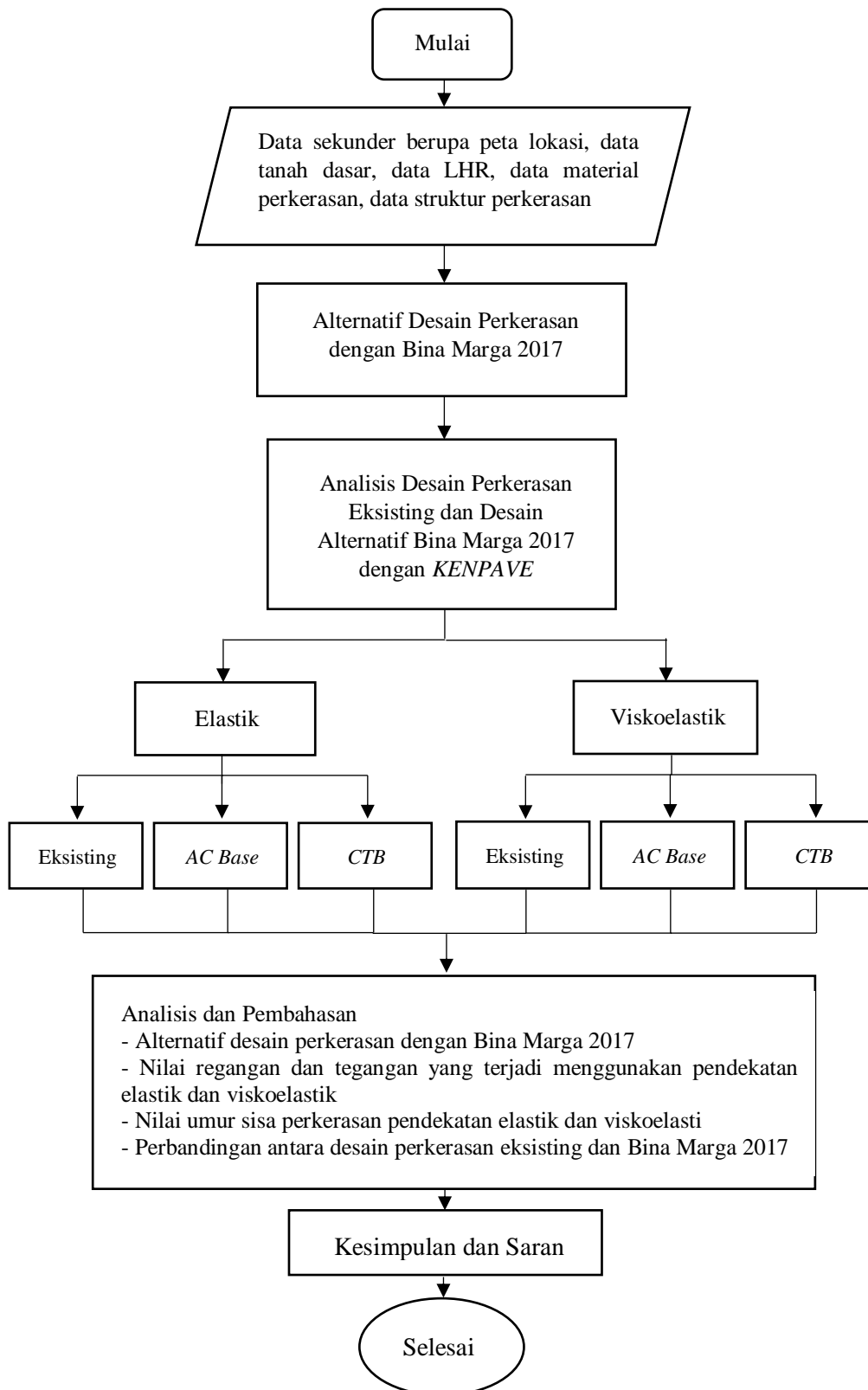
RL = Remaining Life (%),

NP = Total Traffic yang telah melewati perkerasan (ESAL), dan

N<sub>1,5</sub> = Total Traffic pada kondisi perkerasan berakhir (failure) (ESAL).

#### 4.7 Bagan Alir Penelitian

Desain perkerasan lentur memerlukan data-data mengenai objek yang akan direncanakan. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data lalu lintas harian rerata (LHR) dan data daya dukung tanah dasar (CBR) yang selanjutnya di hitung menggunakan metode Bina Marga 2017 dan kemudian di analisis menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada struktur perkerasan tersebut serta mengetahui nilai sisa umur layan.



**Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian**

## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Perhitungan Tebal Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017

##### 5.1.1 Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari P2JN Provinsi Jawa Barat. Data tersebut berupa data tebal perkerasan eksisting dan data lalu lintas pada tahun 2020.

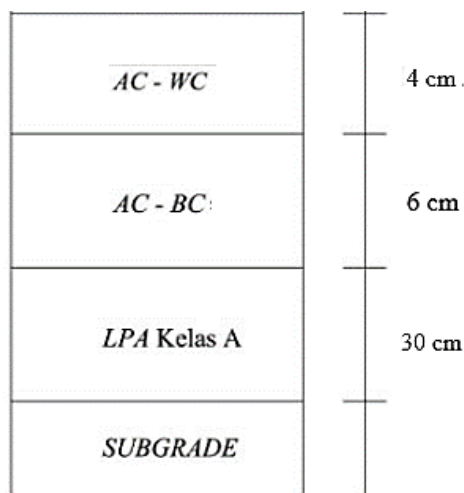
##### 5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisting

Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran merupakan jalan arteri yang memiliki Panjang total  $\pm 90$  KM. Pada jalan ini struktur perkerasan eksisting dilakukan rekontruksi sehingga data desain ekisting berupa desain perkerasan yang telah diperbaiki dari lapisan *surface* hingga lapisan *base*. Kondisi *CBR* tanah pada lokasi ini sebesar  $\geq 6$  % sehingga tidak diperlukan adanya perbaikan tanah dasar. Berdasarkan data yang diperoleh dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jawa Barat, ketebalan struktur desain perkerasan eksisting dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

**Tabel 5.1 Tebal Lapisan Struktur Perkerasan Eksisting**

Jenis Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan (cm)
AC-WC	4
AC-BC	6
LPA kelas A	30
Subgrade	$\infty$

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Jawa Barat (2022)



**Gambar 5.1** Tebal Perkerasan Lentur Eksisting

### 5.1.3 Kondisi Ruas Jalan

Kondisi ruas jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dapat dilihat pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Kondisi Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran

No.	Data	Keterangan
1.	Jenis Jalan	Arteri
2.	Umur rencana (UR)	20 Tahun
3.	Pertumbuhan Lalu lintas (i)	7,42 % (Berdasarkan LHR 2019 dan LHR 2020)
4.	Distribusi Kendaraan	2 Jalur 2 Arah

Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Jawa Barat (2022)

### 5.1.4 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas harian rata-rata ruas jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

**Tabel 5.3 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas jalan Cipatujah-  
Kalapagenep–Pangandaran (Kendaraan/Tahun)**

No.	Gol.	Jenis Kendaraan	LHR 2019	LHR 2020
1.	1	Sepeda Motor	10174	10052
2.	2	Sedan, Jeep dan Station Wagon	2840	2071
3.	3	Pick Up, Combi dan Mini Bus	246	1278
4.	4	Pick Up, Mini Truk, dan Mobil Hataran	17	1065
5.	5a	Bus Kecil	219	145
6.	5b	Bus Besar	201	61
7.	6a	Truk Ringan 2 Sumbu	278	659
8.	6b	Truk Berat 2 Sumbu	396	467
9.	7a	Truk Ringan 3 Sumbu	159	112
10.	7b	Truk 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	18	15
11	7c	Truk 4 Sumbu - Trailer	17	17

Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Jawa Barat 2019 dan 2020

#### 5.1.5 Perhitungan Beban Lalu Lintas

Nilai *CESA* didapatkan dari data lalu lintas diatas dan penentuan nilai dari beberapa faktor sebagai berikut.

a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas  $R(2022-2042)$  ditentukan dengan Persamaan 3.1 dengan umur rencana 20 tahun. Sehingga nilai  $R$  dari umur rencana adalah  $R(2022-2042)$  sebesar 20,284.

b. Faktor distribusi lajur ( $D_L$ )

Faktor distribusi lajur dapat dilihat pada Tabel 3.3, untuk kendaraan dengan jumlah lajur disetiap arah adalah 1 maka nilainya sebesar 100% /

c. Faktor distribusi arah ( $D_D$ )

Pada Bina Marga 2017 untuk faktor distribusi arah disarankan untuk menggunakan nilai diantara 0,3 sampai 0,7 sehingga ditentukan untuk nilai faktor distribusi arah sebesar 0,5.

d. VDF (*Vehicle Damage Factor*)

Nilai VDF setiap kendaraan pada perhitungan ESA dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 Nilai VDF Jenis Kendaraan**

Kode	Jenis Kendaraan	Jawa	
		Beban Aktual	
		VDF 4	VDF 5
1	Sepeda motor	-	-
2,3,4	Mobil penumpang, <i>Pickup</i>	-	-
5A	Bus kecil	0,3	0,2
5B	Bus besar	1	1
6A	Truk ringan 2 sumbu	0,55	0,5
6B	Truk berat 2 sumbu	5,3	9,2
7A	Truk ringan 3 sumbu	8,2	14,4
7B	Truk 2 sumbu dan trailer penarik	11,8	18,2
7C	Truk 4 sumbu - trailer	11	19,8

Sumber : Bina Marga 2017

**Tabel 5.5 Perhitungan Nilai CESA 4**

Jenis Kendaraan	LHR 2020 (kend/jam)	LHR 2022 (kend/jam)	VDF 4 Aktual	ESA4 (22-42)
1	10052	13257	-	-
2,3,4	4414	5822	-	-
5A	145	192	0,3	213230,5219
5B	61	81	1	299855,4214
6A	659	870	0,55	1771368,138
6B	467	616	5,3	12086024,44
7A	112	148	8,2	4492648,635
7B	15	20	11,8	873652,8328
7C	17	23	11	936585,4521
<i>CESA 20 Tahun</i>				20673365,44
				20.673.365,44
				20,67

Kendaraan 5A

$$\text{LHR 2022} = \text{LHR 2020} \times (1+i)^{\text{UR}}$$

$$= 145 \times (1+14,84)^2$$

$$= 192 \text{ kend/jam}$$

$$\text{ESA4} = (\sum \text{LHR}_{\text{JK}} \times \text{VDF}_{\text{JK}}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R}$$

$$= (145 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 20,284$$

$$= 213.230,521$$

**Tabel 5.6 Perhitungan Nilai CESA 5**

Jenis Kendaraan	LHR 2020 (kend/jam)	LHR 2022 (kend/jam)	VDF 5 Aktual	ESA5 (22-42)
1	10052	13257	-	-
2,3,4	4414	5822	-	-
5A	145	192	0,2	134945,4223
5B	61	81	1	284650,5001
6A	659	870	0,5	1528678,611
6B	467	616	9,2	19915695,23
7A	112	148	14,4	7489470,935
7B	15	20	18,2	1279170,148
7C	17	23	19,8	1600368,367
<i>CESA 20 Tahun</i>				32232979,22
				33.954.739,46
				33,95

$$\begin{aligned}
 \text{LHR 2022} &= \text{LHR 2020} \times (1+i)^{\text{UR}} \\
 &= 145 \times (1+14,84)^2 \\
 &= 192 \text{ kend/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ESA5} &= (\sum \text{LHR}_{\text{JK}} \times \text{VDF}_{\text{JK}}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\
 &= (145 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 20,284 \\
 &= 134.945,4223
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai  $CESA^4$  sebesar  $20,67 \times 10^6$  dan  $CESA^5$  sebesar  $33,95 \times 10^6$



**Tabel 5.7 Rekapitulasi *CESA4* dan *CESA5* Setiap Tahun**

Tahun	<i>CESA4</i>	<i>CESA5</i>
2023	1.019.171,25	1.673.926,50
2024	2.039.854,95	3.350.337,11
2025	3.062.053,34	5.029.235,51
2026	4.085.768,68	6.710.625,39
2027	5.111.003,21	8.394.510,46
2028	6.137.759,19	10.080.894,41
2029	7.166.038,88	11.769.780,96
2030	8.195.844,53	13.461.173,82
2031	9.227.178,41	15.155.076,70
2032	10.260.042,79	16.851.493,33
2033	11.294.439,95	18.550.427,45
2034	12.330.372,15	20.251.882,78
2035	13.367.841,67	21.955.863,08
2036	14.406.850,80	23.662.372,08
2037	15.447.401,81	25.371.413,54
2038	16.489.497,01	27.082.991,22
2039	17.533.138,67	28.797.108,87
2040	18.578.329,10	30.513.770,28
2041	19.625.070,59	32.232.979,22
2042	20.673.365,44	33.954.739,46

#### 5.1.7 Pemilihan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2017

Pemilihan jenis dan tebal struktur perkerasan ditentukan dari analisis beban lalu lintas. Berdasarkan Tabel 3.6 dapat ditentukan jenis perkerasan jika nilai *CESA* 4 sebesar  $20,67 \times 10^6$  menggunakan Bagan Desain 3 dan 3B yaitu jenis perkerasan *CTB* dan *AC Base*. Berikut merupakan detail pemilihan jenis stuktur perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Tabel 5.8 Pemilihan Jenis Perkerasan**

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	>30 – 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan $CBR \geq 2,5\%$ )	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC – WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal $\geq 100$ mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis fondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1	-	-	-
Perkerasaan tanpa penutup (Japat, Jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga (2017)

Penentuan tebal struktur perkerasan lentur didapatkan dari nilai *CESA* 5 sebesar  $33,95 \times 10^6$ . Berikut merupakan tebal dari setiap lapisan struktur perkerasan yang terdapat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 yang sesuai dengan Bagan Desain 3 dari Bina Marga 2017.

