

**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI RUAS JALAN DENGAN METODE BINA  
MARGA 2024 MENGGUNAKAN PROGRAM  
KENPAVE STUDI KASUS: JALAN MAYJEN  
SUTOYO, PALU**  
*(EVALUATION OF ROAD SECTION USING 2024 BINA  
MARGA METHOD USING KENPAVE PROGRAM CASE  
STUDY OF MAYJEN SUTOYO ROAD, PALU)*

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



**Nida'ul Fitri  
20511411**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2026**

**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI RUAS JALAN DENGAN METODE BINA  
MARGA 2024 MENGGUNAKAN PROGRAM  
KENPAVE STUDI KASUS: JALAN MAYJEN  
SUTOYO, PALU  
(EVALUATION OF ROAD SECTION USING 2024 BINA  
MARGA METHOD USING KENPAVE PROGRAM CASE  
STUDY OF MAYJEN SUTOYO ROAD, PALU)**



Disusun Oleh

**Nida'ul Fitri  
20511411**

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

Diuji pada tanggal 12 Februari 2026

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

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

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.  
NIK : 185111304

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc  
NIK : 205111303



Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan penuh kesadaran menyatakan bahwa laporan Tugas akhir yang saya susun sebagai syarat kelulusan Program Studi Sarjana Teknik Sipil di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan hasil kerja keras saya sendiri. Dalam mematuhi standar, kaidah, dan etika penulisan yang berlaku, saya telah mencantumkan dengan jelas sumber bagian tertentu dari karya orang lain yang saya kutip.

Yogyakarta, 19 Februari 2026  
Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular adhesive stamp. The stamp is green and red, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA' at the top. Below the emblem, it says '5000' in large red numbers, followed by 'METERAI TEMPEL' and the alphanumeric code 'B6AANX307102332' at the bottom.

Nida'ul Fitri  
(20511411)

## **DEDIKASI**

*“You know, not everything meaningful needs to be loud and stand out. Sometimes they’re just standing still, growing anyway”*

(Ria SW)

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

*Alhamdulillah* *rabbil'alamiin*, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Evaluasi Ruas Jalan Dengan Metode Bina Marga 2024 Menggunakan Program Kenpave Studi Kasus: Jalan Mayjen sutoyo, Palu”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Solawat dan salam tidak lupa penulis sampaikan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita menuju keterangan. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir, penulis menyadari adanya banyak rintangan dan hambatan yang dihadapi. Namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, *Alhamdulillah* Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya untuk segala hal yang diberikan kepada:

1. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP selaku dosen pembimbing yang telah memberi saran, arahan, motivasi, dan bimbingan sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik,
2. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. dan Bapak Prayugo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dan arahan kepada penulis,
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
4. Kedua orang tua penulis, Bapak Enang Sunardi dan Ibu Nuryatimah yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, dan semangat berupa material maupun spiritual hingga Tugas Akhir ini selesai,

5. Kakak-kakak, adik, dan keponakan-keponakan penulis, yang selalu memberikan semangat dan menghibur penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
6. Teman-teman seperjuangan “*Next Trip*” yang telah memberi dukungan dan banyak membantu penulis dari awal perkuliahan hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
7. 20522093 yang selalu menemani, mendengarkan, memberi semangat, dan memotivasi penulis hingga Tugas Akhir ini selesai.
8. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini,
9. Tidak lupa kepada diri sendiri, terima kasih sudah bertahan dan berjuang sejauh ini dalam melewati segala permasalahan hingga Tugas Akhir ini selesai.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis berharap mendapatkan kritik dan saran yang sangat bermanfaat untuk membantu memperbaikinya dimasa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan berbagai pihak yang membacanya.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 19 Februari 2026  
Yang membuat pernyataan,

Nida'ul Fitri  
(20511411)

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>AC-BC</i>	= <i>Asphalt Concrete-Binder Course</i>
<i>AC-WC</i>	= <i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i>
<i>CBR</i>	= <i>California Bearing Ratio</i>
<i>CESA</i>	= <i>Cumulative Equivalent Single Axle Load</i>
<i>Cm</i>	= <i>Centimeter</i>
<i>CTB</i>	= <i>Cement Treated Base</i>
<i>CP</i>	= <i>Contact Pressure</i>
<i>CR</i>	= <i>Contact Radius</i>
<i>d</i>	= Jarak Antar Roda Ganda
<i>DD</i>	= Faktor Distribusi Arah
<i>DL</i>	= Faktor Distribusi Lajur
<i>E</i>	= Modulus Elastisitas
<i>ESAL</i>	= <i>Equivalent Standard Axle Load</i>
<i>f4, f5</i>	= Koefisien KriteriaKerusakan Deformasi Permanen
<i>i</i>	= Faktor apertumbuhan lalu lintas
<i>kPa</i>	= Kilo Pascal
<i>LHR</i>	= Lalu Lintas Harian Rerata
<i>LPA</i>	= Lapis Pondasi Atas
<i>m</i>	= Meter
<i>Nd</i>	= Jumlah Repetisi Beban <i>Permanent Deformation</i>
<i>Nf</i>	= Jumlah Repetisi Beban <i>Fatigue Cracking</i>
<i>Nr</i>	= Jumlah Repetisi Beban <i>Rutting</i>
<i>P</i>	= Beban Terpusat Roda
<i>UR</i>	= Umur Rencana
<i>VDF</i>	= <i>Vehicle Damage Factor</i>
$\epsilon$	= Regangan

$\sigma$  = Tegangan

$\mu$  = *Poisson Ratio*

## ABSTRAK

Infrastruktur transportasi, salah satunya adalah jalan Mayjen Sutoyo yang terletak di Kota Palu. Jalan ini merupakan jalan kolektor dengan dilewati berbagai jenis kendaraan. Dengan banyaknya kegiatan pada jalan tersebut mengakibatkan kemungkinan beban yang diterima melebihi beban rencana. Sehingga diperlukannya evaluasi ruas jalan pada jalan tersebut agar terciptanya infrastruktur yang efektif dan aman. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi umur layan perkerasan eksisting terhadap kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* menggunakan pemodelan elastik dan viskoelastik pada program Kenpave, serta membandingkan hasil evaluasi kinerja dari kedua pendekatan tersebut. Selain itu, direncanakan desain alternatif tebal perkerasan berdasarkan metode Bina Marga 2024 dan dilakukan perbandingan hasil analisis desain alternatif guna memperoleh struktur yang mampu mencapai umur layan rencana.

Evaluasi pada penelitian ini menggunakan Metode Bina Marga 2024 dengan bantuan Program *Kenpave* melalui pendekatan pemodelan elastik dan viskoelastik guna menganalisis respon dan kinerja struktur perkerasan jalan. Data yang digunakan meliputi lalu lintas harian rata-rata (LHR), karakteristik material, dan parameter pembebanan. Hasil analisis berupa respon tegangan dan regangan yang digunakan untuk menghitung kerusakan berupa kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*, serta menghitung sisa umur layan perkerasan.

Hasil penelitian didapatkan bahwa kondisi perkerasan eksisting dengan pemodelan elastik tidak dapat menahan beban selama umur rencana. Pada pemodelan elastik kerusakan yang terjadi pertama kali berupa kerusakan *permanent deformation*, disusul kerusakan *rutting*, dan kerusakan *fatigue cracking*. Sedangkan pada perkerasan eksisting dengan pemodelan viskoelastik didapatkan kerusakan yang pertama kali terjadi berupa kerusakan *permanent deformation*, disusul kerusakan *rutting*, dan kerusakan *fatigue cracking*. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan program *Kenpave* didapatkan dua hasil alternatif. Hasil desain perkerasan alternatif 1 menggunakan CTB dan desain perkerasan alternatif 2 menggunakan aspal dengan lapis berbutir. Kedua alternatif tersebut dapat menahan beban selama umur rencana yaitu 20 tahun. Pada alternatif 1 dan alternatif 2 pemodelan elastik didapatkan kerusakan yang pertama kali terjadi berupa kerusakan *rutting*, disusul dengan kerusakan *permanent deformation*, dan terakhir kerusakan *fatigue cracking*. Sedangkan pada alternatif 1 dan alternatif 2 pemodelan viskoelastik kerusakan yang pertama kali terjadi berupa kerusakan *permanent deformation*, kemudian *fatigue cracking*, dan yang terakhir terjadi berupa kerusakan *rutting*.

**Kata Kunci:** Bina Marga 2024, Program *Kenpave*, Elastik, Viskoelastik, Kerusakan Jalan

## **ABSTRACT**

*One form of transportation infrastructure is Mayjen Sutoyo Road, which is located in Palu City. This road functions as a collector road and is traversed by various types of vehicles. The high level of activity on this road may result in traffic loads exceeding the design load. Therefore, an evaluation of this road segment is required to ensure the creation of effective and safe infrastructure. This study aims to estimate the service life of the existing pavement against fatigue cracking, rutting, and permanent deformation using elastic and viscoelastic modeling in the Kenpave program, as well as to compare the performance evaluation results from both approaches. In addition, an alternative pavement thickness design is proposed based on the 2024 Bina Marga method, and the analysis results of the alternative design are compared to obtain a structure capable of achieving the planned service life.*

*The evaluation in this study employs the 2024 Bina Marga Method with the assistance of the KENPAVE program, using elastic and viscoelastic modeling approaches to analyze the response and performance of pavement structures. The data used include average daily traffic (ADT), material characteristics, and loading parameters. The analysis results consist of stress and strain responses, which are used to calculate pavement damage in the form of fatigue cracking, rutting, and permanent deformation, as well as to estimate the remaining service life of the pavement*

*The results show that the existing pavement condition analyzed using elastic modeling is unable to withstand the applied loads throughout the design life. In elastic modeling, the first type of damage that occurs is permanent deformation, followed by rutting and fatigue cracking. Meanwhile, for the existing pavement analyzed using viscoelastic modeling, the first damage observed is permanent deformation, followed by rutting and fatigue cracking. The analysis using the 2024 Bina Marga Method and the Kenpave program produced two alternative pavement designs. Alternative design 1 uses a cement-treated base (CTB), while alternative design 2 uses an asphalt layer with a granular base. Both alternatives are able to withstand traffic loads throughout the planned design life of 20 years. In both alternative 1 and alternative 2 with elastic modeling, the first damage that occurs is rutting, followed by permanent deformation, and finally fatigue cracking. Meanwhile, in viscoelastic modeling for both alternatives, the first damage that occurs is permanent deformation, followed by fatigue cracking, and lastly rutting.*

**Keywords:** *Bina Marga 2024, Kenpave Program, Elastic, Viscoelastic, Pavement Damage*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
DEDIKASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kinerja Perkerasan Menggunakan Metode Bina Marga tahun 2024	6
2.2 Kinerja Perkerasan Menggunakan Program <i>Kenpave</i>	7
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Desain Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2024	13
3.1.1 Umur rencana	13
3.1.2 Pemilihan Struktur perkerasan	14
3.1.3 Lalu Lintas	16
3.1.4 Faktor Lajur Rencana	17
3.1.5 Faktor Ekuivalen Beban ( <i>Vehicle Damage Factor</i> )	18
3.1.6 Beban Sumbu Standar Kumulatif	18

3.1.7	Perkiraan Lalu Lintas untuk Jalan Lalu Lintas Rendah	19
3.2	Tata Letak Beban Roda ( <i>Plan View of Multiple Wheels</i> )	19
3.3	Karakteristik Material	20
3.2.1	Pemodelan Elastik	20
3.2.2	Pemodelan viskoelastik	21
3.4	Program <i>Kenpave</i>	21
3.3.1	Menu pada Program <i>Kenpave</i>	23
3.3.2	Menu <i>Kenlayer</i>	24
3.4	Analisis Kerusakan	33
3.4.1	<i>Fatigue Cracking</i> (Retak Lelah)	33
3.4.2	<i>Rutting</i> (Retak Alur)	33
3.4.3	<i>Permanent Deformation</i> (Deformasi Permanen)	34
BAB IV METODE PENELITIAN		35
4.1	Metode Penelitian	35
4.2	Lokasi Penelitian	35
4.3	Pengumpulan Data	36
4.5	Tahapan Penelitian	37
BAB V PEMBAHASAN		43
5.1	Evaluasi Perkerasan Lentur pada Kondisi Eksisting menggunakan program <i>Kenpave</i>	43
5.1.1	Evaluasi Perkerasan Lentur Kondisi Eksisting Pemodelan Elastik	43
5.1.2	Evaluasi Perkerasan Lentur Kondisi Eksisting Pemodelan Viskoelastik	52
5.2	Analisis Tebal Perkerasan Lentur menggunakan Metode Bina Marga 2024	66
5.2.1	Desain Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Metode Bina Marga 2024	66
5.2.2	Penentuan Tebal Lapis Perkerasan menggunakan Metode Bina Marga 2024	70

5.3	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Program <i>Kenpave</i>	73
5.3.1	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 pemodelan Elastik	73
5.3.2	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 Pemodelan Viskoelastik	81
5.3.3	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 pemodelan Elastik	91
5.3.4	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 Pemodelan Viskoelastik	98
5.4	Pembahasan	108
5.4.1	Analisis Tegangan dan Regangan yang Terjadi Pada Kondisi Eksisting	108
5.4.2	Sisa Umur Layan Perkerasan Eksisting	109
5.4.3	Desain Perkerasan Lentur Ruas Jalan Mayjen Sutoyo Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2024	110
5.4.4	Analisis Tegangan dan Regangan yang Terjadi Pada Perkerasan Alternatif	112
5.4.5	Sisa Umur Layan Perkerasan Alternatif	113
5.4.6	Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik	115
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN		117
6.1	Kesimpulan	117
6.2	Saran	118
DAFTAR PUSTAKA		119
LAMPIRAN		121

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Penelitian Menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan Program Kenpave	10
Tabel 3. 1	Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	13
Tabel 3. 2	Pemilihan Jenis perkerasan	14
Tabel 3. 3	Bagan Desain 3(1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB (Aspal Pen 60/70 dan PG70)	15
Tabel 3. 4	Bagan Desain 3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal Pen 60/70 dan PG70)	15
Tabel 3. 5	Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)	16
Tabel 3. 6	Faktor Distribusi Lajur (DL)	17
Tabel 3. 7	Nilai VDF Gorontalo – Sulteng – Sultra	18
Tabel 3. 8	Perkiraan Lalu Lintas untuk Jalan Lalu Lintas Rendah	19
Tabel 3. 9	Nilai Modulus Elastisitas Setiap Jenis Perkerasan	22
Tabel 3. 10	Nilai <i>Poisson Ratio</i>	22
Tabel 4. 1	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu	36
Tabel 5. 1	Parameter Tiap Lapis Perkerasan	43
Tabel 5. 2	<i>Input Data pada Menu General</i>	44
Tabel 5. 3	<i>Input Data pada Menu Zcoord</i>	46
Tabel 5. 4	<i>Input Data pada Menu Layer</i>	46
Tabel 5. 5	<i>Input Data pada Menu Moduli</i>	47
Tabel 5. 6	<i>Input Data pada Menu Load</i>	48
Tabel 5. 7	Koordinat NPT	48
Tabel 5. 8	Keluaran Hasil Analisis Kondisi Eksisting Pemodelan Elastik	49
Tabel 5. 9	Rekapitulasi Hasil Analisis Program Kenpave	50
Tabel 5. 10	Parameter Tiap Lapis Perkerasan	52
Tabel 5. 11	Nilai <i>Creep Compliance</i>	53
Tabel 5. 12	<i>Input Data pada Menu General</i>	54
Tabel 5. 13	<i>Input Data pada Menu Zcoord</i>	55
Tabel 5. 14	<i>Input Data pada Menu Layer</i>	56
Tabel 5. 15	<i>Input Data pada Menu Moduli</i>	57
Tabel 5. 16	<i>Input Data pada Menu Load</i>	57
Tabel 5. 17	Koordinat NPT	58
Tabel 5. 18	Waktu untuk <i>Creep Compliance</i>	59
Tabel 5. 19	Keluaran Hasil Analisis Kondisi Eksisting Pemodelan Viskoelastik	62
Tabel 5. 20	Rekapitulasi Hasil Analisis Program Kenpave	63

Tabel 5. 21	Data Tebal Eksisting	66
Tabel 5. 22	Kondisi Ruas Jalan	66
Tabel 5. 23	Data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu	67
Tabel 5. 24	Rekapitulasi Nilai VDF	69
Tabel 5. 25	Pemilihan Jenis Perkerasan	70
Tabel 5. 26	Bagan Desain 3(1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB (Aspal Pen 60/70 dan PG70)	71
Tabel 5. 27	Bagan Desain 3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal Pen 60/70 dan PG70)	71
Tabel 5. 28	Parameter Tiap Lapis Perkerasan	73
Tabel 5. 29	<i>Input Data pada Menu General</i>	74
Tabel 5. 30	<i>Input Data pada Menu Zcoord</i>	76
Tabel 5. 31	<i>Input Data pada Menu Layer</i>	76
Tabel 5. 32	<i>Input Data pada Menu Moduli</i>	76
Tabel 5. 33	<i>Input Data pada Menu Load</i>	77
Tabel 5. 34	Koordinat NPT	77
Tabel 5. 35	Keluaran Hasil Analisis Alternatif 1 Pemodelan Elastik	78
Tabel 5. 36	Rekapitulasi Hasil Analisis	79
Tabel 5. 37	Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan	81
Tabel 5. 38	Parameter Tiap Lapis Perkerasan	81
Tabel 5. 39	Nilai <i>Creep Compliance</i>	82
Tabel 5. 40	<i>Input Data pada Menu General</i>	83
Tabel 5. 41	<i>Input Data pada Menu Zcoord</i>	85
Tabel 5. 42	<i>Input Data pada Menu Layer</i>	85
Tabel 5. 43	<i>Input Data pada Menu Moduli</i>	85
Tabel 5. 44	<i>Input Data pada Menu Load</i>	86
Tabel 5. 45	Koordinat NPT	86
Tabel 5. 46	Waktu Untuk <i>Creep Compliance</i>	86
Tabel 5. 47	Keluaran Hasil Analisis Alternatif 1 Pemodelan Viskoelastik	88
Tabel 5. 49	Rekapitulasi Hasil Analisis	89
Tabel 5. 49	Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan	90
Tabel 5. 50	Parameter Tiap Lapis Perkerasan	91
Tabel 5. 51	<i>Input Data pada Menu General</i>	92
Tabel 5. 52	<i>Input Data pada Menu Zcoord</i>	93
Tabel 5. 53	<i>Input Data pada Menu Layer</i>	93
Tabel 5. 54	<i>Input Data pada Menu Moduli</i>	94
Tabel 5. 55	<i>Input Data pada Menu Load</i>	94
Tabel 5. 56	Koordinat NPT	94
Tabel 5. 57	Keluaran Hasil Analisis Alternatif 2 Pemodelan Elastik	95
Tabel 5. 58	Rekapitulasi Hasil Analisis	96
Tabel 5. 59	Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan	98
Tabel 5. 60	Parameter Tiap Lapis Perkerasan	98

Tabel 5. 62	Nilai <i>Creep Compliance</i>	99
Tabel 5. 62	<i>Input Data</i> pada Menu <i>General</i>	100
Tabel 5. 63	<i>Input Data</i> pada Menu <i>Zcoord</i>	101
Tabel 5. 64	<i>Input Data</i> pada Menu <i>Layer</i>	102
Tabel 5. 65	<i>Input Data</i> pada Menu <i>Moduli</i>	102
Tabel 5. 66	<i>Input Data</i> pada Menu <i>Load</i>	102
Tabel 5. 67	Koordinat NPT	103
Tabel 5. 68	Waktu Untuk <i>Creep Compliance</i>	103
Tabel 5. 69	Keluaran Hasil Analisis Alternatif 2 Pemodelan Viskoelastik	105
Tabel 5. 70	Rekapitulasi Hasil Analisis	106
Tabel 5. 71	Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan	107
Tabel 5. 72	Hasil Analisis Kenpave Alternatif 1	113
Tabel 5. 73	Perbandingan Hasil Evaluasi pada Perkerasan Alternatif 1	115
Tabel 5. 74	Perbandingan Hasil Evaluasi pada Perkerasan Alternatif 2	115

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	<i>Plan View of Multiple Wheels</i>	20
Gambar 3. 2	Tampilan Utama Program Kenpave	23
Gambar 3. 3	Tampilan Layar Awal <i>Layerinp</i>	25
Gambar 3. 4	Tampilan Layar <i>General</i>	25
Gambar 3. 5	Tampilan Layar <i>Zcoord</i>	27
Gambar 3. 6	Tampilan Layar <i>Layer</i>	27
Gambar 3. 7	Tampilan Layar <i>Interface</i>	28
Gambar 3. 8	Tampilan Layar <i>Moduli</i>	28
Gambar 3. 9	Tampilan Layar <i>Load</i>	29
Gambar 3. 10	Menu Pada Menu Viskoelastik	29
Gambar 3. 11	Tampilan Menu <i>General</i>	30
Gambar 3. 12	Tampilan Menu <i>Time</i>	31
Gambar 3. 13	Tampilan Menu <i>Layer</i>	31
Gambar 3. 14	Tampilan Menu <i>Creep Compliance</i>	32
Gambar 3. 15	Tampilan Menu <i>Temperature</i>	32
Gambar 4. 1	Peta Lokasi Jalan Mayjen Sutoyo, Palu	36
Gambar 4. 2	Alur Desain Tahapan Penelitian	38
Gambar 4. 3	Alur Tahapan Pemodelan Elastik	39
Gambar 4. 4	Alur Tahapan Pemodelan Viskoelastik	41
Gambar 4. 5	Alur Tahapan Desain Perkerasan Metode Bina Marga 2024	42
Gambar 5. 1	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>General</i>	45
Gambar 5. 2	Kedalaman Titik Tinjau	45
Gambar 5. 3	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Zcoord</i>	46
Gambar 5. 4	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Layer</i>	47
Gambar 5. 5	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Moduli</i>	47
Gambar 5. 6	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Load</i>	48
Gambar 5. 7	Umur Sisa Perkerasan Eksisting Pemodelan Elastik	51
Gambar 5. 8	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>General</i>	55
Gambar 5. 9	Kedalaman Titik Tinjau	55
Gambar 5. 10	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Zcoord</i>	56
Gambar 5. 11	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Layer</i>	56
Gambar 5. 12	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Moduli</i>	57
Gambar 5. 13	Tampilan <i>Input Data</i> Menu <i>Load</i>	58
Gambar 5. 14	Tampilan Menu <i>General</i>	59
Gambar 5. 15	Tampilan <i>Input Waktu</i> dari <i>Creep Compliance</i>	60
Gambar 5. 16	Tampilan Menu <i>Layer</i>	60
Gambar 5. 17	Tampilan <i>Input</i> Menu <i>Creep Compliance Layer 1</i>	61
Gambar 5. 18	Tampilan <i>Input</i> Menu <i>Creep Compliance Layer 2</i>	61

Gambar 5. 19	Tampilan Menu <i>Temperature</i>	62
Gambar 5. 20	Nilai Sisa Umur Layan Pemodelan Viskoelastik	65
Gambar 5. 21	Tebal Lapisan Perkerasan Alternatif 1	72
Gambar 5. 22	Tebal Lapisan Perkerasan Alternatif 2	73
Gambar 5. 23	Kedalaman Titik Tinjau	75
Gambar 5. 24	Kedalaman Titik Tinjau	84
Gambar 5. 25	Kedalaman Titik Tinjau	93
Gambar 5. 26	Kedalaman Titik Tinjau	101
Gambar 5. 27	Titik Tinjau Kerusakan Eksisting	109
Gambar 5. 28	Tebal Lapis Perkerasan Alternatif 1	111
Gambar 5. 29	Tebal Lapis Perkerasan Alternatif 2	111
Gambar 5. 30	Titik Tinjau Alternatif 1	112
Gambar 5. 31	Titik Tinjau Alternatif 2	112

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Keluaran Kenpave Perkerasan Eksisting Pemodelan Elastik	122
Lampiran 2	Keluaran Kenpave Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik	124
Lampiran 3	Keluaran Kenpave Perkerasan Alternatif 1 Pemodelan Elastik	127
Lampiran 4	Keluaran Kenpave Perkerasan Alternatif 1 Pemodelan Viskoelastik	129
Lampiran 5	Keluaran Kenpave Perkerasan Alternatif 2 Pemodelan Elastik	132
Lampiran 6	Keluaran Kenpave Perkerasan Alternatif 2 Pemodelan Viskoelastik	134

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Infrastruktur jalan merupakan komponen vital dalam pembangunan ekonomi dan sosial suatu wilayah. Jalan yang baik dan terhubung dengan baik tidak hanya memfasilitasi mobilitas manusia dan barang, tetapi juga mendorong pertumbuhan ekonomi, meningkatkan akses ke layanan publik, dan memperkuat kohesi sosial. Menurut Hulu dan Wahyuni (2021), salah satu aspek yang dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi pada suatu wilayah adalah melalui ketersediaan infrastruktur.

Ketersediaan infrastruktur, terutama infrastruktur transportasi, di suatu wilayah dapat mempengaruhi peningkatan akses masyarakat terhadap sumber daya, sehingga meningkatkan produktivitas sumber daya tersebut dan pada akhirnya mendorong pertumbuhan ekonomi serta pembangunan wilayah (Khomeini dkk, 2020). Memperluas infrastruktur transportasi akan meningkatkan arus lalu lintas dan distribusi barang serta jasa. Infrastruktur juga berdampak signifikan pada peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat, termasuk peningkatan konsumsi, produktivitas tenaga kerja, dan akses terhadap peluang kerja.

Infrastruktur transportasi, salah satunya adalah jalan Mayjen Sutoyo yang terletak di Kota Palu. Jalan ini merupakan jalan kolektor dengan dilewati berbagai jenis kendaraan. Menurut data yang didapatkan, pada tahun 2019 pemerintah melakukan rekonstruksi jalan Mayjen Sutoyo berupa pembangunan ulang. Bersumber dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu (2022), golongan kendaraan yang sering melewati jalan ini adalah kendaraan golongan 1 (sepeda motor dan kendaraan roda 3), golongan 2 (sedan), golongan 3 (oplet dan pick-up oplet), golongan 4 (pick-up micro truck dan mobil hantaran), golongan 5a (bus kecil), golongan 5b (bus besar), golongan 6a (truk 2 as 5 ton), golongan 6b (truk 2 as 8 ton), golongan 7a (truk 3 as), dan golongan 7c (truk semi trailer). Dampak dari banyaknya kegiatan pada jalan tersebut mengakibatkan kemungkinan beban yang

diterima melebihi beban rencana pada jalan tersebut mengakibatkan kemungkinan beban yang diterima melebihi beban rencana (*overloading*) (Nabillah dan Radam, 2019).

Dengan tingginya jumlah kendaraan di jalan tersebut, dibutuhkan struktur perkerasan yang dapat menunjang peningkatan volume kendaraan setiap tahunnya. Ketahanan struktural perkerasan adalah kemampuan untuk memenuhi fungsi yang telah ditentukan (seperti keamanan, penerapan, dan ketahanan) dalam berbagai kondisi (seperti desain normal, konstruksi, dan penggunaan) selama jangka waktu tertentu. Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan yang disusun di atas tanah dasar dengan tujuan mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar Lia dan Mahardi (2022). Perkerasan jalan adalah aset berharga dan merupakan komponen penting dari infrastruktur suatu negara (Aryan dkk, 2024). Sebab itu diperlukan perencanaan struktur perkerasan jalan yang baik untuk menciptakan keamanan dan kenyamanan jalan.

Perencanaan struktur perkerasan jalan dapat menggunakan metode yang dikembangkan oleh berbagai negara. Indonesia memiliki metode perencanaan perkerasan yang dikeluarkan oleh Bina Marga yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) yang berisikan ketentuan-ketentuan teknis untuk pelaksanaan perkerasan (Mantiri dkk, 2019). Manual desain perkerasan terus berkembang untuk menyesuaikan dengan kebutuhan. Saat ini, Bina Marga telah mengeluarkan metode baru, yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 15/SE/Db/2024, melengkapi metode sebelumnya yang tertuang dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017. Dengan menggunakan metode tersebut, dapat dirancang perkerasan jalan yang sesuai dengan kondisi jalan, kondisi lalu lintas, dan parameter desain yang telah ditetapkan untuk jalan yang akan direncanakan (Aji dan Susilo, 2023).

Setelah perencanaan struktur perkerasan jalan, perlu dilakukan evaluasi untuk memastikan struktur yang telah direncanakan dapat menerima beban lalu lintas rencana sesuai umur. Struktur perkerasan dievaluasi dengan pendekatan mekanistik-empirik menggunakan program *Kenpave*. Program *Kenpave* yang dikembangkan oleh Prof. Dr. Yang H. Huang, P. E. Dalam Penelitian Hadi dan

Tolab (2022), Program *Kenpave* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung respons struktur perkerasan jalan, memprediksi dini kerusakan pada setiap lapisan perkerasan. Program ini mampu menganalisis tingkat kerusakan pada setiap lapisan berupa kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* sehingga mempermudah redesain ketebalan lapisan perkerasan yang sesuai agar beban dapat ditangani sesuai rencana. Program *Kenpave* mempermudah dalam perhitungan tegangan, regangan, dan lendutan pada berbagai titik dalam struktur perkerasan jalan yang digunakan dalam analisis kerusakan perkerasan (Pambudi dan Fauziah, 2021). Program ini juga bisa digunakan sebagai alternatif untuk memastikan ketepatan data dalam menentukan tingkat kerentanan terhadap aktivitas kelebihan muatan kendaraan (Hadi, 2023). Dalam penelitian Panjago dan Hadi (2024), tentang evaluasi dan kinerja kerusakan jalan pada ruas Jalan Klangon-Tempel menggunakan analisis program *Kenpave* menghasilkan estimasi tingkat kerusakan pada setiap lapisan perkerasan, sehingga perencanaan struktur dapat dirancang dengan mempertimbangkan berbagai pilihan yang aman dan sesuai rencana.

Program *Kenpave* memiliki empat program di dalamnya, yaitu *Slabsinp*, *Kenslab*, *Layerinp*, dan *Kenlayer* (Lia dan Mahardi, 2022). Program *Kenlayer* digunakan untuk analisis perkerasan lentur sedangkan program *Kenslab* digunakan untuk analisis perkerasan kaku (Marlina dkk, 2023). Dalam penelitian Mulia dkk (2025), menjelaskan penggunaan program *Kenpave* diperlukan parameter-parameter utama seperti *Poisson Ratio*, modulus elastisitas pada setiap lapisan perkerasan. Menurut Pambudi dan Fauziah (2021), pada penelitiannya menjelaskan penyebab elastisitas adalah bahan ikat yang merenggang sepanjang bidang kristalografi dalam suatu padatan, sedangkan viskoelastis disebabkan oleh difusi atom atau molekul di dalam bahan amorf. Hadi dan Fauziah (2022), menjelaskan untuk melihat perilaku lapisan aspal yang dipengaruhi oleh waktu pembebanan, diterapkan pemodelan viskoelastik. Penyelesaian pada lapis viskoelastik didapatkan dari korespondensi elastik-viskoelastik dengan menggunakan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu. Sedangkan pemodelan elastik digunakan untuk analisis lapisan secara linear elastik dengan menghitung tegangan, regangan dan defleksi pada suatu

struktur perkerasan yang telah dibebani. Pada pemodelan linear elastik, setiap lapisan struktur perkerasan homogen, linear elastis dan isotropis.

Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi peninjauan ulang kinerja dan kerusakan pada desain perkerasan eksisting dan desain perkerasan alternatif dengan pemodelan elastik dan viskoelastik program *Kenpave*. Hasil analisis dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pembuatan jalan yang efektif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah yang timbul dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapa lama estimasi umur layan pada perkerasan eksisting sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* berdasarkan hasil analisis dengan pemodelan elastik dan viskoelastik pada program *Kenpave*?
2. Bagaimana perbandingan dari hasil evaluasi kerusakan jalan serta kinerja perkerasan eksisting berdasarkan analisis program *Kenpave* pemodelan elastik dan viskoelastik?
3. Bagaimana desain alternatif tebal lapis perkerasan berdasarkan metode Bina Marga 2024 yang mampu mencapai umur layan yang telah direncanakan?
4. Bagaimana perbandingan hasil evaluasi perkerasan dengan desain alternatif berdasarkan analisis program *Kenpave* antara pemodelan elastik dan viskoelastik?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui estimasi umur layan pada perkerasan eksisting sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* berdasarkan hasil analisis dengan pemodelan elastik dan viskoelastik pada program *Kenpave*

2. Mengetahui perbandingan dari hasil evaluasi kerusakan jalan serta kinerja perkerasan eksisting berdasarkan analisis program *Kenpave* pemodelan elastik dan viskoelastik.
3. Mengetahui desain alternatif tebal lapis perkerasan berdasarkan metode Bina Marga 2024 yang mampu mencapai umur layan yang telah direncanakan.
4. Mengetahui perbandingan hasil evaluasi perkerasan dengan desain alternatif berdasarkan analisis program *Kenpave* antara pemodelan elastik dan viskoelastik

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan masukan kepada instansi terkait dalam melakukan pemeliharaan jalan tersebut.
2. Memberikan opsi perhitungan alternatif untuk desain tebal perkerasan menggunakan metode terbaru pada jalan tersebut.
3. Memberikan informasi pengetahuan tentang evaluasi perkerasan menggunakan program *Kenpave*.

