

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KERUSAKAN JALAN
DAN KINERJA JALAN MENGGUNAKAN PROGRAM
KENPAVE DENGAN PERMODELAN ELASTIK DAN
VISKOELASTIK PADA RUAS JALAN KLANGON-
TEMPEL YOGYAKARTA
(*ROAD DAMAGE EVALUATION
AND ROAD PERFORMANCE USING THE KENPAVE
PROGRAM WITH ELASTIC AND VISCOELASTIC
MODELING ON ROAD SECTIONS
KLANGON-TEMPEL YOGYAKARTA*)**

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



**Fiki Panjago
20511146**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

EVALUASI KERUSAKAN JALAN DAN KINERJA JALAN MENGUNAKAN PROGRAM KENPAVE DENGAN PERMODELAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK PADA RUAS JALAN KLANGON - TEMPEL YOGYAKARTA (ROAD DAMAGE EVALUATION AND ROAD PERFORMANCE USING THE KENPAVE PROGRAM WITH ELASTIC AND VISCOELASTIC MODELING ON ROAD SECTIONS KLANGON – TEMPEL YOGYAKARTA)

Disusun oleh

Fiki Panjago
20511146

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

Diuji pada tanggal 4 September 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

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

Penguji I

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

Penguji II

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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

9/9/2024

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 9 September 2024

Yang Membuat Pernyataan



Fiki Panjago
(20 511 146)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya lah sehingga Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi Kerusakan Jalan Dan Kinerja Jalan Dengan Permodelan Elastik Dan Viskoelastik Pada Ruas Jalan Klangon – Tempel Yogyakarta ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak hambatan, namun berkat saran, kritik, doa serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membantu dengan memberikan bimbingan, kritik dan saran selama pelaksanaan Tugas Akhir ini,
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan dan bimbingan serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
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. Orangtua penulis, Bapak Casmono dan Ibu Kusmini yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Kakek dan Nenek penulis, Mbah Wastam Suganda dan Ibu Sarwen yang telah memberikan dukungan, doa dan motivasi serta senantiasa menjadi panutan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
6. Putri Anjani Mershanda, terimakasih atas waktu, dukungan, semangat dan doa serta nasehat-nasehat membangun yang diberikan kepada penulis selama menyusun Tugas Akhir ini,

7. Muhamad Maulana Yusup Arifzi, terimakasih atas saran serta nasehat-nasehat membangun yang diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan dan selama menyusun Tugas Akhir ini,
8. Hasna Rakhmatika Nurul Azmi dan Dede Kurniawan, terimakasih atas semua saran dan masukan-masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
9. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf serta mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 9 September 2024
Penulis

Fiki panjago
(20511146)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Program KENPAVE	6
2.2 Evaluasi Kinerja Jalan Menggunakan Program KENPAVE	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Perkerasan Lentur	12
3.1.1 Lapisan Permukaan (<i>Surface Course</i>)	13
3.1.2 Lapisan Pondasi Atas (<i>Base Course</i>)	14
3.1.3 Lapisan Pondasi Bawah (<i>Subbase Course</i>)	14
3.2 Metode Mekanistik-Empiris	14
3.3 Teori <i>Multi-Layered System</i>	16

3.4	Karakteristik Material	18
3.4.1	Material Viskoelastik	18
3.4.2	Material Elastik	19
3.5	Program KENPAVE	19
3.5.1	Program KENLAYER	22
3.6	Evaluasi Kerusakan dan Kinerja Perkerasan Lentur	29
3.6.1	Kerusakan Perkerasan Lentur	29
3.6.2	Kinerja Perkerasan Lentur	31
3.7	Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017	31
3.7.1	Umur Rencana	31
3.7.2	Lalu Lintas	32
3.7.3	Faktor Distribusi Lajur	33
3.7.4	Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>)	34
3.7.5	Beban Sumbu Kumulatif Standar	38
3.7.6	Desain Perkerasan	38
BAB IV METODE PENELITIAN		42
4.1	Metode Penelitian	42
4.2	Pengumpulan Data	42
4.3	Lokasi Penelitian	43
4.4	Prosedur Perancangan	43
4.4.1	Tahapan Penelitian	43
4.4.2	Prosedur Metode KENPAVE Permodelan Elastik	45
4.4.3	Prosedur Metode KENPAVE Permodelan Viskoelastik	46
4.4.4	Prosedur Desain Perkerasan Lentur Alternatif Metode Bina Marga 2017	48
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		50
5.1	Data Penelitian	50
5.1.1	Data Karakteristik Jalan	50
5.1.2	Data Lalu Lintas	50
5.1.3	Data Tebal Perkerasan Eksisting	51
5.2	Evaluasi Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program KENPAVE	51

5.2.1	Evaluasi Perkerasan Eksisting Menggunakan Permodelan Elastik	51
5.2.2	Evaluasi Perkerasan Eksisting Menggunakan Permodelan Viskoelastik	64
5.3	Evaluasi Perkerasan Lentrur Alternatif Menggunakan Program KENPAVE	84
5.3.1	Desain Perkerasan Lentur Alternatif Metode Bina Marga 2017	84
5.3.2	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 Permodelan Elastik	92
5.3.3	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 Permodelan Elastik	103
5.3.4	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 Permodelan Viskoelastik	114
5.3.5	Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 Permodelan Viskoelastik	131
5.4	Pembahasan	148
5.4.1	Nilai Tegangan dan Regangan Perkerasan Eksisting	149
5.4.2	Umur Masa Pelayanan Perkerasan Eksisting	150
5.4.3	Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Eksisting Permodelan Elastik dan Viskoelastik	152
5.4.4	Desain Perkerasan Lentur Alternatif Metode Bina Marga 2017	154
5.4.5	Nilai Tegangan dan Regangan Perkerasan Alternatif	155
5.4.6	Umur Masa Pelayanan Perkerasan Alternatif	157
5.4.7	Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif Permodelan Elastik dan Viskoelastik	159
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		162
6.1	Kesimpulan	162
6.2	Saran	163
DAFTAR PUSTAKA		164
LAMPIRAN		167

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1	Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Bahan Perkerasan	21
Tabel 3.2	Nilai <i>Poisson Ratio</i>	21
Tabel 3.4	Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	32
Tabel 3.5	Faktor Distribusi Lajur (DL)	34
Tabel 3.6	Nilai <i>VDF</i> masing-masing Kendaraan Niaga	36
Tabel 3.7	Nilai <i>VDF</i> Standar	37
Tabel 3.8	Ketentuan Pemilihan Jenis Perkerasan	39
Tabel 3.9	Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan <i>CTB</i>	40
Tabel 3.10	Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir	41
Tabel 5.1	Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan Klangon-Tempel	50
Tabel 5.2	Parameter Lapisan Perkerasan	52
Tabel 5.3	Data Input Pada Menu <i>General</i>	53
Tabel 5.4	Detail Data Untuk Input <i>Zcoord</i>	55
Tabel 5.5	Parameter Perkerasan Untuk Input <i>Layer</i>	56
Tabel 5.6	Nilai Input <i>Moduli</i>	57
Tabel 5.7	Koordinat Input <i>NPT</i>	59
Tabel 5.8	Hasil Analisis Program KENPAVE Pemodelan Elastik	60
Tabel 5.9	Rekapitulasi <i>Output</i> Program KENPAVE Permodelan Elastik	61
Tabel 5.10	Hasil Analisis Perkerasan Lentur Eksisting Pemodelan Elastik	63
Tabel 5.11	Parameter Lapisan Perkerasan	65
Tabel 5.12	Nilai <i>Creep Compliances</i>	66
Tabel 5.13	Data Input Pada Menu <i>General</i>	67
Tabel 5.14	Detail Data Untuk Input <i>Zcoord</i>	69
Tabel 5.15	Parameter Perkerasan Untuk <i>Input Layer</i>	70
Tabel 5.16	Nilai <i>Input Moduli</i>	71
Tabel 5.17	Koordinat Input <i>NPT</i>	73
Tabel 5.18	<i>Time of Durations for Creep Compliances</i>	75

Tabel 5.19 Hasil Analisis KENPAVE Permodelan Viskoelastik	79
Tabel 5.20 Rekapitulasi Output Program KENPAVE Permodelan Viskoelastik	80
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Eksisting Permodelan Viskoelastik	83
Tabel 5.22 Data LHR Untuk Perhitungan Pertumbuhan Lalulintas	84
Tabel 5.23 Nilai <i>VDF (Vehicle Damage Factor)</i> Untuk Perhitungan <i>ESAL</i>	86
Tabel 5.24 Rekapitulasi Perhitungan Nilai <i>ESAL</i>	88
Tabel 5.25 Pemilihan Tipe Perkerasan	89
Tabel 5.26 Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir	90
Tabel 5.27 Desain Perkerasan Lentur <i>AC</i> Dengan <i>CTB</i>	91
Tabel 5.28 Parameter Lapisan Perkerasan	92
Tabel 5.29 Data Input Pada Menu <i>General</i>	94
Tabel 5.30 Detail Data Untuk Input <i>Zcoord</i>	95
Tabel 5.31 Parameter Perkerasan Untuk Input <i>Layer</i>	96
Tabel 5.32 Nilai <i>Input Moduli</i>	97
Tabel 5.33 Koordinat Input <i>NPT</i>	98
Tabel 5.34 Hasil Analisis KENPAVE dengan Permodelan Elastik	99
Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Alternatif 1 Permodelan Elastik	102
Tabel 5.36 Parameter Lapisan Perkerasan	103
Tabel 5.37 Data Input Pada Menu <i>General</i>	104
Tabel 5.38 Detail Data Untuk Input <i>Zcoord</i>	106
Tabel 5.39 Parameter Perkerasan Untuk Input <i>Layer</i>	107
Tabel 5.40 Nilai <i>Input Moduli</i>	108
Tabel 5.41 Koordinat Input <i>NPT</i>	109
Tabel 5.42 Hasil Analisis KENPAVE dengan Permodelan Elastik	110
Tabel 5.43 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Alternatif 2	113
Tabel 5.44 Parameter Lapisan Perkerasan	114
Tabel 5.45 Nilai <i>Creep Compliances</i>	115
Tabel 5.46 Data Input Pada Menu <i>General</i>	116
Tabel 5.47 Detail Data Untuk Input <i>Zcoord</i>	118

Tabel 5.48	Parameter Perkerasan Untuk Input <i>Layer</i>	119
Tabel 5.49	Nilai <i>Input Moduli</i>	120
Tabel 5.50	Koordinat Input <i>NPT</i>	122
Tabel 5.51	<i>Time of Durations for Creep Compliances</i>	123
Tabel 5.52	Hasil Analisis KENPAVE Permodelan Viskoelastik	127
Tabel 5.53	Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Alternatif 1 Permodelan Viskoelastik	130
Tabel 5.54	Parameter Lapisan Perkerasan	131
Tabel 5.55	Nilai <i>Creep Compliances</i>	132
Tabel 5.56	Data Input Pada <i>Menu General</i>	133
Tabel 5.57	Detail Data Untuk Input <i>Zcoord</i>	135
Tabel 5.58	Parameter Perkerasan Untuk Input <i>Layer</i>	136
Tabel 5.59	Nilai Input <i>Moduli</i>	137
Tabel 5.60	Koordinat Input <i>NPT</i>	139
Tabel 5.61	<i>Time of Durations for Creep Compliances</i>	141
Tabel 5.62	Hasil Analisis KENPAVE Permodelan Viskoelastik	145
Tabel 5.63	Hasil Analisis Perkerasan Alternatif 2 Permodelan Viskoelastik	147
Tabel 5.64	Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Eksisting	153
Tabel 5.65	Hasil Analisis KENPAVE Pada Perkerasan Alternatif 1	156
Tabel 5.66	Hasil Analisis KENPAVE Pada Perkerasan Alternatif 2	157
Tabel 5.67	Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif 1	159
Tabel 5.68	Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif 2	159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan Jalan	12
Gambar 3.2	<i>Elastic Multilayer System</i>	17
Gambar 3.3	Menu Tampilan Program KENPAVE	20
Gambar 3.4	Tampilan Menu LAYERINP	23
Gambar 3.5	Tampilan Menu <i>General</i>	24
Gambar 3.6	Tampilan Menu <i>Zcoord</i>	26
Gambar 3.7	Tampilan Menu <i>Layer</i>	26
Gambar 3.8	Tampilan Menu <i>Interface</i>	27
Gambar 3.9	Tampilan Menu <i>Moduli</i>	28
Gambar 3.10	Tampilan Menu <i>Load</i>	28
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian Ruas Jalan Klangon – Tempel Yogyakarta	43
Gambar 4.2	Bagan Alir Tahapan Penelitian	44
Gambar 4.3	Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program KENPAVE Permodelan Elastik	45
Gambar 4.4	Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program KENPAVE Permodelan Viskoelastik	48
Gambar 4.5	Bagan Alir Prosedur Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017	49
Gambar 5.1	Tampilan Menu <i>Layerinp</i>	53
Gambar 5.2	Tampilan Input Data Pada Menu <i>General</i>	54
Gambar 5.3	Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan	55
Gambar 5.4	Tampilan Menu Input Data <i>Zcoord</i>	55
Gambar 5.5	Tampilan Menu Input Data Layer Program KENPAVE	56
Gambar 5.6	Tampilan Menu Input <i>Moduli</i>	57
Gambar 5.7	<i>Plan View of Multiple Wheels</i>	58
Gambar 5.8	Koordinat NPT	58
Gambar 5.9	Tampilan Menu Input Data <i>Load</i>	59

Gambar 5.10 Tampilan Menu <i>Layernip</i>	67
Gambar 5.11 Tampilan Input Data Pada Menu <i>General</i>	68
Gambar 5.12 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan	69
Gambar 5.13 Tampilan Menu Input Data <i>Zcoord</i>	70
Gambar 5.14 Tampilan Menu Input Data Layer Program KENPAVE	71
Gambar 5.15 Tampilan Menu Input <i>Moduli</i>	72
Gambar 5.16 <i>Plan View of Multiple Wheels</i>	73
Gambar 5.17 Koordinat NPT	73
Gambar 5.18 Tampilan Menu Input Data <i>Load</i>	74
Gambar 5.19 Tampilan Menu Input <i>General</i>	75
Gambar 5.20 Tampilan Menu Input <i>Time</i>	76
Gambar 5.21 Tampilan Menu Input <i>Viscoelastic Layer</i>	76
Gambar 5.22 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 1</i>	77
Gambar 5.23 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 2</i>	78
Gambar 5.24 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 3</i>	78
Gambar 5.25 Tebal Perkerasan Alternatif 1	90
Gambar 5.26 Tebal Perkerasan Alternatif 2	91
Gambar 5.27 Tampilan Menu <i>Layernip</i>	93
Gambar 5.28 Tampilan Input Data Pada Menu <i>General</i>	94
Gambar 5.29 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan	95
Gambar 5.30 Tampilan Menu Input Data <i>Zcoord</i>	96
Gambar 5.31 Tampilan Menu Input Data Layer Program KENPAVE	97
Gambar 5.32 Tampilan Menu Input <i>Moduli</i>	98
Gambar 5.33 Tampilan Menu Input Data <i>Load</i>	99
Gambar 5.34 Tampilan Menu <i>Layernip</i>	104
Gambar 5.35 Tampilan Input Data Pada Menu <i>General</i>	105
Gambar 5.36 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan	106
Gambar 5.37 Tampilan Menu Input Data <i>Zcoord</i>	107
Gambar 5.38 Tampilan Menu Input Data Layer Program KENPAVE	108
Gambar 5.39 Tampilan Menu Input <i>Moduli</i>	109
Gambar 5.40 Tampilan Menu Input Data <i>Load</i>	110

Gambar 5.41 Tampilan Menu Layernip	116
Gambar 5.42 Tampilan Input Data Pada Menu <i>General</i>	117
Gambar 5.43 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan	118
Gambar 5.44 Tampilan Menu Input Data <i>Zcoord</i>	118
Gambar 5.45 Tampilan Menu Input Data Layer Program KENPAVE	119
Gambar 5.46 Tampilan Menu Input <i>Moduli</i>	120
Gambar 5.47 <i>Plan View of Multiple Wheels</i>	121
Gambar 5.48 Koordinat NPT	122
Gambar 5.49 Tampilan Menu Input Data <i>Load</i>	122
Gambar 5.50 Tampilan Menu Input <i>General</i>	123
Gambar 5.51 Tampilan Menu Input Time	124
Gambar 5.52 Tampilan Menu Input <i>Viscoelastic Layer</i>	125
Gambar 5.53 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 1</i>	126
Gambar 5.54 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 2</i>	126
Gambar 5.55 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 3</i>	127
Gambar 5.56 Tampilan Menu Layernip	133
Gambar 5.57 Tampilan Input Data Pada Menu <i>General</i>	134
Gambar 5.58 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan	135
Gambar 5.59 Tampilan Menu Input Data <i>Zcoord</i>	136
Gambar 5.60 Tampilan Menu Input Data Layer Program KENPAVE	137
Gambar 5.61 Tampilan Menu Input <i>Moduli</i>	138
Gambar 5.62 <i>Plan View of Multiple Wheels</i>	139
Gambar 5.63 Koordinat NPT	139
Gambar 5.64 Tampilan Menu Input Data <i>Load</i>	140
Gambar 5.65 Tampilan Menu Input <i>General</i>	140
Gambar 5.66 Tampilan Menu Input Time	141
Gambar 5.67 Tampilan Menu Input <i>Viscoelastic Layer</i>	142
Gambar 5.68 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 1</i>	143
Gambar 5.69 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 2</i>	143
Gambar 5.70 Tampilan Menu Input <i>Creep Compliance Layer 3</i>	144
Gambar 5.71 Posisi Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Eksisting	150

Gambar 5.72 Desain Perkerasan Alternatif 1	155
Gambar 5.73 Desain Perkerasan Alternatif 2	155
Gambar 5.74 Titik Tinjau Kerusakan Pada Perkerasan Alternatif 1	155
Gambar 5.75 Titik Tinjau Kerusakan Pada Perkerasan Alternatif 2	156

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Output KENPAVE Perkerasan Eksisting Permodelan Elastik	169
Lampiran 2	Output KENPAVE Perkerasan Eksisting Permodelan Viskoelastik	171
Lampiran 3	Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 1 Permodelan Elastik	175
Lampiran 4	Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 1 Permodelan Viskoelastik	177
Lampiran 5	Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 2 Permodelan Elastik	181
Lampiran 6	Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 2 Permodelan Viskoelastik	183

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>DD</i>	= Faktor Distribusi Arah
<i>E</i>	= Modulus Elastisitas
<i>ESAL</i>	= <i>Equivalent Standar Axle Load</i>
<i>F4,f5</i>	= Koefisien Kriteria Kerusakan Deformasi Permanen
<i>i</i>	= Faktor Pertumbuhan Lalulintas
<i>kpa</i>	= Kilo Pascal
<i>LHR</i>	= Lalu Lintas Harian Rerata
<i>LPA</i>	= Lapisan 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>R</i>	= Faktor Penggali Pertumbuhan Lalulintas
<i>UR</i>	= Umur Rencana
<i>VDF</i>	= <i>Vehicle Damage Factor</i>

ε	=	Regangan
σ	=	Tegangan
μ	=	<i>Poisson Rattio</i>

ABSTRAK

Ruas Jalan Klangon – Tempel STA 2+000 – STA 3+800 merupakan salah satu jalan provinsi yang berada di Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Mayoritas kendaraan yang melewati jalan tersebut adalah kendaraan berat yang datang dari arah Semarang menuju Yogyakarta. Selain itu, jalur ini banyak dilewati oleh kendaraan berat proyek dikarenakan adanya pembangunan tol Jogja – Bawen. Kondisi beban lalu lintas yang tinggi tersebut tidak diimbangi dengan kualitas jalan yang baik, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur perkerasan jalan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi perkerasan jalan serta memberikan alternatif desain perkerasan jalan yang memiliki kinerja perkerasan yang cukup atau mampu menahan beban lalu lintas dengan baik.

Dalam mengevaluasi perkerasan lentur Ruas Jalan Klangon-Tempel ini menggunakan data yang direkap dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta (PUPSDM DIY). Pada penelitian ini evaluasi perkerasan jalan dilakukan dengan menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik. Sedangkan untuk desain alternatif perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana 10 tahun sehingga memerlukan desain alternatif. Diperoleh dua alternatif desain tebal perkerasan berdasarkan metode Bina Marga 2017 yaitu desain perkerasan aspal dengan lapis pondasi berbutir dan CTB. Pada perkerasan eksisting terlihat perbedaan hasil dimana permodelan elastik memiliki umur pelayanan jalan yang lebih lama dibandingkan permodelan viskoelastik. Dengan kerusakan yang pertama kali terjadi adalah *permanent deformation*, disusul kerusakan *rutting* dan terakhir kerusakan *fatigue cracking*. Sementara pada perkerasan alternatif menunjukkan perkerasan mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana dengan baik. Terlihat bahwa hasil analisis pada perkerasan alternatif 1 maupun perkerasan alternatif 2 menunjukkan permodelan elastik memiliki kinerja perkerasan yang lebih baik dibanding dengan permodelan viskoelastik. Hal ini ditunjukkan dengan analisis perkerasan dengan permodelan elastik memiliki umur pelayanan yang lebih lama dalam menahan kerusakan selama umur rencana dibandingkan dengan analisis permodelan viskoelastik. Dengan kerusakan yang pertama kali terjadi adalah *permanent deformation*, disusul kerusakan *rutting* dan terakhir kerusakan *fatigue cracking*.

Kata Kunci : Kerusakan Jalan, Mekanistik-Empiris, Program KENPAVE, Elastik, Viskoelastik, Bina Marga 2017

ABSTRACT

Klangon - Tempel Road STA 2+000 – STA 3+800 is one of the provincial roads located in Sleman Regency, Yogyakarta Special Region Province. The majority of vehicles passing through the road are heavy vehicles coming from Semarang to Yogyakarta. In addition, this route is heavily used by heavy project vehicles due to the construction of the Jogja - Bawen toll road. The high traffic load conditions are not matched by good road quality, causing damage to the pavement structure. Therefore, this research was conducted to determine the condition of the pavement and provide alternative pavement designs that have sufficient pavement performance or are able to withstand traffic loads properly.

In evaluating the flexible pavement of the Klangon-Tempel Road Section, we used data recapitulated from Dinas Pekerjaan Umum Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta (PUPSDM DIY). In this research, pavement evaluation was carried out using the mechanistic-empirical method of the KENPAVE program with elastic and viscoelastic modeling. Meanwhile, the alternative pavement design used the Bina Marga 2017 method.

The results of this study show that the existing pavement is not able to withstand traffic loads during the 10-year plan life so it requires an alternative design. Two alternative pavement thickness designs based on Bina Marga 2017 method were obtained, namely asphalt pavement design with graded foundation layer and CTB. On the existing pavement, there are differences in results where elastic modeling has a longer road service life than viscoelastic modeling. With damage that first occurs is permanent deformation, followed by rutting damage and finally fatigue cracking damage. While the alternative pavement shows that the pavement is able to withstand the traffic load during the planned life well. It can be seen that the analysis results on alternative pavement 1 and alternative pavement 2 show that elastic modeling has better pavement performance than the viscoelastic modeling. This is indicated by the analysis of pavement with elastic modeling has a longer service life in resisting damage during the life of the plan compared to the analysis of viscoelastic modeling. With damage that first occurs is permanent deformation, followed by rutting damage and finally fatigue cracking damage.

Keywords : *Road Damage, Mechanistic-Empirical, KENPAVE Program, Elastic, Viscoelastic, Bina Marga 2017*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Jalan raya merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang berperan penting bagi kehidupan manusia dalam menjalankan aktifitas sehari-hari, karena jalan raya dirancang khusus untuk memfasilitasi pergerakan manusia. Dengan adanya jalan raya berbagai daerah bisa saling terhubung satu sama lain sehingga mendukung dalam pembangunan suatu wilayah. Oleh sebab itu jalan yang baik dan efisien memungkinkan mobilitas yang lancar bagi penduduk, menghubungkan pusat-pusat ekonomi, akses bagi pariwisata serta mendukung distribusi barang dan jasa. Seiring berjalannya waktu, perkerasan jalan akan mengalami penurunan kondisi berupa munculnya kerusakan yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang diterima secara terus menerus oleh perkerasan jalan sehingga kinerja jalan menjadi tidak efisien. Berdasarkan hal tersebut maka dibutuhkan evaluasi perkerasan jalan untuk membantu dalam menyediakan perkerasan jalan yang baik dan efisien.

Dalam melakukan evaluasi perkerasan jalan terdapat salah satu metode yang dapat digunakan yaitu metode mekanistik-empiris. Metode ini merupakan pengembangan dari metode empiris. Menurut Tolab dkk (2022), metode empiris merupakan suatu metode yang diformulasikan berdasarkan hubungan statistik dengan menghubungkan antara kerusakan jalan dengan desain jalan. Sedangkan metode mekanistik-empiris didasarkan pada sifat suatu material dan kaidah teoritis yang diperkuat dengan adanya respon struktur dari suatu perkerasan jalan, dengan menggunakan metode mekanistik-empiris maka jenis kerusakan jalan dapat diprediksi dan nantinya dapat ditindaklanjuti dengan proses *redesain* ataupun tindakan-tindakan perantisipasian lainnya. Analisis perkerasan menggunakan metode mekanistik-empiris dapat dilakukan dengan program KENPAVE.

Program KENPAVE dikembangkan oleh Prof. Dr. Yang H. Huang, P. E yang mana keluarannya berupa nilai regangan dan nilai tegangan suatu desain perkerasan

yang nantinya akan dianalisis lanjut untuk mengetahui prediksi kerusakan berupa *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* sesuai umur masa layanannya (Hadi & Fauziah, 2022). Menurut Hakim dan Kushari (2019), program KENPAVE merupakan model matematik yang relatif simpel untuk memodelkan struktur perkerasan. Dalam penelitian Pambudi dan Fauziah (2021), menyebutkan bahwa program KENPAVE memudahkan perhitungan nilai tegangan, regangan, dan lendutan di berbagai titik struktur perkerasan jalan yang digunakan untuk menganalisis kerusakan jalan. Penelitian lainnya tentang penggunaan program KENPAVE dilakukan oleh Harsvardan dan Tajudin (2021), menyebutkan bahwa Program KENPAVE memiliki kemampuan dalam menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan lebih cepat dan lebih mudah, karna cukup dilakukan dengan memasukkan data-data yang dibutuhkan berupa sifat karakteristik perkerasan dan material seperti modulus, *poisson ratio* setiap lapisan, beban roda, tekanan ban, dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang diperlukan untuk kita dapatkan. Lebih lanjut Suwanda dan Kushari (2019), dalam penelitiannya tentang perbandingan desain struktur perkerasan lentur di ruas Jalan Tempel-Pakem Yogyakarta menyebutkan bahwa analisis perkerasan lentur dengan menggunakan program KENPAVE dapat memberikan hasil berupa prediksi kerusakan pada setiap lapisan perkerasan jalan sehingga perencanaan perkerasan jalan dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam alternatif yang aman dan efisien. Dalam melakukan analisis dengan menggunakan program KENPAVE terdapat pemodelan kondisi material yaitu kondisi viskoelastik dan kondisi elastik linear.

Menurut Hadi dan Fauziah (2020) dalam penelitiannya tentang penggunaan program KENPAVE menggunakan pemodelan viskoelastik dan elastik, Menyatakan bahwa pemodelan viskoelastik digunakan untuk menganalisis layer aspal dengan menerapkan sifat viskoelastik dimana waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Solusi dari layer viskoelastik ini diperoleh melalui prinsip koresponden elastik – viskoelastik dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu. Sedangkan pemodelan elastik digunakan untuk menganalisis layer secara linear elastik dengan menghitung tegangan, regangan dan defleksi di struktur perkerasan yang permukaannya telah

dibebani. Permodelan linear elastik ini menganggap bahwa setiap layer struktur perkerasan homogen, isotropis, dan elastis secara linear.

Berdasarkan uraian tersebut, KENPAVE telah banyak digunakan dalam menganalisis perkerasan jalan pada penelitian sebelumnya dikarenakan dengan menggunakan program KENPAVE didapatkan keuntungan yaitu dapat digunakan untuk banyak lapisan sedangkan dengan menggunakan metode perhitungan manual untuk beberapa lapisan sangat rumit dan menghabiskan waktu. Sehingga dalam penelitian ini juga akan digunakan program KENPAVE untuk mengevaluasi kerusakan dan kinerja jalan dengan permodelan elastik dan viskoelastik pada Ruas Jalan Klangon – Tempel Yogyakarta.

Ruas Jalan Klangon – Tempel merupakan jalan provinsi yang memiliki volume kendaraan yang cukup tinggi. Dimana mayoritas kendaraan yang melewati jalan tersebut adalah kendaraan berat yang datang dari arah Semarang menuju Yogyakarta. Selain itu, jalur ini banyak dilewati oleh kendaraan berat proyek dikarenakan adanya pembangunan tol Jogja – Bawen. Tingginya beban lalu lintas pada jalan tersebut tidak diimbangi dengan kondisi jalan yang baik, sehingga terjadi kerusakan pada struktur perkerasan jalan tersebut. Kerusakan ini tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan bagi mereka yang menggunakan jalan, tetapi juga dapat menyebabkan kerugian seperti peningkatan waktu perjalanan, kemacetan lalu lintas, risiko kecelakaan, dan dampak negatif lainnya.

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan lentur menggunakan metode mekanistik – empiris program KENPAVE dengan permodelan viskoelastik dan elastik. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membantu dalam menyediakan perkerasan jalan yang baik dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini berdasarkan uraian latar belakang diatas adalah sebagai berikut.

1. Berapa lama prediksi umur pelayanan jalan dalam menahan beban gandar maksimum pada Ruas Jalan Klangon-Tempel Yogyakarta sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* berdasarkan

metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik?

2. Bagaimana perbandingan hasil evaluasi kerusakan jalan dan kinerja jalan pada perkerasan eksisting antara permodelan elastik dan viskoelastik menggunakan program KENPAVE?
3. Bagaimana alternatif desain tebal lapis perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017 yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana?
4. Bagaimana perbandingan hasil evaluasi perkerasan lentur alternatif antara permodelan elastik dan viskoelastik menggunakan program KENPAVE?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui prediksi umur pelayanan jalan dalam menahan beban gandar maksimum pada Ruas Jalan Klangon-Tempel Yogyakarta sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* berdasarkan metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik.
2. Mengetahui perbandingan hasil evaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan lentur antara permodelan elastik dan viskoelastik berdasarkan metode mekanistik-empiris program KENPAVE.
3. Mengusulkan desain alternatif lapis perkerasan lentur Ruas Jalan Klangon – Tempel Yogyakarta berdasarkan hasil evaluasi perkerasan eksisting menggunakan metode Bina Marga 2017.
4. Mengetahui perbandingan hasil evaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan lentur alternatif dengan permodelan elastik dan viskoelastik berdasarkan metode mekanistik-empiris program KENPAVE.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pembaca dalam melakukan perencanaan pemeliharaan jalan.

2. Memberikan referensi atau masukan untuk para perencana atau instansi terkait dalam mengambil keputusan untuk menangani, meningkatkan, maupun memelihara kondisi jalan tersebut.
3. Memberikan alternatif desain tebal perkerasan lentur yang bisa menjadi opsi untuk digunakan pada jalan tersebut.
4. Memberikan pengetahuan atau wawasan mengenai perhitungan evaluasi perkerasan jalan menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai acuan untuk memperjelas dan mempermudah dalam melakukan analisis yang telah dirumuskan sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian yang diteliti adalah Ruas Jalan Klangon – Tempel STA 2+000 – STA 3+800 Kabupaten Sleman Yogyakarta.
2. Data yang digunakan untuk analisis merupakan data yang didapatkan dari Dinas PUP-ESDM bidang Bina Marga tanpa melakukan pengukuran langsung dilapangan.
3. Perhitungan dalam mencari respon tegangan dan regangan perkerasan lentur untuk analisis kerusakan dan kinerja perkerasan menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan pemodelan Elastik dan Viskoelastik.
4. Evaluasi kinerja perkerasan lentur atau penentuan umur rencana pelayanan jalan dalam menahan setiap kerusakan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017.
5. Perhitungan dalam desain tebal perkerasan alternatif menggunakan metode Bina Marga 2017 dan tidak mempertimbangkan nilai CBR.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Program KENPAVE

Program KENPAVE merupakan sebuah aplikasi yang mempermudah dalam melakukan analisis perkerasan jalan dengan metode mekanistik-empiris. Hasil analisis menggunakan metode ini sangat bergantung pada data yang di input saat analisis dilakukan. Output dari program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan dari struktur perkerasan. Nilai tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menentukan atau memprediksi masa pelayanan jalan dalam menahan kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* berdasarkan prediksi CESA (*Cummulative Equivalent Standar Axle*) atau jumlah kumulatif lintasan kendaraan standar yang diprediksi akan melalui perkerasan tersebut. Dalam melakukan analisis menggunakan program KENPAVE, perkerasan dapat dimodelkan dengan dua permodelan yaitu permodelan elastik dan viskoelastik.

Salah satu kajian mengenai evaluasi kerusakan jalan menggunakan program KENPAVE dilakukan oleh Suwanda dan Kushari (2020) pada ruas Jalan Tempel-Pakem. Penelitian tersebut menunjukkan hasil analisis menggunakan program KENPAVE dengan permodelan viskoelastik kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum sebesar 11.594.650 ESAL dengan umur rencana 16 tahun, lalu disusul dengan kerusakan *rutting* dengan beban gandar maksimum 14.504.833 dengan umur rencana 19 tahun, lalu kerusakan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum sebesar 60.682.360 ESAL dengan umur rencana 45 tahun. Sementara itu, hasil analisis menggunakan permodelan elastik menunjukkan kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 14.653.797 ESAL dengan umur rencana 18 tahun, disusul kerusakan *rutting* dengan beban gandar maksimum 27.801.770 ESAL dengan umur rencana 29 tahun, dan kerusakan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum 118.861.382 ESAL

dengan umur rencana 61 tahun. Terlihat bahwa analisis dengan permodelan elastik tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun, karena terjadi kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-16 dan kerusakan *rutting* pada tahun ke-19 begitupun dengan permodelan viskoelastik juga tidak mampu menahan beban kendaraan selama masa pelayanan rencana 20 tahun, karena terjadi kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-18.

Aji dan Susilo (2023) menggunakan program KENPAVE untuk mengevaluasi perkerasan pada ruas jalan Dekso-Tempel Kabupaten Sleman. Pada penelitian tersebut disimpulkan bahwa perkerasan eksisting dengan permodelan elastik tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun dengan kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-7 dengan beban gandar maksimum 7.155.318 ESAL, disusul kerusakan *rutting* pada tahun ke-9 dengan beban gandar maksimum 10.701.309 ESAL, lalu kerusakan akhir yang terjadi yaitu *fatigue cracking* pada tahun ke-37 dengan beban gandar maksimum 93.597.483 ESAL.

Penelitian lain tentang analisis kerusakan jalan menggunakan program KENPAVE dengan pemodelan elastik dan viskoelastik dilakukan oleh Satria dan Kushari (2022) pada Ruas Jalan Milir – Sentolo. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada pemodelan elastik perkerasan lentur *eksisting* didapatkan respon tegangan dan regangan untuk kerusakan *permanent deformation* pada kedalaman 60,005 cm sebesar 0,000155 kPa dan kerusakan *fatigue cracking* pada kedalaman 29,995 sebesar 0,000114 kPa. Berdasarkan hasil tegangan dan regangan tersebut selanjutnya dilakukan analisis prediksi umur pelayanan jalan dalam menahan kerusakan. Hasil analisis menunjukkan kerusakan *fatigue cracking* akan terjadi pada tahun ke-55 dengan beban gandar maksimum sebesar 1.141.579.498 ESAL dan kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke-21 dengan beban gandar maksimum sebesar 154.797.390 ESAL Sementara untuk permodelan viskoelastik, didapatkan hasil berupa respon tegangan dan regangan pada kerusakan *permanent deformation* pada kedalaman 60,005 cm sebesar 0,000177 kPa, dan kerusakan *fatigue cracking* pada kedalaman 29,995 sebesar 0,000142 kPa. Hasil analisis prediksi umur pelayanan jalan menunjukkan bahwa kerusakan *fatigue cracking* akan

terjadi di tahun ke-39 dengan beban gandar maksimum sebesar 483.817.902,7 ESAL dan kerusakan *permanent deformation* akan terjadi di tahun ke-14 dengan beban gandar maksimum sebesar 85.478.748 ESAL. Satria dan Kushari (2022) menyimpulkan bahwa perkerasan eksisting berdasarkan hasil analisis menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun,

Penelitian mengenai evaluasi perkerasan lentur dengan menggunakan program KENPAVE juga dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2022) pada ruas Jalan Simping Pundu – Tumbang Samba. Hasil penelitian menunjukkan analisis menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan *rutting* dengan beban gandar maksimum 4.122.237 dengan umur rencana 6 tahun, disusul kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum sebesar 36.101.112 ESAL dengan umur rencana 31 tahun, lalu kerusakan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum sebesar 193.998.317 ESAL dengan umur rencana 65 tahun. Sementara itu, hasil analisis menggunakan permodelan viskoelastik menunjukkan kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan *rutting* dengan beban gandar maksimum 4.074.925 ESAL dengan umur rencana 6 tahun, disusul kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 32.499.351 ESAL dengan umur rencana 29 tahun, dan kerusakan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum 199.663.837 ESAL dengan umur rencana 66 tahun.