**Tabel 5.9 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB**

	F1 <sup>2</sup>	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat Bagan Desain – 3A, 3B dan 3C	Lihat Bagan Desain – 4 Untuk alternatif perkerasan kaku <sup>3</sup>			
Repetisi beban sumbu Kumulatif 20 tahun padajalur rencana (10 <sup>6</sup> ESA5)	>10 -30	>30 -50	>50 -100	>100 -200	>200 -500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	<i>Cement Treated Base (CTB)</i>				
<i>AC WC</i>	40	40	40	40	50
<i>AC BC</i> <sup>4</sup>	60	60	60	60	60
<i>AC BC</i> atau <i>AC Base</i>	75	100	125	160	220
<i>CTB</i> <sup>3</sup>	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

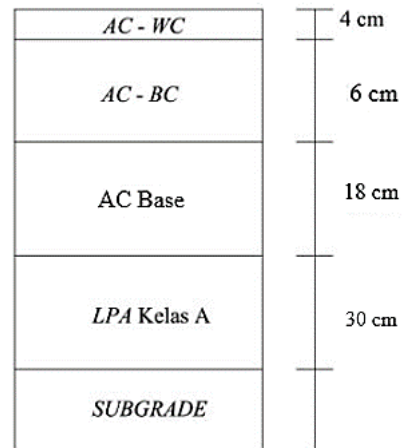
Sumber : Bina Marga (2017)

**Tabel 5.10 Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir**

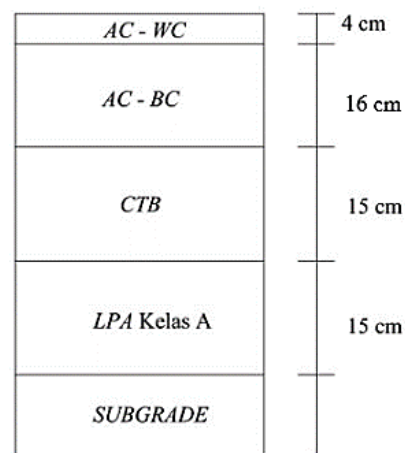
		Struktur Perkerasan							
		FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
<b>Solusi yang dipilih</b>		<b>Lihat Catatan 2</b>							
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana ESA5)	< 2	≥ 2 - 7	> 7-10	> 10-20	> 20-30	> 30-50	> 50-100	> 100-200	
Ketebalan Lapis Perkerasan (mm)									
<i>AC-WC</i>	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<i>AC-BC</i>	60	60	60	60	60	60	60	60	60
<i>AC Base</i>	0	80	105	145	160	180	210	245	
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2			3				

Sumber : Bina Marga (2017)

Dari Tabel 5.9 dan 5.10 diatas maka tebal struktur perkerasan lentur yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan 5.2.



**Gambar 5.1** Tebal Perkerasan Lentur dengan *AC Base*



**Gambar 5.2** Tebal Perkerasan Lentur dengan *CTB*

Jenis dan tebal struktur telah diketahui melalui metode Bina Marga, maka analisis dapat dilanjutkan dengan mengevaluasi desain struktur perkerasan menggunakan aplikasi *KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik.

## 5.2 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Menggunakan *KENPAVE*

Dalam mengevaluasi ketebalan desain struktur perkerasan dengan program *KENPAVE*, penggunaan parameter untuk mengetahui nilai, tegangan-regangan dan lendutan memerlukan nilai *Poisson's Ratio* dan modulus elastisitas disetiap lapisan struktur perkerasan. Hasil nilai repitisi beban didapat dari nilai regangan pada lapisan *surface* dan dibawah lapis *subbase*. Desain struktur yang akan dievaluasi meliputi tebal eksisting, desain Bina Marga 2017 menggunakan *AC Base* dan *CTB*. Berikut adalah rekapitulasi desain struktur perkerasan terdapat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan**

<b>Lapis Perkerasan</b>	<b>Eksisting (mm)</b>	<b><i>AC Base</i> (mm)</b>	<b><i>CTB</i> (mm)</b>
<i>Surface</i>	40	100	40
<i>Base</i>	60	180	160
<i>Subbase</i>	300	300	300

### 5.2.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan *KENPAVE* dengan Permodelan Elastik

Data yang digunakan dalam evaluasi ini adalah tebal desain struktur perkerasan eksisting dianalisis dengan *KENPAVE* yang bertujuan untuk mengetahui besaran kemungkinan kerusakan.

#### 1. Data yang dibutuhkan dalam analisis *KENPAVE*

Berikut adalah data jenis material setiap lapisan perkerasan terdapat pada Tabel 5.12 berikut ini.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

<i>AC-WC</i>	Modulus Elastisitas (Mpa)	1100
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
<i>AC-BC</i>	Modulus Elastisitas (Mpa)	1200
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
<i>AC Base</i>	Modulus Elastisitas (Mpa)	1600
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
<i>CTB</i>	Modulus Elastisitas (Mpa)	500
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
LPA Kelas A	Modulus Elastisitas (Mpa)	150
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
<i>Subgrade</i>	Modulus Elastisitas (Mpa)	60
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45

Sumber : Bina Marga (2017)

## 2. Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Menggunakan *KENPAVE*

Tahapan evaluasi tebal desain struktur perkerasan eksisting dengan *KENPAVE* bertujuan untuk memperhitungkan tegangan-regangan perkerasan lentur. Pada tampilan awal pilih *LAYERINP* selanjutnya melakukan *Input* data pada setiap *Toolbar*.

### a. *General*

Langkah pertama yaitu melakukan pengisian nilai-nilai pada *General* seperti Tabel 5.13 berikut ini.

**Tabel 5.13 Data Masukan pada Menu *General***

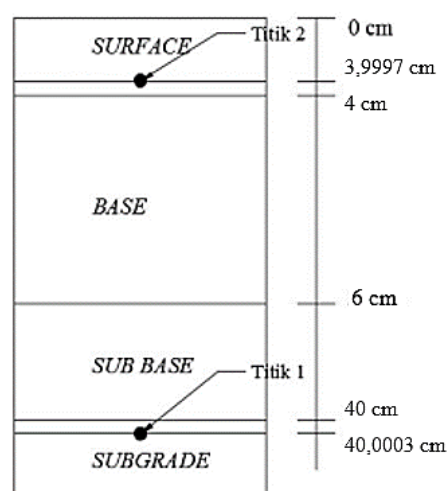
Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	Eksisting	Diisi sesuai dengan desain yang dimasukkan
<i>MATL</i>	1	Analisis lapisan perkerasan dengan metode linier
<i>NDAMA</i>	0	Tidak adanya analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NLG</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>

Lanjutan Tabel 5.13 Data Masukan pada Menu *General*

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	4	Jumlah <i>layer</i> perkerasan yang dianalisis
<i>NZ</i>	4	Letak titik koordinat arah Z yang akan dianalisis
<i>ICL</i>	80	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NSDT</i>	9	Untuk nilai tegangan-regangan dan vertikal <i>displacement</i>
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NLCT</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NUNIT</i>	1	SI (Standar International)

b. *Zcoord*

Titik tinjau kerusakan disesuaikan dengan Nilai *NZ* yaitu titik. Titik tinjau 1 berada pada bagian bawah perkerasan, pada titik tersebut ditinjau untuk menganalisis kerusakan *Permanent Deformation* dan untuk *Rutting* dan *Fatigue Cracking* dapat ditinjau pada titik tinjau 2. Berikut adalah detail penempatan titik tinjau yang dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Letak Titik Tinjauan Kerusakan

c. *Layer*

Pada *layer* ini parameter dimasukkan adalah *Poisson's Ratio* disetiap lapisan struktur perkerasan yang akan dianalisis tertera pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14 Data Input Layer**

<b>No Layer</b>	<b>Thickness (cm)</b>	<b>Poisson's Ratio</b>
1	4	0,4
2	6	0,4
3	30	0,35
4	$\infty$	0,45

d. *Moduli*

Data yang dibutuhkan pada *moduli* ini adalah nilai modulus elastisitas setiap lapis struktur perkerasan. Berikut adalah modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Tabel 5.15.

**Tabel 5.15 Data Input Moduli**

<b>No.</b>	<b>Modulus Elastisitas (kPa)</b>	<b>Bahan</b>
1	1100000	AC-WC
2	1200000	AC-BC
3	150000	LPA Kelas A
4	60000	Subgrade

e. *Load*

*Input* pada menu *Load* terdapat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5.16 Data Input Load**

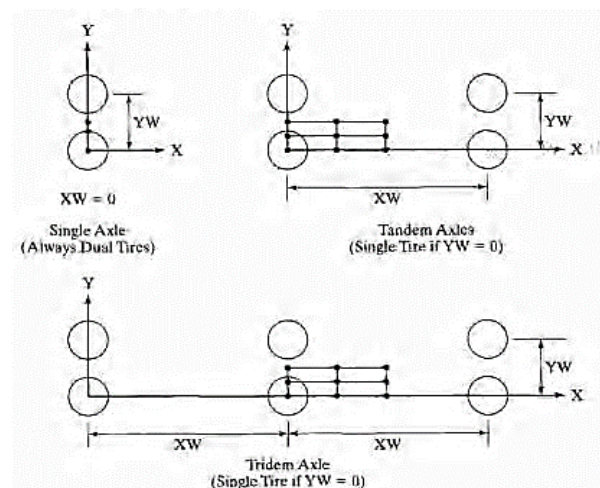
Data No.	1	Grup
Load	1	<i>Single axle load, roda gandar tunggal</i>
CR	11	Berdasarkan jarak antar ban (cm)
CP	550	Nilai tekanan ban (kPa)



**Lanjutan Tabel 5.16 Data *Input* pada Menu *Load***

Data No.	1	Grup
YW	33	Berdasarkan <i>Plan View of Multiple Wheels</i>
XW	0	Berdasarkan <i>Plan View of Multiple Wheels</i>
NPT or NR	3	Jumlah titik koordinat tinjauan

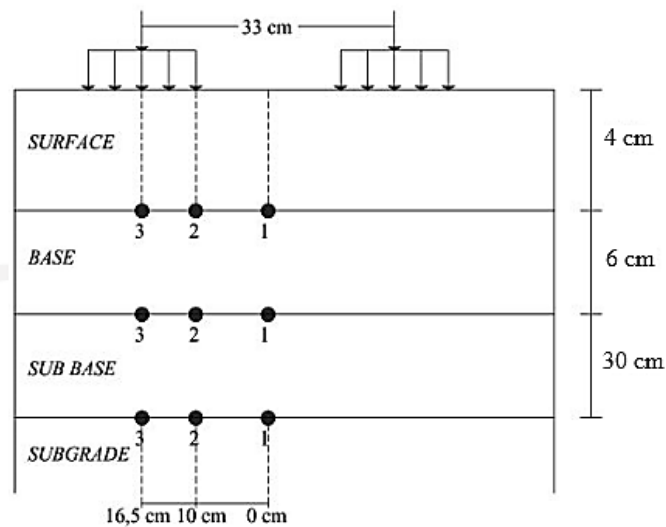
Dikarenakan pada penelitian ini menggunakan *single axle with dual tires* maka nilai *XW* dan *YW* berdasarkan Gambar 5.4. Nilai *NPT* dapat ditentukan dengan melihat titik koordinat tinjauan pada *single axle with dual tires* pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.4 *Plan View of Multiple Wheels***

Sumber : Huang (2004)

Setelah semua data telah dimasukkan maka dapat dilanjutkan dengan menyimpan *file* dan dapat kembali menuju menu utama. Langkah berikutnya adalah meninjau hasil dari analisis dengan menekan menu *KENLAYER*, proses memakan waktu beberapa saat hingga muncul hasil dengan format *file* '*.textdocument*'.



**Gambar 5.5 Letak Titik Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda**

### 3. Hasil Analisis *KENLAYER*

*Output* dari program *KENLAYER* merupakan nilai regangan dan tegangan yang terjadi pada desain struktur perkerasan jalan. Tabel 5.17 adalah nilai regangan dan tegangan ketika struktur perkerasan jalan mengalami pembebanan sesuai dengan titik koordinat yang ditinjau.

