

**TESIS**  
**EVALUASI RANCANGAN STRUKTUR PERKERASAN**  
**UNTUK MEMPREDIKSI UMUR LAYAN MENGGUNAKAN METODE**  
**BINA MARGA 2017, AASHTO 1993 DAN METODE MEKANISTIK**  
**EMPIRIK KENPAVE**  
**Study Kasus: Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang**  
**(Sta. 12+000 – Sta. 14+000)**

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



**Disusun Oleh:**  
**NIKEN KRISTANTI PRADASARI**  
**18914043**

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**2023**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**TESIS**

**EVALUASI RANCANGAN STRUKTUR PERKERASAN  
UNTUK MEMPREDIKSI UMUR LAYAN MENGGUNAKAN METODE  
BINA MARGA 2017, AASHTO 1993 DAN METODE MEKANISTIK  
EMPIRIK KENPAVE**

**Study Kasus: Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang  
(Sta. 12+000 – Sta. 14+000)**



**Disusun oleh:**

**NIKEN KRISTANTI PRADASARI**

**18914043**

**Diperiksa dan disetujui oleh:**

**Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.**

**Dosen Pembimbing**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Miftahul Fauziah', written over a horizontal line.

**Tanggal:**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TESIS**

**EVALUASI RANCANGAN STRUKTUR PERKERASAN  
UNTUK MEMPREDIKSI UMUR LAYAN MENGGUNAKAN METODE  
BINA MARGA 2017, AASHTO 1993 DAN METODE MEKANISTIK  
EMPIRIK KENPAVE**

**Study Kasus: Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang  
(Sta. 12+000 – Sta. 14+000)**

**Disusun oleh:**

**NIKEN KRISTANTI PRADASARI**

**18914043**

Telah diuji di depan Dewan Penguji  
Pada tanggal 30 Januari 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

(Susunan Dewan Penguji)

Dosen Pembimbing

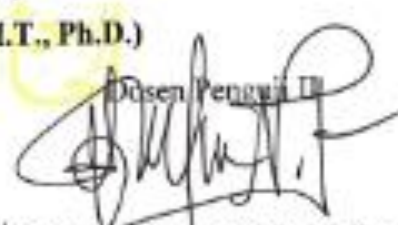


(Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.)

Dosen Penguji I



(Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.)



(Beethin Kushari, S.T., M. Eng.) IPM.

Yogyakarta, 30 Maret 2023

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil, Program Magister

Ketua Program,



(Siti Anisah Yuni Astuti S.T., M.T., Dr.)

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program "*software*" komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 27 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



**(Niken Kristanti Pradasari)**

**18914043**

## KATA PENGANTAR

*Bismillahi assalamu'alaikum Wr. Wb.,*

Syukur kepada Allah SWT dengan mengucapkan *Alhamdulillah rob'l'alamin, Allahumma sholli 'ala sayyidina Muhammad wa'ala alii sayyidina Muhammad*, sholawat serta salam tercurahkan kepada junjungan umat manusia, Muhammad SAW, Nabi dan Rasul Allah yang telah berhasil mengemban misi tugas-tugas mulia. Pada kesempatan kali ini, penulis berhasil menyelesaikan tugas tesis dengan judul “Evaluasi Rancangan Struktur Perkerasan untuk Memprediksi Umur Layan Menggunakan Metode Bina Marga 2017, Aashto 1993 dan Metode Mekanistik Empirik Kenpave” untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari tugas akhir ini bukanlah tujuan akhir dari belajar, karena sesungguhnya belajar adalah sesuatu yang tidak terbatas. terselesaikannya tesis ini tentunya tak lepas dari dorongan dan uluran tangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, tak salah kiranya penulis mengungkapkan rasa terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Yang terhormat, Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen pembimbing Pendamping yang telah memberikan waktu, bimbingan, arahan, masukan dan motivasi untuk keberhasilan penyusunan tugas akhir tesis ini.
2. Yang terhormat, Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. dan Bapak Berlian Kushari, ST., M.Eng., selaku Dosen Penguji Tesis, yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
3. Yang terhormat, Ibu Sri Amini Yuni Astuti S.T., M.T., Dr., selaku Ketua Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
4. Segenap Dosen dan Staff Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, yang telah membekali ilmu pengetahuan selama mengikuti pendidikan di Universitas Islam Indonesia.

5. Kepada seluruh keluarga/kerabat serta teman-teman terdekat terima kasih telah memberikan doa, semangat, dan dukungan moril maupun materil yang sangat berarti bagi penyusun dalam menyelesaikan Tesis ini.
6. Serta pihak-pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut membantu penyusunan Tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Tiada kemampuan penulis untuk membalas segala bantuan dan pertolongan yang telah diberikan, semoga mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT, Aamiin. Semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi pihak-pihak yang berkepentingan, serta penulis sendiri.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 27 Januari 2023

Hormat Saya,

(Niken Kristanti Pradasari)

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	I
HALAMAN PENGESAHAN .....	II
PERNYATAAN .....	III
KATA PENGANTAR .....	IV
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR TABEL.....	IX
DAFTAR GAMBAR .....	XII
DAFTAR PERSAMAAN .....	XIV
ABSTRAK.....	XV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Metode Empiris Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993.....	6
2.2 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Program <i>KENPAVE</i> dan Sisa Umur Perkerasan Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik.....	6
BAB III LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Perkerasan Lentur ( <i>Flexible Pavement</i> ).....	12
3.1.1 Lapis permukaan ( <i>surface course</i> ).....	13
3.1.2 Lapis pondasi atas ( <i>base course</i> ) .....	13
3.1.3 Lapis Pondasi bawah ( <i>subbase course</i> ) .....	13
3.1.4 Tanah Dasar ( <i>subgrade</i> ).....	14
3.2 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 .....	14
3.3 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode AASHTO 1993 .....	21

3.4 Analisis Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik – Empirik .....	31
3.4.1 Metode empirik .....	33
3.4.2 Metode mekanistik Empirik.....	33
3.4.3 Karakteristik Material .....	35
3.4.4 Analisis Kerusakan Perkerasan .....	35
3.5 Program KENPAVE .....	37
3.5.1 <i>INPUT</i> program <i>KENPAVE</i> .....	38
3.5.2 Program <i>KENPAVE</i> .....	41
BAB IV METODE PENELITIAN .....	45
4.1 Lokasi Penelitian.....	45
4.2 Teknik Pengumpulan Data.....	46
4.3 Analisis Data .....	46
4.4 Bagan Alir ( <i>Flow Chart</i> ) Penelitian.....	48
BAB V HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	51
5.1 Umum .....	51
5.2 Evaluasi Perkerasan Jalan Eksisting dengan <i>KENPAVE</i> .....	55
5.2.1 Model Pendekatan Elastis – Eksisting .....	55
5.2.2 Model Pendekatan Viscoelastis – Eksisting .....	62
5.3 Desain Tebal Perkerasan Jalan dengan Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993.....	66
5.3.1 Desain Tebal Perkerasan Jalan dengan Bina Marga 2017 .....	66
5.3.2 Desain Tebal Perkerasan Jalan dengan AASHTO 1993 .....	68
5.4 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 dengan <i>KENPAVE</i> .....	74
5.4.1 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 .....	74
5.4.2 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan AASHTO 1993 .....	77
5.5 Tebal Perkerasan Alternatif .....	79
5.5.1 Evaluasi Perkerasan Alternatif 1 .....	79
5.5.2 Evaluasi Perkerasan Alternatif 2.....	81
5.5.3 Evaluasi Perkerasan Alternatif 3 .....	83



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	93
6.1 Kesimpulan .....	93
6.2 Saran .....	96
DAFTAR PUSTAKA .....	97
LAMPRIRAN .....	99

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu .....	10
Tabel 3. 1 Umur Rencana (UR) Perkerasan Jalan Baru.....	15
Tabel 3. 2 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)(%) .....	15
Tabel 3. 3 Faktor Distribusi Lajur (DL).....	16
Tabel 3. 4 Pengumpulan Data Beban Gandar .....	17
Tabel 3. 5 Desain Tebal Perkerasan Lentur .....	18
Tabel 3. 6 Desain Tebal Perkerasan Lentur Alternatif.....	18
Tabel 3. 7 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga.....	19
Tabel 3. 8 Periode Analisa .....	21
Tabel 3. 9 Faktor Distribusi Jumlah Lajur (DL) .....	23
Tabel 3. 10 Tingkat Reliabilitas berdasarkan Fungsi Jalan .....	24
Tabel 3. 11 Nilai Simpangan Baku Normal (Zr) .....	24
Tabel 3. 12 Indeks Penilaian yang Tidak Diterima Pengguna Jalan.....	25
Tabel 3. 13 Tingkat Kualitas Drainase.....	26
Tabel 3. 14 Koefisien Drainase (m1) .....	26
Tabel 3. 15 Nilai Modulus Elastisitas (EBS) .....	28
Tabel 3. 16 Tegangan Berdasarkan Modulus dan Tebal Tanah Dasar .....	29
Tabel 3. 17 Nilai k1 dan k2 untuk Lapis Pondasi dan Pondasi Dasar .....	29
Tabel 3. 18 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan .....	39
Tabel 3. 19 Angka Possion Ratio .....	39
Tabel 4. 1 Kondisi Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang .....	45
Tabel 5. 1 Jenis dan Detail Jalan.....	51
Tabel 5. 2 Lalulintas Harian Rata-rata Tahunan .....	51
Tabel 5. 3 Tebal Perkerasan Jalan Eksisting.....	52
Tabel 5. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL).....	52
Tabel 5. 5 Perkiraan Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESA) .....	54
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Rencana Jumlah Kendaraan Setiap Tahun.....	55
Tabel 5. 8 Titik Tinjau pada Zcoord .....	57
Tabel 5. 9 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain.....	61
Tabel 5. 10 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting-Elastis .....	62