2.2 Evaluasi Kinerja Jalan Menggunakan Program KENPAVE

Kinerja perkerasan lentur merupakan kemampuan suatu perkerasan dalam menahan beban lalu lintas diatasnya sampai terjadi kerusakan terutama berupa kerusakan *permanent deformation*, *rutting*, dan *fatigue cracking* selama umur rencana. Salah satu penelitian tentang analisis kinerja perkerasan yaitu dilakukan oleh Hadi dan Fauziah (2022). Penelitian tersebut membahas tentang perbandingan prediksi umur pelayanan perkerasan antara campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan permodelan elastik dan viskoelastik. Pada penelitian ini dilakukan pengimplementasian kedua jenis campuran tersebut jika digunakan secara nyata

dilapangan dengan studi kasus yang digunakan adalah ruas Jalan Padjajaran, Yogyakarta. Hasil dari penelitian ini berupa prediksi umur layan dari dua jenis perkerasan dalam menahan kerusakan dan prediksi kerusakan yang terjadi diawal dan terjadi diakhir pada kurun waktu umur rencana. Analisis program KENPAVE dilakukan pada deasin perkerasan rencana, dimana berdasarkan metode Bina Marga 2017 didapatkan dua alternatif desain. Hasil penelitian ini menunjukkan perkerasan dengan menggunakan campuran *Superpave* memiliki umur pelayanan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan dengan *AC-WC*. Dimana kerusakan yang pertamakali terjadi dengan kedua permodelan elastik dan viskoelastik adalah kerusakan *permanent deformation*, disusul oleh kerusakan *rutting* dan kerusakan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking*.

Penelitian tentang evaluasi kinerja jalan menggunakan program KENPAVE juga pernah dilakukan oleh Lia dan Mahardi (2022) pada ruas Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung. Evaluasi kinerja perkerasan jalan dilakukan pada hasil desain tebal perkerasan dengan menggunakan metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan metode Bina Marga 2017. Peneliti menyimpulkan pada desain tebal perkerasan hasil dari metode Bina Marga 2017 perkerasan mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana sampai terjadi kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 6.067.479 ESAL, tetapi tidak mampu menahan kerusakan *rutting* dengan beban gandar maksimum 25.031.114 ESAL dan kerusakan *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum 32.262.613 ESAL.

Perbandingan penelitian terdahulu tentang Evaluasi Kerusakan jalan dan Kinerja Jalan Menggunakan Program Kenpave disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Program KENPAVE

Peneliti	Aji dan Susilo (2023)	Suwanda dan Kushari (2020)	Satria dan Kushari (2022)	Pambudi dan Fauziah (2022)	Lia dan Mahardi (2022)	Hadi dan Fauziah (2022)	Penelitian saat ini
Judul Penelitian	Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program Software KENPAVE	Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik Dan Elastik	Analisis Perbandingan Desain Mekanistik-Empiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik	Evaluasi Perancangan Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program KENPAVE	Analisis Perbandingan Desain Mekanistik – Empiris Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Aplikasi KENPAVE	Studi Komparasi Prediksi Umur Pelayanan Antara Campuran Superpave dan AC-WC Menggunakan Permodelan Viskoelastik dan Elastik	Evaluasi Kerusakan Jalan dan Kinerja Jalan Menggunakan Program KENPAVE Dengan Permodelan Viskoelastik Dan Elastik
Metode Penelitian	Metode Bina Marga 2017 dan Program KENPAVE	Metode Bina Marga 2013 dan Metode Bina Marga 2017 Serta Program KENPAVE Permodelan Elastik dan Viskoelastik	Metode Bina Marga 2017, Program KENPAVE Permodelan Elastik dan Viskoelastik	Metode Bina Marga 2017 dan Program KENPAVE	Metode ASSHTO 1993, Analisa Komponen, Bina Marga 2017 dan Program KENPAVE Permodelan Elastik	Bina Marga 2017, Program KENPAVE Permodelan Elastik dan Viskoelastik	Program KENPAVE dengan pemodelan elastik dan viskoelastik serta Metode Bina Marga 2017
Lokasi Penelitian	Jalan Dekso – Tempel DIY	Ruas Jalan Tempel - Pakem Yogyakarta	Ruas Jalan Milir – Sentolo	Ruas Jalan Trans Kalimantan Tengah.	Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung	Jalan Padjajaran Yogyakarta	Jalan Dekso – Tempel DIY
Hasil Penelitian	Hasil penelitian menunjukan perkerasan eksisting dengan permodelan elastik tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun dengan kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan <i>permanent</i>	Hasil penelitian menunjukan perkerasan eksisting dengan permodelan elastik dan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun dengan kerusakan awal <i>permanent deformation</i> disusul kerusakan <i>rutting</i>	Hasil penelitian menunjukan perkerasan eksisting dengan permodelan elastik dan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun dengan kerusakan awal yaitu	Hasil penelitian menyimpulkan perkerasan eksisting dengan permodelan elastik dan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana 20 tahun dengan kerusakan awal yaitu	Hasil penelitian menyimpulkan pada desain tebal perkerasan hasil dari metode Bina Marga 2017 perkerasan mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana sampai terjadi kerusakan <i>permanent</i>	Hasil penelitian ini menunjukan perkerasan dengan menggunakan campuran <i>Superpave</i> memiliki umur pelayanan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan dengan <i>AC-WC</i> . Dimana kerusakan yang pertamakali terjadi dengan kedua permodelan elastik dan	Hasil penelitian menunjukan hasil berupa perkerasan eksisting ruas jalan Klangon-Tempel Yogyakarta tidak mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana berdasarkan analisis metode mekanistik-

Sumber : Aji dan Susilo (2023), Suwanda dan Kushari (2020), Satria dan Kushari (2022), Pambudi dan Fauziah (2022), Hadi dan Fauziah (2022), Lia dan Mahardi (2022).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Program KENPAVE

Peneliti	Aji dan Susilo (2023)	Suwanda dan Kushari (2020)	Satria dan Kushari (2022)	Pambudi dan Fauziah (2022)	Lia dan Mahardi (2022)	Hadi dan Fauziah (2022)	Penelitian saat ini
Hasil Penelitian	<i>deformation</i> pada tahun ke-7 dengan beban gandar maksimum 7.155.318 ESAL, disusul kerusakan <i>rutting</i> pada tahun ke-9 dengan beban gandar maksimum 10.701.309 ESAL, lalu kerusakan akhir yang terjadi yaitu <i>fatigue cracking</i> pada tahun ke-37 dengan beban gandar maksimum 93.597.483 ESAL	dan kerusakan akhir yang terjadi adalah <i>fatigue cracking</i> . Karna perkerasan perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana maka peneliti melakukan perancangan desain tebal perkerasan alternatif dengan metode Bina Marga 2017. Hasil analisis perkerasan alternatif menunjukkan perkerasan mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana baik dengan menggunakan permodelan elastik atau viskoelastik.	<i>permanent deformation</i> disusul kerusakan <i>rutting</i> dan kerusakan akhir yang terjadi adalah <i>fatigue cracking</i> . Peneliti menyimpulkan analisis dengan permodelan elastik memiliki umur pelayanan jalan terhadap kerusakan yang lebih lama dibandingkan permodelan viskoelastik.	<i>rutting</i> disusul kerusakan <i>permanent deformation</i> dan kerusakan akhir yang terjadi adalah <i>fatigue cracking</i> .	<i>deformation</i> dengan beban gandar maksimum 6.067.479 ESAL, tetapi tidak mampu menahan kerusakan <i>rutting</i> dengan beban gandar maksimum 25.031.114 ESAL dan kerusakan <i>fatigue cracking</i> dengan beban gandar maksimum 32.262.613 ESAL.	viskoelastik adalah kerusakan <i>permanent deformation</i> , disusul oleh kerusakan <i>rutting</i> dan kerusakan yang terakhir terjadi adalah kerusakan <i>fatigue cracking</i> . Dari analisis tersebut juga dapat diketahui bahwa perkerasan alternatif yang dihasilkan menggunakan metode desain Bina Marga 2017 mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana.	Empiris program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik dimana kerusakan yang terjadi pertamakali adalah <i>permanent deformation</i> disusul <i>rutting</i> dan yang terakhir <i>fatigue cracking</i> . Sementara untuk perkerasan alternatif menunjukkan mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Dari hasil analisis menunjukkan baik pada perkerasan eksisting maupun perkerasan alternatif analisis dengan permodelan elastik memiliki umur pelayanan yang lebih lama dibandingkan dengan permodelan viskoelastik.

Sumber : Aji dan Susilo (2023), Suwanda dan Kushari (2020), Satria dan Kushari (2022), Pambudi dan Fauziah (2022), Hadi dan Fauziah (2022), Lia dan Mahardi (2022).

BAB III

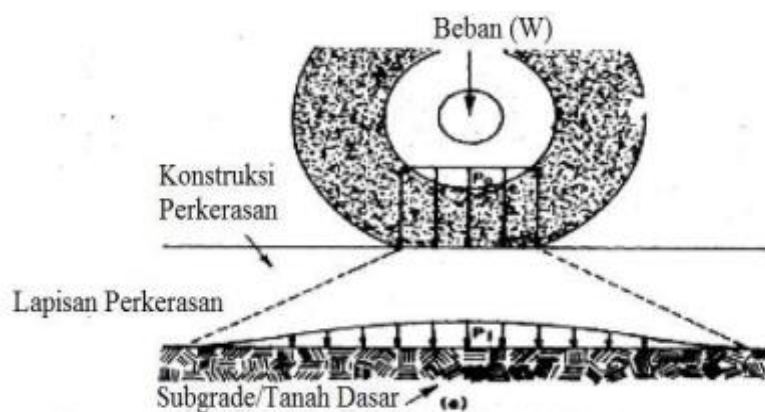
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur adalah salah satu jenis perkerasan jalan yang menggunakan lapisan-lapisan material fleksibel yaitu lapis permukaan menggunakan bahan campuran aspal sementara bahan berbutir digunakan untuk lapisan dibawahnya. Fungsinya untuk menahan beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapisan bawah.

Menurut Sukirman (2010) Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Lapisan tersebut terdiri dari beberapa lapisan yang diletakan diatas tanah dasar yang dipadatkan. Susunan lapisannya yaitu sebagai berikut.

1. Lapisan permukaan (*Surface Course*)
2. Lapisan pondasi atas (*Base Course*)
3. Lapisan pondasi bawah (*Sub Base Course*)
4. Tanah dasar (*Subgrade*)



Gambar 3.1 Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan Jalan

(Sumber: Sukirman 2010)

Dari Gambar 3.1 dapat dilihat beban dari kendaraan disalurkan ke perkerasan jalan melalui bidang kotak roda berupa beban terbagi rata (P_0). Lalu beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan perkerasan dan disebarkan menuju tanah dasar menjadi P_1 yang lebih kecil dari tanah dasar. Sementara untuk beban lalu lintas yang bekerja diatas perkerasan dibedakan menjadi muatan kendaraan berupa gaya vertikal, Gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal, dan Pukulan roda kendaraan berupa getaran-getaran. Dikarenakan sifat penyebaran gaya oleh karena itu muatan yang diterima masing-masing lapisan berbeda dan semakin ke bawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima beban gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat yang harus dipenuhi oleh tiap lapisan.

3.1.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan ini adalah lapisan perkerasan yang terletak pada bagian teratas dari struktur perkerasan lentur dan memiliki fungsi sebagai penahan beban roda kendaraan serta menjadi bagian lapis perkerasan yang menyebarkan beban kendaraan yang diterima ke lapis perkerasan dibawahnya. Lapisan permukaan ini sering disebut sebagai lapis aus (*wearing course*) karena lapisan ini mudah menjadi aus dikarenakan mengalami konflik secara langsung terhadap gesekan akibat dari rem kendaraan. Selain itu lapisan ini juga disebut sebagai lapisan kedap air, hal ini dikarenakan posisinya yang berada di lapisan teratas struktur perkerasan jalan maka dari itu lapisan ini memiliki fungsi untuk menahan air yang berada pada permukaan supaya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan bisa merusak struktur perkerasan jalan.

Lapisan permukaan terbagi menjadi dua bagian yaitu lapisan aus (*wearing course*) dan lapisan permukaan antara (*binder course*). lapisan aus (*wearing course*) merupakan bagian lapis permukaan yang berada posisi teratas dan bagian ini mengalami konflik atau kontak langsung dengan gesekan akibat dari rem kendaraan dan kondisi cuaca. Sedangkan lapisan antara (*binder couse*) merupakan lapisan yang berada diantara lapisan aus dan lapisan ponasi dimana fungsi bagian ini adalah

menahan dan mendistribusikan beban kendaraan menuju lapisan yang berada dibawahnya.

3.1.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan ini merupakan lapisan dari striktur perkerasan jalan yang terletak diantara lapis lapis permukaan dan pondasi bawah. Sedangkan fungsi dari lapisan ini adalah sebagai berikut.

1. Sebagai lapisan penahan gaya vertikal dari beban kendaraan serta menyebarkan beban tersebut menuju lapis yang berada dibawahnya.
2. Sebagai lapis yang melakukan peresapan untuk lapis pondasi bawah.
3. Sebagai bantalan terhadap lapis permukaan.

Bahan yang digunakan sebagai material pada lapis ini merupakan material yang cukup kuat. Bahan material yang digunakan yaitu berupa bahan alam seperti kerikil pecah, batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen dan kapur.

3.1.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Bagian lapisan ini merupakan lapis perkerasan yang berposisi diantara lapis tanah dasar dan lapisan pondasi atas. Fungsi utama lapisan ini adalah menyebarkan beban kendaraan menuju tanah dasar dan memberikan daya dukung untuk struktur perkerasan jalan. Lapisan ini juga berfungsi sebagai lapis peresapan untuk mencegah air tanah berkumpul dipondasi dan menahan partikel-partikel halus yang berasal dari tanah dasar masuk ke lapisan pondasi atas. Selain hal tersebut, karena material yang digunakan untuk lapis pondasi bawah cenderung lebih murah dibandingkan dengan lapis perkerasan diatasnya maka dengan adanya lapisan pondasi bawah dapat dilakukan dengan cara mengurangi tebal lapis perkerasan diatasnya.

3.2 Metode Mekanistik-Empiris

Metode ini merupakan pengembangan dari perpaduan antara metode mekanistik dan empiris. Menurut Sodiq dan Fauziah (2021), Metode empiris merupakan metode yang dikembangkan berdasarkan dari pengalaman penelitian dari jalan-jalan yang khusus untuk penelitian maupun dari jalan yang sudah ada.

Pada pendekatan empiris ini didasarkan pada hasil percobaan ataupun penelitian. Metode ini seringkali digunakan sebagai pembantu ketika peneliti mengalami kesulitan dalam mendefinisikan teoritis penyebab dan efek yang tepat dari suatu fenomena. Sedangkan metode mekanistik merupakan suatu metode yang mengembangkan kaidah teoritis dari karakteristik material perkerasan, yang dilengkapi dengan perhitungan secara eksak terhadap respon struktur perkerasan terhadap sumbu kendaraan dengan mengasumsikan perkerasan jalan menjadi *multi layer elastic structure* untuk perkerasan lentur dan *beam on elastic foundation* untuk perkerasan kaku. Akibat dari beban kendaraan yang bekerja di atasnya maka timbul tegangan dan regangan pada struktur tersebut.

Metode mekanistik-empiris adalah metode perancangan tebal perkerasan yang didasarkan pada penentuan umur perkerasan akibat tegangan dan regangan yang terjadi secara berulang-ulang pada perkerasan hingga terjadi kerusakan. Metode desain tebal perkerasan mekanistik empiris dilandaskan pada mekanika bahan dan menggunakan data-data seperti beban roda dan respon perkerasan yang berupa tegangan dan regangan. Nilai-nilai dari respon tersebut digunakan untuk memprediksi tegangan berdasarkan data kinerja lapangan dan uji laboratorium. Pengamatan kinerja perkerasan jalan menjadi penting karena teori-teori yang ada dianggap tidak cukup terbukti untuk desain perkerasan jalan yang realistis (Huang, 2004).

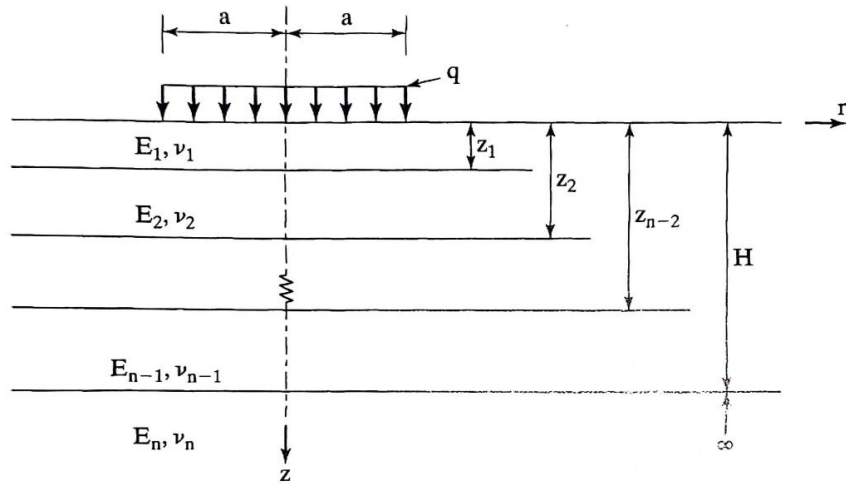
Dalam desain perkerasan lentur menggunakan metode mekanistik empiris, digunakan beberapa aspek seperti lalu lintas, tanah dasar, lingkungan, dan material mempengaruhi desain perkerasan. Awalnya, perkerasan diasumsikan dapat menahan beban rencana selama waktu yang ditentukan. Setelah itu, dilakukan uji coba desain perkerasan. Langkah berikutnya adalah melakukan analisis untuk memastikan apakah perkerasan jalan dapat menahan beban yang direncanakan dalam waktu yang ditentukan. Jika analisis menunjukkan bahwa perkerasan dapat menahan beban dalam waktu yang direncanakan, maka perkerasan tersebut layak digunakan. Namun, jika analisis menunjukkan setidaknya satu regangan kritis yang mengindikasikan bahwa perkerasan tidak dapat menahan beban, maka diperlukan

perbaikan atau perubahan struktur (baik perubahan dimensi atau material, atau keduanya).

3.3 Teori *Multi-Layered System*

Dalam melakukan atau menerapkan metode mekanistik-empiris terdapat penyelesaian secara analisis yang disebut sebagai *Multilayer Elastic System* (Sistem Multilapis Elastis). Dalam sistem ini digunakan asumsi-asumsi dalam menghitung respon struktur berupa tegangan, regangan, dan lendutan yang disebabkan oleh respon dari beban roda kendaraan. Perkerasan lentur adalah suatu sistem yang tersusun berlapis-lapis dengan material yang semakin ke atas semakin baik dan tidak dapat diwakili oleh massa yang homogen. Solusi dari sistem berlapis ini dikembangkan pertama kali oleh Burnister (1943) dengan sistem dua lapis lalu dikembangkan lagi oleh Burnister (1945) dengan sistem tiga lapis. Menurut Huang (1967), Dengan adanya kemampuan komputer, teori tersebut dapat di aplikasikan menjadi *multi-layered system* dengan berapapun jumlah lapisannya. Adapun asumsi yang digunakan dalam menghitung respon struktur perkerasan pada *multi-layered system* berdasarkan Huang (2004) adalah sebagai berikut.

1. Setiap masing-masing lapis perkerasan bersifat homogen dan isotropik.
2. Bahan perkerasan tiap lapisan memiliki batas bobot dan ketebalan serta lebar tiap lapisan dianggap tidak terbatas.
3. Tekanan seragam diterapkan pada lapis permukaan yang terkena luasan penampang beban (*interface*).



Gambar 3.2 Elastic Multilayer System

(Sumber: Huang, 2004)

Berdasarkan Gambar 3.2, dapat dilihat bahwa setiap lapisan perkerasan memiliki kedalaman yang berbeda serta memiliki modulus elastisitas dan *poisson ratio* yang berbeda pula. Kondisi tersebut disebabkan karena perbedaan jenis material yang digunakan. Tegangan normal (σ) bekerja secara tegak lurus terhadap permukaan, sedangkan tegangan geser (τ) bekerja sejajar dengan permukaan. Dalam kondisi keseimbangan statis, dapat diketahui bahwa tegangan geser yang bekerja pada setiap permukaan sama besar, sehingga resultan tegangan geser tersebut sama dengan nol. Sementara regangan yang terjadi dirumuskan pada Persamaan 3.1; 3.2; 3.3 berikut..

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.2)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.3)$$

Dengan:

ε = regangan,

$q(t)$ = beban merata,

h_n = kedalaman tiap lapisan,

E = modulus elastisitas tiap lapisan,

- μ = nilai poisson ratio tiap lapisan,
 σ = tegangan normal, dan
 τ = tegangan geser.

3.4 Karakteristik Material

Dalam melakukan analisis perkerasan lentur ada beberapa jenis material yang dapat digunakan. Berikut ini merupakan material tersebut.

3.4.1 Material Viskoelastik

Pemodelan viskoelastik adalah pendekatan yang mengasumsikan bahwa lapisan perkerasan lentur bersifat linier viskoelastis, yaitu ada perubahan bentuk permanen yang terjadi akibat beban lalu lintas dan juga dipengaruhi oleh faktor waktu dan suhu. Pemodelan viskoelastik menggunakan hubungan antara tegangan dan regangan yang bersifat non-linier dan bergantung pada waktu. Pemodelan viskoelastik dapat digunakan untuk menganalisis perilaku jangka panjang dari lapisan perkerasan lentur yang terdiri dari campuran aspal dan agregat. Metode yang digunakan untuk menggambarkan sifat viskoelastis dari suatu bahan pada program KENPAVE adalah dengan menentukan spesifikasi *creep compliances*. Menurut Azmi (2024) yang merujuk pada Kumar (2013), *Creep compliances* dianggap sebagai deformasi yang bergantung pada waktu yang terjadi saat sebuah material mengalami pembebanan selama rentang waktu tertentu. Dalam mengukur *creep compliances* dihitung dengan menggunakan 11 durasi waktu yang berbeda yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3 ; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100 detik berdasarkan saran dari FHWA. Untuk mengetahui *creep compliance* yang digunakan pada saat *input* pada *layernip* dapat digunakan persamaan 3.4 berikut.

$$D(t) = \frac{1}{E} (1 - e^{-0,833t}) \quad (3.4)$$

Dengan :

$D(t)$ = *Creep compliance*

t = Durasi waktu

E = Modulus elastisitas tiap lapisan

e = Konstanta e

3.4.2 Material Elastik

Pemodelan elastik adalah pendekatan yang mengasumsikan bahwa lapisan perkerasan lentur bersifat linier elastis, yaitu tidak ada perubahan bentuk permanen yang terjadi akibat beban lalu lintas. Pemodelan elastik menggunakan hubungan antara tegangan dan regangan yang dikenal sebagai hukum Hooke. Pemodelan elastik dapat digunakan untuk menganalisis distribusi beban, perpindahan, dan deformasi pada lapisan perkerasan lentur dengan menggunakan sistem multi-lapis.

3.5 Program KENPAVE

Program Kenpave merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk pencahanan atau analisis pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan lebih mudah dan efektif. Program ini dikembangkan oleh Dr. Yang Huang, P.E., Profesor Emeritus Teknik Sipil di *University of Kentucky*. Dalam menjalankan program KENPAVE, diperlukan parameter seperti karakteristik perkerasan dan material perkerasan, seperti modulus elastisitas, *poisson ratio* untuk setiap lapisan, beban roda, tekanan ban, dan koordinat di mana tegangan dan regangan diperlukan. *Software* ini terbagi menjadi empat program terpisah, yaitu *Layernip*, *Kenlayer*, *Slabinp*, dan *Kenslabs*. Dalam konteks penelitian ini, fokus akan diberikan pada program *Layernip* dan *Kenlayer* yang berkaitan dengan analisis perkerasan lentur.

Dalam pengoperasiannya, Aplikasi KENPAVE menyajikan menu utama yang digunakan untuk merancang dan menganalisis perkerasan. Tampilan menu ini dapat dilihat pada gambar Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Menu Tampilan Program KENPAVE

Dalam menggambarkan model lapisan elastis perkerasan jalan, diperlukan data input untuk tegangan, regangan, dan respons terhadap beban. Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan:

1. Parameter untuk setiap lapisan, seperti *Modulus Elastisitas* dan *Poisson Ratio*
 - a. Modulus Elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda, sering disebut Modulus Young (E). Rumus Modulus Elastisitas dinyatakan sebagai:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.5)$$

Dengan:

E = Modulus Elastisitas (dalam Psi atau kPa)

σ = Tegangan (dalam kPa), dan

ε = Regangan.

Nilai Modulus Elastisitas untuk berbagai jenis bahan perkerasan dapat ditemukan dalam tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	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 treated base</i>	$7 \times 10^4 - 45 \times 10^4$	$49 \times 10^5 - 3 \times 10^6$
<i>Asphalt concrete</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$	$14 \times 10^4 - 14 \times 10^6$
<i>Bituminous stabilizied mixture</i>	$4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	$28 \times 10^4 - 21 \times 10^5$
<i>Lime stabilizied</i>	$2 \times 10^4 - 7 \times 10^4$	$14 \times 10^4 - 49 \times 10^4$
<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. *Poisson Ratio*, merupakan jumlah yang menunjukkan perbedaan antara regangan horizontal, yang dikenal sebagai regangan lateral dan regangan vertikal, yang ditimbulkan akibat beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Nilai *poisson ratio* dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Nilai *Poisson Ratio*

Material	Nilai v	V tipikal
<i>Hot mix asphalt</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Portland cement concrete</i>	0,15 – 0,20	0,15
<i>Untreated granular material</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Cement treated granular material</i>	0,10 – 0,20	0,15
<i>Cement treated fine grained material</i>	0,15 – 0,35	0,25
<i>Lime stabilizied material</i>	0,10 – 0,25	0,20
<i>Lime flyash mixture</i>	0,10 – 0,15	0,15

Lanjutan Tabel 3.2 Nilai *Poisson Ratio*

Material	Nilai ν	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)

2. Ketebalan setiap lapisan

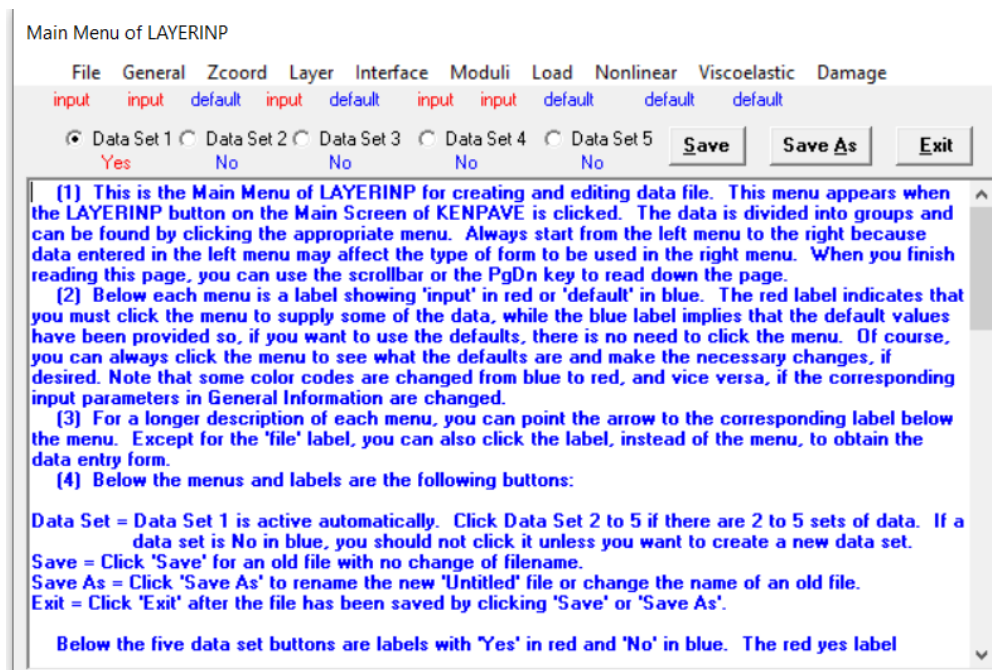
Ketebalan setiap lapisan perkerasan diperlukan sebagai input untuk penyelesaian teori lapis banyak dengan bantuan dari program KENPAVE. Ketebalan tiap lapisan menggunakan satuan mm dan *inch*.

3. Kondisi Beban

Pada data ini mencakup data yang berhubungan dengan beban roda, P (kN/Lbs), tekanan ban q (Kpa/Psi), dan jarak antara roda ganda pada sumbu roda belakang d (mm/*inch*). Besaran P dipengaruhi oleh muatan yang dibawa oleh kendaraan, sehingga beban pada sumbu roda depan dan belakang dapat berbeda. Sementara itu, nilai q dan d ditetapkan sesuai dengan spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan.

3.5.1 Program KENLAYER

Program ini hanya bisa digunakan pada perkerasan lentur dan fungsinya adalah untuk mengetahui rasio atau tingkat kerusakan perkerasan lentur dengan menggunakan model tekanan (*distress models*). *Distress models* ini berupa retak dan deformasi yang digunakan dalam memprediksi umur perkerasan dengan cara mengasumsikan konfigurasi perkerasan. Teori sistem lapis banyak ini merupakan dasar dari program KENLAYER. KENLAYER bisa digunakan untuk perilaku tiap lapisan perkerasan yang berbeda, seperti linear elastik dan viskoelastik. Tampilan menu awal program LAYERINP dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Tampilan Menu LAYERINP

Beberapa menu yang ada di dalam LAYERINP terdapat menu yang tidak perlu diinput (*default*). Berikut ini merupakan penjelasan mengenai menu-menu yang ada di dalam LAYERINP.

1. *File*

Menu ini memiliki fungsi untuk memulai pekerjaan dan ada dua pilihan yaitu untuk memulai pekerjaan baru dengan pilihan *new* atau *old* untuk *file* yang sudah ada.

2. *General*

Pada menu ini berisi informasi umum tentang perkerasan yang hendak dianalisis. Tampilan menu *general* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE		
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0.001
Number of layers	(NL)	3
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	0
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	1
Number of layers for top compression	(NLTC)	1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	0

OK

(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 3.5 Tampilan Menu *General*

Dalam menu *general* terdapat bagian yang harus diisi dengan parameter tertentu. Data yang harus diisi adalah sebagai berikut.

a. *TITLE*

Merupakan judul dari analisis yang hendak dilakukan dengan maksimal 68 karakter.

b. *MATL*

Merupakan tipe material yang akan digunakan dalam analisis, ada empat pilihan yaitu lapisan linear elastis (1), lapisan non linear elastik (2), lapisan viskoelastik (3) serta kombinasi dari 3 material tersebut (4).

c. *NDAMA*

Merupakan bagian untuk memilih analisa kerusakan, ada tiga pilihan yaitu tidak ada kerusakan analisis (0), terdapat kerusakan analisis dan mengeluarkan hasil *print out* (1), terdapat kerusakan analisis dan mengeluarkan hasil *print out* yang lebih detail.

d. *DEL*

Merupakan akurasi hasil analisis dimana sebagai standar adalah 0,001.

e. *NL*

Merupakan jumlah dari lapisan/layer dengan jumlah maksimum adalah 19 lapisan.

f. *NZ*

Merupakan letak koordinat arah Z yang akan dianalisa. Jika nilai NDAMA adalah 1 atau 2, maka nilai NZ adalah 0. Ini dikarenakan program akan melakukan analisis pada koordinat yang mengalami analisa kerusakan.

g. *NSTD*

Merupakan nilai dari *stress*, *strain* dan *displacement*. Terdapat 3 opsi yang dapat dipilih dalam analisis yaitu *vertical displacement* (1), *vertical displacement* dan nilai tegangan (5), *vertical displacement* dan nilai tegangan serta nilai regangan (9).

h. *NBOND*

Terdapat dua pilihan yang bisa dipilih yaitu Jika antar lapis saling terikat (1), Jika antar lapis tidak saling terikat atau nilai gesekan tidak dianggap (2).

i. *NUNIT*

Merupakan satuan yang digunakan dalam analisis 0 untuk satuan *English* dan 1 untuk satuan SI.

3. *Zcoord*

Menu ini merupakan bagian untuk menganalisis perkerasan di titik jarak koordinat Z. Nilai pada menu ini akan otomatis sama dengan nilai NZ yang sudah diisi pada menu *general*. Tampilan pada menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.

Unit in.

Point No.	ZC
1	0
2	0
3	0

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

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

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

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

OK

Gambar 3.6 Tampilan Menu Zcoord

4. Layer

Dalam menu ini terdapat dua bagian yang harus di input yaitu bagian yang pertama adalah TH (tebal lapisan tiap *layer*) dan yang kedua adalah PR yang merupakan *poission's ratio* tiap lapis. Berikut ini merupakan tampilan menu layer dapat dilihat pada Gambar 3.7 dibawah ini.

Unit in. pcf

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>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and 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. Note that the dotted rectangle is now in the upper left cell, so you can type in the data right away. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you

OK

Gambar 3.7 Tampilan Menu Layer

5. *Interface*

Menu ini masih berhubungan dengan input nilai pada menu *NBOUND* pada menu *general*. Jika nilai yang di input pada *NBOUND* adalah 1 maka *interface* akan menjadi *default*, namun jika di input adalah 2 maka menu *interface* akan aktif untuk bisa di input nilai.

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.

OK

Gambar 3.8 Tampilan Menu Interface

6. *Modul*

Dalam menu ini jumlah periode sesuai dengan jumlah NPY di dalam menu *general*. Periode maksimum dalam menu ini adalah 12 periode dan setiap periode memiliki tempat untuk memasukan nilai E (modulus elastisitas) yang dimasukan per *layer* yang ada.

Layer Modulus of each period for Data Set No. 1

Period1
input

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.

OK

Gambar 3.9 Tampilan Menu Moduli

7. Load

Jumlah unit yang terdapat dalam menu ini sesuai dengan jumlah NLG yang terdapat pada menu *general*. Untuk mengisi kolom load, gunakan (0) untuk sumbu tunggal, (1) untuk sumbu tunggal roda ganda, (2) untuk sumbu tandem, dan (3) untuk sumbu triple. Kolom CR menunjukkan radius kontak pembebanan. Kolom CP menggambarkan nilai beban. Sedangkan, kolom XW dan YW mengacu pada jarak antar roda dalam arah x dan y. Kolom NR dan NPT mencerminkan titik koordinat tegangan-regangan yang ingin diuji.

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit	in.	psi	in.	in.		
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	0	0	0	0	0	

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

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8 for wheel and axle arrangements.

(2) LOAD (type of loading): Assign 0 for single axle with single tire, 1 for single axle with dual tires, 2 for tandem axles, and 3 for tridem axles.

(3) CR (contact radius of circular loaded areas).

(4) CP (contact pressure on circular loaded areas).

(5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y axis): Assign 0 if there is only one wheel or LOAD = 0.

(6) XW (center to center spacing between two axles along the x axis): Assign 0 if only one axle exists, i.e. LOAD = 0 or 1.

(7) NR (number of radial coordinates to be analyzed under a single wheel, maximum 25): A single

OK

Gambar 3.10 Tampilan Menu Load

3.6 Evaluasi Kerusakan dan Kinerja Perkerasan Lentur

Faktor utama sehingga terjadinya kerusakan pada lapisan perkerasan adalah beban kendaraan. Penggunaan program KENPAVE dilakukan untuk mengetahui respon dari suatu perkerasan akibat beban lalu lintas berupa nilai tegangan dan regangan yang nantinya dapat digunakan dalam memprediksi kerusakan yang akan terjadi pada perkerasan. Kerusakan yang dapat dianalisis meliputi *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*. Sedangkan Kinerja perkerasan merupakan kemampuan perkerasan lentur dalam menahan beban lalu lintas sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* selama umur rencana. Selain itu, dengan merujuk pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 kinerja perkerasan yaitu berupa pada saat jumlah repetisi beban dan tahun pelayanan seberapa struktur perkerasan lentur akan mengalami kerusakan retak lelah dan deformasi permanen. Berikut ini merupakan uraian mengenai kerusakan dan kinerja perkerasan jalan.