**Tabel 5.17 Hasil Analisis Permodelan Eksisting**

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Vertical Strain</i> Pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> Pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> Pada kedalaman 40,0003</b>
1	0,0000397	0,0001134	0,0007241
2	0,0000535	0,0000442	0,0007904
3	0,0000999	0,0003056	0,0008013
<b>Maksimum</b>	0,0000999	0,0003056	0,0008013

Dari tabel diatas di peroleh nilai regangan pada lapisan di bawah *surface* perkerasan lentur sebesar 0,0000999 untuk analisis kerusakan jenis *Nf/fatigue cracking*. Pada analisis kerusakan *rutting* dan *permanent deformation* masing-masing didapatkan nilai sebesar 0,0003056 dan 0,0008013.

Hasil regangan dan tegangan tersebut dihitung menggunakan Persamaan 3.4 hingga Persamaan 3.6 untuk nilai kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*.

a. Perhitungan jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

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

$$N_f = 0,0796 (0,0000999)^{-3,921} |1200000|^{-0,854}$$

$$N_f = 7,926E+06 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai  $N_d$  untuk kerusakan *rutting*

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0003056)^{-4,477}$$

$$N_d = 7,431E+06 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai  $N_d$  untuk kerusakan *permanent deformation*

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0008013)^{-4,477}$$

$$N_d = 9,928E+04 \text{ ESAL}$$

#### 4. Umur Sisa Layan Perkerasan

Analisis *KENPAVE* menghasilkan nilai-nilai kerusakan yang didapatkan setelah perkerasan dilalui oleh beban maka perhitungan dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai sisa umur perkerasan.

$$\begin{aligned} RL_{Fatigue} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{1.467.208,75}{7.925.724,77}\right) = 81,49 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RL_{Rutting} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{1.467.208,75}{7.431.921,33}\right) = 80,26 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RL_{Deform} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{1.467.208,75}{99.275,43}\right) = -13,78 \% \text{ (Fail)} \end{aligned}$$

Analisis beban lalu lintas dengan kondisi jalan eksisting menggunakan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

**Tabel 5.18 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Elastis**

<i>CESA5/20 Thn</i> ( <i>Nr</i> )	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalu Lintas
33,9E+06	<i>Nf</i>	7,926E+06	<i>Nf &lt; Nr (no)</i>
33,9E+06	<i>Nd rutting</i>	7,432E+06	<i>Nd &lt; Nr (no)</i>
33,9E+06	<i>Nd deformation</i>	9,928E+04	<i>Nd &lt; Nr (no)</i>

### 5.2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Eksisting Menggunakan *KENPAVE* dengan Permodelan Viscoelastik

Tebal desain struktur perkerasan eksisting akan dianalisis dengan *KENPAVE* untuk mendapatkan besaran kerusakan. Langkah-langkah dalam analisis *KENPAVE* dengan pendekatan viscoelastik adalah memasukkan data input *general* dan menambahkan *variable time* dan *temperature* pada viskoelastik.

#### 1. *General*

Langkah pertama yaitu melakukan pengisian nilai-nilai pada *General* seperti Tabel 5.19.

**Tabel 5.19 Menu *General* dengan Pendekatan Viscoelastik**

Istilah	Nilai	Keterangan
Title	Eksisting	Diisi sesuai dengan desain yang dimasukkan
MATL	3	Analisis lapisan perkerasan dengan viscoelastis
NDAMA	0	Tidak adanya analisis kerusakan
NPY	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
NLG	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	4	Jumlah <i>layer</i> perkerasan yang dianalisis
NZ	4	Letak titik koordinat arah <i>Z</i> yang dianalisis
ICL	80	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>

**Lanjutan Tabel 5.19 Menu *General* dengan Pendekatan Viscoelastik**

Istilah	Nilai	Keterangan
NSDT	9	Untuk nilai tegangan-regangan dan vertikal <i>displacement</i>
NBOND	1	Semua lapisan saling mengikat
NLBT	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
NLCT	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
NUNIT	1	SI (Standar International

## 2. *Time*

Nilai waktu yang perlu diinput untuk *Time* pada menu viskoelastik terdapat pada Tabel 5.20 sebagai berikut

**Tabel 5.20 *Time of Duration for Creep Compliance***

<i>Sequence</i>	<i>Time (waktu)</i>
1	0,001
2	0,003
3	0,01
4	0,03
5	0,1
6	0,3
7	1
8	3
9	10
10	30
11	100

Sumber : Huang (2004)

### 3. Layer

Nilai *Beta* ( $\beta$ ) = 0,113

Suhu = 25° C

### 4. Creep Compliance

Pada *creep*, nilai *creep compliance* perlu diinput sesuai satuan waktu yang telah tersedia, untuk satuan pada menu adalah satuan Kpa yang telah dikonversikan secara otomatis. Berikut adalah nilai *creep compliance* yang tertera pada Tabel 5.20.

*Output* dari analisis menggunakan *KENLAYER* tertera pada Tabel 5.21 di bawah ini sebagai regangan dan tegangan yang terjadi pada stuktur perkerasan jalan dengan metode viscoelstis.

**Tabel 5.21 Nilai Creep Compliance**

<i>Time</i>	<i>Creep</i>
0,001	$9,162 \times 10^{-7}$
0,003	$9,303 \times 10^{-7}$
0,01	$9,778 \times 10^{-7}$
0,03	$1,098 \times 10^{-6}$
0,1	$1,393 \times 10^{-6}$
0,3	$1,746 \times 10^{-6}$
1	$2,152 \times 10^{-6}$
3	$2,599 \times 10^{-6}$
10	$3,276 \times 10^{-6}$
30	$5,095 \times 10^{-6}$
100	$1,146 \times 10^{-5}$

(Sumber: Huang,2013)

**Tabel 5.22 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Viskoelastik-Eksisting**

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 40,0003</b>
1	0,0000249	0,0003361	0,0011550
2	0,0000548	0,0000781	0,0011840
3	0,0001029	0,0001617	0,0011660
<b>Maksimum</b>	0,0001029	0,0003361	0,0011840

Berikut adalah pemaparan analisis beban lalu lintas dari hasil *running* dengan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai kondisi perkerasan viskoelastis ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran yang tertera pada Tabel 5.23.

**Tabel 5.23 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	7,190E+06	Nf < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	4,854E+06	Nf < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	1,729E+04	Nf < Nr ( <i>no</i> )

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat dilanjutkan dengan perhitungan umur sisa layan struktur perkerasan jalan dengan Persamaan 3.7 dan dapat disajikan di Tabel 5.24 berikut ini.

**Tabel 5.24 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Eksisting (%)**

Tahun	Np	<i>Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		E	V	E	V	E	V
1	1.673.926,50	78,88	76,720	77,48	65,517	<i>Fail</i>	<i>Fail</i>
2	3.350.337,11	57,73	53,405	54,92	30,983		
3	5.029.235,51	36,55	30,056	32,33	<i>Fail</i>		
4	6.710.625,39	15,33	6,672	9,71			
5	7.886.844,15	<i>Fail</i>	<i>Fail</i>	<i>Fail</i>			

### 5.3 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 dengan *KENPAVE*

#### 5.3.1 Desain Struktur Perkerasan AC Tebal $\geq 100$ mm dengan Lapis Fondasi

##### Berbutir

Hasil tebal struktur perkerasan jalan yang telah ditentukan akan dianalisis menggunakan *KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik, sehingga didapatkan nilai regangan dan tegangan setiap pendekatan yang telah disajikan pada Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 berikut ini.

**Tabel 5.25 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Elastik AC Base**

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 9,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 9,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 58,0003</b>
1	0,0000605	0,0002057	0,0003099
2	0,0000208	0,0000689	0,0003303
3	0,0000095	0,0001774	0,0003341
<b>Maksimum</b>	0,0000605	0,0002057	0,0003341



**Tabel 5.26 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Viskoelastik AC Base**

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 9,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 9,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 58,0003</b>
1	0,0000669	0,0002317	0,0003206
2	0,0000087	0,0000842	0,0003422
3	0,0000032	0,0000220	0,0003462
<b>Maksimum</b>	0,0000669	0,0002317	0,0003462

Analisis beban lalu lintas dengan desain struktur perkerasan AC Base menggunakan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.27 dan Tabel 5.28 sebagai berikut.

**Tabel 5.27 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan AC Base dengan Pendekatan Elastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	4,127E+07	Nf > Nr ( <i>yes</i> )
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	4,373E+07	Nd > Nr ( <i>yes</i> )
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	4,986E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )

**Tabel 5.28 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan AC Base dengan Pendekatan Viskoelastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	2,970E+07	Nf < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	2,567E+07	Nd < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	4,252E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat dilanjutkan dengan perhitungan umur sisa layan struktur perkerasan jalan dengan Persamaan 3.7 dan dapat disajikan di Tabel 5.29 berikut ini.

**Tabel 5.29 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan AC Base (%)**

Tahun	Np	RL Fatigue		Rutting		Permanent Deformation	
		E	V	E	V	E	V
1	1.673.926,50	95,94	94,36	96,17	93,48	66,43	60,629
2	3.350.337,11	91,88	88,72	92,34	86,95	32,80	21,201
3	5.029.235,51	87,81	83,07	88,50	80,41	<i>Fail</i>	<i>Fail</i>
4	6.710.625,39	83,74	77,41	84,65	73,85		
5	8.394.510,46	79,66	71,74	80,80	67,29		
6	10.080.894,41	75,57	66,06	76,95	60,72		
7	11.769.780,96	71,48	60,37	73,09	54,14		
8	13.461.173,82	67,38	54,68	69,22	47,55		
9	15.155.076,70	63,28	48,97	65,34	40,95		
10	16.851.493,33	59,17	43,26	61,46	34,34		
11	18.550.427,45	55,05	37,54	57,58	27,72		
12	20.251.882,78	50,93	31,81	53,69	21,09		
13	21.955.863,08	46,80	26,08	49,79	14,46		
14	23.662.372,08	42,66	20,33	45,89	7,81		
15	25.371.413,54	38,52	14,58	41,98	1,15		
16	27.082.991,22	34,37	8,81	38,07	<i>Fail</i>		
17	28.797.108,87	30,22	3,04	34,15			
18	30.513.770,28	26,06	<i>Fail</i>	30,22			
19	32.232.979,22	21,89		26,29			
20	33.954.739,46	17,72		22,35			

### 5.3.2 Desain Struktur Perkerasan CTB

Hasil tebal struktur perkerasan jalan yang telah ditentukan akan dianalisis menggunakan *KENPAVE* dengan pendekatan elastis dan viscoelastis, sehingga didapatkan nilai regangan dan tegangan setiap pendekatan yang telah disajikan pada Tabel 5.30 dan Tabel 5.31 berikut ini.

**Tabel 5.30 Nilai Vertical dan Horizontal Strain Pendekatan Elastik CTB**

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 50,0003</b>
1	0,0000155	0,0002451	0,0002851
2	0,0000358	0,0000697	0,0002135
3	0,0000665	0,0001504	0,0002584
<b>Maksimum</b>	0,0000665	0,0002451	0,0002851

**Tabel 5.31 Nilai Vertical dan Horizontal Strain Pendekatan Viskoelastik CTB**

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 3,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 50,0003</b>
1	0,000007	0,000267	0,000242
2	0,00000003	0,000120	0,000266
3	0,000067	0,000155	0,000301
<b>Maksimum</b>	0,000067	0,000267	0,000301

Analisis beban lalu lintas dengan desain struktur perkerasan CTB menggunakan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.32 dan Tabel 5.33 sebagai berikut.

**Tabel 5.32 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan CTB dengan Pendekatan Elastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	3,023E+07	Nf < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	1,995E+07	Nd < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	1,014E+07	Nd < Nr ( <i>no</i> )

**Tabel 5.33 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan CTB dengan Pendekatan Viskoelastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	2,940E+07	Nf < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	1,360E+07	Nd < Nr ( <i>no</i> )
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	7,907E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat dilanjutkan dengan perhitungan umur sisa layan struktur perkerasan jalan dengan Persamaan 3.7 dan dapat disajikan di Tabel 5.34 berikut ini

**Tabel 5.34 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan CTB (%)**

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		E	V	E	V	E	V
1	1.673.926,50	94,46	94,306	91,61	87,695	83,49	78,830
2	3.350.337,11	88,92	88,603	83,21	75,371	66,96	57,628
3	5.029.235,51	83,37	82,892	74,80	63,029	50,41	36,395
4	6.710.625,39	77,80	77,172	66,37	50,669	33,83	15,130
5	8.394.510,46	72,23	71,444	57,93	38,290	17,23	<i>Fail</i>
6	10.080.894,41	66,66	65,707	49,48	25,893	0,60	

**Lanjutan Tabel 5.34 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan CTB (%)**

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		E	V	E	V	E	V
7	11.769.780,96	61,07	59,962	41,02	13,478	<i>Fail</i>	
8	13.461.173,82	55,48	54,208	32,54	1,044		
9	15.155.076,70	49,87	48,445	24,05		<i>Fail</i>	
10	16.851.493,33	44,26	42,675	15,55			
11	18.550.427,45	38,64	36,895	7,04			
12	20.251.882,78	33,02	31,107	<i>Fail</i>			
13	21.955.863,08	27,38	25,311				
14	23.662.372,08	21,73	19,505				
15	25.371.413,54	16,08	13,692				
16	27.082.991,22	10,42	7,869				
17	28.797.108,87	4,75	2,038				
18	30.513.770,28	<i>Fail</i>	2,946				
19	32.232.979,22		<i>Fail</i>				

## 5.4 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Alternatif

### 5.4.1 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Alternatif AC Base

Berdasarkan hasil analisis *KENPAVE* di atas, hasil yang didapatkan kurang efektif dalam menahan beban lalu lintas sehingga direncanakan tebal desain perkerasan alternatif. Berikut ini adalah rencana desain alternatif dan analisis tebal struktur perkerasan.