#### **1.5 Batasan Penelitian**

Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi yang ditinjau dalam penelitian ini adalah jalan Mayjen Sutoyo, Palu.
2. Data LHR tahun 2022 didapatkan secara sekunder dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu.
3. Data yang digunakan dalam analisis adalah data dari ruas jalan Mayjen Sutoyo, Palu tebal perkerasan jalan raya merujuk pada tata cara yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga tahun 2024 dan tidak mempertimbangkan nilai CBR. Data yang digunakan dalam analisis adalah data dari ruas jalan Mayjen Sutoyo, Palu.
4. Perhitungan biaya tidak dilakukan pada penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kinerja Perkerasan Menggunakan Metode Bina Marga tahun 2024**

Metode Bina Marga 2024 merupakan sebuah metode untuk perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan jalan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia yang dikeluarkan untuk menggantikan Metode Bina Marga 2017. Metode Bina Marga 2024 tidak hanya mengatur aspek desain tebal perkerasan, tetapi juga mencakup prosedur analisis lalu lintas, evaluasi daya dukung tanah dasar, pemilihan material, hingga pemeliharaan untuk memastikan umur layan tercapai.

Penelitian Pratama dkk (2025), pada jalan TGH.Faesal, Kota Mataram, NTB. Analisis yang dilakukan untuk mengetahui tebal lapis perkerasan jalan menggunakan metode Bina Marga 2024. Dalam penelitian tersebut didapatkan tebal lapis perkerasan jalan beban aktual lapis permukaan sebesar 21,5 cm dan lapis pondasi sebesar 55 cm. Sedangkan untuk metode Bina Marga 2024 beban normal pada lapis permukaan sebesar 18,5 cm dan lapis pondasi 35 cm.

Penelitian Mulia dkk (2025) yang dilakukan di Jl. Soekarno Hatta, Bukittinggi, Sumatera Barat. Hasil analisis menggunakan Metode Bina Marga 2024 yang dilakukan, pada alternatif 1 lapisan AC-WC sebesar 4 cm, AC-BC sebesar 7,5 cm, AC-Base 10 cm, dan LFA kelas A sebesar 20 cm. Regangan Tarik horizontal yang terjadi pada perkerasan sebesar 0,0001754 pada kedalaman 17,9997 cm, akan terjadi kerusakan retak lelah. Pada kedalaman yang sama, didapat regangan vertikal sebesar 0,0002306 yang akan terjadi kerusakan *rutting*. Pada kedalaman 48,0003 cm diperoleh nilai regangan sebesar 0,0002400 yang menyebabkan *permanent deformation*. Pada alternatif 1 menunjukkan kerusakan *fatigue cracking* memiliki sisa umur 98,407%, kerusakan *rutting* memiliki sisa umur 91,283%, dan kerusakan *permanent deformation* memiliki sisa umur 79,717%.

Fachrudin dkk (2025) penelitian dilakukan pada ruas jalan Nasional III Jawa Timur. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil perhitungan dengan CESA5 sebesar 18.817.027,305 ESAL. Dari nilai CESA5 didapatkan tebal perkerasan AC-WC sebesar 4 cm, AC-BC sebesar 6 cm, AC-Base sebesar 8 cm, LPA Kelas A sebesar 20 cm, LPA Kelas B sebesar 15 cm, dan timbunan pilihan untuk perbaikan tanah sebesar 20 cm.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Rentua dkk (2025) pada jalan Namrole - Leksula Kabupaten Buru Selatan. Hasil penelitian didapatkan perhitungan dengan Bina Marga 2024 AC-WC sebesar 6 cm, AC-BC sebesar 8 cm, LPA kelas A sebesar 20 cm, LPA kelas B sebesar 15 cm, dan perbaikan tanah sebesar 30 cm. Rencana anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan untuk pekerjaan tanah sebesar Rp.2.927.314.500, pekerjaan agragat kelas A dan kelas B sebesar Rp.17.132.788.750 dan pekerjaan perkerasan aspal sebesar Rp.28.207.324.750. Sehingga total biaya sebesar Rp.53.576.845.080.

## 2.2 Kinerja Perkerasan Menggunakan Program *Kenpave*

Program *Kenpave* merupakan aplikasi yang dikembangkan oleh Prof. Dr. Yang H. Huang, P. E. dengan hasil berupa nilai regangan dan tegangan dari desain perkerasan akan dianalisis lebih lanjut untuk memprediksi kerusakan seperti kelelahan, *rutting*, dan *deformasi permanen* selama umur layan suatu perkerasan. (Hadi dan Fauziah, 2022). Program *Kenpave* dapat menganalisis kerusakan permukaan jalan dan dapat dijalankan hingga Sembilan belas lapis dengan berbagai kondisi muatan jalan (Ali dkk, 2019). Program ini terdiri dari program *Ken slab* untuk analisis perkerasan kaku dan program *Ken layer* untuk analisis perkerasan lentur (Marlina dkk, 2023). Untuk menjalankan program *Kenpave*, diperlukan data material dan sifat-sifat perkerasan jalan yang mencakup titik koordinat yang diperlukan, rasio poisson setiap lapisan, ketebalan setiap lapisan perkerasan, modulus elastisitas, beban roda serta tekanan ban Hadi dan Tolab (2022). Dalam penelitian Hadi dan Fauziah (2022) menjelaskan pemodelan elastik dan viskoelastik pada program *Kenpave* digunakan untuk memprediksi umur layan perkerasan dan jenis kerusakan awal dan akhir yang akan terjadi pada kurun waktu tertentu.

Penelitian tentang evaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan menggunakan program *Kenpave* yang dilakukan Panjago dan Hadi (2024) didapatkan hasil analisis dengan pemodelan elastik pada berupa kerusakan *fatigue cracking* yang akan terjadi ketika beban gandar maksimum sebesar 122.594.803.634 *ESAL* umur layan 34 tahun, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika beban gandar maksimum sebesar 12.234.072.602 *ESAL* dengan umur layan 24 tahun, dan kerusakan *permanet deformation* akan terjadi ketika beban gandar maksimum sebesar 312.252.047 *ESAL* dengan umur layan 32 tahun. Sedangkan pada analisis dengan pemodelan viskoelastik berupa kerusakan *fatigue cracking* yang akan terjadi ketika beban gandar maksimum sebesar 16.911.838.851 *ESAL* umur layan 54 tahun, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika beban gandar maksimum sebesar 2.394.018.608 *ESAL* dengan umur layan 46 tahun, dan kerusakan *permanet deformation* akan terjadi ketika beban gandar maksimum sebesar 112.683.703 *ESAL* dengan umur layan 25 tahun.

Lia dan Mahardi (2022), mengevaluasi kinerja struktur perkerasan jalan lentur menggunakan aplikasi *Kenpave*. Hasil dari evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan program *Kenpave*, diketahui bahwa struktur perkerasan jalan yang menggunakan metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2017 mengalami letak lelah (*fatigue cracking*). Sementara itu, metode analisa komponen tidak menunjukkan adanya retak lelah (*fatigue cracking*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur menggunakan metode AASHTO 1993 dan metode Analisa Komponen tidak mengalami retak alur (*rutting*) selama umur rencana, sedangkan metode Bina Marga 2017 mengalami retak alur (*rutting*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan tidak menunjukkan adanya deformasi permanen (*permanent deformation*) selama umur rencana pada semua metode perhitungan.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Sasongko dkk (2021), melakukan studi alternatif perencanaan tebal perkerasan lentur menggunakan aplikasi *Kenpave* di ruas jalan Karangates – Jatikerto. Penelitian ini menggunakan metode Bina Marga tahun 2013 untuk pondasi atas dan pondasi bawah dan pedoman Pd-T-05-2005-B untuk menentukan lapis permukaan. Hasil dari penelitian yang dilakukan didapatkan perhitungan lama beban umur rencana 20 tahun sebesar 38.157.248,61 *ESAL*

dengan tebal lapis setiap segmen bervariasi. Pada segmen 1, 2, 3, 6, 7 tidak dapat menahan beban lalu lintas. Sedangkan, segmen 4, 5, 8, 9, 10 dapat menahan beban lalu lintas. Segmen 1, 2, 3, 6, 7 yang tidak dapat menahan beban lalu lintas kemudian dikontrol menggunakan aplikasi *Kenpave* sehingga lapis tebal pada segmen 1, 2, 3, 6, 7, masing-masing menjadi 50 cm.

Hadi (2023) melakukan identifikasi kerentanan kinerja perkerasan jalan terhadap aktivitas *overload* kendaraan menggunakan program *Kenpave* dengan studi kasus ruas jalan batas Kabupaten Kampar – batas Kota Bangkinang. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa kegiatan kendaraan yang *overload* pada jalan dapat meningkatkan nilai *CESA* yang berarti mempengaruhi penurunan usia perkerasan dalam penerapan kegiatan *overload* 40% hingga 100%. Umur layan perkerasan rencana 10 tahun akan mengalami penurunan sebesar 13,87% hingga 57,62%. Perbedaan dari penelitian tersebut terdapat pada metode perhitungan yang digunakan serta menggunakan program *Kenpave* untuk menghitung tebal lapis perkerasan dan perkiraan kerusakan.

Perbandingan penelitian menggunakan metode Bina Marga 2024 dan program *Kenpave* dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan Program *Kenpave***

Peneliti	Sasongko dkk (2021)	Lia dan Mahardi (2022)	Hadi (2023)	Panjago dan Hadi (2024)	Pratama dkk (2025)	Mulia dkk (2025)	Fitri (2026)
<b>Judul Penelitian</b>	Studi Alternatif Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Aplikasi <i>Kenpave</i> Pada Ruas jalan Karangates-Jatikerto (Sta 1+500-11+700)	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi <i>Kenpave</i>	Identifikasi Kerentanan Kinerja Perkerasan Jalan Terhadap Aktivitas <i>Overload</i> Kendaraan Menggunakan Program <i>Kenpave</i>	Evaluasi Kerusakan Jalan dan Kinerja Jalan Menggunakan Permodelan Elastik dan Viskoelastik Pada Ruas Jalan Klangon-Tempel	Analisa Tebal Lapis Perkerasan Jalan TGH.Faesar Kota Mataram Menggunakan Metode Bina Marga 2024	Evaluasi Kinerja Perkerasan Lentur Dan Nilai Sisa Berdasarkan Metode Bina Marga 2024 Menggunakan Program <i>Kenpave</i>	Evaluasi Ruas Jalan Dengan Metode Bina Marga 2024 Menggunakan Program <i>Kenpave</i>
<b>Tujuan Penelitian</b>	Identifikasi beban lalu lintas, nilai lendutan serta Metode Bina Marga tahun 2013 dan pedoman Pd-T-05-2005-B dan dievaluasi menggunakan program <i>Kenpave</i>	Merencanakan struktur perkerasan jalan menggunakan Metode AASHTO 1993, Analisa Komponen, dan Metode Bina Marga Tahun 2017 dan perbandingan menggunakan Aplikasi <i>Kenpave</i>	Mengidentifikasi kerentanan terhadap aktivitas <i>overload</i> kendaraan dengan program <i>Kenpave</i>	Mengetahui prediksi umur layan perkerasan eksisting dan alternatif menggunakan pemodelan elastik dan viskoelastik program <i>Kenpave</i>	Melakukan analisis dan mengkaji perkerasan jalan menggunakan metode Bina Marga 2024.	Merencanakan tebal perkerasan menggunakan Metode Bina Marga 2024, analisa kinerja perkerasan menggunakan program <i>Kenpave</i> , dan evaluasi sisa umur layan	Analisis ketebalan menggunakan metode Bina Marga 2024 serta mengevaluasi hasil dengan program <i>Kenpave</i>

Sumber : Sasongko dkk (2021), Lia dan Mahardi (2022), Hadi (2023), Panjago dan Hadi (2024), Pratama dkk (2025), Mulia dkk (2025), Fitri (2026)

**Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan Program *Kenpave***

<b>Peneliti</b>	<b>Sasongko dkk (2021)</b>	<b>Lia dan Mahardi (2022)</b>	<b>Hadi (2023)</b>	<b>Panjago dan Hadi (2024)</b>	<b>Pratama dkk (2025)</b>	<b>Mulia dkk (2025)</b>	<b>Fitri (2026)</b>
<b>Lokasi Penelitian</b>	Ruas Jalan Karangates-Jatikerto (Sta 1+500 – 11+700)	Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung	Ruas jalan batas Kabupaten Kampar – batas Kota Bangkinang	Jalan Klanganon-Tempel, Yogyakarta	Jalan TGH.Faesal Kota Mataram	Ruas Jalan Soekarno Hatta, Bukittinggi	Ruas Jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu
<b>Metode Penelitian</b>	Pedoman Pd-T-05-2005-B dan metode Bina Marga 2017 serta Program <i>Kenpave</i>	Metode AASHTO 1993, Metode Bina Marga 2017 dan Metode Analisa Komponen serta Program <i>Kenpave</i>	Analisis Menggunakan Program <i>Kenpave</i>	Metode Bina Marga 2017, metode mekanistik-empiris dan program <i>Kenpave</i> .	Metode Bina Marga 2024	Metode Bina Marga 2024 dan Program <i>Kenpave</i>	Metode Bina Marga 2024 dan Program <i>Kenpave</i>
<b>Hasil Penelitian</b>	Ditemukan bahwa setiap segmen memiliki ketebalan perkerasan yang berbeda dan tidak cukup mampu menahan beban rencana.	Metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2017 mengalami retak lelah, Metode Analisa Komponen tidak mengalami retak lelah umur	<i>Overload</i> kendaraan menyebabkan meningkatnya nilai CESA. Penurunan kinerja perkerasan dan	Perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Desain alternatif yang didapatkan mampu menahan beban lalu	Didapatkan ketebalan lapis perkerasan beban aktual Pada lapis permukaan sebesar 21,5 cm, dan lapis	Ketebalan <i>AC-WC</i> sebesar 4 cm, <i>AC-BC</i> sebesar 6 cm, <i>AC-Base</i> sebesar 16 cm, LPA A dengan tebal 20 cm. nilai regangan Tarik horizontal yang	Perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana dengan pemodelan elastik program <i>Kenpave</i> .

Sumber : Sasongko dkk (2021), Lia dan Mahardi (2022), Hadi (2023), Panjago dan Hadi (2024), Pratama dkk (2025), Mulia dkk (2025), Fitri (2026)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan Program *Kenpave*

Peneliti	Sasongko dkk (2021)	Lia dan Mahardi (2022)	Hadi (2023)	Panjago dan Hadi (2024)	Pratama dkk (2025)	Mulia dkk (2025)	Fitri (2026)
<b>Hasil Penelitian</b>	Segmen 1, 2, 3, 6, 7 adalah segmen yang tidak dapat menahan beban rencana sebesar 38.157.248,61 ESAL.	rencana. Metode AASHTO 1993 dan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak alur, sedangkan metode Bina Marga 2017 menunjukkan retak alur. Ketiga metode tersebut tidak menunjukkan adanya deformasi permanen pada struktur jalan.	memendeknya umur layan jalan akan terjadi jika aktivitas <i>overload</i> hingga 40% - 100% pada jalan tersebut.	Lintas selama umur rencana. Kerusakan yang pertama kali akan terjadi pada perkerasan alternatif adalah kerusakan <i>permanent deformation</i> , kemudian disusul kerusakan <i>rutting</i> , dan kerusakan yang terakhir kali terjadi adalah <i>permanent deformation</i> .	pondasi sebesar 55 cm. tebal lapis dengan beban normal pada lapis permukaan sebesar 18,5 cm dan pada lapis pondasi sebesar 35 cm.	terjadi sebesar 0,0001672 dan regangan vertikal sebesar 0,002211 ( <i>rutting</i> ) pada kedalaman 16,887 cm. kedalaman 47,003 cm regangan sebesar 0,0002410 ( <i>permanent deformation</i> ).	Desain perkerasan alternatif dengan program <i>Kenpave</i> dapat menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Alternatif 1 dan alternatif 2 pemodelan elastik memiliki kerusakan awal yang sama yaitu <i>rutting</i> . Sedangkan pada pemodelan viskoelastik kerusakan yang pertama kali terjadi adalah <i>permanent deformation</i> .

Sumber : Sasongko dkk (2021), Lia dan Mahardi (2022), Hadi (2023), Panjago dan Hadi (2024), Pratama dkk (2025), Mulia dkk (2025), Fitri (2026)

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Desain Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2024

Metode Bina Marga 2024 merupakan hasil revisi dari metode Bina Marga 2017. Beberapa perubahan metode Bina Marga 2024 diantaranya: mengintegrasikan pendekatan mekanistik-empiris dan analisis, survei modern dan *Big Data* untuk analisis lebih akurat, model lalu lintas yang lebih kompleks dan realistis serta probabilistik, menggunakan bahan material ramah lingkungan dan inovatif dengan spesifikasi lebih ketat, serta menggunakan perangkat lunak yang canggih dan integrasi *AI* untuk optimasi desain. Alur desain dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 15/SE/Db/2024 sebagai berikut.

##### 3.1.1 Umur rencana

Umur rencana merupakan periode waktu jalan berfungsi sejak pertama kali dibuka hingga membutuhkan perbaikan atau *overlay*. Pada dasarnya, umur rencana pada Bina Marga 2017 dan Bina Marga 2024 memiliki kesamaan. Umur rencana dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3. 1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)**

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) <sup>(1)</sup>
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir <sup>(2)</sup>	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 : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

### 3.1.2 Pemilihan Struktur perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan dalam metode Bina Marga 2024 akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Batasan dalam pemilihan struktur perkerasan tidak mutlak. Perencanaan teknis harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan, dan kepraktisan dalam pelaksanaan. Pemilihan jenis perkerasan dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3. 2 Pemilihan Jenis perkerasan**

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

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

Pemilihan desain alternatif 1 menggunakan AC dengan tambahan CTB dan alternatif 2 AC dengan lapis fondasi agregat ditentukan berdasarkan nilai CESA5. Penggunaan dua alternatif dilakukan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja struktur perkerasan yang efektif dalam memberikan umur layan yang optimal. Alternatif 1 memiliki kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih tinggi sehingga mampu mengurangi potensi kerusakan. Sedangkan alternatif 2 lapisan AC

dengan pondasi agregat yang menggambarkan struktur perkerasan lentur konvensional yang lebih fleksibel dalam merespon beban lalu lintas. Perbandingan kedua alternatif tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis lapisan pondasi terhadap kinerja dan umur layan perkerasan. Untuk menentukan desain perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3. 3 Bagan Desain 3(1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB (Aspal Pen 60/70 dan PG70)**

STRUKTUR PERKERASAN										
	F(1)1	F(1)2	F(1)3	F(1)4	F(1)5	F(1)6	F(1)7	F(1)8	F(1)9	F(1)10
Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70	Untuk beban rencana $\geq$ 30 jua ESA 5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 <sup>(3)</sup>									
Beban rencana 20 tahun (10 <sup>6</sup> ESA5)	< 1-6	> 6-10	>10-20	>20-30	>30-40	>40-50	>50-80	>80-100	>100-150	>100-150
Jenis permukaan berpegikat	AC									
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)									
Tebal Perkerasan (mm)										
AC WC	40	40	50	40	40	40	40	50	40	40
AC BC	60	75	80	65	60	60	80	80	60	60
AC Base <sup>(1)</sup>	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	90	100	100	100	75	80
CTB	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
LPA Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir kasar atau LPA kelas C atau stabilitas semen <sup>(5)</sup>	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

**Tabel 3. 4 Bagan Desain 3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal Pen 60/70 dan PG70)**

STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF(1)1	FFF(1)2	FFF(1)3	FFF(1)4	FFF(1)5	FFF(1)6	FFF(1)7	FFF(1)8	FFF(1)9
Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70	Untuk beban rencana $\geq$ 30 jua ESA 5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 <sup>(1)</sup>								
Beban rencana 20 tahun (10 <sup>6</sup> ESA5)	< 2	> 2 - 5	>5 - 10	>10 - 15	>15 - 30	>30 - 50	>50 - 100	>100 - 150	>150 - 200
Tebal Perkerasan (mm)									
AC WC	60 <sup>(2)</sup>	40	40	40	40	40	40	50	40
AC BC	-	65	75	75	60	60	75	80	60
	-	80	80	-	-	-	-	-	-
AC Base <sup>(3)</sup>	-	-	-	100	80	85	100	100	80
	-	-	-	-	80	100	100	100	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	90
LPA Kelas A <sup>(4)</sup>	200	200	200	200	200	200	200	200	200
LPA Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir kasar atau LPA kelas C atau stabilitas semen <sup>(5)</sup>	-	-	200	200	200	200	200	200	200

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

### 3.1.3 Lalu Lintas

Volume lalu lintas pada Bina Marga 2017 dan Bina Marga 2024 pada dasarnya memiliki kesamaan. Data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dan diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Data-data yang diperlukan untuk beban lalu lintas adalah sebagai berikut.

#### 1. Data lalu lintas

Data lalu lintas harian rata-rata didapatkan dari hasil survei lalu lintas kendaraan yang melewati suatu jalan atau dari data sekunder yang telah ada. Survei manual dapat dilakukan secara langsung di lapangan dengan durasi minimal 7 x 24 jam. Survei yang dilakukan dengan manual mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) atau menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama.

Penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHRT) mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Penentuan nilai LHRT berdasarkan data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan faktor k.

#### 2. Faktor laju pertumbuhan lalu lintas (i)

Faktor pertumbuhan lalu lintas dalam Metode Bina Marga 2024 memiliki kesamaan dengan faktor pertumbuhan lalu lintas Metode Bina Marga 2017. Faktor pertumbuhan lalu lintas harus berdasarkan data-data pertumbuhan series atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika data series tidak tersedia, maka dapat digunakan Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)**

Klasifikasi	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-Rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,0

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

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

dengan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%),

UR = umur rencana (tahun)

Pengaruh pengalihan lalu lintas (*traffic diversion*), dalam analisis harus memperhatikan faktor pengalihan lalu lintas yang didasarkan pada jaringan jalan dan harus memperhitungkan proyeksi peningkatan kapasitas ruas jalan eksisting dan pembangunan ruas jalan baru.

#### 3.1.4 Faktor Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga seperti bus dan truk. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur (DL).

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (CESAL) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Jika faktor distribusi lajur tidak tersedia dapat menggunakan Tabel 3.6 berikut.

**Tabel 3. 6 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 : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

### 3.1.5 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas diubah menjadi beban standar (ESA) dengan menggunakan faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*). *VDF* dari suatu kendaraan adalah jumlah nilai beban ESA dari seluruh kelompok sumbu kendaraan tersebut. Dengan *VDF*, beban lalu lintas yang terdiri dari berbagai jenis kendaraan dengan beragam konfigurasi dan beban sumbu dapat dikonversi menjadi total beban ESA.

Desain yang akurat memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang tepat. Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilaksanakan dengan baik adalah dasar untuk perhitungan ESA yang akurat. Oleh karena itu, survei beban gandar harus dilakukan. Apabila data tidak tersedia dan survei beban gandar tidak memungkinkan perencanaan, dapat digunakan nilai *VDF* terdapat pada Tabel 3.7 berikut.

**Tabel 3. 7 Nilai VDF Gorontalo – Sulteng – Sultra**

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	0,9	-	16,9	-	-	-	-	10,5	19,7	-	24,8	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	4,9	-	-	-	-	6,8	4,1	-	9,7	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	0,9	-	34,0	-	-	-	-	15,2	19,7	-	48,9	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	-	6,6	-	-	-	-	8,9	5,5	-	14,6	-

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

### 3.1.6 Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar atau *cumulative Standard Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada jalur desain selama umur rencana, yang ditentukan pada Persamaan 3.2 berikut.

$$\text{CESAL} = (\Sigma \text{LHR}_{\text{JK}} \times \text{VDF}_{\text{JK}}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \quad (3.2)$$

dengan :

$\Sigma \text{LHR}_{\text{JK}}$  = Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan Per hari)

$\text{VDF}_{\text{JK}}$  = Faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga

- DD = Faktor distribusi arah  
 DL = Faktor distribusi lajur  
 CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana  
 R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

### 3.1.7 Perkiraan Lalu Lintas untuk Jalan Lalu Lintas Rendah

Perkiraan lalu lintas untuk jalan lalu lintas rendah digunakan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang akan ditanggung oleh perkerasan selama umur rencana. Apabila daerah dengan lalu lintas rendah tidak ada tersedia, dapat digunakan Tabel 3.8 berikut.

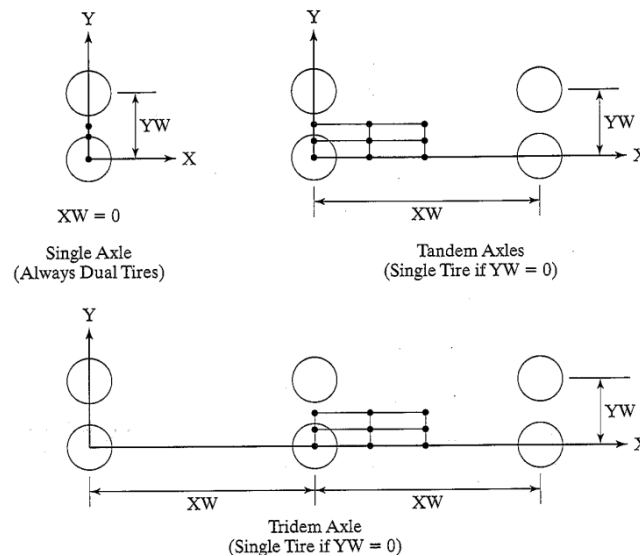
**Tabel 3. 8 Perkiraan Lalu Lintas untuk Jalan Lalu Lintas Rendah**

Deskripsi jalan	LHR Dua Arah (Kend/hari)	Kendaraan Berat (% dari Lalu Lintas)	Umur Rencana (th)	Pertumbuhan lalu lintas (%)	Faktor Pengali Pertumbuhan Kumulatif Lalu Lintas	Bebaan Lalu Lintas Desain (Aktual) (ESA4)
Jalan desa minor akses kendaraan berat terbatas	50	5	20	1	22	25.000
Jalan kecil dua arah	100	5	20	1	22	45.000
Jalan lokal	500	10	20	1	22	500.00

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

### 3.2 Tata Letak Beban Roda (*Plan View of Multiple Wheels*)

*Plan View of Multiple Wheels* merupakan gambaran tampak atas susunan roda kendaraan yang bekerja secara bersama pada permukaan perkerasan. Dalam analisis perkerasan elastis berlapis, pembebanan tidak dimodelkan sebagai satu beban berpusat, melainkan sebagai beberapa beban yang berbentuk lingkaran yang merepresentasikan bidang kotak antara ban dan permukaan jalan. Susunan geometrik ini berperan penting karena posisi antar roda memengaruhi distribusi tegangan dan regangan di dalam lapisan perkerasan (Huang, 2004).



**Gambar 3.1 Plan View of Multiple Wheels**  
 Sumber : Huang (2004)

Pada Gambar 3.1, konfigurasi roda berupa satu sumbu (*single axle*), dua sumbu berdekatan (*tandem axle*), atau tiga sumbu berdekatan (*tridem axle*). Terdapat dua parameter utama, yaitu  $XW$  dan  $YW$ . Parameter  $XW$  merupakan jarak memanjang antar pusat roda, sedangkan parameter  $YW$  merupakan jarak melintang antar pusat roda kiri dan kanan dalam satu sumbu. Pembebanan diasumsikan sebagai ban tunggal apabila nilai  $YW = 0$ , sedangkan pembebanan diasumsikan ban ganda jika  $YW \neq 0$  (Huang, 2004)

### 3.3 Karakteristik Material

Terdapat beberapa karakteristik material pada perkerasan yang dapat digunakan dalam analisis perkerasan. Karakteristik tersebut adalah elastik dan viskoelastik. Kedua sifat penting yang membentuk lapisan perkerasan dalam merespon beban lalu lintas, perubahan suhu, dan kondisi lingkungan lainnya yang berlangsung secara berulang.

#### 3.2.1 Pemodelan Elastik

Pemodelan elastik merupakan metode yang menganggap lapisan perkerasan lentur memiliki perilaku sebagai material linear elastis, sehingga tidak terjadi

deformasi permanen akibat beban lalu lintas. Pemodelan elastik dimanfaatkan untuk analisis distribusi beban, pergerakan, dan deformasi pada lapisan perkerasan lentur.

### 3.2.2 Pemodelan viskoelastik

Pemodelan viskoelastik adalah metode yang menganggap bahwa lapisan perkerasan lentur menunjukkan perilaku viskoelastik linear, material mengalami deformasi permanen akibat beban lalu lintas dan dipengaruhi oleh waktu dan suhu. Pada program *Kenpave*, karakteristik viskoelastik dijelaskan dengan menentukan nilai *creep compliance*. Parameter *Creep compliance* dilakukan pada 11 rentang waktu yang berbeda sesuai dengan rekomendasi FHWA, yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100. Untuk menghitung *creep compliance* yang akan digunakan pada *input layerinp* dapat menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$D(t) = \frac{1}{E} (1 - e^{-0,833t}) \quad (3.3)$$

Dengan :

$D(t)$  = *creep compliance*

$t$  = Durasi waktu

$E$  = Modulus elastisitas tiap lapisan

$e$  = Konstanta E

### 3.4 Program *Kenpave*

Program *Kenpave* merupakan program yang dikembangkan oleh Yang H. Huang, P.E seorang *Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. Program *Kenpave* digunakan untuk analisis perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan analisis perkerasan lentur (*flexible pavement*). Data-data yang diperlukan dalam analisis menggunakan program ini berupa data karakteristik dan data material. Berikut merupakan parameter yang dibutuhkan dalam menggambarkan pemodelan lapis perkerasan:

1. Parameter pada setiap lapisan

- a. Modulus elastisitas (E), merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada suatu benda. Modulus Elastisitas dapat dinyatakan seperti Persamaan 3.4 berikut.

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

Dengan :

E = Modulus Elastisitas (Psi atau kPa)

$\sigma$  = Tegangan (kPa)

$\varepsilon$  = Regangan

Nilai Modulus Elastisitas untuk setiap jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

**Tabel 3. 9 Nilai Modulus Elastisitas Setiap Jenis Perkerasan**

Material	Modulus Elastisitas (E)	
	Psi	kPa
<i>Cement-treated granular base</i>	$1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$	$7 \times 10^6 - 14 \times 10^6$
<i>Cement aggregate mixture</i>	$5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	$35 \times 10^5 - 7 \times 10^6$
<i>Asphalt concrete</i>	$7 \times 10^4 - 45 \times 10^4$	$49 \times 10^5 - 3 \times 10^6$
<i>Bituminous stabilized mixture</i>	$4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	$14 \times 10^4 - 14 \times 10^6$
<i>Lime stabilizied</i>	$2 \times 10^4 - 7 \times 10^4$	$28 \times 10^4 - 21 \times 10^5$
<i>Unbound granular materials</i>	$15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$	$105 \times 10^3 - 31 \times 10^3$
<i>Fine grained or natural subgrade materials</i>	$3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	$21 \times 10^3 - 2 \times 10^4$

(Sumber : Huang, 2004)

- b. Nilai *Poisson's Ratio*, merupakan jumlah yang menunjukkan perbedaan antara regangan horizontal (regangan lateral) dan regangan vertikal yang disebabkan oleh beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Nilai *Poisson ratio* dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

**Tabel 3. 10 Nilai *Poisson Ratio***

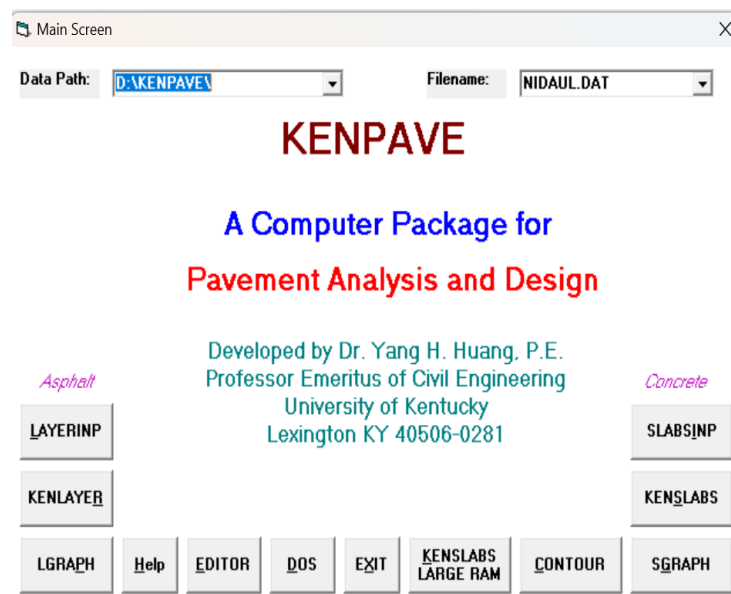
Material	Nilai v	v Tipikal
<i>Loose sand / silty sand</i>	0,20 – 0,40	0,30
<i>Dense sand</i>	0,30 – 0,45	0,35
<i>Fine grained soil</i>	0,30 – 0,50	0,40
<i>Saturated soft clay</i>	0,40 – 0,40	0,45

(sumber : Huang, 2004)

Penggunaan program ini memiliki empat program lainnya, yaitu *LAYERINP*, *KENLAYER*, *SLABSINP*, dan *KENSLAB*. Setiap program memiliki fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan jenis perkerasan. *LAYERINP* dan *KENLAYER* digunakan untuk analisis perkerasan lentur dengan teori lapis banyak, *SLABSINP* dan *KENSLAB* digunakan untuk perkerasan kaku dengan metode elemen hingga.