Tabel 5. 12 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis – Eksisting.....	65
Tabel 5. 13 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting-Viskoelastis.....	65
Tabel 5. 14 Umur Sisa Layan Perkerasan Jalan Eksisting (%).....	66
Tabel 5. 15 Pemilihan Jenis Perkerasan yang Digunakan .....	67
Tabel 5. 16 Desain Tebal Perkerasan Lentur yang Digunakan.....	68
Tabel 5. 17 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain.....	75
Tabel 5. 18 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain.....	75
Tabel 5. 19 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Bina Marga 2017- Elastis .....	75
Tabel 5. 20 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan BM 2017- Viscoelastis .....	76
Tabel 5. 21 Umur Sisa Layan Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 (%).....	76
Tabel 5. 22 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Elastis - AASHTO 1993 .....	77
Tabel 5. 23 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis - AASHTO 1993 .....	77
Tabel 5. 24 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan AASHTO 1993 - Elastis.....	78
Tabel 5. 25 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan AASHTO 1993 - Viscoelastis .....	78
Tabel 5. 26 Umur Sisa Layan Perkerasan Jalan AASHTO 1993 (%).....	78
Tabel 5. 27 Tebal Perkerasan Alternatif .....	79
Tabel 5. 28 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Elastis – Alternatif 1 .....	80
Tabel 5. 29 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis - Alternatif 1 .....	81
Tabel 5. 30 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 1- Elastis.....	81
Tabel 5. 31 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 1- Viscoelastis.....	81
Tabel 5. 32 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Elastis – Alternatif 2 .....	82
Tabel 5. 33 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis - Alternatif 2 .....	82
Tabel 5. 34 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 2- Elastis.....	83

Tabel 5. 35 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 2- Viscoelastis .....	83
Tabel 5. 36 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Elastis – Alternatif 3 .....	84
Tabel 5. 37 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis - Alternatif 3 .....	84
Tabel 5. 38 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 3- Elastis.....	85
Tabel 5. 39 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 3- Viscoelastis .....	85
Tabel 5. 40 Rekapitulasi Nilai Regangan dan Tegangan pada setiap Tipe Perkerasan .....	86
Tabel 5. 41 Rekapitulasi Nilai Umur Sisa Layan (Tahun).....	92
Tabel 6. 1 Rangkuman/Kesimpulan Hasil Penelitian .....	93
Tabel 6. 2 Nilai Tegangan Regangan Pendekatan Elastis.....	94
Tabel 6. 3 Nilai Tegangan Regangan Pendekatan Viscoelastis .....	95
Tabel 6. 4 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif .....	95
Tabel 6. 5 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif .....	96

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Penyebaran Beban Roda Melalui Perkerasan Jalan .....	12
Gambar 3. 2 Susunan Lapisan Konstruksi Pekerasan Lentur .....	12
Gambar 3. 3 Bagan Alir Desain Perkerasan Lentur dengan Bina Marga (2017)...	20
Gambar 3. 4 Grafik Nilai Kumulatif Lalu Lintas 18 Kips ESAL terhadap Waktu	23
Gambar 3. 5 Grafik Estimasi Koefisien Lapis Perkerasan Dasar (a1).....	27
Gambar 3. 6 Grafik koefisien lapis pondasi granular (a2).....	28
Gambar 3. 7 Grafik Nilai Koefisien Lapis Pondasi .....	30
Gambar 3. 8 Bagan Alir Penelitian Desain Perkerasan Lentur dengan AASHTO (1993).....	31
Gambar 3. 9 Multilayer Elastic System .....	34
Gambar 3. 10 Tampilan Menu Utama KENPAVE.....	38
Gambar 3. 11 Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia .....	40
Gambar 3. 12 Lokasi Analisis Struktur Perkerasan .....	41
Gambar 3. 13 Lokasi Analisis Secara Horizontal .....	41
Gambar 3. 14 Tampilan Layar General .....	42
Gambar 3. 15 Jendela Menu Zcoord.....	42
Gambar 3. 16 Tampilan Jendela Layer .....	43
Gambar 3. 17 Tampilan Jendela Interface .....	43
Gambar 3. 18 Tampilan Jendela Moduli.....	44
Gambar 3. 19 Tampilan Jendela Load .....	44
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian.....	45
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian .....	49
Gambar 5. 1 Tebal Perkerasan Jalan Eksisting .....	52
Gambar 5. 2 Menu Utama Program KENPAVE .....	56
Gambar 5. 3 Tampilan Menu LAYERINP .....	56
Gambar 5. 4 Data Input pada Menu General .....	57
Gambar 5. 5 Data Input pada Menu Zcoord .....	58
Gambar 5. 6 Data Input pada Menu Layer.....	58
Gambar 5. 7 Data Input pada Menu Moduli .....	59
Gambar 5. 8 Data Input pada Menu Load.....	60

Gambar 5. 9 Data Input pada Menu NPT .....	60
Gambar 5. 10 Data Input pada Menu General .....	63
Gambar 5. 11 Data Input pada Menu Time .....	63
Gambar 5. 12 Data Input pada Menu Temperature .....	64
Gambar 5. 13 Data Input pada Menu Creep Compliances .....	64
Gambar 5. 14 Nilai Modulus Resilient ( $M_R$ ) $E_{AC}$ .....	70
Gambar 5. 15 Nilai Modulus Resilient ( $M_R$ ) LPA .....	71
Gambar 5. 16 Nilai Modulus Resilient ( $M_R$ ) LPB .....	72
Gambar 5. 17 Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993 .....	74
Gambar 5. 18 Detail Tebal Perkerasan Alternatif 1 .....	80
Gambar 5. 19 Detail Tebal Perkerasan Alternatif 2 .....	82
Gambar 5. 20 Detail Tebal Perkerasan Alternatif 3 .....	83

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3. 1 .....	16
Persamaan 3. 2 .....	17
Persamaan 3. 3 .....	21
Persamaan 3. 4 .....	21
Persamaan 3. 5 .....	23
Persamaan 3. 6 .....	27
Persamaan 3. 7 .....	27
Persamaan 3. 8 .....	29
Persamaan 3. 9 .....	35
Persamaan 3. 10 .....	36
Persamaan 3. 11 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 38
Persamaan 4. 1 .....	47

## ABSTRAK

Ruas Jalan Bts Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang merupakan jalan Nasional yang menjadi penghubung Provinsi Riau ke beberapa provinsi lainnya seperti Provinsi Sumatera Utara, Sumatera Barat dan Jambi melalui jalur tengah Trans Sumatera. Jalur ini juga menjadi jalur logistik barang dan jasa sehingga banyak dilewati kendaraan bermuatan besar. Arus lalu lintas yang tinggi dan beban lalu lintas yang besar menyebabkan terjadinya penurunan kualitas jalan dan kerusakan pada konstruksi jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi ruas jalan tersebut dan mendesain ulang menggunakan beberapa metode untuk mendapatkan struktur perkerasan optimal yang dapat digunakan sebagai alternatif oleh pihak terkait. Untuk menentukan ketebalan perkerasan jalan, studi ini menggunakan dua metode empiris: AASHTO 1993 yang banyak digunakan di Amerika, dan Bina Marga 2017 yang paling sering digunakan di Indonesia. Teknik mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE dengan pendekatan pemodelan elastis dan viskoelastik mendukung hasil dan parameter masukan yang tersedia.