Alternatif 1

AC-WC = 40 mm

AC-BC = 60 mm

AC Base = 245 mm

LPA Kelas A = 330 mm

Hasil tebal struktur perkerasan jalan yang telah ditentukan akan dianalisis menggunakan *KENPAVE* dengan pendekatan elastis dan viscoelastis, sehingga didapatkan nilai regangan dan tegangan setiap pendekatan yang telah disajikan pada Tabel 5.35 dan Tabel 5.36 berikut ini.

**Tabel 5.35 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Elastik- Alternatif**

*AC Base*

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 11,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 11,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 67,5003</b>
1	0,0000543	0,0002042	0,0002049
2	0,0000270	0,0000779	0,0002158
3	0,0000157	0,0000104	0,0002007
<b>Maksimum</b>	0,0000543	0,0002042	0,0002158

**Tabel 5.36 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Viskoelastik-**

*Alternatif AC Base*

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 11,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 11,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 67,5003</b>
1	0,0000548	0,0002193	0,0002115
2	0,0000087	0,0000842	0,0002018
3	0,0000032	0,0000220	0,0002209
<b>Maksimum</b>	0,0000548	0,0002193	0,0002209

Analisis beban lalu lintas dengan desain alternatif struktur perkerasan AC Base menggunakan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.37 dan Tabel 5.38 sebagai berikut.

**Tabel 5.37 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan AC Base dengan Pendekatan Elastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	5,901E+07	Nf > Nr ( <i>yes</i> )
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	4,519E+07	Nd>Nr ( <i>yes</i> )
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	3,528E+07	Nd>Nr ( <i>yes</i> )

**Tabel 5.38 Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Perkerasan AC Base dengan Pendekatan Viskoelastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	5,715E+07	Nf > Nr ( <i>yes</i> )
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	3,283E+07	Nd>Nr ( <i>yes</i> )
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	3,178E+07	Nd>Nr ( <i>yes</i> )

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat dilanjutkan dengan perhitungan umur sisa layan struktur perkerasan jalan dengan Persamaan 3.7 dan dapat disajikan di Tabel 5.39 berikut ini

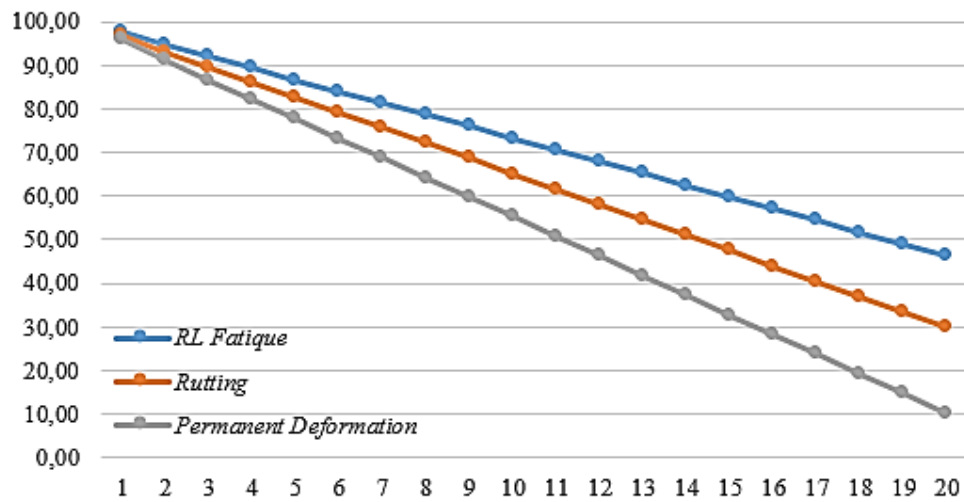
**Tabel 5.39 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif AC Base (%)**

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		E	V	E	V	E	V
1	1.673.926,50	97,16	97,07	96,30	94,90	95,26	94,73

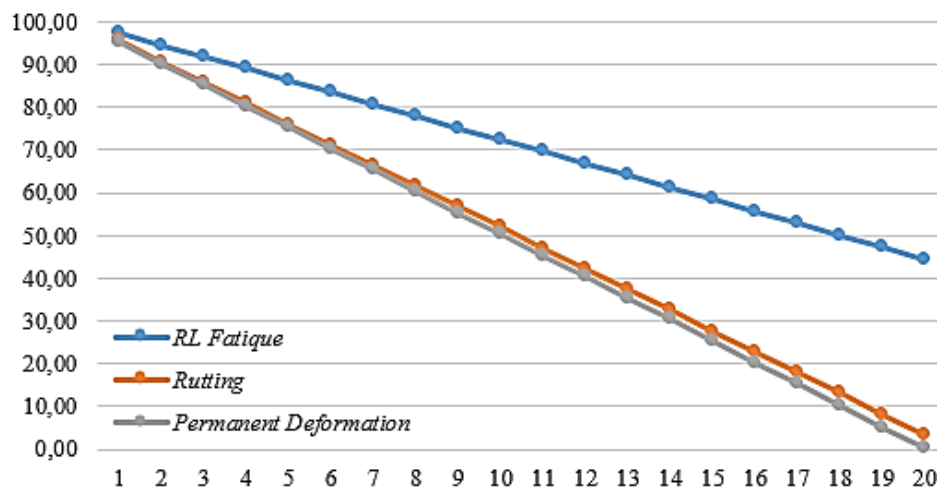
**Lanjutan Tabel 5.39 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Alternatif*****AC Base (%)***

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		E	V	E	V	E	V
2	3.350.337,11	94,32	94,14	92,59	89,80	90,50	89,46
3	5.029.235,51	91,48	91,20	88,87	84,68	85,75	84,18
4	6.710.625,39	88,63	88,26	85,15	79,56	80,98	78,88
5	8.394.510,46	85,77	85,31	81,42	74,43	76,21	73,59
6	10.080.894,41	82,92	82,36	77,69	69,30	71,43	68,28
7	11.769.780,96	80,05	79,41	73,95	64,15	66,64	62,97
8	13.461.173,82	77,19	76,45	70,21	59,00	61,85	57,64
9	15.155.076,70	74,32	73,48	66,46	53,84	57,05	52,31
10	16.851.493,33	71,44	70,51	62,71	48,67	52,24	46,98
11	18.550.427,45	68,56	67,54	58,95	43,50	47,43	41,63
12	20.251.882,78	65,68	64,56	55,18	38,32	42,60	36,28
13	21.955.863,08	62,79	61,58	51,41	33,13	37,77	30,92
14	23.662.372,08	59,90	58,60	47,63	27,93	32,94	25,55
15	25.371.413,54	57,00	55,61	43,85	22,72	28,09	20,17
16	27.082.991,22	54,10	52,61	40,06	17,51	23,24	14,78
17	28.797.108,87	51,20	49,61	36,27	12,29	18,39	9,39
18	30.513.770,28	48,29	46,61	32,47	7,06	13,52	3,99
19	32.232.979,22	45,38	43,60	28,67	1,83	8,65	1,42
20	33.954.739,46	42,46	40,59	24,86	0,82	3,77	0,64





**Gambar 5.6** Grafik *Remaining Life* Alternatif Struktur Perkerasan AC Base Elastik



**Gambar 5.7** Grafik *Remaining Life* Alternatif Struktur Perkerasan AC Base Viskoelastik

Berdasarkan grafik pendekatan elastik, diketahui bahwa *permanent deformation* mengalami penurunan yang cukup tajam dibandingkan dengan *fatigue* dan *rutting* sedangkan pada pendekatan viskoelastik, *rutting* dan *permanent deformation* memiliki penurunan yang serupa hingga tahun ke 7 setelah itu *permanent deformation* mengalami penurunan yang lebih tajam dibandingkan kerusakan *rutting*.

#### 5.4.2 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Alternatif CTB

Berdasarkan hasil analisis *KENPAVE* di atas, hasil yang didapatkan kurang efektif dalam menahan beban lalu lintas sehingga direncanakan tebal desain perkerasan alternatif. Berikut ini adalah rencana desain alternatif dan analisis tebal struktur perkerasan.

Alternatif 1

AC-WC = 50 mm

AC-BC = 300 mm

CTB = 150 mm

LPA Kelas A = 150 mm

Hasil tebal struktur perkerasan jalan yang telah ditentukan akan dianalisis menggunakan *KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik, sehingga didapatkan nilai regangan dan tegangan setiap pendekatan yang telah disajikan pada Tabel 5.40 dan Tabel 5.41 berikut ini.

**Tabel 5.40 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Elastik- Alternatif CTB**

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 4,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 4,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 65,0003</b>
1	0,0000262	0,0002142	0,0002015
2	0,0000587	0,0001091	0,0001921
3	0,0000068	0,0000914	0,0001702
<b>Maksimum</b>	0,0000587	0,0002142	0,0002015

**Tabel 5.41 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Viskoelastik-Alternatif *CTB***

<b>Titik Tinjau Pengulangan Beban</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 4,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 4,9997</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 65,0003</b>
1	0,000059	0,000219	0,000203
2	0,000052	0,000155	0,000209
3	0,000015	0,000092	0,000195
<b>Maksimum</b>	0,000059	0,000219	0,000209

Analisis beban lalu lintas dengan desain alternatif struktur perkerasan *CTB* menggunakan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.43 dan Tabel 5.44 sebagai berikut.

**Tabel 5.43 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif *CTB* dengan Pendekatan Elastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	4,555E+07	Nf > Nr (yes)
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	3,648E+07	Nd > Nr (yes)
33,9E+06	Nd <i>deformation</i>	4,796E+07	Nd > Nr (yes)

**Tabel 5.44 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif CTB dengan Pendekatan Viskoelastik**

<i>CESA5/20 Thn</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	4,408E+07	Nf > Nr (yes)
33,9E+06	Nd <i>rutting</i>	3,290E+07	Nd > Nr (yes)
33,9E+06	Nd deformation	4,072E+07	Nd > Nr (yes)

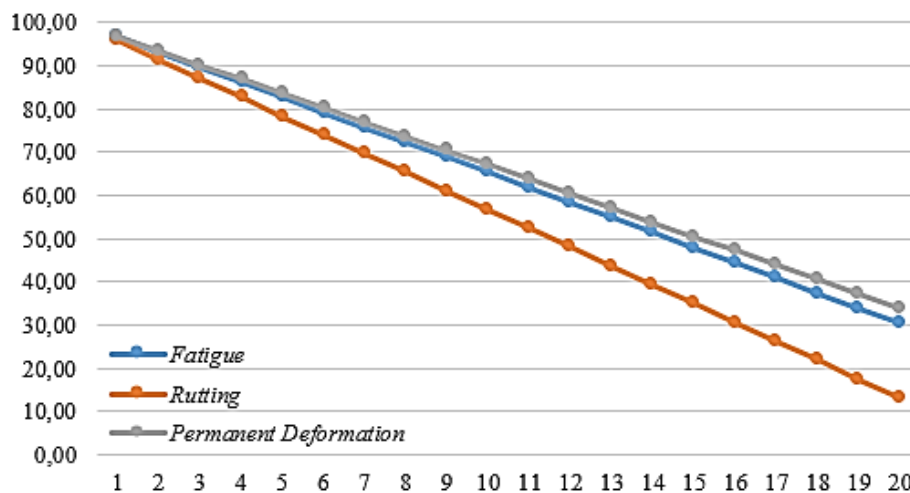
Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat dilanjutkan dengan perhitungan umur sisa layan struktur perkerasan jalan dengan Persamaan 3.7 dan dapat disajikan di Tabel 5.45 berikut ini