### 3.3.1 Menu pada Program *Kenpave*

Program *Kenpave* memiliki banyak menu yang dapat digunakan dalam analisis desain perkerasan. Tampilan utama yang muncul pada program *Kenpave* seperti Gambar 3.2. Terdapat 8 (delapan) menu yang dapat digunakan pada program *Kenpave*. Berikut penjelasan menu-menu yang terdapat pada program *Kenpave*.



**Gambar 3. 2 Tampilan Utama Program *Kenpave***

1. *Data Path*

*Data path* merupakan informasi tempat penyimpanan data, yang secara otomatis terletak pada tempat penginstalan program *Kenpave*.

2. *Filename*

Menu *filename* akan otomatis terisi, sehingga tidak perlu mengisi nama file yang baru. *File* akan tersimpan dengan eksistensi DAT. Menu ini

memudahkan dalam menentukan atau mengedit nama *file* untuk data *input* dan *output*.

3. *Help*

Menu *Help* menyediakan akses ke panduan pengguna, dokumentasi dan sumber bantuan lainnya, termasuk petunjuk untuk menjalankan berbagai fitur dalam perangkat lunak serta pemecahan masalah umum dalam program.

4. *Editor*

Menu *editor* tersedia untuk mengedit, memeriksa serta mencetak *file input* secara langsung. Dalam penggunaan *Layerinp* dan *Slabinp*, disarankan untuk menggunakan menu *editor*. Menu *editor* dapat memudahkan memasukkan data dan mencegah kesalahan karena ketidakcocokan data.

5. *Layerinp dan Slabsinp*

Sebelum *Kenlayer* dan *Kenslab* dijalankan, perlu membuat *file* data dengan *Layerinp* dan *Slabsinp*.

6. *Kenlayer dan Kenslab*

*Kenlayer* dan *Kenslab* adalah program utama yang digunakan untuk analisis perkerasan yang hanya dapat dijalankan setelah *file* data terisi. Setelah data terisi, program mulai memproses. Dalam proses tersebut, beberapa hasil akan terlihat di layar untuk memberitahu pengguna jika program sedang berproses.

7. *Lgraph dan Sgraph*

*Lgraph* dan *Sgraph* digunakan untuk membuat grafik rencana, penampang perkerasan, serta memberikan beberapa informasi tentang *input* dan *output*.

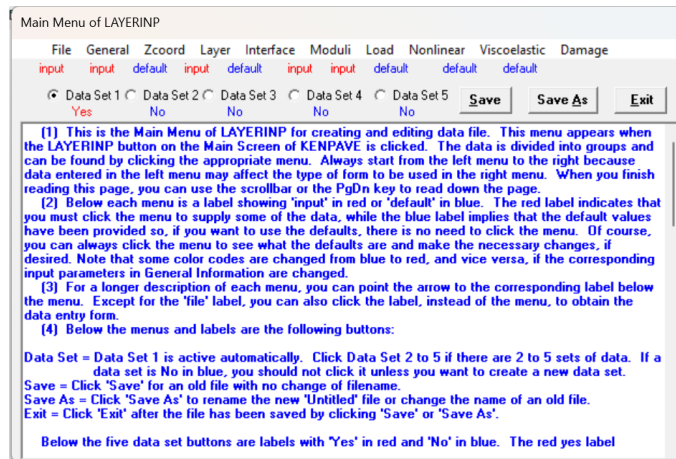
8. *Contour*

Menu *contour* berfungsi untuk plot kontur tekanan dan momen dalam arah x atau y. Pada pelat perkerasan hanya terjadi tekanan pada pelat yang diunggah dan terplot.

### 3.3.2 Menu *Kenlayer*

Program *Kenlayer* merupakan program yang terdapat pada *Kenpave* yang digunakan untuk jenis perkerasan lentur. *Kenlayer* berfungsi untuk menghitung tegangan, regangan, dan defleksi dalam lapisan perkerasan lentur. Program

*Kenlayer* diawali dengan memasukkan data melalui menu *Layerinp* yang terdapat pada program *Kenpave* seperti pada Gambar 3.3.



**Gambar 3. 3 Tampilan Layar Awal *Layerinp***

Tersedia 11 (sebelas) menu pada *Layerinp*. Berikut penjelasan mengenai menu-menu yang terdapat pada menu *Layerinp*.

1. *File*

Menu *file* digunakan untuk membuat proyek baru (*new*) atau membuka *file* yang sudah ada (*old*).

2. *General*

Menu *general* menampilkan informasi yang berkaitan dengan perkerasan yang akan dianalisis seperti Gambar 3.4. Menu *general* memiliki beberapa menu yang harus diisi data yang dibutuhkan.

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE	NIDAUL FITRI	
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 Layar *General***

- a) *Title* : Memasukkan judul analisa
- b) MATL : Memilih tipe dari material.  
 (1) jika lapisan merupakan linear elastis,  
 (2) jika lapisan merupakan non linear elastis,  
 (3) jika lapisan merupakan viskoelastis,  
 (4) jika lapisan merupakan campuran dari ketiga lapisan diatas.
- c) NDAMA : Memilih analisa kerusakan. Masukkan:  
 (0) jika tidak ada kerusakan analisis,  
 (1) terdapat kerusakan analisis dan terdapat hasil *print out*,  
 (2) terdapat kerusakan analisis dan terdapat hasil *print out* yang lebih detail.
- d) DEL : Nilai akurasi data, dengan standar akurasi 0,001.
- e) NL : Jumlah lapis, maksimal 19 lapis
- f) NZ : Letak koordinat arah z yang dianalisa. Jika NDMA = 1 atau 2, maka NZ = 0. Karena program akan menganalisis di koordinat yang mengalami analisa kerusakan.
- g) NSTD : Nilai *stress*, *strain* dan *displacement*. Masukkan:  
 (1) untuk *vertical displacement* dan nilai tegangan  
 (2) untuk nilai *vertical displacement*, nilai tegangan dan nilai regangan.
- h) NBOND : Masukkan :  
 (1) jika antar lapis saling terikat  
 (2) jika antar lapisan tidak saling terikat
- i) NUNIT : Satuan yang digunakan. Masukkan:  
 (0) jika satuan Inggris  
 (1) jika satuan SI.

### 3. *Zcoord*

*Zcoord* merupakan menu yang digunakan untuk analisis perkerasan pada titik jarak koordinat Z. jumlah pin yang tersedia dalam menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu *General*. Tampilan menu *Zcoord* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

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.

**Gambar 3. 5 Tampilan Layar *Zcoord***

#### 4. *Layer*

Menu *layer* digunakan untuk memasukkan data mengenai jumlah lapisan perkerasan. Kolom TH merupakan tebal tiap *layer* dan PR merupakan *Poisson's Ratio* tiap *layer*. Tampilan menu *layer* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

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

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

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

**Gambar 3. 6 Tampilan Layar *Layer***

## 5. *Interface*

Menu *interface* berkaitan dengan nilai *input* pada NBOUND pada menu general. Apabila NBOND = 1, maka menu *interface* menjadi *default*. Apabila NBOND = 2, menu *interface* dapat dimasukkan seperti Gambar 3.7 berikut.

Interface No.	INT
1	0
2	0

(1) This form appears when the 'Interface' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of interfaces on this form is equal to NL - 1, where NL is specified in the 'General' menu.  
 (2) INT (condition of each interface): Assign 1 for bonded interface and 0 for frictionless interface.  
 (3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter. After the last cell is filled, be sure to click the Enter key.  
 (4) You cannot delete or add a line on this form.  
 (5) Upon completion, click the OK button at the lower right corner to return to the Main Menu of LAYERINP.

**Gambar 3. 7 Tampilan Layar *Interface***

## 6. *Moduli*

Jumlah periode dalam menu modul tergantung pada nilai *input* NY yang terdapat pada menu *General*. Menu ini dapat menampung hingga 12 periode. Setiap periode memiliki tampilan untuk memasukkan nilai E (modulus elastisitas) yang *diinputkan* untuk setiap lapisan yang ada. Tampilan menu modul dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.

Layer Modulus of each period for Data Set No. 1

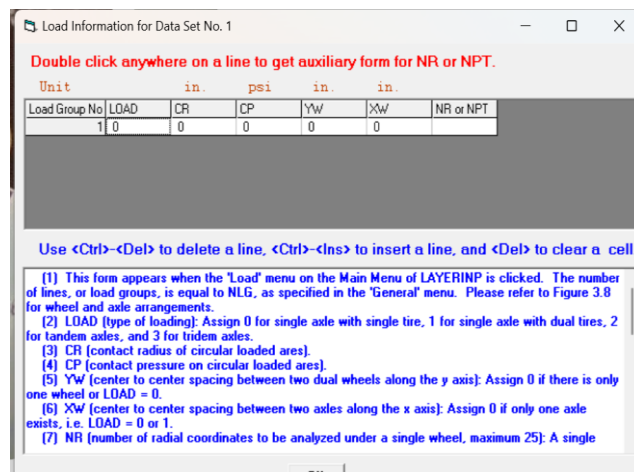
Period1 input    Period2 input    Period3 input    Period4 input    Period5 input

(1) This form appears when the 'Moduli' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of periods on this form is equal to NPY, as specified in the 'General' menu. The 12 buttons on the form indicates that a maximum of 12 periods may be used. However, only the periods being actually specified are marked with the period number on the button.  
 (2) Below the period button is a label showing 'input' in red, indicating that there are no defaults and you must enter the elastic modulus for each layer. After the data are entered, the letter 'input' will be changed to 'done'.  
 (3) Now you can click the Period1 button to enter the data. After the data for all periods are entered, as indicated by 'done' under each period button, click OK to return to the Main Menu of LAYERINP.

**Gambar 3. 8 Tampilan Layar *Moduli***

## 7. Load

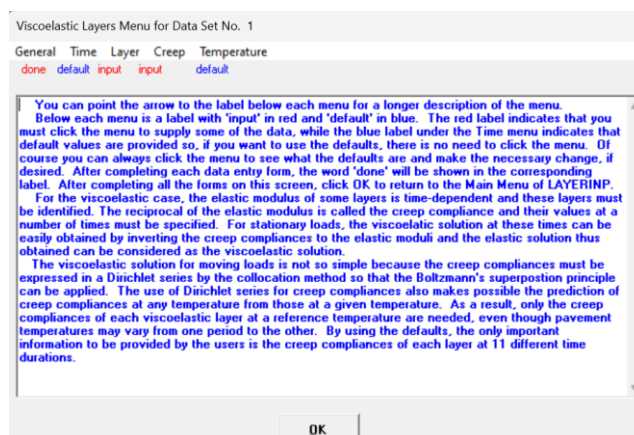
Jumlah unit yang ada dalam menu ini sesuai dengan jumlah NLG pada menu General. Untuk pengisian kolom *load*, masukkan (0) untuk sumbu tunggal, (1) untuk sumbu tunggal roda ganda, (2) untuk sumbu tandem, dan (3) untuk sumbu *triple*. Kolom CR menunjukkan radius kontak beban, sedangkan kolom CP adalah nilai beban. Kolom YW dan XW menunjukkan jarak antar roda dalam arah x dan y. Kolom Nr dan PT adalah titik koordinat tegangan-regangan yang ditinjau. Tampilan menu load dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.



**Gambar 3. 9 Tampilan Layar Load**

## 8. Viscoelastic

Terdapat 5 (lima) menu pada menu viskoelastik seperti pada Gambar 3.10 berikut.



**Gambar 3. 10 Menu Pada Menu Viskoelastik**

a. *General*

Pada menu ini menampilkan informasi dasar lapisan seperti pada Gambar 3.11 berikut.

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)	1
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.

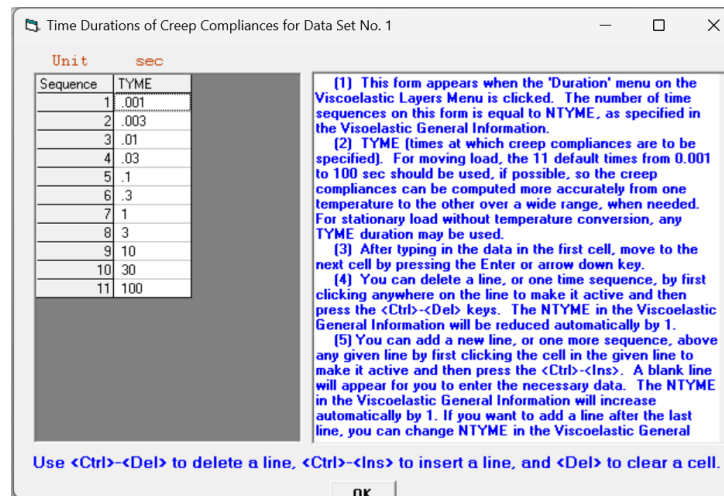
OK

**Gambar 3. 11 Tampilan Menu *General***

Nilai pada *Load Duration* (DUR) menentukan berapa lama beban roda bekerja pada permukaan perkerasan. Jika nilai DUR = 0 beban dianggap tidak bergerak, sedangkan jika nilai DUR = 0,1 detik beban dianggap bergerak. Nilai pada *Number of Viscoelastic Layer* (NVL) menentukan jumlah lapisan perkerasan yang dianggap sebagai material viskoelastik. Parameter NVL dapat diubah sesuai dengan kebutuhan analisis hingga maksimum 12 lapisan, sehingga dapat menyesuaikan karakteristik material sesuai dengan kondisi perkerasan. Nilai pada *Number of Time Durations for Creep Compliance* (NTYME) menunjukkan durasi waktu yang digunakan untuk memasukkan data *creep compliance* sebagai pemodelan perilaku viskoelastik material yang berubah terhadap waktu.

b. *Time*

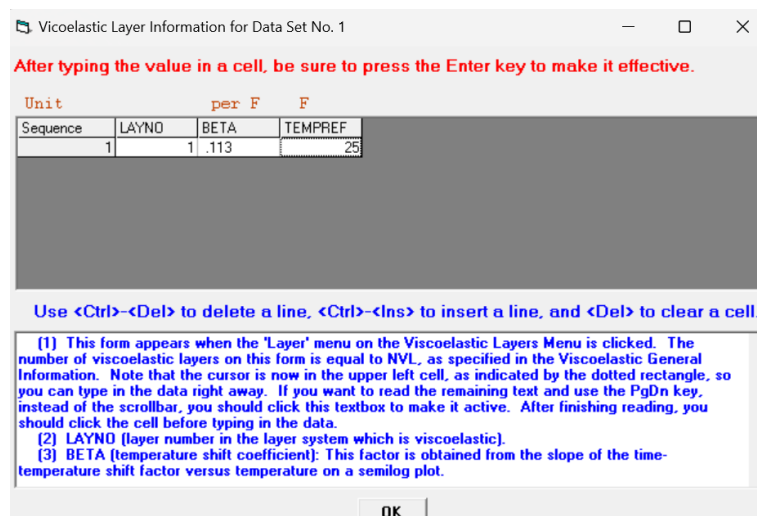
Pada menu ini memasukkan 11 variasi waktu untuk menghitung *creep compliance* seperti pada Gambar 3.12 berikut.



**Gambar 3. 12 Tampilan Menu *Time***

c. *Layer*

Menu berfungsi untuk mendefinisikan masing-masing lapis perkerasan sesuai dengan jumlah lapisan yang telah diinput pada parameter NVL. Menu layer dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



**Gambar 3. 13 Tampilan Menu *Layer***

Parameter LAYNO berisi nomor urut lapisan yang dianggap viskoelastik. Parameter BETA merupakan koefisien pergeseran suhu. Parameter Beta menunjukkan besar perubahan respon material viskoelastik ketika terjadi perubahan suhu. Parameter TEMPREF merupakan suhu yang digunakan sebagai acuan.

d. *Creep Compliance*

Pada menu *Creep Compliance* terdapat dua parameter seperti pada Gambar 3.14. Kolom TYME berisi daftar waktu yang menunjukkan titik waktu ketika nilai *creep compliance* dihitung. Kolom *CREEP* tempat untuk memasukkan nilai *creep compliance*. Nilai *Creep compliance* dapat dihitung dengan Persamaan 3.3.

TYME	CREEP
.001	0
.003	0
.01	0
.03	0
.1	0
.3	0
1	0
3	0
10	0
30	0
100	0

(1) This form appears when the layer button on the Creep Compliances of Each Layer is clicked. The number of creep compliances on this form is equal to NTYME, as specified in the Viscoelastic General Information. Note that TYME is the time at which the creep compliance is needed, as specified in the 'Duration' menu.

(2) CREEP [creep compliances of the viscoelastic layer at the reference temperature]. If more convenient, you can enter the creep compliances in exponential form such as 1.325e-5.

(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 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 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 menu 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 by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that

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

**Gambar 3. 14 Tampilan Menu *Creep Compliance***

e. *Temperature*

Menu *Temperature* digunakan untuk mengisi suhu pada setiap lapisan perkerasan seperti pada Gambar 3.15. Kolom Layer No. menunjukkan nomor lapisan. Sedangkan kolom TEMP diinput temperatur dari stiap lapisan perkerasan.

Layer No.	TEMP
1	25

(1) This form appears when the period button on the Layer Temperature of Each Period is clicked. The number of layers on this form is equal to NVL, as specified in the Viscoelastic General Information.

(2) TEMP [Pavement temperature of each viscoelastic layer].

(3) After typing 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 layer, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>-<Del> keys. The NVL in the Viscoelastic General Information will be reduced automatically by 1.

(5) You can add a new line, or one more layer, 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 NVL in the Viscoelastic General Information will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NVL in the Viscoelastic General Information by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that always use the <Ctrl>-<Ins> keys to add a line unless the line to be added is the last line. By so doing, you don't have to retype any of the existing lines.

(6) Upon completion, click the OK button to return to the

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

**Gambar 3. 15 Tampilan Menu *Temperature***

### 3.4 Analisis Kerusakan

Kerusakan yang akan dianalisa yaitu *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Kerusakan terjadi pada perkerasan jalan disebabkan oleh beban kendaraan serta kondisi cuaca. Dalam analisis menggunakan program *Kenpave*, dihasilkan nilai tegangan dan regangan yang akan digunakan untuk memprediksi kerusakan pada perkerasan.

#### 3.4.1 *Fatigue Cracking* (Retak Lelah)

*Fatigue cracking* atau retak lelah merupakan jenis kerusakan yang disebabkan oleh beban lalu lintas berulang-ulang yang mengakibatkan pelemahan material secara bertahap. Persamaan untuk menghitung *fatigue cracking* dapat dilihat pada Persamaan 3.5 berikut.

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

dengan :

- $N_f$  = Jumlah siklus hingga terjadinya keretakan
- $(\varepsilon_t)$  = Regangan Tarik
- $|E|$  = Modulus elastisitas lapis permukaan

#### 3.4.2 *Rutting* (Retak Alur)

*Rutting* merupakan deformasi permanen yang terjadi pada lapis permukaan jalan, ditandai dengan adanya alur atau cekungan yang terbentuk sepanjang jalur roda kendaraan. *Rutting* disebabkan deformasi plastik dari material aspal di bawah beban yang berulang. Persamaan untuk menghitung *rutting* dapat dilihat pada Persamaan 3.6 berikut.

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

dengan :

- $N_r$  = Jumlah siklus hingga terjadi *rutting*
- $f_4, f_5$  = koefisien deformasi permanen
- $\varepsilon_c$  = Regangan dan tegangan vertikal pada permukaan lapisan dasar

### 3.4.3 *Permanent Deformation* (Deformasi Permanen)

Deformasi permanen adalah perubahan bentuk yang tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan akibat beban lalu lintas yang berulang. Persamaan deformasi permanen dapat dilihat pada Persamaan 3.7 berikut

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

dengan :

$N_d$  = Jumlah siklus hingga terjadi deformasi permanen

$f_4, f_5$  = koefisien deformasi permanen

$\varepsilon_c$  = Regangan dan tegangan vertikal pada permukaan lapisan dasar

### 3.5 Umur Sisa Layan

Umur sisa layan merupakan kemampuan struktur jalan dalam menahan beban lalu lintas berulang hingga perkerasan memerlukan tindakan perbaikan. Umur sisa layan dapat dinyatakan dalam satuan tahun maupun dalam satuan juta lintasan beban gandar standar (*million standard axle* atau MSA). Penentuan nilai sisa umur layan dapat dilakukan dengan menghitung total lintasan lalu lintas aktual dan membandingkan dengan jumlah jepetisi beban maksimum yang masih dapat diterima sebelum terjadi kerusakan, yang dinyatakan dalam satuan 18-Kip ESAL. Perhitungan nilai sisa layan dapat menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

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

dengan :

RL = *Remaining Life*

$N_p$  = Nilai lalu lintas pertahun

$N_{1,5}$  = Nilai repetisi beban

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

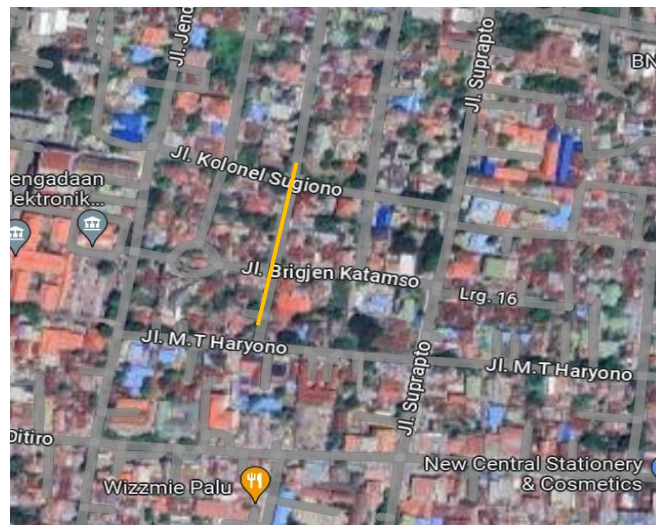
#### **4.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian merupakan serangkaian proses yang digunakan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasikan data dengan tujuan mendapatkan informasi yang akurat dan relevan dari rumusan masalah pada penelitian. Penelitian ini menggunakan pedoman Bina Marga 2024 untuk mengevaluasi kondisi perkerasan dan metode mekanistik-empiris pemodelan elastik dan viskoelastik dari program *Kenpave* untuk analisis kerusakan dan umur layan perkerasan yang terjadi. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kinerja perkerasan dari aspek visual dan aspek struktural.

Dengan menggunakan kedua metode tersebut, penelitian ini memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi sesuai dengan kondisi aktual dalam desain atau menghitung umur layan serta memprediksi kerusakan yang akan terjadi seperti kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*. Oleh karena itu, penggunaan kedua pendekatan ini tidak hanya memungkinkan analisis yang lebih menyeluruh tetapi juga memberikan gambaran yang lebih akurat tentang prioritas penanganan dan pemeliharaan jalan sesuai dengan keadaan di lapangan.

#### **4.2 Lokasi Penelitian**

Lokasi pada penelitian dilakukan di sepanjang jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Jalan ini memiliki panjang 200 m dengan lebar 4 meter. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4. 1** Peta Lokasi Jalan Mayjen Sutoyo, Palu  
(Sumber : Google Maps, 2024)

### 4.3 Pengumpulan Data

Pelaksanaan pada penelitian ini dibutuhkan data yang akan digunakan berdasarkan rumusan masalah yang terjadi. Data yang digunakan untuk analisis menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan program *Kenpave* adalah sebagai berikut:

#### 4.3.1 Volume lalu lintas harian (LHR)

Data volume lalu lintas harian (LHR) merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu. Hasil perhitungan lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4. 1** Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu

Gol.	Jenis Kendaraan	LHR 2022
1	Sepeda Motor	2531
2	Sedan, Jeep dan Station Wagon	750
3	Opelet, Pick Up Opelet, Combi dan Mini Bus	4336
4	Pick Up, Micro Truk, dan Mobil Hantaran	1235
5a	Bus Kecil	8
5b	Bus Besar	1
6a	Truk Ringan 2 sumbu	829
6b	Truk Berat 2 Sumbu	98

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu (2022)

**Lanjutan Tabel 4. 1 Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu**

<b>Gol.</b>	<b>Jenis Kendaraan</b>	<b>LHR 2022</b>
7a	Truk Ringan 3 Sumbu	17
7b	Truk 2 sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	0
7c	Truk Trailer 4 Sumbu	70

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu (2022)

#### 4.3.2 Data Tebal Perkerasan Eksisting

Berdasarkan data sekunder yang didapatkan, tebal perkerasan ruas jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu adalah sebagai berikut.

<i>AC-WC</i>	= 3 cm
<i>AC-BC</i>	= 4 cm
LPA Kelas A	= 14 cm

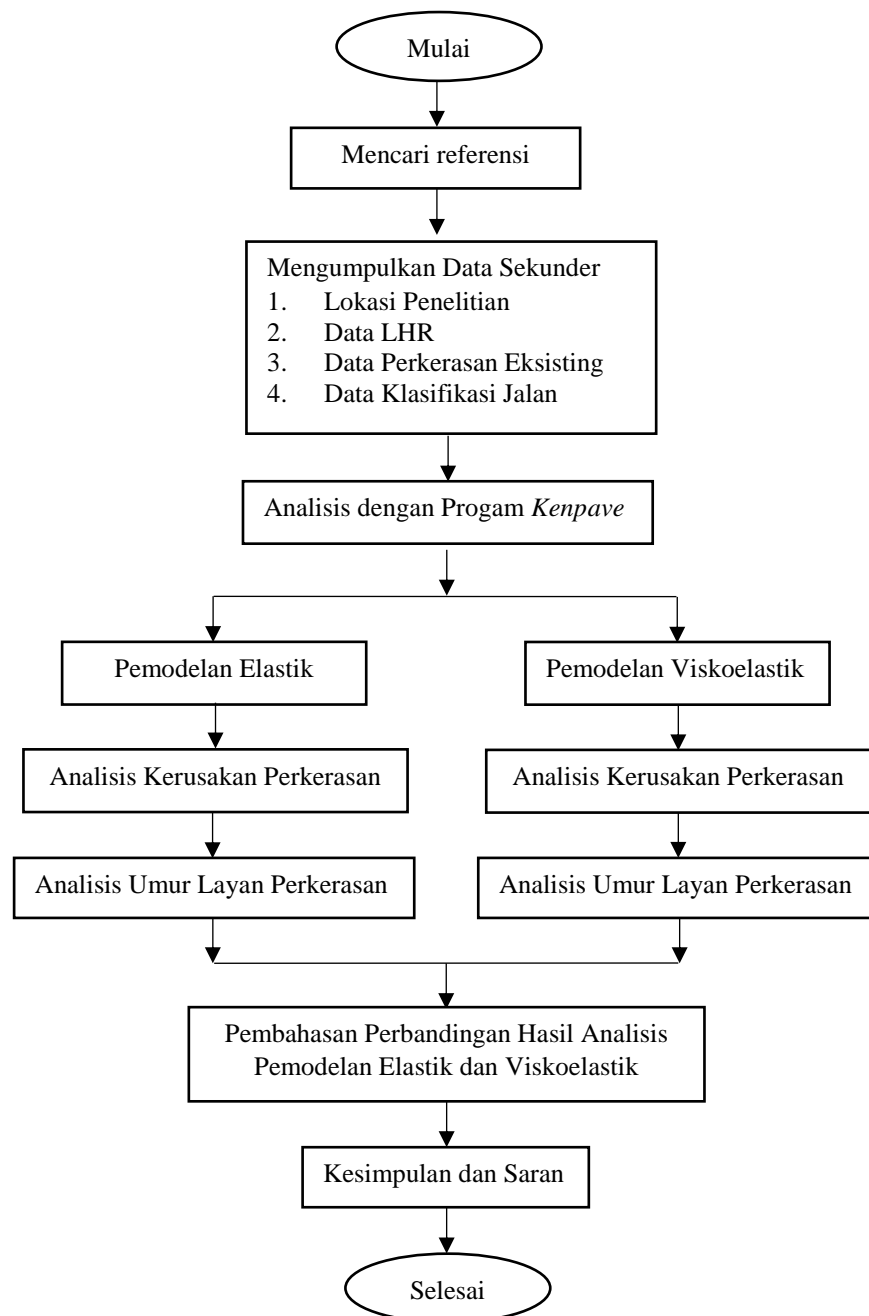
#### 4.4 Analisis Data

Data sekunder adalah komponen yang digunakan dalam penelitian ini. Data sekunder yang digunakan merupakan data yang telah didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu kemudian dianalisis untuk mendapatkan hasil yang akan dibandingkan untuk melihat perbandingan setiap metode. Analisis berdasarkan metode Bina Marga 2024 dan menggunakan program *Kenpave*. Untuk perhitungan dengan metode Bina Marga 2024 digunakan *software* bantuan yaitu *Microsoft Excel*. Tahapan analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan data
2. Melakukan perbandingan analisis berdasarkan metode Bina marga 2024 dan program *Kenpave* dengan menggunakan data dan kondisi yang sama.
3. Membandingkan tebal perkerasan dari hasil analisis yang telah didapatkan.
4. Hasil yang didapatkan akan berbeda-beda.

#### 4.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dengan metode Bina Marga 2024 dan program *Kenpave* dijelaskan secara singkat pada bagan alir Gambar 4.2 Berikut.