3.6.1 Kerusakan Perkerasan Lentur

Analisis kerusakan perkerasan lentur dilakukan dengan melakukan perhitungan beban gandar maksimum sampai terjadinya kerusakan pada struktur perkerasan jalan berdasarkan tegangan dan regangan hasil analisis program KENPAVE adalah sebagai berikut.

1. Retak lelah (*fatigue cracking*)

Dalam analisis kerusakan retak lelah agar bisa mengetahui jumlah repetisi beban terjadi yang disebabkan oleh regangan tarik bawah permukaan perkerasan lentur dapat menggunakan persamaan 3.6 berikut.

$$N_f = 0,796 (\epsilon_t)^{-3,92} |E|^{-0,854} \quad (3.6)$$

dengan:

N_f = Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan dalam mengontrol retak lelah.

ϵ_t = *Tensile strain* di lokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan.

E = Modulus elastisitas pada lapisan permukaan atau lapisan HMA.

2. Retak alur (*Rutting*)

Dalam analisis kerusakan perkerasan berupa retak alur dengan tujuan mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan dibawah lapis pondasi bawah digunakan persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$N_r = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3.7)$$

dengan:

N_d = Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan dalam mengontrol retak alur.

ϵ_c = Regangan tekanan vertikal

F_5 = Koefisien syarat deformasi permanen

F_4 = Koefisien syarat deformasi permanen

3. Deformasi permanen (*Permanent Deformation*)

Berikut ini merupakan Persamaan 3.8 yang digunakan dalam menganalisis kerusakan deformasi permanen untuk mengetahui jumlah repetisi beban pada perkerasan lentur adalah sebagai berikut.

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3.8)$$

dengan:

N_d = Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan dalam mengontrol deformasi permanen

ϵ_c = Regangan tekanan vertikal

F_5 = Koefisien syarat deformasi permanen

F_4 = Koefisien syarat deformasi permanen

3.6.2 Kinerja Perkerasan Lentur

Setelah diketahui besaran dari beban gandar maksimum untuk setiap jenis kerusakan maka dapat dilakukan analisis kinerja perkerasan jalan berupa prediksi umur pelayanan jalan terhadap kerusakan yang dapat dihitung menggunakan data-data LHR, VDF (Normal), faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan juga nilai faktor pertumbuhan lalu lintas dengan menggunakan persamaan 3.9 berikut ini.

$$ESAL = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.9)$$

Dengan:

- ESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.
- LHR = Lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari).
- VDF = Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga.
- DD = Faktor distribusi arah.
- DL = Faktor distribusi lajur.
- ESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.
- R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3.7 Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 merupakan sebuah manual desain perkerasan jalan yang memuat ketentuan teknis dalam melaksanakan pekerjaan desain perkerasan yang meliputi perkerasan baru atau rehabilitasi perkerasan. Terdapat beberapa parameter yang digunakan sebagai standar perhitungannya seperti faktor lajur, umur rencana, tingkat pertumbuhan lalu lintas dan beban lalu lintas.

3.7.1 Umur Rencana

Umur rencana sebuah jalan raya diartikan sebagai rentang waktu yang dimulai dari pembukaan jalan sampai jalan tersebut mengalami penurunan kinerja sehingga dianggap membutuhkan rehabilitasi atau perbaikan pada jalan tersebut.

Ketentuan umur rencana sesuai ketentuan Bina Marga 2017 dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Pondasi Jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay) seperti: jalan perkotaan underpass, jembatan, terowongan	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk pondasi jalan)	Minimum 10

(Sumber : Bina Marga, 2017)

3.7.2 Lalu Lintas

Data lalu lintas merupakan data yang sangat penting dalam memperhitungkan rencana beban lalu lintas yang hendak ditahan perkerasan jalan tersebut. Hasil perhitungan beban lalu lintas tersebut selanjutnya akan direncanakan sesuai dengan umur rencana. Berikut ini adalah bagian-bagian dari lalu lintas yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan desain perkerasan jalan.

1. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas merupakan jumlah dari kendaraan yang melalui satu lokasi pengamatan pada suatu jalan dalam rentang waktu (menit, jam atau hari). Data volume lalu lintas yang digunakan dalam desain perkerasan bisa berupa lalu lintas harian (LHR) yang diamati selama 30 hari dan lalu lintas rata-rata tahunan (LHRT) yang diamati selama setahun.

2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Menurut Sukirman (1999) menjelaskan faktor pertumbuhan lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang memakai jalan bertambah dari tahun ke tahun. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan lalu lintas adalah perkembangan daerah, bertambahnya kesejahteraan masyarakat, dan juga naiknya kemampuan membeli kendaraan. Pertumbuhan lalulintas ditentukan menggunakan data LHR dengan menggunakan persamaan 3.10 berikut.

$$i = \sqrt[n]{\frac{\text{LHR}_t}{\text{LHR}_o}} - 1 \times 100\% \quad (3.10)$$

Dengan:

- i = Pertumbuhan lalulintas
- n = Selisih jumlah tahun yang diambil
- LHR_t = Jumlah LHR tahun ke- n
- LHR_o = Jumlah LHR tahun awal

3. Faktor Penggali Pertumbuhan Lalulintas

Dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 terdapat rumus dalam menghitung faktor penggali pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana yaitu pada persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$R = \frac{1 + [0,01i]^{UR} - 1}{0,01i} \quad (3.11)$$

dengan:

- R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
- i = Tingkat pertumbuhan lalu lintas tahun, dan
- UR = Umur rencana (tahun)

3.7.3 Faktor Distribusi Lajur

Lajur rencana merupakan salah satu ruas jalan yang salah satu lajunya menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA)

dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Secara umum untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 telah menetapkan faktor distribusi lajur (DL) yang didasarkan pada jumlah lajur pada setiap arah. Berikut ini merupakan faktor distribusi lajur (DL) yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

(Sumber : Bina Marga, 2017)

3.7.4 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Faktor ekuivalen beban (VDF) diperlukan dalam mengkonversi beban lalu lintas menjadi beban standar (ESA) dalam desain perkerasan. Sesuai Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017, perhitungan beban lalu lintas dapat dilakukan dengan survei langsung melalui studi jembatan timbang statis atau data WIM regional yang disediakan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga.

Jika survei beban gandar tidak memungkinkan dan tidak ada data survei sebelumnya, nilai VDF pada Tabel 3.5 dan 3.6 dapat digunakan untuk menghitung ESA. Tabel 3.7 pada MDPJ 2017 menyajikan nilai VDF regional untuk berbagai jenis kendaraan niaga yang berasal dari data studi WIM yang dilakukan oleh Ditjen Bina Marga antara tahun 2012-2013. Data tersebut harus diperbarui setidaknya setiap lima tahun. VDF pada Tabel 3.7 yang terdapat pada MDPJ 2017 dapat digunakan jika survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan beban kendaraan komersial. VDF beban nyata digunakan untuk periode beban faktual hingga tahun

2020, sedangkan untuk periode beban normal (terkendali), menggunakan VDF dengan beban sumbu terberat 12 ton.

Tabel 3.5 Nilai VDF masing-masing Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawaa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6A	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9	2,9	4	3	4	2,5	3
7A1	10	18	5,4	7,4	8,2	14	4,7	6,4	9,9	18	4,1	5,3	7,2	11	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	11	20	4,3	5,6	10	19	4,3	5,6	9,6	18	4,2	5,4	9,4	19	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6
7B1	-	-	-	-	12	18	9,4	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	14	22	13	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	16	30	7	9,6	11	20	7,4	9,7	12	20	7	10	13	26	6,5	8,8	14	12	10	8
7C2A	20	39	6,1	8,1	18	33	7,6	10	8,2	15	4	5,2	20	42	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	21	43	6,1	8	13	24	6,5	8,5	-	-	-	-	17	29	9,3	14	-	-	-	-
7C3	25	52	6,4	8	18	34	6,1	7,7	14	23	9,8	15	29	60	6,9	8,8	-	-	-	-

(Sumber: Bina Marga 2017)

Tabel 3.6 Nilai VDF Standar

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigu rasi Sumbu	Muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekvivalen Beban (VDF)	
Klasifik asi Lama	Alterna tif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4	VDF 5
1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan yang diangkut	2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/Pickup/Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu - cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	muatan umum	2			0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu - ringan	1.22	muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu - sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu - berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,3	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-22		5	0,7	1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222		5			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

(Sumber: Bina Marga 2017)

3.7.5 Beban Sumbu Kumulatif Standar

Beban sumbu kumulatif standar atau bisa juga disebut *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, dan ditentukan dalam persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$ESA = (\Sigma LHR \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.12)$$

Keterangan:

- ESA = Lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) untuk 1 hari
- LHR = Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),
- R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
- VDF = Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga
- DD = Faktor distribusi arah
- DL = Faktor distribusi lajur

3.7.6 Desain Perkerasan

Dalam pemilihan struktur perkerasan, beberapa jenis perkerasan ditentukan berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Batasan didalam ketentuan memilih struktur perkerasan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 berifat tidak mutlak dimana perencana juga harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Ketentuan untuk memilih jenis desain perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.7 Ketentuan Pemilihan Jenis Perkerasan

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

(Sumber: Bina Marga 2017)

Setelah jenis perkerasan yang akan digunakan sudah ditentukan, maka tebal perkerasan dapat ditentukan sesuai dengan nilai CESA₅. Untuk mengetahui desain tebal perkerasan, dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3.8 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB

	F1	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3 C	Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (106 ESA5)	> 10 - 30	> 30 – 50	> 50 – 100	> 100 – 200	> 200 – 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	40	40
AC BC4	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB3	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

(Sumber: Bina Marga 2017)

Tabel 3.9 Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 2							
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	< 2	$\geq 2 - 7$	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2		3				

(Sumber: Bina Marga 2017)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Dalam metode penelitian ini, digunakan metode studi kasus yang bertujuan untuk memungkinkan peneliti mengeksplorasi objek penelitian secara mendalam. Metode ini dilakukan dengan tujuan utama untuk memberikan ruang eksplorasi yang mendalam terhadap objek penelitian. Metode studi kasus memberikan keleluasaan kepada peneliti untuk menyelidiki fenomena atau kasus tertentu secara terperinci. Sehingga, dengan menggunakan pendekatan ini, peneliti berharap dapat meraih pemahaman yang lebih komprehensif tentang karakteristik, dinamika, dan konteks yang melibatkan objek penelitian.

Tujuan utama dari penggunaan metode studi kasus dalam penelitian ini adalah mendapatkan wawasan yang lebih dalam mengenai objek penelitian. Dengan melibatkan penelitian ini secara terperinci, peneliti dapat mengeksplorasi aspek-aspek yang mungkin tidak terlihat pada pandangan awal. Selain itu, metode studi kasus memungkinkan analisis mendalam terhadap interaksi dan kompleksitas dalam konteks spesifik objek penelitian, membuka peluang untuk menemukan faktor-faktor krusial yang mungkin mempengaruhi hasil penelitian.

4.2 Pengumpulan Data

Dalam melaksanakan penelitian ini, dibutuhkan data yang akan digunakan berdasarkan rumusan masalah yang terjadi. Data yang dapat digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, yang sudah tersedia, sehingga peneliti tidak perlu mencari dan mengumpulkannya karena sudah tersedia di instansi pemerintah, perusahaan-perusahaan, dan perpustakaan.

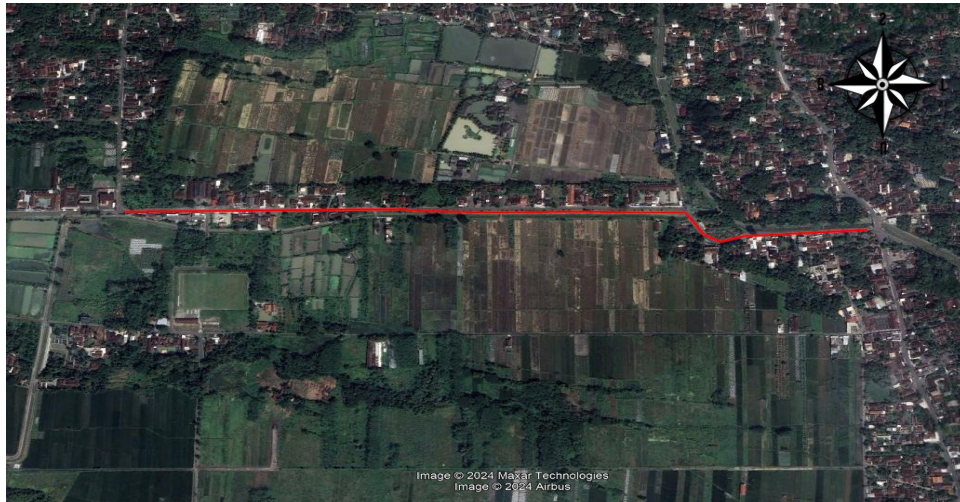
Adapun data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Dinas PU Yogyakarta bidang Bina Marga. Sedangkan untuk data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sebagai berikut.

1. Data struktur perkerasan jalan.

2. Data lalu lintas rerata jalan (LHR).
3. Data *properties* material.

4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih sebagai objek penelitian ini adalah Ruas Jalan Klangon – Tempel STA 2+000 – STA 3+800 Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Klangon – Tempel Yogyakarta
(Sumber : Google *Earth*, 2024)

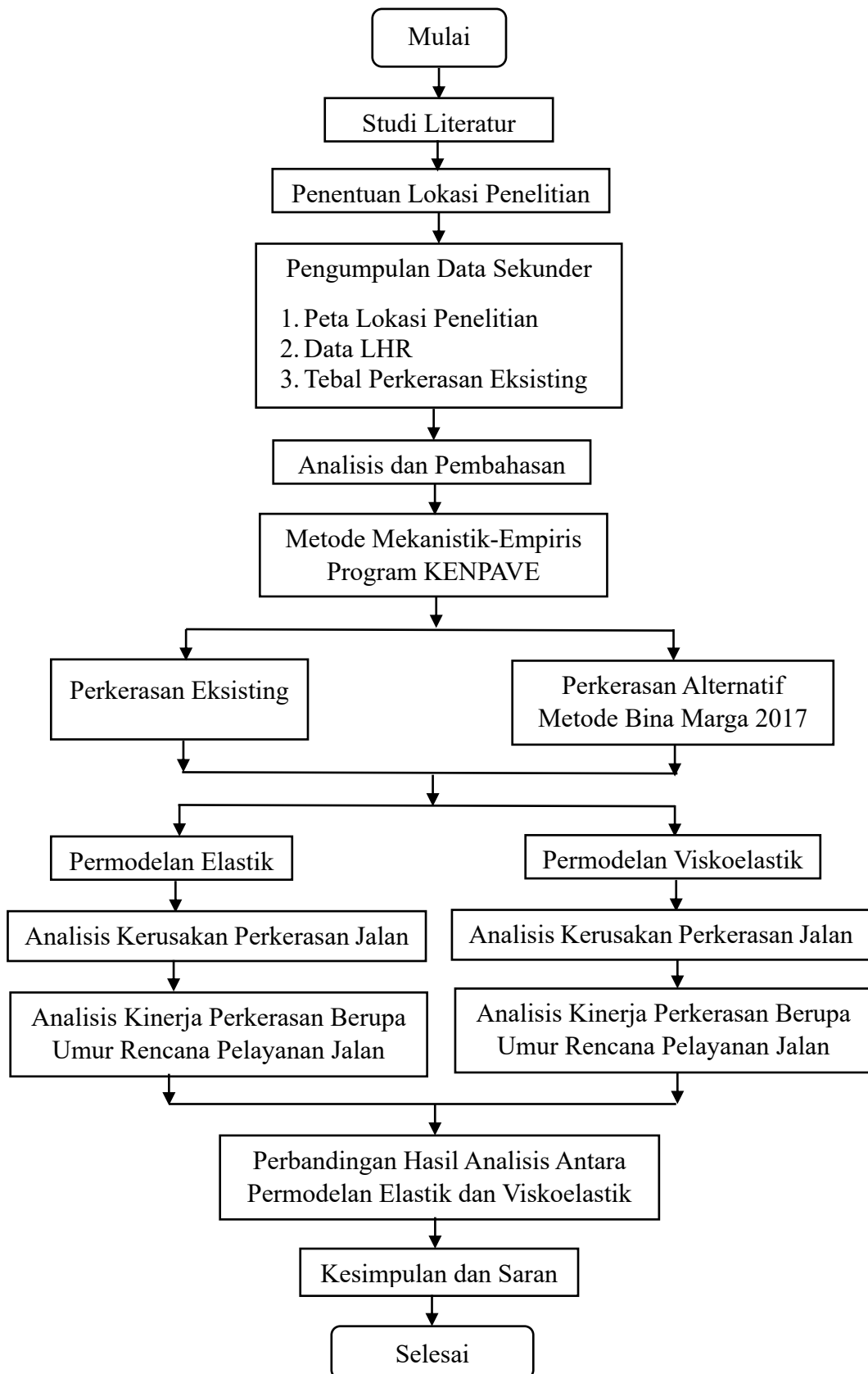
4.4 Prosedur Perancangan

Prosedur perancangan dibuat dengan bentuk bagan alir dengan tujuan supaya mempermudah dalam melakukan perhitungan. Berikut ini merupakan bagan alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahapan penelitian.
2. Prosedur evaluasi kerusakan dan kinerja jalan menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik.
3. Prosedur evaluasi kerusakan dan kinerja jalan menggunakan program KENPAVE dengan Permodelan Viskoelastik.
4. Prosedur desain perkerasan alternatif menggunakan metode Bina Marga 2017.

4.4.1 Tahapan Penelitian

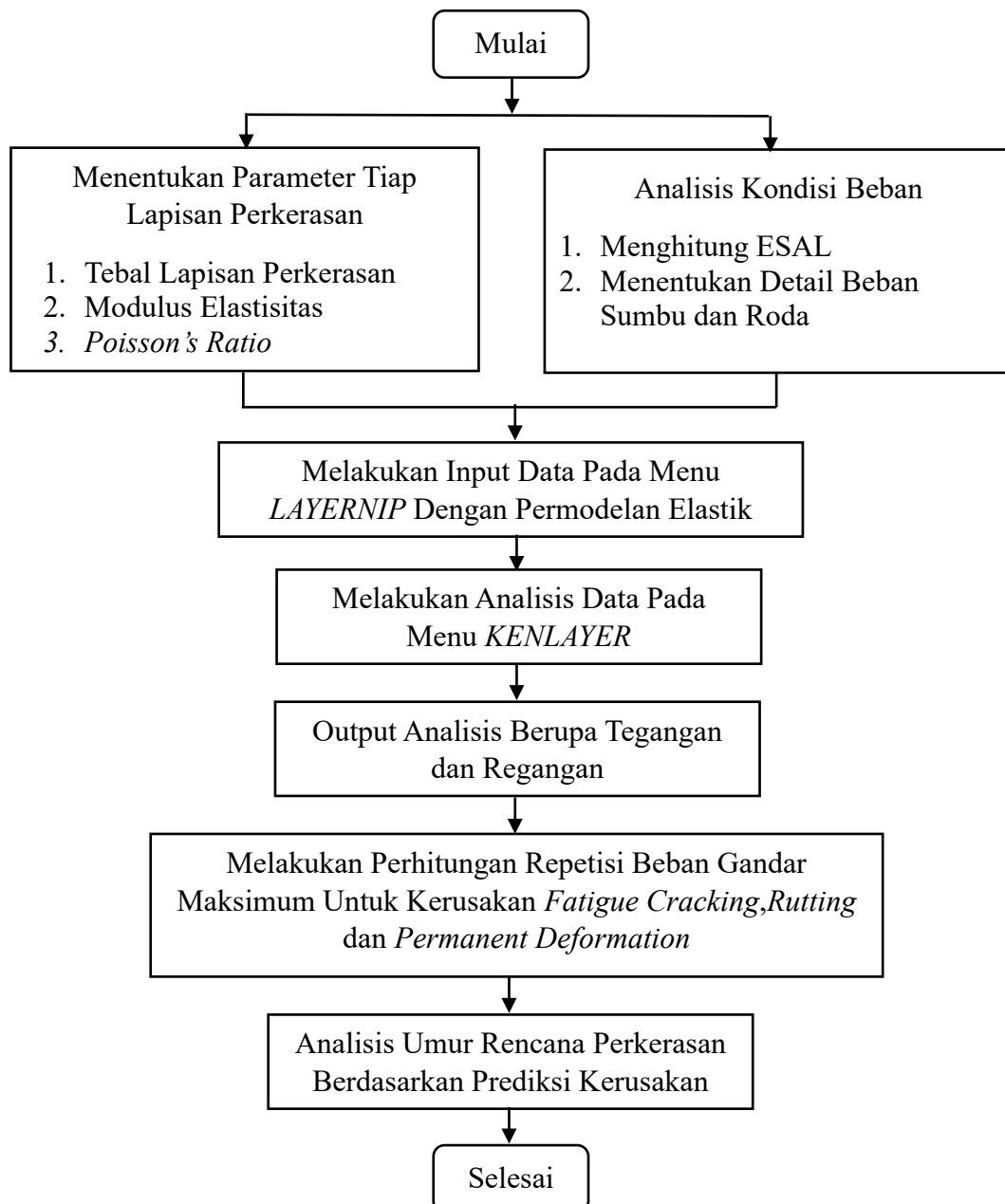
Dibawah ini merupakan tahapan penelitian secara umum yang dapat dilihat pada bagan alir yang disajikan dalam Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Bagan Alir Tahapan Penelitian

4.4.2 Prosedur Metode KENPAVE Pemodelan Elastik

Prosedur dalam melakukan analisis struktur perkerasan jalan menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik pada perkerasan lentur adalah sebagai berikut.



Gambar 4.3 Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program KENPAVE Permodelan Elastik

Berdasarkan Gambar 4.3 berikut ini merupakan uraian mengenai tahapan dalam melakukan analisis kerusakan dan kinerja perkerasan menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik.

1. Menentukan data properties material yang akan digunakan dalam pemodelan struktur perkerasan, yaitu antara lain adalah sebagai berikut.
 - a. Tebal lapisan perkerasan
 - b. Nilai modulus elastisitas (E) pada setiap lapisan perkerasan
 - c. Nilai *poisson's ratio* tiap lapisan perkerasan
2. Menganalisis data-data lalu lintas, diantaranya adalah sebagai berikut.
 - a. Menghitung Jumlah *Equivalent Single Axle Load* (ESAL)
 - b. Menentukan detail beban sumbu dan roda
3. Melakukan input data pada menu LAYERNIP dengan menggunakan permodelan elastik.
4. Melakukan analisis data pada menu KENLAYER untuk mengetahui respon perkerasan jalan akibat beban lalu lintas berupa nilai tegangan dan regangan.
5. Melakukan analisis repetisi beban beban gandar maksimum sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.
6. Melakukan analisis prediksi umur pelayanan jalan sebelum terjadi kerusakan pada perkerasan lentur.

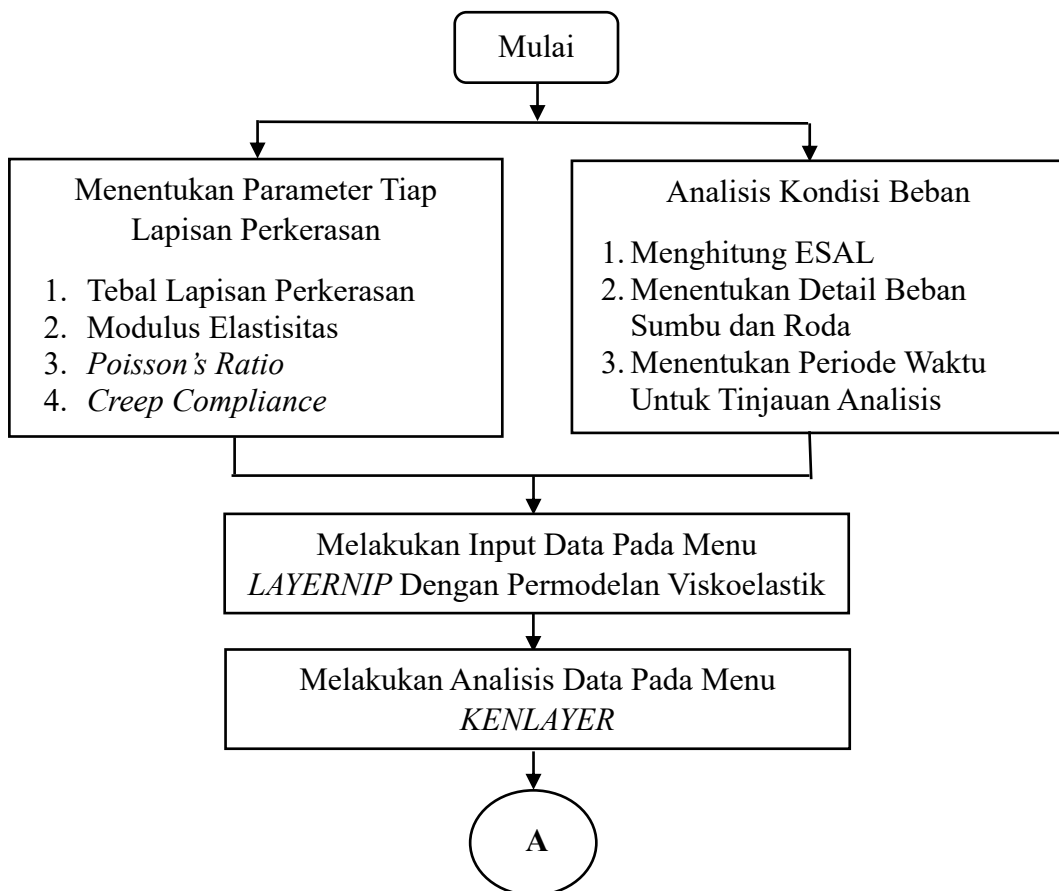
4.4.3 Prosedur Metode KENPAVE Pemodelan Viskoelastik

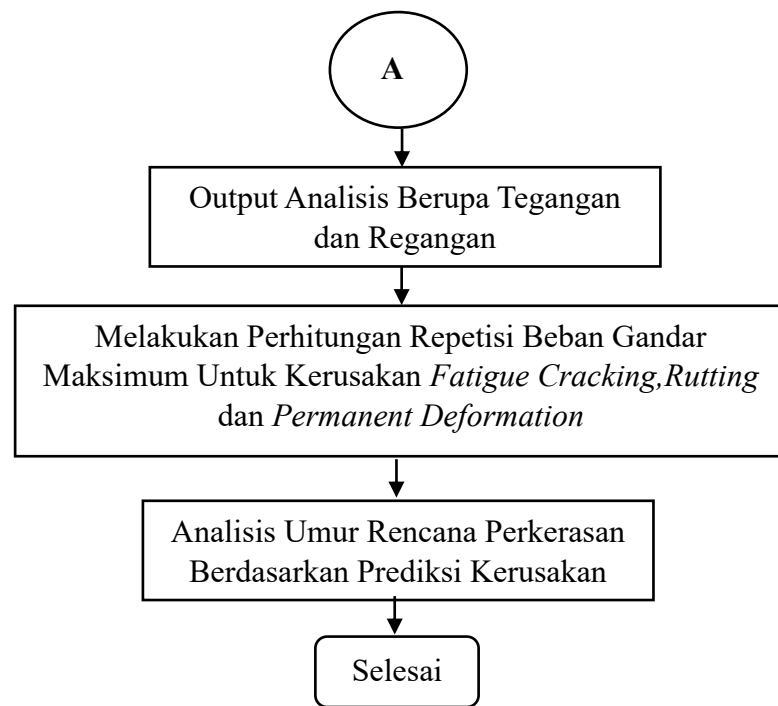
Prosedur dalam melakukan analisis struktur perkerasan jalan menggunakan program KENPAVE dengan permodelan viskoelastik pada perkerasan lentur adalah sebagai berikut.

1. Menentukan data properties material yang akan digunakan dalam pemodelan struktur perkerasan, yaitu antara lain adalah sebagai berikut.
 - a. Tebal lapisan perkerasan
 - b. Nilai modulus elastisitas (E) pada setiap lapisan perkerasan
 - c. Nilai *poisson's ratio* tiap lapisan perkerasan
 - d. Nilai *creep compliance*
2. Menganalisis data-data lalu lintas, diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Menghitung Jumlah *Equivalent Single Axle Load* (ESAL)
- b. Menentukan detail beban sumbu dan roda
- c. Menentukan periode waktu tinjauan untuk analisis
3. Melakukan input data pada menu LAYERNIP dengan menggunakan permodelan elastik.
4. Melakukan analisis data pada menu KENLAYER untuk mengetahui respon perkerasan jalan akibat beban lalu lintas berupa nilai tegangan dan regangan.
5. Melakukan analisis repetisi beban beban gandar maksimum sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.
6. Melakukan analisis prediksi umur pelayanan jalan sebelum terjadi kerusakan pada perkerasan lentur.

Agar lebih memudahkan dalam memahami prosedur penggunaan program KENPAVE, maka disajikan bagan alir seperti pada Gambar 4.4 berikut.





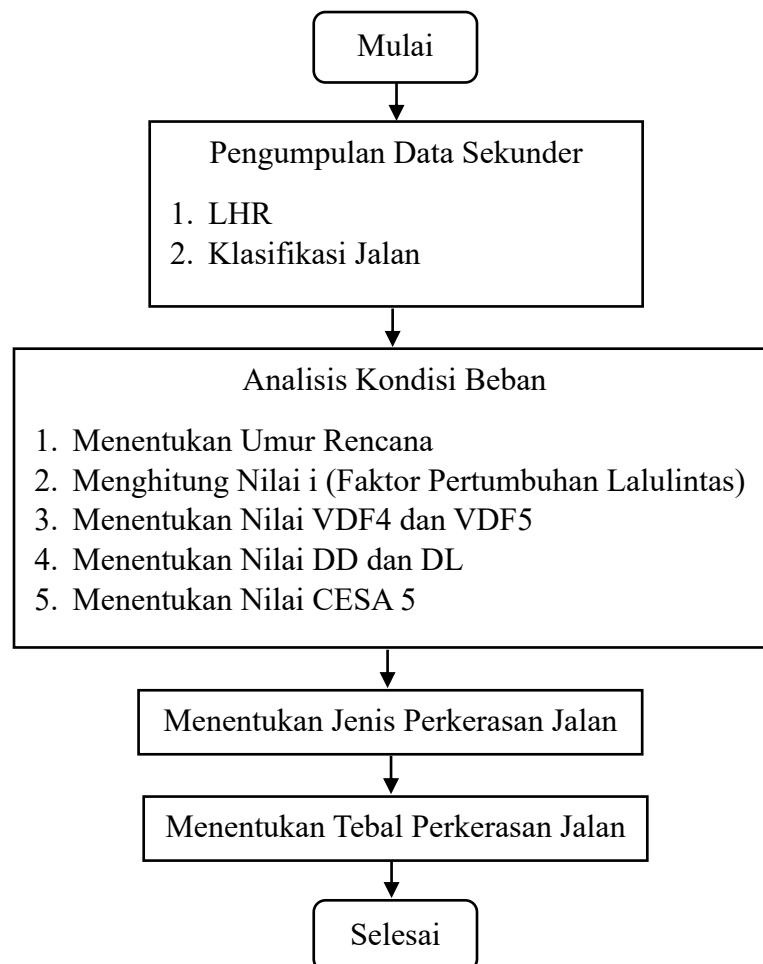
Gambar 4.4 Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program KENPAVE Permodelan Viskoelastik

4.4.4 Prosedur Desain Perkerasan Lentur Alternatif Metode Bina Marga 2017

Berdasarkan Manual Perkerasan Jalan 2017, prosedur dalam mendesain perkerasan lentur adalah sebagai berikut.

1. Menentukan umur rencana.
2. Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas.
3. Menentukan nilai *VDF*.
4. Menentukan faktor distribusi arah (DD) dan juga faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL).
5. Menentukan *CESA* 5 berdasarkan dengan umur rencana dan lalu lintas rencana.
6. Menentukan jenis perkerasan yang akan digunakan.
7. Menentukan tebal perkerasan.

Agar lebih mudah dalam memahami prosedur evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan, dibawah ini disajikan bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Bagan Alir Prosedur Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang sebelumnya telah diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Yogyakarta Bidang Bina Marga.

5.1.1 Data Karakteristik Jalan

Ruas Jalan Klangon – Tempel merupakan jalan provinsi yang dilalui banyak kendaraan berat yang datang dari arah Semarang menuju Yogyakarta. Jalan Klangon-Tempel ini memiliki lebar sepanjang 8 meter dan mempunyai 2 lajur 2 arah.

5.1.2 Data Lalu Lintas

Hasil dari perhitungan lalu lintas harian rata-rata didasarkan pada data yang didapatkan dari laporan Dinas PUPKP bidang Bina Marga Yogyakarta tahun anggaran 2022 dapat dilihat pada Tabel 5.1 yang ditampilkan dibawah ini.

Tabel 5.1 Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan Klangon-Tempel

No	Jenis Kendaraan	LHR 2022 (Unit/Kendaraan)
1	Sepeda Motor	9.772
2	Sedan/jeep	1.059
3	Pick up	0
4	Bus Kecil	476
5	Bus Besar	6
6	Truk 2 Sumbu (4 roda)	5
7	Truk 3 Sumbu	506
8	Truk Semi Trailer	0
9	Kendaraan Tidak Bermotor	47

(Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Permukiman Bidang Bina Marga Kota Yogyakarta ,2023)

5.1.3 Data Tebal Perkerasan Eksisting

Berdasarkan data yang didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Pemukiman Bidang Bina Marga Kota Yogyakarta, tebal perkerasan Jalan Klangon – Tempel adalah sebagai berikut.

<i>AC-WC</i>	= 4 cm
<i>AC-BC</i>	= 6 cm
<i>AC-Base</i>	= 8 cm
Lapis Pondasi Agregat	= 30 cm

5.2 Evaluasi Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program KENPAVE

Evaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan jalan pada pembahasan ini akan dilakukan pada perkerasan lentur eksisting menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik.

5.2.1 Evaluasi Perkerasan Eksisting Menggunakan Permodelan Elastik

Untuk mengetahui kerusakan dan kinerja perkerasan lentur dengan menggunakan program KENPAVE digunakan data tebal perkerasan lentur eksisting yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Permukiman Bidang Bina Marga Kota Yogyakarta.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

1. Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
2. Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 kg/cm² atau 0,55 Mpa.
3. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
4. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter lapis perkerasan

Dalam analisis ini semua lapisan diasumsikan menggunakan material elastik, lapisan tersebut terdiri dari lapisan *hot mix asphalt*, lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar. Berdasarkan hal tersebut maka parameter yang

digunakan dalam perhitungan ini hanya modulus elastisitas dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Parameter Lapisan Perkerasan

<i>AC-WC</i>	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-BC</i>	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-Base</i>	Modulus Elastis (E)	1.600.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	250.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,45

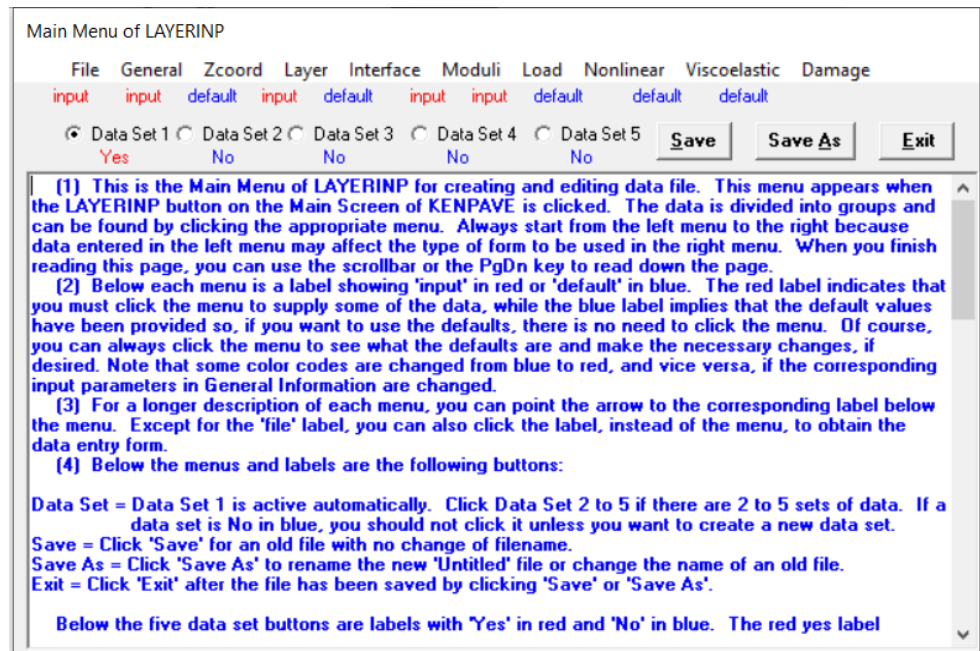
Sumber : Huang (2004)

2. Input Program KENPAVE

Berikut ini merupakan analisis menggunakan program KENPAVE pada perkerasan eksisting untuk mengetahui tegangan dan regangannya dengan beberapa tahapan, dengan tahapannya adalah sebagai berikut.

a. Input *Layernip*

Dalam menu ini tersedia beberapa pilihan dalam mengisi data-data yang dibutuhkan dalam analisis sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur.