**Tabel 5.45 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif CTB (%)**

Tahun	Np	RL Fatigue		Rutting		Permanent Deformation	
		E	V	E	V	E	V
1	1.673.926,50	96,33	96,203	95,41	94,912	96,51	95,889
2	3.350.337,11	92,65	92,399	90,82	89,816	93,01	91,773
3	5.029.235,51	88,96	88,591	86,21	84,713	89,51	87,650
4	6.710.625,39	85,27	84,776	81,60	79,603	86,01	83,521
5	8.394.510,46	81,57	80,956	76,99	74,484	82,50	79,386
6	10.080.894,41	77,87	77,131	72,37	69,359	78,98	75,245
7	11.769.780,96	74,16	73,299	67,74	64,225	75,46	71,098
8	13.461.173,82	70,45	69,462	63,10	59,084	71,93	66,944
9	15.155.076,70	66,73	65,619	58,46	53,935	68,40	62,785
10	16.851.493,33	63,01	61,771	53,81	48,779	64,86	58,619
11	18.550.427,45	59,28	57,917	49,15	43,615	61,32	54,447
12	20.251.882,78	55,54	54,057	44,48	38,443	57,77	50,269

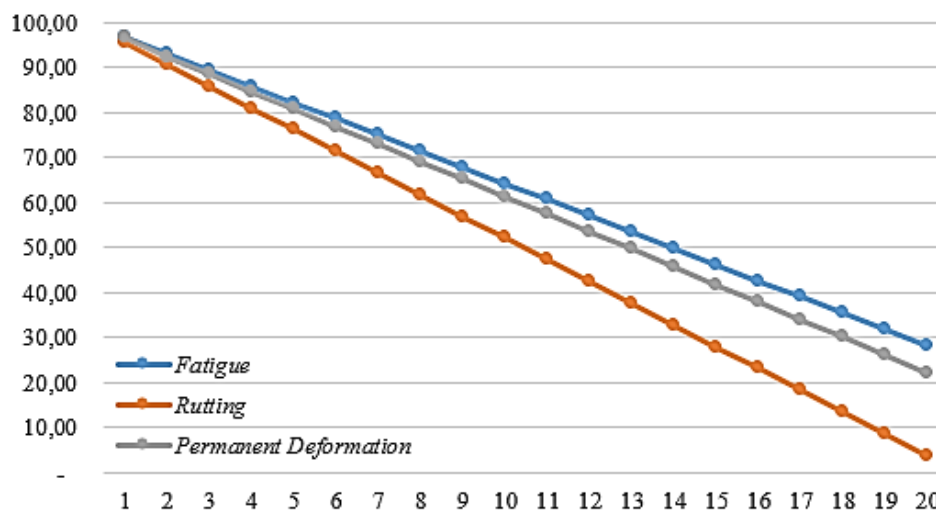
Lanjutan Tabel 5.45 Umur Sisa Layan Perkerasan Alternatif CTB (%)

Tahun	Np	RL Fatigue		Rutting		Permanent Deformation	
		E	V	E	V	E	V
13	21.955.863,08	51,80	50,191	39,81	33,264	54,22	46,085
14	23.662.372,08	48,06	46,320	35,14	28,077	50,66	41,894
15	25.371.413,54	44,31	42,443	30,45	22,882	47,10	37,697
16	27.082.991,22	40,55	38,560	25,76	17,680	43,53	33,494
17	28.797.108,87	36,79	34,671	21,06	12,470	39,96	29,285
18	30.513.770,28	33,02	30,777	16,35	7,252	36,38	25,070
19	32.232.979,22	29,24	26,877	11,64	2,026	32,79	20,848
20	33.954.739,46	25,46	22,971	6,92	1,028	29,20	16,620



**Gambar 5.8 Grafik Remaining Life Alternatif Struktur Perkerasan CTB Elastik**

Berdasarkan grafik pendekatan elastik dan viskoelastik diketahui bahwa *rutting* mengalami penurunan yang cukup tajam dibandingkan dengan *fatigue* dan *permanent deformation*. Berbeda dengan desain AC Base, *permanent deformation* pada desain CTB memiliki umur yang lebih panjang dibandingkan *fatigue* dan *rutting*.



**Gambar 5.9 Grafik *Remaining Life* Alternatif Struktur Perkerasan CTB Viskoelastik**

## 5.5 Pembahasan

Analisis telah dilakukan pada desain struktur perkerasan lentur pada ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dengan menggunakan metode mekanistik empiris yang menghasilkan *output* sebagai berikut.

1. Desain struktur perkerasan lentur ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017
2. Nilai regangan dan tegangan struktur perkerasan eksisting, Bina Marga 2017 dan alternatif desain perkerasan dari ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran menggunakan *software KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik
3. Desain alternatif struktur perkerasan lentur ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017
4. Perbandingan sisa umur layan pada desain struktur perkerasan eksisting, Bina Marga 2017 dan alternatif desain perkerasan.

### 5.5.1 Desain Struktur Perkerasan Lentur Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017

Desain eksisting pada Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran berdasarkan data yang didapat dari P2JN wilayah Jawa Barat. Perencanaan desain struktur perkerasan dengan Bina Marga 2017 berdasarkan data LHR, *CBR*, faktor distribusi jalur, faktor distribusi arah, nilai *VDF* didapatkan 2 desain perkerasan yaitu desain *AC Base* dan desain *CTB*. Berikut Tabel 5.46 merupakan rekapitulasi jenis dan tebal perkerasan pada penelitian ini

**Tabel 5.46 Rekapitulasi Tebal Desain Perkerasan**

Lapisan Perkerasan	Jenis Perkerasan	Desain Tebal Perkerasan (cm)				
		Eksisting	<i>AC Base</i>	<i>CTB</i>	Alternatif <i>AC Base</i>	Alternatif <i>CTB</i>
<i>Surface</i>	<i>AC-WC</i>	4	4	4	4	5
	<i>AC-BC</i>	-	6	-	6	-
<i>Base</i>	<i>AC-BC</i>	5	-	16	-	30
	<i>AC Base</i>	-	18	-	24,5	-
<i>Sub Base</i>	<i>CTB</i>	-	-	15	-	15
	LPA Kelas A	30	30	15	33	15

### 5.5.2 Regangan dan Tegangan Maksimum yang Terjadi Pada Struktur Perkerasan Dengan Program *KENPAVE* Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik

Berikut adalah nilai regangan dan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur perkerasan jalan dengan desain eksisting, Bina Marga 2017 dan juga alternatif desain perkerasan yang telah dirangkum pada Tabel 5.47.

**Tabel 5.47 Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Maksimum Pendekatan Elastik dan Viskoelastik**

Desain Perkerasan	Elastik						Viskoelastik					
	<i>Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent deformation</i>		<i>Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent deformation</i>	
	Tegangan (kPa)	Regangan ( $10^{-6}$ )	Tegangan (kPa)	Regangan ( $10^{-6}$ )	Tegangan (kPa)	Regangan ( $10^{-6}$ )	Tegangan (kPa)	Regangan ( $10^{-6}$ )	Tegangan (kPa)	Regangan ( $10^{-6}$ )	Tegangan (kPa)	Regangan ( $10^{-6}$ )
Desain Eksisting	428,122	0,999	454,683	0,0306	79,218	0,0801	392,466	0,0103	461,363	0,0336	82,488	0,0018
Desain AC Base	179,580	0,605	370,317	0,00206	21,745	0,00334	217,266	0,669	384,691	0,00232	22,581	0,00346
Desain CTB	405,091	0,665	519,119	0,00245	26,052	0,00285	357,325	0,671	526,383	0,00267	24,135	0,00301
Desain Alternatif AC Base	187,356	0,543	391,256	0,00204	14,128	0,00216	217,266	0,548	384,690	0,00219	22,851	0,00221
Desain Alternatif CTB	296,262	0,587	510,225	0,00214	14,140	0,00202	262,854	0,593	510,354	0,00219	13,894	0,00209



Tebal perkerasan eksisting yang telah diketahui dianalisis dengan *software KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik sehingga didapatkannya nilai regangan tegangan dengan nilai control kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* yang dapat dilihat pada Tabel 5.46 berikut ini.

**Tabel 5.48 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Desain Perkerasan Eksisting**

Elastik			
CESA20/LHR	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban (ESAL)	Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	7,926E+06	Nf<Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>rutting</i>	7,432E+06	Nd<Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>deformation</i>	0,09928E+06	Nd<Nr ( <i>no</i> )
Viskoelastik			
33,9E+06	Nf	7,19E+06	Nf<Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>rutting</i>	4,85E+06	Nd<Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>deformation</i>	0,0173E+06	Nd<Nr ( <i>no</i> )

Hasil dari perhitungan dengan persamaan didapatkan bahwa nilai *CESA* selama 20 tahun yaitu sebesar  $31,07 \times 10^6$  *ESAL*. Pada pendekatan elastik mampu menahan beban sebesar  $7,926 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $7,432 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $0,0993 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Untuk pendekatan viskoelastik mampu menahan beban sebesar  $7,19 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $4,85 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $0,017 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Berdasarkan analisis diatas, desain eksisting mengalami kegagalan dalam menahan beban sesuai dengan umur layan yang telah ditentukan.

**Tabel 5.49 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Desain Perkerasan AC Base**

Elastik			
<i>CESA20/LHR</i>	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )	Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	41,27E+06	Nf > Nr ( <i>yes</i> )
	Nd <i>rutting</i>	43,73E+06	Nd > Nr ( <i>yes</i> )
	Nd <i>deformation</i>	4,986E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )
Viskoelastik			
33,9E+06	Nf	29,70E+06	Nf < Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>rutting</i>	25,67E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>deformation</i>	4,252E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )

Pada desain *AC Base* dengan pendekatan elastik mampu menahan beban sebesar  $41,27 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $4,373 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $4,986 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Untuk pendekatan viskoelastik mampu menahan beban sebesar  $29,7 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $25,7 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $4,252 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Berdasarkan analisis diatas, kerusakan *permanent deformation* mengalami kegagalan dalam menahan beban.

**Tabel 5.50 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Desain Perkerasan CTB**

Elastik			
<i>CESA20/LHR</i>	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )	Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	30,23E+06	Nf < Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>rutting</i>	19,95E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>deformation</i>	10,14E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )
Viskoelastik			
33,9E+06	Nf	29,4E+06	Nf < Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>rutting</i>	13,6E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )
	Nd <i>deformation</i>	7,91E+06	Nd < Nr ( <i>no</i> )

Pada desain *CTB* dengan pendekatan elastik mampu menahan beban sebesar  $30,23 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $19,95 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $10,14 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Untuk pendekatan viskoelastik mampu menahan beban sebesar  $29,4 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $13,6 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $7,91 \times 10^6$  *ESAL* hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Berdasarkan analisis diatas, desain *CTB* mengalami kegagalan dalam menahan beban sesuai dengan umur layan yang telah ditentukan.

### 5.5.3 Desain Alternatif Struktur Perkerasan Lentur Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017

Pada analisis regangan tegangan, desain eksisting dan desain dengan Bina Marga 2017 tidak dapat menahan beban yang terjadi pada ruas jalan tersebut sehingga diperlukan adanya desain alternatif yang dapat menahan beban lalu lintas hingga umur layan yang telah ditentukan. Desain *AC Base* memiliki tebal perkerasan total yaitu 69,5 cm dengan tebal *AC-WC* sebesar 6 cm, *AC-BC* sebesar 6 cm, *AC Base* sebesar 24,5 cm dan LPA sebesar 33 cm sedangkan pada desain *CTB* memiliki tebal perkerasan total yaitu 65 cm dengan tebal *AC-WC* sebesar 5 cm, *AC-BC* sebesar 30 cm, *CTB* sebesar 15 cm dan LPA sebesar 15 cm.

**Tabel 5.51 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Alternatif Desain Perkerasan *AC Base***

Elastik			
<i>CESA20/LHR</i>	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )	Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	59,01E+06	Nf > Nr (yes)
	Nd <i>rutting</i>	45,19E+06	Nd > Nr (yes)
	Nd <i>deformation</i>	35,28E+06	Nd > Nr (yes)
Viskoelastik			
33,9E+06	Nf	57,15E+06	Nf > Nr (yes)
	Nd <i>rutting</i>	32,83E+06	Nd > Nr (yes)
	Nd <i>deformation</i>	31,78E+06	Nd > Nr (yes)

Pada pendekatan elastik mampu menahan beban sebesar  $59,01 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $45,19 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $35,28 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Untuk pendekatan viskoelastik mampu menahan beban sebesar  $57,15 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $32,83 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $31,78 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Berdasarkan analisis diatas, desain *AC Base* dapat menahan kerusakan umur layan yang telah ditentukan, hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Pradasari (2023) yang mana adanya penambahan ketebalan pada lapisan *AC Base* dan *LPA* dapat mempengaruhi nilai tegangan dan regangan pada desain struktur perkerasan sehingga desain alternatif yang diberikan mampu menahan beban lalu lintas pada ruas jalan tersebut hingga umur rencana yang telah ditentukan.