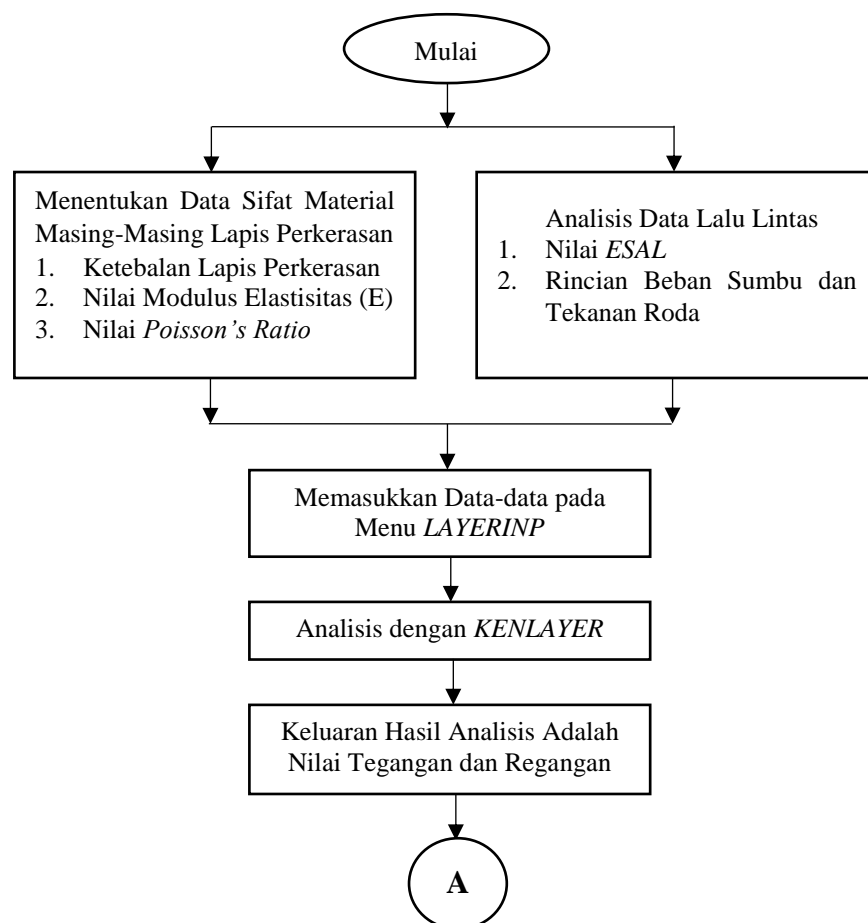
**Gambar 4. 2 Alur Desain Tahapan Penelitian**

#### 4.5.1 Tahapan Pemodelan Elastik Program *Kenpave*

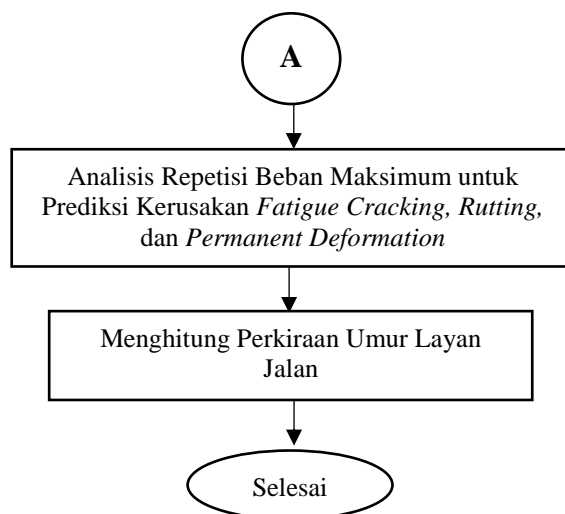
Tahapan dalam melakukan analisis dengan pemodelan elastik menggunakan program *Kenpave* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.

1. Mengumpulkan data sifat material yang akan digunakan dalam pemodelan struktur seperti:

- a. Ketebalan lapis perkerasan.
- b. Nilai modulus elastisitas (E) masing-masing lapisan.
- c. Nilai *poisson's ratio* masing-masing lapisan
2. Analisis data lalu lintas, seperti berikut.
  - a. Menentukan jumlah *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*.
  - b. Menentukan rincian beban sumbu roda.
3. Memasukkan data-data ke menu *LAYERINP* untuk pemodelan elastik.
4. Analisis data menu *KENLAYER* untuk mengetahui respon tegangan dan regangan perkerasan.
5. Analisis repetisi beban gandar maksimum sebelum kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* terjadi pada perkerasan.
6. Analisis prediksi umur layan jalan.



**Gambar 4. 3 Alur Tahapan Pemodelan Elastik**

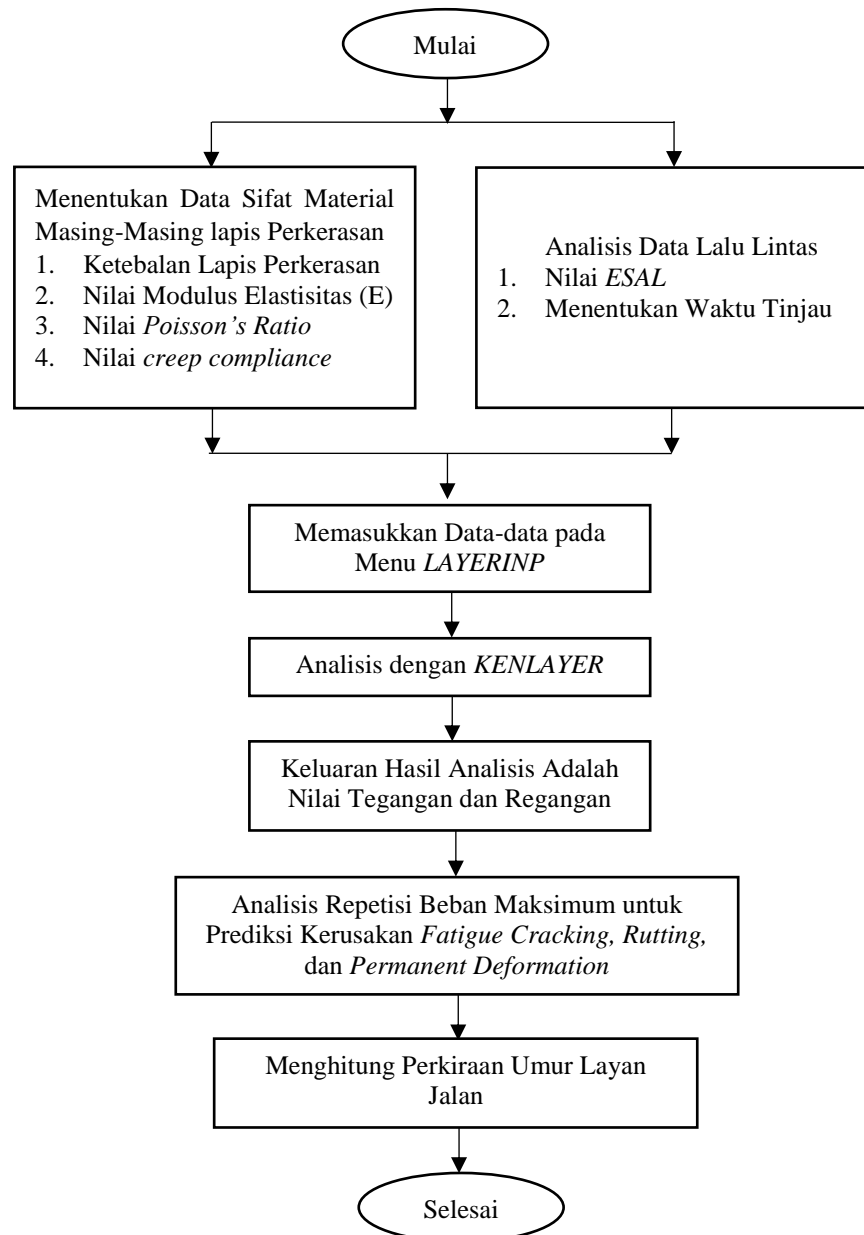


**Lanjutan Gambar 4. 3 Alur Tahapan Pemodelan Elastik**

#### 4.5.2 Tahapan Pemodelan Viskoelastik Program *Kenpave*

Tahapan dalam analisis dengan pemodelan viskoelastik dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.

1. Mengumpulkan data sifat material yang akan digunakan dalam pemodelan struktur seperti:
  - a. Ketebalan lapis perkerasan.
  - b. Nilai modulus elastisitas (E) masing-masing lapisan.
  - c. Nilai *poisson's ratio* masing-masing lapisan.
  - d. Menentukan Nilai *Creep compliance*
2. Analisis data lalu lintas, seperti berikut.
  - a. Menentukan jumlah *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*.
  - b. Menentukan rincian beban sumbu roda.
  - c. Menentukan waktu tinjauan analisis.
3. Memasukkan data-data ke menu *LAYERINP* pemodelan viskoelastik.
4. Analisis data menu *KENLAYER* untuk mengetahui respon tegangan dan regangan perkerasan.
5. Analisis repetisi beban gandar maksimum sebelum kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* terjadi pada perkerasan.
6. Analisis prediksi umur layan jalan.



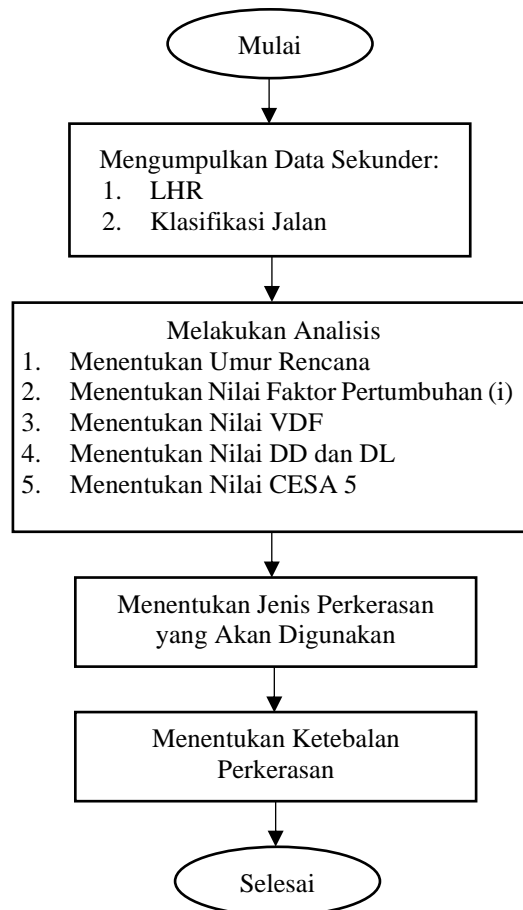
**Gambar 4. 4 Alur Tahapan Pemodelan Viskoelastik**

#### 4.5.3 Tahapan Desain Alternatif Menggunakan Metode Bina Marga 2024

Tahapan desain alternatif dengan menggunakan metode Bina Marga 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan berikut penjelasannya.

1. Menentukan umur rencana perkerasan.
2. Menentukan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas.
3. Menentukan nilai *VDF* sesuai dengan lokasi penelitian.

4. Menentukan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur (DL).
5. Menentukan nilai CESA 5 sesuai dengan umur rencana.
6. Menentukan jenis perkerasan.
7. Menentukan ketebalan perkerasan.



**Gambar 4. 5 Alur Tahapan Desain Perkerasan Metode Bina Marga 2024**

## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 Evaluasi Perkerasan Lentur pada Kondisi Eksisting menggunakan program *Kenpave*

Evaluasi kerusakan perkerasan jalan dan kinerja perkerasan dalam pembahasan ini dilakukan pada perkerasan eksisting dengan menggunakan pemodelan viskoelastik program *Kenpave*.

##### 5.1.1 Evaluasi Perkerasan Lentur Kondisi Eksisting Pemodelan Elastik

Data tebal perkerasan lentur yang telah didapatkan, langsung diolah menggunakan program *Kenpave*.

1. Data Analisis yang Diperlukan
  - a. Parameter tiap lapis perkerasan

Prosedur untuk melakukan pemodelan struktur menggunakan program *Kenpave* dan perkerasan lentur menggunakan program *Kenlayer* diperlukan nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *Poisson's Ratio* pada tiap lapis perkerasan. Nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *poisson's ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5. 1 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

<i>AC-WC</i>	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
<i>AC-BC</i>	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45

(Sumber : Huang, 2004)

- b. Beban sumbu roda
- 1) Beban sumbu roda standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
  - 2) Tekanan roda satu ban sebesar  $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa} = 550 \text{ Kpa}$
  - 3) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.
  - 4) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
2. Evaluasi Perkerasan Pemodelan Elastik
- Tahapan yang dilakukan dalam evaluasi tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan program Kenpave dapat dimulai dengan menu *Layerinp* kemudian *input* data yang telah ada, untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.
- a. Menu *Layerinp*
- Untuk memulai *input* data, klik menu *layerinp*. Jika ingin membuat halaman baru, klik menu *file* kemudian pilih *new*.
- b. *General*
- Langkah selanjutnya, klik menu *General* kemudian melakukan input nilai-nilai seperti Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5. 2 Input Data pada Menu *General***

<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>MATL</i>	1	Lapis perkerasan linear
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>NLG</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	4	Jumlah lapisan perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, LPA, Subgrade</i> )
<i>NZ</i>	4	Jumlah titik koordinat arah Z yang ditinjau kerusakan.
<i>ICL</i>	80	Mengikuti Kenpave
<i>NSDT</i>	9	Perpindahan vertical, nilai tegangan dan regangan

Lanjutan Tabel 5. 2 *Input Data pada Menu General*

<i>Title</i>	<i>Input</i>	<i>Keterangan</i>
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE eksisting elastik (try)

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)	4
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	4
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)	0
Number of layers for top compression	(NLTC)	0
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	1

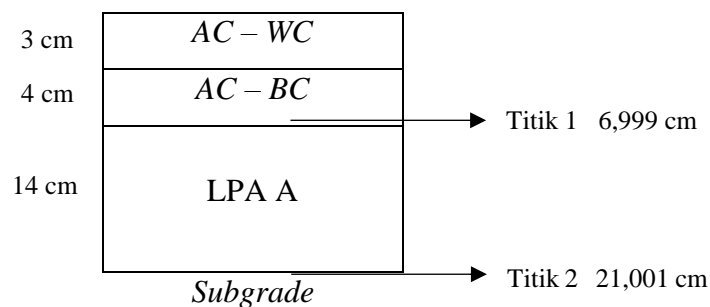
(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage 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 5. 1 Tampilan *Input Data Menu General*c. *Zcoord*

Input titik kedalaman kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 untuk meninjau kerusakan *fatigue cracking* dan titik tinjau 2 untuk meninjau kerusakan *permanent deformation* seperti Gambar 5.2 berikut.



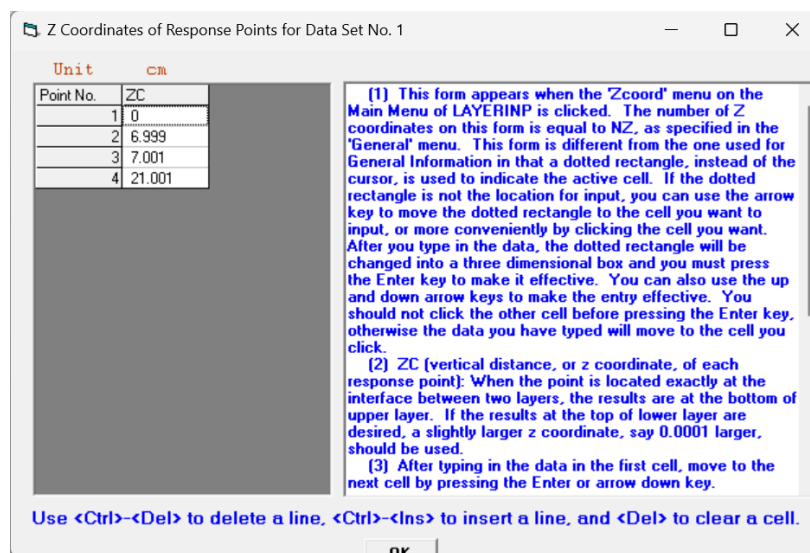
Gambar 5. 2 Kedalaman Titik Tinjau

Dalam analisis ini titik tinjau 1 berada pada kedalaman 6,999 cm dan titik 2 berada pada kedalaman 21,001 cm. Detail kedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5. 3 Input Data pada Menu *Zcoord***

No.	Kedalaman	Keterangan
1	0	Tebal lapis permukaan perkerasan
2	6,999	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	7,001	Lapis perkerasan pondasi
4	21,001	Tanah dasar (Titik tinjau 2)

Selanjutnya memasukkan data pada menu *Zcoord*, seperti Gambar 5.3 berikut.



**Gambar 5. 3 Tampilan *Input Data Menu Zcoord***

d. *Layer*

Parameter yang dimasukkan pada menu *layer* berupa nilai *Poisson's Ratio* setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5. 4 Input Data pada Menu *Layer***

No. <i>layer</i>	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>
1	3	0,35
2	4	0,35
3	14	0,4
4	$\infty$	0,45

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight for Data Set No. 1

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

Unit	cm	kN/m <sup>3</sup>
Layer No.	TH	PR
1	3	0.35
2	4	0.35
3	14	0.4
4	xxxxxxxx	0.45

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 5. 4 Tampilan *Input Data Menu Layer*

e. *Moduli*

Parameter yang dimasukkan pada menu *moduli* berupa nilai modulus elastisitas pada setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 *Input Data pada Menu Moduli*

No. layer	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	200.000
4	150.000

Layer Moduli for Period No. 1 and Data Set No. 1

Unit	kPa
Layer No.	E
1	1100000
2	1200000
3	200000
4	150000

(1) This form appears when the period button on the Layer Modulus of Each Period is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the "General" menu.

(2) E (elastic modulus of each layer): Use as the assumed modulus for the first iteration when the layer is nonlinear. If more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for viscoelastic layer.

(3) After typing the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key. After the last cell is filled, be sure to click the Enter key.

(4) You can delete a line, or one layer, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>-<Del> keys. The NL in the "general" menu will be reduced automatically by 1.

(5) You can add a new line, or one more layer, 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 NL in the "General" menu will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NL in the "General" menu by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that always use the <Ctrl>-<Ins>

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

OK

Gambar 5. 5 Tampilan *Input Data Menu Moduli*

f. *Load*

Beban gandar yang akan diterima perkerasan dimasukkan dalam menu *load*.

Perincian *input* menu *load* dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

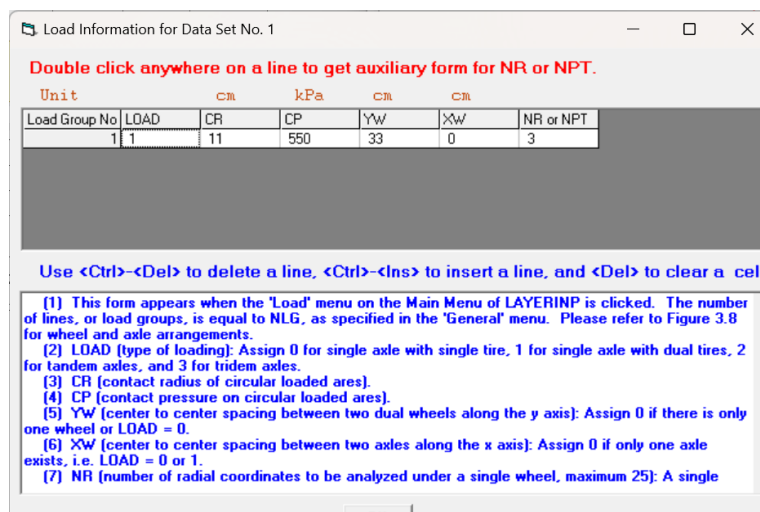
**Tabel 5. 6 Input Data pada Menu Load**

<i>Unit</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>Load</i>	1	<i>Single axle load</i> , roda gandar tunggal
<i>CR</i>	11	Nilai jarak antar ban (cm)
<i>CP</i>	550	Nilai tekan ban (Kpa)
<i>YW</i>	33	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>XW</i>	0	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>NPT or NR</i>	3	Jumlah koordinat yang ditinjau

Nilai koordinat NPT yang akan ditinjau sebanyak 3, koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5. 7 Koordinat NPT**

X	Y
0	0
0	10
0	16,5



**Gambar 5. 6 Tampilan Input Data Menu Load**

Setelah mengisi semua data pada menu tampilan, selanjutnya simpan dan kembali ke menu utama pada program Kenpave. Untuk melihat hasil analisis, buka menu *Editor* pada menu utama dan masukkan nama *file*.

### 3. Hasil Analisis

Hasil analisis dari perhitungan menggunakan Program *Kenlayer* berupa nilai tegangan dan regangan yang terdapat pada struktur perkerasan jalan. Berikut Tabel 5.8 yang berupa keluaran dari tegangan dan regangan saat struktur perkerasan sudah dibebani dan Tabel 5.9 rekapitulasi hasil analisis.

**Tabel 5. 8 Keluaran Hasil Analisis Kondisi Eksisting Pemodelan Elastik**

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	1234,804
		-1,106E-04	4,486E-04
	6,999	338,417	-536,433
		6,201E-04	-4,614E-04
	7,001	338,331	94,455
		1,340E-03	-4,614E-04
21,001	138,315	28,479	
	7,902E-04	-4,201E-04	
2	0	550	415,481
		-1,068E-04	4,312E-04
	6,999	228,846	-50,357
		3,298E-04	-4,209E-04
	7,001	228,807	94,040
		7,949E-03	-4,210E-04
21,001	133,928	42,462	
	7,256E-04	-4,408E-04	
3	0	0	458,841
		-1,095E-04	1,143E-04
	6,999	144,144	144,144
		9,260E-05	-3,595E-04
	7,001	144,154	139,606
		7,313E-04	-3,596E-04
21,001	128,517	46,962	
	6,768E-04	-4,396E-4	

**Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Analisis Program Kenpave**

Repetisi Beban	Tegangan Horizontal (6,999 cm)	Regangan Vertikal (6,999 cm)	Regangan Vertikal kedalaman (21.001 cm)
1	0,0004614	0,0006201	0,0007902
2	0,0004209	0,0003269	0,0007256
3	0,0003595	0,0000926	0,0006768
Maksimal	0,0004614	0,0006201	0,0007902

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah mendapatkan perhitungan nilai tegangan dan regangan, diperlukan untuk menghitung jumlah repetisi beban untuk mendapatkan nilai kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan menggunakan Persamaan 3.5 hingga Persamaan 3.7 seperti berikut.

##### a. *Fatigue Cracking* (Retak Lelah)

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

$$N_f = 0,0796 (0,0004614)^{-3,921} |1.200.000|^{-0,854}$$

$$N_f = 6.158.062 \text{ ESAL}$$

##### b. *Rutting* (Retak Alur)

$$N_r = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (0,0006201)^{-f^5}$$

$$N_r = 312.811 \text{ ESAL}$$

##### c. *Permanent Deformation* (Deformasi Permanen)

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0007902)^{-f^5}$$

$$N_d = 105.673 \text{ ESAL}$$

#### 5. Prediksi Umur Layan

Hasil perhitungan tegangan dan regangan yang didapatkan dari analisis menggunakan program Kenpave diperoleh kondisi eksisting pada Jalan Mayjen Sutoyo akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* ketika dilewati beban gandar sebesar 6.158.062 *ESAL*, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika dilewati beban gandar sebesar 312.811 *ESAL*, serta akan terjadi kerusakan *permanent deformation*

sebesar 105.673 *ESAL*. Dari hasil analisis diketahui kerusakan awal yang terjadi adalah *permanent deformation*, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur layan menggunakan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} RL_{Fatigue} &= 100 \times \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{6.311}{6.158.062}\right) \\ &= 99,90 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RL_{Rutting} &= 100 \times \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{6.311}{312.811}\right) \\ &= 97,98 \% \end{aligned}$$

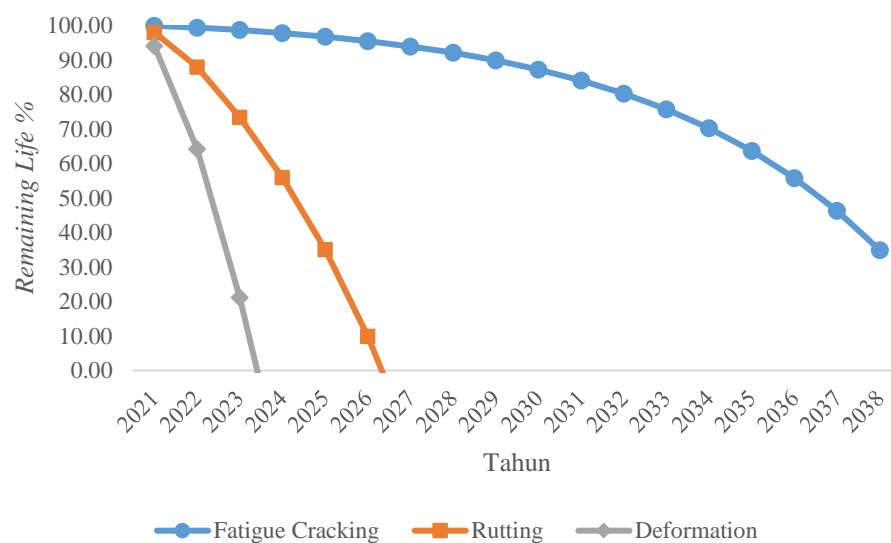
$$\begin{aligned} RL_{Deformation} &= 100 \times \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{6.311}{105.673}\right) \\ &= 94,03 \% \end{aligned}$$

dengan :

$Np$  = Nilai lalu lintas pertahun

$N_{1,5}$  = Nilai repetisi beban

Hasil prediksi umur layan perkerasan eksisting dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5. 7 Umur Sisa Perkerasan Eksisting Pemodelan Elastik**

Berdasarkan Gambar 5.7, Jalan Mayjen Sutoyo pada tahun ke-17 akan mengalami kerusakan *fatigue cracking* sebesar 34,87%. Kerusakan *rutting* sebesar 9,93% pada tahun ke-6 dan terjadi penurunan negatif setelahnya. Kerusakan *permanent deformation* terjadi penurunan yang paling tajam, sisa umur layan sebesar 21,17% pada tahun ke-3. Hal ini menunjukkan perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban kendaraan hingga umur pelayanan yang direncanakan.

### 5.1.2 Evaluasi Perkerasan Lentur Kondisi Eksisting Pemodelan Viskoelastik

Data tebal perkerasan lentur yang telah didapatkan, langsung diolah menggunakan program Kenpave.

1. Data Analisis yang Diperlukan
  - a. Parameter tiap lapis perkerasan

Prosedur untuk melakukan pemodelan struktur menggunakan program Kenpave dan perkerasan lentur menggunakan program Kenlayer diperlukan nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *Poisson's Ratio* pada tiap lapis perkerasan. Nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *poisson's ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5. 10 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	200.000 Mpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45

(Sumber : Huang, 2004)

*Creep compliance* digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik viskoelastik pada lapisan perkerasan yang mengandung bahan pengikat aspal. Parameter *Creep compliance* dilakukan pada 11 rentang waktu yang berbeda sesuai dengan rekomendasi FHWA, yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100. Terdapat 2 lapis perkerasan yang dianggap memiliki karakteristik

viskoelastik, yaitu lapisan *AC-WC* dan lapisan *AC-BC*. Contoh perhitungan *creep compliance* pada lapis *AC-WC* dengan durasi waktu 0,001 menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$D(t) = \frac{1}{E} (1 - e^{-0,833t})$$

$$D(0,001) = \frac{1}{1100000} (1 - 2,71828183^{-0,833(0,001)})$$

$$D(0,001) = 7,956 \times 10^{-10}$$

Dari perhitungan di atas, untuk lapisan *AC-WC* pada waktu 0,001 detik didapatkan nilai *creep compliance* sebesar  $7,956 \times 10^{-10}$ . Rekapitulasi perhitungan *creep compliance* dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5. 11 Nilai Creep Compliance**

Waktu	<i>Creep Compliance</i>	
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>
0,001	$7,956 \times 10^{-10}$	$6,938 \times 10^{-10}$
0,003	$2,267 \times 10^{-9}$	$2,079 \times 10^{-9}$
0,01	$7,541 \times 10^{-9}$	$6,912 \times 10^{-9}$
0,03	$2,243 \times 10^{-8}$	$2,056 \times 10^{-8}$
0,1	$7,265 \times 10^{-8}$	$6,660 \times 10^{-8}$
0,3	$2,010 \times 10^{-7}$	$1,842 \times 10^{-7}$
1	$5,138 \times 10^{-7}$	$4,710 \times 10^{-7}$
3	$8,343 \times 10^{-7}$	$7,648 \times 10^{-7}$
10	$9,088 \times 10^{-7}$	$8,331 \times 10^{-7}$
30	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$
100	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$

b. Beban sumbu roda

1. Beban sumbu roda standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
2. Tekanan roda satu ban sebesar  $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa} = 550 \text{ Kpa}$
3. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

4. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.

2. Evaluasi Tebal Perkerasan Pemodelan Viskoelastik

Tahapan yang dilakukan dalam evaluasi tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan program Kenpave dapat dimulai dengan menu *Layerinp* kemudian *input* data yang telah ada, untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.

a. Menu *Layerinp*

Untuk memulai *input* data, klik menu *layerinp*. Jika ingin membuat halaman baru, klik menu *file* kemudian pilih *new*.

b. *General*

Langkah selanjutnya, klik menu *General* kemudian melakukan input nilai-nilai seperti Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5. 12 Input Data pada Menu *General***

<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>MATL</i>	3	Lapis perkerasan linear
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>NLG</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	4	Jumlah lapisan perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, LPA, Subgrade</i> )
<i>NZ</i>	4	Jumlah titik koordinat arah Z yang ditinjau kerusakan.
<i>ICL</i>	80	Mengikuti Kenpave
<i>NSDT</i>	9	Perpindahan vertical, nilai tegangan dan regangan
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE eksisting Viskoelastik (try)

Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	3
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)	4
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	4
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)	0
Number of layers for top compression	(NLTC)	0
System of units (0=English, 1=S)	(NUNIT)	1

(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.

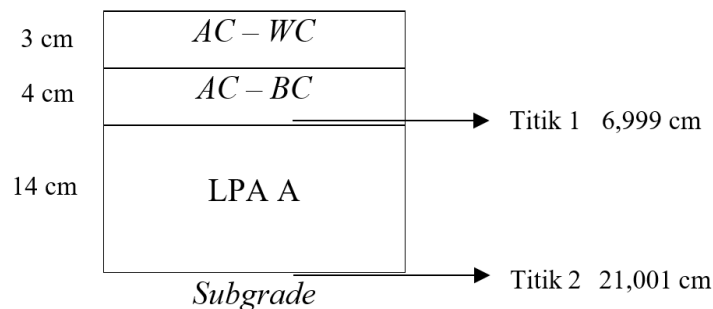
(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No 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 5. 8 Tampilan *Input Data Menu General***

c. *Zcoord*

Input titik kedalaman kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 untuk meninjau kerusakan *fatigue cracking* dan titik tinjau 2 untuk meninjau kerusakan *permanent deformation* seperti Gambar 5.9 berikut.



**Gambar 5. 9 Kedalaman Titik Tinjau**

Dalam analisis ini titik tinjau 1 berada pada kedalaman 6,999 cm dan titik 2 berada pada kedalaman 21,001 cm. Detail kedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5. 13 *Input Data pada Menu Zcoord***

No.	Kedalaman	Keterangan
1	0	Tebal lapis permukaan perkerasan
2	6,999	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	7,001	Lapis perkerasan pondasi
4	21,001	Tanah dasar (Titik tinjau 2)

Selanjutnya memasukkan data pada menu *Zcoord*, seperti Gambar 5.10 berikut.

Point No.	ZC
1	0
2	6.999
3	7.001
4	21.001

(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.

**Gambar 5. 10 Tampilan Input Data Menu Zcoord**

d. *Layer*

Parameter yang dimasukkan pada menu *layer* berupa nilai *Poisson's Ratio* setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Gambar 5.11 berikut.

**Tabel 5. 14 Input Data pada Menu Layer**

No. layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>
1	3	0,35
2	4	0,35
3	14	0,4
4	$\infty$	0,45

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

Layer No.	TH	PR
1	3	0.35
2	4	0.35
3	14	0.4
4	XXXXXXXXXX	0.45

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

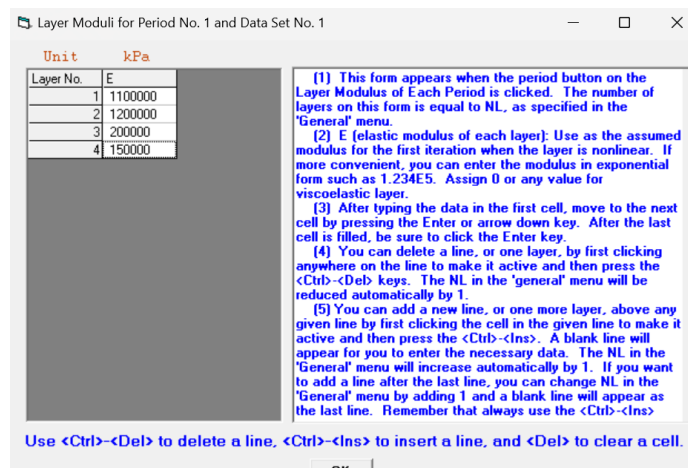
**Gambar 5. 11 Tampilan Input Data Menu Layer**

e. *Moduli*

Parameter yang dimasukkan pada menu *moduli* berupa nilai modulus elastisitas pada setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.12 berikut.

**Tabel 5. 15 Input Data pada Menu *Moduli***

No. layer	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	200.000
4	150.000



**Gambar 5. 12 Tampilan *Input Data Menu Moduli***

f. *Load*

Beban gandar yang akan diterima perkerasan dimasukkan dalam menu *load*.