Kondisi perkerasan eksisting didapatkan CESA<sub>20</sub> (Nr) selama umur rencana 20 tahun adalah 1.02E+08 ESAL. Evaluasi tegangan regangan yang terjadi dengan pemodelan Elastis untuk penyebab kerusakan berupa *Fatigue Cracking* dengan nilai repetisi beban sebesar 1.0E+09, *Rutting* dengan nilai repetisi beban sebesar 2.7E+08 dan *Permanent Deformation* dengan nilai repetisi beban sebesar 1.2E+07. Sedangkan dengan pemodelan Viskoelastik untuk penyebab kerusakan berupa *Fatigue Cracking* dengan nilai repetisi beban sebesar 5.9E+08, *Rutting* dengan nilai repetisi beban sebesar 2.6E+08 dan *Permanent Deformation* dengan nilai repetisi beban sebesar 1.1E+07. Hasil penelitian menunjukkan desain tebal perkerasan alternatif 3 (AC-WC = 4 cm, AC-BC = 6 cm, AC Base = 16 cm, LPA = 20 cm dan LPB = 20 cm) merupakan tebal perkerasan optimal menahan repetisi beban selama umur rencana ( $>CESA_{20} = 102.141.712$  ESAL). Pendekatan jenis material perkerasan viscoelastic desain alternatif 3 mampu menahan kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* masing-masing secara berurutan hingga 25 tahun, 31 tahun dan 25 tahun. Sedangkan untuk material elastic desain alternative 3 mampu menahan kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* masing-masing secara berurutan hingga 39 tahun, 42 tahun dan 30 tahun.

**Kata Kunci:** Evaluasi struktur perkerasan jalan, Bina Marga 2017, AASHTO 1993, Kenpave, Elastis, Viskoelastis, Umur sisa perkerasan jalan.



## **ABSTRACT**

*Jalan Bts Kab. Kampar – Bts. Bangkinang City is a national road that connects Riau Province to several other provinces such as North Sumatra, West Sumatra and Jambi Provinces via the middle route of the Trans Sumatra. This route is also a logistics route for goods and services so that many large-laden vehicles pass through it. High traffic flows and large traffic loads cause a decrease in road quality and damage to road construction. This research was conducted to evaluate the road section and redesign it using several methods to obtain an optimal pavement structure that can be used as an alternative by related parties. This research uses an empirical method, namely Bina Marga 2017, where this method is the most commonly used in Indonesia to calculate the thickness of road pavements and AASHTO 1993 which is commonly used in America. The available results and input parameters are supported by mechanistic-empirical methods using the KENPAVE program with elastic and viscoelastic modeling approaches.*

*The condition of the existing pavement obtained by CESA20 (Nr) for a design life of 20 years is 1.02E+08 ESAL. Evaluation of the stress-strain that occurs with Elastic modeling for the cause of damage is Fatigue Cracking with a load repetition value of 1.0E+09, Rutting with a load repetition value of 2.7E+08 and Permanent Deformation with a load repetition value of 1.2E+07. Whereas with Viscoelastic modeling the cause of damage is Fatigue Cracking with a load repetition value of 5.9E+08, Rutting with a load repetition value of 2.6E+08 and Permanent Deformation with a load repetition value of 1.1E+07. The results showed that the alternative 3 pavement thickness design (AC-WC = 4 cm, AC-BC = 6 cm, AC Base = 16 cm, LPA = 20 cm and LPB = 20 cm) is the optimal pavement thickness to withstand load repetitions during the design life ( >CESA20= 102,141,712 ESAL). Alternative 3 design viscoelastic pavement material type approach is able to withstand fatigue cracking, rutting and permanent deformation respectively up to 25 years, 31 years and 25 years respectively. As for the elastic material design alternative 3 is able to withstand damage from fatigue cracking, rutting and permanent deformation respectively up to 39 years, 42 years and 30 years respectively.*

**Keywords:** *Evaluation of road pavement structure, Bina Marga 2017, AASHTO 1993, Kenpave, Elastic, Viscoelastic, Remaining life of road pavement.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan oleh Direktorat Jenderal Jalan (Ditjen Bina Marga, 2011) bekerjasama dengan *Indonesia Infrastructure Initiative* (IndII, 2011), yang menjadi masalah utama kerusakan jalan di Indonesia, khususnya perkerasan lentur ialah *overloading* sebesar 47%, kualitas pemeliharaan 20%, faktor desain 18% dan kualitas bangunan 15%. Perkerasan jalan memiliki desain tertentu sesuai dengan umur desain yang telah ditentukan. Selama masa pakainya, permukaan jalan dibebani berulang kali. Ruas jalan dengan lalu lintas padat tercermin pada Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) yang tinggi, yang berarti semakin banyak pengulangan beban. Kondisi ini harus dicegah dengan tindakan preventif terutama dalam pemeliharaan jalan.

Mempertahankan keadaan perkerasan jalan dan menghentikan kerusakan dini, maka pemeliharaan jalan secara normal atau berkala harus dilakukan. Tujuan dasar pemeliharaan jalan adalah untuk menjaga infrastruktur yang dibangun dalam kondisi yang stabil, yaitu baik dan sedang, sehingga secara konsisten dapat memberikan pelayanan terbaik untuk dukungan sosial dan kegiatan ekonomi. Penyelenggara jalan wajib memberikan pelayanan bagi pengguna jalan berdasarkan UU No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan. Kecelakaan di jalan yang disebabkan oleh kerusakan jalan diatur dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, yang juga mengatur tentang kewajiban pengguna jalan lainnya.

Di provinsi Riau terdapat jalan nasional bernama Jalan Bts Kab Kampar-Bts Kota Bangkinang. Melalui jalur tengah Trans Sumatera, ruas ini menghubungkan sejumlah provinsi lain, antara lain Jambi, Sumatera Barat, dan Sumatera Utara. Jalan ini menghubungkan lalu lintas dan berfungsi sebagai jalur logistik untuk produk dan layanan, memungkinkan banyak truk bermuatan berat lewat. Hal ini disebabkan kepadatan lalu lintas yang tinggi dan kondisi yang padat di ruas tersebut.

Arus lalu lintas yang tinggi dan beban lalu lintas yang besar menyebabkan terjadinya penurunan kualitas jalan dan kerusakan pada konstruksi jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi ruas jalan tersebut dan mendesain ulang menggunakan beberapa metode untuk mendapatkan struktur perkerasan optimal yang dapat digunakan sebagai alternatif oleh pihak terkait. Studi ini menggunakan metodologi empiris, khususnya Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993, yang keduanya banyak digunakan di Amerika Serikat dan Indonesia untuk menentukan ketebalan perkerasan. Teknik mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE dengan pendekatan pemodelan elastis dan viskoelastik mendukung hasil dan parameter masukan yang tersedia.

Program Kenpave meningkatkan desain perkerasan, menurut studi dari publikasi sebelumnya. Huang (2004) menulis dalam bukunya tentang program Kenpave bahwa sifat elastis linier dari material mengharuskan setiap lapisan struktur perkerasan menjadi homogen, isotropik, dan elastis linier. Program Kenpave dapat menganalisa dua kondisi material yaitu kondisi elastis dan viskoelastik. Untuk menentukan tegangan, regangan, dan lendutan pada struktur perkerasan dengan permukaan yang dibebani, lapisan model elastis linier dapat digunakan.

Sifat material aspal yang merupakan lapisan viskoelastik dimana waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Solusi dari lapisan viskoelastik diperoleh dengan prinsip kesetaraan elastis-viskoelastik, menggunakan transformasi *Laplace* untuk menghilangkan variabel waktu. Menurut Suwanda (2019) menunjukkan bahwa perkerasan lentur alternatif dengan pendekatan viskoelastik dan elastis linier dirancang untuk menahan beban lalu lintas dengan baik selama umur rencana 20 tahun. Menurut Ramadhan (2018), penggunaan program Kenpave dapat menjadi alat verifikasi untuk menentukan keamanan dan kerusakan proyek.

Metode *Pavement Condition Index* (PCI) dan metode mekanistik-empiris dengan program KENPAVE digunakan Utami pada tahun 2022 untuk melakukan penelitian nilai kondisi perkerasan Jalan Kampar-Bangkinang. Nilai rata-rata PCI adalah 56,2%. (Bagus ). Menurut angka kepadatan, retakan

aligator, retakan blok, dan tambalan (termasuk penambalan utilitas) merupakan penyebab kerusakan terbanyak di ruas jalan Kampar-Bangkinang, dengan persentase masing-masing sebesar 4,19%, 1,63%, dan 1,49%. Ruas Jalan Kampar - Bangkinang memiliki nilai respon tegangan dan regangan yang bervariasi berdasarkan lapisan perkerasan yang sudah ada sebelumnya untuk setiap jenis kerusakan: 2.083.479 ESAL untuk kerusakan retak leleh, 22.636.425 ESAL untuk kerusakan rutting, dan 20.992, 792 ESAL untuk kerusakan deformasi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, diperlukan penelitian lebih lanjut pada ruas jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang (Sta. 12+000 – Sta. 14+000), dimana ditambahkan variabel pendekatan jenis material elastik dan viskoelastik menggunakan program *KENPAVE* yang dirancang dapat mengakomodasi beban lalu lintas dengan baik selama umur rencana, untuk perbandingan metode desain lapis perkerasan yang digunakan ialah manual desain perkerasan jalan Bina Marga (2017) dan AASHTO (1993), maka judul dari penelitian ini adalah “Evaluasi Rancangan Struktur Perkerasan Untuk Memprediksi Umur Layan Menggunakan Metode Bina Marga 2017, AASTHO 1993 Dan Metode Mekanistik Empirik Kenpave Study Kasus: Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang (Sta. 12+000 – Sta. 14+000)”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana evaluasi kondisi struktur perkerasan eksisting pada Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang?
2. Bagaimana desain struktur perkerasan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dengan metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993?
3. Bagaimana perbandingan nilai tegangan regangan desain perkerasan eksisting dengan desain metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 menggunakan metode mekanis empiris program *KENPAVE* dengan

- pendekatan pemodelan elastik dan viskoelastik Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang?
4. Bagaimana alternatif desain tebal lapis perkerasan optimum Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dengan pemodelan elastik dan viskoelastik?
  5. Berapa nilai umur sisa layan perkerasan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dengan pemodelan elastik dan viskoelastik?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengevaluasi kondisi struktur perkerasan eksisting pada Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang.
2. Mendesain ulang tebal lapis perkerasan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang menggunakan metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993.
3. Membandingkan nilai tegangan regangan desain perkerasan eksisting dengan desain metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 menggunakan metode mekanis empiris program *KENPAVE* dengan pendekatan pemodelan elastik dan viscoelastik Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang.
4. Memberikan alternatif desain tebal lapis perkerasan optimum Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dengan pemodelan elastik dan viskoelastik.
5. Menghitung nilai umur sisa layan perkerasan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dengan pemodelan elastik dan viskoelastik.