Gambar 5.1 Tampilan Menu Layernip

Klik *file* dan klik *new* untuk memulai halaman baru pada menu *Layernip* agar data yang diinputkan kembali ke setelan default.

b. *General*

Setelah itu memasukan data pada menu general adapun data yang dimasukan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Data Input Pada Menu General

Title	Nilai	Keterangan
MATL	1	Bahan material lapisan perkerasan adalah Linear Elastik
NDAMA	0	Tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	Default
NLG	1	Default
DEL	0,001	Standar dari akurasi
NL	5	Total dari lapisan yang dianalisis (AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade)
NZ	5	Total titik tinjauan untuk kerusakan

Lanjutan Tabel 5.3 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
ICL	80	<i>Default</i>
NSDT	9	Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan
NBOND	1	Setiap lapisan terikat satu sama lain
NLBT	0	<i>Default</i>
NLTC	0	<i>Default</i>
NUNIT	1	Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE		Kerusakan Pemodelan Elastik
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)	5
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	5
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

OK

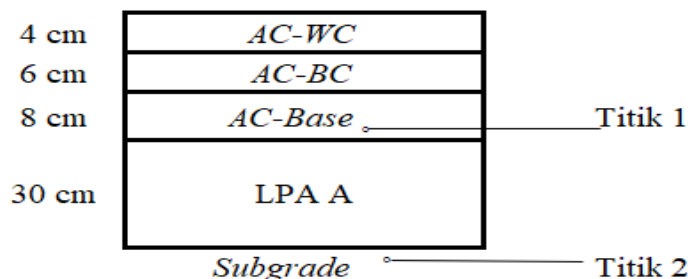
(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage 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 5.2 Tampilan Input Data Pada Menu *General*c. *Zcoord*

Pada bagian ini, data yang dimasukkan adalah kedalaman titik kerusakan yang akan dianalisis. Titik tinjau 1 digunakan untuk menganalisis kerusakan *rutting* dan *fatigue cracking* yang terletak pada bagian bawah aspal. Sedangkan pada titik tinjau 2 yang berada pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*. Untuk lebih jelasnya titik tinjauan yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan

Sedangkan untuk detail data kedalaman yang di masukan pada menu *zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Detail Data Untuk *Input Zcoord*

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	17,999	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	18,001	Permukaan lapis pondasi
4	47,999	Dasar lapis pondasi
5	48,001	<i>Subgrade</i> (Titik tinjau 2)

Selanjutnya adalah memasukan data tersebut pada menu *zcoord*, berikut ini merupakan tampilan menu input *zcoord* pada program KENPAVE.

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Unit: cm

Point No.	ZC
1	0
2	17.999
3	18.001
4	47.999
5	48.001

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

Gambar 5.4 Tampilan Menu Input Data *Zcoord*

d. *Layer*

Menu ini digunakan untuk memasukan data parameter perkerasan yang terdiri dari tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut yang didapatkan dari Huang (2004).

Tabel 5.5 Parameter Perkerasan Untuk *Input Layer*

No Layer	Tebal (cm)	Poisson's Ratio	Keterangan
1	4	0,35	AC-WC
2	6	0,35	AC-BC
3	8	0,35	AC-Base
4	30	0,4	LPA A
5	∞	0,45	Subgrade

Sumber: Huang (2004)

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/m³

Layer No.	TH	PR
1	4	0.35
2	6	0.35
3	8	0.35
4	30	0.4
5	XXXXXXXXXX	0.45

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and 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 5.5 Tampilan Menu Input Data *Layer* Program KENPAVE

e. *Moduli*

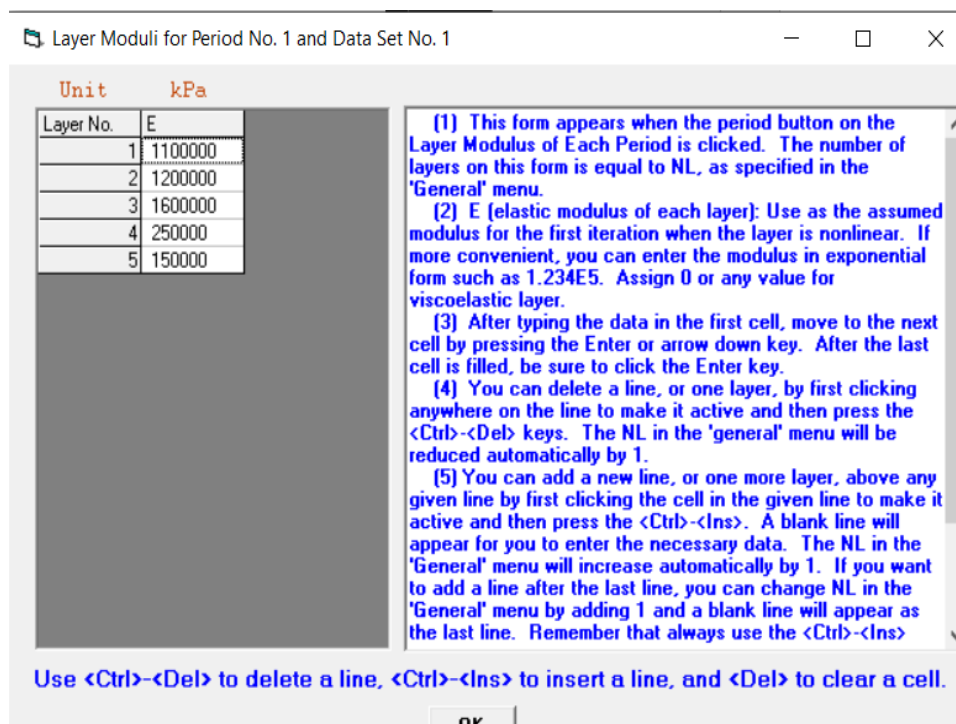
Menu ini memiliki fungsi untuk menginput parameter perkerasan yang berupa modulus *resilient* atau modulus elastis. Nilai modulus elastis yang

digunakan diperoleh dari Huang (2004). Adapun nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Nilai Input Moduli

No	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	1.600.000
4	250.000
5	150.000

Sumber: Huang (2004)



Gambar 5.6 Tampilan Menu *Input Moduli*

f. *Load*

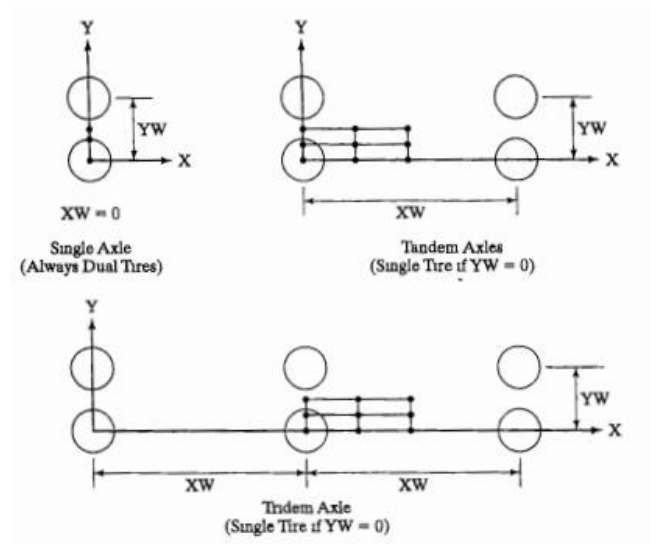
Didalam menu ini data yang akan dimasukan berupa data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) *Load* = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
- 2) *CR* = 11 cm (Berdasarkan nilai jarak antar ban)
- 3) *CP* = 0,55 Mpa = 550 Kpa (Berdasarkan nilai tekanan ban)

4) $YW = 33$ (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)

5) $XW = 0$ (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)

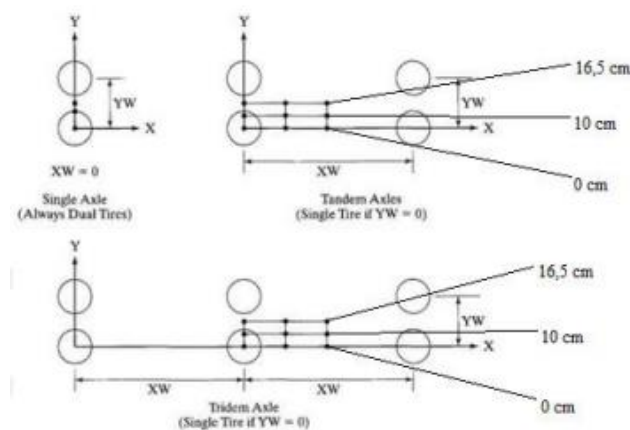
Di dalam analisis ini roda merupakan *single axle with dual tires* sehingga nilai YW dan XW diambil berdasarkan gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Plan View of Multiple Wheels
(Sumber: Huang, 2004)

6) $NPT \text{ or } NR = 3$ (Jumlah koordinat tinjauan)

Sementara nilai NPT ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang terdapat pada jenis roda *Single axle with dual tires*.



Gambar 5.8 Koordinat NPT
(Sumber: Huang 2004)

Tabel 5.7 Koordinat *Input NPT*

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit		cm	kPa	cm	cm	
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	1	11	550	33	0	3

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

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

OK

Gambar 5.9 Tampilan Menu Input Data *Load*

Setelah semua data telah di input pada setiap menu tampilan, langkah selanjutnya adalah simpan dan kembali ke menu utama KENPAVE. Setelah itu data di *running* dengan cara klik dimenu *Kenlayer*. Untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dilakukan dengan cara klik pada menu *Editor* dan buka nama *file*.

3. Hasil Analisis

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan berikut ini merupakan hasil dari *output* tegangan dan regangan dengan permodelan elastik menggunakan program KENPAVE yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Hasil Analisis Program KENPAVE Pemodelan Elastik

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	587,585
		1,06E-04	1,54E-04
	17,999	126,652	-297,478
		2,28E-04	-2,02E-04
	18,001	126,638	19,66
		4,57E-04	-2,02E-04
	47,999	38,679	-14,367
		2,08E-04	-1,18E-04
2	0	550	616,118
		9,14E-05	1,65E-04
	17,999	115,807	-180,813
		1,88E-04	-2,04E-04
	18,001	115,798	34,258
		3,93E-04	-2,04E-04
	47,999	41,671	-16,127
		2,26E-04	-1,25E-04
3	0	0	104,866
		-1,24E-04	7,01E-06
	17,999	107,317	-116,523
		-1,24E-04	-1,93E-04
	18,001	107,312	40,112
		3,51E-04	-2,00E-04
	47,999	42,209	16,416
		2,29E-04	-1,26E-04
	48,001	42,207	5,189
		3,59E-04	-1,26E-04

Tabel 5.9 Rekapitulasi Output Program KENPAVE Permodelan Elastik

Pengulangan Beban	Tegangan Horizontal (17,999)	Regangan Vertikal (17,999)	Regangan Vertikal (48,001)
1	0,0002015 kPa	0,0002277	0,0003340
2	0,0002038 kPa	0,0001882	0,0003549
3	0,0001929 kPa	0,0001242	0,0003586
Maksimum	0,0002038 kPa	0,0002277	0,0003586

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Output yang dihasilkan oleh program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan selanjutnya digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan dalam menahan kerusakan terutama kerusakan *permanent deformation*, *rutting* dan *fatigue cracking*. Analisis kerusakan jalan dilakukan dengan menghitung nilai N_f untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* dan N_d untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*) dimana nilainya diharuskan melebihi nilai *CESA* yang sudah diprediksi. Sementara nilai f_4 dan f_5 yang digunakan berdasarkan rekomendasi *Asphalt Institute*.

a. Perhitungan nilai N_f (*fatigue cracking*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.6 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (0,0002038)^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 118.632.864 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai N_d (*rutting*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.7 untuk beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting*.

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

$$Nd = 1,365 \times 10^{-9} (0,0002277)^{-f5}$$

$$Nd = 27.747.149 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai Nd (*permanent deformation*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.8 untuk beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *permanent deformation*.

$$Nd = f_4 (\epsilon_c)^{-f5}$$

$$Nd = 1,365 \times 10^{-9} (0,0003386)^{-f5}$$

$$Nd = 3.631.971 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Berdasarkan analisis tegangan dan regangan yang dihasilkan dari hasil analisis program KENPAVE dapat diketahui bahwa ruas Jalan Klangon-Tempel pada kondisi eksisting akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* saat dilewati beban gandar sejumlah 118.632.864 *ESAL*, sedangkan kerusakan *rutting* akan terjadi saat dilewati beban gandar sejumlah 27.747.149 *ESAL*, sementara itu untuk kerusakan *permanent deformation* akan terjadi pada saat dilewati beban gandar sejumlah 3.631.971 *ESAL*. Berdasarkan analisis tersebut dapat diketahui kerusakan awal yang terjadi adalah *permanent deformation*. Dari hasil besaran beban gandar yang sudah diketahui tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur pelayanan Jalan Klangon-Tempel terhadap kerusakan yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan untuk kerusakan *permanent deformation* menggunakan persamaan 3.9 adalah sebagai berikut ini.

$$ESA_I = [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R]$$

$$ESA_I = [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}]$$

$$\begin{aligned} 3.631.971 = & [(8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ & [(7 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ & [(675 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ & [(40 \times 62,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [(12 \times 24) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
3.631.971 = & [292 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [1277,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [24564,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [454060 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [52560 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
3.631.971 = & ((1,152)^{UR} - 1) \times (1917,269 + 8388,050 + 161290,217 + \\
& 2981352,594 + 345108,338) \\
3.631.971 = & ((1,152)^{UR} - 1) \times 3498056,467 \\
1,038282 = & ((1,152)^{UR} - 1) \\
2,038282 = & (1,152)^{UR} \\
UR = & {}^{1,152}\log 2,038282 \\
UR = & \frac{\log b}{\log a} \\
UR = & \frac{\log 2,038282}{\log 1,152} \\
UR = & 5,023334378 \text{ Tahun} \approx 5 \text{ Tahun}
\end{aligned}$$

Hasil untuk prediksi umur masa pelayanan perkerasan eksisting dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Eksisting Pemodelan Elastik

Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (<i>ESAL</i>)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	118.632.864	25
<i>Rutting</i>	27.747.149	15
<i>Permanent Deformation</i>	3.631.971	5

Berdasarkan Tabel 5.10 dapat terlihat bahwa Jalan Klangon-Tempel pertamakali mengalami kerusakan *Permanent Deformation* pada tahun ke 5 saat

beban gandar maksimum sebesar 3.631.971 *ESAL*. Hal ini menunjukkan bahwa perkerasan eksisting permodelan elastik tidak dapat menahan beban lalu lintas selama masa pelayanan jalan rencana 10 tahun. Hal ini disebabkan karena pada tahun ke-5 terjadi kerusakan *Permanent Deformation*. Sementara untuk kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke 15 dengan beban gandar maksimum 27.747.149 *ESAL* dan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke 25 dengan beban gandar maksimum 118.632.864 *ESAL*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perkerasan eksisting dengan permodelan elastik mampu untuk menahan beban lalu lintas selama masa pelayanan jalan sampai terjadi kerusakan *rutting* dan kerusakan *fatigue cracking* selama masa umur rencana 10 tahun.

5.2.2 Evaluasi Perkerasan Eksisting Menggunakan Permodelan Viskoelastik

Untuk mengetahui kerusakan dan kinerja perkerasan lentur dengan menggunakan program KENPAVE digunakan data tebal perkerasan eksisting yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Permukiman Bidang Bina Marga Kota Yogyakarta.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

1. Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
2. Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 kg/cm² atau 0,55 Mpa.
3. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
4. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter lapis perkerasan

Dalam analisis ini lapisan permukaan perkerasan menggunakan material berbahan viskoelastik, sehingga perhitungan ini dilakukan berdasarkan *creep compliances*. Sementara pada lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan berbahan viskoelastik. Parameter modulus elastis dan *poisson ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Parameter Lapisan Perkerasan

<i>AC-WC</i>	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-BC</i>	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-Base</i>	Modulus Elastis (E)	1.600.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	250.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,45

Sumber : Huang (2004)

Perhitungan *creep compliance* dilakukan pada 11 durasi waktu yang berbeda yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3 ; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100 sesuai yang disarankan *FHWA*. *Creep compliance* digunakan untuk mengetahui sifat viskoelastik pada lapisan perkerasan yang mengandung bahan ikat aspal. Pada pembahasan ini, terdapat tiga lapisan perkerasan yang mengandung bahan ikat aspal yang diasumsikan bersifat viskoelastik yaitu lapisan *AC-WC*, *AC-BC* dan *AC-Base*. Sebagai contoh perhitungan *creep compliance* untuk lapisan *AC-WC* pada durasi waktu 0,001 dengan menggunakan persamaan 3.4 adalah sebagai 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 diatas, didapatkan hasil nilai *creep compliance* untuk lapisan *AC-WC* pada durasi waktu 0,001 detik yaitu sebesar $7,956 \times 10^{-10}$. Rekapitulasi hasil perhitungan *creep compliance* untuk setiap lapisan pada

masing-masing durasi waktunya dengan langkah yang sama seperti contoh perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Nilai *Creep Compliances*

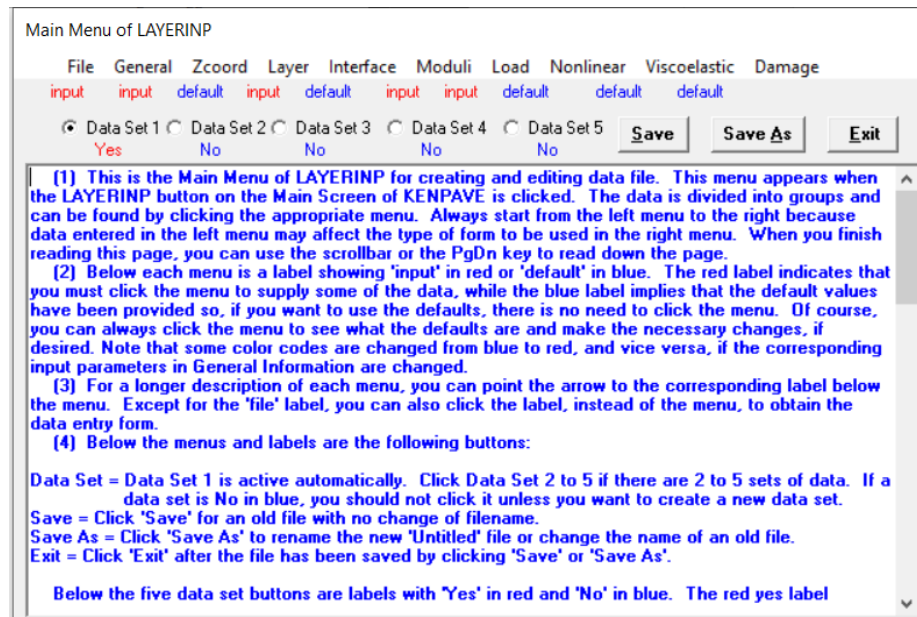
<i>Time</i>	<i>Creep Compliances</i>		
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-Base</i>
0,001	$7,956 \times 10^{-10}$	$6,938 \times 10^{-10}$	$5,204 \times 10^{-10}$
0,003	$2,268 \times 10^{-9}$	$2,079 \times 10^{-9}$	$1,559 \times 10^{-9}$
0,01	$7,541 \times 10^{-9}$	$6,912 \times 10^{-9}$	$5,184 \times 10^{-9}$
0,03	$2,243 \times 10^{-8}$	$2,056 \times 10^{-8}$	$1,542 \times 10^{-8}$
0,1	$7,265 \times 10^{-8}$	$6,660 \times 10^{-8}$	$4,995 \times 10^{-8}$
0,3	$2,010 \times 10^{-7}$	$1,842 \times 10^{-7}$	$1,382 \times 10^{-7}$
1	$5,138 \times 10^{-7}$	$4,710 \times 10^{-7}$	$3,532 \times 10^{-7}$
3	$8,343 \times 10^{-7}$	$7,648 \times 10^{-7}$	$5,736 \times 10^{-7}$
10	$9,088 \times 10^{-7}$	$8,331 \times 10^{-7}$	$6,248 \times 10^{-7}$
30	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$	$6,250 \times 10^{-7}$
100	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$	$6,250 \times 10^{-7}$

2. Input Program KENPAVE

Berikut ini merupakan analisis menggunakan program KENPAVE pada perkerasan eksisting untuk mengetahui tegangan dan regangannya dengan beberapa tahapan, dengan tahapannya adalah sebagai berikut.

a. Input *Layernip*

Didalam menu ini tersedia beberapa pilihan dalam mengisi data-data yang dibutuhkan dalam analisis sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur.



Gambar 5.10 Tampilan Menu *Layernip*

Klik *file* dan klik *new* untuk memulai halaman baru pada menu *Layernip* agar data yang diinputkan kembali ke setelan *default*.

b. *General*

Setelah itu memasukan data pada menu general adapun data yang dimasukan dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
MATL	3	Bahan material lapisan perkerasan adalah Viskoelastik
NDAMA	0	Tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	<i>Default</i>
NLG	1	<i>Default</i>
DEL	0,001	Standar dari akurasi
NL	5	Total dari lapisan yang dianalisis (<i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPAA, Subgrade</i>)
NZ	5	Total titik tinjauan untuk kerusakan

Lanjutan Tabel 5.13 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
ICL	80	<i>Default</i>
NSDT	9	Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan
NBOND	1	Setiap lapisan terikat satu sama lain
NLBT	1	<i>Default</i>
NLTC	1	<i>Default</i>
NUNIT	1	Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE Eksisting Viskoelastik

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
Number of layers	(NL)	5
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	5
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)	1

OK

(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.

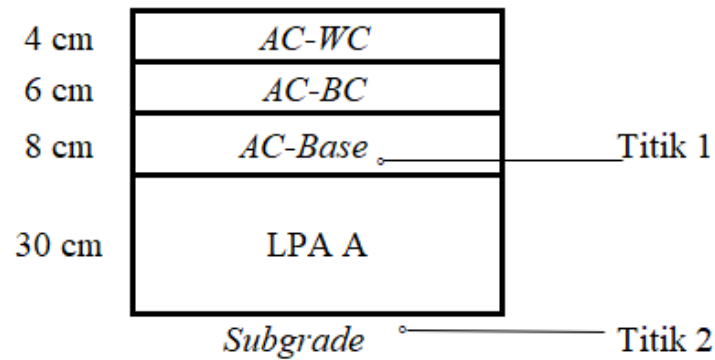
(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Gambar 5.11 Tampilan Input Data Pada Menu *General*

c. Zcoord

Pada bagian ini data yang dimasukan adalah data kedalaman dari titik kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking* yang berada pada bagian bawah aspal. Sedangkan pada titik tinjau 2 yang berada pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*.

Untuk lebih jelasnya titik tinjauan yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.12 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan

Sedangkan untuk detail data kedalaman yang di masukan pada menu *zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Detail Data Untuk Input *Zcoord*

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	17,999	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	18,001	Permukaan lapis pondasi
4	47,999	Dasar lapis pondasi
5	48,001	<i>Subgrade</i> (Titik tinjau 2)

Selanjutnya adalah memasukan data tersebut pada menu *zcoord*, berikut ini merupakan tampilan menu input *zcoord* pada program KENPAVE.

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Unit cm

Point No.	ZC
1	0
2	17.999
3	48.001
4	47.999
5	48.001

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

OK

Gambar 5.13 Tampilan Menu Input Data Zcoord

d. *Layer*

Menu ini digunakan untuk memasukan data parameter perkerasan yang terdiri dari tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut yang didapatkan dari Huang (2004).

Tabel 5.15 Parameter Perkerasan Untuk *Input Layer*

No Layer	Tebal (cm)	Poisson's Ratio	Keterangan
1	4	0,35	AC-WC
2	6	0,35	AC-BC
3	8	0,35	AC-Base
4	30	0,4	LPA A
5	∞	0,45	Subgrade

Sumber: Huang (2004)

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/m³

Layer No.	TH	PR
1	4	0.35
2	6	0.35
3	8	0.35
4	30	0.4
5	XXXXXXXXXX	0.45

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and 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 5.14 Tampilan Menu Input Data *Layer* Program KENPAVE

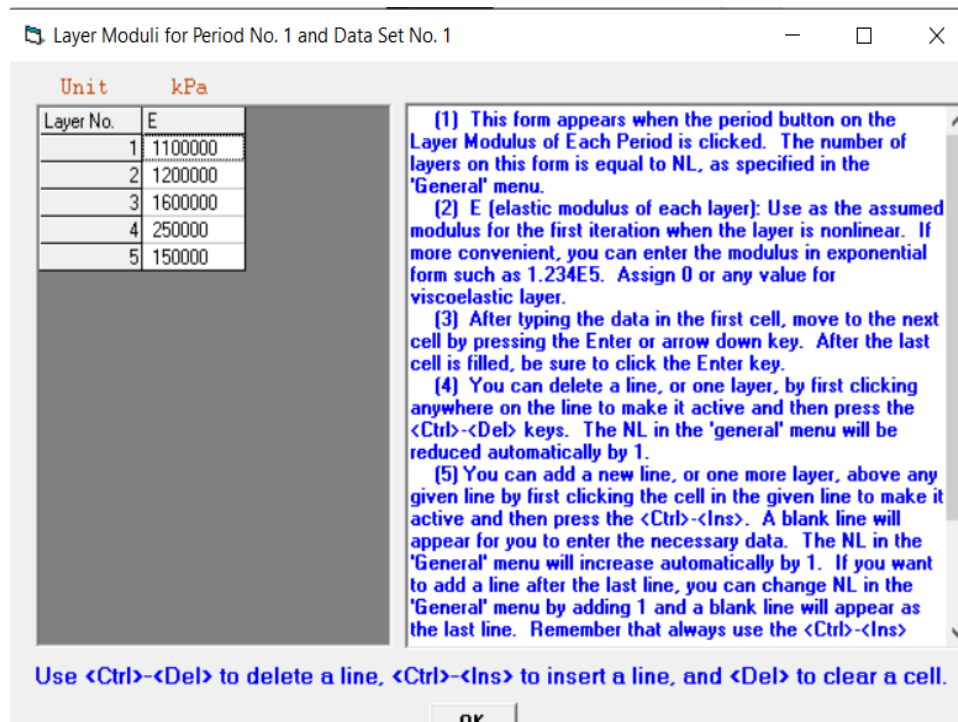
e. *Moduli*

Menu ini memiliki fungsi untuk menginput parameter perkerasan yang berupa modulus *resilent* atau modulus elastis. Nilai modulus elastis yang digunakan diperoleh dari Huang (2004). Adapun nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Nilai *Input Moduli*

No	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	1.600.000
4	250.000
5	150.000

Sumber: Huang (2004)



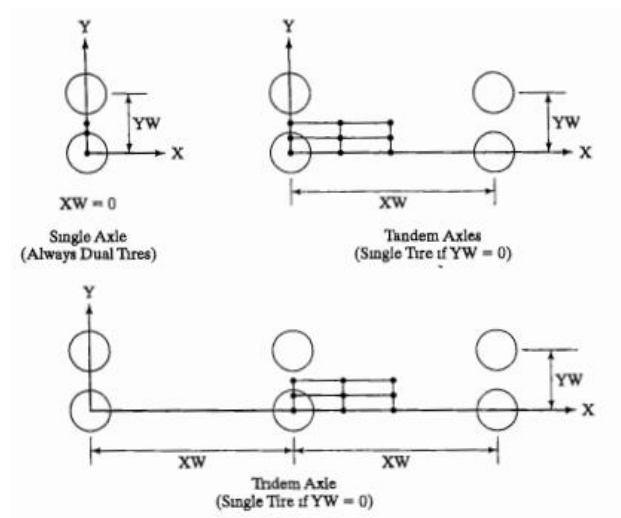
Gambar 5.15 Tampilan Menu *Input Moduli*

f. *Load*

Didalam menu ini data yang akan dimasukan berupa data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) Load = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
- 2) CR = 11 cm (Berdasarkan nilai jarak antar ban)
- 3) CP = 0,55 Mpa = 550 Kpa (Berdasarkan nilai tekanan ban)
- 4) YW = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
- 5) XW = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)

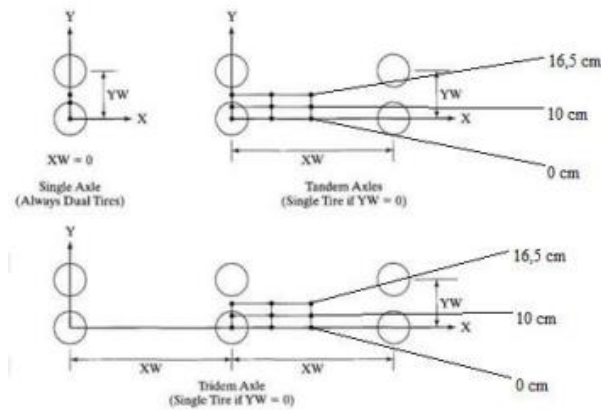
Di dalam analisis ini roda merupakan single axle with dual tires sehingga nilai YW dan XW diambil berdasarkan Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Plan View of Multiple Wheels
(Sumber: Huang, 2004)

- 6) NPT or NR = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

Sementara nilai NPT ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang terdapat pada jenis roda *Single axle with dual tires*.



Gambar 5.17 Koordinat NPT
(Sumber: Huang 2004)

Tabel 5.17 Koordinat Input NPT

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit	cm	kPa	cm	cm	
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW
1	1	11	550	33	0
					NR or NPT
					3

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

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8 for wheel and axle arrangements.

(2) LOAD (type of loading): Assign 0 for single axle with single tire, 1 for single axle with dual tires, 2 for tandem axles, and 3 for tridem axles.

(3) CR (contact radius of circular loaded ares).

(4) CP (contact pressure on circular loaded ares).

(5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y axis): Assign 0 if there is only one wheel or LOAD = 0.

(6) XW (center to center spacing between two axles along the x axis): Assign 0 if only one axle exists, i.e. LOAD = 0 or 1.

(7) NR (number of radial coordinates to be analyzed under a single wheel, maximum 25): A single

OK

Gambar 5.18 Tampilan Menu Input Data Load

g. *Viscoelastic*

1) *General*

Load Duration (DUR) = 0,1

Number Of Viscoelastic Layers = 3

Number Of Durations For Creep Compliances = 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)	3
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 5.19 Tampilan Menu Input *General*2) *Time*

Menu time ini merupakan input waktu untuk menghitung *creep compliances* dimana digunakan 11 variasi waktu dan dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 *Time of Durations for Creep Compliances*

<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)

Time Durations of Creep Compliances for Data Set No. 1

Unit sec

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

(1) This form appears when the 'Duration' menu on the Viscoelastic Layers Menu is clicked. The number of time sequences on this form is equal to NTYME, as specified in the Viscoelastic General Information.

(2) TYME (times at which creep compliances are to be specified). For moving load, the 11 default times from 0.001 to 100 sec should be used, if possible, so the creep compliances can be computed more accurately from one temperature to the other over a wide range, when needed. For stationary load without temperature conversion, any TYME duration may be used.

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

(4) You can delete a line, or one time sequence, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>- keys. The NTYME in the Viscoelastic General Information will be reduced automatically by 1.

(5) You can add a new line, or one more sequence, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NTYME in the Viscoelastic General Information will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NTYME in the Viscoelastic General

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

OK

Gambar 5.20 Tampilan Menu Input *Time*3) *Layer*Nilai beta (β) = 0,113 (Huang, 2004)*Temperature* = 25°C

Viscoelastic Layer Information for Data Set No. 1

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

Unit per C C

Sequence	LAYNO	BETA	TEMPREF
1	1	0.113	25
2	2	0.113	25
3	3	0.113	25

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

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Viscoelastic Layers Menu is clicked. The number of viscoelastic layers on this form is equal to NVL, as specified in the Viscoelastic General Information. Note that the cursor is now in the upper left cell, as indicated by the dotted rectangle, 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 should click this textbox to make it active. After finishing reading, you should click the cell before typing in the data.

(2) LAYNO (layer number in the layer system which is viscoelastic).

(3) BETA (temperature shift coefficient): This factor is obtained from the slope of the time-temperature shift factor versus temperature on a semilog plot.

OK

Gambar 5.21 Tampilan Menu Input *Viscoelastic Layer*

4) *Creep Compliances*

Pada menu *Creep Compliances* input data dilakukan sesuai hasil perhitungan sebelumnya yang dapat dilihat tabel 5.14. Untuk jumlah lapisan perkerasan yang perlu diinput nilai *creep compliance* menyesuaikan nilai NVL yang telah dimasukan pada menu *general viscoelastic*. Pada pembahasan ini terdapat tiga lapisan perkerasan yang memiliki bahan ikat aspal dan dianggap memiliki sifat viskoelastik yaitu lapis *AC-WC*, *AC-BC*, *AC-Base*. Tampilan menu input *creep compliance* pada setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.22, Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 berikut ini.

Creep Compliances of Layer No. 1 for Data Set No. 1

Unit per kPa

TYME	CREEP
.001	7.956E-10
.003	2.268E-09
.01	7.541E-09
.03	2.243E-08
.1	7.265E-08
.3	2.010E-07
1	5.138E-07
3	8.343E-07
10	9.088E-07
30	9.090E-07
100	9.090E-07

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

OK

Gambar 5.22 Tampilan Menu *Input Creep Compliance Layer 1*

Creep Compliances of Layer No. 2 for Data Set No. 1

Unit per kPa

TYME	CREEP
.001	6.913E-10
.003	2.079E-09
.01	6.912E-09
.03	2.056E-08
.1	6.660E-08
.3	1.842E-07
1	4.710E-07
3	7.648E-07
10	8.331E-07
30	8.333E-07
100	8.333E-07

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

OK

Gambar 5.23 Tampilan Menu *Input Creep Compliance Layer 2*

Creep Compliances of Layer No. 3 for Data Set No. 1

Unit per kPa

TYME	CREEP
.001	5.204E-10
.003	1.559E-09
.01	5.184E-09
.03	1.542E-08
.1	4.995E-08
.3	1.382E-07
1	3.532E-07
3	5.733E-07
10	6.248E-07
30	6.250E-07
100	6.250E-07

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

OK

Gambar 5. 24 Tampilan Menu *Input Creep Compliance Layer 3*

5) *Temperature*

Temperatur yang digunakan sama dengan temperatur yang digunakan pada menu *layer* yaitu 25°C.

Setelah semua data telah di input pada setiap menu tampilan, langkah selanjutnya adalah simpan dan kembali ke menu utama KENPAVE. Setelah itu data di *running* dengan cara klik dimenu *Kenlayer*. Untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dilakukan dengan cara klik pada menu *Editor* dan buka nama *file*.

3. Hasil Analisis

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan berikut ini merupakan hasil dari output tegangan dan regangan dengan pemodelan viskoelastik menggunakan program KENPAVE yang dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Hasil Analisis KENPAVE Pemodelan Viskoelastik

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	997,557
		-8,33E-05	1,06E-04
	17,999	14,234	-1.515,581
		2,35E-04	-2,39E-04
	18,001	14,234	4,487
		4,29E-04	-1,39E-04
	47,999	8,821	-1,181
		3,95E-04	-1,84E-04
	48,001	8,820	2,529
		4,38E-04	-1,84E-04
2	0	550	1.083,048
		-1,05E-04	1,08E-04
	17,999	14,366	-1.431,520
		2,31E-04	2,43E-04
	18,001	14,365	5,058
		4,26E-04	-1,43E-04
	47,999	9,082	-1,328
		4,10E-04	-1,88E-04
	48,001	9,082	2,580
		4,55E-04	-1,88E-04

Lanjutan Tabel 5.19 Hasil Analisis KENPAVE Permodelan Viskoelastik

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
3	0	0	1.065
		-1,03E-04	1,05E-04
	17,999	14,231	-1.356,050
		2,26E-04	-2,43E-04
	18,001	14,231	5,236
		4,18E-04	-1,43E-04
	47,999	9,138	-1,342
		4,13E-04	-1,89E-04
	48,001	9,137	2,600
		4,58E-04	-1,89E-04

Tabel 5.20 Rekapitulasi Output Program KENPAVE Permodelan Viskoelastik

Pengulangan Beban	Tegangan Horizontal (17,999)	Regangan Vertikal (17,999)	Regangan Vertikal (48,001)
1	0,0002393 kPa	0,0002351	0,0004377
2	0,0002430 kPa	0,0002306	0,0004547
3	0,0002425 kPa	0,0002425	0,0004576
Maksimum	0,0002430 kPa	0,0002425	0,0004576

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Output yang dihasilkan oleh program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan selanjutnya digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan dalam menahan kerusakan terutama kerusakan *permanent deformation*, *rutting* dan *fatigue cracking*. Analisis kerusakan jalan dilakukan dengan menghitung nilai N_f untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* dan N_d untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*, dimana nilainya diharuskan melebihi nilai *CESA* yang sudah diprediksi.