Perincian *input* menu *load* dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

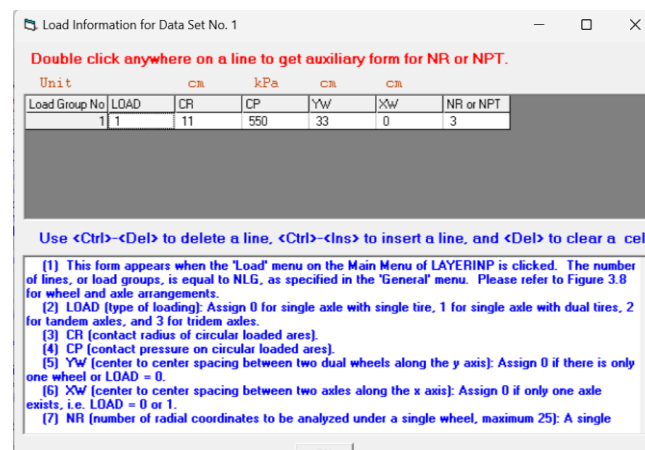
**Tabel 5. 16 Input Data pada Menu *Load***

<i>Unit</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>Load</i>	1	<i>Single axle load</i> , roda gandar tunggal
<i>CR</i>	11	Nilai jarak antar ban (cm)
<i>CP</i>	550	Nilai tekan ban (Kpa)
<i>YW</i>	33	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>XW</i>	0	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>NPT or NR</i>	3	Jumlah koordinat yang ditinjau

Nilai koordinat NPT yang akan ditinjau sebanyak 3, koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Gambar 5.13 berikut.

**Tabel 5. 17 Koordinat NPT**

X	Y
0	0
0	10
0	16,5



**Gambar 5. 13 Tampilan *Input Data Menu Load***

g. *Viscoelastic*

1. *General*

*Load Duration (DUR)* = 0,1

*Number of Viscoelastic Layers* = 2

*Number Of Duration for Creep Compliance* = 11

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 5. 14 Tampilan Menu *General***

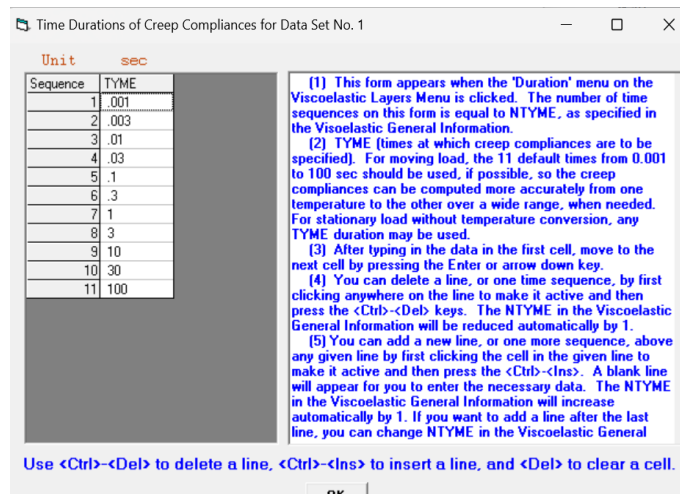
## 2. *Time*

Pada menu ini memasukkan 11 variasi waktu untuk menghitung *creep compliance*. *Input* waktu dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Gambar 5.15 berikut.

**Tabel 5. 18 Waktu untuk *Creep Compliance***

<i>Squarce</i>	<i>Time</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)

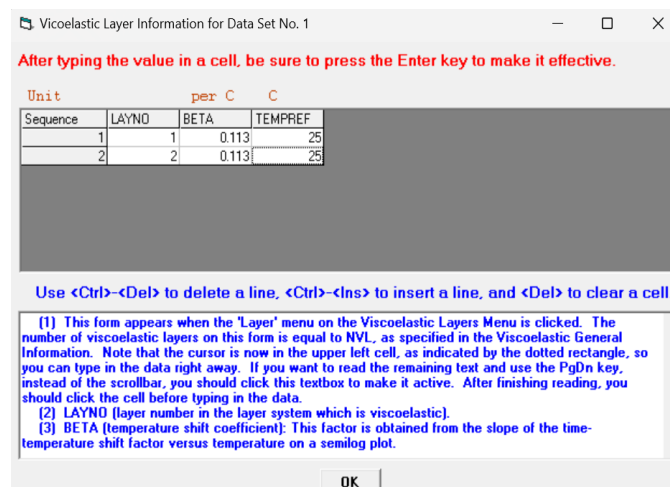


Gambar 5. 15 Tampilan *Input Waktu dari Creep Compliance*

### 3. Layer

Nilai beta ( $\beta$ ) = 0,113 (Huang, 2004)

Temperature = 25°C

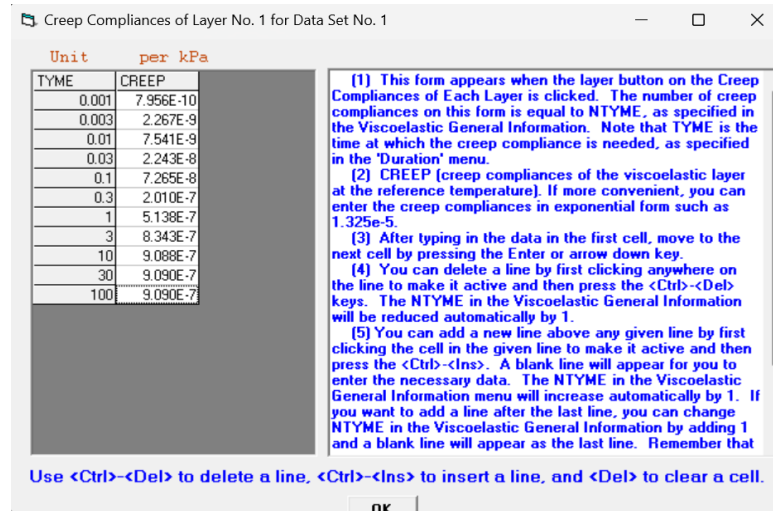


Gambar 5. 16 Tampilan Menu *Layer*

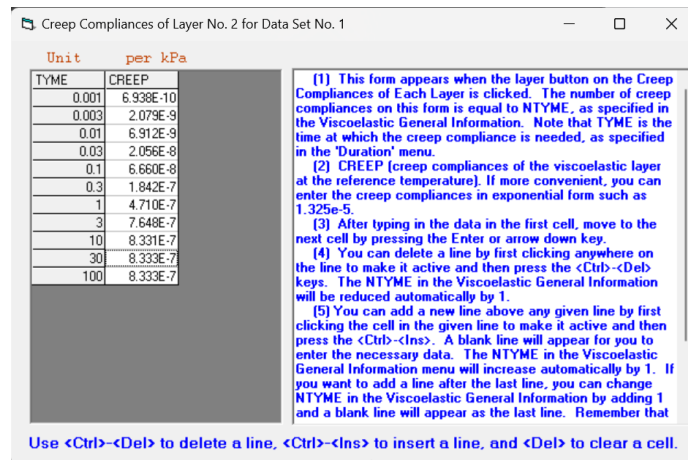
### 4. Creep compliance

Input data pada menu *creep compliance* diinput sesuai dengan hasil perhitungan pada Tabel 5.11. Jumlah lapis perkerasan yang dihitung sebanyak dua lapis perkerasan sesuai dengan nilai NVL yang telah diinput,

yaitu lapis AC-WC dan AC-WC. Tampilan menu *creep compliance* dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 berikut.



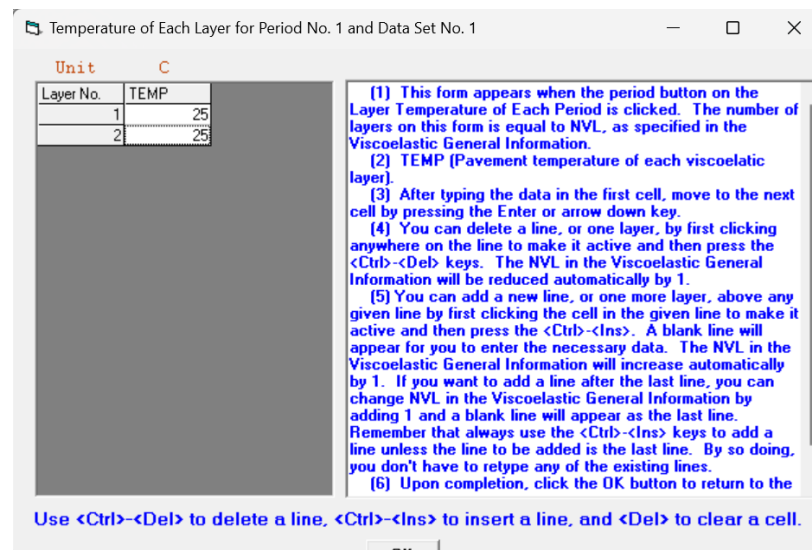
**Gambar 5. 17 Tampilan *Input Menu Creep Compliance Layer 1***



**Gambar 5. 18 Tampilan *Input Menu Creep Compliance Layer 2***

## 5. Temperature

*Input* temperatur yang digunakan sebesar 25°C sama dengan temperatur yang digunakan pada menu *Layer*. Tampilan menu *Temperature* dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



**Gambar 5. 19 Tampilan Menu *Temperature***

Setelah mengisi semua data pada menu tampilan, selanjutnya simpan dan kembali ke menu utama pada program Kenpave. Untuk melihat hasil analisis, buka menu *Editor* pada menu utama dan masukkan nama *file*.

### 3. Hasil Analisis

Hasil analisis dari perhitungan menggunakan Program *Kenlayer* berupa nilai tegangan dan regangan yang terdapat pada struktur perkerasan jalan. Berikut Tabel 5.19 yang berupa keluaran dari tegangan dan regangan saat struktur perkerasan sudah dibebani dan Tabel 5.20 rekapitulasi hasil analisis.

**Tabel 5. 19 Keluaran Hasil Analisis Kondisi Eksisting Pemodelan Viskoelastik**

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	4588,938
		-4,817E-05	4,665E-05
	6,999	63,642	-4629,022
		5,435E-05	-5,905E-05
	7,001	63,647	26,521
		2,143E-04	-5,909E-05
21,001	44,757	14,822	
	2,125E-04	-9,653E-05	

**Lanjutan Tabel 5. 19 Keluaran Hasil Analisis Kondisi Eksisting Pemodelan Viskoelastik**

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
2	0	550	4407,203
		-4,763E-05	3,945E-05
	6,999	63,999	-3866,054
		4,869E-05	-6,081E-05
	7,001	63,993	30,227
		2,083E-04	-6,083E-05
21,001	47,718	16,510	
	2,274E-04	-1,024E-04	
3	0	0	4149,790
		-4,564E-05	3,640E-05
	6,999	61,975	-3162,569
		4,247E-05	-5,946E-05
	7,001	61,967	31,378
		1,962E-04	-5,949E-05
21,001	48,120	16,874	
	2,289E-04	-1,033E-05	

**Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Analisis Program Kenpave**

Repetisi Beban	Tegangan Horizontal (6,999 cm)	Regangan Vertikal (6,999 cm)	Regangan Vertikal kedalaman (21.001 cm)
1	0,00005905	0,00005435	0,0002125
2	0,00006081	0,00004869	0,0002274
3	0,00005946	0,00004247	0,0002289
Maksimal	0,00006081	0,00005435	0,0002289

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah mendapatkan perhitungan nilai tegangan dan regangan, diperlukan untuk menghitung jumlah repetisi beban untuk mendapatkan nilai kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan menggunakan Persamaan 3.5 hingga Persamaan 3.7 seperti berikut.

a. *Fatigue Cracking* (Retak Lelah)

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

$$N_f = 0,0796 (0,00006081)^{-3,921} |1.200.000|^{-0,854}$$

$$N_f = 17.391.069.683 \text{ ESAL}$$

b. *Rutting* (Retak Alur)

$$N_r = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (0,00005435)^{-f^5}$$

$$N_r = 16.929.505.510 \text{ ESAL}$$

c. *Permanent Deformation* (Deformasi Permanen)

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0002289)^{-f^5}$$

$$N_d = 27.101.819 \text{ ESAL}$$

5. Prediksi Umur Layan

Hasil perhitungan tegangan dan regangan yang didapatkan dari analisis menggunakan program Kenpave diperoleh kondisi eksisting pada Jalan Mayjen Sutoyo akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* ketika dilewati beban gandar sebesar 17.391.069.683ESAL, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika dilewati beban gandar sebesar 16.929.505.510 ESAL, serta akan terjadi kerusakan *permanent deformation* sebesar 27.101.819 ESAL. Dari hasil analisis diketahui kerusakan awal yang terjadi adalah *permanent deformation*, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur layan menggunakan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} RL_{Fatigue} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{6.311}{17.391.069.683}\right) \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RL_{Rutting} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{6.311}{16.929.505.510}\right) \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

$$RL_{Deformation} = 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right)$$

$$= 100 \times \left(1 - \frac{6.311}{27.101.819}\right)$$

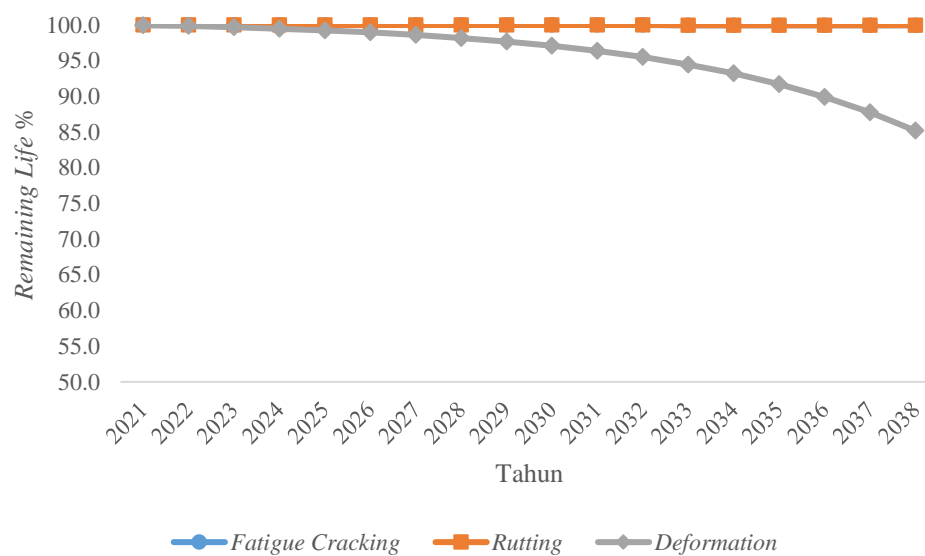
$$= 99,98 \%$$

dengan :

Np = Nilai lalu lintas pertahun

N1,5 = Nilai repetisi beban

Hasil prediksi umur layan perkerasan eksisting dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



**Gambar 5. 20 Nilai Sisa Umur Layan Pemodelan Viskoelastik**

Berdasarkan Gambar 5.20, menunjukkan perkerasan eksisting pada tahun ke-17 masih berada pada kondisi yang sangat baik. Garis untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* berada pada nilai yang sama sehingga garis berhimpit. Nilai kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* sebesar 99,98% pada tahun ke-17. Nilai kerusakan *permanent deformation* terjadi penurunan yang lebih jelas. Penurunan pada *permanent defotmation* sebesar 85,20% pada tahun ke-17. Oleh karena itu, tidak ada kerusakan yang terjadi selama umur rencana.

## 5.2 Analisis Tebal Perkerasan Lentur menggunakan Metode Bina Marga 2024

Perhitungan alternatif dilakukan dengan menggunakan metode Bina Marga 2024 untuk memastikan bahwa desain yang dihasilkan sesuai dengan standar terbaru.

### 5.2.1 Desain Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Metode Bina Marga 2024

#### 1. Data penelitian

Data sekunder dalam penelitian ini didapatkan melalui Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu, Sulawesi Tengah, yang merupakan lembaga yang berwenang dalam mengelola data terkait infrastruktur dan pengembangan Kota.

#### 2. Data Tebal Eksisting

Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu, Jalan Mayjen Sutoyo memiliki tebal struktur lapis banyak. Tebal Lapis Perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

**Tabel 5. 21 Data Tebal Eksisting**

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan (mm)
<i>AC-WC</i>	30
<i>AC-BC</i>	40
<i>LPA kelas A</i>	140

#### 3. Kondisi Ruas Jalan

Kondisi ruas jalan Mayjen Sutoyo dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

**Tabel 5. 22 Kondisi Ruas Jalan**

No.	Data	Keterangan
1.	Jenis Jalan	Kolektor
2.	Umur rencana (UR)	20 Tahun
3.	Pertumbuhan Lalu Lintas	20%
4.	Distribusi Kendaraan	2 Jalur 2 Lajur

#### 4. Data Lalu Lintas

Data lalu lintas Harian Rata-rata Ruas Jalan Mayjen Sutoyo dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

**Tabel 5. 23 Data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Jalan Mayjen Sutoyo, Kota Palu**

No.	Gol.	Jenis Kendaraan	LHR 2022
1.	1	Sepeda Motor	3543
2.	2	Sedan, Jeep dan Sation Wagon	150
3.	3	Opelet, Pick Up Opelet, Combi dan Mini Bus	873
4.	4	Pick Up, Micro Truk, dan Mobil Hantaran	247
5.	5a	Bus Kecil	2
6.	5b	Bus Besar	1
7.	6a	Truk Ringan 2 sumbu	166
8.	6b	Truk Berat 2 Sumbu	20
9.	7a	Truk Ringan 3 Sumbu	3
10.	7b	Truk 2 sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	0
11.	7c	Truk Trailer 4 Sumbu	14

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu (2022)

#### 5. Perhitungan Beban Lalu Lintas

Penentuan nilai CESA memerlukan beberapa parameter pendukung, antara lain pertumbuhan lalu lintas, faktor distribusi lajur ( $D_L$ ), faktor distribusi arah ( $D_D$ ), dan *Vehicle Damage Factor* (VDF).

##### a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas untuk periode R (2025 – 2028) dan R(2028–2046) ditentukan menggunakan Persamaan 3.1, dengan mempertimbangkan umur rencana masing-masing selama 2 tahun dan 18 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas untuk kedua periode tersebut masing-masing 3,6% dan 105,9%.

##### b. Faktor distribusi arah ( $D_D$ )

Faktor distribusi arah umumnya ditetapkan sebesar 0,5. Namun, penyesuaian nilai faktor distribusi arah dapat dilakukan pada lokasi-lokasi tertentu yang memiliki pola lalu lintas niaga yang cenderung tinggi pada satu arah.

c. Faktor distribusi lajur ( $D_L$ )

Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur yang ditentukan untuk umur rencana. Sesuai dengan Tabel 3.4, faktor distribusi lajur kendaraan niaga dengan jumlah lajur setiap arah adalah 1.

d. VDF (*Vehicle Damage Factor*)

Nilai VDF masing-masing kendaraan niaga dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) didefinisikan sebagai jumlah kumulatif beban sumbu kendaraan yang melintas pada lajur desain selama umur rencana, yang dihitung menggunakan Persamaan 3.2. Tabel perhitungan beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 3.5 pada BAB sebelumnya. Rekapitulasi nilai VDF masing-masing kendaraan niaga dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

**Tabel 5. 24 Rekapitulasi Nilai VDF**

Jenis Kendaraan	LHR 2022	LHR 2025	LHR 2028	VDF 4		VDF 5		ESA 5 ('25-'26)	ESA 5 ('26-'46)
				Aktual	Normal	Aktual	Normal	Aktual	Normal
1, 2, 3, 4, 5A	4815	8320	14377	-	-	-	-	-	-
5B	1	2	3	1,2	1,2	1,3	1,3	1.492,28	75.043,82
6A	166	287	495,08	0,5	0,5	0,4	0,4	76.129,42	3.828.389,46
6B	20	34	59	0,9	0,4	0,9	0,3	20.249,14	339.428,98
7A1	3	6	12	-	-	-	-	-	-
7A2	0	0	0	16,9	4,9	34	6,6	-	-
7A3	0	0	0	-	-	-	-	-	-
7B1	0	0	0	-	-	-	-	-	-
7B2	0	0	0	-	-	-	-	-	-
7B3	0	0	0	-	-	-	-	-	-
7C1	14	24	42	10,5	6,8	15,2	8,9	244.275,33	7.192.661,74
7C2A	0	0	0	10,7	4,1	19,7	5,5	-	-
7C2B	0	0	0	-	-	-	-	-	-
7C3	0	0	0	24,8	9,7	48,9	14,6	-	-
7C4	0	0	0	-	-	-	-	-	-
<b>CESA 5</b>								342.146,17	11.435.524

### 5.2.2 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan menggunakan Metode Bina Marga 2024

Ketebalan lapis perkerasan ditentukan dengan mempertimbangkan beban lalu lintas dan nilai CESA pada umur rencana yang telah ditentukan. Berdasarkan nilai CESA 5 selama 20 tahun sebesar 11.777.670,17, jenis perkerasan yang dipilih yaitu AC dengan CTB bagan desain 3(1) dan AC dengan lapis pondasi agregat seperti yang terlihat pada Tabel 5.25 berikut.

**Tabel 5. 25 Pemilihan Jenis Perkerasan**

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

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga 2024

Berdasarkan nilai CESA 5 selama 20 tahun sebesar 11.777.670,17, bagan desain 3(1) menunjukkan AC dengan CTB untuk alternatif 1, seperti yang tercantum pada Tabel 5.26 dan bagan Desain 3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal Pen 60/70 dan PG70) pada Tabel 2.27 berikut.

**Tabel 5. 26 Bagan Desain 3(1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB (Aspal Pen 60/70 dan PG70)**

STRUKTUR PERKERASAN											
	F(1)1	F(1)2	F(1)3	F(1)4	F(1)5	F(1)6	F(1)7	F(1)8	F(1)9	F(1)10	
Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA 5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 <sup>(3)</sup>						
Beban rencana 20 tahun (10 <sup>6</sup> ESA5)	< 1-6	> 6-10	>10-20	>20-30	>30-40	>40-50	>50-80	>80-100	>100-150	>100-150	
Jenis permukaan berpengikat	AC										
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)										
Tebal Perkerasan (mm)											
AC WC	40	40	50	40	40	40	40	50	40	40	
AC BC	60	75	80	65	60	60	80	80	60	60	
	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	
AC Base <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	90	100	100	100	75	80	
	-	-	-	-	-	-	-	-	75	90	
CTB	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
LPA Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Timbunan Pilihan Berbutir kasar atau LPA kelas C atau stabilitas semen <sup>(5)</sup>	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga 2024

**Tabel 5. 27 Bagan Desain 3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal Pen 60/70 dan PG70)**

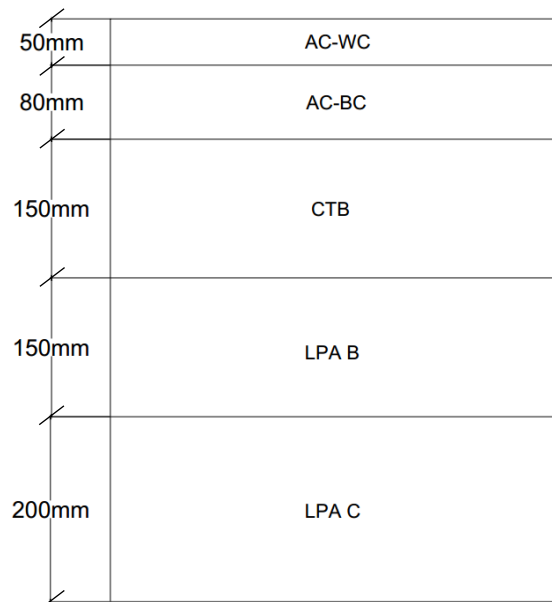
STRUKTUR PERKERASAN										
	FFF(1)1	FFF(1)2	FFF(1)3	FFF(1)4	FFF(1)5	FFF(1)6	FFF(1)7	FFF(1)8	FFF(1)9	
Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70					Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA 5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 <sup>(1)</sup>				
Beban rencana 20 tahun (10 <sup>6</sup> ESA5)	< 2	> 2 - 5	>5 - 10	>10 - 15	>15 - 30	>30 - 50	>50 - 100	>100 - 150	>150 - 200	
Tebal Perkerasan (mm)										
AC WC	60 <sup>(2)</sup>	40	40	40	40	40	40	50	40	
AC BC	-	65	75	75	60	60	75	80	60	
	-	80	80	-	-	-	-	-	-	
AC Base <sup>(3)</sup>	-	-	-	100	80	85	100	100	80	
	-	-	-	-	80	100	100	100	80	
	-	-	-	-	-	-	-	-	90	
LPA Kelas A <sup>(4)</sup>	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
LPA Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Timbunan Pilihan Berbutir kasar atau LPA kelas C atau stabilitas semen <sup>(5)</sup>	-	-	200	200	200	200	200	200	200	

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga 2024

Perkerasan lentur alternatif 1 dan alternatif 2 yang digunakan berdasarkan Tabel 5.26 dan Tabel 2.27 dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 Berikut.

1. Lapis perkerasan Alternatif 1

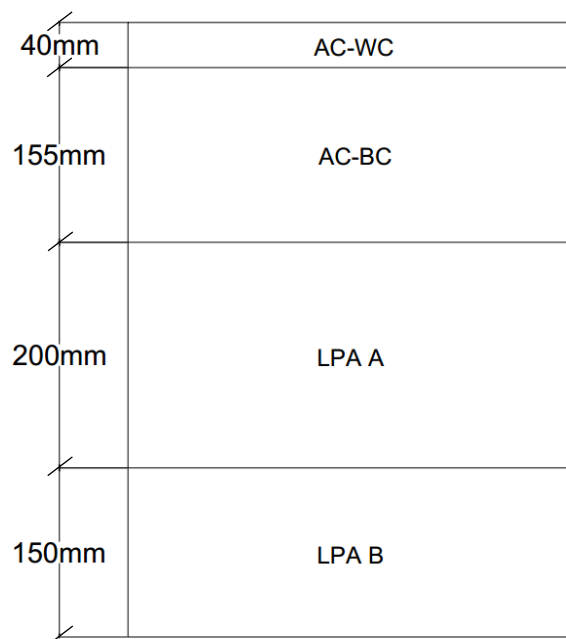
- a. AC – WC = 50 mm
- b. AC – BC = 80 mm
- c. CTB = 150 mm
- d. LFA Kelas B = 150 mm
- e. LFA C = 200 mm



**Gambar 5. 21 Tebal Lapisan Perkerasan Alternatif 1**

2. Lapis Perkerasan Alternatif 2

- a. AC – WC = 40 mm
- b. AC – BC = 80 mm
- c. LFA Kelas A = 200 mm
- d. LFA Kelas B = 150 mm



**Gambar 5. 22 Tebal Lapisan Perkerasan Alternatif 2**

### 5.3 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Program *Kenpave*

Evaluasi kerusakan perkerasan jalan akan dilakukan dengan alternatif 1 dan alternatif 2 metode Bina Marga 2024 dengan pemodelan elastik dan viskoelastik.

#### 5.3.1 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 pemodelan Elastik

Data tebal perkerasan lentur yang telah didapatkan, langsung diolah menggunakan program *Kenpave*.

##### 1. Data Analisis yang Diperlukan

###### a. Parameter tiap lapis perkerasan

Prosedur untuk melakukan pemodelan struktur menggunakan program *Kenpave* dan perkerasan lentur menggunakan program *Kenlayer* diperlukan nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *Poisson's Ratio* pada tiap lapis perkerasan. Nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *poisson's ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut.

**Tabel 5. 28 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35

**Lanjutan Tabel 5. 28 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
CTB	Modulus Elastis (E)	500.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas B	Modulus Elastis (E)	170.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Pondasi Kelas C	Modulus Elastis (E)	130.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45

- b. Beban sumbu roda
- 1) Beban sumbu roda standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
  - 2) Tekanan roda satu ban sebesar  $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa} = 550 \text{ Kpa}$
  - 3) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.
  - 4) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
2. Evaluasi Tebal Perkerasan Alternatif 1 Pemodelan Elastik
- Tahapan yang dilakukan dalam evaluasi tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan program Kenpave dapat dimulai dengan menu *Layerinp* kemudian *input* data yang telah ada, untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.
- a. Menu *Layerinp*  
Untuk memulai *input* data, klik menu *layerinp*. Jika ingin membuat halaman baru, klik menu *file* kemudian pilih *new*.
  - b. *General*  
Langkah selanjutnya, klik menu *General* kemudian melakukan input nilai-nilai seperti Tabel 5.29 berikut.

**Tabel 5. 29 Input Data pada Menu *General***

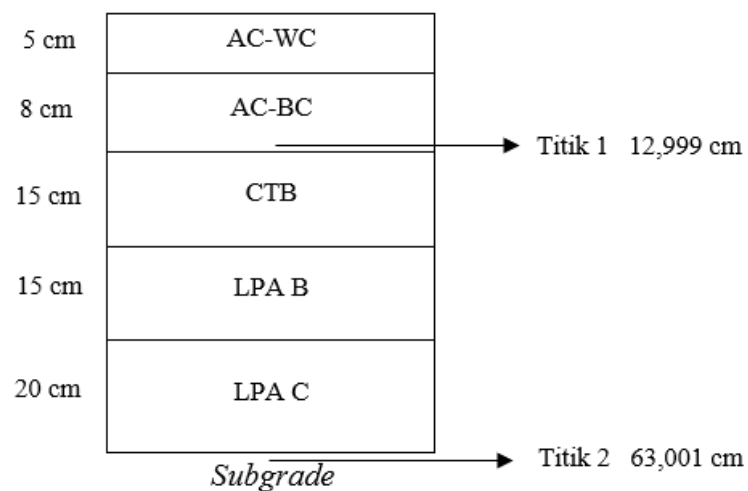
<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>MATL</i>	1	Lapis perkerasan linear
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>NLG</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi

Lanjutan Tabel 5. 30 *Input Data pada Menu General*

<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>NL</i>	6	Jumlah lapisan perkerasan ( <i>AC-WC</i> , <i>AC-BC</i> , <i>CTB</i> , <i>LPA B</i> , <i>LPA C</i> , <i>Subgrade</i> )
<i>NZ</i>	6	Jumlah titik koordinat arah Z yang ditinjau kerusakan.
<i>ICL</i>	80	Mengikuti Kenpave
<i>NSDT</i>	9	Perpindahan vertical, nilai tegangan dan regangan
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Input titik kedalaman kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 untuk meninjau kerusakan *fatigue cracking* dan titik tinjau 2 untuk meninjau kerusakan *permanent deformation* seperti Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5. 23 Kedalaman Titik Tinjau

Dalam analisis ini titik tinjau berada 1 berada pada kedalaman 12,999 cm dan titik 2 berada pada kedalaman 63,001 cm. Detail kedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut.

**Tabel 5. 30 Input Data pada Menu Zcoord**

No.	Kedalaman	Keterangan
1	0	Tebal lapis permukaan perkerasan
2	5	Tebal lapis AC-BC
3	12,999	Dasar lapis perkerasan
4	13,001	Permukaan dasar lapis perkerasan
5	62,999	Permukaan lapis tanah dasar
6	63,001	Tanah dasar

d. *Layer*

Parameter yang dimasukkan pada menu *layer* berupa nilai *Poisson's Ratio* setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut.

**Tabel 5. 31 Input Data pada Menu Layer**

No. layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>
1	5	0,35
2	8	0,35
3	15	0,35
4	15	0,4
5	20	0,4
6	$\infty$	0,45

e. *Moduli*

Parameter yang dimasukkan pada menu *moduli* berupa nilai modulus elastisitas pada setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut.

**Tabel 5. 32 Input Data pada Menu Moduli**

No. layer	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	500.000
4	170.000
5	130.000
6	150.000

f. *Load*

Beban gandar yang akan diterima perkerasan dimasukkan dalam menu *load*.

Perincian *input* menu *load* dapat dilihat pada Tabel 5.33 sebagai berikut.

**Tabel 5. 33 Input Data pada Menu Load**

<i>Unit</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>Load</i>	1	<i>Single axle load</i> , roda gandar tunggal
<i>CR</i>	11	Nilai jarak antar ban (cm)
<i>CP</i>	550	Nilai tekan ban (Kpa)
<i>YW</i>	33	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>XW</i>	0	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>NPT or NR</i>	3	Jumlah koordinat yang ditinjau

Nilai koordinat NPT yang akan ditinjau sebanyak 3, koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.35 berikut.

**Tabel 5. 34 Koordinat NPT**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0	0
0	10
0	16,5

Setelah mengisi semua data pada menu tampilan, selanjutnya simpan dan kembali ke menu utama pada program Kenpave. Untuk melihat hasil analisis, buka menu *Editor* pada menu utama dan masukkan nama *file*.

## 3. Hasil Analisis

Hasil analisis dari perhitungan menggunakan Program *Kenlayer* berupa nilai tegangan dan regangan yang terdapat pada struktur perkerasan jalan. Berikut Tabel 5.35 yang berupa keluaran dari tegangan dan regangan saat struktur perkerasan sudah dibebani dan Tabel 5.36 rekapitulasi hasil analisis.