**Tabel 5.52 Rekapitulasi Analisis Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan pada Alternatif Desain Perkerasan CTB**

Elastik			
<i>CESA5</i>	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban (ESAL)	Analisis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	45,55E+06	Nf > Nr (yes)
	Nd <i>rutting</i>	36,48E+06	Nd > Nr (yes)
	Nd <i>deformation</i>	47,96E+06	Nd > Nr (yes)
Viskoelastik			
33,9E+06	Nf	44,08E+06	Nf > Nr (yes)
	Nd <i>rutting</i>	32,90E+06	Nd > Nr (yes)
	Nd <i>deformation</i>	40,72E+06	Nd > Nr (yes)

Pada pendekatan elastik mampu menahan beban sebesar  $45,55 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $36,48 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $47,96 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Untuk pendekatan viskoelastik mampu menahan beban sebesar  $44,08 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue*,  $32,90 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *rutting*,  $40,72 \times 10^6$  ESAL hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Berdasarkan analisis diatas, desain *CTB* dapat menahan kerusakan umur layan yang telah ditentukan.

Alternatif desain perkerasan tidak selalu dengan penambahan tebal perkerasan, hal tersebut dapat dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh Karnurin (2020) dimana alternatif yang diberikan berupa pengurangan tebal desain struktur pada lapisan *CTB* dikarenakan desain Bina Marga memiliki ketebalan yang berlebih sehingga dianggap desain perkerasan tersebut tidak efisien dan ekonomis.

#### 5.5.4 Perbandingan Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan

Analisis dapat dilanjutkan untuk mendapatkan umur sisa layan struktur perkerasan pada desain Bina Marga 2017 maupun desain eksisting.

**Tabel 5.53 Rekapitulasi Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan**

Jenis Perkerasan	Pendekatan Elastis			Pendekatan Viskoelastis		
	Jenis Kerusakan			Jenis Kerusakan		
	<i>Fatigue</i> (ESAL 10 <sup>6</sup> )	<i>Rutting</i> (ESAL 10 <sup>6</sup> )	<i>Permanent Deformation</i> (ESAL 10 <sup>6</sup> )	<i>Fatigue</i> (ESAL 10 <sup>6</sup> )	<i>Rutting</i> (ESAL 10 <sup>6</sup> )	<i>Permanent Deformation</i> (ESAL 10 <sup>6</sup> )
Desain Eksisting	6,71	6,71	1,67	6,71	3,35	1,67
Desain <i>AC Base</i>	39,7	42,9	3,35	28,7	25,3	3,35
Desain <i>CTB</i>	28,7	18,5	10,1	28,7	13,4	6,71
Desain Alternatif <i>AC Base</i>	57,4	44,5	34,9	55,8	33,9	33,9
Desain Alternatif <i>CTB</i>	44,5	34,9	47,7	42,9	33,9	39,7

**Tabel 5.54 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan (Tahun)**

Jenis Perkerasan	Pendekatan Elastis			Pendekatan Viskoelastis		
	Jenis Kerusakan			Jenis Kerusakan		
	<i>Fatigue</i> (tahun)	<i>Rutting</i> (tahun)	<i>Permanent Deformation</i> (tahun)	<i>Fatigue</i> (tahun)	<i>Rutting</i> (tahun)	<i>Permanent Deformation</i> (tahun)
Desain Eksisting	4	4	1	4	2	1
Desain <i>AC Base</i>	25	27	2	17	15	2
Desain <i>CTB</i>	17	11	6	17	8	4
Desain Alternatif <i>AC Base</i>	36	28	22	35	20	20
Desain Alternatif <i>CTB</i>	28	22	30	27	20	25

Pada nilai umur sisa layan desain eksisting dengan permodelan elastik telah terjadi kerusakan secara beruntun yaitu *fatigue* tahun ke – 5, *rutting* tahun ke – 4 dan *permanent deformation* pada tahun – 1 sedangkan pada pendekatan viskoelastik terjadi kerusakan secara beruntun yaitu *fatigue* tahun ke – 4, kerusakan *rutting* tahun ke – 3 dan kerusakan *permanent deformation* pada tahun – 1 sehingga desain eksisting dianggap tidak mampu dalam menahan beban yang diberikan oleh lalu lintas. Berdasarkan pendekatan yang digunakan yaitu pendekatan elastik dan viskoelastik, elastik memiliki umur layan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan viskoelastik, begitu juga pada penelitian yang telah dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021) yang menggunakan desain *CTB* dan Satria (2022) yang menggunakan desain perkerasan *AC Base* memiliki umur layan dengan pendekatan elastik lebih baik daripada umur layan dengan pendekatan viskoelastik.

Perbedaan antara desain Bina Marga 2017 terlihat pada perbedaan terjadinya kerusakan seperti pada desain *AC Base* memiliki umur layan pada *rutting* lebih tinggi daripada desain *CTB*, hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan pada ketebalan *surface* desain tersebut. Pada desain *AC Base* memiliki tebal *surface* sebesar 12 cm sedangkan pada Desain *CTB* hanya memiliki tebal *surface* sebesar 5 cm. Perbedaan terjadi lagi pada umur sisa layan pada kerusakan *permanent deformation*, desain *CTB* memiliki nilai umur sisa layan pada kerusakan *permanent deformation* lebih tinggi daripada desain *AC Base*. Hal itu dikarenakan adanya perbedaan material pada lokasi kerusakan *permanent deformation* yaitu pada lapisan *subbase*, Desain *CTB* menggunakan campuran agregat dengan sejumlah semen *portland* yang memiliki kekakuan dan kekerasan yang lebih tinggi selain itu material *CTB* memiliki daya tahan dalam menghadapi kerusakan akibat perubahan temperatur yang disebabkan oleh cuaca.

Pada penelitian tidak terdapat adanya perhitungan RAB pada setiap desain struktur sehingga pemilihan desain struktur perkerasan berdasarkan faktor ekonomis dilihat dari tebal perkerasannya, berdasarkan tebal perkerasan yang didapatkan dan memenuhi pembebanan lalu lintas maka diambil desain alternatif *CTB* yang lebih ekonomis dibandingkan dengan alternatif *AC Base*. Pemilihan desain perkerasan ekonomis berdasarkan tebal perkerasan juga dilakukan oleh

Saputro dll (2021) yang mana pada penelitian tersebut membandingkan desain perkerasan Bina Marga 2017 dengan *AASHTO* 1993, dikarenakan desain Bina Marga 2017 memiliki ketebalan yang lebih kecil daripada *AASHTO* 1993 maka desain perkerasan yang dipilih adalah desain perkerasan Bina Marga 2017.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perkerasan eksisting serta desain alternatif Bina Marga 2017 pada ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Desain perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 diperoleh desain dengan  $AC \geq 100$  mm memiliki tebal *AC-WC* sebesar 40 mm, *AC-BC* sebesar 60 mm, *AC Base* sebesar 145 mm dan LPA sebesar 300 mm. Pada desain *AC + CTB* didapatkan tebal *AC* sebesar 40 mm, *AC-BC* sebesar 135 mm, *CTB* sebesar 150 mm dan LPA sebesar 150 mm.
2. Hasil dari perhitungan dengan persamaan didapatkan bahwa nilai CESA selama 20 tahun yaitu sebesar  $33,95 \times 10^6$  ESAL. Pada struktur perkerasan eksisting baik dari pendekatan elastik dan viskoelastik mengalami kerusakan *fatigue, rutting* dan *permanent deformation* sebelum umur rencana yang telah ditentukan. Pada desain *AC Base* dengan pendekatan elastik hanya terjadi kerusakan sebelum umur rencana yaitu pada kerusakan *permanent deformation* sedangkan pada pendekatan viskoelastik mengalami kerusakan *fatigue, rutting* dan *permanent deformation* sebelum umur rencana yang telah ditentukan. Desain *CTB* mengalami kerusakan *fatigue, rutting* dan *permanent deformation* sebelum umur rencana yang telah ditentukan pada pendekatan elastik dan viskoelastik.
3. Berdasarkan hasil penelitian dan perbandingan diatas, kondisi eksisting dan desain Bina Marga 2017 tidak mampu menahan beban lalu lintas yang pada jalan tersebut sehingga diperlukannya desain alternatif. Desain alternatif tersebut adalah *AC Base* memiliki tebal *AC-WC* sebesar 60 mm, *AC-BC* sebesar 60 mm, *AC Base* sebesar 245 mm dan LPA sebesar 330 mm. Pada desain *CTB*



didapatkan tebal *AC-WC* sebesar 50 mm, *AC-BC* sebesar 300 mm, *CTB* sebesar 150 mm dan *LPA* sebesar 150 mm.

4. Perbandingan desain dengan pendekatan elastik memiliki umur layan lebih panjang dibandingkan dengan pendekatan viskoelastik, dikarenakan adanya penambahan parameter suhu dan *creep compliance* mempengaruhi perkerasan tersebut. Perbandingan desain *AC Base* memiliki umur layan pada *rutting* lebih tinggi daripada desain *CTB*, hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan pada ketebalan *surface* desain tersebut. Pada desain *AC Base* memiliki tebal *surface* sebesar 12 cm sedangkan pada Desain *CTB* hanya memiliki tebal *surface* sebesar 5 cm. Desain *CTB* memiliki nilai umur sisa layan pada kerusakan *permanent deformation* lebih tinggi daripada desain *AC Base*. Hal itu dikarenakan adanya perbedaan material pada lokasi kerusakan *permanent deformation* yaitu pada lapisan *subbase*

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Mempertimbangkan penggunaan jenis perkerasan lainnya pada tabel desain perkerasan Bina Marga 2017
2. Perlu dilakukan perhitungan desain dengan menggunakan metode lain yang mungkin dapat digunakan
3. Perlu adanya perhitungan dan perbandingan jumlah biaya dari hasil desain perkerasan yang telah direncanakan dan metode yang lebih efektif dan efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Statistika Provinsi Jawa Barat. 2021. *Output Tabel Dinamis Wisatawan*.  
<https://jabar.bps.go.id/indicator/16/220/1/jumlah-kunjungan-wisatawan-ke-objek-wisata.html>
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Pearson Education, 2<sup>nd</sup> Edition.
- Juhindra, M. H., dan Fauziah, M. 2020. Studi Komparasi Desain Struktur Perkerasan Dengan Metode AASHTO 1993, Bina Marga 2017 Dengan Menggunakan Program *KENPAVE* Pada Ruas Jalan Yogyakarta-Bantul.
- Karnurin, F dan Fauziah, M 2020. Perbandingan Desain Perkerasan Lentur Metode Empirik Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program *Kenpave* Pada Ruas Jalan Milir-Sentolo.
- Lia, N., dan Mahardi, P. 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi *KENPAVE*.
- Mukhlis, M., dan Abduh, M. 2021. Overlay Struktural Perkerasan Jalan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2017) (Studi Kasus Jalan Hasyim Ashari Kota Jombang). In *Seminar Keinsinyuran*.
- Okky Saputra Sirait, F., Supiyan, dan Elvina, I. 2020. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) Menggunaka Metode Manual Desain Perkerasn Tahun 2017 (*Vol. 3, Issue 2*).
- Pambudi, R. A., dan Fauziah, M. 2021. *UP 303-314 Radityo* – Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program *KENPAVE* Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik (Studi Kasus Jalan Simpang Pundu-Tumbang Samba)

- Pradasari, N. K. 2023. Evaluasi Rancangan Struktur Perkerasan Untuk Memprediksi Umur Layan Menggunakan Metode Bina Marga 2017, *AASHTO* 1993 Dan Metode Mekanistik Empirik *KENPAVE*.
- Putra, J., dan Tajudin, A. N. 2021. Desain Ulang Dan Analisis Respons Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Pantura Ruas Tangerang-Serang (*Vol. 4, Issue 1*).
- Ramadhani, R. I., dan Fauziah, M. 2018. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program *KENPAVE* Pada Ruas Jalan Jogja-Solo.
- Republik Indonesia. 2004. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/40785/uu-no-38-tahun-2004>
- Saputra, A. (2022). Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur Jalan Di Atas Tanah Rawan Longsor.
- Saputro, W. T., Yudianto, E. A., dan Ma'ruf, A. 2021. Studi Perbandingan Metode Bina Marga 2017 Dan *AASHTO* 1993 Dalam Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) Pada Ruas Jalan Tol Seksi 4 Balikpapan-Samarinda Kalimantan Timur ( STA 10+000-STA 13+000). In *Student Journal GELAGAR* (Vol. 3, Issue 1).
- Satria, M. I. F. 2022. Analisis Perbandingan Desain Mekanistik Empiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik Dan Viskoelastik : Studi Kasus Pada Ruas Jalan Milir-Sentolo.
- Sumarsono, A., dan Fauziah, M. 2022. Evaluasi Kondisi Perkerasan Penanganan Dan Nilai Sisa Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik Empirik (Studi Kasus: Jalan Jogja-Solo Km 14+ 800–16+ 800). *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 9(1), 10-27.
- Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. NOVA. Bandung
- Yonder, E. J., dan M. W. Witczak. (1975). *Principles of Pavement Design. Second Edition*, John Wiley & Sons Inc., New York.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1. Data Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran**