Sementara nilai f_4 dan f_5 yang digunakan berdasarkan rekomendasi *Asphalt Institute*.

a. Perhitungan nilai N_f (*fatigue cracking*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.6 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (0,0002430)^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 59.515.818 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai N_d (*rutting*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.7 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0002425)^{-f_5}$$

$$N_d = 20.930.431 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai N_d (*permanent deformation*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.8 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi *permanent deformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0004576)^{-f_5}$$

$$N_d = 1.219.374 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Berdasarkan analisis tegangan dan regangan yang dihasilkan dari hasil analisis program KENPAVE dapat diketahui bahwa ruas Jalan Klangon-Tempel pada kondisi eksisting akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* saat dilewati beban gandar sejumlah 59.515.818 ESAL, sedangkan kerusakan *rutting* akan terjadi saat dilewati beban gandar sejumlah 20.930.431 ESAL, sementara itu kerusakan *permanent deformation* akan terjadi pada saat dilewati beban gandar sejumlah 1.219.374 ESAL. Berdasarkan analisis tersebut dapat diketahui kerusakan awal

yang terjadi adalah *permanent deformation*. Dari hasil besaran beban gandar yang sudah diketahui tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur pelayanan Jalan Klangon-Tempel terhadap kerusakan yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan untuk kerusakan *permanent deformation* menggunakan persamaan 3.9 adalah sebagai berikut ini.

$$ESA_I = [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R]$$

$$ESA_I = [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}]$$

$$\begin{aligned} 1.219.374 = & [(8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ & [(7 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ & [(675 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ & [(40 \times 62,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ & [(12 \times 24) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.219.374 = & [292 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\ & [1277,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\ & [24564,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\ & [454060 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\ & [52560 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \end{aligned}$$

$$1.219.374 = ((1,152)^{UR} - 1) \times (1917,269 + 8388,050 + 161290,217 + 2981352,594 + 345108,338)$$

$$1.219.374 = ((1,152)^{UR} - 1) \times 3498056,467$$

$$0,348586 = ((1,152)^{UR} - 1)$$

$$1,348586 = (1,152)^{UR}$$

$$UR = {}^{1,152}\log 1,348586$$

$$UR = \frac{\log b}{\log a}$$

$$UR = \frac{\log 1,348586}{\log 1,152}$$

$$UR = 2,109598993 \text{ Tahun} \approx 2 \text{ Tahun}$$

Hasil untuk prediksi umur masa pelayanan perkerasan eksisting dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dengan permodelan viskoelastik dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Eksisting
Permodelan Viskoelastik**

Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	59.515.818	20
<i>Rutting</i>	20.930.431	14
<i>Permanent Deformation</i>	1.219.374	2

Berdasarkan Tabel 5.21 dapat dilihat bahwa Jalan Klangon-Tempel pertamakali mengalami kerusakan *Permanent Deformation* pada tahun ke 2 saat beban gandar maksimum sebesar 1.219.374 ESAL. Hal ini menunjukkan bahwa perkerasan eksisting dengan pemodelan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 10 tahun karena terjadi kerusakan *Permanent Deformation* pada tahun ke 2. Sementara untuk kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke 14 dengan beban gandar maksimum 20.930.431 ESAL dan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke 20 dengan beban gandar maksimum 59.515.818 ESAL. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perkerasan eksisting dengan pemodelan viskoelastik mampu untuk menahan beban maksimum untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* selama masa umur rencana yaitu 10 tahun.

5.3 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Program KENPAVE

Hasil analisis pada perkerasan lentur eksisting menunjukkan ruas Jalan Klangon-Tempel Yogyakarta tidak mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif desain perkerasan yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk melakukan perencanaan desain tebal perkerasan alternatif adalah metode Bina Marga 2017.

5.3.1 Desain Perkerasan Lentur Alternatif Metode Bina Marga 2017

Perancangan desain perkerasan lentur alternatif dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dilakukan dengan beberapa tahapan dalam pengerjaannya. Adapun tahapan yang harus dikerjakan adalah sebagai berikut ini.

1. Umur Rencana

Umur rencana ditentukan berdasarkan Tabel 3.3 yaitu didapat umur rencana selama 20 tahun.

2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dihitung dengan menggunakan persamaan 3.10 dimana perhitungan tersebut dilakukan berdasarkan data LHR yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Yogyakarta Bidang Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.22 Data LHR Untuk Perhitungan Pertumbuhan Lalu Lintas

No	Tahun	Rekap LHR Klangon-Tempel (Unit/Kendaraan)
1	2019	10.106
2	2020	7.646
3	2021	11.153
4	2022	12.025

Sumber: Dinas PUPKP Kota Yogyakarta Bidang Bina Marga

Dengan menggunakan data LHR Tabel 5.22 dan Persamaan 3.10 maka faktor pertumbuhan lalulintas dapat ditentukan dengan langkah sebagai berikut ini.

$$i(2021 - 2019) = \sqrt[2]{\frac{11.153}{10.106}} - 1 \times 100\%$$

$$= 5,05\%$$

$$i(2022 - 2020) = \sqrt[2]{\frac{12.025}{7.646}} - 1 \times 100\%$$

$$= 25,41\%$$

$$i = \frac{25,41 + 5,05}{2}$$

$$= 15,23\%$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan pertumbuhan lalu lintas yaitu sebesar 15,23%. Sebagai catatan bahwa hasil perhitungan menunjukkan nilai pertumbuhan yang cukup tinggi yang disebabkan oleh kondisi khusus yang terjadi pada tahun 2020 dimana pada tahun tersebut terjadi pandemi covid-19 sehingga mempengaruhi nilai LHR pada tahun tersebut karena adanya pembatasan kegiatan diluar rumah.

3. Faktor Penggali Pertumbuhan Lalu Lintas

Dengan menggunakan persamaan 3.11 nilai faktor penggali pertumbuhan lalulintas dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut ini.

$$R \text{ aktual} = \frac{1 + [0,01i]^{UR} - 1}{0,01i}$$

$$= \frac{1 + [0,01 \times 15,35]^2 - 1}{0,01 \times 15,35}$$

$$= 2,001$$

$$R \text{ normal} = \frac{1 + [0,01i]^{UR} - 1}{0,01i}$$

$$= \frac{1 + [0,01 \times 15,35]^{18} - 1}{0,01 \times 15,35}$$

$$= 18,236$$

4. Faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur (DL).

Jalan Klagon-Tempel merupakan jalan dengan sistem dua arah sehingga nilai faktor distribusi arah (DD) berdasarkan tabel 3.5 diambil nilai sebesar 0,5. Sementara untuk faktor distribusi lajur (DL) berdasarkan tabel 3.6 diambil nilai 100%.

5. *VDF (Vehicle Damage Factor)*

Nilai *VDF* yang digunakan dalam perhitungan tebal perkerasan alternatif yang digunakan untuk menghitung ESA adalah *VDF* normal karena desain jalan direncanakan akan dibangun pada tahun 2022 dan akan beroperasi pada tahun 2024, sehingga merujuk pada metode Bina Marga 2017 yang menyatakan tingkat pembebanan faktual berlebih diasumsikan berlangsung sampai tahun 2020. Setelah tahun 2020, diasumsikan beban kendaraan sudah terkendali dengan beban sumbu nominal terberat (MST) 12 ton. Untuk nilai *VDF* ditentukan berdasarkan Tabel 3.7, sedangkan untuk hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut ini.

Tabel 5.23 Nilai VDF (Vehicle Damage Factor) Untuk Perhitungan ESA

Kode	Jenis Kendaraan	<i>VDF</i> 4 (Normal)	<i>VDF</i> 5 (Normal)
1	Sepeda Motor	0	0
2	Sedan, Jeep	0	0
3	Mini Bus	0	0
4	Pick up	0	0
5a	Bus Kecil	0,2	0,2
5b	Bus Besar	1	1
6a	Truk 2 As (4 roda)	0,5	0,3
6b	Truk 2 As (6 roda)	9,2	7,3
7a	Truk 3 As	10,2	28,9
7b	Trailer 4 As, Truk Gandeng	13,7	36,9
7c	Truk Semi Trailer	18,1	13,6
8	Kendaraan Tidak Bermotor	0	0

(Sumber: Bina Marga 2017)

Karena penedekatan desain menggunakan mekanistik-empiris maka dari data VDF yang telah ditentukan sebelumnya langkah selanjutnya dapat dihitung nilai ESAL 5 pada saat proses pembangunan jalan (22-24) dan 5 ESAL pada saat jalan mulai beroperasi sampai umur rencana (24-44). Berikut ini merupakan contoh perhitungan ESAL pada kendaraan golongan 5a dengan menggunakan persamaan 3.13.

$$\begin{aligned}
 \text{LHR 2024} &= \text{LHR 2022} \times (1+i)^{\text{UR}} \\
 &= 6 \times (1 + 15,23)^2 \\
 &= 8 \\
 \text{ESA (22-24)} &= (\Sigma \text{LHR} \times \text{VDF}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\
 &= (8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 2,0015 \\
 &= 584,449 \\
 \text{ESA (22-24)} &= (\Sigma \text{LHR} \times \text{VDF}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\
 &= (8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 18,236 \\
 &= 5325,131
 \end{aligned}$$

Untuk rekapitulasi perhitungan jenis kendaraan lain dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut ini.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Perhitungan Nilai *ESAL*

Jenis Kendaraan	LHR 2022	LHR 2024	VDF 4 (Normal)	VDF 5 (Normal)	ESA 5 (22-24)	ESA 5 (24-44)
1	9.772	13.002	0	0	0	0
2	1.059	1.410	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	476	634	0	0	0	0
5a	6	8	0,2	0,2	438,3336567	5324,622207
5b	5	7	1	1	1826,390236	23295,22215
6a	506	674	0,5	0,3	92415,34594	447268,2654
6b	0	0	9,2	7,3	0	0
7a	58	78	10,2	28,9	208208,7852	8279989,978
7b	0	0	13,7	36,9	0	0
7c	13	18	18,1	13,6	65092,64125	958455,4315
8	175	233	0	0	0	0
Jumlah ESA5					367981,6319	9715010,749
CESA5(2024-2044)					10.082.992	
					10,083	

Dari hasil perhitungan Tabel 5.24 tersebut maka didapatkan hasil CESA5 (2024-2044) yaitu sebesar 10.082.992 ESAL.

6. Menentukan tipe perkerasan

Dalam MDPJ 2017 dijelaskan bahwa desain tebal perkerasan didasarkan pada nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 tergantung pada model kerusakan (*deterioration model*) dan pendekatan desain yang digunakan. Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan aspal beton dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan tebal *overlay* berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak lelah (*fatigue*). Hasil CESA 5 yang sudah didapatkan digunakan untuk menentukan tipe perkerasan karena pendekatan desain merupakan pendekatan mekanistik empiris. Berdasarkan perhitungan didapatkan CESA 5 yaitu sebesar 10.082.992 ESAL maka tipe perkerasan yang akan digunakan dalam desain berdasarkan Tabel 3.8 yaitu AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir dan AC dengan CTB.

Tabel 5.25 Pemilihan Tipe Perkerasan

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

7. Desain tebal perkerasan

Untuk mendapatkan desain tebal perkerasan ditentukan berdasarkan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 menggunakan nilai *CESA* 5 sebesar 10.008.611 *ESAL* sehingga didapatkan tebal lapisan perkerasan lentur sebagai berikut.

Tabel 5.26 Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 2							
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	< 2	≥ 2 – 7	> 7 – 10	> 10 – 20	> 20 – 30	> 30 – 50	> 50 – 100	> 100 – 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2	3					

(Sumber: Bina Marga 2017)

AC-WC	40 mm
AC-BC	60 mm
AC Base	145 mm
LPA Kelas A	300 mm
Subgrade	

Gambar 5.25 Tebal Perkerasan Alternatif 1

Tabel 5.27 Desain Perkerasan Lentur AC Dengan CTB

	F1	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3 C	Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (106 ESA5)	> 10 – 30	> 30 – 50	> 50–100	> 100–200	> 200–500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	40	40
AC BC4	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB3	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

AC-WC	40 mm
AC-BC	60 mm
AC Base	100 mm
CTB	150 mm
LPA Kelas A	150 mm
Subgrade	

Gambar 5.26 Tebal Perkerasan Alternatif 2

Setelah dilakukan desain tebal perkerasan lentur dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan didapatkan 2 alternatif desain maka selanjutnya

adalah desain tersebut dianalisis menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik untuk mengevaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan tersebut.

5.3.2 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 Permodelan Elastik

Untuk mengevaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan lentur dari desain alternatif 1, program KENPAVE digunakan untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi dengan permodelan elastik. Berikut merupakan tahapan kerja untuk mengetahui kinerja dari perkerasan alternatif 1 dengan permodelan elastik.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

1. Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
2. Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 kg/cm² atau 0,55 Mpa.
3. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
4. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter lapis perkerasan

Dalam analisis ini semua lapisan diasumsikan menggunakan material elastik, lapisan tersebut terdiri dari lapisan *hot mix asphalt*, lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar. Berdasarkan hal tersebut maka parameter yang digunakan dalam perhitungan ini hanya modulus elastisitas dan poisson ratio yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut ini.

Tabel 5.28 Parameter Lapisan Perkerasan

AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
AC-Base	Modulus Elastis (E)	1.600.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	250.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,45

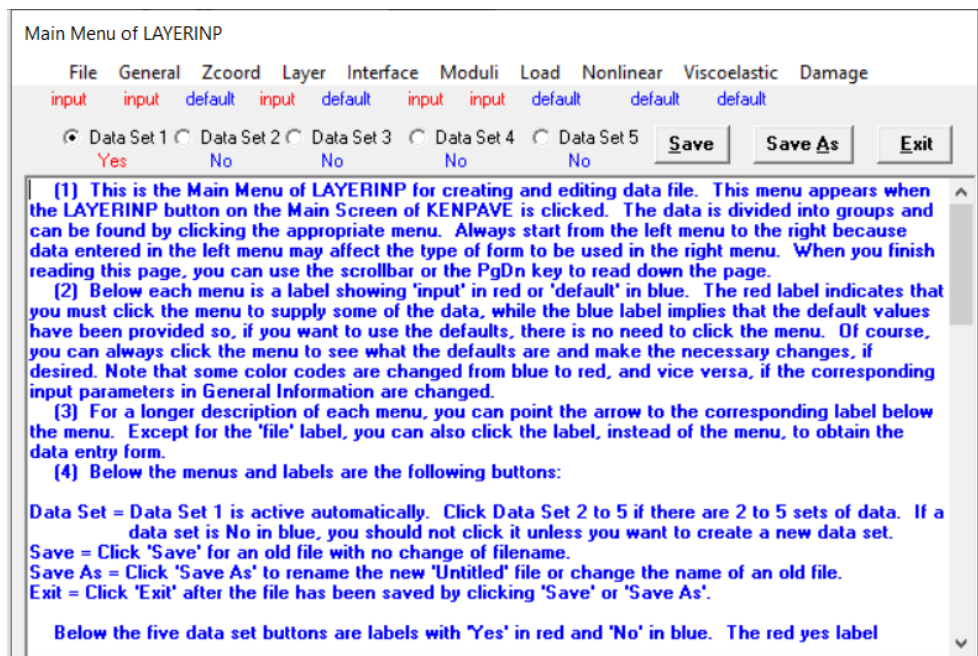
Sumber : Bina Marga (2017)

2. Input Program KENPAVE

Berikut ini merupakan analisis menggunakan program KENPAVE pada perkerasan alternatif 1 untuk mengetahui tegangan dan regangannya dengan beberapa tahapan, dengan tahapannya adalah sebagai berikut.

a. Input *Layernip*

Didalam menu ini tersedia beberapa pilihan dalam mengisi data-data yang dibutuhkan dalam analisis sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur.



Gambar 5.27 Tampilan Menu *Layernip*

Klik file dan klik *new* untuk memulai halaman baru pada menu *Layernip* agar data yang diinputkan kembali ke setelan *default*.

b. *General*

Setelah itu memasukan data pada menu *general* adapun data yang dimasukan dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut ini.

Tabel 5.29 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
MATL	1	Bahan material lapisan perkerasan adalah Linear Elastik
NDAMA	0	Tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	<i>Default</i>
NLG	1	<i>Default</i>
DEL	0,001	Standar dari akurasi
NL	5	Total dari lapisan yang dianalisis (<i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade</i>)
NZ	5	Total titik tinjauan untuk kerusakan
ICL	80	<i>Default</i>
NSDT	9	Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan
NBOND	1	Setiap lapisan terikat satu sama lain
NLBT	0	<i>Default</i>
NLTC	0	<i>Default</i>
NUNIT	1	Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE		Kerusakan Pemodelan Elastik
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)	5
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	5
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

OK

(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.

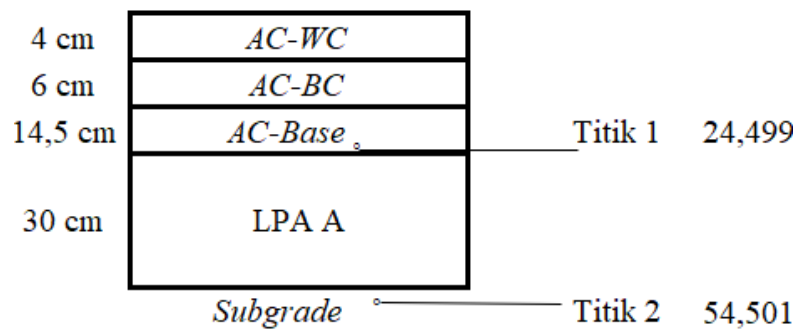
(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No 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 5.28 Tampilan Input Data Pada Menu *General*

c. *Zcoord*

Pada bagian ini data yang dimasukan adalah data kedalaman dari titik kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking* yang berada pada bagian bawah aspal. Sedangkan pada titik tinjau 2 yang berada pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*. Untuk lebih jelasnya titik tinjauan yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut ini.



Gambar 5.29 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan

Sedangkan untuk detail data kedalaman yang di masukan pada menu *zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut ini.

Tabel 5.30 Detail Data Untuk Input *Zcoord*

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	24,499	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	24,501	Permukaan lapis pondasi
4	54,499	Dasar lapis pondasi
5	54,501	<i>Subgrade</i> (Titik tinjau 2)

Selanjutnya adalah memasukan data tersebut pada menu *zcoord*, berikut ini merupakan tampilan menu input *zcoord* pada program KENPAVE.

Unit cm

Point No.	ZC
1	0
2	24.499
3	24.501
4	54.499
5	54.501

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

nk

Gambar 5.30 Tampilan Menu Input Data Zcoord

d. *Layer*

Menu ini digunakan untuk memasukkan data parameter perkerasan yang terdiri dari tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut yang didapatkan dari Huang (2004).

Tabel 5.31 Parameter Perkerasan Untuk Input Layer

No Layer	Tebal (cm)	Poisson's Ratio	Keterangan
1	4	0,35	AC-WC
2	6	0,35	AC-BC
3	14,5	0,35	AC-Base
4	30	0,4	LPA A
5	∞	0,45	Subgrade

Sumber: Huang (2004)

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/m³

Layer No.	TH	PR
1	4	0.35
2	6	0.35
3	14.5	0.35
4	30	0.4
5	XXXXXX	0.45

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and 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 5.31 Tampilan Menu Input Data *Layer* Program KENPAVE

e. *Moduli*

Menu ini memiliki fungsi untuk menginput parameter perkerasan yang berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastisitas yang digunakan diperoleh dari Huang (2004). Adapun nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut.

Tabel 5.32 Nilai *Input Moduli*

No	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	1.600.000
4	250.000
5	150.000

Sumber: Huang (2004)

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

Unit	kPa
Layer No.	E
1	1100000
2	1200000
3	1600000
4	250000
5	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>- 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>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

nk

Gambar 5.32 Tampilan Menu *Input Moduli*

f. *Load*

Didalam menu ini data yang akan dimasukan berupa data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) *Load* = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
- 2) *CR* = 11 cm (Berdasarkan nilai jarak antar ban)
- 3) *CP* = 0,55 Mpa = 550 Kpa (Berdasarkan nilai tekanan ban)
- 4) *YW* = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
- 5) *XW* = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
- 6) *NPT or NR* = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

Tabel 5.33 Koordinat *Input NPT*

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit	CR	kPa	CR	CR		
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	1	11	550	33	0	3

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

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

nk

Gambar 5.33 Tampilan Menu Input Data Load

Setelah semua data telah di input pada setiap menu tampilan, langkah selanjutnya adalah simpan dan kembali ke menu utama KENPAVE. Setelah itu data di *running* dengan cara klik di menu *Kenlayer*. Untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dilakukan dengan cara klik pada *menu Editor* dan buka nama *file*.

3. Hasil Analisis

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan berikut ini merupakan hasil dari output tegangan dan regangan dengan permodelan elastik menggunakan program KENPAVE yang dapat dilihat pada Tabel 5.34 berikut.

Tabel 5.34 Hasil Analisis KENPAVE dengan Pemodelan Elastik

Pengulangan Beban	Tegangan Horizontal (24,499)	Regangan Vertikal (24,499)	Regangan Vertikal (54,501)
1	0,00003602 kPa	0,00005844	0,0001326
2	0,00003471 kPa	0,00005671	0,0001208
3	0,00003347 kPa	0,00005773	0,0001234
Maksimum	0,00003471 kPa	0,00005844	0,0001326

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Output yang dihasilkan oleh program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan selanjutnya digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan dalam menahan kerusakan terutama kerusakan *permanent deformation*, *rutting* dan *fatigue cracking*. Analisis kerusakan jalan dilakukan dengan menghitung nilai Nf untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* dan Nr untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan Nd untuk *permanent deformation*. Sementara nilai f4 dan f5 yang digunakan berdasarkan rekomendasi *Asphalt Institute*

a. Perhitungan nilai Nf (*fatigue cracking*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.6 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (0,00003471)^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 122.594.803.634 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai Nd (*rutting*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.7 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting*.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,00005844)^{-f_5}$$

$$N_d = 12.234.072.602 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai Nd (*permanent deformation*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.8 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *permanent deformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001326)^{-f_5}$$

$$N_d = 312.252.047 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Berdasarkan analisis tegangan dan regangan yang dihasilkan dari hasil analisis program KENPAVE dapat diketahui bahwa perkerasan alternatif 1 akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* saat dilewati beban gandar sebesar 122.594.803.634 *ESAL*, untuk kerusakan *rutting* terjadi saat dilewati beban gandar sebesar 12.234.072.602 *ESAL* dan kerusakan *permanent deformation* terjadi saat dilewati beban gandar sebesar 312.252.047 *ESAL*. Berdasarkan hasil tersebut maka kerusakan yang terjadi pertamakali adalah *permanent deformation*. Dari hasil jumlah beban gandar yang sudah diketahui tersebut maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur pelayanan perkerasan alternatif 1 terhadap kerusakan yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan untuk kerusakan *permanent deformation* menggunakan persamaan 3.9 adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 ESA_I &= [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R] \\
 ESA_I &= [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}] \\
 312.252.047 &= [(8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(7 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(675 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(40 \times 62,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(12 \times 24) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 312.252.047 &= [292 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[1277,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[24564,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[454060 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[52560 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] +
 \end{aligned}$$

$$312.252.047 = ((1,152)^{UR} - 1) \times (1902,2801 + 8322,4756 + 160029,316 + 2958045,603 + 342410,4235)$$

$$312.252.047 = ((1,152)^{UR} - 1) \times 3470710,098$$

$$89,9677697 = ((1,152)^{UR} - 1)$$

$$90,9677697 = (1,152)^{UR}$$

$$UR = \frac{1}{1,152} \log 90,9677697$$

$$UR = \frac{\log b}{\log a}$$

$$UR = \frac{\log 90,9677697}{\log 1,152}$$

$$UR = 31,58599468 \text{ Tahun} \approx 32 \text{ Tahun}$$

Hasil untuk prediksi umur masa pelayanan perkerasan alternatif 1 dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.35 berikut ini.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Alternatif 1
Permodelan Elastik

Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (<i>ESAL</i>)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	122.594.803.634	73
<i>Rutting</i>	12.234.072.602	57
<i>Permanent Deformation</i>	312.252.047	32

Berdasarkan Tabel 5.35 terlihat bahwa pada perkerasan alternatif 1 pertamakali mengalami kerusakan *Permanent Deformation* pada tahun ke 32 saat beban gandar maksimum sebesar 312.252.047 *ESAL*. Sementara untuk kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke 57 dengan beban gandar maksimum 12.234.072.602 *ESAL* dan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke 73 dengan beban gandar maksimum 122.594.803.634 *ESAL*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perkerasan alternatif 1 dengan pemodelan elastik mampu untuk menahan beban maksimum untuk kerusakan *permanent deformation*, *fatigue cracking* dan *rutting* selama masa umur rencana yaitu 20 tahun.

5.3.3 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 Permodelan Elastik

Untuk mengetahui kinerja perkerasan lentur dari desain alternatif 2 program KENPAVE digunakan untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi dengan permodelan elastik. Berikut merupakan tahapan kerja untuk mengetahui kinerja dari perkerasan alternatif 2 dengan permodelan elastik.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

1. Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
2. Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 kg/cm² atau 0,55 Mpa.
3. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
4. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter lapis perkerasan

Dalam analisis ini semua lapisan diasumsikan menggunakan material elastik, lapisan tersebut terdiri dari lapisan *hot mix asphalt*, lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar. Berdasarkan hal tersebut maka parameter yang digunakan dalam perhitungan ini hanya modulus elastisitas dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.36 berikut ini.

Tabel 5.36 Parameter Lapisan Perkerasan

<i>AC-WC</i>	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-BC</i>	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-Base</i>	Modulus Elastis (E)	1.600.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>CTB</i>	Modulus Elastis (E)	500.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	250.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,45

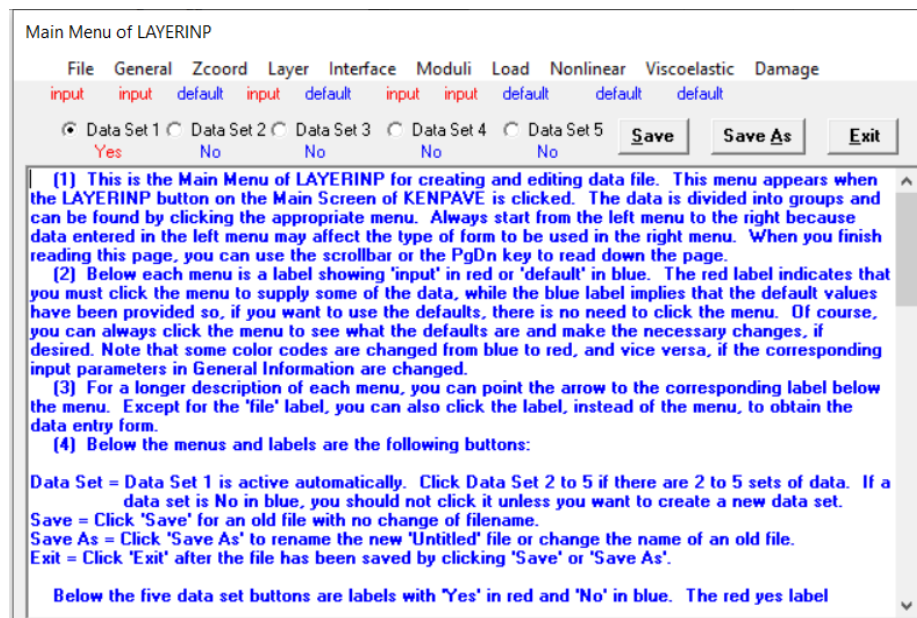
Sumber : Huang (2004)

2. Input Program KENPAVE

Berikut ini merupakan analisis menggunakan program KENPAVE pada perkerasan eksisting untuk mengetahui tegangan dan regangannya dengan beberapa tahapan, dengan tahapannya adalah sebagai berikut.

a. Input *Layernip*

Didalam menu ini tersedia beberapa pilihan dalam mengisi data-data yang dibutuhkan dalam analisis sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur.



Gambar 5.34 Tampilan Menu *Layernip*

Klik *file* dan klik *new* untuk memulai halaman baru pada menu *Layernip* agar data yang diinputkan kembali ke setelan default.

b. *General*

Setelah itu memasukan data pada menu general adapun data yang dimasukan dapat dilihat pada Tabel 5.37 berikut ini.

Tabel 5.37 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
MATL	1	Bahan material lapisan perkerasan adalah Linear Elastik
NDAMA	0	Tidak terdapat analisis kerusakan

Lanjutan Tabel 5.37 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
NPY	1	<i>Default</i>
NLG	1	<i>Default</i>
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	6	Total dari lapisan yang dianalisis (<i>AC-WC, AC-BC, AC Base, CTB, LPA A, Subgrade</i>)
NZ	5	Total titik tinjauan untuk kerusakan
ICL	80	<i>Default</i>
NSDT	9	Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan
NBOND	1	Setiap lapisan terikat satu sama lain
NLBT	0	<i>Default</i>
NLTC	0	<i>Default</i>
NUNIT	1	Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE Alternatif 1 Elastik	
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
Number of layers	(NL) 6
Number of Z coordinates for analysis	(NZ) 5
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) 1

OK

(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.

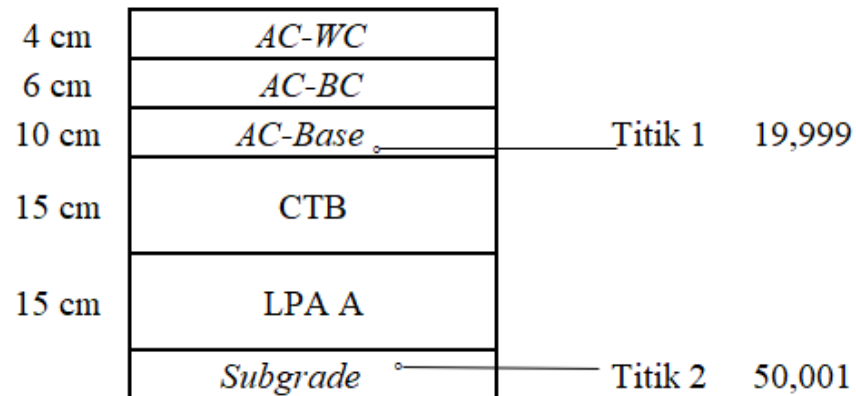
(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Gambar 5.35 Tampilan Input Data Pada Menu *General*

c. Zcoord

Pada bagian ini data yang dimasukan adalah data kedalaman dari titik kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking* yang berada pada bagian bawah

aspal. Sedangkan pada titik tinjau 2 yang berada pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*. Untuk lebih jelasnya titik tinjauan yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut ini.



Gambar 5.36 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan

Sedangkan untuk detail data kedalaman yang di masukan pada menu *zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.38 berikut ini.

Tabel 5.38 Detail Data Untuk Input *Zcoord*

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	19,999	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	20,001	Permukaan lapis pondasi
4	49,999	Dasar lapis pondasi
5	50,001	<i>Subgrade</i> (Titik tinjau 2)

Selanjutnya adalah memasukan data tersebut pada menu *zcoord*, berikut ini merupakan tampilan menu input *zcoord* pada program KENPAVE.

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Point No.	ZC
1	0
2	19.999
3	20.001
4	49.999
5	50.001

Unit cm

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

OK

Gambar 5.37 Tampilan Menu Input Data Zcoord

d. *Layer*

Menu ini digunakan untuk memasukan data parameter perkerasan yang terdiri dari tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut yang didapatkan dari Huang (2004).

Tabel 5.39 Parameter Perkerasan Untuk Input Layer

No Layer	Tebal (cm)	Poisson's Ratio	Keterangan
1	4	0,35	AC-WC
2	6	0,35	AC-BC
3	10	0,35	AC-Base
4	15	0,35	CTB
5	15	0,4	LPA A
6	∞	0,45	Subgrade

Sumber: Huang (2004)

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/m³

Layer No.	TH	PR	
1	4	0.35	
2	6	0.35	
3	10	0.35	
4	15	0.35	
5	15	0.4	
6	XXXXXX	0.45	

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and 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 5.38 Tampilan Menu Input Data *Layer* Program KENPAVE

e. *Moduli*

Menu ini memiliki fungsi untuk menginput parameter perkerasan yang berupa *modulus resilient* atau *modulus elastis*. Nilai modulus elastis yang digunakan diperoleh dari Huang (2004). Adapun nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.40 berikut.

Tabel 5.40 Nilai Input *Moduli*

No	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	1.600.000
4	500.000
5	250.000
6	150.000

Sumber: Huang (2004)

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

Unit	kPa
Layer No.	E
1	1100000
2	1200000
3	1600000
4	500000
5	250000
6	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>- 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>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Gambar 5.39 Tampilan Menu *Input Moduli*

f. Load

Didalam menu ini data yang akan dimasukan berupa data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) Load = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
- 2) CR = 11 cm (Berdasarkan nilai jarak antar ban)
- 3) CP = 0,55 Mpa = 550 Kpa (Berdasarkan nilai tekanan ban)
- 4) YW = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
- 5) XW = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
- 6) NPT or NR = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

Sementara nilai NPT ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang terdapat pada jenis roda *Single axle with dual tires*.

Tabel 5.41 Koordinat Input NPT

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit		cm	kPa	cm	cm	
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	1	11	550	33	0	3

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

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

nk

Gambar 5.40 Tampilan Menu Input Data Load

Setelah semua data telah di input pada setiap menu tampilan, langkah selanjutnya adalah simpan dan kembali ke menu utama KENPAVE. Setelah itu data di running dengan cara klik dimenu *Kenlayer*. Untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dilakukan dengan cara klik pada menu *Editor* dan buka nama *file*.

3. Hasil Analisis

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan berikut ini merupakan hasil dari output tegangan dan regangan dengan pemodelan elastik menggunakan program KENPAVE yang dapat dilihat pada Tabel 5.42 berikut.

Tabel 5.42 Hasil Analisis KENPAVE dengan Pemodelan Elastik

Pengulangan Beban	Tegangan Horizontal (24,499)	Regangan Vertikal (24,499)	Regangan Vertikal (54,501)
1	0,00001248 kPa	0,00010612	0,00016214
2	0,00001268 kPa	0,00010245	0,00012827
3	0,00005247 kPa	0,00010920	0,00011307
Maksimum	0,00005247 kPa	0,00010920	0,00016214

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Output yang dihasilkan oleh program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan selanjutnya digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan dalam menahan kerusakan terutama kerusakan *permanent deformation*, *rutting* dan *fatigue cracking*. Analisis kerusakan jalan dilakukan dengan menghitung nilai Nf untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* dan Nd untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*. Sementara nilai f4 dan f5 yang digunakan berdasarkan rekomendasi *Asphalt Intitute*.

a. Perhitungan nilai Nf (*fatigue cracking*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.6 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (0,0001268)^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 24.256.230.996 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai Nd (*rutting*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.7 untuk mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001612)^{-f_5}$$

$$N_d = 744.748.950 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai Nd (*permanent deformation*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.8 mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *permanent doformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001827)^{-f_5}$$

$$N_d = 126.897.880 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Berdasarkan analisis tegangan dan regangan yang dihasilkan dari hasil analisis program KENPAVE dapat diketahui bahwa perkerasan alternatif 2 akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* saat lewati beban gandar sebesar 24.256.230.996 *ESAL*, sementara kerusakan *rutting* timbul saat diawasi beban gandar sebesar 744.748.950 *ESAL* dan kerusakan *permanent deformation* timbul saat dilalui beban gandar sebesar 126.897.880 *ESAL*. Berdasarkan hasil tersebut maka kerusakan awal yang terjadi adalah *permanent deformation*. Dari hasil jumlah beban gandar yang sudah diketahui tersebut maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur pelayanan perkerasan alternatif 2 terhadap kerusakan yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan untuk kerusakan *permanent deformation* menggunakan persamaan 3.9 adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 ESA_I &= [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R] \\
 ESA_I &= [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}] \\
 126.897.880 &= [(8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(7 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(675 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(40 \times 62,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &[(12 \times 24) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 126.897.880 &= [292 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[1277,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[24564,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[454060 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &[52560 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] +
 \end{aligned}$$

$$126.897.880 = ((1,152)^{UR} - 1) \times (1902,2801 + 8322,4756 + 160029,316 + 2958045,603 + 342410,4235)$$

$$126.897.880 = ((1,152)^{UR} - 1) \times 3470710,098$$

$$36,56251208 = ((1,152)^{UR} - 1)$$

$$37,56251208 = (1,152)^{UR}$$

$$UR = \frac{1,152}{\log 37,56251208}$$

$$UR = \frac{\log b}{\log a}$$

$$UR = \frac{\log 37,56251208}{\log 1,152}$$

$$UR = 25,39206061 \text{ Tahun} \approx 25 \text{ Tahun}$$

Hasil untuk prediksi umur masa pelayanan perkerasan alternatif 2 dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.43 berikut ini.