### **1.4 Batasan Penelitian**

Adapun batasan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian dilaksanakan pada ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang (Sta. 12+000 – Sta. 14+000).

2. Data yang digunakan dalam analisis menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Kantor Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Riau.
3. Perhitungan desain ulang tebal lapis perkerasan menggunakan metode metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993.
4. Perhitungan respon tegangan regangan dan sisa umur layan menggunakan metode mekanis – empiris program *KENPAVE* dengan pendekatan pemodelan elastik dan viscoelastik.
5. Penelitian hanya membahas hasil nilai kondisi jalan, respon tegangan regangan akibat beban lalu lintas dan prediksi sisa umur layan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagaimana uraian berikut.

1. Mengetahui kondisi jalan akibat repitisi beban kendaraan pada ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang.
2. Mengetahui perbandingan material dan metode desain tebal lapis perkerasan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang.
3. Mengetahui alternatif desain tebal lapis perkerasan optimum berdasarkan prediksi umur sisa layan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang.
4. Memberikan referensi atau masukan bagi para perencana atau instansi terkait dalam pengambilan keputusan untuk menangani, meningkatkan dan memelihara kondisi jalan tersebut.
5. Mengantisipasi terjadinya kerusakan berkelanjutan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Metode Empiris Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993**

Perkerasan lentur di Simpang Medan-Lubuk Pakam Sumatera Timur dievaluasi secara fungsional dan struktural oleh Putra dkk. (2013), yang juga membuat rekomendasi bagaimana menangani temuan evaluasi. Teknik AASHTO 1993 digunakan untuk evaluasi struktural dan fungsional jalan raya. Temuan studi tersebut memungkinkan kami untuk menarik kesimpulan bahwa setiap ruas jalan mengalami kerusakan minimal atau sedang. Mengingat analisis struktural menghasilkan SCI 1, setiap segmen antara 11 dan 20 cm perlu ditutup dengan overlay.

Mengenai evaluasi struktur perkerasan lentur jalan tol Losari-Cirebon, lihat Aji dkk. (2015). Studi ini membandingkan pendekatan AASHTO 1993 dengan metode Bina Marga 2013 untuk mengkaji desain sistem perkerasan lentur. Menurut temuan studi struktur yang dilakukan dengan metode AASHTO tahun 1993, setiap ruas yang tebalnya antara 6 sampai 11 cm harus ditumpuk. Ketebalan lapisan atas dan umur rencana diberikan masing-masing 5 cm dan 10 tahun, berdasarkan temuan analisis struktur menggunakan metode Bina Marga 2013. Karena beberapa alasan dan penerapan berbagai tindakan, dapat dikatakan bahwa perkerasan Bina Marga 2013 lebih tipis dari AASHTO 1993.

#### **2.2 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Program *KENPAVE* dan Sisa Umur Perkerasan Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik**

Marita dan Fauziah (2018) melakukan penelitian metode mekanis-empiris dengan program *KENPAVE* di Jalan Pakem-Prambanan dan restrukturisasi tebal perkerasan lentur di Bina Marga tahun 2013 dengan tujuan untuk mengetahui hasilnya. ketebalan lapisan, mengetahui perbandingan konsep, prosedur dan parameter desain dari kedua metode tersebut. Hasil penelitian menunjukkan lapisan permukaan AC-WC 4 cm, AC-BC 13,5 cm, CTB lapisan dasar atas 15 cm dan lapisan permukaan kelas A 15 cm. Metode Bina Marga 2013 pada program

*KENPAVE*, ketebalan lapisan minimal yang dapat menahan beban adalah 7 cm pada lapisan permukaan dan 12 cm pada lapisan bawah.

Ruas jalan Karangmojo-Semin, Gunung Kidul, Yogyakarta, Dinata dkk. (2017) membandingkan ketebalan perkerasan lentur menggunakan pendekatan AASHTO 1993 dan metode analisis komponen Bina Marga 1987. Setelah dilakukan perbandingan, program *KENPAVE* digunakan untuk menganalisis jalan dari Sta (0+000) hingga Sta (4+050) untuk memastikan nilai tegangan dan regangan yang ditimbulkan oleh beban lalu lintas. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode analisis komposisi Bina Marga tahun 1987, ketebalan lapisan atas adalah 10 cm, lapisan atas 20 cm, dan lapisan dasar 20 cm. Pada saat yang sama diperoleh lapisan permukaan 15 cm, lapisan dasar 10 cm, dan lapisan dasar 20 cm dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993. Dari penelitian ini terlihat bahwa tebal perkerasan hasil perhitungan sebelumnya dengan menggunakan Bina Marga dan *AASHTO* dapat dioptimalkan dengan menggunakan program *KENPAVE*.

Nathasya (2012) menggunakan alat *KENPAVE* untuk menghitung perkiraan ketebalan lapisan pada jalan tol Cipularang. Modulus elastisitas dan rasio Poisson adalah parameter yang diperlukan. Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk menguji bagaimana ketebalan lapisan mempengaruhi nilai tegangan akhir. Persamaan  $N_f$  dan  $N_d$  kemudian digunakan untuk menghitung nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan untuk pembebanan berulang. Dari sini dapat disimpulkan bahwa ketebalan lapisan perkerasan dan koefisien elastisitasnya akan menghasilkan nilai deformasi yang lebih kecil dan nilai pengulangan beban yang lebih besar, yang akan mengakibatkan waktu yang lebih lama sebelum terjadi kerusakan.

Suwanda dan Kushari (2020) telah melakukan penelitian pada ruas jalan Tempel – Pakem, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan metode mekanistik empiris Bina Marga 2017 dan dibantu Program *Kenpave*. Pada penelitian tersebut perencana membandingkan 2 metode yaitu Bina Marga 2013 dan Bina Marga 2017 menggunakan program *Kenpave* dengan pemodelan viskoelastik dengan pemodelan elastik. Untuk pemodelan



viskoelastik didapatkan nilai kerusakan permanent deformation sebesar 11.594.650 ESAL, nilai kerusakan fatigue cracking sebesar 60.682.360 ESAL dan kerusakan rutting sebesar 14.504.833 ESAL.

Berdasarkan metode Bina Marga 2013 dan nilai kerusakan permanent deformation sebesar 20.360.498 ESAL, nilai fatigue cracking sebesar 110.135.188 ESAL dan rutting sebesar 28.693.872 ESAL dengan metode Bina Marga 2017. Untuk pemodelan elastik didapatkan nilai kerusakan permanent deformation sebesar 14.653.797 ESAL, nilai kerusakan fatigue cracking sebesar 118.861.382 ESAL dan kerusakan rutting sebesar 27.801.770 ESAL dengan metode Bina Marga 2013 dan nilai kerusakan permanent deformation sebesar 26.719.771 ESAL, nilai fatigue cracking sebesar 196.022.664 ESAL dan rutting sebesar 56.577.124 ESAL dengan metode Bina Marga 2017.

Satria (2022) telah melakukan penelitian perbandingan desain mekanistik – empiris struktur perkerasan lentur dengan pemodelan viskoelastik dan elastik pada ruas jalan Milir – Sentolo Provinsi D. I. Yogyakarta, pada penelitian tersebut 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.

Metode *Pavement Condition Index* (PCI) dan metode mekanistik-empiris dengan program KENPAVE digunakan Utami pada tahun 2022 untuk melakukan penelitian nilai kondisi perkerasan Jalan Kampar-Bangkinang. Nilai rata-rata PCI adalah 56,2%. (Bagus ). Menurut angka kepadatan, retakan aligator, retakan blok, dan tambalan (termasuk penambalan utilitas) merupakan penyebab kerusakan terbanyak di ruas jalan Kampar-Bangkinang, dengan persentase masing-masing sebesar 4,19%, 1,63%, dan 1,49%. Ruas Jalan Kampar - Bangkinang memiliki nilai respon tegangan dan regangan yang bervariasi berdasarkan lapisan perkerasan yang sudah ada sebelumnya untuk setiap jenis kerusakan: 2.083.479 ESAL untuk kerusakan retak leleh, 22.636.425 ESAL untuk kerusakan rutting, dan 20.992, 792 ESAL untuk kerusakan deformasi.