DATA LALU LINTAS – PPK 3.2																			
LALU LINTAS HARIAN RATA – RATA DAN RASIO VOLUME KAPASITAS																			
NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	Kelas Kendaraan (kend/hari)													
						1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	7A	7B	7C	B		
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran																			
1	066		CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	10.052	2.071	1.278	1.068	145	81	859	467	112	15	17	52		
2	065		KALAPAGENEK - CIMERAK	20,830	2020	2.906	178	184	302	11	10	15	845	6	0	0	7		
NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	Prosentase Kendaraan				Volume kendaraan (kend/hari)	LHRT (kend/hari)								
						MC	LV	HV	UM										
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran																			
1	066		CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	62,85%	32,82%	4,21%	0,33%	15.994	5.890								
2	065		KALAPAGENEK - CIMERAK	20,830	2020	65,41%	15,05%	19,37%	0,17%	4.447	1.531								
NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	DERAJAT KEJENUHAN (DS)													
						2022	2026	2031	2036	2041	2046	2051	2056	2061					
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran																			
1	066		CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	0,47	0,54	0,64	0,76	0,90	1,07	1,27	1,51	1,79					
2	065		KALAPAGENEK - CIMERAK	20,830	2020	0,13	0,15	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,43	0,51					
NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	LEVEL OF SERVICE (LOS)													
						2022	2026	2031	2036	2041	2046	2051	2056	2061					
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran																			
1	066		CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	C	C	C	D	E	F	F	F	F					
2	065		KALAPAGENEK - CIMERAK	20,830	2020	A	A	A	B	B	B	B	B	C					

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

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0,00000 (STRAIN)	0,08404	550,000 -3,695E-04	1264,883 5,423E-04	548,493 -3,695E-04	1122,382 3,609E-04
1	3,99970 (STRAIN)	0,08445	454,683 1,134E-04	461,238 1,217E-04	390,210 3,133E-05	232,576 3,968E-05
1	40,00000 (STRAIN)	0,08229	203,403 6,631E-04	203,992 6,638E-04	-808,112 -5,170E-04	-673,323 -5,170E-04
1	40,00030 (STRAIN)	0,06795	75,968 7,241E-04	78,138 1,154E-03	6,434 -5,791E-04	13,379 -5,791E-04
2	0,00000 (STRAIN)	0,08523	550,000 -2,836E-04	1218,054 5,587E-04	556,298 -2,836E-04	952,473 2,207E-04
2	3,99970 (STRAIN)	0,08549	303,117 4,418E-05	508,636 3,058E-04	104,893 -2,081E-04	325,876 5,347E-05
2	40,00000 (STRAIN)	0,08413	159,516 4,500E-04	160,554 4,512E-04	-655,200 -5,005E-04	-296,909 -5,005E-04
2	40,00030 (STRAIN)	0,07120	79,503 7,904E-04	79,649 1,143E-03	6,789 -6,182E-04	17,868 -6,182E-04
3	0,00000 (STRAIN)	0,08288	0,000 -3,770E-04	709,957 5,291E-04	-2,029 -3,770E-04	321,792 3,511E-05
3	3,99970 (STRAIN)	0,08398	39,395 3,056E-04	267,324 1,441E-04	39,395 -1,460E-04	428,122 9,990E-05
3	40,00000 (STRAIN)	0,08346	127,320 2,971E-04	127,320 2,971E-04	-529,828 -4,696E-04	-43,223 -4,696E-04
3	40,00030 (STRAIN)	0,07169	79,218 8,013E-04	79,218 1,126E-03	6,839 -6,230E-04	19,047 -6,230E-04

**Lampiran 3. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Viscoelastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000 (STRAIN)	0.09046	550.000 -3.619E-04	1434.132 6.069E-04	785.079 -3.674E-04	1386.861 5.326E-04
1	3.99970 (STRAIN)	0.08716	461.363 3,361E-04	464.681 1.794E-04	362.690 2.004E-05	211.491 2.491E-05
1	40.00000 (STRAIN)	0.06920	79.278 8.599E-04	80.323 8.694E-04	-84.055 -6.100E-04	-59.030 -6.100E-04
1	40.00030 (STRAIN)	0.06920	79.277 1.155E-03	81.483 1.208E-03	6.257 -6.100E-04	13.759 -6.100E-04
2	0.00000 (STRAIN)	0.08900	550.000 -3.819E-04	1014.997 5.517E-04	388.002 -3.843E-04	855.663 3.132E-04
2	3.99970 (STRAIN)	0.08760	304.173 7.813E-05	494.848 3.645E-04	101.830 -2.292E-04	293.135 5.480E-05
2	40.00000 (STRAIN)	0.07250	82.490 8.832E-04	82.548 8.837E-04	-87.941 -6.507E-04	-54.945 -6.507E-04
2	40.00030 (STRAIN)	0.07250	82.488 1.184E-03	82.615 1.187E-03	6.580 -6.507E-04	18.764 -6.507E-04
3	0.00000 (STRAIN)	0.08757	0.000 -3.608E-04	865.138 5.154E-04	276.344 -3.624E-04	678.172 2.359E-04
3	3.99970 (STRAIN)	0.08559	41.629 -1.617E-04	269.208 1.817E-04	41.629 -1.617E-04	392.466 1,029E-04
3	40.00000 (STRAIN)	0.07299	81.979 8.708E-04	81.979 8.708E-04	-87.580 -6.553E-04	-51.375 -6.553E-04
3	40.00030 (STRAIN)	0.07299	81.979 1.166E-03	81.979 1.166E-03	6.621 -6.553E-04	20.104 -6.553E-04

**Lampiran 4. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan *AC Base* Desain Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Elastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL) P. STRAIN
1	0,00000 (STRAIN)	0,04714	550,000 1,889E-05	678,991 1,850E-04	548,491 1,889E-05	640,289 1,357E-04
1	9,99970 (STRAIN)	0,04547	370,317 2,057E-04	375,475 1,947E-04	174,896 -3,927E-05	179,580 -6,051E-05
1	10,00000 (STRAIN)	0,04547	370,307 1,887E-04	375,466 1,947E-04	174,890 -3,927E-05	179,575 -3,381E-05
1	58,00000 (STRAIN)	0,03496	20,428 2,297E-04	20,645 2,317E-04	-21,633 -1,488E-04	-18,663 -1,488E-04
1	58,00030 (STRAIN)	0,03496	20,427 3,099E-04	20,892 3,211E-04	1,447 -1,488E-04	2,169 -1,488E-04
2	0,00000 (STRAIN)	0,04674	550,000 -1,056E-05	724,886 2,040E-04	556,298 -1,056E-05	694,905 1,658E-04
2	9,99970 (STRAIN)	0,04606	210,648 6,877E-05	277,536 1,468E-04	119,594 -3,746E-05	133,841 -2,004E-05
2	10,00000 (STRAIN)	0,04606	210,644 6,877E-05	277,529 1,468E-04	119,589 -3,746E-05	133,836 -2,004E-05
2	58,00000 (STRAIN)	0,03572	21,542 2,446E-04	21,575 2,449E-04	-22,860 -1,550E-04	-20,447 -1,550E-04
2	58,00030 (STRAIN)	0,03572	21,541 3,303E-04	21,615 3,321E-04	1,458 -1,550E-04	2,295 -1,550E-04
3	0,00000 (STRAIN)	0,04458	0,000 -1,699E-04	277,375 1,857E-04	-2,029 -1,699E-04	184,794 6,787E-05
3	9,99970 (STRAIN)	0,04584	96,617 -1,774E-05	191,103 9,249E-05	96,617 -1,774E-05	103,668 -9,516E-06
3	10,00000 (STRAIN)	0,04584	96,619 -1,774E-05	191,091 9,248E-05	96,619 -1,774E-05	103,662 -9,518E-06
3	58,00000 (STRAIN)	0,03587	21,745 2,473E-04	21,745 2,473E-04	-23,088 -1,562E-04	-20,773 -1,562E-04
3	58,00030 (STRAIN)	0,03587	21,745 3,341E-04	21,745 3,341E-04	1,458 -1,562E-04	2,320 -1,562E-04



**Lampiran 5. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan Desain *AC Base* Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Viscoelastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.04848	550.000	624.683	527.873	611.968
	(STRAIN)		4.293E-05	1.847E-04	3.992E-05	1.619E-04
1	9.99970	0.04642	384.691	389.658	209.877	217.266
	(STRAIN)		2.317E-04	2.392E-04	-3.450E-05	-6.687E-05
1	10.00000	0.04642	384.680	389.648	209.876	217.264
	(STRAIN)		2.317E-04	2.392E-04	-3.450E-05	-2.700E-05
1	58.00000	0.03562	21.182	21.412	-22.363	-19.219
	(STRAIN)		2.377E-04	2.398E-04	-1.542E-04	-1.542E-04
1	58.00030	0.03562	21.183	21.674	1.536	2.301
	(STRAIN)		3.206E-04	3.325E-04	-1.542E-04	-1.542E-04
2	0.00000	0.04733	550.000	445.156	281.766	424.097
	(STRAIN)		-6.652E-05	1.756E-04	-6.929E-05	1.414E-04
2	9.99970	0.04703	215.668	287.486	121.631	154.490
	(STRAIN)		8.422E-05	1.951E-04	-6.197E-05	-8.708E-06
2	10.00000	0.04703	215.664	287.482	121.625	154.488
	(STRAIN)		8.422E-05	1.951E-04	-6.197E-05	-8.705E-06
2	58.00000	0.03643	22.365	22.401	-23.657	-21.094
	(STRAIN)		2.534E-04	2.538E-04	-1.608E-04	-1.608E-04
2	58.00030	0.03643	22.365	22.443	1.553	2.442
	(STRAIN)		3.422E-04	3.441E-04	-1.608E-04	-1.608E-04
3	0.00000	0.04689	0.000	402.426	227.655	379.399
	(STRAIN)		-8.700E-05	1.732E-04	-8.972E-05	1.353E-04
3	9.99970	0.04678	94.814	178.360	94.766	111.273
	(STRAIN)		-2.200E-05	1.032E-04	-2.276E-05	3.185E-06
3	10.00000	0.04678	94.816	178.348	94.768	111.269
	(STRAIN)		-2.199E-05	1.031E-04	-2.275E-05	3.186E-06
3	58.00000	0.03657	22.581	22.581	-23.897	-21.437
	(STRAIN)		2.563E-04	2.563E-04	-1.620E-04	-1.620E-04
3	58.00030	0.03657	22.581	22.581	1.554	2.470
	(STRAIN)		3.462E-04	3.462E-04	-1.620E-04	-1.620E-04

**Lampiran 6. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan *CTB* Desain Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Elastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0,00000 (STRAIN)	0,04950	550,000 -1,496E-05	729,174 2,150E-04	548,492 -1,496E-05	683,210 1,565E-04
1	3,99970 (STRAIN)	0,04912	519,119 2,451E-04	520,431 1,856E-04	385,456 1,386E-05	200,698 1,553E-05
1	4,00000 (STRAIN)	0,04912	519,114 1,840E-04	520,424 1,857E-04	385,431 1,385E-05	405,078 1,552E-05
1	50,00000 (STRAIN)	0,03788	24,332 2,842E-04	24,651 2,870E-04	-28,709 -1,932E-04	-23,877 -1,932E-04
1	50,00030 (STRAIN)	0,03788	26,052 2,851E-04	25,011 4,015E-04	0,401 -1,932E-04	1,641 -1,932E-04
2	0,00000 (STRAIN)	0,04904	550,000 -2,469E-05	757,639 2,316E-04	556,299 -2,469E-05	701,011 1,595E-04
2	3,99970 (STRAIN)	0,04875	323,150 6,969E-05	465,308 2,506E-04	177,568 -1,156E-04	296,487 3,576E-05
2	4,00000 (STRAIN)	0,04875	323,140 6,969E-05	465,299 2,506E-04	177,560 -1,156E-04	296,472 3,575E-05
2	50,00000 (STRAIN)	0,03884	25,798 3,047E-04	25,845 3,051E-04	-30,625 -2,031E-04	-26,301 -2,031E-04
2	50,00030 (STRAIN)	0,03884	25,797 2,135E-04	25,901 4,160E-04	0,282 -2,031E-04	1,806 -2,031E-04
3	0,00000 (STRAIN)	0,04681	0,000 -1,741E-04	300,755 2,113E-04	-2,029 -1,741E-04	172,928 4,858E-05
3	3,99970 (STRAIN)	0,04751	30,258 -1,504E-04	288,586 1,784E-04	30,258 -1,504E-04	405,091 6,651E-05
3	4,00000 (STRAIN)	0,04751	30,263 -1,504E-04	288,584 1,784E-04	30,263 -1,504E-04	200,690 6,650E-05
3	50,00000 (STRAIN)	0,03901	26,052 3,083E-04	26,052 3,083E-04	-30,970 -2,049E-04	-26,704 -2,049E-04
3	50,00030 (STRAIN)	0,03901	24,332 2,584E-04	26,052 4,184E-04	0,257 -2,049E-04	1,846 -2,049E-04