Tabel 5.43 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Alternatif 2

Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (<i>ESAL</i>)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	24.256.230.996	62
<i>Rutting</i>	744.748.950	38
<i>Permanent Deformation</i>	126.897.880	25

Berdasarkan Tabel 5.43 dapat dilihat bahwa perkerasan alternatif 2 pertamakali mengalami kerusakan *Permanent Deformation* pada tahun ke 25 saat beban gandar maksimum sebesar 126.897.880 *ESAL*. Sementara untuk kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke 38 dengan beban gandar maksimum 744.748.950 *ESAL* dan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke 62 dengan beban gandar maksimum 24.256.230.996 *ESAL*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perkerasan alternatif 2 dengan pemodelan elastik mampu menahan beban maksimum untuk kerusakan *permanent deformation*, *fatigue cracking* dan *rutting* selama masa umur rencana yaitu 20 tahun.

5.3.4 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 1 Permodelan Viskoelastik

Untuk mengetahui kinerja perkerasan lentur dari desain alternatif 1 program KENPAVE digunakan untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi dengan permodelan viskoelastik. Berikut merupakan tahapan kerja untuk mengetahui kinerja dari perkerasan alternatif 1 dengan permodelan viskoelastik.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

1. Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
2. Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 kg/cm² atau 0,55 Mpa.
3. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
4. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter lapis perkerasan

Dalam analisis ini lapisan permukaan perkerasan menggunakan material berbahan viskoelastik, sehingga perhitungan ini dilakukan berdasarkan *creep compliances*. Sementara pada lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan berbahan linier elastik. Parameter modulus elastis dan *poisson ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.44 berikut ini.

Tabel 5.44 Parameter Lapisan Perkerasan

<i>AC-WC</i>	Modulus Elastis (E)	1.100.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-BC</i>	Modulus Elastis (E)	1.200.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
<i>AC-Base</i>	Modulus Elastis (E)	1.600.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	250.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 Kpa
	<i>Poisson Ratio</i>	0,45

Sumber : Huang (2004)

c. Creep Compliance

Perhitungan *creep compliance* dilakukan pada 11 durasi waktu yang berbeda yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3 ; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100 sesuai

yang disarankan *FHWA*. *Creep compliance* digunakan untuk mengetahui sifat viskoelastik pada lapisan perkerasan yang mengandung bahan ikat aspal. Pada pembahasan ini, terdapat tiga lapisan perkerasan yang mengandung bahan ikat aspal yang diasumsikan bersifat viskoelastik yaitu lapisan *AC-WC*, *AC-BC* dan *AC-Base*. Untuk data yang digunakan merupakan data yang sama yaitu dari hasil perhitungan pembahasan sebelumnya yang dapat dilihat pada Tabel 5.45 berikut ini.

Tabel 5.45 Nilai *Creep Compliances*

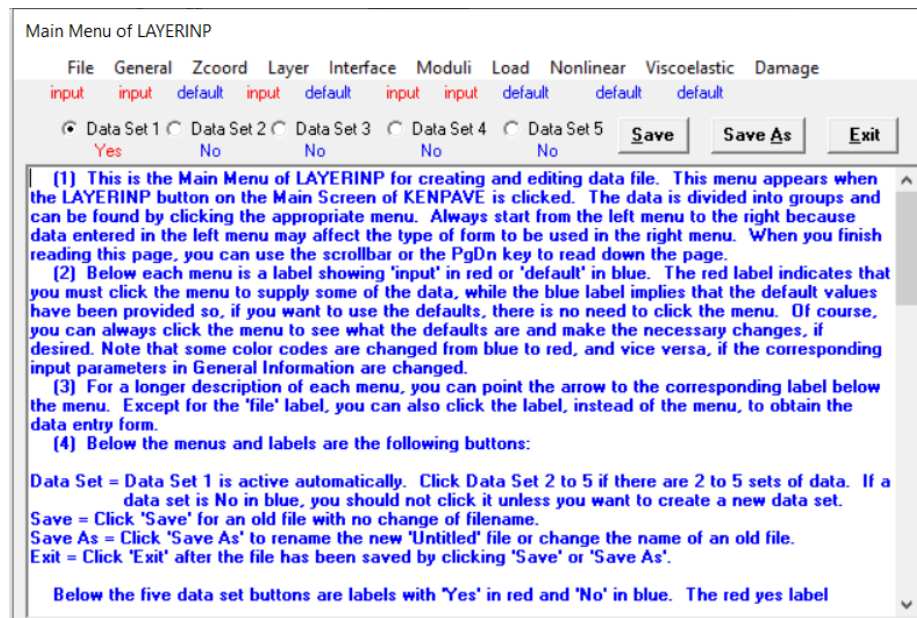
<i>Time</i>	<i>Creep Compliances</i>		
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-Base</i>
0,001	$7,956 \times 10^{-10}$	$6,938 \times 10^{-10}$	$5,204 \times 10^{-10}$
0,003	$2,268 \times 10^{-9}$	$2,079 \times 10^{-9}$	$1,559 \times 10^{-9}$
0,01	$7,541 \times 10^{-9}$	$6,912 \times 10^{-9}$	$5,184 \times 10^{-9}$
0,03	$2,243 \times 10^{-8}$	$2,056 \times 10^{-8}$	$1,542 \times 10^{-8}$
0,1	$7,265 \times 10^{-8}$	$6,660 \times 10^{-8}$	$4,995 \times 10^{-8}$
0,3	$2,010 \times 10^{-7}$	$1,842 \times 10^{-7}$	$1,382 \times 10^{-7}$
1	$5,138 \times 10^{-7}$	$4,710 \times 10^{-7}$	$3,532 \times 10^{-7}$
3	$8,343 \times 10^{-7}$	$7,648 \times 10^{-7}$	$5,736 \times 10^{-7}$
10	$9,088 \times 10^{-7}$	$8,331 \times 10^{-7}$	$6,248 \times 10^{-7}$
30	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$	$6,250 \times 10^{-7}$
100	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$	$6,250 \times 10^{-7}$

2. Input Program KENPAVE

Berikut ini merupakan analisis menggunakan program KENPAVE pada perkerasan alternatif 1 untuk mengetahui tegangan dan regangannya dengan beberapa tahapan, dengan tahapannya adalah sebagai berikut.

a. Input *Layernip*

Didalam menu ini tersedia beberapa pilihan dalam mengisi data-data yang dibutuhkan dalam analisis sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur.



Gambar 5.41 Tampilan Menu *Layernip*

Klik *file* dan klik *new* untuk memulai halaman baru pada menu *Layernip* agar data yang diinputkan kembali ke setelan *default*.

b. *General*

Setelah itu memasukan data pada menu general adapun data yang dimasukan dapat dilihat pada Tabel 5.46 berikut ini.

Tabel 5.46 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
MATL	3	Bahan material lapisan perkerasan adalah Viskoelastik
NDAMA	0	Tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	<i>Default</i>
NLG	1	<i>Default</i>
DEL	0,001	Standar dari akurasi
NL	5	Total dari lapisan yang dianalisis (<i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade</i>)
NZ	5	Total titik tinjauan untuk kerusakan
ICL	80	<i>Default</i>

Lanjutan Tabel 5.47 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
NSDT	9	Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan
NBOND	1	Setiap lapisan terikat satu sama lain
NLBT	1	<i>Default</i>
NLTC	1	<i>Default</i>
NUNIT	1	Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE Eksisting Viskoelastik

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
Number of layers	(NL)	5
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	5
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)	1

OK

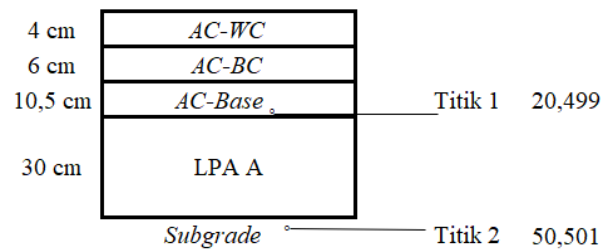
(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage 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 5.42 Tampilan Input Data Pada Menu *General*c. *Zcoord*

Pada bagian ini data yang dimasukan adalah data kedalaman dari titik kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking* yang berada pada bagian bawah aspal. Sedangkan pada titik tinjau 2 yang berada pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*. Untuk lebih jelasnya titik tinjauan yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut ini.



Gambar 5.43 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan

Sedangkan untuk detail data kedalaman yang di masukan pada menu *zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.47 berikut ini.

Tabel 5.47 Detail Data Untuk Input *Zcoord*

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	20,499	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	20,501	Permukaan lapis pondasi
4	50,499	Dasar lapis pondasi
5	50,501	<i>Subgrade</i> (Titik tinjau 2)

Selanjutnya adalah memasukan data tersebut pada menu *zcoord*, tampilan menu input *zcoord* pada program KENPAVE dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut ini.

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Point No.	ZC
1	0
2	24.499
3	24.501
4	54.499
5	54.501

Unit: cm

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

Gambar 5.44 Tampilan Menu Input Data *Zcoord*

d. *Layer*

Menu ini digunakan untuk memasukan data parameter perkerasan yang terdiri dari tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.48 berikut yang didapatkan dari Huang (2004).

Tabel 5.48 Parameter Perkerasan Untuk Input Layer

No Layer	Tebal (cm)	Poisson's Ratio	Keterangan
1	4	0,35	AC-WC
2	6	0,35	AC-BC
3	8	0,35	AC-Base
4	30	0,4	LPA A
5	∞	0,45	Subgrade

Sumber: Huang (2004)

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/m³

Layer No.	TH	PR
1	4	0.35
2	6	0.35
3	8	0.35
4	30	0.4
5	XXXXXXXXXX	0.45

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and 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 5.45 Tampilan Menu Input Data *Layer* Program KENPAVE

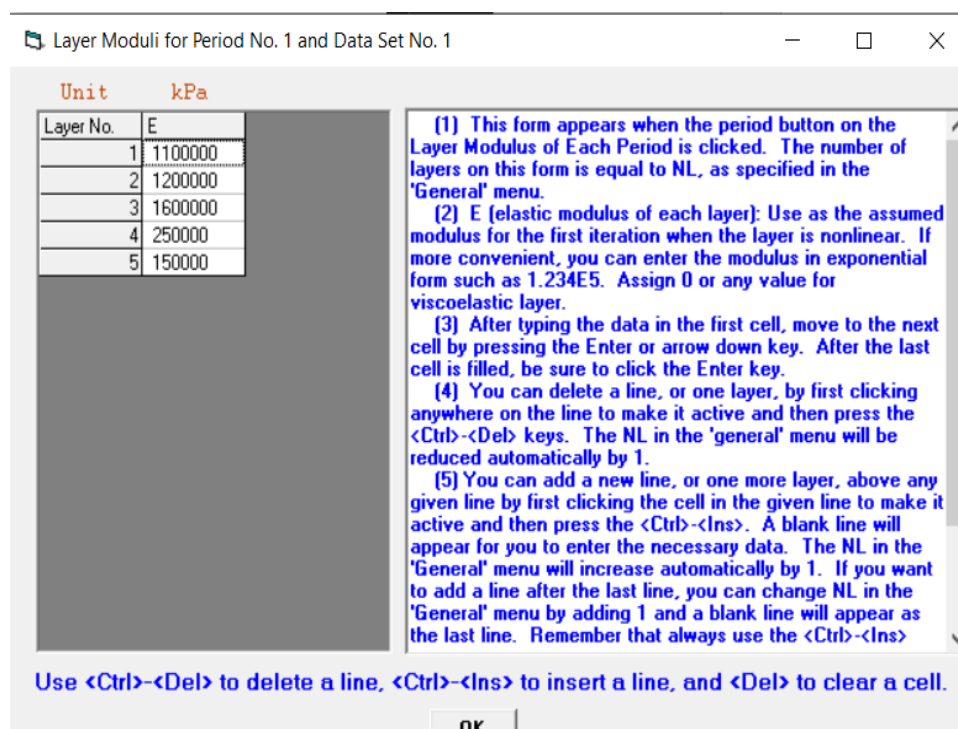
e. *Moduli*

Menu ini memiliki fungsi untuk menginput parameter perkerasan yang berupa modulus *resilient* atau modulus elastis. Nilai modulus elastis yang digunakan diperoleh dari Huang (2004). Adapun nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.49 berikut.

Tabel 5.49 Nilai *Input Moduli*

No	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	1.600.000
4	250.000
5	150.000

Sumber: Huang (2004)



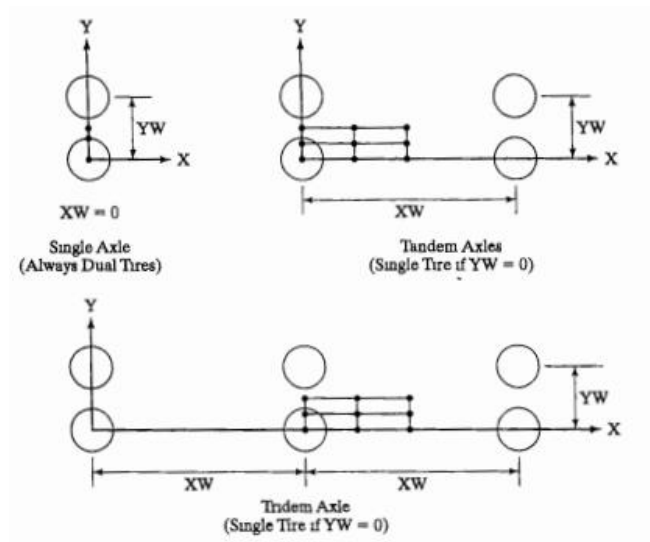
Gambar 5.46 Tampilan Menu *Input Moduli*

f. *Load*

Didalam menu ini data yang akan dimasukan berupa data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) *Load* = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
- 2) *CR* = 11 cm (Berdasarkan nilai jarak antar ban)
- 3) *CP* = 0,55 Mpa = 550 Kpa (Berdasarkan nilai tekanan ban)
- 4) *YW* = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
- 5) *XW* = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)

Di dalam analisis ini roda merupakan *single axle with dual tires* sehingga nilai *YW* dan *XW* diambil berdasarkan Gambar 5.47 berikut.

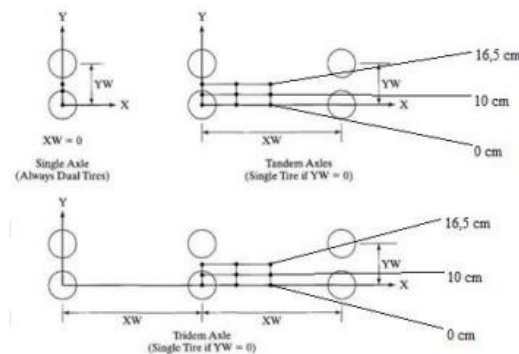


Gambar 5.47 Plan View of Multiple Wheels

(Sumber: Huang, 2004)

- 6) *NPT or NR* = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

Sementara nilai *NPT* ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang terdapat pada jenis roda *Single axle with dual tires*.



Gambar 5.48 Koordinat NPT
(Sumber: Huang 2004)

Tabel 5.50 Koordinat Input NPT

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit	cm	kPa	cm	cm		
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	1	11	550	33	0	3

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

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8 for wheel and axle arrangements.

(2) LOAD (type of loading): Assign 0 for single axle with single tire, 1 for single axle with dual tires, 2 for tandem axles, and 3 for tridem axles.

(3) CR (contact radius of circular loaded areas).

(4) CP (contact pressure on circular loaded areas).

(5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y axis): Assign 0 if there is only one wheel or LOAD = 0.

(6) XW (center to center spacing between two axles along the x axis): Assign 0 if only one axle exists, i.e. LOAD = 0 or 1.

(7) NR (number of radial coordinates to be analyzed under a single wheel, maximum 25): A single

OK

Gambar 5.49 Tampilan Menu Input Data Load

g. *Viscoelastic*1) *General*

Load Duration (DUR) = 0,1

Number Of Viscoelastic Layers = 3

Number Of Durations For Creep Compliances = 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)	3
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 5.50 Tampilan Menu *Input General*

2) *Time*

Menu time ini merupakan input waktu untuk menghitung *creep compliances* dimana digunakan 11 variasi waktu dan dapat dilihat pada Tabel 5.51 berikut.

Tabel 5.51 *Time of Durations for Creep Compliances*

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

Lanjutan Tabel 5.51 *Time of Durations for Creep Compliances*

<i>Squarce</i>	<i>Time</i>
7	1
8	3
9	10
10	30
11	100

(Sumber: Huang,2004)

Time Durations of Creep Compliances for Data Set No. 1

Unit sec

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

(1) This form appears when the 'Duration' menu on the Viscoelastic Layers Menu is clicked. The number of time sequences on this form is equal to NTYME, as specified in the Viscoelastic General Information.

(2) TYME (times at which creep compliances are to be specified). For moving load, the 11 default times from 0.001 to 100 sec should be used, if possible, so the creep compliances can be computed more accurately from one temperature to the other over a wide range, when needed. For stationary load without temperature conversion, any TYME duration may be used.

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

(4) You can delete a line, or one time sequence, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>- keys. The NTYME in the Viscoelastic General Information will be reduced automatically by 1.

(5) You can add a new line, or one more sequence, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NTYME in the Viscoelastic General Information will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NTYME in the Viscoelastic General

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

OK

Gambar 5.51 Tampilan Menu Input *Time*3) *Layer*

Nilai beta (β) = 0,113 (Huang, 2004)

Temperature = 25°C

Viscoelastic Layer Information for Data Set No. 1

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

Unit		per C	C
Sequence	LAYNO	BETA	TEMPREF
1	1	0.113	25
2	2	0.113	25
3	3	0.113	25

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

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Viscoelastic Layers Menu is clicked. The number of viscoelastic layers on this form is equal to NVL, as specified in the Viscoelastic General Information. Note that the cursor is now in the upper left cell, as indicated by the dotted rectangle, 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 should click this textbox to make it active. After finishing reading, you should click the cell before typing in the data.

(2) LAYNO (layer number in the layer system which is viscoelastic).

(3) BETA (temperature shift coefficient): This factor is obtained from the slope of the time-temperature shift factor versus temperature on a semilog plot.

OK

Gambar 5.52 Tampilan Menu Input *Viscoelastic Layer*

4) *Creep Compliances*

Pada menu *Creep Compliances* input data dilakukan sesuai hasil perhitungan sebelumnya yang dapat dilihat tabel 5.48. Untuk jumlah lapisan perkerasan yang perlu diinput nilai *creep compliance* menyesuaikan nilai NVL yang telah dimasukan pada menu *general viscielastic*. Pada pembahasan ini terdapat tiga lapisan perkerasan yang memiliki bahan ikat aspal dan dianggap memiliki sifat viskoelastik yaitu lapis *AC-WC*, *AC-BC*, *AC-Base*. Tampilan menu input *creep compliance* pada setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.53, Gambar 5.54 dan Gambar 5.55 berikut ini.

Creep Compliances of Layer No. 1 for Data Set No. 1

Unit per kPa

TYME	CREEP
.001	7.956E-10
.003	2.268E-09
.01	7.541E-09
.03	2.243E-08
.1	7.265E-08
.3	2.010E-07
1	5.138E-07
3	8.343E-07
10	9.088E-07
30	9.090E-07
100	9.090E-07

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

OK

Gambar 5.53 Tampilan Menu Input *Creep Compliance Layer 1*

Creep Compliances of Layer No. 2 for Data Set No. 1

Unit per kPa

TYME	CREEP
.001	6.913E-10
.003	2.079E-09
.01	6.912E-09
.03	2.056E-08
.1	6.660E-08
.3	1.842E-07
1	4.710E-07
3	7.648E-07
10	8.331E-07
30	8.333E-07
100	8.333E-07

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

OK

Gambar 5.54 Tampilan Menu Input *Creep Compliance Layer 2*

Creep Compliances of Layer No. 3 for Data Set No. 1

Unit	per kPa
TYME	CREEP
.001	5.204E-10
.003	1.559E-09
.01	5.184E-09
.03	1.542E-08
.1	4.995E-08
.3	1.382E-07
1	3.532E-07
3	5.733E-07
10	6.248E-07
30	6.250E-07
100	6.250E-07

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

OK

Gambar 5.55 Tampilan Menu Input Creep Compliance Layer 3

5) Temperature

Temperatur yang digunakan sama dengan temperatur yang digunakan pada menu *layer* yaitu 25°C.

Setelah semua data telah di input pada setiap menu tampilan, langkah selanjutnya adalah simpan dan kembali ke menu utama KENPAVE. Setelah itu data di *running* dengan cara klik dimenu *Kenlayer*. Untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dilakukan dengan cara klik pada menu *Editor* dan buka nama *file*.

3. Hasil Analisis

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan berikut ini merupakan hasil dari output tegangan dan regangan dengan pemodelan viskoelastik menggunakan program KENPAVE yang dapat dilihat pada Tabel 5.52 berikut.

Tabel 5.52 Hasil Analisis KENPAVE Pemodelan Viskoelastik

Pengulangan Beban	Tegangan Horizontal (24,499)	Regangan Vertikal (24,499)	Regangan Vertikal (54,501)
1	0,0000525 kPa	0,0000638	0,0001657
2	0,0000575 kPa	0,0000841	0,0000165
3	0,0000577 kPa	0,0000628	0,0000167
Maksimum	0,0000577 kPa	0,0000841	0,0001657

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Output yang dihasilkan oleh program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan selanjutnya digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan dalam menahan kerusakan terutama kerusakan *permanent deformation*, *rutting* dan *fatigue cracking*. Analisis kerusakan jalan dilakukan dengan menghitung nilai Nf untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* dan Nd untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*) dimana nilainya diharuskan melebihi nilai *CESA* yang sudah diprediksi. Sementara nilai f4 dan f5 yang digunakan berdasarkan rekomendasi *Asphalt Intitute*.

a. Perhitungan nilai Nf (*fatigue cracking*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.6 mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (0,0000577)^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 16.711.838.851 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai Nd (*rutting*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.7 mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0000841)^{-f_5}$$

$$N_d = 2.394.018.608 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai Nd (*permanent deformation*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.8 mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *permanent doformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001665)^{-f_5}$$

$$N_d = 112.683.703 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Berdasarkan analisis tegangan dan regangan yang dihasilkan dari hasil analisis program KENPAVE dapat diketahui perkerasan alternatif 1 akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* pada saat dilewati beban gandar sejumlah 16.711.838.851 *ESAL*, untuk kerusakan *rutting* timbul saat dilewati beban gandar sebesar 2.394.018.608 *ESAL* dan kerusakan *permanent deformation* terjadi saat dilewati beban gandar sebesar 112.683.703 *ESAL*. Berdasarkan hasil tersebut maka kerusakan awal terjadi adalah *permanent deformation*. Dari hasil jumlah beban gandar yang sudah diketahui tersebut maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur pelayanan perkerasan alternatif 1 terhadap kerusakan yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan untuk kerusakan *permanent deformation* menggunakan persamaan 3.9 adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 ESA_I &= [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R] \\
 ESA_I &= [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \\
 &\quad \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}] \\
 112.683.703 &= [(8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &\quad [(7 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &\quad [(675 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &\quad [(40 \times 62,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 &\quad [(12 \times 24) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
 112.683.703 &= [292 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &\quad [1277,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &\quad [24564,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
 &\quad [454060 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [52560 \times \frac{(1,152)^{Ur}-1}{0,152}] + \\
112.683.703 &= ((1,152)^{Ur} - 1) \times (1917,269 + 8388,050 + 161290,217 + \\
& 2981352,594 + 345108,338) \\
112.683.703 &= ((1,152)^{Ur} - 1) \times 3498056,467 \\
32,46704547 &= ((1,152)^{Ur} - 1) \\
33,46704547 &= (1,152)^{Ur} \\
UR &= {}^{1,152}\log 33,46704547 \\
UR &= \frac{\log b}{\log a} \\
UR &= \frac{\log 33,46704547}{\log 1,152} \\
UR &= 24,58362468 \text{ Tahun} \approx 25 \text{ Tahun}
\end{aligned}$$

Hasil untuk prediksi umur masa pelayanan perkerasan eksisting dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.53 berikut ini.

Tabel 5.53 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkerasan Lentur Alternatif 1
Permodelan Viskoelastik

Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (<i>ESAL</i>)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	16.711.838.851	59
<i>Rutting</i>	2.394.018.608	46
<i>Permanent Deformation</i>	112.683.703	25

Berdasarkan Tabel 5.53 terlihat perkerasan alternatif 1 pertamakali mengalami kerusakan *Permanent Deformation* pada tahun ke 25 saat beban gandar maksimum sebesar 112.683.703 *ESAL*. Sementara untuk kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke 46 dengan beban gandar maksimum 2.394.018.608 *ESAL* dan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke 59 dengan beban gandar maksimum 16.711.838.851 *ESAL*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perkerasan alteratif 1 dengan permodelan viskoelastik mampu untuk menahan beban maksimum untuk kerusakan

permanent deformation, fatigue cracking, rutting dan *permanent deformation* selama masa umur rencana yaitu 20 tahun.

5.3.5 Evaluasi Perkerasan Lentur Alternatif 2 Permodelan Viskoelastik

Untuk mengetahui kinerja perkerasan lentur dari desain alternatif 2, program KENPAVE digunakan untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi dengan permodelan viskoelastik. Berikut merupakan tahapan kerja untuk mengetahui kinerja dari perkerasan alternatif 2 dengan permodelan viskoelastik.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

1. Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
2. Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 kg/cm² atau 0,55 Mpa.
3. Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
4. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter lapis perkerasan

Dalam analisis ini lapisan permukaan perkerasan menggunakan material berbahan viskoelastik, sehingga perhitungan ini dilakukan berdasarkan *creep compliances*. Sementara pada lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan berbahan linier elastik. Parameter modulus elastis dan poisson ratio dapat dilihat pada Tabel 5.54 berikut ini.

Tabel 5.54 Parameter Lapisan Perkerasan

AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 KPa
	Poisson Ratio	0,35
AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 KPa
	Poisson Ratio	0,35
AC-Base	Modulus Elastis (E)	1.600.000 KPa
	Poisson Ratio	0,35
CTB	Modulus Elastis (E)	500.000 KPa
	Poisson Ratio	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	250.000 KPa
	Poisson Ratio	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis (E)	150.000 KPa
	Poisson Ratio	0,45

Sumber : Huang (2004)

c. *Creep Compliance*

Perhitungan *creep compliance* dilakukan pada 11 durasi waktu yang berbeda yaitu 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3 ; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100 sesuai yang disarankan *FHWA*. *Creep compliance* digunakan untuk mengetahui sifat viskoelastik pada lapisan perkerasan yang mengandung bahan ikat aspal. Pada pembahasan ini, terdapat tiga lapisan perkerasan yang mengandung bahan ikat aspal yang diasumsikan bersifat viskoelastik yaitu lapisan *AC-WC*, *AC-BC* dan *AC-Base*. Untuk data yang digunakan merupakan data yang sama yaitu dari hasil perhitungan pembahasan sebelumnya yang dapat dilihat pada Tabel 5.55 berikut ini.

Tabel 5.55 Nilai *Creep Compliances*

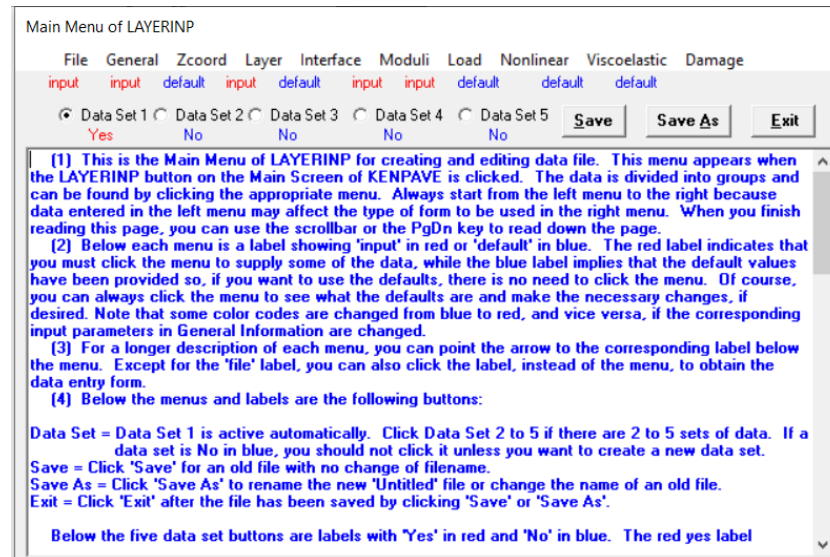
<i>Time</i>	<i>Creep Compliances</i>		
	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-Base</i>
0,001	$7,956 \times 10^{-10}$	$6,938 \times 10^{-10}$	$5,204 \times 10^{-10}$
0,003	$2,268 \times 10^{-9}$	$2,079 \times 10^{-9}$	$1,559 \times 10^{-9}$
0,01	$7,541 \times 10^{-9}$	$6,912 \times 10^{-9}$	$5,184 \times 10^{-9}$
0,03	$2,243 \times 10^{-8}$	$2,056 \times 10^{-8}$	$1,542 \times 10^{-8}$
0,1	$7,265 \times 10^{-8}$	$6,660 \times 10^{-8}$	$4,995 \times 10^{-8}$
0,3	$2,010 \times 10^{-7}$	$1,842 \times 10^{-7}$	$1,382 \times 10^{-7}$
1	$5,138 \times 10^{-7}$	$4,710 \times 10^{-7}$	$3,532 \times 10^{-7}$
3	$8,343 \times 10^{-7}$	$7,648 \times 10^{-7}$	$5,736 \times 10^{-7}$
10	$9,088 \times 10^{-7}$	$8,331 \times 10^{-7}$	$6,248 \times 10^{-7}$
30	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$	$6,250 \times 10^{-7}$
100	$9,090 \times 10^{-7}$	$8,333 \times 10^{-7}$	$6,250 \times 10^{-7}$

2. Input Program KENPAVE

Berikut ini merupakan analisis menggunakan program KENPAVE pada perkerasan alternatif 2 untuk mengetahui tegangan dan regangannya dengan beberapa tahapan, dengan tahapannya adalah sebagai berikut.

a. Input *Layernip*

Didalam menu ini tersedia beberapa pilihan dalam mengisi data-data yang dibutuhkan dalam analisis sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur.



Gambar 5.56 Tampilan Menu *Layernip*

Klik file dan klik new untuk memulai halaman baru pada menu *Layernip* agar data yang diinputkan kembali ke setelan *default*.

b. *General*

Setelah itu memasukan data pada menu *general* adapun data yang dimasukan dapat dilihat pada Tabel 5.56 berikut ini.

Tabel 5.56 Data Input Pada Menu *General*

Title	Nilai	Keterangan
MATL	3	Bahan material lapisan perkerasan adalah Viskoelastik
NDAMA	0	Tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	<i>Default</i>
NLG	1	<i>Default</i>
DEL	0,001	Standar dari akurasi
NL	6	Total dari lapisan yang dianalisis (<i>AC-WC, AC-BC, AC Base, CTB, LPA A, Subgrade</i>)
NZ	5	Total titik tinjauan untuk kerusakan
ICL	80	<i>Default</i>

Lanjutan Tabel 5.56 Data Input Pada Menu General

Title	Nilai	Keterangan
NSDT	9	Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan
NBOND	1	Setiap lapisan terikat satu sama lain
NLBT	1	<i>Default</i>
NLTC	1	<i>Default</i>
NUNIT	1	Standar Internasional

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE Alternatif 2 Viskoelastik	
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)	6
Number of Z coordinates for analysis (NZ)	5
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)	1

OK

(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 5.57 Tampilan Input Data Pada Menu General

c. Zcoord

Pada bagian ini data yang dimasukan adalah data kedalaman dari titik kerusakan yang akan ditinjau. Titik tinjau 1 digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking* yang berada pada bagian bawah aspal. Sedangkan pada titik tinjau 2 yang berada pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*. Untuk lebih jelasnya titik tinjauan yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5.58 berikut ini.

4 cm	<i>AC-WC</i>		
6 cm	<i>AC-BC</i>		
10 cm	<i>AC-Base</i>	Titik 1	19,999
15 cm	CTB		
15 cm	LPA A		
	<i>Subgrade</i>	Titik 2	50,001

Gambar 5.58 Kedalaman Titik Tinjauan Kerusakan

Sedangkan untuk detail data kedalaman yang di masukan pada menu *zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.57 berikut ini.

Tabel 5.57 Detail Data Untuk Input *Zcoord*

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	19,999	Dasar lapis perkerasan (Titik tinjau 1)
3	20,001	Permukaan lapis pondasi
4	49,999	Dasar lapis pondasi
5	50,001	<i>Subgrade</i> (Titik tinjau 2)

Selanjutnya adalah memasukan data tersebut pada menu *zcoord*, berikut ini merupakan tampilan menu *input zcoord* pada program KENPAVE.

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Point No.	ZC
1	0
2	19.999
3	20.001
4	49.999
5	50.001

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

OK

Gambar 5.59 Tampilan Menu Input Data Zcoord

d. *Layer*

Menu ini digunakan untuk memasukan data parameter perkerasan yang terdiri dari tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.58 berikut yang didapatkan dari Huang (2004).

Tabel 5.58 Parameter Perkerasan Untuk Input Layer

No Layer	Tebal (cm)	Poisson's Ratio	Keterangan
1	4	0,35	AC-WC
2	6	0,35	AC-BC
3	10	0,35	AC-Base
4	15	0,35	CTB
5	15	0,4	LPA A
6	∞	0,45	Subgrade

Sumber: Huang (2004)

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/m³

Layer No.	TH	PR	
1	4	0.35	
2	6	0.35	
3	10	0.35	
4	15	0.35	
5	15	0.4	
6	XXXXXX	0.45	

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and 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 5.60 Tampilan Menu *Input Data Layer* Program KENPAVE

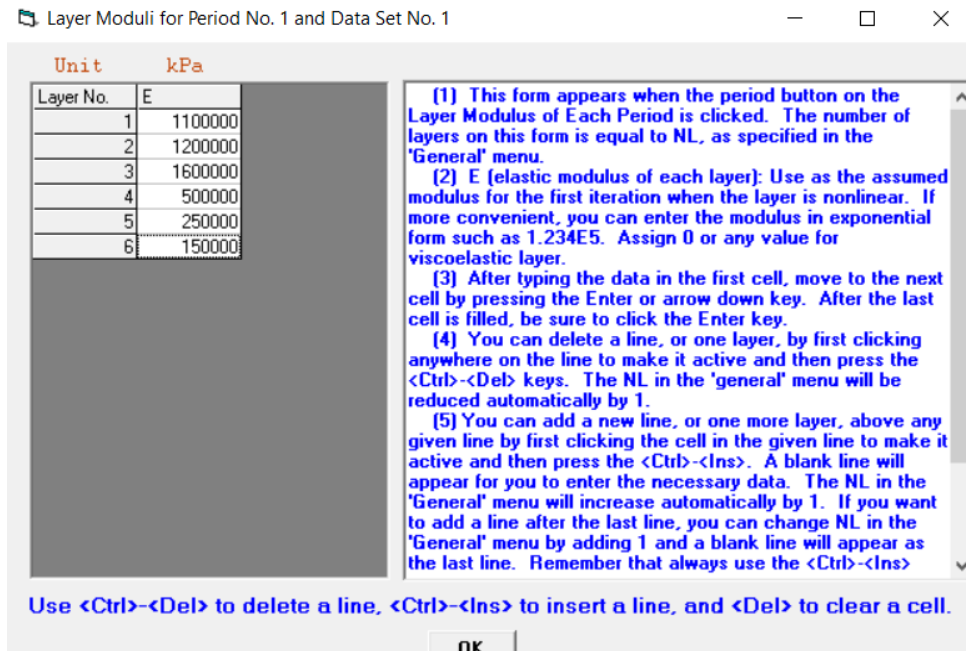
e. *Moduli*

Menu ini memiliki fungsi untuk menginput parameter perkerasan yang berupa modulus *resilient* atau modulus elastis. Nilai modulus elastis yang digunakan diperoleh dari Huang (2004). Adapun nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.59 berikut ini.