Perbandingan dari penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan bisa dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Perbandingan Penelitian Terdahulu

<b>Peneliti</b>	Utami, (2022)	Satria (2022)	Suwanda dan Kushari (2020)	Karnurin (2020)	Marita dan Fauziah (2018)	Widodo dkk. (2018)	Dinata dkk. (2017)
<b>Judul Penelitian</b>	Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisaumur Dengan Metode PCI dan Metode Mekanis –Empiris Dengan Program <i>KENPAVE</i>	perbandingan desain mekanistik – empiris struktur perkerasan lentur dengan pemodelan viskoelastik dan elastik	Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik Dan Elastik	Perbandingan desain perkerasan lentur Metode empirik dan metode mekanistik-empirik menggunakan program kenpave pada ruas jalan Milir-sentolo	Perbandingan Perancangan Struktur Perkerasan Lentur Jalan dengan Metode Mekanistik Empirik dan Metode Bina Marga 2013	Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur Dengan Metode Pavement Condition Index, Bina Marga dan Metode Mekanistik Empirik Dengan Program Kenpave	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Analisa Komponen dari Bina Marga 1987 dan <i>AASHTO</i> 1993 menggunakan program <i>KENPAVE</i>
<b>Tujuan Penelitian</b>	Mengetahui nilai kondisi permukaan perkerasan menggunakan PCI, respon tegangan dan regangan menggunakan <i>KENPAVE</i> , serta memprediksi sisa umur rencana atau masa layan pada ruas jalan tersebut	Memperkirakan jumlah repetisi beban dan masa pelayanan struktur perkerasan eksisting (Bina Marga 2017) yang diusulkan akan mengalami kerusakan retak lelah dan deformasi menurut metode mekanistik empiris dengan pemodelan elastik.	Mengatahui perbandingan dari metode Bina Marga 2017 dan Program Kenpave menggunakan pendekatan viskoelastik dan elastik jika ditinjau berdasarkan konsep, parameter desain input, dan prosedur pengerjaan.	Mengetahui hasil perbandingan metode Bina Marga 2017 dan <i>AASHTO</i> 1993 dari tebal perkerasan, tegangan regangan, dan jenis kerusakan yang terjadi dan tebal perkerasan alternatif menggunakan <i>KENPAVE</i>	Mendapatkan perbedaan konsep, parameter desain, dan prosedur desain yang digunakan pada metode Bina Marga 2013 dan program <i>KENPAVE</i>	Memprediksi sisa umur/masa layanan yang tersedia dari Ruas Jalan MagelangYogyakarta pada sta 11±000 – sta 12±000 dengan menggunakan metode mekanistik-empirik dengan program <i>KENPAVE</i> dan metode Bina Marga 1987.	Melakukan perbandingan tebal perkerasan dan mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada jalan akibat beban lalu lintas.

**Tabel 2.1** Lanjutan Perbandingan Penelitian Terdahulu

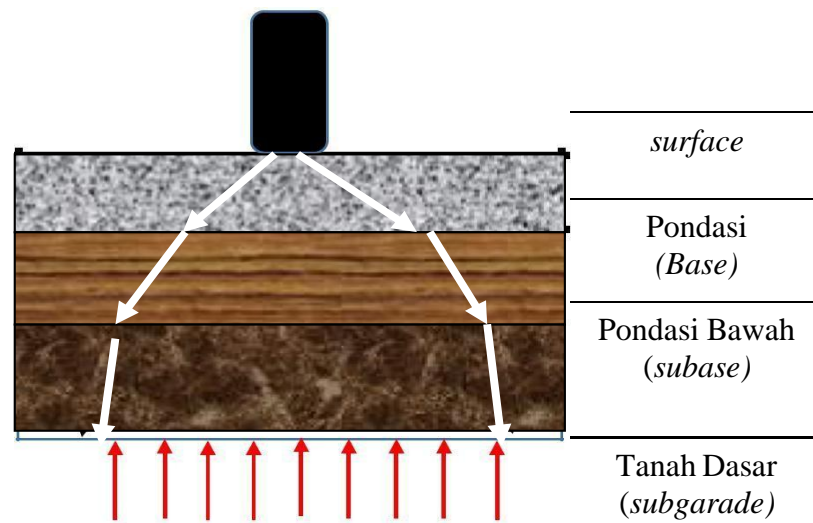
Peneliti	Utami, (2022)	Satria (2022)	Suwanda dan Kushari (2020)	Karnurin (2020)	Marita dan Fauziah (2018)	Widodo dkk. (2018)	Dinata dkk. (2017)
<b>Lokasi Penelitian</b>	Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang (Sta. 12+000-Sta. 14+000)	ruas jalan Milir – Sentolo Provinsi D. I. Yogyakarta	Ruas Jalan Tempel-Pakem Yogyakarta	Jalan Milir sentolo, Yogyakarta	Jalan Pakem-Prambanan	Ruas Jalan Magelang –Yogyakarta sta 11±000 – sta 12±000	Jalan Karangmojo-Semin, Gunungkidul, Yogyakarta
<b>Metode Penelitian</b>	Dengan Metode PCI dan Metode Mekanis – Empiris Dengan Program KENPAVE	Kenpave dan Pemodelan Layered Elastic dan Layered Viscoelastic	Metode Mekanistik Empiris dengan Pemodelan viskoelastik - elastik	AASHTO 1993, Bina Marga 2017 dan Program KENPAVE	Bina Marga 2013 dan Program KENPAVE	Metode PCI, Bina Marga dan Metode Mekanistik Empirik Dengan Program Kenpave	Bina Marga 1987 dan AASHTO 1993
<b>Hasil Penelitian</b>	Kerusakan <i>fatigue cracking</i> sebesar 2.083.479 ESAL, untuk kerusakan <i>rutting</i> sebesar 22.636.425 ESAL dan regangan untuk kerusakan <i>deformation</i> sebesar 20.992.792 ESAL.	Viskoelastik menunjukkan perilaku deformasi statik maupun dinamik. Sedangkan, elastik menunjukkan perilaku lapisan kembali ke awal ketika tegangan dilepaskan dan deformasi sebanding	Perkerasan alternatif: Masa pelayanan maksimum pada pemodelan elastik linear 74thn dengan jenis kerusakan <i>fatigue</i> , sebaliknya masa pelayanan minimum pada pemodelan viskoelastik 23thn dengan jenis kerusakan <i>permanent deformation</i>	Kontrol menggunakan KENPAVE, perbandingan hasil desain dari kedua metode desain adalah memiliki nilai $N_f$ dan $N_d > N_r$ artinya kerusakan terjadi melebihi umur rencana	Bina Marga 2013 didapatkan AC-WC4 cm, AC-BC 13,5 cm, CTB 15 cm. Pada kontrol program KENPAVE didapatkan 7 cm <i>surface</i> dan 12 cm <i>base</i> .	Respon tegangan regangan maksimum pada kedalaman 9,998 cm dengan nilai repitisi yang mampu di akomodasi pada kerusakan <i>rutting</i> sebesar 52.590.326 ESAL, <i>fatigue cracking</i> sebesar 109.907.262 ESAL dan untuk <i>Deformation</i> sebesar 20.891.833 ESAL.	Lapis permukaan 10 cm, pondasi atas 20 cm, pondasi bawah 20 cm untuk metode Bina Marga 1987 dan lapis permukaan 15 cm, pondasi atas 10 cm, pondasi bawah 20 cm untuk AASHTO 1993

Sumber: Utami (2022), Satria (2022), Suwanda & Kushari (2020), Karnurin (2020), Marita dan Fauziah (2018), Widodo dkk. (2018), Dinata dkk. (2017).

### BAB III LANDASAN TEORI

#### 3.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

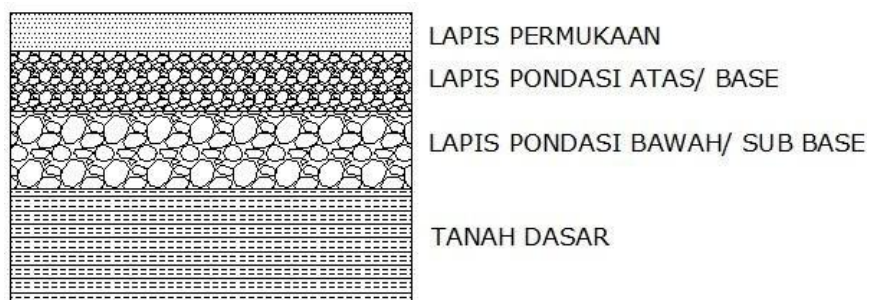
Lapisan disusun dalam sistem perkerasan lentur yang dibangun di atas tanah yang dipadatkan. Ketegangan lalu lintas tersebar pada level di bawahnya oleh level ini, yang menyerapnya. **Gambar 3.1** di bawah ini menampilkan distribusi beban roda perkerasan lentur.