**Lampiran 7. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan Desain *CTB* Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Viscoelastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.04836	550.000	762.262	680.962	752.107
	(STRAIN)		8.422E-05	2.060E-04	8.431E-05	1.900E-04
1	3.99970	0.04675	526.383	526.914	347.987	357.325
	(STRAIN)		2.672E-04	2.680E-04	-8.035E-06	-7.246E-06
1	4.00000	0.04675	526.378	526.909	347.972	357.306
	(STRAIN)		2.672E-04	2.680E-04	-8.041E-06	-7.255E-06
1	50.00000	0.03666	22.625	22.896	-24.285	-20.066
	(STRAIN)		2.537E-04	2.561E-04	-1.685E-04	-1.685E-04
1	50.00030	0.03666	22.625	23.202	1.497	2.592
	(STRAIN)		2.421E-04	3.560E-04	-1.685E-04	-1.685E-04
2	0.00000	0.04621	550.000	480.530	347.053	455.098
	(STRAIN)		-2.750E-05	1.730E-04	-2.838E-05	1.330E-04
2	3.99970	0.04560	324.946	449.016	168.553	249.119
	(STRAIN)		1.196E-04	3.066E-04	-1.199E-04	3.031E-08
2	4.00000	0.04560	324.938	449.006	168.548	249.106
	(STRAIN)		1.196E-04	3.066E-04	-1.199E-04	2.290E-08
2	50.00000	0.03752	23.915	23.955	-25.903	-22.062
	(STRAIN)		2.713E-04	2.716E-04	-1.771E-04	-1.771E-04
2	50.00030	0.03752	23.915	24.002	1.429	2.787
	(STRAIN)		2.663E-04	3.684E-04	-1.771E-04	-1.771E-04
3	0.00000	0.04530	0.000	399.051	253.200	373.928
	(STRAIN)		-5.822E-05	1.607E-04	-5.946E-05	1.207E-04
3	3.99970	0.04390	33.938	281.197	33.938	357.325
	(STRAIN)		-1.551E-04	2.185E-04	-1.551E-04	6.708E-05
3	4.00000	0.04390	33.943	281.200	33.943	164.843
	(STRAIN)		-1.551E-04	2.185E-04	-1.551E-04	4.007E-05
3	50.00000	0.03768	24.135	24.135	-26.191	-22.382
	(STRAIN)		2.742E-04	2.742E-04	-1.787E-04	-1.787E-04
3	50.00030	0.03768	24.135	24.135	1.413	2.832
	(STRAIN)		3.014E-04	3.704E-04	-1.787E-04	-1.787E-04

**Lampiran 8. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan Alternatif *AC Base* Desain Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Elastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000 (STRAIN)	0.03828	550.000 8.172E-05	583.081 1.257E-04	548.504 8.174E-05	563.403 1.007E-04
1	11.99970 (STRAIN)	0.03627	391.256 2.042E-04	393.488 2.038E-04	185.026 -3.943E-05	187.356 -5.428E-05
1	12.00000 (STRAIN)	0.03627	391.247 2.012E-04	393.479 2.038E-04	185.025 -3.942E-05	187.351 -3.942E-05
1	67.50000 (STRAIN)	0.02824	13.460 1.519E-04	13.570 1.528E-04	-14.116 -9.632E-05	-12.618 -9.632E-05
1	67.50030 (STRAIN)	0.02824	13.460 2.049E-04	13.698 2.107E-04	0.994 -9.632E-05	1.355 -9.632E-05
2	0.00000 (STRAIN)	0.03733	550.000 5.793E-05	620.579 1.397E-04	556.293 5.792E-05	610.877 1.273E-04
2	11.99970 (STRAIN)	0.03630	228.217 7.790E-05	294.209 1.549E-04	132.571 -3.368E-05	138.271 -2.703E-05
2	12.00000 (STRAIN)	0.03630	228.214 7.790E-05	294.204 1.549E-04	132.568 -3.368E-05	138.269 -2.703E-05
2	67.50000 (STRAIN)	0.02868	14.029 1.597E-04	14.047 1.599E-04	-14.766 -9.945E-05	-13.616 -9.945E-05
2	67.50030 (STRAIN)	0.02868	14.148 2.158E-04	14.067 2.167E-04	0.985 -9.945E-05	1.382 -9.945E-05
3	0.00000 (STRAIN)	0.03508	0.000 -1.009E-04	171.974 1.206E-04	-2.029 -1.009E-04	100.330 2.941E-05
3	11.99970 (STRAIN)	0.03598	112.321 -1.037E-05	204.160 9.677E-05	107.760 -1.569E-05	112.321 -1.569E-05
3	12.00000 (STRAIN)	0.03598	112.324 -1.037E-05	204.152 9.677E-05	107.757 -1.569E-05	112.323 -1.569E-05
3	67.50000 (STRAIN)	0.02876	14.128 1.611E-04	14.128 1.611E-04	-14.879 -9.997E-05	-13.792 -9.997E-05
3	67.50030 (STRAIN)	0.02876	14.029 2.177E-04	14.128 2.177E-04	0.984 -9.997E-05	1.388 -9.997E-05

**Lampiran 9. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan Alternatif *AC Base* Desain Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Viskoelastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.04848	550.000	624.683	527.873	611.968
	(STRAIN)		4.293E-05	1.847E-04	3.992E-05	1.619E-04
1	11.99970	0.04642	384.691	389.658	209.877	217.266
	(STRAIN)		2.193E-04	2.392E-04	-3.450E-05	-5.481E-05
1	12.00000	0.04642	384.680	389.648	209.876	217.264
	(STRAIN)		2.317E-04	2.392E-04	-3.450E-05	-2.700E-05
1	67.50000	0.03562	21.182	21.412	-22.363	-19.219
	(STRAIN)		2.377E-04	2.398E-04	-1.542E-04	-1.542E-04
1	67.50030	0.03562	21.183	21.674	1.536	2.301
	(STRAIN)		2.115E-04	3.325E-04	-1.542E-04	-1.542E-04
2	0.00000	0.04733	550.000	445.156	281.766	424.097
	(STRAIN)		-6.652E-05	1.756E-04	-6.929E-05	1.414E-04
2	11.99970	0.04703	215.668	287.486	121.631	154.490
	(STRAIN)		8.422E-05	1.951E-04	-6.197E-05	-8.708E-06
2	12.00000	0.04703	215.664	287.482	121.625	154.488
	(STRAIN)		8.422E-05	1.951E-04	-6.197E-05	-8.705E-06
2	67.50000	0.03643	22.365	22.401	-23.657	-21.094
	(STRAIN)		2.018E-04	2.538E-04	-1.608E-04	-1.608E-04
2	67.50030	0.03643	22.365	22.443	1.553	2.442
	(STRAIN)		3.422E-04	3.441E-04	-1.608E-04	-1.608E-04
3	0.00000	0.04689	0.000	402.426	227.655	379.399
	(STRAIN)		-8.700E-05	1.732E-04	-8.972E-05	1.353E-04
3	11.99970	0.04678	94.814	178.360	94.766	111.273
	(STRAIN)		-2.200E-05	1.032E-04	-2.276E-05	3.185E-06
3	12.00000	0.04678	94.816	178.348	94.768	111.269
	(STRAIN)		-2.199E-05	1.031E-04	-2.275E-05	3.186E-06
3	67.50000	0.03657	22.581	22.581	-23.897	-21.437
	(STRAIN)		2.563E-04	2.563E-04	-1.620E-04	-1.620E-04
3	67.50030	0.03657	22.581	22.581	1.554	2.470
	(STRAIN)		2.209E-04	3.462E-04	-1.620E-04	-1.620E-04

**Lampiran 10. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan Alternatif *CTB* Desain Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Elastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000 (STRAIN)	0.03763	550.000 6.987E-05	600.221 1.357E-04	548.494 6.987E-05	578.866 1.085E-04
1	4.99970 (STRAIN)	0.03675	510.225 2.142E-04	510.569 2.497E-04	293.476 -2.660E-05	200.320 -2.616E-05
1	5.00000 (STRAIN)	0.03675	510.219 2.493E-04	510.563 2.497E-04	293.469 -2.659E-05	296.243 -2.616E-05
1	65.00000 (STRAIN)	0.02787	13.429 1.595E-04	13.560 1.607E-04	-16.003 -1.053E-04	-14.136 -1.053E-04
1	65.00030 (STRAIN)	0.02787	14.140 2.015E-04	13.711 2.235E-04	0.104 -1.053E-04	0.566 -1.053E-04
2	0.00000 (STRAIN)	0.03650	550.000 5.955E-05	625.533 1.477E-04	556.302 5.956E-05	601.439 1.170E-04
2	4.99970 (STRAIN)	0.03584	302.898 1.091E-04	415.216 2.521E-04	144.518 -9.245E-05	296.262 -5.872E-05
2	5.00000 (STRAIN)	0.03584	302.891 1.091E-04	415.208 2.521E-04	144.514 -9.245E-05	200.312 -2.143E-05
2	65.00000 (STRAIN)	0.02831	14.037 1.687E-04	14.058 1.688E-04	-16.839 -1.092E-04	-15.356 -1.092E-04
2	65.00030 (STRAIN)	0.02831	14.037 1.921E-04	14.082 2.304E-04	0.027 -1.092E-04	0.542 -1.092E-04
3	0.00000 (STRAIN)	0.03414	0.000 -9.059E-05	168.396 1.263E-04	-2.029 -9.059E-05	75.648 8.274E-06
3	4.99970 (STRAIN)	0.03471	51.563 -9.137E-05	251.496 1.631E-04	51.563 -9.137E-05	128.673 6.772E-06
3	5.00000 (STRAIN)	0.03471	51.569 -9.136E-05	251.495 1.631E-04	51.569 -9.136E-05	128.670 6.768E-06
3	65.00000 (STRAIN)	0.02840	14.141 1.702E-04	14.141 1.702E-04	-16.984 -1.099E-04	-15.571 -1.099E-04
3	65.00030 (STRAIN)	0.02840	13.429 1.702E-04	14.140 2.315E-04	0.012 -1.099E-04	0.538 -1.099E-04

**Lampiran 11. Hasil Analisis *KENLAYER* pada Perkerasan Alternatif *CTB* Desain Bina Marga 2019 dengan Pendekatan Viskoelastik**

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL) P. STRAIN
1	0.00000	0.03816	550.000	616.799	595.449	613.668
	(STRAIN)		1.123E-04	1.448E-04	1.138E-04	1.399E-04
1	4.99970	0.03683	510.359	510.500	261.582	262.854
	(STRAIN)		2.192E-04	3.280E-04	-5.342E-05	-5.931E-05
1	5.00000	0.03683	510.354	510.494	261.581	262.827
	(STRAIN)		3.278E-04	3.280E-04	-5.341E-05	-5.342E-05
1	65.00000	0.02747	13.172	13.298	-14.350	-12.511
	(STRAIN)		1.502E-04	1.513E-04	-9.750E-05	-9.750E-05
1	65.00030	0.02747	13.172	13.444	0.739	1.199
	(STRAIN)		2.030E-04	2.095E-04	-9.750E-05	-9.750E-05
2	0.00000	0.03592	550.000	389.576	330.589	372.850
	(STRAIN)		2.839E-05	1.178E-04	2.814E-05	9.151E-05
2	4.99970	0.03536	302.682	406.373	131.238	168.872
	(STRAIN)		1.545E-04	3.110E-04	-1.070E-04	-5.165E-05
2	5.00000	0.03536	302.675	406.365	131.236	168.863
	(STRAIN)		1.545E-04	3.110E-04	-1.070E-04	-5.166E-05
2	65.00000	0.02791	13.790	13.810	-15.151	-13.672
	(STRAIN)		1.591E-04	1.593E-04	-1.013E-04	-1.013E-04
2	65.00030	0.02791	13.894	13.834	0.685	1.200
	(STRAIN)		2.090E-04	2.164E-04	-1.013E-04	-1.013E-04
3	0.00000	0.03493	0.000	297.097	227.570	282.685
	(STRAIN)		-2.929E-06	1.017E-04	-3.411E-06	7.849E-05
3	4.99970	0.03383	55.446	245.622	55.419	107.653
	(STRAIN)		-9.230E-05	1.959E-04	-9.302E-05	-1.524E-05
3	5.00000	0.03383	55.452	245.623	55.425	107.651
	(STRAIN)		-9.229E-05	1.959E-04	-9.301E-05	-1.524E-05
3	65.00000	0.02800	13.895	13.895	-15.288	-13.874
	(STRAIN)		1.607E-04	1.607E-04	-1.020E-04	-1.020E-04
3	65.00030	0.02800	13.790	13.894	0.676	1.202
	(STRAIN)		1.953E-04	2.175E-04	-1.020E-04	-1.020E-04