Tabel 5. 35 Keluaran Hasil Analisis Alternatif 1 Pemodelan Elastik

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	705,111
		7,696E-05	2,217E-04
	5	486,254	279,550
		2,692E-04	-3,966E-06
	12,999	233,418	-144,315
		2,532E-04	-1,837E-04
	13,001	233,398	11,084
		4,609E-04	-1,838E-04
	62,999	27,511	2,349
		1,976E-04	-8,265E-05
	63,001	27,510	2,451
		1,696E-04	-8,261E-05
2	0	550	474,688
		-3,812E-06	1,531E-04
	5	293,364	198,926
		1,324E-04	1,645E-05
	12,999	168,090	-13,855
		1,866E-04	-1,722E-04
	13,001	168,072	41,656
		3,088E-04	-1,722E-04
	62,999	29,229	2,630
		2,116E-04	-8,631E-05
	63,001	29,228	2,643
		1,822E-04	-8,630E-05
3	0	0	381,723
		-3,164E-05	1,267E-04
	5	50,800	138,762
		-6,723E-05	4,072E-05
	12,999	126,695	69,971
		1,211E-04	-1,601E-04
	13,001	126,692	68,933
		2,132E-04	-1,601E-04
	62,999	29,553	2,686
		2,142E-04	-8,701E-05

Lanjutan Tabel 5. 35 Keluaran Hasil Analisis Alternatif 1 Pemodelan Elastik

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
3	63,001	29,552	2,681
		1,864E-04	-8,700E-05

Tabel 5. 36 Rekapitulasi Hasil Analisis

Repetisi Beban	Tegangan Horizontal (12,999 cm)	Regangan Vertikal (12,999 cm)	Regangan Vertikal kedalaman (63,001 cm)
1	0,0001837	0,0002919	0,0001696
2	0,0001722	0,0001866	0,0001822
3	0,0001601	0,0001211	0,0001846
Maksimal	0,0001837	0,0002912	0,0001846

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah mendapatkan perhitungan nilai tegangan dan regangan, diperlukan untuk menghitung jumlah repetisi beban untuk mendapatkan nilai kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan menggunakan Persamaan 3.5 hingga Persamaan 3.7 seperti berikut.

##### a. *Fatigue Cracking* (Retak Lelah)

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

$$N_f = 0,0796(0,0001837)^{-3,921} |1.200.000|^{-0,854}$$

$$N_f = 227.887.383 \text{ ESAL}$$

##### b. *Rutting* (Retak Alur)

$$N_r = f_4 (\epsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (0,0002912)^{-f^5}$$

$$N_r = 17.251.452 \text{ ESAL}$$

##### c. *Permanent Deformation* (Deformasi Permanen)

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001846)^{-f^5}$$

$$N_d = 70.992.634 \text{ ESAL}$$

## 5. Prediksi Umur Layan

Hasil perhitungan tegangan dan regangan yang didapatkan dari analisis menggunakan program Kenpave diperoleh kondisi eksisting pada Jalan Mayjen Sutoyo akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* ketika dilewati beban gandar sebesar 227.887.383 *ESAL*, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika dilewati beban gandar sebesar 17.251.452 *ESAL*, serta akan terjadi kerusakan *permanent deformation* sebesar 70.992.634 *ESAL*. Dari hasil analisis diketahui kerusakan awal yang terjadi adalah *rutting*, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur layan menggunakan Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ESA_{TH-1} &= (\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 ESA_{TH-1} &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}] \\
 17.251.452 &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(20\%))^{Ur-1}}{0,2}] \\
 17.251.452 &= [(1,782 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 & \quad [(286,848 \times 0,4) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 & \quad [(34,560 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 & \quad [(24,192 \times 8,9) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] \\
 17.251.452 &= (1,2)^{UR-1} \times (409,968 + 20939,904 + 1892,160 + \\
 & \quad 39293,888) \\
 17.251.452 &= ((1,2)^{UR-1} \times (6253588)) \\
 275.865 &= ((1,2)^{UR-1}) \\
 276.865 &= (1,2)^{UR} \\
 UR &= {}^{1,2}\log 276.865 \\
 UR &= \frac{\log b}{\log a} \\
 UR &= \frac{\log 276.865}{\log 1,2} \\
 UR &= 22 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil prediksi umur layan perkerasan alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.37 berikut.

**Tabel 5. 37 Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan**

<b>Jenis kerusakan</b>	<b>Beban Gandar Maksimum (ESAL)</b>	<b>Umur Layan (Tahun)</b>
<i>Fatigue Cracking</i>	227.887.383	36
<i>Rutting</i>	17.251.452	22
<i>Permanent Deformation</i>	70.992.634	30

Berdasarkan Tabel 5.37 Jalan Mayjen Sutoyo akan pertamakali mengalami kerusakan *rutting* pada tahun ke-20 ketika beban gandar maksimum sebesar 17.251.452 *ESAL*. Kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke- 30 dengan beban gandar maksimum 70.992.634 *ESAL* dan kerusakan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke-36 dengan beban gandar 227.887.383*ESAL*. Oleh karena itu, tidak ada kerusakan yang terjadi selama umur rencana.

### 5.3.2 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 Pemodelan Viskoelastik

Data tebal perkerasan lentur yang telah didapatkan, langsung diolah menggunakan program Kenpave.

#### 1. Data Analisis yang Diperlukan

##### a. Parameter tiap lapis perkerasan

Prosedur untuk melakukan pemodelan struktur menggunakan program Kenpave dan perkerasan lentur menggunakan program Kenlayer diperlukan nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *Poisson's Ratio* pada tiap lapis perkerasan. Nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *poisson's ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.38 berikut.

**Tabel 5. 38 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
CTB	Modulus Elastis (E)	500.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas B	Modulus Elastis (E)	170.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4

**Lanjutan Tabel 5. 38 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

Pondasi Kelas C	Modulus Elastis (E)	130.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45

*Creep compliance* digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik viskoelastik pada lapisan perkerasan yang mengandung bahan pengikat aspal. Parameter *Creep compliance* dilakukan pada 11 rentang waktu yang berbeda sesuai dengan rekomendasi FHWA, yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100. Terdapat 1 lapis perkerasan yang dianggap memiliki karakteristik viskoelastik, yaitu lapisan *AC-WC* dan *AC-BC*. Contoh perhitungan *creep compliance* pada lapis *AC-WC* dengan durasi waktu 0,001 menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$D(t) = \frac{1}{E} (1 - e^{-0,833t})$$

$$D(0,001) = \frac{1}{1100000} (1 - 2,71828183^{-0,833(0,001)})$$

$$D(0,001) = 7,956 \times 10^{-10}$$

Dari perhitungan di atas, untuk lapisan *AC-WC* pada waktu 0,001 detik didapatkan nilai *creep compliance* sebesar  $7,956 \times 10^{-10}$ . Rekapitulasi perhitungan *creep compliance* dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut.

**Tabel 5. 39 Nilai *Creep Compliance***

Waktu	<i>Creep Compliance</i>	
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>
0,001	$7,956 \times 10^{-10}$	$6,938 \times 10^{-10}$
0,003	$2,267 \times 10^{-9}$	$2,079 \times 10^{-9}$
0,01	$7,541 \times 10^{-9}$	$6,912 \times 10^{-9}$
0,03	$2,243 \times 10^{-8}$	$2,056 \times 10^{-8}$
0,1	$7,265 \times 10^{-8}$	$6,660 \times 10^{-8}$
0,3	$2,010 \times 10^{-7}$	$1,842 \times 10^{-7}$

(Sumber : Huang,2004)

Lanjutan Tabel 5. 39 Nilai *Creep Compliance*

Waktu	<i>Creep Compliance</i>	
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>
1	$5,138 \times 10^{-7}$	$4,710 \times 10^{-7}$
3	$8,343 \times 10^{-7}$	$7,648 \times 10^{-7}$
10	$9,088 \times 10^{-7}$	$8,331 \times 10^{-7}$
30	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$
100	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$

(Sumber : Huang,2004)

- b. Beban sumbu roda
1. Beban sumbu roda standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
  2. Tekanan roda satu ban sebesar  $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa} = 550 \text{ Kpa}$
  3. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.
  4. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
2. Evaluasi Tebal Perkerasan Alternatif 1 Pemodelan Viskoelastik
- Tahapan yang dilakukan dalam evaluasi tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan program Kenpave dapat dimulai dengan menu *Layerinp* kemudian *input* data yang telah ada, untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.
- a. Menu *Layerinp*  
Untuk memulai *input* data, klik menu *layerinp*. Jika ingin membuat halaman baru, klik menu *file* kemudian pilih *new*.
  - b. *General*  
Langkah selanjutnya, klik menu *General* kemudian melakukan input nilai-nilai seperti Tabel 5.40 berikut.

Tabel 5. 40 *Input Data* pada Menu *General*

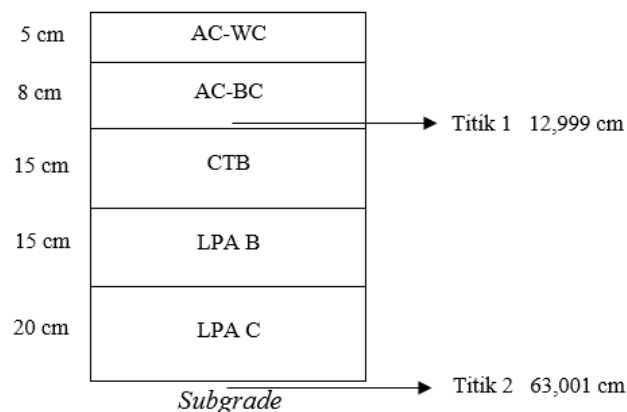
<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>MATL</i>	3	Lapis perkerasan Viskoelastik
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti Kenpave

**Lanjutan Tabel 5. 40 Input Data pada Menu General**

<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>NLG</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	6	Jumlah lapisan perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, CTB, LPA B, LPA C, Subgrade</i> )
<i>NZ</i>	6	Jumlah titik koordinat arah Z yang ditinjau kerusakan.
<i>ICL</i>	80	Mengikuti Kenpave
<i>NSDT</i>	9	Perpindahan vertical, nilai tegangan dan regangan
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Input titik kedalaman kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 untuk meninjau kerusakan *fatigue cracking* dan titik tinjau 2 untuk meninjau kerusakan *permanent deformation* seperti Gambar 5.24 berikut.



**Gambar 5. 24 Kedalaman Titik Tinjau**

Dalam analisis ini titik tinjau berada 1 berada pada kedalaman 10,499 cm dan titik 2 berada pada kedalaman 45,501 cm. Detail kedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.41 berikut.

**Tabel 5. 41 Input Data pada Menu Zcoord**

No.	Kedalaman	Keterangan
1	0	Tebal lapis permukaan perkerasan
2	5	Lapis AC-WC
3	12,999	Dasar lapis perkerasan
4	13,001	Permukaan dasar lapis perkerasan
5	62,999	Permukaan lapis tanah dasar
6	63,001	Tanah dasar

d. *Layer*

Parameter yang dimasukkan pada menu *layer* berupa nilai *Poisson's Ratio* setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.42 berikut.

**Tabel 5. 42 Input Data pada Menu Layer**

No. layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>
1	5	0,35
2	8	0,35
3	15	0.35
4	15	0,4
5	20	0,4
6	$\infty$	0,45

e. *Moduli*

Parameter yang dimasukkan pada menu *moduli* berupa nilai modulus elastisitas pada setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.43 berikut.

**Tabel 5. 43 Input Data pada Menu Moduli**

No. layer	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	200.000
4	175.000
5	130.000
6	150.000

f. *Load*

Beban gandar yang akan diterima perkerasan dimasukkan dalam menu *load*.

Perincian *input* menu *load* dapat dilihat pada Tabel 5.44 sebagai berikut.

**Tabel 5. 44 Input Data pada Menu Load**

<i>Unit</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>Load</i>	1	<i>Single axle load</i> , roda gandar tunggal
<i>CR</i>	11	Nilai jarak antar ban (cm)
<i>CP</i>	550	Nilai tekan ban (Kpa)
<i>YW</i>	33	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>XW</i>	0	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>NPT or NR</i>	3	Jumlah koordinat yang ditinjau

Nilai koordinat NPT yang akan ditinjau sebanyak 3, koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.45 berikut.

**Tabel 5. 45 Koordinat NPT**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0	0
0	10
0	16,5

g. *Viscoelastic*1. *General*

*Load Duration (DUR)* = 0,1

*Number of Viscoelastic Layers* = 2

*Number Of Duration for Creep Compliance* = 11

2. *Time*

Pada menu ini memasukkan 11 variasi waktu untuk menghitung *creep compliance*. *Input* waktu dapat dilihat pada Tabel 5.46 Berikut.

**Tabel 5. 46 Waktu Untuk Creep Compliance**

<i>Squarce</i>	<i>Time</i>
1	0,001
2	0,003

(Sumber : Huang, 2004)

Lanjutan Tabel 5. 46 Waktu Untuk *Creep Compliance*

<i>Squarce</i>	<i>Time</i>
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 (Huang, 2004)

*Temperature* = 25°C

4. *Creep compliance*

Input data pada menu *creep compliance* diinput sesuai dengan hasil perhitungan pada Tabel 5.40. Jumlah lapis perkerasan yang dihitung sebanyak dua lapis perkerasan sesuai dengan nilai NVL yang telah diinput, yaitu lapis *AC-WC* dan *AC-BC*.

5. *Temperature*

Input temperatur yang digunakan sebesar 25°C sama dengan temperatur yang digunakan pada menu *Layer*.

Setelah mengisi semua data pada menu tampilan, selanjutnya simpan dan kembali ke menu utama pada program *Kenpave*. Untuk melihat hasil analisis, buka menu *Editor* pada menu utama dan masukkan nama *file*.

## 3. Hasil Analisis

Hasil analisis dari perhitungan menggunakan Program *Kenlayer* berupa nilai tegangan dan regangan yang terdapat pada struktur perkerasan jalan. Berikut Tabel 5.47 yang berupa keluaran dari tegangan dan regangan saat struktur perkerasan sudah dibebani dan Tabel 5.48 rekapitulasi hasil analisis.

Tabel 5. 47 Keluaran Hasil Analisis Alternatif 1 Pemodelan Viskoelastik

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	150,399
		-1,526E-05	1,594E-05
	5	405,186	614,943
		8,967E-07	3,261E-06
	12,999	31,091	-2065,768
		2,442E-05	-2,540E-05
	13,001	31,088	0,170
		6,239E-05	-2,540E-05
	62,999	11,054	1,741
		7,434E-05	-2,736E-05
	63,001	11,054	1,970
		6,196E-05	-2,736E-05
2	0	550	1646E-05
		-1,724E-05	580,090
	5	240,895	4,035E-05
		-1,854E-06	-1868,547
	12,999	30,225	-2,603E-05
		2,293E-05	2,227
	13,001	30,222	-2,603E-05
		6,000E-05	1,791
	62,999	11,379	-2,795E-05
		7,691E-05	2,008
	63,001	11,379	-2,795E-05
		6,425E-05	-2,795E-05
3	0	0	1610,398
		-1,624E-05	1,578E-05
	5	13,795	524,130
		-5,990E-06	5,409E-06
	12,999	29,037	-1,1697,628
		2,141E-05	-2,578E-05
	13,001	29,035	3,024
		5,712E-05	-2,578E-05
	62,999	11,431	1,800
		7,732E-05	-2,803E-05
	63,001	11,431	2,015
		6,462E-05	-2,803E-05

Tabel 5. 48 Rekapitulasi Hasil Analisis

Repetisi Beban	Tegangan Horizontal (12,999 cm)	Regangan Vertikal (12,999 cm)	Regangan Vertikal kedalaman (63,001 cm)
1	0,00002504	0,00002442	0,00006196
2	0,00002603	0,00002239	0,0006425
3	0,00002578	0,00002141	0,0006462
Maksimal	0,00002603	0,00002442	0,0006462

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah mendapatkan perhitungan nilai tegangan dan regangan, diperlukan untuk menghitung jumlah repetisi beban untuk mendapatkan nilai kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan menggunakan Persamaan 3.5 hingga Persamaan 3.7 seperti berikut.

##### a. *Fatigue Cracking* (Retak Lelah)

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

$$N_f = 0,0796(0,00002603)^{-3,921} |1.200.000|^{-0,854}$$

$$N_f = 484.415.544.061 \text{ ESAL}$$

##### b. *Rutting* (Retak Alur)

$$N_r = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (0,00002442)^{-f^5}$$

$$N_r = 608.408.584.629 \text{ ESAL}$$

##### c. *Permanent Deformation* (Deformasi Permanen)

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0006462)^{-f^5}$$

$$N_d = 7.800.452.556 \text{ ESAL}$$

#### 5. Prediksi Umur Layan

Hasil perhitungan tegangan dan regangan yang didapatkan dari analisis menggunakan program Kenpave diperoleh kondisi eksisting pada Jalan Mayjen Sutoyo akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* ketika dilewati beban gandar sebesar 484.415.544.061 *ESAL*, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika dilewati

beban gandar sebesar 608.408.584.629 *ESAL*, serta akan terjadi kerusakan *permanent deformation* sebesar 7.800.452.556 *ESAL*. Dari hasil analisis diketahui kerusakan awal yang terjadi adalah *permanent deformation*, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur layan menggunakan Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ESA_{TH-1} &= (\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 ESA_{TH-1} &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}] \\
 7.800.452.556 &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(20\%))^{Ur-1}}{0,2}] \\
 7.800.452.556 &= [(1728 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 &= [(286.848 \times 0,4) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 &= [(34560 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 &= [(24.192 \times 8,9) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 37.804.779 &= (1,2)^{UR} - 1 \times (409,968 + 20939,904 + 34560 + 24192) \\
 37.804.779 &= ((1,2)^{UR} - 1) \times (62535,89) \\
 124735,617 &= ((1,2)^{UR} - 1) \\
 124736,617 &= (1,2)^{UR} \\
 UR &= {}^{1,2}\log 24948,12 \\
 UR &= \frac{\log b}{\log a} \\
 UR &= \frac{\log 24948,12}{\log 1,2} \\
 UR &= 56 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil prediksi umur layan perkerasan Alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.49 berikut.

**Tabel 5. 49 Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan**

Jenis kerusakan	Beban Gandar Maksimum ( <i>ESAL</i> )	Umur Layan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	484.415.544.061	78
<i>Rutting</i>	608.408.584.629	79
<i>Permanent Deformation</i>	7.800.452.556	56

Berdasarkan Tabel 5.49 Jalan Mayjen Sutoyo akan pertamakali mengalami kerusakan *permanet deformation* pada tahun ke-56 ketika beban gandar maksimum sebesar 7.800.452.556 *ESAL*. Kerusakan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke- 78 dengan beban gandar maksimum 484.415.544.061 *ESAL* dan kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke-79 dengan beban gandar 608.408.584.629 *ESAL*. Oleh karena itu, tidak ada kerusakan yang terjadi selama umur rencana.

### 5.3.3 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 pemodelan Elastik

Data tebal perkerasan lentur yang telah didapatkan, langsung diolah menggunakan program Kenpave.

1. Data Analisis yang Diperlukan
  - a. Parameter tiap lapis perkerasan

Prosedur untuk melakukan pemodelan struktur menggunakan program Kenpave dan perkerasan lentur menggunakan program Kenlayer diperlukan nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *Poisson's Ratio* pada tiap lapis perkerasan. Nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *poisson's ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.50 berikut.

**Tabel 5. 50 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Pondasi Kelas B	Modulus Elastis (E)	175.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45

- b. Beban sumbu roda
  - 1) Beban sumbu roda standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
  - 2) Tekanan roda satu ban sebesar  $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa} = 550 \text{ Kpa}$
  - 3) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

4) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.

2. Evaluasi Tebal Perkerasan Alternatif 2 Pemodelan Elastik

Tahapan yang dilakukan dalam evaluasi tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan program Kenpave dapat dimulai dengan menu *Layerinp* kemudian *input* data yang telah ada, untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.

a. Menu *Layerinp*

Untuk memulai *input* data, klik menu *layerinp*. Jika ingin membuat halaman baru, klik menu *file* kemudian pilih *new*.

b. *General*

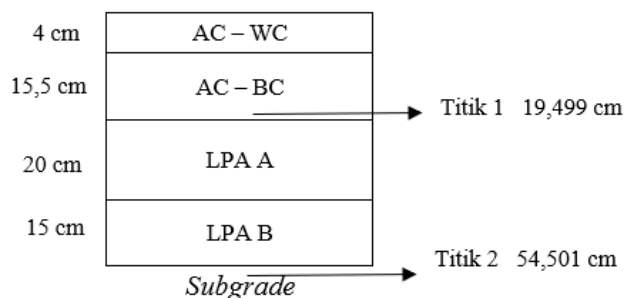
Langkah selanjutnya, klik menu *General* kemudian melakukan input nilai-nilai seperti Tabel 5.51 berikut.

**Tabel 5. 51 Input Data pada Menu *General***

<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>MATL</i>	1	Lapis perkerasan linear
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>NLG</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	5	Jumlah lapisan perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, AC-Base, LPA A, LPA B, LPA C Subgrade</i> )
<i>NZ</i>	5	Jumlah titik koordinat arah Z yang ditinjau kerusakan.
<i>ICL</i>	80	Mengikuti Kenpave
<i>NSDT</i>	9	Perpindahan vertical, nilai tegangan dan regangan
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Input titik kedalaman kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 untuk meninjau kerusakan *fatigue cracking* dan titik tinjau 2 untuk meninjau kerusakan *permanent deformation* seperti Gambar 5.25 berikut.



**Gambar 5. 25 Kedalaman Titik Tinjau**

Dalam analisis ini titik tinjau berada 1 berada pada kedalaman 19,499 cm dan titik 2 berada pada kedalaman 54,001 cm. Detail kedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.52 berikut.

**Tabel 5. 52 Input Data pada Menu *Zcoord***

No.	Kedalaman	Keterangan
1	0	Tebal lapis permukaan perkerasan
2	19,499	Dasar lapis perkerasan
3	19,501	Permukaan dasar lapis perkerasan
4	54,499	Permukaan lapis tanah dasar
5	54,501	Tanah dasar

d. *Layer*

Parameter yang dimasukkan pada menu *layer* berupa nilai *Poisson's Ratio* setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.53 berikut.

**Tabel 5. 53 Input Data pada Menu *Layer***

No. <i>layer</i>	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>
1	4	0,35
2	15,5	0,35
3	20	0,35

**Lanjutan Tabel 5. 53 Input Data pada Menu Layer**

<b>No. layer</b>	<b>Tebal (cm)</b>	<b>Poisson's Ratio</b>
4	15	0,35
5	∞	0,45

e. *Moduli*

Parameter yang dimasukkan pada menu *moduli* berupa nilai modulus elastisitas pada setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.54 berikut.

**Tabel 5. 54 Input Data pada Menu Moduli**

<b>No. layer</b>	<b>Modulus Elastisitas (Kpa)</b>
1	1.100.000
2	1.200.000
3	200.000
4	175.000
5	150.000

f. *Load*

Beban gandar yang akan diterima perkerasan dimasukkan dalam menu *load*. Perincian *input* menu *load* dapat dilihat pada Tabel 5.55 sebagai berikut.

**Tabel 5. 55 Input Data pada Menu Load**

<b>Unit</b>	<b>Input</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Load</i>	1	<i>Single axle load</i> , roda gandar tunggal
<i>CR</i>	11	Nilai jarak antar ban (cm)
<i>CP</i>	550	Nilai tekan ban (Kpa)
<i>YW</i>	33	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>XW</i>	0	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>NPT or NR</i>	3	Jumlah koordinat yang ditinjau

Nilai koordinat NPT yang akan ditinjau sebanyak 3, koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.56 berikut.

**Tabel 5. 56 Koordinat NPT**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0	0
0	10
0	16,5

Setelah mengisi semua data pada menu tampilan, selanjutnya simpan dan kembali ke menu utama pada program Kenpave. Untuk melihat hasil analisis, buka menu *Editor* pada menu utama dan masukkan nama *file*.

### 3. Hasil Analisis

Hasil analisis dari perhitungan menggunakan Program *Kenlayer* berupa nilai tegangan dan regangan yang terdapat pada struktur perkerasan jalan. Berikut Tabel 5.57 yang berupa keluaran dari tegangan dan regangan saat struktur perkerasan sudah dibebani dan Tabel 5.58 rekapitulasi hasil analisis.

**Tabel 5. 57 Keluaran Hasil Analisis Alternatif 2 Pemodelan Elastik**

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	680,411
		5,306E-04	2,068E-04
	19,499	101,280	-247,694
		2,557E-04	-2,278E-04
	19,501	110,247	15,386
		4,540E-04	-2,896
	54,499	33,906	-1,023E-04
		2,102E-04	3,498
54,501	33,904	-1,023E-04	
	2,066E-04	469,046	
2	0	550	1,507E-04
		3,153	-170,347
	19,499	7,628E-07	-2,337E-04
		2,250E-04	27,156
	19,501	104,107	-2,337E-04
		4,545E-04	-3,234
	54,499	36,347	-1,077E-04
		2,275E-04	3,886
54,501	36,345	-1,077E-04	
	2,241E-04	383,639	
3	0	0	1,284E-04
		-3,227E-05	-127,079
	19,499	98,435	-2,308E-04
		2,028E-04	31,516
	19,501	98,428	-2,308E-04
		4,175E-04	-3,291
54,499	36,800	-1,087E-04	
	2,307E-04	-1,087E-04	

Lanjutan Tabel 5. 57 Keluaran Hasil Analisis Alternatif 2 Pemodelan Elastik

Repetisi Beban	Koordinat vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
3	54,501	36,799	3,966
		2,273E-04	1,087

Tabel 5. 58 Rekapitulasi Hasil Analisis

Repetisi Beban	Tegangan Horizontal (19,499 cm)	Regangan Vertikal (19,499 cm)	Regangan Vertikal kedalaman (54,501 cm)
1	0,0002278	0,0002557	0,0002066
2	0,0002337	0,0002250	0,0002241
3	0,0002308	0,0002028	0,0002273
Maksimal	0,0002337	0,0002577	0,0002273

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah mendapatkan perhitungan nilai tegangan dan regangan, diperlukan untuk menghitung jumlah repetisi beban untuk mendapatkan nilai kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan menggunakan Persamaan 3.5 hingga Persamaan 3.7 seperti berikut.

##### a. *Fatigue Cracking* (Retak Lelah)

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

$$N_f = 0,0796(0,0002337)^{-3,921} |1.200.000|^{-0,854}$$

$$N_f = 88.670.973 \text{ ESAL}$$

##### b. *Rutting* (Retak Alur)

$$N_r = f_4 (\epsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (0,0002577)^{-f^5}$$

$$N_r = 15.943.123 \text{ ESAL}$$

##### c. *Permanent Deformation* (Deformasi Permanen)

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0002273)^{-f^5}$$

$$N_d = 27.966.427 \text{ ESAL}$$

### 5. Prediksi Umur Layan

Hasil perhitungan tegangan dan regangan yang didapatkan dari analisis menggunakan program Kenpave diperoleh kondisi eksisting pada Jalan Mayjen Sutoyo akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* ketika dilewati beban gandar sebesar 88.670.973 *ESAL*, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika dilewati beban gandar sebesar 15.943.123 *ESAL*, serta akan terjadi kerusakan *permanent deformation* sebesar 27.966.427 *ESAL*. Dari hasil analisis diketahui kerusakan awal yang terjadi adalah *rutting*, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur layan menggunakan Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ESA_{TH-1} &= (\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 ESA_{TH-1} &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}] \\
 15.943.123 &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(20\%))^{Ur-1}}{0,2}] \\
 15.943.123 &= [(1,728 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 &= [(286,848 \times 0,4) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 &= [(34,56 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 &= [(24,192 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] \\
 15.943.123 &= (1,2)^{UR-1} \times (409,97 + 20939,90 + 1892,16 + 39293,86) \\
 15.943.123 &= ((1,2)^{UR-1}) \times (62535,89) \\
 254,944 &= ((1,2)^{UR-1}) \\
 255,944 &= (1,2)^{UR} \\
 UR &= {}^{1,2}\log 255,944 \\
 UR &= \frac{\log b}{\log a} \\
 UR &= \frac{\log 225,944}{\log 1,2} \\
 UR &= 22 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil prediksi umur layan perkerasan Alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.59 berikut.

**Tabel 5. 59 Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan**

Jenis kerusakan	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Layan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	88.670.973	31
<i>Rutting</i>	15.943.123	22
<i>Permanent Deformation</i>	27.966.427	25

Berdasarkan Tabel 5.59 Jalan Mayjen Sutoyo akan pertamakali mengalami kerusakan *rutting* pada tahun ke-22 ketika beban gandar maksimum sebesar 15.943.123 ESAL. Kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke- 25 dengan beban gandar maksimum 27.966.427 ESAL dan kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke-31 dengan beban gandar 88.670.973 ESAL. Oleh karena itu, tidak ada kerusakan yang terjadi selama umur rencana.

#### 5.3.4 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 Pemodelan Viskoelastik

Data tebal perkerasan lentur yang telah didapatkan, langsung diolah menggunakan program Kenpave.

1. Data Analisis yang Diperlukan
  - a. Parameter tiap lapis perkerasan

Prosedur untuk melakukan pemodelan struktur menggunakan program Kenpave dan perkerasan lentur menggunakan program Kenlayer diperlukan nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *Poisson's Ratio* pada tiap lapis perkerasan. Nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *poisson's ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.60 berikut.

**Tabel 5. 60 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	200.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4
Pondasi Kelas B	Modulus Elastis (E)	175.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4

**Lanjutan Tabel 5. 60 Parameter Tiap Lapis Perkerasan**

Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45

*Creep compliance* digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik viskoelastik pada lapisan perkerasan yang mengandung bahan pengikat aspal. Parameter *Creep compliance* dilakukan pada 11 rentang waktu yang berbeda sesuai dengan rekomendasi FHWA, yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100. Terdapat 2 lapis perkerasan yang dianggap memiliki karakteristik viskoelastik, yaitu lapisan *AC-WC* dan *AC-BC*. Contoh perhitungan *creep compliance* pada lapis *AC-WC* dengan durasi waktu 0,001 menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$D(t) = \frac{1}{E} (1 - e^{-0,833t})$$

$$D(0,001) = \frac{1}{1100000} (1 - 2,71828183^{-0,833(0,001)})$$

$$D(0,001) = 7,956 \times 10^{-10}$$

Dari perhitungan di atas, untuk lapisan *AC-WC* dan *AC-BC* pada waktu 0,001 detik didapatkan nilai *creep compliance* sebesar  $7,956 \times 10^{-10}$ . Rekapitulasi perhitungan *creep compliance* dapat dilihat pada Tabel 5.62 berikut.

**Tabel 5. 61 Nilai *Creep Compliance***

Waktu	<i>Creep Compliance</i>	
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>
0,001	$7,956 \times 10^{-10}$	$6,938 \times 10^{-10}$
0,003	$2,267 \times 10^{-9}$	$2,079 \times 10^{-9}$
0,01	$7,541 \times 10^{-9}$	$6,912 \times 10^{-9}$
0,03	$2,243 \times 10^{-8}$	$2,056 \times 10^{-8}$
0,1	$7,265 \times 10^{-8}$	$6,660 \times 10^{-8}$
0,3	$2,010 \times 10^{-7}$	$1,842 \times 10^{-7}$
1	$5,138 \times 10^{-7}$	$4,710 \times 10^{-7}$
3	$8,343 \times 10^{-7}$	$7,648 \times 10^{-7}$

(Sumber : Huang,2004)

Lanjutan Tabel 5. 62 Nilai *Creep Compliance*

Waktu	<i>Creep Compliance</i>	
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>
10	$9,088 \times 10^{-7}$	$8,331 \times 10^{-7}$
30	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$
100	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$

(Sumber : Huang,2004)

- b. Beban sumbu roda
  - 1) Beban sumbu roda standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
  - 2) Tekanan roda satu ban sebesar  $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa} = 550 \text{ Kpa}$
  - 3) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.
  - 4) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
2. Evaluasi Tebal Perkerasan Alternatif 2 Pemodelan Viskoelastik
 

Tahapan yang dilakukan dalam evaluasi tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan program Kenpave dapat dimulai dengan menu *Layerinp* kemudian *input* data yang telah ada, untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.

  - a. Menu *Layerinp*

Untuk memulai *input* data, klik menu *layerinp*. Jika ingin membuat halaman baru, klik menu *file* kemudian pilih *new*.
  - b. *General*

Langkah selanjutnya, klik menu *General* kemudian melakukan input nilai-nilai seperti Tabel 5.62 berikut.