**Gambar 3. 1** Distribusi Beban Roda Melalui Perkerasan Jalan

(Sumber: Bina Marga, 2012)

Departemen Pekerjaan Umum (1987) mendefinisikan perkerasan lentur sebagai permukaan jalan dengan lapisan dasar bahan butiran dan lapisan atas yang biasanya merupakan campuran aspal. Susunan berikut digambarkan pada **Gambar 3.2** untuk perkerasan lentur jalan.



**Gambar 3. 2** Susunan Lapisan Konstruksi Pekerasan Lentur

(Sumber : Bina Marga, 2012)

### **3.1.1 Lapisan permukaan (*surface course*)**

Menurut persyaratan teknis, lapisan permukaan perkerasan lentur dibuat sebagian dari agregat dan campuran aspal, memberikan nilai kekuatan tertentu. Campuran agregat aspal ini, biasa disebut lapisan aspal, diaplikasikan langsung di atas *base course*.

Lapisan permukaan berfungsi sebagai komponen struktur perkerasan jalan dan berfungsi sebagai lapisan yang menahan kerusakan yang disebabkan oleh gaya gesekan dari roda kendaraan, mencegah penetrasi air permukaan ke permukaan jalan, dan memastikan konsistensi yang seragam untuk memenuhi persyaratan kenyamanan layanan.

### **3.1.2 Lapisan pondasi atas (*base course*)**

Lapisan pondasi (*base course*) tepat di bawah lapisan permukaan, khususnya perkerasan aspal, disebut sebagai *base course* atau *base course*. Fondasi dari perkerasan lentur adalah lapisan dasar. Batu pecah, pasir alam dan batu pecah, batu pecah yang terbuat dari terak yang terbakar, atau kombinasi dari komponen-komponen ini, membentuk lapisan dasar. Semen, kapur, atau bitumen dapat digunakan sebagai zat penguat atau aditif dalam situasi ini untuk meningkatkan kinerja lapisan dasar. Standar mutu bahan lapisan dasar tumpang tindih, khususnya tegangan, plastisitas, dan gradasi, harus lebih tinggi dari lapisan dasar untuk berbagai bahan alam, menurut SNI 1732-1989-f dan Pt-01-2002-B. *Plasticity index* (PI) 4 dapat digunakan sebagai lapisan pondasi pada saat CBR > 50n.

Lapisan pondasi berfungsi antara lain sebagai berikut ini.

1. Area perkerasan yang menahan beban roda dan memindahkannya ke lapisan di bawahnya.
2. Penerapan lapisan permukaan dan lapisan impregnasi untuk lapisan subbase.

### **3.1.3 Lapisan Pondasi bawah (*subbase course*)**

Diantara subgrade dan base layer terdapat subbase layer, yang terbuat dari agregat granular tanpa tambahan bahan pengikat (aspal). Namun, kualitas

bahan subbase, terutama dalam hal tegangan, fleksibilitas, dan komposisi gradasi, berada di bawah lapisan pondasi atas. Perlu ditekankan bahwa kualitas subbase harus lebih tinggi dari subgrade yang didefinisikan sebagai CBR 20% dan PI 10%. Berikut ini adalah fungsi *subbase*.

1. Untuk alasan ini, garasi subbase harus dari jenis padat (kontinu) untuk mencegah butiran kecil dari subgrade menembus lapisan pondasi. meminimalkan efek edema dan penyusutan yang terjadi pada tingkat rendah.
2. mencegah air menumpuk di dalam atau di bawah konfigurasi lapisan perkerasan sehingga subbase dapat bertindak sebagai sistem drainase.
3. Batas butir yang melewati saringan nomor 8 khusus untuk situasi ini harus sangat sederhana.
4. Ciptakan ruang kerja di mana peralatan dapat digunakan untuk melakukan konstruksi perkerasan.

#### **3.1.4 Tanah Dasar (*subgrade*)**

Dasar lapisan perkerasan terdiri dari lapisan tanah bawah, juga dikenal sebagai tanah dasar atau tanah timbunan biasa. Pada umumnya subsurface memiliki CBR sebesar 2% sampai 6%. Subsoil yang terendam air (CBR 2%), seperti rawa dan lahan gambut, harus selalu diperbaiki terlebih dahulu, biasanya dengan menebang atau menambahkan bahan kimia, seperti semen atau kapur dalam dosis yang tepat, cerucuk (dolken), atau bahkan jenis tertentu. Untuk meningkatkan daya dukung tanah, teknologi modern menggunakan bahan geosintetik, kolom pasir, dan metode lainnya.

#### **3.2 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017**

Salah satu teknik yang digunakan di Indonesia untuk membuat rencana perkerasan baru dan rencana perbaikan dan rekonstruksi perkerasan yang diubah dari edisi sebelumnya adalah Manual Desain Perkerasan 2017, juga dikenal sebagai Bina Marga 2017. Pendekatan ini dimodifikasi agar sesuai dengan kondisi dan persyaratan Indonesia dari AASHTO pendekatan yang digunakan di Amerika.

Berikut adalah langkah-langkah penerapan pendekatan Jalan Raya 2017.

1. Menentukan umur rencana (UR)

Umur rencana adalah jangka waktu sejak jalan beroperasi sampai mengalami kerusakan sedang atau berat, pada saat itu perlu dilakukan pelapisan ulang (*overlay*). Berdasarkan **Tabel 3.1** di bawah ini, dihitung umur rencana di Bina Marga tahun 2017.

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

Jenis Perkerasan	Elemen trotoar	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Pelapisan granular dan pelapisan aspal	20
	Semua perkerasan untuk jalan raya, underpass, jembatan, dan terowongan yang tidak dapat ditutup dengan overlay.	40
	Pondasi jalan, lapisan beton semen, dan lapisan pondasi atas dan bawah Cement Treated Based (CTB). semua komponen (termasuk pondasi jalan)	
Perkerasan kaku	Elemen trotoar	
Jalan tanpa penutup	Pelapisan granular dan pelapisan aspal	Minimum 10

Sumber: Bina Marga (2017)

2. Menghitung data lalu lintas harian rerata tahunan (LHRT)

Untuk menghitung volume lalu lintas, diperlukan data dari lalu lintas waktu puncak. Hal ini dilakukan untuk menghitung beban yang akan ditopang oleh perkerasan selama umur rencana jalan. LHRT yang ditampilkan pada unit mobil penumpang merupakan volume lalu lintas yang diperoleh dari hasil survei selama 7x24 jam.

3. Menghitung faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor lalu lintas dihitung dengan menggunakan statistik historis peningkatan lalu lintas, meskipun **Tabel 3.2** untuk periode 2015 hingga 2035 juga dapat digunakan.



**Tabel 3. 2** Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)(%)

	Jawa	Sumatra	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,8	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,5	3,5	3,5	3,5
Jalan desa	1,0	1,0	1,0	1,0

Sumber: Bina Marga (2017)

Dengan menggunakan Persamaan 3. 1, dicari faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif setelah mendapatkan faktor tingkat pertumbuhan lalu lintas.

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

dengan:

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

4. Menghitung faktor lajur rencana

Beban pada setiap lajur tidak boleh melebihi kapasitas selama umur rencana berdasarkan Permen PU No.19/PRT/M/2011 tentang perbandingan volume jalan dengan kapasitas yang harus dipenuhi. Dari **Tabel 3.3**, faktor distribusi strip (DL) dapat dihitung sebagai berikut.

**Tabel 3. 3** Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber: Bina Marga (2017)

5. Menentukan faktor ekivalen beban

Pengumpulan data beban sumbu ditunjukkan pada **Tabel 3.4**, dan untuk identifikasi data lalu lintas, jenis dan beban kendaraan niaga dapat digunakan VDF dengan menggunakan **Tabel 3.5**. Faktor beban yang setara, yang juga dikenal sebagai *Vehicle Damage Factor* (VDF), adalah perkiraan faktor beban yang diubah menjadi beban standar (ESA).

**Tabel 3. 4** Pengumpulan Data Beban Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 2
Jala Raya	1, 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber: Bina Marga (2017)

6. Menghitung *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)*

Dengan menambahkan beban gandar pada jalur dan umur desain kumulatif, beban gandar standar kumulatif dihitung. Cara menghitungnya menggunakan Persamaan 3. 2

$$ESA = (\Sigma LHRTJK \times VDFJK) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.2)$$

dengan: *ESA* = kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen pada tahun pertama, *LHRTJK* = lintasan harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari), *VDFJK* = faktor ekivalen beban tiap jenis kendaraan niaga pada Tabel 3.5, *DD* = Faktor distribusi arah, *DL* = Faktor distribusi lajur, *CESAL* = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen umur rencana, dan *R* = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

7. Menentukan desain pondasi jalan

Saat memilih desain perkerasan, sejumlah isu krusial, termasuk lalu lintas, sub-lantai, dan pengaruh air, dipertimbangkan. Jenis perkerasan yang akan dibangun ditentukan sebelumnya dengan menguji struktur bawah untuk kekuatan tanah dasar sebelumnya. Asumsi atau *Dynamic Cone Penetration (DCP)* adalah dua metode pengujian yang tersedia. Persyaratan berikut untuk perkerasan tanah dasar harus dipenuhi, menurut Bina Marga 2017.