Tabel 5.59 Nilai Input Moduli

No	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	1.600.000
4	500.000
5	250.000
6	150.000

Sumber: Huang (2004)



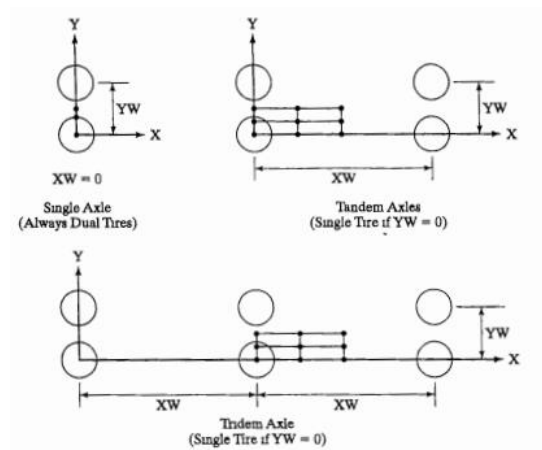
Gambar 5.61 Tampilan Menu *Input Moduli*

f. *Load*

Didalam menu ini data yang akan dimasukan berupa data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) *Load* = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
- 2) *CR* = 11 cm (Berdasarkan nilai jarak antar ban)
- 3) *CP* = 0,55 Mpa = 550 Kpa (Berdasarkan nilai tekanan ban)
- 4) *YW* = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
- 5) *XW* = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)

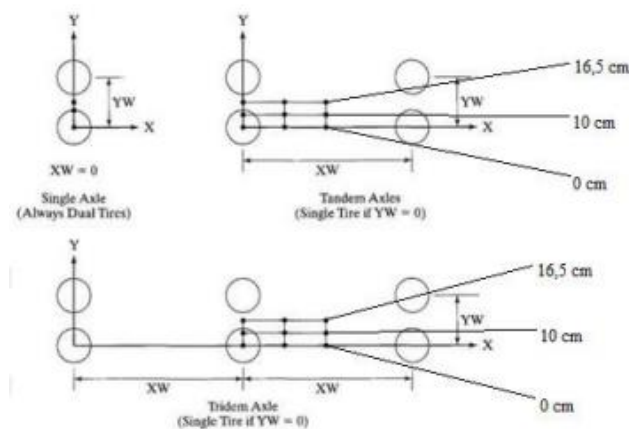
Di dalam analisis ini roda merupakan *single axle with dual tires* sehingga nilai *YW* dan *XW* diambil berdasarkan Gambar 5.62 berikut.



Gambar 5.62 Plan View of Multiple Wheels
(Sumber: Huang, 2004)

6) NPT or NR = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

Sementara nilai NPT ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang terdapat pada jenis roda *Single axle with dual tires*.



Gambar 5.63 Koordinat NPT
(Sumber: Huang 2004)

Tabel 5.60 Koordinat Input NPT

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit		cm	kPa	cm	cm	
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	1	11	550	33	0	3

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

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

OK

Gambar 5.64 Tampilan Menu *Input Data Load*g. *Viscoelastic*1) *General*

Load Duration (DUR) = 0,1

Number Of Viscoelastic Layers = 3

Number Of Durations For Creep Compliances = 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)	3
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 not only 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 5.65 Tampilan Menu *Input General*

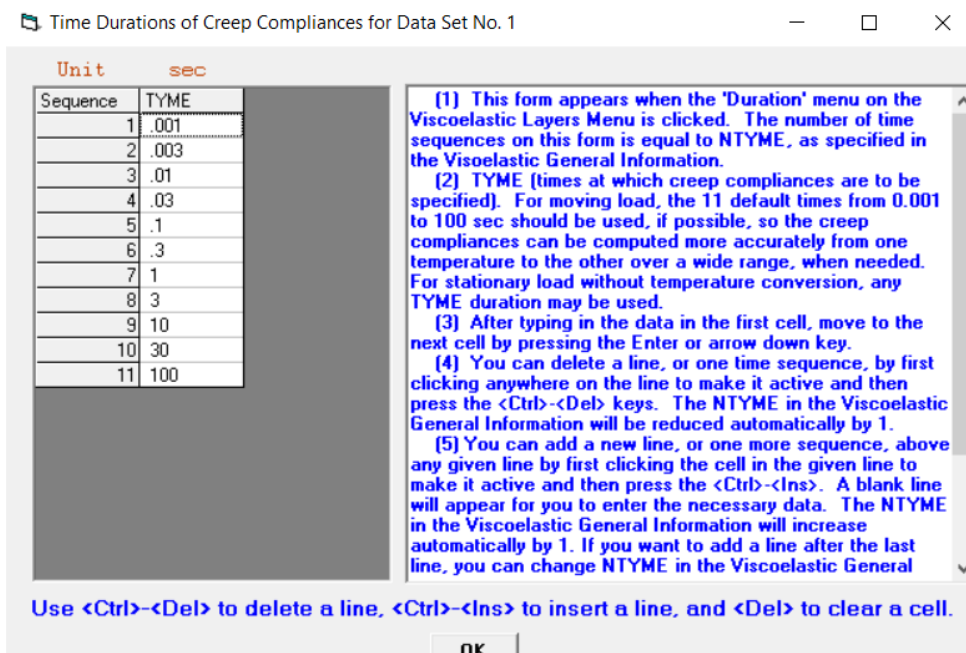
2) *Time*

Menu time ini merupakan input waktu untuk menghitung *creep compliances* dimana digunakan 11 variasi waktu dan dapat dilihat pada Tabel 5.61 berikut.

Tabel 5.61 *Time of Durations for Creep Compliances*

<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 5.66 Tampilan Menu Input *Time Viscoelastic Layer*

3) *Layer*

Nilai beta (β) = 0,113 (Huang, 2004)

Temperature = 25°C

Viscoelastic Layer Information for Data Set No. 1

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

Unit		per C	C
Sequence	LAYNO	BETA	TEMPREF
1	1	0.113	25
2	2	0.113	25
3	3	0.113	25

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

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Viscoelastic Layers Menu is clicked. The number of viscoelastic layers on this form is equal to NVL, as specified in the Viscoelastic General Information. Note that the cursor is now in the upper left cell, as indicated by the dotted rectangle, 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 should click this textbox to make it active. After finishing reading, you should click the cell before typing in the data.

(2) LAYNO (layer number in the layer system which is viscoelastic).

(3) BETA (temperature shift coefficient): This factor is obtained from the slope of the time-temperature shift factor versus temperature on a semilog plot.

OK

Gambar 5.67 Tampilan Menu Input *Viscoelastic Layer*

4) *Creep Compliances*

Pada menu *Creep Compliances* input data dilakukan sesuai hasil perhitungan sebelumnya yang dapat dilihat Tabel 5.55. Untuk jumlah lapisan perkerasan yang perlu diinput nilai *creep compliance* menyesuaikan nilai NVL yang telah dimasukan pada menu general viscielastic. Pada pembahasan ini terdapat tiga lapisan perkerasan yang memiliki bahan ikat aspal dan dianggap memiliki sifat viskoelastik yaitu lapis *AC-WC*, *AC-BC*, *AC-Base*. Tampilan menu input creep compliance pada setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.68, Gambar 5.69, dan Gambar 5.70 berikut ini.

Creep Compliances of Layer No. 1 for Data Set No. 1

Unit per kPa

TYME	CREEP
.001	7.956E-10
.003	2.268E-09
.01	7.541E-09
.03	2.243E-08
.1	7.265E-08
.3	2.010E-07
1	5.138E-07
3	8.343E-07
10	9.088E-07
30	9.090E-07
100	9.090E-07

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

OK

Gambar 5.68 Tampilan Menu *Input Creep Compliance Layer 1*

Creep Compliances of Layer No. 2 for Data Set No. 1

Unit per kPa

TYME	CREEP
.001	6.913E-10
.003	2.079E-09
.01	6.912E-09
.03	2.056E-08
.1	6.660E-08
.3	1.842E-07
1	4.710E-07
3	7.648E-07
10	8.331E-07
30	8.333E-07
100	8.333E-07

(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.

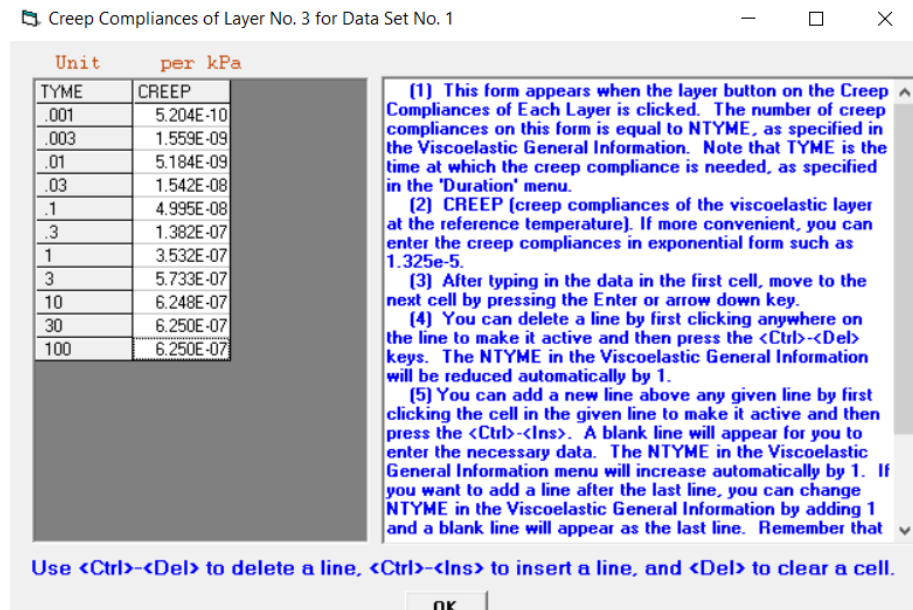
(4) You can delete a line by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>- keys. The NTYME in the Viscoelastic General Information will be reduced automatically by 1.

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

OK

Gambar 5.69 Tampilan Menu *Input Creep Compliance Layer 2*



Gambar 5. 70 Tampilan Menu Input Creep Compliance Layer 3

5) Temperature

Temperatur yang digunakan sama dengan temperatur yang digunakan pada menu *layer* yaitu 25°C.

Setelah semua data telah di input pada setiap menu tampilan, langkah selanjutnya adalah simpan dan kembali ke menu utama KENPAVE. Setelah itu data di *running* dengan cara klik dimenu *Kenlayer*. Untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dilakukan dengan cara klik pada menu *Editor* dan buka nama file.

3. Hasil Analisis

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan berikut ini merupakan hasil dari *output* tegangan dan regangan dengan pemodelan viskoelastik menggunakan program KENPAVE yang dapat dilihat pada Tabel 5.62 berikut.

Tabel 5.62 Hasil Analisis KENPAVE Permodelan Viskoelastik

Pengulangan Beban	Tegangan Horizontal (19,999)	Regangan Vertikal (19,999)	Regangan Vertikal (50,001)
1	0,0000714 kPa	0,0001312	0,0001784
2	0,0000716 kPa	0,0001309	0,0001786
3	0,0000518 kPa	0,0001406	0,0001502
Maksimum	0,0000716 kPa	0,0001406	0,0001786

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Output yang dihasilkan oleh program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan selanjutnya digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan dalam menahan kerusakan terutama kerusakan *permanent deformation*, *rutting* dan *fatigue cracking*. Analisis kerusakan jalan dilakukan dengan menghitung nilai N_f untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* dan N_d untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*) dimana nilainya diharuskan melebihi nilai *CESA* yang sudah diprediksi. Sementara nilai f_4 dan f_5 yang digunakan berdasarkan rekomendasi *Asphalt Institute*.

a. Perhitungan nilai N_f (*fatigue cracking*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.6 mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (0,0000716)^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 7.177.221.843 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai N_d (*rutting*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.7 mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting*.

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

$$Nd = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001406)^{-f5}$$

$$Nd = 240.139.768 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai Nd (*permanent deformation*)

Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 3.8 mengetahui beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *permanent doformation*.

$$Nd = f_4 (\epsilon c)^{-f5}$$

$$Nd = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001786)^{-f5}$$

$$Nd = 82.331.921 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Berdasarkan analisis tegangan dan regangan yang dihasilkan dari hasil analisis program KENPAVE dapat diketahui bahwa perkerasan alternatif 2 akan mengalami kerusakan *fatigue cracking* saat dilalui beban gandar sebesar 7.177.221.843 *ESAL*, untuk kerusakan *rutting* terjadi saat dilalui beban gandar sebesar 240.139.768 *ESAL* dan kerusakan *permanent deformation* terjadi saat dilalui beban gandar sebesar 82.331.921 *ESAL*. Berdasarkan hasil tersebut maka kerusakan yang terjadi pertamakali adalah *permanent deformation*. Dari hasil besaran beban gandar yang sudah diketahui tersebut maka dapat dilakukan perhitungan prediksi umur pelayanan Jalan perkerasan alternatif 2 terhadap kerusakan yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan untuk kerusakan *permanent deformation* menggunakan persamaan 3.9 adalah sebagai berikut ini.

$$ESA_I = [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R]$$

$$ESA_I = [(LHR_{\text{tiap jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{Ur-1}}{0,01i}]$$

$$\begin{aligned} 82.331.921 &= [(8 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ &[(7 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ &[(675 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \\ &[(40 \times 62,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%))^{Ur-1}}{0,01i}] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [(12 \times 24) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(15,23\%)^{Ur-1}}{0,01i}] + \\
82.331.921 &= [292 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [1277,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [24564,5 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [454060 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
& [52560 \times \frac{(1,152)^{Ur-1}}{0,152}] + \\
82.331.921 &= ((1,152)^{UR} - 1) \times (1917,269 + 8388,050 + 161290,217 + \\
& 2981352,594 + 345108,338) \\
82.331.921 &= ((1,152)^{UR} - 1) \times 3498056,467 \\
23,72192391 &= ((1,152)^{UR} - 1) \\
24,72192391 &= (1,152)^{UR} \\
UR &= {}^{1,152}\log 24,72192391 \\
UR &= \frac{\log b}{\log a} \\
UR &= \frac{\log 24,72192391}{\log 1,152} \\
UR &= 22,4626927 \text{ Tahun} \approx 22 \text{ Tahun}
\end{aligned}$$

Hasil untuk prediksi umur masa pelayanan perkerasan eksisting dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.63 berikut ini.

Tabel 5.63 Hasil Analisis Perkerasan Alternatif 2 Permodelan Viskoelastik

Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (<i>ESAL</i>)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	7.177.221.843	53
<i>Rutting</i>	240.139.768	30
<i>Permanent Deformation</i>	82.331.921	22

Berdasarkan Tabel 5.63 dapat dilihat bahwa perkerasan alternatif 2 pertamakali mengalami kerusakan *Permanent Deformation* pada tahun ke 22 saat beban gandar maksimum sebesar 82.331.921 *ESAL*. Sementara untuk kerusakan *rutting* terjadi pada tahun ke 30 dengan beban gandar maksimum 240.139.768 *ESAL* dan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke 53 dengan beban gandar maksimum 7.177.221.843 *ESAL*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perkerasan alternatif 2 dengan permodelan viskoelastik mampu untuk menahan beban maksimum untuk kerusakan *permanent deformation*, *fatigue cracking* dan *rutting* selama masa umur rencana yaitu 20 tahun.

5.4 Pembahasan

Dari analisis kerusakan perkerasan dan kinerja perkerasan dengan metode mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE dengan pemodelan elastik dan viskoelastik, didapatkan beberapa hasil sebagai berikut ini.

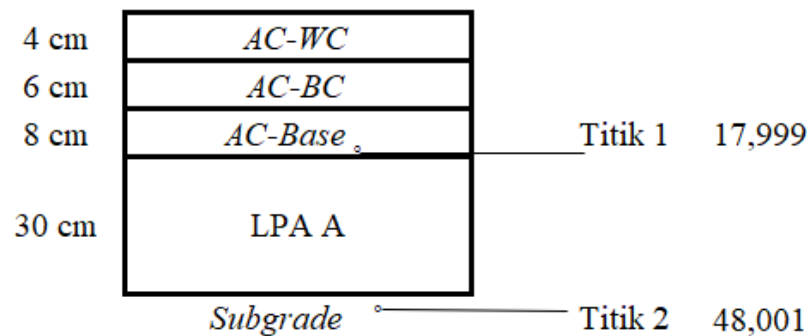
1. Nilai tegangan dan regangan pada perkerasan lentur eksisting Ruas Jalan Klangon-Tempel Yogyakarta yang diperoleh dari metode mekanistik-empiris KENPAVE dengan menggunakan permodelan elastik dan viskoelastik.
2. Prediksi umur masa pelayanan struktur perkerasan eksisting berdasarkan nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan dari metode mekanistik-empiris KENPAVE dengan pemodelan elastik dan viskoelastik dalam menahan kerusakan *permanent deformation*, *fatigue cracking* dan *rutting* selama umur rencana.
3. Perbandingan hasil evaluasi kerusakan perkerasan lentur eksisting antara pemodelan elastik dan viskoelastik berdasarkan metode mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE.
4. Desain tebal perkerasan lentur alternatif metode Bina Marga 2017 yang digunakan untuk analisis kinerja perkerasan metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan pemodelan elastik dan viskoelastik.
5. Nilai tegangan dan regangan perkerasan lentur alternatif yang diperoleh dari metode mekanistik-empiris program KENPAVE menggunakan permodelan elastik dan viskoelastik.

6. Prediksi umur masa pelayanan struktur perkerasan alternatif berdasarkan nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan dari metode mekanistik-empiris KENPAVE dengan pemodelan elastik dan viskoelastik dalam menahan kerusakan *permanent deformation*, *fatigue cracking* dan *rutting* selama umur rencana.
7. Perbandingan hasil evaluasi kinerja perkerasan lentur alternatif antara pemodelan elastik dan viskoelastik berdasarkan metode mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE.

5.4.1 Nilai Tegangan dan Regangan Perkerasan Eksisting

Analisis program KENPAVE mampu membantu dalam memprediksi kerusakan yang terjadi pada perkerasan dengan merujuk kepada sifat-sifat fisik dari perkerasan seperti tebal perkerasan, *poisson ratio*, modulus elastisitas, dan faktor lingkungan. Sifat-sifat perkerasan dibutuhkan dalam menganalisis respon perkerasan, dimana respon tersebut merupakan tegangan dan regangan dari setiap lapis perkerasan. Respon perkerasan tersebut yaitu tegangan dan regangan digunakan untuk mengetahui kemampuan dari suatu perkerasan dalam menahan beban lalu lintas yang melintasinya.

Pada pembacaan hasil analisis, terdapat tiga titik tinjauan yang berbeda untuk setiap jenis kerusakan. Pada perkerasan eksisting, kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* nilai dari kerusakan dibaca pada kedalaman 17,999 cm yaitu pada lapisan permukaan bagian bawah, Sementara untuk kerusakan *permanent deformation* dibaca pada kedalaman 48,001 cm yaitu pada lapisan tanah dasar bagian atas (Huang, 2004). Untuk memperjelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.71 berikut ini.



Gambar 5.71 Posisi Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Eksisting

Dari analisis yang telah dilakukan pada perkerasan eksisting dengan menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE didapatkan hasil berupa respon tegangan dan regangan dengan permodelan elastik untuk kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 0,0002038 Kpa untuk kerusakan *rutting* sebesar 0,0002277 dan untuk kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,0003386. Sementara hasil respon tegangan dan regangan dengan permodelan viskoelastik didapatkan hasil untuk kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 0,0002430 Kpa untuk kerusakan *rutting* sebesar 0,0002425 dan untuk kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,0004576.

5.4.2 Umur Masa Pelayanan Perkerasan Eksisting

Dari hasil respon tegangan dan regangan dengan permodelan elastik maupun viskoelastik tersebut maka selanjutnya adalah menentukan beban gandar maksimum untuk setiap jenis kerusakan. Setelah beban gandar maksimum untuk setiap jenis kerusakan didapatkan maka umur rencana perkerasan dalam menahan beban gandar maksimum dapat kita tentukan sampai setiap kerusakan perkerasan itu terjadi.

Untuk permodelan elastik beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh perkerasan eksisting sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 118.632.864 *ESAL* dengan umur rencana selama 25 tahun. Sementara untuk kerusakan *rutting* adalah sebesar 27.747.149 *ESAL* dengan umur rencana selama 15 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 3.631.971 *ESAL* dengan umur rencana 5 tahun. Sedangkan untuk permodelan viskoelastik beban

gandar maksimum yang dapat ditahan oleh perkerasan eksisting sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 59.515.818 *ESAL* dengan umur rencana selama 20 tahun. Sementara untuk kerusakan *rutting* adalah sebesar 20.930.431 *ESAL* dengan umur rencana selama 14 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 1.219.374 *ESAL* dengan umur rencana 2 tahun. Secara lebih jelasnya, rekapitulasi beban gandar maksimum dan umur rencana untuk setiap jenis kerusakan dengan permodelan elastik dan viskoelastik dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.21 yang sudah ditampilkan pada pembahasan sebelumnya.

Berdasarkan Tabel 5.10 dan Tabel 5.21 diatas, maka dapat diketahui bahwa baik itu analisis dengan permodelan elastik ataupun dengan permodelan viskoelastik kerusakan yang terjadi pertamakali pada Ruas Jalan Klangon-Tempel adalah kerusakan *permanent deformation*, kemudian kerusakan *rutting* dan terakhir kerusakan *fatigue cracking*. Hasil ini sejalan dengan kondisi dilapangan yang menunjukkan bahwa Ruas Jalan Klangon-Tempel banyak dilalui oleh kendaraan berat yang datang dari arah Semarang menuju Yogyakarta dan kendaraan-kendaraan berat proyek pembangunan Tol Jogjakarta-Bawen. Hal tersebut menunjukkan bahwa kerusakan perkerasan pada Ruas Jalan Klangon-Tempel disebabkan oleh beban kendaraan berlebih yang harus diterima oleh jalan sehingga lapis pondasi perkerasan mengalami kerusakan, kondisi tersebut dibuktikan dengan hasil analisis yang menunjukkan kerusakan yang terjadi pertamakali merupakan kerusakan *permanent deformation*.

Berdasarkan Tabel 5.10 dan Tabel 5.21 diatas juga dapat diketahui bahwa tebal perkerasan eksisting Ruas Jalan Klangon-Tempel dengan permodelan elastik dan viskoelastik tidak mampu untuk menahan beban kendaraan selama umur rencana, yaitu 10 tahun. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Suwanda dan Kushari (2019), dimana dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa tebal perkerasan lentur eksisting dengan permodelan elastik dan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 20 tahun. Suwanda dan Kushari (2019) juga menyebutkan kerusakan yang pertamakali terjadi pada kondisi eksisting Ruas Jalan Tempel-Pakem dengan permodelan elastik dan viskoelastik adalah *permanent deformation*, kemudian

disusul oleh kerusakan *rutting*, dan yang terakhir kerusakan *fatigue cracking*. Selain itu hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Satria dan Kushari (2022), hasil penelitian ini juga menyatakan bahwa tebal perkerasan eksisting Ruas Jalan Milir-Sentolo dengan permodelan elastik dan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 20 tahun. Satria dan Kushari (2022), juga mengatakan bahwa prediksi kerusakan yang terjadi pertamakali pada perkerasan yaitu kerusakan *permanent deformation* dan kerusakan yang paling terakhir yaitu kerusakan *fatigue cracking*. Hasil yang serupa juga didapatkan oleh penelitian yang dilakukan Pambudi dan Fauziah (2022) pada perkerasan eksisting Ruas Jalan Sentolo-Nanggulan-Dekso.

5.4.3 Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Eksisting Permodelan Elastik dan Viskoelastik

Setelah analisis perkerasan eksisting dengan metode mekanistik-empiris program KENPAVE baik dengan permodelan elastik maupun viskoelastik selesai dilakukan dan didapatkan respon struktur perkerasan jalan berupa tegangan dan regangan. Hasil respon struktur tersebut digunakan untuk menentukan beban gandar maksimum pada setiap jenis kerusakan pada perkerasan dan setelah beban gandar maksimum pada setiap jenis kerusakan sudah diketahui maka masa umur pelayanan jalan sampai terjadi kerusakan pada saat umur rencana dapat diprediksi. Untuk lebih jelasnya perbandingan hasil analisis perkerasan menggunakan metode mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik pada perkerasan eksisting Ruas Jalan Klangon-Tempel Yogyakarta dapat dilihat pada Tabel 5.64 berikut ini.

Tabel 5.64 Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Eksisting

Jenis Kerusakan	Elastik		Viskoelastik	
	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	118.632.864	25	59.515.818	20
<i>Rutting</i>	27.747.149	15	20.930.431	14
<i>Permanent Deformation</i>	3.631.971	5	1.219.374	2

Berdasarkan Tabel 5.64 diatas dapat diketahui bahwa baik dari permodelan elastik maupun viskoelastik kerusakan yang pertamakali terjadi selama umur rencana adalah kerusakan *permanent deformation*. Dimana pada permodelan elastik kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke 5 dengan beban gandar maksimum 3.631.971 ESAL, sedangkan pada permodelan viskoelastik kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke 2 dengan beban gandar maksimum 1.219.374 ESAL. Kemudian untuk kerusakan yang selanjutnya terjadi adalah kerusakan *rutting*, dimana pada permodelan elastik terjadi pada tahun ke 15 dengan beban gandar maksimum 27.747.149 ESAL, sedangkan pada permodelan viskoelastik terjadi pada tahun ke 14 dengan beban gandar maksimum 20.930.431 ESAL. Kerusakan perkerasan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking* dimana pada permodelan elastik terjadi pada tahun ke 25 dengan beban gandar maksimum 118.632.864 ESAL, sedangkan pada permodelan viskoelastik terjadi pada tahun ke 20 dengan beban gandar maksimum 59.515.818 ESAL. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa perkerasan lentur eksisting Ruas Jalan Klangon-Tempel baik permodelan elastik maupun viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 10 tahun. Selain itu dari perbandingan tersebut dapat dikatakan perkerasan eksisting Ruas Jalan Klangon-Tempel dengan permodelan elastik memiliki umur rencana perkerasan yang lebih lama dalam menahan kerusakan dibandingkan dengan

permodelan viskoelastik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Suwanda dan Kushari (2019), dimana hasil penelitian tersebut juga didapatkan permodelan elastik memiliki umur rencana perkerasan yang lebih lama dalam menahan kerusakan dibandingkan dengan permodelan viskoelastik. Penelitian yang mendapatkan hasil serupa juga dilakukan oleh Satria dan Kushari (2022) pada perkerasan eksisting Ruas Jalan Milir-Sentolo.

Perbedaan hasil tersebut bisa terjadi karena dua pendekatan memiliki beberapa perbedaan. Satria dan Kushari (2022), menjelaskan dalam penelitiannya bahwa untuk pemodelan viskoelastik semua lapisan dianggap memiliki sifat viskoelastik pada lapisan *AC-WC*, *AC-BC* dan *AC-Base*. Viskoelastik sendiri menunjukkan perilaku keseluruhan deformasi (perubahan bentuk) secara statik maupun dinamik. Deformasi dapat terjadi karena tarikan, tekanan, atau tegangan geser, atau kombinasi dari dua atau tiga tegangan tersebut. bahan viskoelastis adalah ketika tegangan dihilangkan, bahan tersebut tidak segera dan tidak dapat langsung kembali ke bentuk semula. Maka dari itu pada pemodelan viskoelastik tidak menggunakan Modulus Elastisitas (E) tetapi menggunakan *input data creep compliances* tiap lapisan, *time of durations for creep compliances* dan *input data temperature perkerasan tahunan*. Sedangkan untuk pemodelan elastik semua lapisan dianggap memiliki sifat elastik. Elastik sendiri menunjukkan perilaku keseluruhan lapisan akan kembali ke awal ketika tegangan dilepaskan dan deformasi sebanding dengan beban yang diterapkan. Maka dari itu persamaan elastik menggunakan Modulus Elastisitas (E) dikarenakan semua lapisan dianggap konstan.

5.4.4 Desain Perkerasan Lentur Alternatif Metode Bina Marga 2017

Menurut MDPJ 2017 kinerja perkerasan lentur merupakan kemampuan suatu perkerasan untuk menahan beban kendaraan yang dilaluinya sampai terjadinya kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*. Pada penelitian ini evaluasi kinerja perkerasan lentur dilakukan pada desain tebal perkerasan alternatif metode Bina Marga 2017. Hasil desain tebal perkerasan alternatif didapatkan dua alternatif

desain dengan umur rencana yaitu 20 tahun. Untuk lebih jelasnya tebal perkerasan alternatif dapat dilihat pada Gambar 5.72 dan Gambar 5.73 berikut ini.

AC-WC	40 mm
AC-BC	60 mm
AC Base	145 mm
LPA Kelas A	300 mm
<i>Subgrade</i>	

Gambar 5.72 Desain Perkerasan Alternatif 1

AC-WC	40 mm
AC-BC	60 mm
AC Base	100 mm
CTB	150 mm
LPA Kelas A	150 mm
<i>Subgrade</i>	

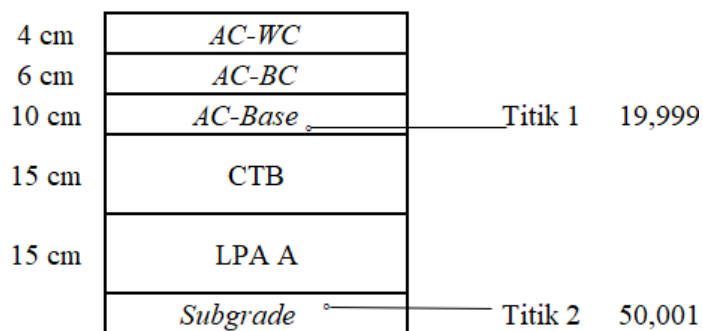
Gambar 5.73 Desain Perkerasan Alternatif 2

5.4.5 Nilai Tegangan dan Regangan Perkerasan Alternatif

Pada pembacaan hasil analisis, terdapat tiga titik tinjauan yang berbeda untuk setiap jenis kerusakan. Untuk memperjelasnya titik tinjau untuk setiap jenis kerusakan pada perkerasan alternatif dapat dilihat pada Gambar 5.74 dan Gambar 5.75 berikut ini.

4 cm	AC-WC		
6 cm	AC-BC		
14,5 cm	AC-Base	Titik 1	24,499
30 cm	LPA A		
	<i>Subgrade</i>	Titik 2	54,501

Gambar 5.74 Titik Tinjau Kerusakan Pada Perkerasan Alternatif 1



Gambar 5.75 Titik Tinjau Kerusakan Pada Perkerasan Alternatif 2

Titik tinjau kerusakan fatigue cracking dan rutting pada lapisan permukaan bagian bawah, sedangkan untuk kerusakan permanent deformation berada pada lapisan tanah dasar bagian atas. Berdasarkan Gambar 5.74 dan Gambar 5.75 titik tinjau kerusakan untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* pada perkerasan alternatif 1 berada pada kedalaman 24,499 cm, sedangkan pada perkerasan alternatif 2 berada pada kedalaman 19,999 cm. Untuk kerusakan *permanent deformation* titik tinjau kerusakan pada perkerasan alternatif 1 berada pada kedalaman 54,501 cm, sedangkan pada perkerasan alternatif 2 berada pada kedalaman 50,001 cm.

Dari analisis yang telah dilakukan pada perkerasan alternatif dengan menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik, didapatkan hasil berupa respon tegangan dan regangan untuk setiap jenis kerusakan yang dapat dilihat pada Tabel 5.65 dan Tabel 5.66 berikut ini.

Tabel 5.65 Hasil Analisis KENPAVE Pada Perkerasan Alternatif 1

Jenis Kerusakan	Elastik	Viskoelastik
	Tegangan dan Regangan	Tegangan dan Regangan
<i>Fatigue Cracking</i>	0,0001470 kPa	0,0000577 kPa
<i>Rutting</i>	0,0001540	0,0000641
<i>Permanent Deformation</i>	0,0001930	0,0000867

Tabel 5.66 Hasil Analisis KENPAVE Pada Perkerasan Alternatif 2

Jenis Kerusakan	Elastik	Viskoelastik
	Tegangan dan Regangan (kPa)	Tegangan dan Regangan (kPa)
<i>Fatigue Cracking</i>	0,0001470 kPa	0,0000577 kPa
<i>Rutting</i>	0,0001540	0,0000641
<i>Permanent Deformation</i>	0,0001930	0,0000867

5.4.6 Umur Masa Pelayanan Perkerasan Alternatif

Dari hasil respon tegangan dan regangan dengan permodelan elastik maupun viskoelastik tersebut maka selanjutnya adalah menentukan beban gandar maksimum untuk setiap jenis kerusakan. Setelah beban gandar maksimum untuk setiap jenis kerusakan didapatkan maka umur rencana perkerasan dalam menahan beban gandar maksimum dapat kita tentukan sampai setiap kerusakan perkerasan itu terjadi.

Pada desain alternatif 1 untuk permodelan elastik beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh perkerasan sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 122.594.803.634 *ESAL* dengan umur rencana selama 73 tahun. Sementara untuk kerusakan *rutting* adalah sebesar 12.234.072.602 *ESAL* dengan umur rencana selama 57 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 312.252.047 *ESAL* dengan umur rencana 32 tahun. Sedangkan untuk permodelan viskoelastik beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh perkerasan alternatif 1 sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 16.711.838.851 *ESAL* dengan umur rencana selama 59 tahun. Sementara untuk kerusakan *rutting* adalah sebesar 2.394.018.608 *ESAL* dengan umur rencana selama 46 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 112.683.703 *ESAL* dengan umur rencana 25 tahun. Secara lebih jelasnya, rekapitulasi beban gandar maksimum dan umur rencana untuk setiap jenis kerusakan dengan permodelan elastik dan viskoelastik pada perkerasan alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.35 dan Tabel 5.53 yang sudah ditampilkan pada pembahasan sebelumnya.

Pada desain alternatif 2 untuk permodelan elastik beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh perkerasan sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 24.256.230.996 *ESAL* dengan umur rencana selama 62 tahun. Sementara untuk kerusakan *rutting* adalah sebesar 744.748.950 *ESAL* dengan umur rencana selama 38 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 126.897.880 *ESAL* dengan umur rencana 25 tahun. Sedangkan untuk permodelan viskoelastik beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh perkerasan alternatif 2 sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 7.177.221.843 *ESAL* dengan umur rencana selama 53 tahun. Sementara untuk kerusakan *rutting* adalah sebesar 240.139.768 *ESAL* dengan umur rencana selama 30 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 82.331.921 *ESAL* dengan umur rencana 22 tahun. Secara lebih jelasnya, rekapitulasi beban gandar maksimum dan umur rencana untuk setiap jenis kerusakan dengan permodelan elastik dan viskoelastik pada perkerasan alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.43 dan Tabel 5.63 yang sudah ditampilkan pada pembahasan sebelumnya.

Berdasarkan hasil diatas dapat diketahui bahwa tebal perkerasan alternatif 1 dan alternatif 2 Ruas Jalan Klangon-Tempel dengan permodelan elastik dan viskoelastik mampu untuk menahan beban kendaraan selama umur rencana, yaitu 20 tahun. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Suwanda dan Kushari (2019), dimana dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa tebal perkerasan lentur alternatif dengan permodelan elastik dan viskoelastik mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 20 tahun. Suwanda dan Kushari (2019) juga menyebutkan kerusakan yang pertamakali terjadi pada perkerasan alternatif Ruas Jalan Tempel-Pakem dengan permodelan elastik dan viskoelastik adalah *permanent deformation*, kemudian disusul oleh kerusakan *rutting*, dan yang terakhir kerusakan *fatigue cracking*. Penelitian lain yang memiliki hasil yang sama dilakukan oleh Arianto dan Fauziah (2023), dimana tebal perkerasan alternatif baik perkerasan AC Base maupun perkerasan CTB dengan permodelan elastik dan viskoelastik mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 20 tahun.

5.4.7 Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif Permodelan Elastik dan Viskoelastik

Setelah analisis perkerasan alternatif dengan metode mekanistik-empiris program KENPAVE baik dengan permodelan elastik maupun viskoelastik selesai dilakukan dan didapatkan respon struktur perkerasan jalan berupa tegangan dan regangan. Hasil respon struktur tersebut digunakan untuk menentukan beban gandar maksimum untuk setiap jenis kerusakan pada perkerasan dan setelah beban gandar maksimum untuk setiap jenis kerusakan sudah diketahui maka kinerja dari perkerasan dapat diketahui dengan menghitung masa umur pelayanan jalan sampai terjadi kerusakan pada saat umur rencana. Untuk lebih jelasnya perbandingan hasil analisis perkerasan menggunakan metode mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik pada perkerasan alternatif Ruas Jalan Klangon-Tempel Yogyakarta dapat dilihat pada Tabel 5.67 dan Tabel 5.68 berikut ini.