Tabel 5. 62 *Input Data* pada Menu *General*

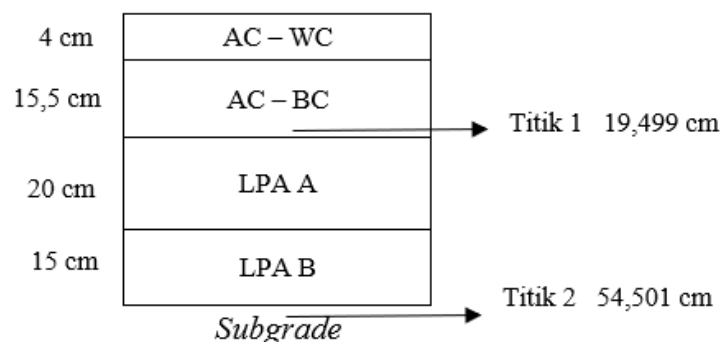
<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>MATL</i>	3	Lapis perkerasan Viskoelastik
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>NLG</i>	1	Mengikuti Kenpave
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	5	Jumlah lapisan perkerasan ( <i>AC-WC</i> , <i>AC-BC</i> , LPA A, LPA B, <i>Subgrade</i> )

Lanjutan Tabel 5. 62 *Input Data pada Menu General*

<i>Title</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>NZ</i>	5	Jumlah titik koordinat arah Z yang ditinjau kerusakan.
<i>ICL</i>	80	Mengikuti Kenpave
<i>NSDT</i>	9	Perpindahan vertical, nilai tegangan dan regangan
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Input titik kedalaman kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 untuk meninjau kerusakan *fatigue cracking* dan titik tinjau 2 untuk meninjau kerusakan *permanent deformation* seperti Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5. 26 Kedalaman Titik Tinjau

Dalam analisis ini titik tinjau berada 1 berada pada kedalaman 11,999 cm dan titik 2 berada pada kedalaman 47,001 cm. Detail kedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.63 berikut.

Tabel 5. 63 *Input Data pada Menu Zcoord*

<b>No.</b>	<b>Kedalaman</b>	<b>Keterangan</b>
1.	0	Tebal lapis permukaan perkerasan
2.	19,499	Dasar lapis perkerasan
3.	19,501	Permukaan dasar lapis perkerasan

**Lanjutan Tabel 5. 63 Input Data pada Menu Zcoord**

No.	Kedalaman	Keterangan
4.	54,499	Permukaan lapis tanah dasar
5.	54,501	Tanah dasar

d. *Layer*

Parameter yang dimasukkan pada menu *layer* berupa nilai *Poisson's Ratio* setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.64 berikut.

**Tabel 5. 64 Input Data pada Menu Layer**

No. layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>
1	4	0,35
2	15,5	0,35
3	20	0,4
4	15	0,4
5	$\infty$	0,45

e. *Moduli*

Parameter yang dimasukkan pada menu *moduli* berupa nilai modulus elastisitas pada setiap tebal lapisan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.65 berikut.

**Tabel 5. 65 Input Data pada Menu Moduli**

No. layer	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	200.000
4	175.000
5	150.000

f. *Load*

Beban gandar yang akan diterima perkerasan dimasukkan dalam menu *load*. Perincian *input* menu *load* dapat dilihat pada Tabel 5.66 sebagai berikut.

**Tabel 5. 66 Input Data pada Menu Load**

Unit	Input	Keterangan
Load	1	Single axle load, roda gandar tunggal

**Lanjutan Tabel 5. 66 Input Data pada Menu Load**

<i>Unit</i>	<i>Input</i>	<b>Keterangan</b>
<i>CR</i>	11	Nilai jarak antar ban (cm)
<i>CP</i>	550	Nilai tekan ban (Kpa)
<i>YW</i>	33	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>XW</i>	0	<i>Plan view of multiple wheels</i>
<i>NPT or NR</i>	3	Jumlah koordinat yang ditinjau

Nilai koordinat NPT yang akan ditinjau sebanyak 3, koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.67 berikut.

**Tabel 5. 67 Koordinat NPT**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0	0
0	10
0	16,5

g. *Viscoelastic*

1. *General*

*Load Duration (DUR)* = 0,1

*Number of Viscoelastic Layers* = 2

*Number Of Duration for Creep Compliance* = 11

2. *Time*

Pada menu ini memasukkan 11 variasi waktu untuk menghitung *creep compliance*. *Input* waktu dapat dilihat pada Tabel 5.68 Berikut.

**Tabel 5. 68 Waktu Untuk Creep Compliance**

<i>Squarce</i>	<i>Time</i>
1	0,001
2	0,003
3	0,01
4	0,03
5	0,1
6	0,3
7	1

(Sumber : Huang, 2004)

**Lanjutan Tabel 5. 68 Waktu Untuk *Creep Compliance***

<i>Squarce</i>	<i>Time</i>
8	3
9	10
10	30
11	100

(Sumber : Huang, 2004)

3. *Layer*

Nilai beta ( $\beta$ ) = 0,113 (Huang, 2004)

*Temperature* = 25°C

4. *Creep compliance*

Input data pada menu *creep compliance* diinput sesuai dengan hasil perhitungan pada Tabel 5.62. Jumlah lapis perkerasan yang dihitung sebanyak dua lapis perkerasan sesuai dengan nilai NVL yang telah diinput, yaitu lapis *AC-WC* dan *AC-BC*.

5. *Temperature*

Input temperatur yang digunakan sebesar 25°C sama dengan temperatur yang digunakan pada menu *Layer*.

Setelah mengisi semua data pada menu tampilan, selanjutnya simpan dan kembali ke menu utama pada program *Kenpave*. Untuk melihat hasil analisis, buka menu *Editor* pada menu utama dan masukkan nama *file*.

3. Hasil Analisis

Hasil analisis dari perhitungan menggunakan Program *Kenlayer* berupa nilai tegangan dan regangan yang terdapat pada struktur perkerasan jalan. Berikut Tabel 5.69 yang berupa keluaran dari tegangan dan regangan saat struktur perkerasan sudah dibebani dan Tabel 5.70 rekapitulasi hasil analisis.

**Tabel 5. 69 Keluaran Hasil Analisis Alternatif 2 Pemodelan Viskoelastik**

<b>Repetisi Beban</b>	<b>Koordinat vertikal</b>	<b>Regangan Vertikal</b>	<b>Regangan Horizontal</b>
1	0	550	951,271
		-8,265E-04	1,011E-05
	19,499	12,449	-1213,147
		1,448E-05	-1,487E-05
	19,501	12,450	4,043
		4,652E-05	-1,488E-05
	54,499	7,814	0,777
		4,131E-05	-1,615E-05
54,501	7,813	2,221	
	3,886E-05	-1,615E-05	
2	0	550	993,675
		-9,419E-06	9,948E-06
	19,499	12,602	-1164,698
		1,417E-05	-1,532E-05
	19,501	12,602	4,466
		4,652E-05	-1,532E-05
	54,499	8,015	0,754
		4,263E-05	-1,649E-05
54,501	8,015	2,256	
	4,017E-05	-1,649E-05	
3	0	0	1016,554
		-9760E-06	1,013E-05
	19,499	12,524	-1115,326
		1,374E-05	-1,529E-05
	19,501	12,523	4,602
		4,583E-05	-1,530E-05
	54,499	8,062	0,760
		4,288E-05	-1,654E-05
54,501	8,062	2,275	
	4,041E-05	-1,654E-05	

Tabel 5. 70 Rekapitulasi Hasil Analisis

Repetisi Beban	Tegangan Horizontal (19,499 cm)	Regangan Vertikal (21,499 cm)	Regangan Vertikal kedalaman (54,501 cm)
1	0,00001487	0,00001448	0,00003886
2	0,00001532	0,00001417	0,00004017
3	0,00001529	0,00001374	0,00004041
Maksimal	0,00001532	0,00001448	0,00004041

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah mendapatkan perhitungan nilai tegangan dan regangan, diperlukan untuk menghitung jumlah repetisi beban untuk mendapatkan nilai kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan menggunakan Persamaan 3.5 hingga Persamaan 3.7 seperti berikut.

##### a. *Fatigue Cracking* (Retak Lelah)

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

$$N_f = 0,0796(0,00001532)^{-3,921} |1.200.000|^{-0,854}$$

$$N_f = 3.871.619.467.043 \text{ ESAL}$$

##### b. *Rutting* (Retak Alur)

$$N_r = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (0,00001448)^{-f^5}$$

$$N_r = 6.314.977.389.540 \text{ ESAL}$$

##### c. *Permanent Deformation* (Deformasi Permanen)

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,00004041)^{-f^5}$$

$$N_d = 63.809.019.017 \text{ ESAL}$$

#### 5. Prediksi Umur Layan

Hasil perhitungan tegangan dan regangan yang didapatkan dari analisis menggunakan program Kenpave diperoleh kondisi eksisting pada Jalan Mayjen Sutoyo akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* ketika dilewati beban gandar sebesar 3.871.619.467.043 *ESAL*, kerusakan *rutting* akan terjadi ketika dilewati beban gandar sebesar 6.314.977.389.540 *ESAL*, serta akan terjadi kerusakan

*permanent deformation* 63.809.019.017 *ESAL*. Dari hasil analisis diketahui kerusakan awal yang terjadi adalah *permanent deformation*, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur layan menggunakan Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ESA_{TH-1} &= (\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 ESA_{TH-1} &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}] \\
 63.809.019.017 &= [(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(20\%))^{Ur-1}}{0,2}] \\
 63.809.019.017 &= [(1,728 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 & [(286,848 \times 0,4) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 & [(34,56 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] + \\
 & [(24,192 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1,2)^{Ur-1}}{0,2}] \\
 63.809.019.017 &= (1,2)^{UR-1} \times (409,97 + 20939,90 + 1892,16 + \\
 & 39293,86) \\
 63.809.019.017 &= ((1,2)^{UR-1} \times (62535,89) \\
 1020358,406 &= ((1,2)^{UR-1}) \\
 204072,68 &= (1,2)^{UR} \\
 UR &= {}^{1,2}\log 204072,68 \\
 UR &= \frac{\log b}{\log a} \\
 UR &= \frac{\log 204072,68}{\log 1,2} \\
 UR &= 67 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Hasil prediksi umur layan perkerasan eksisting dapat dilihat pada Tabel 5.71 berikut.

**Tabel 5. 71 Rekapitulasi Perhitungan Sisa Umur Layan**

Jenis kerusakan	Beban Gandar Maksimum ( <i>ESAL</i> )	Umur Layan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	3.871.619.467.043	90
<i>Rutting</i>	6.314.977.389.540	92
<i>Permanent Deformation</i>	63.809.019.017	67

Berdasarkan Tabel 5.71 Jalan Mayjen Sutoyo akan pertamakali mengalami kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-67 ketika beban gandar maksimum sebesar 63.809.019.017 *ESAL*. Kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke-90 dengan beban gandar maksimum 3.871.619.467.043 *ESAL* dan kerusakan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke-92 dengan beban gandar 3.871.619.467.043 *ESAL*. Oleh karena itu, tidak ada kerusakan yang terjadi selama umur rencana.

#### 5.4 Pembahasan

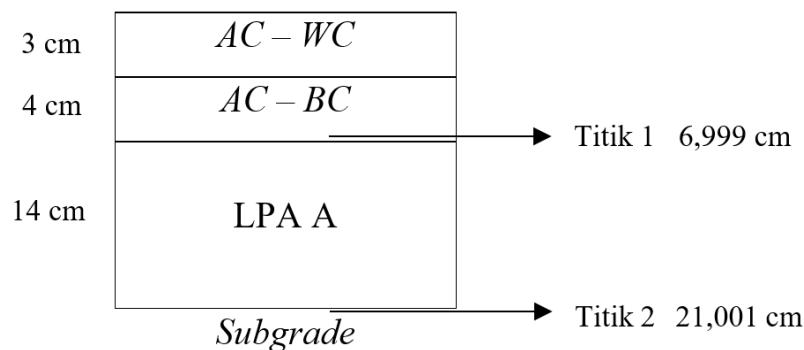
Hasil analisis kerusakan pada desain perkerasan lentur jalan Mayjen Sutoyo, didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Nilai tegangan dan regangan pada perkerasan lentur eksisting ruas jalan Mayjen Sutoyo yang didapatkan melalui analisis pemodelan elastik dan viskoelastik.
2. Prediksi umur layan struktur perkerasan eksisting dalam menahan kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.
3. Desain perkerasan pada jalan Mayjen Sutoyo menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 dengan pemodelan elastik dan viskoelastik Program *Kenpave*.
4. Nilai tegangan dan regangan pada perkerasan Bina Marga 2024 untuk struktur perkerasan di jalan Mayjen Sutoyo dilakukan dengan pendekatan pemodelan elastik dan viskoelastik kemudian dianalisis menggunakan program *Kenpave*.
5. Prediksi umur layan struktur perkerasan alternatif dalam menahan kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.
6. Perbandingan hasil evaluasi kinerja perkerasan lentur alternatif antara pemodelan elastik dan viskoelastik.

##### 5.4.1 Analisis Tegangan dan Regangan yang Terjadi Pada Kondisi Eksisting

Kerusakan yang terjadi pada kondisi eksisting berupa kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* yang terjadi pada kedalaman 6,999 cm pada lapisan permukaan bagian bawah, serta kerusakan *permanet deformation* berada di

kedalaman 21,001 cm pada lapisan tanah dasar bagian atas (Huang, 2004). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 5.27 berikut.



**Gambar 5. 27 Titik Tinjau Kerusakan Eksisting**

Hasil dari analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil respon tegangan dan regangan dengan pemodelan elastik untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 0,00004614 kPa, kerusakan *rutting* sebesar 0,0006201 kPa, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,0007902 kPa. Sedangkan hasil respon tegangan dan regangan pemodelan viskoelastik untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 0,00006081 kPa, kerusakan *rutting* sebesar 0,00005435 kPa, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,0002289 kPa.

#### 5.4.2 Sisa Umur Layan Perkerasan Eksisting

Hasil dari analisis respon tegangan dan regangan yang telah dilakukan, dilanjutkan dengan menghitung beban gandar untuk setiap jenis kerusakan. Analisis beban gandar setiap jenis kerusakan diperlukan untuk mendapatkan umur rencana perkerasan dalam menahan beban maksimum hingga kerukan terjadi.

Beban gandar maksimum yang dapat ditahan hingga terjadi kerusakan pada perkerasan eksisting dengan pemodelan elastik berupa kerusakan *fatigue cracking* sebesar 6.158.062 *ESAL* dengan umur layan 34,87% pada tahun ke-17, kerusakan *rutting* sebesar 312.811 *ESAL* dengan umur layan 9,93% pada tahun ke-5, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 105.673 *ESAL* dengan umur layan 21,17% pada tahun ke-3. Sedangkan pemodelan viskoelastik berupa kerusakan *fatigue cracking* sebesar 17.391.069.683 *ESAL* dengan umur layan 99,98% pada

tahun ke-17, kerusakan *rutting* sebesar 16.929.505.510 *ESAL* dengan umur layan 99,98% pada tahun ke-17, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 27.101.819 *ESAL* dengan umur layan 85,20% pada tahun ke-17.

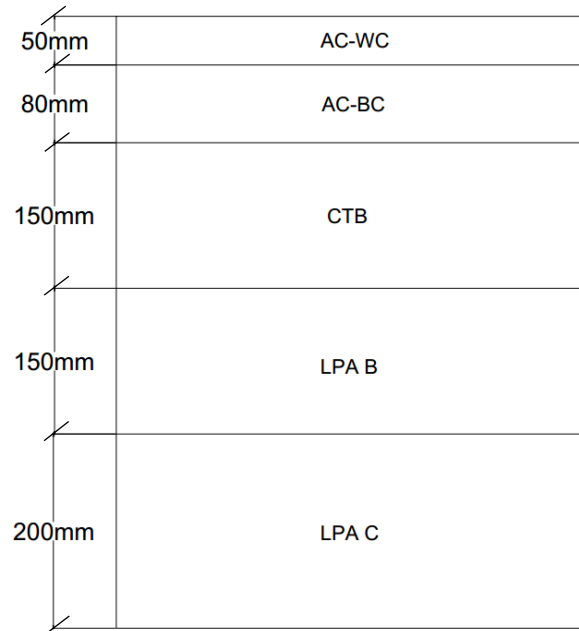
Berdasarkan Gambar 5.7 dan Gambar 5.20 kerusakan yang pertamakali terjadi pada pemodelan elastik dan viskoelastik adalah kerusakan *permanent deformation* yang menunjukkan deformasi plastis pada lapis perkerasan. Setelah itu terjadi kerusakan *rutting*, yaitu penurunan permukaan perkerasan akibat beban gandar maksimum. Kerusakan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking*, akibat dari beban gandar maksimum sehingga perkerasan mengalami kelelahan struktural.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mulia dkk (2025) yang dilakukan pada jalan Soekarno Hatta, Bukittinggi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa desain eksisting memiliki struktur yang tidak memenuhi kapasitas struktural yang diperlukan untuk menopang beban lalu lintas selama umur rencana. Sehingga struktur eksisting tidak dapat menahan nilai repetisi beban aktual ( $N_d$ ) untuk parameter *rutting* dan *permanent deformation* lebih rendah dibandingkan dengan beban lalu lintas rencana ( $N_r$ ). Penelitian lain yang dilakukan oleh Aji dan Susilo (2023) didapatkan bahwa perkerasan eksisting belum mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana.

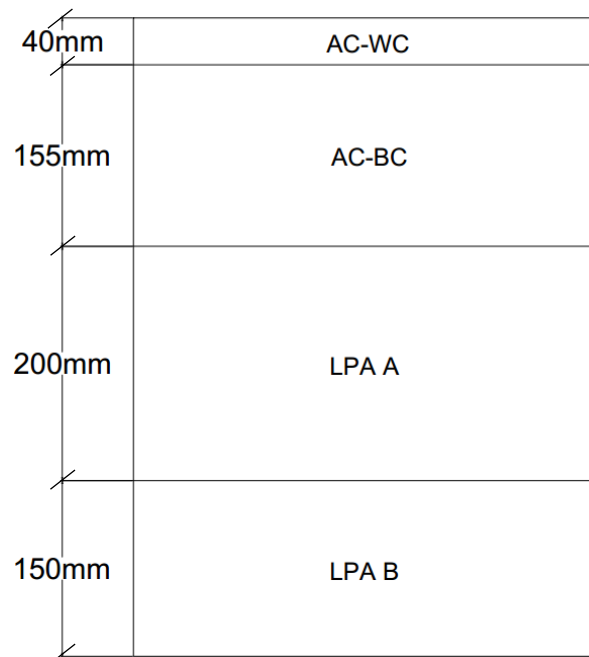
#### 5.4.3 Desain Perkerasan Lentur Ruas Jalan Mayjen Sutoyo Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2024

Perencanaan tebal lapis perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2024 dengan data LHR, faktor distribusi jalur, faktor distribusi arah, nilai *VDF*. Hasil desain tebal perkerasan Alternatif didapatkan dua alternatif desain dengan umur rencana, yaitu 20 tahun. Alternatif 1 menggunakan bagan desain 3(1) dengan CTB 150 mm total tebal lapis perkerasan sebesar 630 mm, tebal lapis AC – WC sebesar 50 mm, lapis AC-BC sebesar 80 mm, CTB sebesar 150 mm, lapis pondasi kelas B sebesar 150 mm dan lapis Pondasi Kelas C sebesar 200 mm. Alternatif 2 menggunakan bagan desain 3A dengan total tebal lapis perkerasan sebesar 545 mm, tebal lapis AC – WC sebesar 40 mm, lapis AC-BC sebesar 155 mm, lapis pondasi

kelas A sebesar 200 mm, lapis Pondasi Kelas B sebesar 150 mm. Tebal perkerasan alternatif dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 berikut.



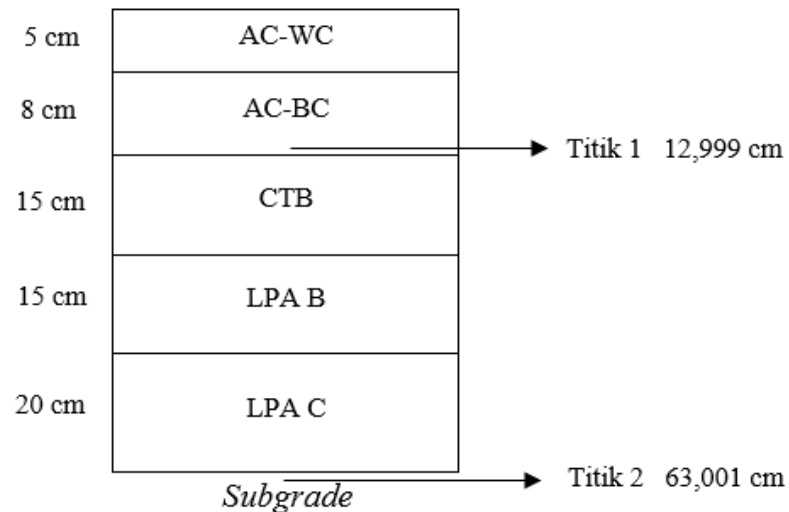
**Gambar 5. 28 Tebal Lapis Perkerasan Alternatif 1**



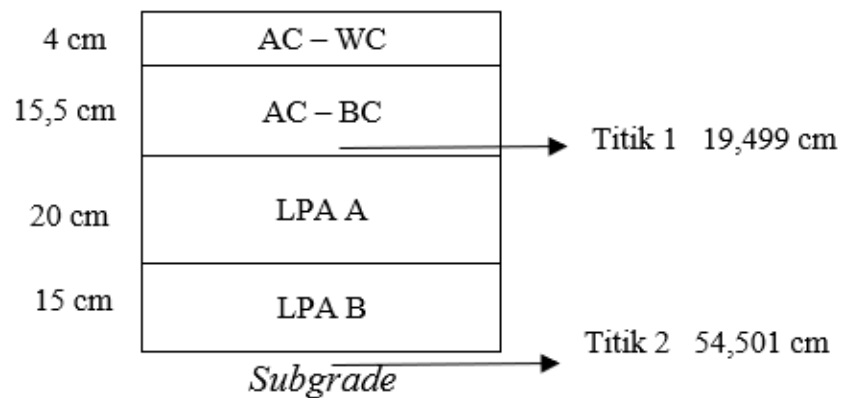
**Gambar 5. 29 Tebal Lapis Perkerasan Alternatif 2**

#### 5.4.4 Analisis Tegangan dan Regangan yang Terjadi Pada Perkerasan Alternatif

Hasil dari analisis didapatkan dua titik tinjau yang berbeda untuk setiap jenis kerusakan. Titik tinjau dapat dilihat pada Gambar 5.30 dan Gambar 5.31 berikut.



**Gambar 5. 30 Titik Tinjau Alternatif 1**



**Gambar 5. 31 Titik Tinjau Alternatif 2**

Titik tinjau untuk kerusakan *fatigue cracking* terletak pada lapis permukaan bagian bawah dan kerusakan *permanent deformation* terletak pada lapisan tanah dasar bagian atas. Pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37, titik tinjau untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* pada alternatif 1 berada pada kedalaman 12,999 cm dan titik tinjau pada alternatif 2 berada pada kedalaman 19,499. Titik tinjau kedua

untuk kerusakan *permanent deformation* pada alternatif 1 berada pada kedalaman 63,001 cm dan titik tinjau pada alternatif 2 berada pada kedalaman 54,501 cm.

Dari analisis yang dilakukan, didapatkan hasil respon tegangan dan regangan untuk setiap jenis kerusakan yang terdapat pada Tabel 5.72 berikut.

**Tabel 5. 72 Hasil Analisis Kenpave Alternatif 1**

Jenis Kerusakan	Alternatif 1		Alternatif 2	
	Elastik	Viskoelastik	Elastik	Viskoelastik
	Tegangan dan Regangan (Kpa)			
<i>Faigue Cracking</i>	0,0001837	0,00002603	0,0002337	0,00001532
<i>Rutting</i>	0,0002532	0,00002442	0,0002577	0,00001448
<i>Permanent Deformation</i>	0,0001846	0,00006462	0,0002273	0,00004041

#### 5.4.5 Sisa Umur Layan Perkerasan Alternatif

Hasil dari analisis respon tegangan dan regangan yang telah dilakukan, dilanjutkan dengan menghitung beban gandar untuk setiap jenis kerusakan. Analisis beban gandar setiap jenis kerusakan diperlukan untuk mendapatkan umur rencana perkerasan dalam menahan beban maksimum hingga kerusakan terjadi.

Pemodelan elastik alternatif 1 dapat menahan beban gandar maksimum hingga kerusakan *fatigue cracking* sebesar 227.887.383 *ESAL* dengan umur layan selama 36 tahun, kerusakan *rutting* sebesar 17.251.452 *ESAL* dengan umur layan selama 22 tahun, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 70.992.643 *ESAL* dengan umur layan selama 30 tahun. Sedangkan beban gandar maksimum yang dapat ditahan hingga terjadi kerusakan pada perkerasan dengan pemodelan viskoelastik berupa kerusakan *fatigue cracking* sebesar 484.415.544.061 *ESAL* dengan umur layan selama 78 tahun, kerusakan *rutting* sebesar 608.408.584.629 *ESAL* dengan umur layan selama 79 tahun, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 7.800.452.556 *ESAL* dengan umur layan selama 56 tahun.

Pemodelan elastik alternatif 2 dapat menahan beban gandar maksimum hingga kerusakan *fatigue cracking* sebesar 88.670.973 *ESAL* dengan umur layan selama 31 tahun, kerusakan *rutting* sebesar 15.943.123 *ESAL* dengan umur layan

selama 22 tahun, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 27.966.427 *ESAL* dengan umur layan selama 25 tahun. Sedangkan beban gandar maksimum yang dapat ditahan hingga terjadi kerusakan pada perkerasan dengan pemodelan viskoelastik berupa kerusakan *fatigue cracking* sebesar 3.871.619.467.043 *ESAL* dengan umur layan selama 90 tahun, kerusakan *rutting* sebesar 6.314.977.389.540 *ESAL* dengan umur layan selama 92 tahun, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 63.809.019.017 *ESAL* dengan umur layan selama 67 tahun.

Perbedaan antara pemodelan elastik dan viskoelastik yang signifikan disebabkan oleh beberapa faktor. Pemodelan elastik diasumsikan bahwa deformasi yang terjadi akibat pembebanan bersifat instan dan dapat langsung hilang atau dianggap permanen tanpa mempertimbangkan pengaruh waktu. Sedangkan, pemodelan viskoelastik memperhitungkan perilaku material aspal yang bergantung pada waktu, di mana aspal memiliki kemampuan untuk mengalami pemulihan deformasi melalui mekanisme relaksasi tegangan selama terdapat jeda waktu antar lintasan beban kendaraan.

Berdasarkan hasil di atas, diketahui bahwa analisis dengan pemodelan elastik dan pemodelan viskoelastik mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun. Hasil analisis sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Panjago dan Hadi (2024) bahwa desain alternatif 1 dan alternatif 2 dengan pemodelan elastik dan viskoelastik dapat menahan beban kendaraan selama umur rencana, yaitu 20 tahun. Desain alternatif menggunakan perkerasan CTB pemodelan elastik dan viskoelastik dapat menahan beban kendaraan sesuai umur rencana. Penelitian lain yang dilakukan oleh Mulia dkk (2025) nilai sisa layan yang diperoleh dari penelitian alternatif memiliki daya tahan yang cukup kuat terhadap beban lalu lintas terutama beban *fatigue cracking* yang hampir mencapai nilai maksimal. Dalam penelitian Hadi (2022) menyatakan bahwa perkerasan yang pertama kali dialami berupa kerusakan *rutting*, kemudian *permanent deformation* dan terakhir kerusakan *fatigue cracking*.

#### 5.4.6 Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik

Perbandingan hasil analisis dari pemodelan elastik dan viskoelastik dapat dilihat pada Tabel 5.73 dan Tabel 5.74 berikut.

**Tabel 5. 73 Perbandingan Hasil Evaluasi pada Perkerasan Alternatif 1**

Jenis Kerusakan	Elastik		Viskoelastik	
	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur layan (Tahun)	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur layan (Tahun)
<i>Fatigue cracking</i>	227.887.383	36	484.415.544.061	78
<i>Rutting</i>	17.251.452	22	608.408.584.629	79
<i>Permanent Deformation</i>	70.992.643	30	7.800.452.556	56

**Tabel 5. 74 Perbandingan Hasil Evaluasi pada Perkerasan Alternatif 2**

Jenis Kerusakan	Elastik		Viskoelastik	
	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur layan (Tahun)	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur layan (Tahun)
<i>Fatigue cracking</i>	88.670.973	31	3.871.619.467.043	90
<i>Rutting</i>	15.943.123	22	6.314.977.389.540	92
<i>Permanent Deformation</i>	27.966.427	25	63.809.019.017	67

Berdasarkan Tabel 5.73 dan Tabel 5.74 bahwa alternatif 1 dan alternatif 2 memiliki kerusakan pertama yang berbeda. Pada alternatif 1 dapat diketahui bahwa pada kerusakan awal yang terjadi pemodelan elastik adalah *rutting* dan pemodelan viskoelastik adalah kerusakan *permanent deformation*. Kerusakan *rutting* pada pemodelan elastik terjadi pada tahun ke-22 dengan beban gandar maksimum sebesar 17.251.452 ESAL. Sedangkan untuk pemodelan viskoelastik terjadi kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-56 dengan beban gandar maksimum sebesar 7.800.452.556 ESAL. Kerusakan yang terjadi selanjutnya pada pemodelan elastik adalah kerusakan *permanent deformation*. Kerusakan *permanent*

*deformation* pada pemodelan elastik terjadi pada tahun ke-30 dengan beban gandar maksimum sebesar 70.992.643 *ESAL*. Untuk pemodelan viskoelastik terjadi kerusakan *fatigue cracking* pada tahun ke-78 dengan beban gandar maksimum sebesar 484.415.544.061 *ESAL*. Kerusakan yang paling terakhir terjadi pada pemodelan elastik adalah kerusakan *fatigue cracking*. Kerusakan *fatigue cracking* pada pemodelan elastik terjadi pada tahun ke-36 dengan beban gandar maksimum 227.887.383 *ESAL*. Sedangkan untuk pemodelan viskoelastik, kerusakan yang terakhir kali adalah *rutting* pada tahun ke-79 dengan beban gandar maksimum sebesar 608.408.584.629 *ESAL*.

Pada alternatif 2 dapat diketahui bahwa pada kerusakan awal yang terjadi pemodelan elastik adalah kerusakan *rutting*. Kerusakan *rutting* pada pemodelan elastik terjadi pada tahun ke-22 dengan beban gandar maksimum sebesar 15.943.123 *ESAL*. Sedangkan untuk pemodelan viskoelastik pertamakali terjadi kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-67 dengan beban gandar maksimum sebesar 63.809.019.017 *ESAL*. Kerusakan yang terjadi pada pemodelan elastik selanjutnya adalah kerusakan *permanent deformation*. Kerusakan *permanent deformation* pada pemodelan elastik terjadi pada tahun ke-25 dengan beban gandar maksimum sebesar 27.966.427 *ESAL*. Untuk pemodelan viskoelastik terjadi kerusakan *fatigue cracking* pada tahun ke-90 dengan beban gandar maksimum sebesar 3.871.619.467.043 *ESAL*. Kerusakan yang paling terakhir terjadi pada pemodelan elastik adalah kerusakan *fatigue cracking*. Kerusakan *fatigue cracking* pada pemodelan elastik terjadi pada tahun ke-31 dengan beban gandar maksimum sebesar 88.670.973 *ESAL*. Sedangkan untuk pemodelan viskoelastik, kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke-92 dengan beban gandar maksimum sebesar 6.314.977.389.540 *ESAL*.

Dari pembahasan tersebut, maka alternatif 1 dan alternatif 2 menunjukkan kinerja perkerasan yang mampu memenuhi umur rencana yang ditetapkan, yaitu 20 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kedua alternatif perkerasan memiliki ketahanan struktural yang memadai terhadap beban lalu lintas selama umur layan. Desain alternatif 2 memiliki umur layan yang lebih lama dibanding desain alternatif 1, sehingga pemilihan untuk desain alternatif 2 lebih disarankan.

## BAB IV

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, didapatkan beberapa point penting, seperti berikut.