- a. Dipadatkan dengan baik dan benar sesuai ketebalan lapisan sesuai dengan syarat yang ditentukan.
- b. Mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan konstruksi.
- c. Mempunyai nilai CBR redaman rencana minimum.
- d. Terbentuk secara benar sesuai dengan bentuk geometri jalan.
- e. Tidak peka terhadap perubahan kadar air.

8. Menentukan desain perkerasan

Berdasarkan Bina Marga (2017), desain perkerasan lentur dapat dilihat pada **Tabel 3.5**, **Tabel 3.6** dan **Tabel 3.7** untuk desain tebal perkerasan lentur alternatif. Bagan alir desain perkerasan secara keseluruhan disajikan pada **Gambar 3.3**.

**Tabel 3.5** Desain Tebal Perkerasan Lentur

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

Sumber: Bina Marga (2017)

**Tabel 3.6** Desain Tebal Perkerasan Lentur Alternatif

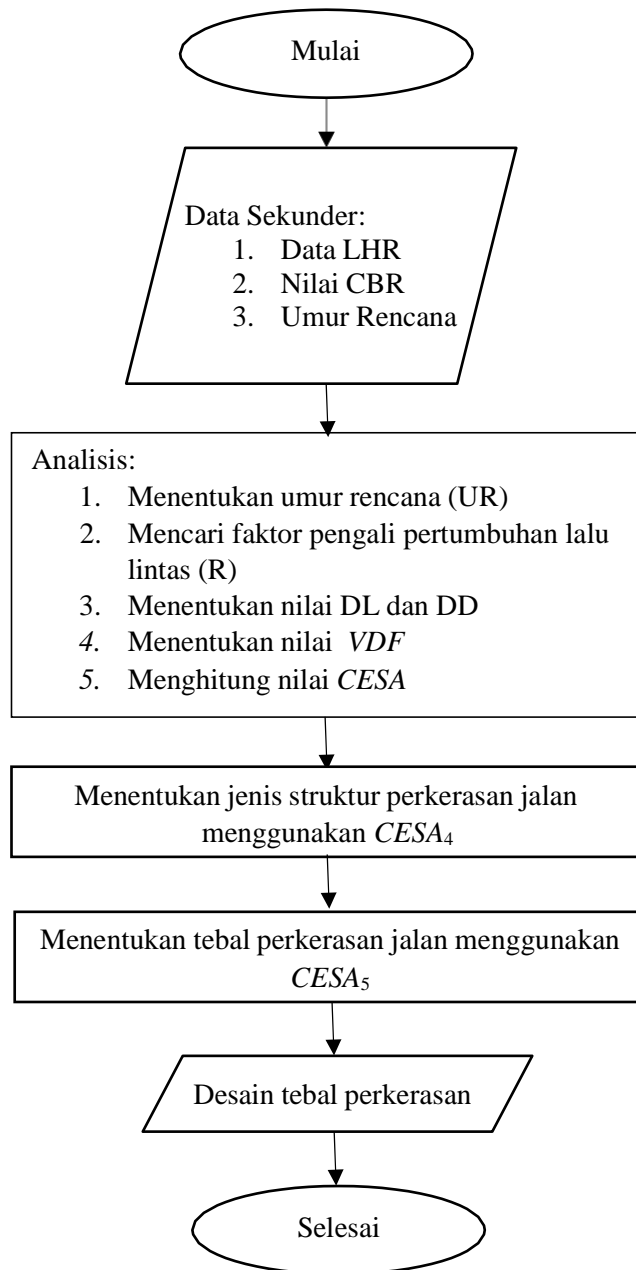
	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 2								
Kumulatif beban sumbu 20 Tahun pada lajur rencana (10 <sup>6</sup> ESA5)	<2	≥2-4	>4-7	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200
KETEBALAN PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

Sumber: Bina Marga (2017)

**Tabel 3. 7** Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan-muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban(VDF) (ESA/Kendaraan)	
Klasifikasi lama	alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan kecuali sepeda motor		
1	1	Sepeda motor	1.1		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	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	Muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
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 trailerpenarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	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)



**Gambar 3. 3** Bagan Alir Desain Perkerasan Lentur dengan Bina Marga (2017)

### 3.3 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode AASHTO 1993

Seperti yang ditunjukkan pada Bagian 3.1, *American Association of Highway and Transportation Officials* (AASHTO) memiliki pendekatannya sendiri untuk menentukan ketebalan perkerasan lentur. Untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan dan cuaca, metode ini juga mengalami beberapa kali perubahan. Studi ini menggunakan AASHTO 1993 sebagai metodologinya.

Standar deviasi keseluruhan, faktor pengeringan, dan karakteristik daerah yang tidak lagi diperhitungkan hanyalah beberapa contoh perbedaan antara AASHTO 1993 dan AASHTO 1972. Persamaan 3. 3 menunjukkan formula yang digunakan oleh AASHTO 1993, sedangkan untuk rumusnya menggunakan Persamaan 3. 4

$$SN = a_1d_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad (3.3)$$

dengan :

SN = indeks tebal perkerasan,

$a_1$  = koefisien kekuatan relatif bahan lapis perkerasan ke 1, dan

$D_1$  = tebal lapis perkerasan ke 1, dan  $m_1$  = koefisien drainase lapis ke 1.

$$\text{Log}W_{18} = (Z_r \times S_o) + 9,36\text{Log}(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4,2-1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32\text{Log}M_r - 8,07 \quad (3.4)$$

dengan :

$W_{18}$  = perkiraan nilai kumulatif ekuivalen beban (*ekivalen single axle load*),

$Z_r$  = simpangan baku,

$S_o$  = gabungan kesalahan baku dari perkiraan beban lalu lintas dan kinerja jalan,

SN = indeks tebal perkerasan,

$\Delta\text{PSI}$  = selisih antara pelayanan indekspermukaan awal dan akhir, dan

$M_r$  = modulus resilien tanah dasar.

#### 1. *Analysis Period* (Periode Analisa)

Untuk jalan baru, umur desain (UR) 20 tahun biasanya digunakan. Namun, biaya konstruksi dan penggunaan jalan yang diusulkan, keduanya berperan dalam

menentukan panjang fase analisis. **Tabel 3.8** menunjukkan bagaimana klasifikasi fungsi jalan mempengaruhi nilai periode analisis.

**Tabel 3. 8** Periode Analisa

<i>Highway Conditions</i>	<i>Analysis Period (years)</i>
<i>High volume urban</i>	30-50
<i>High volume rural</i>	20-50
<i>Low volume paved</i>	15-25
<i>Low volume aggregate</i>	10-20

Sumber: AASHTO (1993)

2. *Traffic* (Lalu lintas)

Berdasarkan nilai total beban sumbu tunggal ekuivalen 18 kips selama periode analisis, perencanaan dilakukan untuk kondisi jalan dengan volume kendaraan tinggi atau rendah. Jika persyaratan perencanaan memerlukan pelapisan ulang atau peningkatan perkerasan secara bertahap, mereka harus mempertimbangkan aspek lain seperti ketersediaan dana awal. **Gambar 3.4** menampilkan nilai lalu lintas kumulatif 18 kips ESAL dari waktu ke waktu sebagai berikut.

Persamaan 3. 5 menunjukkan rumus penentuan beban lalu lintas 18 kip *ESAL* selama periode analisis.