Tabel 5.67 Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif 1

Jenis Kerusakan	Elastik		Viskoelastik	
	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	122.594.803.634	34	16.711.838.851	59
<i>Rutting</i>	12.234.072.602	24	2.394.018.608	46
<i>Permanent Deformation</i>	312.252.047	32	112.683.703	25

Tabel 5.68 Perbandingan Hasil Evaluasi Perkerasan Alternatif 2

Jenis Kerusakan	Elastik		Viskoelastik	
	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)	Beban Gandar Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	24.256.230.996	62	7.177.221.843	53
<i>Rutting</i>	744.748.950	38	240.139.768	30
<i>Permanent Deformation</i>	126.897.880	25	82.331.921	22

Berdasarkan Tabel 5.67 dan Tabel 5.68 diatas dapat diketahui bahwa baik dari permodelan elastik maupun viskoelastik kerusakan yang pertamakali terjadi pada perkerasan alternatif 1 dan perkerasan alternatif 2 selama umur rencana adalah kerusakan *permanent deformation*. Dimana pada perkerasan alternatif 1 dengan permodelan elastik kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke 32 dengan beban gandar maksimum 312.252.047 *ESAL*, sedangkan pada permodelan viskoelastik terjadi pada tahun ke 25 dengan beban gandar maksimum 112.683.703 *ESAL*. Kemudian untuk kerusakan yang selanjutnya terjadi adalah kerusakan *rutting*, dimana pada permodelan elastik terjadi pada tahun ke 57 dengan beban gandar maksimum 12.234.072.602 *ESAL*, sedangkan pada permodelan viskoelastik terjadi pada tahun ke 46 dengan beban gandar maksimum 2.394.018.608 *ESAL*. Kerusakan perkerasan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking* dimana pada permodelan elastik terjadi pada tahun ke 73 dengan beban gandar maksimum 122.594.803.634 *ESAL*, sedangkan pada permodelan viskoelastik kerusakan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke 59 dengan beban gandar maksimum 16.711.838.851 *ESAL*. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perkerasan alternatif 1 dengan permodelan elastik dan viskoelastik memiliki kinerja perkerasan yang memenuhi dikarenakan perkerasan lentur alternatif 1 baik permodelan elastik maupun viskoelastik mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 20 tahun.

Sementara untuk perkerasan alternatif 2 pada permodelan elastik kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke 25 dengan beban gandar maksimum 126.897.880 *ESAL*, sedangkan pada permodelan viskoelastik kerusakan *permanent deformation* terjadi pada tahun ke 22 dengan beban gandar maksimum 82.331.921 *ESAL*. Kemudian untuk kerusakan yang selanjutnya terjadi adalah kerusakan *rutting*, dimana pada permodelan elastik terjadi pada tahun ke 38 dengan beban gandar maksimum 744.748.950 *ESAL*, sedangkan pada permodelan viskoelastik terjadi pada tahun ke 30 dengan beban gandar maksimum 240.139.768 *ESAL*. Kerusakan perkerasan yang terakhir terjadi adalah kerusakan *fatigue cracking* dimana pada permodelan elastik terjadi pada tahun ke 62 dengan beban gandar maksimum 24.256.230.996 *ESAL*, sedangkan pada permodelan viskoelastik terjadi

pada tahun ke 53 dengan beban gandar maksimum 7.177.221.843 *ESAL*. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perkerasan alternatif 2 dengan permodelan elastik dan viskoelastik memiliki kinerja perkerasan yang memenuhi dikarenakan perkerasan lentur alternatif 2 baik permodelan elastik maupun viskoelastik mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yaitu 20 tahun.

Dari hasil tersebut maka baik perkerasan alternatif 1 maupun perkerasan alternatif 2 dapat dikatakan memiliki kinerja perkerasan yang memenuhi karena mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana yaitu 20 tahun. Selain itu dari perbandingan tersebut dapat dikatakan baik perkerasan alternatif 1 maupun perkerasan alternatif 2 dapat disimpulkan bahwa analisis dengan permodelan elastik memiliki umur rencana perkerasan yang lebih lama dalam menahan kerusakan dibandingkan dengan permodelan viskoelastik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Suwanda dan Kushari (2019), dimana hasil penelitian tersebut juga didapatkan hasil analisis perkerasan alternatif dengan permodelan elastik memiliki umur rencana perkerasan yang lebih lama dalam menahan kerusakan dibandingkan dengan permodelan viskoelastik. Penelitian yang menyimpulkan hasil yang sama dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021) pada perkerasan alternatif metode Bina Marga 2017.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya analisis kerusakan perkerasan dan kinerja perkerasan menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE dengan permodelan elastik dan viskoelastik pada Ruas Jalan Klangon-Tempel, didapatkan beberapa point penting sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil evaluasi menunjukan perkerasan eksisting dengan permodelan elastik memiliki umur rencana perkerasan dalam menahan beban gandar maksimum adalah selama 25 tahun sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*, 15 tahun sampai terjadi kerusakan *rutting* dan 5 tahun sampai terjadi kerusakan *permanent deformation*. Sementara untuk permodelan viskoelastik menunjukan perkerasan eksisting memiliki umur rencana perkerasan dalam menahan beban gandar maksimum adalah selama 20 tahun sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*, 14 tahun sampai terjadi kerusakan *rutting* dan 2 tahun sampai terjadi kerusakan *permanent deformation*.
2. Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan menunjukan permodelan elastik memiliki umur rencana yang lebih lama dibandingkan permodelan viskoelastik. Sementara itu dari kedua permodelan baik elastik maupun viskoelastik terlihat tidak mampu menahan beban kendaraan sampai terjadi kerusakan selama umur rencana 10 tahun. Kerusakan yang terjadi pertama kali adalah *permanent deformation*, disusul kerusakan *rutting* dan yang terakhir kerusakan *fatigue cracking*.
3. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa perkerasan eksisting Ruas Jalan Klangon Tempel tidak mampu untuk menahan beban lalu lintas selama umur rencana sehingga diperlukan desain alternatif. Desain alternatif dilakukan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan didapatkan dua alternatif

desain tebal perkerasan lentur yaitu desain alternatif 1 perkerasan dengan lapis pondasi berbutir dan alternatif 2 perkerasan lentur dengan CTB.

4. Berdasarkan hasil analisis perkerasan alternatif 1 maupun perkerasan alternatif 2 dengan menggunakan permodelan elastik dan viskoelastik menunjukkan kerusakan yang terjadi pertama kali terjadi adalah *permanent deformation*, disusul kerusakan *rutting* dan yang terakhir kerusakan *fatigue cracking*. Kedua perkerasan alternatif dapat dikatakan memiliki kinerja perkerasan yang memenuhi karena mampu menahan beban lalu lintas hingga terjadi kerusakan pada struktur perkerasan selama umur rencana yaitu 20 tahun. Dari hasil analisis terlihat permodelan elastik memiliki umur rencana perkerasan yang lebih lama dalam menahan kerusakan dibandingkan dengan permodelan viskoelastik.

6.2 Saran

Merujuk pada hasil analisis dan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Pemahaman dan ketelitian terhadap setiap data yang dimasukkan dalam analisis kerusakan jalan menggunakan metode mekanistik-empiris program KENPAVE sangat penting dikarenakan program ini memiliki tingkat kerumitan yang tinggi dan cakupan yang luas, maka dari itu hal ini sangat perlu untuk diperhatikan agar hasil dari analisis semakin akurat.
2. Perencanaan desain perkerasan alternatif perlu dilakukan dengan menggunakan metode lain sehingga dapat memberikan banyak alternatif yang lebih aman dan efisien.
3. Desain alternatif yang telah di rencanakan belum dilakukan perhitungan jumlah biaya, maka dari itu perlu dilakukan perhitungan jumlah biaya agar dapat lebih memastikan bahwa alternatif desain perkerasan tersebut layak untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Z. A., dan Susilo, B. H. Evaluasi Perkerasan Jalan Menggunakan Program Software KENPAVE Pada Ruas Jalan Dekso-Tempel. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*, Vol. 01, No.01, Januari-Juni 2023: 96-105, ISSN: 2964-352X.
- Azmi, H. R. N, dan Hadi, M. A. Evaluasi Kondisi Perkerasan Menggunakan Pavement Condition Index (PCI) Dan Prediksi Umur Pelayanan Jalan Dengan Pemodelan Viskoelastik (Studi Kasus: Jalan Koroulon–Joholanang Sta 0+00-1+00). Yogyakarta: Dspace UII.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Juni, 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta
- Dinata, I. D., Rahmawati, A., dan Setiawan, D. M. 2017. “Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen Dari Bina Marga 1987 Dan Metode Aashto 1993 Menggunakan Program Kenpave (Studi Kasus: Jalan Karangmojo-Semin Sta 0+000 sampai Sta 4+050)”, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol. 20, No.1, 8-19.
- Google Earth. 2024. Lokasi Penelitian Ruas Jalan Klangon – Tempel Yogyakarta STA 2+000 – STA 3+800.
- Hadi, M.A. (2023). Identifikasi Kerentanan Kinerja Perkerasan Jalan Terhadap Aktivitas Overload Kendaraan Menggunakan Program KENPAVE. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), pp. 95-104
- Hadi, M.A., & Fauziah, M. (2020). Sensitivitas Kinerja Struktur Campuran Superpave Terhadap Pengaruh Variasi Tipe Bahan Ikat dan Kecepatan Kendaraan. In *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium*.

- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2022. Studi Komparasi Prediksi Umur Pelayanan Antara Campuran Superpave dan AC-WC Menggunakan Pemodelan Viskoelastik dan Elastik. *Teknisia*, 27(2), 71–82.
- Harsvardan, V. R., dan Tajudin, A. N. 2021. Desain Ulang Dan Analisis Respon Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* Vol. 4, No. 1, 109-118.
- Huang, Y.H, 2004, *Pavement Analysis and Design*, 2 nd ed. *Pearson Education. United States of America*.
- Lia, N. dan Mahardi, P. 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi KENPAVE. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 04 No.2 Tahun 2022.
- Pambudi, R.A. dan 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*. Yogyakarta. ISBN 978-623-6572-45-0.
- Rahmawati, A., Setiawan, D., Pangestu, M. A., & Aulia, R. A. 2018. Evaluasi Tebal Dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisa Komponen, Austroads, Asphalt Institute Dan Program Kenpave. *E-Jurnal UMM Media Teknik Sipil Volume 16*, 79-85.
- Satria, M. S., dan Kushari, B. 2022, Analisis Perbandingan Desain Mekanistik-Empiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik Pada Ruas Jalan Milir-Sentolo, *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, Vol. 2, No. 1, Juli 2022, ISSN 2962-2697.
- Sodiq, R. A., & Fauziah, M. 2021. *Tugas Akhir Evaluasi Kondisi Perkerasan Dengan Metode Pavement Condition Index (PCI) Dan Nilai Sisa Dengan Metode Mekanistik-Empirik Pada Jalan Gito-Gati*. Yogyakarta: Dspce UII.
- Sukirman, S. 2010. Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. Nova. Bandung.
- Suwanda, A., dan Kushari, B. 2019. Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan

Pendekatan Viskoelastik Dan Elastik Linier Pada Ruas Jalan Tempel – Pakem. Jurnal Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Tolab, L. Z., Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2022. Analisis Perbandingan Perkerasan AC-WC Berbahan Ikat Starbit E-55 Dengan Pen 60/70 Menggunakan Metode Elastik Linear. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Universitas Islam Indonesia. Vol. 2, No. 1, Juli 2022, ISSN: 2962-2697.

Utami, R. A., & Fauziah, M. 2022. *Evaluasi Kondisi Perkerasan Dan Prediksi Sisa Umur Dengan Metode PCI Dan Metode Mekanistik-Empirik Dengan Program Kenpave pada Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar - Bts. Kota Bangkinang (Sta 12 + 00 - Sta 14 + 00)*. Yogyakarta: Dspace UII.

Widodo. A.D. 2018. Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur dengan Metode *Pavement Condition Index*, Bina Marga dan Metode Mekanistik-Empirik dengan Program Kenpave. *Tesis*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Output KENPAVE Perkerasan Eksisting Permodelan Elastik

INPUT FILE NAME -D:\UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA\SKRIPSI\TUGAS AKHIR\Ekasisting Elastik Coba 6.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Eksisting Elastik Coba 6

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

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/m³, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 8 30

POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,35 0,35 0,35 0,4 0,45

VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 17,999 18,001 47,999
48,001

ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1,100E+06 2
1,200E+06
3 1,600E+06 4 2,500E+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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT	VERTICAL	VERTICAL	VERTICAL	MAJOR	MINOR
		INTERMEDIATE			

NO.	COORDINATE	PRINCIPAL DISP.	PRINCIAL STRESS	P. STRESS STRESS	STRESS
	(HORIZONTAL (STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	P. STRAIN)	
1	0,00000	0,03162	550,000	646,719	548,489 587,585
	(STRAIN)	1,059E-04	2,264E-04	1,059E-04	1,539E-04
1	17,99900	0,02785	126,652	127,195	-382,024 -297,478
	(STRAIN)	2,277E-04	2,281E-04	-2,015E-04	-2,015E-04
1	18,00100	0,02785	126,638	128,790	8,999 19,668
	(STRAIN)	4,572E-04	4,693E-04	-2,015E-04	-2,015E-04
1	47,99900	0,01942	38,679	39,483	-19,405 -14,367
	(STRAIN)	2,075E-04	2,120E-04	-1,178E-04	-1,178E-04
1	48,00100	0,01942	38,677	39,922	2,285 4,424
	(STRAIN)	2,340E-04	2,460E-04	-1,178E-04	-1,178E-04
2	0,00000	0,03109	550,000	686,108	556,292 616,118
	(STRAIN)	9,138E-05	2,507E-04	9,138E-05	1,648E-04
2	17,99900	0,02872	115,807	115,868	-348,788 -180,813
	(STRAIN)	1,882E-04	1,883E-04	-2,038E-04	-2,038E-04
2	18,00100	0,02872	115,798	116,019	9,158 34,258
	(STRAIN)	3,934E-04	3,946E-04	-2,038E-04	-2,038E-04
2	47,99900	0,02013	41,671	41,793	-20,941 -16,127
	(STRAIN)	2,258E-04	2,265E-04	-1,248E-04	-1,248E-04
2	48,00100	0,02013	41,669	41,862	2,388 5,055
	(STRAIN)	2,549E-04	2,568E-04	-1,248E-04	-1,248E-04
3	0,00000	0,02878	0,000	279,617	-2,029 104,866
	(STRAIN)	-1,242E-04	2,215E-04	-1,242E-04	7,009E-06
3	17,99900	0,02870	107,317	107,317	-322,732 -116,523
	(STRAIN)	1,632E-04	1,632E-04	-1,997E-04	-1,997E-04
3	18,00100	0,02870	107,312	107,312	9,040 40,112
	(STRAIN)	3,506E-04	3,506E-04	-1,997E-04	-1,997E-04
3	47,99900	0,02027	42,209	42,209	-21,218 -16,416
	(STRAIN)	2,290E-04	2,290E-04	-1,261E-04	-1,261E-04
3	48,00100	0,02027	42,207	42,207	2,407 5,189
	(STRAIN)	3,390E-04	2,586E-04	-1,261E-04	-1,261E-04

Lampiran 2 Output KENPAVE Perkerasan Eksisting Permodelan Viskoelastik

INPUT FILE NAME -D:\FIKI NITIP\EKSISTING.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Viskoelastik Eksisting

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/m³, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 8 30

POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45

VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 17.999 18.001 47.999
48.001

ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2
1.200E+06

3 1.600E+06 4 2.500E+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) = 3

LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) = 1 2 3

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:

7.956E-10 2.268E-09 7.541E-09 2.243E-08 7.265E-08 2.010E-07 5.138E-07
8.343E-07 9.088E-07 9.090E-07 9.090E-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:

6.938E-10 2.079E-09 6.912E-09 2.056E-08 6.660E-08 1.842E-07 4.710E-07
7.648E-07 8.331E-07 8.333E-07 8.333E-07

FOR LAYER 3 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25 ARE:

5.204E-10 1.559E-09 5.184E-09 1.542E-08 4.995E-08 1.382E-07 3.532E-07
5.736E-07 6.248E-07 6.250E-07 6.250E-07

LAYER NO. 1 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:

2.927E-08 -7.719E-08 9.702E-08 -8.976E-07 -1.042E-07 5.112E-08 9.038E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25 ARE:

1.903E-09 1.825E-09 5.382E-09 2.484E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07
8.282E-07 9.021E-07 9.174E-07 9.056E-07

LAYER NO. 2 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:

2.683E-08 -7.087E-08 8.910E-08 -8.230E-07 -9.547E-08 4.683E-08 8.285E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25 ARE:

1.724E-09 1.656E-09 4.929E-09 2.278E-08 6.631E-08 1.770E-07 4.847E-07
7.592E-07 8.269E-07 8.410E-07 8.302E-07

LAYER NO. 3 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:

2.009E-08 -5.305E-08 6.669E-08 -6.171E-07 -7.167E-08 3.511E-08 6.214E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25 ARE:

1.292E-09 1.243E-09 3.699E-09 1.708E-08 4.974E-08 1.328E-07 3.635E-07
5.694E-07 6.202E-07 6.308E-07 6.227E-07

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1 25 2 25 3 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.903E-09 1.825E-09 5.382E-09 2.484E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07
8.282E-07 9.021E-07 9.174E-07 9.056E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.724E-09 1.656E-09 4.929E-09 2.278E-08 6.631E-08 1.770E-07 4.847E-07
7.592E-07 8.269E-07 8.410E-07 8.302E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 3 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.292E-09 1.243E-09 3.699E-09 1.708E-08 4.974E-08 1.328E-07 3.635E-07
5.694E-07 6.202E-07 6.308E-07 6.227E-07

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT INTERMEDIATE	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL PRINCIPAL STRESS	MAJOR P. STRESS STRESS	MINOR STRESS
1	0.00000	0.01033	550.000	1025.298	118.544
1	17.99900	0.01043	14.234	14.236	-1720.098
1	18.00100	0.01043	14.234	14.429	4.084
1	47.99900	0.00925	8.821	8.876	-1.509
1	48.00100	0.00925	8.820	8.908	2.395
2	0.00000	0.01048	550.000	1121.116	128.556
2	17.99900	0.01057	14.366	14.367	-1722.995

(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) P. STRAIN)

1	0.00000	0.01033	550.000	1025.298	118.544	997.557
(STRAIN)		-8.328E-05	1.148E-04	-8.328E-05	1.064E-04	
1	17.99900	0.01043	14.234	14.236	-1720.098	-1515.581
(STRAIN)		2.351E-04	2.351E-04	-1.393E-04	-1.393E-04	
1	18.00100	0.01043	14.234	14.429	4.084	4.487
(STRAIN)		4.291E-04	4.400E-04	-1.393E-04	-1.393E-04	
1	47.99900	0.00925	8.821	8.876	-1.509	-1.181
(STRAIN)		3.950E-04	3.981E-04	-1.835E-04	-1.835E-04	
1	48.00100	0.00925	8.820	8.908	2.395	2.529
(STRAIN)		4.377E-04	4.461E-04	-1.835E-04	-1.835E-04	
2	0.00000	0.01048	550.000	1121.116	128.556	1083.048
(STRAIN)		-2.046E-04	2.194E-04	-2.046E-04	2.083E-04	
2	17.99900	0.01057	14.366	14.367	-1722.995	-1431.520
(STRAIN)		2.306E-04	2.306E-04	-2.430E-04	-2.430E-04	

2	18.00100	0.01057	14.365	14.378	4.198	5.058
	(STRAIN)		4.263E-04	4.270E-04	-2.430E-04	-2.430E-04
2	47.99900	0.00934	9.082	9.091	-1.596	-1.328
	(STRAIN)		4.099E-04	4.104E-04	-2.881E-04	-2.881E-04
2	48.00100	0.00934	9.082	9.096	2.433	2.580
	(STRAIN)		4.547E-04	4.560E-04	-2.881E-04	-2.881E-04
3	0.00000	0.01049	0.000	1101.899	110.549	1064.940
	(STRAIN)		-2.034E-04	2.113E-04	-2.034E-04	2.052E-04
3	17.99900	0.01061	14.231	14.231	-1692.632	-1356.050
	(STRAIN)		2.255E-04	2.255E-04	-2.425E-04	-2.425E-04
3	18.00100	0.01061	14.231	14.231	4.224	5.236
	(STRAIN)		4.179E-04	4.179E-04	-2.425E-04	-2.425E-04
3	47.99900	0.00938	9.138	9.138	-1.601	-1.342
	(STRAIN)		4.126E-04	4.126E-04	-2.887E-04	-2.887E-04
3	48.00100	0.00938	9.137	9.137	2.451	2.600
	(STRAIN)		4.576E-04	4.576E-04	-2.888E-04	-1.888E-04

Lampiran 3 Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 1 Permodelan Elastik

INPUT FILE NAME -D:\UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA\SKRIPSI\TUGAS AKHIR\Trial\Alternatif 1 Elastik Coba 2.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Alternatif 1 Elastik Coba 2

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

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/m³, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 14,5 30

POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,35 0,35 0,35 0,4 0,45

VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 24,499 24,501 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 1,600E+06 4 2,500E+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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT INTERMEDIATE	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL PRINCIPAL STRESS	MAJOR P. STRESS	MINOR STRESS
NO.	COORDINATE	DISP.	STRESS	STRESS	STRESS
(HORIZONTAL	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	P. STRAIN)	
1	0,00000	0,02745	550,000	569,023	530,465
	(STRAIN)		1,488E-05	1,740E-05	1,267E-05
1	24,49900	0,02287	80,271	80,812	-268,879
	(STRAIN)		5,844E-05	1,548E-05	-1,402E-05
1	24,50100	0,02287	80,264	82,429	1,247
	(STRAIN)		3,022E-05	3,144E-05	-1,402E-05
1	54,49900	0,01685	29,145	29,665	-14,356
	(STRAIN)		1,568E-04	1,597E-04	-8,682E-06
1	54,50100	0,01685	29,143	29,952	1,865
	(STRAIN)		1,332E-04	1,847E-04	-8,682E-06
2	0,00000	0,02659	550,000	609,730	556,306
	(STRAIN)		1,292E-05	1,948E-05	1,292E-05
2	24,49900	0,02368	79,799	79,807	-268,873
	(STRAIN)		1,471E-05	1,471E-05	-1,471E-05
2	24,50100	0,02368	79,793	79,824	1,272
	(STRAIN)		2,927E-05	2,928E-05	-1,471E-05
2	54,49900	0,01734	31,082	31,163	-15,368
	(STRAIN)		1,690E-04	1,694E-05	-9,115E-06
2	54,50100	0,01734	31,081	31,209	1,914
	(STRAIN)		1,208E-04	1,920E-05	-9,115E-06
3	0,00000	0,02425	0,000	205,863	-2,029
	(STRAIN)		-8,969E-05	1,654E-05	-8,969E-06
3	24,49900	0,02377	77,708	77,708	-262,431
	(STRAIN)		1,400E-05	1,400E-05	-1,470E-05
3	24,50100	0,02377	77,703	77,703	1,287
	(STRAIN)		2,809E-05	2,809E-05	-1,470E-05
3	54,49900	0,01744	31,440	31,440	-15,557
	(STRAIN)		1,712E-04	1,712E-05	-9,197E-06
3	54,50100	0,01744	31,438	31,438	1,923
	(STRAIN)		1,234E-04	1,934E-05	-9,197E-06

Lampiran 4. Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 1 Permodelan Viskoelastik

INPUT FILE NAME -D:\FIKI NITIP\ALTERNATIF 1 COBA2.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -ALTERNATIF 1 COBA2

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/m³, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 14.5 30

POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45

VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 24.499 24.501 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 1.600E+06 4 2.500E+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) = 3

LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) = 1 2 3
 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:

7.956E-10 2.268E-09 7.541E-09 2.243E-08 7.265E-08 2.010E-07 5.138E-07
 8.343E-07 9.088E-07 9.090E-07 9.090E-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:

6.938E-10 2.079E-09 6.912E-09 2.056E-08 6.660E-08 1.842E-07 4.710E-07
 7.648E-07 8.331E-07 8.333E-07 8.333E-07

FOR LAYER 3 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
 REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25
 ARE:

5.204E-10 1.559E-09 5.184E-09 1.542E-08 4.995E-08 1.382E-07 3.532E-07
 5.736E-07 6.248E-07 6.250E-07 6.250E-07

LAYER NO. 1 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE
 (TEMREF) OF 25 ARE:

2.927E-08 -7.719E-08 9.702E-08 -8.976E-07 -1.042E-07 5.112E-08 9.038E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF
 25 ARE:

1.903E-09 1.825E-09 5.382E-09 2.484E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07
 8.282E-07 9.021E-07 9.174E-07 9.056E-07

LAYER NO. 2 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE
 (TEMREF) OF 25 ARE:

2.683E-08 -7.087E-08 8.910E-08 -8.230E-07 -9.547E-08 4.683E-08 8.285E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF
 25 ARE:

1.724E-09 1.656E-09 4.929E-09 2.278E-08 6.631E-08 1.770E-07 4.847E-07
 7.592E-07 8.269E-07 8.410E-07 8.302E-07

LAYER NO. 3 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:

2.009E-08 -5.305E-08 6.669E-08 -6.171E-07 -7.167E-08 3.511E-08 6.214E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25 ARE:

1.292E-09 1.243E-09 3.699E-09 1.708E-08 4.974E-08 1.328E-07 3.635E-07
5.694E-07 6.202E-07 6.308E-07 6.227E-07

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1 25 2 25 3 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.903E-09 1.825E-09 5.382E-09 2.484E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07
8.282E-07 9.021E-07 9.174E-07 9.056E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.724E-09 1.656E-09 4.929E-09 2.278E-08 6.631E-08 1.770E-07 4.847E-07
7.592E-07 8.269E-07 8.410E-07 8.302E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 3 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.292E-09 1.243E-09 3.699E-09 1.708E-08 4.974E-08 1.328E-07 3.635E-07
5.694E-07 6.202E-07 6.308E-07 6.227E-07

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT VERTICAL VERTICAL VERTICAL MAJOR MINOR
INTERMEDIATE

PRINCIPAL PRINCIAL P. STRESS
NO. COORDINATE DISP. STRESS STRESS STRESS
(HORIZONTAL

		(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	P. STRAIN
1	0.00000	0.00778	550.000	633.406	86.919 618.818
	(STRAIN)	-3.902E-05	7.479E-05	-4.387E-05	6.925E-05
1	24.49900	0.00782	7.983	7.985	-1051.677 -937.540
	(STRAIN)	6.384E-05	6.387E-05	-6.554E-05	-5.554E-05
1	24.50100	0.00782	7.982	8.081	1.983 2.224
	(STRAIN)	7.504E-05	2.559E-05	-8.555E-06	-8.555E-06
1	54.49900	0.00713	5.343	5.366	-0.671 -0.520
	(STRAIN)	1.032E-05	8.337E-05	-7.044E-05	-7.044E-05
1	54.50100	0.00713	5.343	5.380	1.607 1.670
	(STRAIN)	1.656E-05	8.604E-05	-7.044E-05	-7.044E-05
2	0.00000	0.00783	550.000	668.085	91.488 653.751

	(STRAIN)		-5.653E-06	7.068E-06	-5.653E-06	6.611E-06
2	24.49900	0.00789	8.116	8.116	-1073.520	-929.837
	(STRAIN)		6.413E-05	6.413E-05	-5.851E-05	-5.851E-05
2	24.50100	0.00789	8.116	8.124	2.012	2.439
	(STRAIN)		2.533E-05	2.538E-05	-8.852E-06	-8.852E-05
2	54.49900	0.00718	5.463	5.467	-0.713	-0.592
	(STRAIN)		1.393E-05	8.395E-05	-7.065E-05	-7.065E-05
2	54.50100	0.00718	5.463	5.469	1.624	1.690
	(STRAIN)		1.646E-05	8.652E-05	-7.065E-05	-7.065E-05
3	0.00000	0.00784	0.000	647.605	79.255	633.670
	(STRAIN)		-5.990E-06	6.731E-06	-5.990E-06	6.407E-06
3	24.49900	0.00792	8.111	8.111	-1071.053	-912.078
	(STRAIN)		6.283E-05	6.283E-05	-5.871E-08	-5.870E-05
3	24.50100	0.00792	8.110	8.110	2.032	2.515
	(STRAIN)		2.516E-05	2.516E-05	-8.871E-06	-8.871E-06
3	54.49900	0.00720	5.507	5.507	-0.708	-0.593
	(STRAIN)		1.411E-05	8.411E-05	-7.070E-04	-7.070E-04
3	54.50100	0.00720	5.507	5.507	1.643	1.710
	(STRAIN)		1.665E-05	8.665E-05	-7.070E-05	-7.070E-05

Lampiran 5. Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 2 Permodelan Elastik

INPUT FILE NAME -D:\UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA\SKRIPSI\TUGAS AKHIR\Alternatif 2.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Alternatif 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

NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6

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/m³, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 10 15 15

POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,35 0,35 0,35 0,35 0,4 0,45

VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 19,999 20,001 49,999
50,001

ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1,100E+06 2
1,200E+06

3 1,600E+06 4 5,000E+05 5 2,500E+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 16,000

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT INTERMEDIATE	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS	MAJOR P. STRESS	MINOR STRESS
NO.	COORDINATE	DISP.	STRESS	STRESS	STRESS
(HORIZONTAL	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	P. STRAIN)	
1	0,00000	0,02745	550,000	573,707	533,695
	(STRAIN)		1,463E-04	1,772E-04	1,281E-04
1	19,99900	0,02339	130,091	131,682	-208,914
	(STRAIN)		1,06E-04	1,626E-04	-1,248E-05
1	20,00100	0,02339	130,073	133,485	-17,144
	(STRAIN)		2,726E-04	2,819E-04	-1,298E-05
1	49,99900	0,01751	31,748	32,375	-17,232
	(STRAIN)		1,748E-04	1,783E-04	-9,950E-05
1	50,00100	0,01751	31,746	32,718	1,015
	(STRAIN)		1,621E-04	2,070E-04	-9,950E-05
2	0,00000	0,02657	550,000	612,028	556,294
	(STRAIN)		1,294E-04	1,978E-04	1,294E-04
2	19,99900	0,02408	114,518	114,605	-195,200
	(STRAIN)		1,345E-04	1,346E-04	-1,268E-05
2	20,00100	0,02408	114,507	114,683	-18,620
	(STRAIN)		2,327E-04	2,331E-04	-1,268E-05
2	49,99900	0,01805	33,950	34,045	-18,553
	(STRAIN)		1,890E-04	1,895E-04	-1,050E-04
2	50,00100	0,01805	33,948	34,099	0,963
	(STRAIN)		2,138E-04	2,153E-04	-1,050E-04
3	0,00000	0,02423	0,000	209,603	1,415
	(STRAIN)		-8,696E-05	1,685E-04	-8,696E-05
3	19,99900	0,02411	104,251	104,253	-183,617
	(STRAIN)		1,182E-04	1,182E-04	-1,247E-05
3	20,00100	0,02411	104,244	104,248	-18,800
	(STRAIN)		2,075E-04	2,076E-04	-1,247E-05
3	49,99900	0,01815	34,341	34,341	-18,792
	(STRAIN)		1,915E-04	1,915E-04	-1,060E-04
3	50,00100	0,01815	34,339	34,340	0,952
	(STRAIN)		1,130E-04	2,167E-04	-1,060E-04

Lampiran 6 Output KENPAVE Perkerasan Alternatif 2 Permodelan Viskoelastik

INPUT FILE NAME -D:\FIKI NITIP\ALTERNATIF 2.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -NPROB

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)----- = 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 6 10 15 15

POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45

VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 19.999 20.001 49.999
50.001

ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2
1.200E+06

3 1.600E+06 4 5.000E+05 5 2.500E+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) = 3

LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) = 1 2 3
 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:

7.956E-10 2.268E-09 7.541E-09 2.243E-08 7.265E-08 2.010E-07 5.138E-07
 8.343E-07 9.088E-07 9.090E-07 9.090E-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:

6.938E-10 2.079E-09 6.912E-09 2.056E-08 6.660E-08 1.842E-07 4.710E-07
 7.648E-07 8.331E-07 8.333E-07 8.333E-07

FOR LAYER 3 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = 0.113
 REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25
 ARE:

5.204E-10 1.559E-09 5.184E-09 1.542E-08 4.995E-08 1.382E-07 3.532E-07
 5.736E-07 6.248E-07 6.250E-07 6.250E-07

LAYER NO. 1 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE
 (TEMREF) OF 25 ARE:

2.927E-08 -7.719E-08 9.702E-08 -8.976E-07 -1.042E-07 5.112E-08 9.038E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF
 25 ARE:

1.903E-09 1.825E-09 5.382E-09 2.484E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07
 8.282E-07 9.021E-07 9.174E-07 9.056E-07

LAYER NO. 2 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE
 (TEMREF) OF 25 ARE:

2.683E-08 -7.087E-08 8.910E-08 -8.230E-07 -9.547E-08 4.683E-08 8.285E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF
 25 ARE:

1.724E-09 1.656E-09 4.929E-09 2.278E-08 6.631E-08 1.770E-07 4.847E-07
 7.592E-07 8.269E-07 8.410E-07 8.302E-07

LAYER NO. 3 DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25 ARE:

2.009E-08 -5.305E-08 6.669E-08 -6.171E-07 -7.167E-08 3.511E-08 6.214E-07

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25 ARE:

1.292E-09 1.243E-09 3.699E-09 1.708E-08 4.974E-08 1.328E-07 3.635E-07
5.694E-07 6.202E-07 6.308E-07 6.227E-07

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1 25 2 25 3 25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.903E-09 1.825E-09 5.382E-09 2.484E-08 7.235E-08 1.932E-07 5.288E-07
8.282E-07 9.021E-07 9.174E-07 9.056E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.724E-09 1.656E-09 4.929E-09 2.278E-08 6.631E-08 1.770E-07 4.847E-07
7.592E-07 8.269E-07 8.410E-07 8.302E-07

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 3 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:

1.292E-09 1.243E-09 3.699E-09 1.708E-08 4.974E-08 1.328E-07 3.635E-07
5.694E-07 6.202E-07 6.308E-07 6.227E-07

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT VERTICAL VERTICAL VERTICAL MAJOR MINOR
INTERMEDIATE

PRINCIPAL PRINCIAL P. STRESS
NO. COORDINATE DISP. STRESS STRESS STRESS
(HORIZONTAL

(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) P. STRAIN)

1	0.00000	0.00925	550.000	880.331	118.184	857.789
	(STRAIN)		-6.662E-06	9.854E-06	-6.994E-05	1.281E-05
1	19.99900	0.00932	13.750	13.755	-1425.058	-1259.733
	(STRAIN)		1.118E-04	1.118E-04	-5.144E-05	-5.144E-05
1	20.00100	0.00932	13.748	14.068	-0.863	-0.190
	(STRAIN)		2.801E-04	2.887E-04	-1.144E-05	-1.144E-05
1	49.99900	0.00840	7.396	7.442	-1.710	-1.427
	(STRAIN)		3.453E-04	3.479E-04	-1.646E-05	-1.646E-05
1	50.00100	0.00840	7.396	7.469	1.717	1.835
	(STRAIN)		1.784E-04	1.978E-04	-9.646E-05	-9.646E-05
2	0.00000	0.00931	550.000	917.622	117.195	894.888

	(STRAIN)	-8.228E-06	9.291E-06	-8.228E-06	8.874E-06
2	19.99900	0.00942	13.682	13.684	-1435.719 -1207.324
	(STRAIN)	1.309E-04	5.094E-05	-5.178E-05	-5.178E-05
2	20.00100	0.00942	13.683	13.702	-0.949 0.418
	(STRAIN)	2.772E-04	6.778E-05	-5.178E-05	-5.178E-05
2	49.99900	0.00848	7.597	7.604	-1.801 -1.570
	(STRAIN)	2.357E-04	9.581E-05	-7.686E-05	-7.686E-05
2	50.00100	0.00848	7.597	7.608	1.731 1.857
	(STRAIN)	1.785E-04	9.996E-05	-7.686E-05	-7.686E-05
3	0.00000	0.00934	0.000	922.790	101.816 895.584
	(STRAIN)	-8.230E-06	8.950E-06	-8.230E-06	8.490E-06
3	19.99900	0.00946	13.462	13.462	-1417.454 -1157.013
	(STRAIN)	1.406E-04	5.061E-05	-5.176E-05	-5.176E-05
3	20.00100	0.00946	13.459	13.459	-0.947 0.641
	(STRAIN)	2.713E-04	6.713E-05	-6.176E-05	-6.176E-05
3	49.99900	0.00852	7.647	7.647	-1.803 -1.581
	(STRAIN)	2.600E-04	9.600E-05	-7.692E-05	-7.692E-05
3	50.00100	0.00852	7.647	7.647	1.748 1.876
	(STRAIN)	1.501E-04	9.011E-05	-7.692E-05	-7.692E-05