1. Pada kondisi perkerasan eksisting, pemodelan elastik menghasilkan umur layan yang lebih pendek terhadap kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*, sedangkan pada pemodelan viskoelastik dapat menggambarkan perilaku perkerasan yang lebih realistis dengan umur layan yang mendekati umur rencana. Pemodelan elastik didapatkan kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke-3 dengan sisa umur layan 21,17%, kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-6 dengan sisa layan 9,93%, dan kerusakan *fatigue cracking* memiliki sisa layan 34,87% pada tahun ke-17.
2. Hasil perencanaan perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Perkerasan eksisting pemodelan elastik terjadi kerusakan pertama adalah *rutting*, disusul *permanent deformation*, dan yang terakhir *fatigue cracking*. Sedangkan pada pemodelan viskoelastik didapatkan kerusakan yang pertama kali terjadi adalah *fatigue cracking*, disusul *rutting*, dan terakhir *permanent deformation*.
3. Didapatkan 2 desain alternatif, alternatif 1 menggunakan bagan 3 (1) dengan CTB 150 mm, total tebal lapis perkerasan 630 mm, AC – WC sebesar 50 mm, AC – BC sebesar 80 mm, CTB sebesar 150 mm, LPA B sebesar 150 mm, dan LPA C sebesar 200 mm. Sedangkan alternatif 2 dengan bagan desain 3A, total lapis perkerasan 545 mm, tebal lapis AC – WC sebesar 40 mm, lapis AC-BC sebesar 155 mm, lapis pondasi kelas A sebesar 200 mm, lapis Pondasi Kelas B sebesar 150 mm.
4. Kerusakan pertama yang terjadi pada pemodelan elastik alternatif 1 dan alternatif 2 adalah *rutting*, kemudian kerusakan *permanent deformation* dan

kerusakan terakhir adalah *fatigue cracking*. Kerusakan yang terjadi pada pemodelan viskoelastik alternatif 1 dan alternatif 2 memiliki kesamaan yaitu kerusakan *permanent deformation*, kemudian *fatigue cracking*, dan kerusakan paling akhir adalah *rutting*. Kedua alternatif perkerasan mampu memenuhi syarat umur rencana 20 tahun, dengan pemodelan elastik dan viskoelastik.

## 6.2 Saran

Merujuk pada hasil penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan, diantaranya sebagai berikut.

1. Analisis dan evaluasi perkerasan lentur dengan program *Kenpave* memiliki kesulitan dan cakupan yang cukup tinggi, sehingga sangat penting untuk memahami dan memperhatikan setiap data yang dimasukkan dalam analisis kerusakan jalan menggunakan metode mekanistik-empiris.
2. Penelitian lain diperlukan untuk menemukan alternatif yang lebih efektif dan aman.
3. Diperlukan perhitungan biaya untuk desain alternatif agar desain perkerasan alternatif layak digunakan, karena pada desain alternatif ini belum melakukan perhitungan biaya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajil, Z. A., & Susilo, B. hartanto. (2023). Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program Software Kenpave. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*, 01(01), 96–105. <https://doi.org/10.25105/jrltb.v1i1.15921>
- Aryan, Y., Dikshit, A. K., & Shinde, A. M. (2024). Assessment of environmental impacts and reduction opportunities for road infrastructures in India. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 128(February), 104106. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104106>
- Bina Marga DJB. (2024). Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. *Kementrian PUPR*, 31–52.
- Fachrudin, M. I., Bakhtiar, A., & Kololikiye, G. R. (2025). Studi Peningkatan Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) Menggunakan Metode Bina Marga 2024 Pada Ruas Jalan Nasional III Jawa Timur. *Jurnal Rekayasa Sipil* /, 18(2), 18–27.
- Hadi, M. A. (2023). Identifikasi Kerentanan Kinerja Perkerasan Jalan Terhadap Aktivitas Overload Kendaraan Menggunakan Program KENPAVE. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 95-104.
- Hadi, M. A., & Fauziah, M. (2022). Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-WC menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik. *Teknisia*, 27(2), 71-82.
- Hadi, M. A., & Tolab, L. Z. (2022). Studi Analisis Sensitivitas Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Terhadap Pengaruh Perubahan Temperatur. *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun*.
- Khomeini, M., Manaf, M., & Salim, A. (2020). Pengaruh Pembangunan Ruas Jalan dan Jembatan Cenrana - Labotto Terhadap Perekonomian Masyarakat Studi Kasus: Kecamatan Cenrana Kabupaten Bone. *Urban and Regional Studies Journal*, 2(1), 25–30. <https://doi.org/10.35965/ursj.v2i1.287>
- Lia, N., & Mahardi, P. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi KENPAVE. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 4(2)
- Mantiri, C. C., Sendow, T. K., & Manoppo, M. R. (2019). Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Dengan Metode Bina Marga 2017 Dibandingkan Metode

Aashto. *Jurnal Sipil Statik*, 7(10)

- Marlina, E., Frans, J. H., & Nasjono, J. K. (2023). Analisis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program KENPAVE. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 173-184.
- Mulia, A., Yermadona, H., & Kurniawan, D. (2025). Evaluasi Kinerja Perkerasan Lentur Dan Nilai Sisa Berdasarkan Metode Bina Marga 2024 Menggunakan Program Kenpave (Studi kasus: Jln. Soekarno Hatta, Bukittinggi).
- Nabillah, J. A., & Radam, I. F. (2019). Pengaruh Beban Lalu Lintas Terhadap Kerusakan Jalan. *Jurnal Kacapuri*, 2(2), 1–10.
- Pambudi, R. A., & Fauziah, M. (2021). Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program Kenpave Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 303–314.
- Panjago, F., & Hadi, M. A. (2024). Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Program Kenpave dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik Pada Ruas Jalan Klangon Tempel Yogyakarta. *Wahana Teknik Sipil*, 29 (2) 297-308.
- Pratama, K. M. D., Wahyuningsih, T., & Efendy, A. (2025, June). Analisa Tebal Lapis Pengerasan Jalan TGH. Faesal Kota Mataram menggunakan Metode Bina Marga 2024. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 298-308)
- Rind, T. A., Jhatial, A. A., Sandhu, A. R., Bhatti, I. A., & Ahmed, S. (2019). Fatigue and Rutting Analysis of Asphaltic Pavement Using " KENLAYER" Software. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 90(2)
- Rentua, Y. A., Bakhtiar, A., & Kololikiye, G. R. (2025). Studi Evaluasi Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2024 Pada Jalan Namrole-Leksula Kabupaten Buru Selatan. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 15(2), 412-419.
- Sasongko, A. N., Suprpto, B., & Rokhmawati, A. (2021). Studi Alternatif Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Aplikasi Kenpave Pada Ruas Jalan Karangates-Jatikerto (Sta 1+ 500-11+ 700). *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 9(2), 112-122.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Keluaran *Kenpave* Perkerasan Eksisting Pemodelan Elastik

```

INPUT FILE NAME  -D:\Nidaa\KENPAVE BARU\eksisting elastik.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -eksisting elastik

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- =  6
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)----- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- =  1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE :  3  4  14
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE :  0.35  0.35  0.4  0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  3  6.999  7.001  20.999
  21.001
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1.100E+06    2  1.200E+06
  3  2.000E+05    4  1.500E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- =  11
CONTACT PRESSURE (CP)----- =  550
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- =  3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- =  0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- =  33

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1    0.000    0.000  2    0.000  10.000
  3    0.000  16.500

PERIOD NO.  1   LOAD GROUP NO.  1

POINT   VERTICAL   VERTICAL   VERTICAL   MAJOR     MINOR     INTERMEDIATE
NO.     COORDINATE   DISP.     STRESS     PRINCIPAL PRINCIAL  P. STRESS
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (HORIZONTAL
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  P. STRAIN)
1       0.00000   0.05302   550.000    1338.851   779.156    1234.804
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)
1       3.00000   0.05196   484.484    484.487    356.481    381.819
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)
1       6.99900   0.05039   338.417    338.559   -622.960   -536.433
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)
1       7.00100   0.05039   338.331    338.840    81.031     94.455
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)
1      20.99900   0.03621   138.329    140.106   -31.475    -8.751
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)
1      21.00100   0.03621   138.315    140.695    13.117    28.479
                (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)  (STRAIN)

```

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

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)	0.05302	550.000 -1.106E-04	1338.851 5.763E-04	779.156 -1.106E-04	1234.804 4.486E-04
1	3.00000 (STRAIN)	0.05196	484.484 2.055E-04	484.487 2.055E-04	356.481 4.843E-05	381.819 4.844E-05
1	6.99900 (STRAIN)	0.05039	338.417 6.201E-04	338.559 6.203E-04	-622.960 -4.614E-04	-536.433 -4.614E-04
1	7.00100 (STRAIN)	0.05039	338.331 1.340E-03	338.840 1.343E-03	81.031 -4.614E-04	94.455 -4.614E-04
1	20.99900 (STRAIN)	0.03621	138.329 7.685E-04	140.106 7.810E-04	-31.475 -4.201E-04	-8.751 -4.201E-04
1	21.00100 (STRAIN)	0.03621	138.315 7.902E-04	140.695 8.132E-04	13.117 -4.201E-04	28.479 -4.201E-04
2	0.00000 (STRAIN)	0.04906	550.000 -1.068E-04	758.195 4.637E-04	293.360 -1.068E-04	415.481 4.312E-05
2	3.00000 (STRAIN)	0.04925	345.651 1.590E-04	535.237 3.917E-04	30.370 -2.279E-04	267.858 4.752E-06
2	6.99900 (STRAIN)	0.04836	228.846 3.296E-04	241.178 3.435E-04	-438.292 -4.209E-04	-50.357 -4.209E-04
2	7.00100 (STRAIN)	0.04836	228.807 7.949E-04	254.230 9.729E-04	55.100 -4.210E-04	94.040 -4.210E-04
2	20.99900 (STRAIN)	0.03783	133.944 7.120E-04	133.962 7.121E-04	-30.744 -4.408E-04	9.584 -4.408E-04
2	21.00100 (STRAIN)	0.03783	133.928 7.256E-04	133.952 7.258E-04	13.264 -4.408E-04	42.462 -4.408E-04
3	0.00000 (STRAIN)	0.04944	0.000 -1.095E-04	675.230 3.799E-04	276.442 -1.095E-04	458.841 1.143E-04
3	3.00000 (STRAIN)	0.04611	44.988 -5.210E-05	154.989 8.290E-05	44.988 -5.210E-05	137.302 6.119E-05
3	6.99900 (STRAIN)	0.04600	144.144 9.260E-05	352.056 3.265E-04	-257.715 -3.595E-04	144.144 -3.595E-04
3	7.00100 (STRAIN)	0.04600	144.154 3.584E-04	144.154 3.584E-04	41.578 -3.596E-04	139.606 -3.596E-04
3	20.99900 (STRAIN)	0.03790	128.509 6.672E-04	128.509 6.672E-04	-29.609 -4.396E-04	17.280 -4.396E-04
3	21.00100 (STRAIN)	0.03790	128.517 6.768E-04	128.517 6.768E-04	13.021 -4.396E-04	46.962 -4.396E-04

## Lampiran 2 Keluaran *Kenpave* Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik

```

INPUT FILE NAME -D:\Nidaa\KENPAVE BARU\eksisting visko.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -eksisting viskoelastik

MATL = 3 FOR VISCOELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 6
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 3 4 14
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.4 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 3 6.999 7.001 20.999
21.001
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 2.000E+05 4 1.500E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 11
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 550
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 33

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 0.000 10.000
3 0.000 16.500

DURATION OF MOVING LOAD (DUR) = 0.1
NUMBER OF VISCOELASTIC LAYER (NVL) = 2
LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) = 1 2
CREEP TIMES (TYME) ARE: 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3 1 3 10 30 100

FOR LAYER 1 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:
7.570E-10 2.269E-09 7.541E-09 2.244E-08 7.266E-08 2.010E-07 5.139E-07
8.344E-07 9.089E-07 9.091E-07 9.091E-07

FOR LAYER 2 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

```

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:  
 6.939E-10 2.080E-09 6.913E-09 2.057E-08 6.660E-08 1.843E-07 4.710E-07  
 7.649E-07 8.331E-07 8.333E-07 8.333E-07

LAYER NO. 1 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:  
 2.919E-08 -7.712E-08 9.700E-08 -8.978E-07 -1.041E-07 5.107E-08 9.039E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25 ARE:  
 1.877E-09 1.808E-09 5.386E-09 2.485E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07  
 8.283E-07 9.022E-07 9.175E-07 9.057E-07

LAYER NO. 2 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:  
 2.676E-08 -7.070E-08 8.892E-08 -8.229E-07 -9.542E-08 4.681E-08 8.286E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25 ARE:  
 1.721E-09 1.658E-09 4.937E-09 2.278E-08 6.632E-08 1.771E-07 4.848E-07  
 7.593E-07 8.270E-07 8.410E-07 8.302E-07

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1 25 2 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:  
 1.877E-09 1.808E-09 5.386E-09 2.485E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07  
 8.283E-07 9.022E-07 9.175E-07 9.057E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:  
 1.721E-09 1.658E-09 4.937E-09 2.278E-08 6.632E-08 1.771E-07 4.848E-07  
 7.593E-07 8.270E-07 8.410E-07 8.302E-07

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

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	0.02469	550.000	4993.500	396.534	4586.827
	(STRAIN)		-4.819E-05	5.285E-05	-4.819E-05	4.666E-05
1	3.00000	0.02456	364.211	969.232	335.051	863.499
	(STRAIN)		-3.145E-06	1.013E-05	-5.062E-06	5.798E-06
1	6.99900	0.02447	63.660	63.669	-5550.771	-4627.982
	(STRAIN)		5.437E-05	5.437E-05	-5.906E-05	-5.906E-05
1	7.00100	0.02447	63.665	64.536	24.605	26.529
	(STRAIN)		2.143E-04	2.204E-04	-5.910E-05	-5.910E-05
1	20.99900	0.02147	44.768	45.513	0.472	3.939
	(STRAIN)		2.135E-04	2.187E-04	-9.655E-05	-9.655E-05
1	21.00100	0.02147	44.769	45.784	12.790	14.826
	(STRAIN)		2.126E-04	2.224E-04	-9.656E-05	-9.656E-05
2	0.00000	0.02545	550.000	5075.858	324.254	4404.989
	(STRAIN)		-4.765E-05	5.630E-05	-4.765E-05	3.947E-05
2	3.00000	0.02545	276.814	914.722	114.305	866.602
	(STRAIN)		-3.754E-06	9.698E-06	-8.560E-06	4.618E-06
2	6.99900	0.02537	64.018	64.105	-5399.601	-3864.857
	(STRAIN)		4.870E-05	4.883E-05	-6.082E-05	-6.082E-05
2	7.00100	0.02537	64.011	64.056	25.548	30.236
	(STRAIN)		2.084E-04	2.087E-04	-6.084E-05	-6.084E-05
2	20.99900	0.02228	47.734	47.828	0.484	4.580
	(STRAIN)		2.284E-04	2.290E-04	-1.024E-04	-1.024E-04
2	21.00100	0.02227	47.732	47.861	13.609	16.514
	(STRAIN)		2.275E-04	2.287E-04	-1.024E-04	-1.024E-04
3	0.00000	0.02553	0.000	4900.181	256.691	4147.579
	(STRAIN)		-4.566E-05	5.432E-05	-4.566E-05	3.641E-05

3	3.00000	0.02554	15.709	799.374	15.709	625.165
	(STRAIN)		-7.774E-06	9.387E-06	-7.774E-06	5.454E-06
3	6.99900	0.02547	61.993	62.475	-5074.722	-3161.314
	(STRAIN)		4.248E-05	4.411E-05	-5.947E-05	-5.947E-05
3	7.00100	0.02547	61.985	61.985	25.449	31.388
	(STRAIN)		1.963E-04	1.963E-04	-5.950E-05	-5.950E-05
3	20.99900	0.02242	48.136	48.136	0.521	4.835
	(STRAIN)		2.300E-04	2.300E-04	-1.033E-04	-1.033E-04
3	21.00100	0.02242	48.134	48.134	13.755	16.879
	(STRAIN)		2.290E-04	2.290E-04	-1.033E-04	-1.033E-04

### Lampiran 3 Keluaran *Kenpave* Perkerasan Alternatif 1 Pemodelan Elastik

```

INPUT FILE NAME -D:\Nidaa\KENPAVE BARU\Alt 1 elastik (2).DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Alt 1 elastik

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 6
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 5 8 15 15 20
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.4 0.4 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 5 12.999 13.001 62.999
63.001
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 5.000E+05 4 1.700E+05 5 1.300E+05 6 1.500E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 11
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 550
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 33

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 0.000 10.000
3 0.000 16.500

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT VERTICAL VERTICAL VERTICAL MAJOR MINOR INTERMEDIATE
NO. COORDINATE DISP. STRESS PRINCIPAL PRINCIAL P. STRESS
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (HORIZONTAL
P. STRAIN)
1 0.00000 0.03508 550.000 730.760 587.217 705.111
(STRAIN) 7.696E-05 2.531E-04 7.697E-05 2.217E-04
1 5.00000 0.03353 486.254 487.082 262.841 279.550
(STRAIN) 2.532E-04 2.702E-04 -4.982E-06 -3.966E-06
1 12.99900 0.03138 233.418 235.024 -188.730 -144.315
(STRAIN) 2.912E-04 2.930E-04 -1.837E-04 -1.837E-04
1 13.00100 0.03138 233.398 236.126 -5.366 11.084
(STRAIN) 4.609E-04 4.683E-04 -1.838E-04 -1.838E-04
1 62.99900 0.01648 27.511 28.239 1.495 2.349
(STRAIN) 1.976E-04 2.054E-04 -8.262E-05 -8.262E-05
1 63.00100 0.01648 27.510 28.241 1.419 2.451
(STRAIN) 1.696E-04 1.767E-04 -8.261E-05 -8.261E-05

```

2	0.00000 (STRAIN)	0.03388	550.000 -3.812E-06	528.350 2.189E-04	346.870 -3.812E-06	474.688 1.531E-04
2	5.00000 (STRAIN)	0.03304	293.364 1.324E-04	408.899 2.741E-04	107.751 -9.544E-05	198.926 1.645E-05
2	12.99900 (STRAIN)	0.03187	168.090 1.866E-04	173.331 1.925E-04	-150.791 -1.722E-04	-13.855 -1.722E-04
2	13.00100 (STRAIN)	0.03187	168.072 3.088E-04	175.600 3.291E-04	-10.059 -1.722E-04	41.656 -1.722E-04
2	62.99900 (STRAIN)	0.01693	29.229 2.116E-04	29.347 2.128E-04	1.571 -8.631E-05	2.630 -8.631E-05
2	63.00100 (STRAIN)	0.01693	29.228 1.822E-04	29.346 1.834E-04	1.449 -8.630E-05	2.643 -8.630E-05
3	0.00000 (STRAIN)	0.03303	0.000 -3.164E-05	439.804 1.980E-04	252.729 -3.164E-05	381.723 1.267E-04
3	5.00000 (STRAIN)	0.03187	50.800 -6.723E-05	217.673 1.376E-04	50.800 -6.723E-05	138.762 4.072E-05
3	12.99900 (STRAIN)	0.03158	126.695 1.211E-04	126.695 1.211E-04	-123.240 -1.601E-04	69.971 -1.601E-04
3	13.00100 (STRAIN)	0.03158	126.692 2.132E-04	126.692 2.132E-04	-11.575 -1.601E-04	68.933 -1.601E-04
3	62.99900 (STRAIN)	0.01702	29.553 2.142E-04	29.553 2.142E-04	1.584 -8.701E-05	2.686 -8.701E-05
3	63.00100 (STRAIN)	0.01702	29.552 1.846E-04	29.552 1.846E-04	1.454 -8.700E-05	2.681 -8.700E-05

## Lampiran 4 Keluaran Kenpave Perkerasan Alternatif 1 Pemodelan Viskoelastik

```

INPUT FILE NAME -D:\Nidaa\KENPAVE BARU\Alt 1 visko.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Alt 1 visko

MATL = 3 FOR VISCOELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 6
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 5 8 15 15 20
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.4 0.4 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 5 12.999 13.001 62.999
63.001
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 5.000E+05 4 1.700E+05 5 1.300E+05 6 1.500E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 11
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 550
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 33

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 0.000 10.000
3 0.000 16.500

DURATION OF MOVING LOAD (DUR) = 0.1
NUMBER OF VISCOELASTIC LAYER (NVL) = 2
LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) = 1 2
CREEP TIMES (TYME) ARE: 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3 1 3 10 30 100

FOR LAYER 1 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

```

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:  
 7.570E-10 2.269E-09 7.541E-09 2.244E-08 7.266E-08 2.010E-07 5.139E-07  
 8.344E-07 9.089E-07 9.091E-07 9.091E-07

FOR LAYER 2 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113  
 REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:  
 6.939E-10 2.080E-09 6.913E-09 2.057E-08 6.660E-08 1.843E-07 4.710E-07  
 7.649E-07 8.331E-07 8.333E-07 8.333E-07

LAYER NO. 1 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:  
 2.919E-08 -7.712E-08 9.700E-08 -8.978E-07 -1.041E-07 5.107E-08 9.039E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:  
 1.877E-09 1.808E-09 5.386E-09 2.485E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07  
 8.283E-07 9.022E-07 9.175E-07 9.057E-07

LAYER NO. 2 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:  
 2.676E-08 -7.070E-08 8.892E-08 -8.229E-07 -9.542E-08 4.681E-08 8.286E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:  
 1.721E-09 1.658E-09 4.937E-09 2.278E-08 6.632E-08 1.771E-07 4.848E-07  
 7.593E-07 8.270E-07 8.410E-07 8.302E-07

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1 25 2 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:  
 1.877E-09 1.808E-09 5.386E-09 2.485E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07  
 8.283E-07 9.022E-07 9.175E-07 9.057E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:  
 1.721E-09 1.658E-09 4.937E-09 2.278E-08 6.632E-08 1.771E-07 4.848E-07  
 7.593E-07 8.270E-07 8.410E-07 8.302E-07

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

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	0.01427	550.000	1666.358	127.930	1580.399
	(STRAIN)		-1.526E-05	1.824E-05	-1.526E-05	1.594E-05
1	5.00000	0.01453	405.186	636.754	369.042	614.943
	(STRAIN)		8.967E-07	5.489E-06	-9.196E-07	3.261E-06
1	12.99900	0.01444	31.091	31.104	-2385.519	-2065.768
	(STRAIN)		2.442E-05	2.443E-05	-2.540E-05	-2.540E-05
1	13.00100	0.01444	31.088	32.037	-1.428	0.170
	(STRAIN)		6.239E-05	6.496E-05	-2.540E-05	-2.540E-05
1	62.99900	0.01053	11.054	11.178	1.611	1.741
	(STRAIN)		7.434E-05	7.567E-05	-2.736E-05	-2.736E-05
1	63.00100	0.01053	11.054	11.181	1.814	1.970
	(STRAIN)		6.196E-05	6.318E-05	-2.736E-05	-2.736E-05

2	0.00000	0.01453	550.000	1721.125	130.989	1646.078
	(STRAIN)		-1.724E-05	1.875E-05	-1.724E-05	1.671E-05
2	5.00000	0.01480	240.895	611.132	177.224	580.090
	(STRAIN)		-1.854E-06	6.418E-06	-3.995E-06	4.035E-06
2	12.99900	0.01472	30.225	30.267	-2357.169	-1868.547
	(STRAIN)		2.293E-05	2.298E-05	-2.603E-05	-2.603E-05
2	13.00100	0.01472	30.222	30.270	-1.641	2.227
	(STRAIN)		6.000E-05	6.013E-05	-2.603E-05	-2.603E-05
2	62.99900	0.01065	11.379	11.399	1.643	1.791
	(STRAIN)		7.691E-05	7.712E-05	-2.795E-05	-2.795E-05
2	63.00100	0.01065	11.379	11.399	1.841	2.008
	(STRAIN)		6.425E-05	6.445E-05	-2.795E-05	-2.795E-05
3	0.00000	0.01447	0.000	1679.315	110.549	1610.398
	(STRAIN)		-1.624E-05	1.683E-05	-1.624E-05	1.578E-05
3	5.00000	0.01482	13.795	539.428	13.795	524.130
	(STRAIN)		-5.990E-06	6.133E-06	-5.990E-06	5.409E-06
3	12.99900	0.01476	29.037	29.037	-2282.444	-1697.628
	(STRAIN)		2.141E-05	2.141E-05	-2.578E-05	-2.578E-05
3	13.00100	0.01476	29.035	29.035	-1.671	3.024
	(STRAIN)		5.712E-05	5.712E-05	-2.578E-05	-2.578E-05
3	62.99900	0.01067	11.431	11.431	1.648	1.800
	(STRAIN)		7.732E-05	7.732E-05	-2.803E-05	-2.803E-05
3	63.00100	0.01067	11.431	11.431	1.846	2.015
	(STRAIN)		6.462E-05	6.462E-05	-2.803E-05	-2.803E-05

## Lampiran 5 Keluaran Kenpave Perkerasan Alternatif 2 Pemodelan Elastik

```

INPUT FILE NAME -D:\Nidaa\KENPAVE BARU\alt2 elastik coba.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -alt 2 elastik

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 15.5 20 15
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.4 0.4 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 19.499 19.501 54.499
54.501
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 2.000E+05 4 1.750E+05 5 1.500E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 11
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 550 c
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 33

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 0.000 10.000
3 0.000 16.500

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT VERTICAL VERTICAL VERTICAL MAJOR MINOR INTERMEDIATE
NO. COORDINATE DISP. STRESS PRINCIPAL PRINCIAL P. STRESS
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (HORIZONTAL
P. STRAIN)
1 0.00000 0.03391 550.000 707.075 587.216 680.441
(STRAIN) 9.235E-05 2.395E-04 9.235E-05 2.068E-04
1 19.49900 0.02897 110.280 110.818 -321.250 -247.694
(STRAIN) 2.577E-04 2.583E-04 -2.278E-04 -2.278E-04
1 19.50100 0.02897 110.274 112.309 5.515 15.386
(STRAIN) 5.055E-04 5.197E-04 -2.278E-04 -2.278E-04
1 54.49900 0.01828 33.906 34.748 -5.163 -2.896
(STRAIN) 2.102E-04 2.170E-04 -1.023E-04 -1.023E-04
1 54.50100 0.01828 33.904 34.924 1.944 3.498
(STRAIN) 2.066E-04 2.165E-04 -1.023E-04 -1.023E-04
2 0.00000 0.03292 550.000 519.614 346.871 469.046
(STRAIN) 7.628E-07 2.128E-04 7.630E-07 1.507E-04

```

2	19.49900	0.02999	104.121	104.136	-303.579	-170.347
	(STRAIN)		2.250E-04	2.250E-04	-2.337E-04	-2.337E-04
2	19.50100	0.02998	104.107	104.162	5.789	27.156
	(STRAIN)		4.545E-04	4.549E-04	-2.337E-04	-2.337E-04
2	54.49900	0.01888	36.347	36.480	-5.547	-3.234
	(STRAIN)		2.275E-04	2.285E-04	-1.077E-04	-1.077E-04
2	54.50100	0.01887	36.345	36.507	2.024	3.886
	(STRAIN)		2.241E-04	2.257E-04	-1.077E-04	-1.077E-04
3	0.00000	0.03219	0.000	439.869	252.729	383.639
	(STRAIN)		-3.227E-05	1.974E-04	-3.227E-05	1.284E-04
3	19.49900	0.03002	98.435	98.435	-286.968	-127.079
	(STRAIN)		2.028E-04	2.028E-04	-2.308E-04	-2.308E-04
3	19.50100	0.03002	98.428	98.428	5.816	31.516
	(STRAIN)		4.175E-04	4.175E-04	-2.308E-04	-2.308E-04
3	54.49900	0.01899	36.800	36.800	-5.619	-3.291
	(STRAIN)		2.307E-04	2.307E-04	-1.087E-04	-1.087E-04
3	54.50100	0.01899	36.799	36.799	2.039	3.966
	(STRAIN)		2.273E-04	2.273E-04	-1.087E-04	-1.087E-04

## Lampiran 6 Keluaran Kenpave Perkerasan Alternatif 2 Pemodelan Viskoelastik

```

INPUT FILE NAME  -D:\Nidaa\KENPAVE BARU\alt2 visko coba.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -alt 2 visko

MATL = 3 FOR VISCOELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 15.5 20 15
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.4 0.4 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 19.499 19.501 54.499
54.501
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1 1.100E+06  2 1.200E+06
          3 2.000E+05  4 1.750E+05  5 1.500E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 11
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 550
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 33

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1  0.000  0.000  2  0.000 10.000
          3  0.000 16.500

DURATION OF MOVING LOAD (DUR) = 0.1
NUMBER OF VISCOELASTIC LAYER (NVL)          = 2
LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) = 1 2
CREEP TIMES (TYME) ARE: 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3 1 3 10 30 100

FOR LAYER 1 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:
  7.576E-10 2.269E-09 7.541E-09 2.244E-08 7.266E-08 2.010E-07 5.139E-07
  8.344E-07 9.089E-07 9.091E-07 9.091E-07

FOR LAYER 2 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:
  6.939E-10 2.080E-09 6.913E-09 2.057E-08 6.660E-08 1.843E-07 4.710E-07
  7.649E-07 8.331E-07 8.333E-07 8.333E-07

```

LAYER NO. 1 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:  
 2.920E-08 -7.716E-08 9.706E-08 -8.978E-07 -1.041E-07 5.108E-08 9.039E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:  
 1.878E-09 1.808E-09 5.386E-09 2.486E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.289E-07  
 8.283E-07 9.022E-07 9.175E-07 9.057E-07

LAYER NO. 2 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:  
 2.675E-08 -7.069E-08 8.892E-08 -8.230E-07 -9.536E-08 4.680E-08 8.285E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:  
 1.721E-09 1.658E-09 4.938E-09 2.278E-08 6.632E-08 1.771E-07 4.848E-07  
 7.593E-07 8.270E-07 8.410E-07 8.302E-07

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1 25 2 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:  
 1.878E-09 1.808E-09 5.386E-09 2.486E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.289E-07  
 8.283E-07 9.022E-07 9.175E-07 9.057E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:  
 1.721E-09 1.658E-09 4.938E-09 2.278E-08 6.632E-08 1.771E-07 4.848E-07  
 7.593E-07 8.270E-07 8.410E-07 8.302E-07

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

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	0.01017	550.000	977.411	118.542	951.271
	(STRAIN)		-8.265E-06	1.091E-05	-8.265E-06	1.011E-05
1	19.49900	0.01024	12.449	12.451	-1374.401	-1213.147
	(STRAIN)		1.448E-05	1.448E-05	-1.487E-05	-1.487E-05
1	19.50100	0.01024	12.450	12.590	3.678	4.043
	(STRAIN)		4.652E-05	4.751E-05	-1.488E-05	-1.488E-05
1	54.49900	0.00874	7.814	7.867	0.631	0.777
	(STRAIN)		4.131E-05	4.174E-05	-1.615E-05	-1.615E-05
1	54.50100	0.00874	7.813	7.880	2.123	2.221
	(STRAIN)		3.886E-05	3.951E-05	-1.615E-05	-1.615E-05
2	0.00000	0.01025	550.000	1019.979	117.195	993.675
	(STRAIN)		-9.419E-06	1.043E-05	-9.419E-06	9.948E-06
2	19.49900	0.01037	12.602	12.602	-1385.776	-1164.698
	(STRAIN)		1.417E-05	1.417E-05	-1.532E-05	-1.532E-05
2	19.50100	0.01037	12.602	12.611	3.767	4.466
	(STRAIN)		4.652E-05	4.659E-05	-1.532E-05	-1.532E-05
2	54.49900	0.00882	8.015	8.023	0.625	0.754
	(STRAIN)		4.263E-05	4.270E-05	-1.649E-05	-1.649E-05
2	54.50100	0.00882	8.015	8.025	2.153	2.256
	(STRAIN)		4.017E-05	4.028E-05	-1.649E-05	-1.649E-05
3	0.00000	0.01034	0.000	1052.683	113.688	1016.554
	(STRAIN)		-9.760E-06	1.114E-05	-9.760E-06	1.013E-05
3	19.49900	0.01041	12.524	12.524	-1367.227	-1115.326
	(STRAIN)		1.374E-05	1.374E-05	-1.529E-05	-1.529E-05
3	19.50100	0.01041	12.523	12.523	3.791	4.602
	(STRAIN)		4.583E-05	4.583E-05	-1.530E-05	-1.530E-05
3	54.49900	0.00886	8.062	8.062	0.634	0.760
	(STRAIN)		4.288E-05	4.288E-05	-1.654E-05	-1.654E-05
3	54.50100	0.00886	8.062	8.062	2.170	2.275
	(STRAIN)		4.041E-05	4.041E-05	-1.654E-05	-1.654E-05