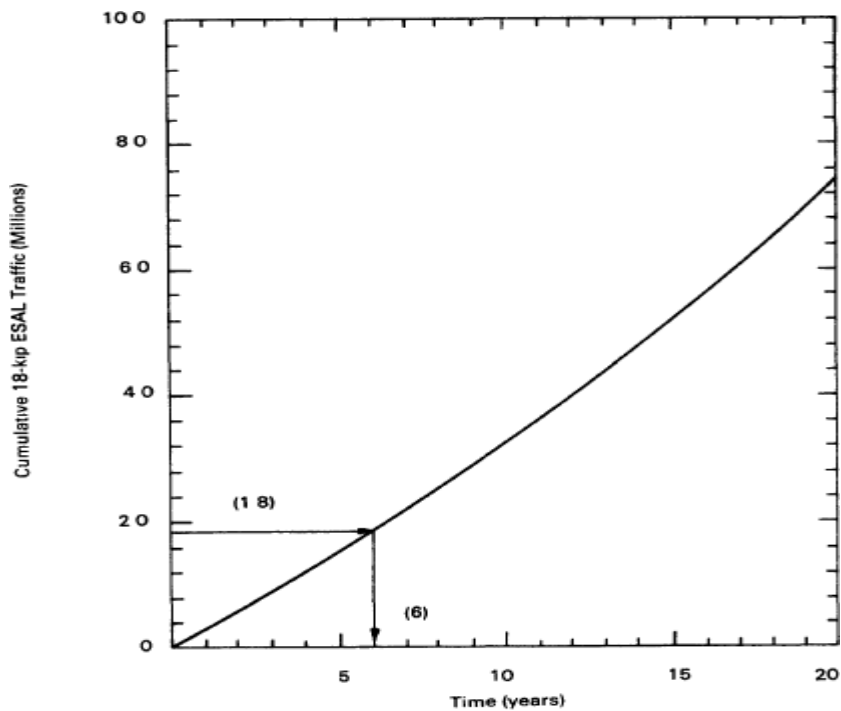
$$w_{18} = D_D \times D_L \times \widehat{w}_{18} \quad (3.5)$$

dengan :

$D_D$  = faktor distribusi berdasarkan arah,

$D_L$  = faktor distribusi berdasarkan jumlah lajur, dan

$\widehat{w}_{18}$  = nilai kumulatif prediksi 18 kips *ESAL*.



**Gambar 3. 4** Grafik Nilai Kumulatif Lalu Lintas 18 Kips ESAL terhadap Waktu  
 Sumber: AASHTO (1993)

Pada jalan raya dua arah, nilai DD sering ditetapkan sebesar 0,5 (atau 50%). Nilai DD, bagaimanapun, juga dapat berkisar dari 0,3 hingga 10,7, tergantung pada berapa banyak arah yang diambil atau dilewati. **Tabel 3.9** digunakan untuk menentukan nilai DL.

**Tabel 3. 9** Faktor Distribusi Jumlah Lajur (DL)

Jumlah lajur tiap arah	Persen dari desain 18 kips <i>ESAL</i>
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Sumber: AASHTO (1993)

3. Reliabilitas (R).

Menurut pengguna jalan, Reliabilitas adalah kemampuan untuk mempertahankan tingkat pelayanan yang dicapai pada saat perencanaan. Lapisan yang dibutuhkan harus lebih tebal, semakin baik keandalannya.



**Tabel 3. 10** Tingkat Reliabilitas berdasarkan Fungsi Jalan

Fungsi Jalan	Reliabilitas (%)	
	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>
Jalan Tol	85-99,9	80-99,9
Arteri	80-99	75-95
Kolektor	80-95	75-95
Lokal	50-80	50-80

Sumber: AASHTO (1993)

4. Simpangan Baku ( $S_o$ )

Fluktuasi lalu lintas diperhitungkan atau tidak menentukan nilai standar deviasi total. Akibatnya, nilai saat variasi lalu lintas diperhitungkan adalah 0,49 dan 0,44 saat tidak diperhitungkan. Ini dapat digunakan antara 0,4 dan 0,5 menurut AASHTO 1993. **Tabel 3.11** memberikan nilai standar deviasi ( $Z_r$ ) tergantung pada reliabilitas.

**Tabel 3. 11** Nilai Simpangan Baku Normal ( $Z_r$ )

Reliabilitas (%)	Standar Deviasi Normal ( $Z_r$ )
50	-0,00
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber: AASHTO (1993)

## 5. Kondisi Lingkungan

Variasi suhu ekstrim berpotensi mengubah kekuatan perkerasan, daya tahan, dan kapasitas beban. Pelayanan akan berkurang sebagai hasilnya. Keadaan lingkungan yang menjadi perhatian, selain dari variasi suhu, adalah variasi musim yang memerlukan bahan yang berbeda.

## 6. Indeks Pelayanan (PSI)

Indeks pelayanan adalah peringkat kinerja perkerasan yang dievaluasi pada awal ( $P_o$ ) dan akhir ( $P_t$ ) periode pemeliharaan. Skor PSI dinilai dari angka 0 untuk tingkat layanan terburuk hingga 5 untuk tingkat layanan terbaik. Sebelum merestorasi atau merekonstruksi jalan, harus ditentukan nilai PSI ( $P_t$ ) minimum yang dapat ditoleransi oleh pengguna jalan. Nomor  $P_t$  yang umum digunakan adalah sekitar 2,5 hingga minimum 2. Angka ini didasarkan pada data pengguna jalan dari Tabel 3.12. Angka 2.5 hingga 3.0 biasanya digunakan dalam desain jalan kelas atas, tetapi jika faktor ekonomi dipertimbangkan untuk jalan kelas bawah, angka 1.5 dapat digunakan.

**Tabel 3. 12** Indeks Penilaian yang Tidak Diterima Pengguna Jalan

Indeks Pelayanan Akhir ( $P_t$ )	Masyarakat yang tidak menerima (%)
3,0	12
2,5	55
2,0	85

Sumber: AASHTO (1993)

## 7. Faktor Drainase

Dalam perencanaan jalan, koefisien drainase merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi kinerja jalan. Penilaian kualitas drainase didasarkan pada berapa lama air diserap selama pembuangan dari jalan. Tingkat kualitas pengeringan berdasarkan AASHTO 1993 dapat dilihat pada Tabel 3.13.

**Tabel 3. 13** Tingkat Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Waktu yang dibutuhkan untuk air terserap
Baik Sekali	2 jam
Baik	1 hari
Cukup	1 minggu
Buruk	1 bulan
Sangat buruk	Air tidak terserap

Sumber: AASHTO (1993)

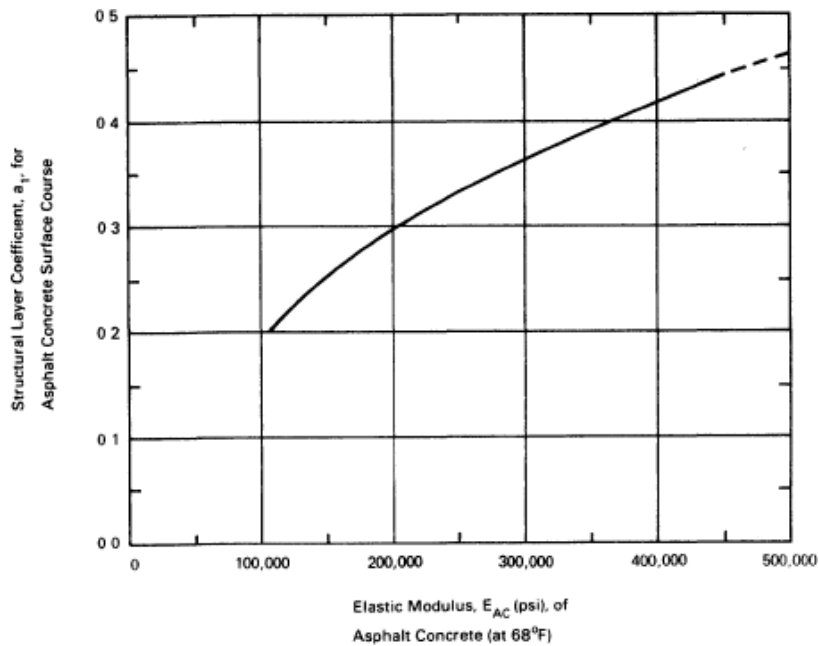
Setelah kualitas drainase ditentukan, maka koefisien drainase ( $m_1$ ) bisa ditentukan berdasarkan persenan waktu struktur perkerasan pada saat kadar air mendekati jenuh. Berdasarkan *AASHTO* 1993, koefisien drainase tersebut bisa dilihat pada **Tabel 3.14**.

**Tabel 3. 14** Koefisien Drainase ( $m_1$ )

Kualitas Drainase	Waktu perkerasan dalam keadaan jenuh (%)			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Baik Sekali	1,40-1,35	1,35-1,30	1,3-1,20	1,20
Baik	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,0	1,00
Cukup	1,25-1,15	1,15-1,05	1,0-0,80	0,80
Jelek	1,15-1,05	1,05-0,80	0,8-0,60	0,60
Sangat Jelek	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,4	0,40

Sumber: AASHTO (1993)

8. Koefisien Lapis Perkerasan
  - a. Koefisien perkerasan ( $a_1$ ) diperkirakan berdasarkan estimasi modulus elastisitas perkerasan ( $E_{AC}$ ) sebesar 68°F. Kurva yang digunakan untuk memperkirakan koefisien lapisan dasar ditunjukkan pada **Gambar 3.5**



**Gambar 3. 5** Grafik Estimasi Koefisien Lapis Perkerasan Dasar (a1)

Sumber: AASHTO (1993)

- b. Koefisien relatif lapis pondasi granular ( $a_2$ ) diestimasi berdasarkan salah satu dari empat hasil tes laboratorium dengan resilen atau modulus elastisitas yang berbeda-beda. Persamaan 3. 6 dan Persamaan 3. 7 dapat digunakan untuk menghitung  $a_2$ , dapat disajikan sebagai berikut.

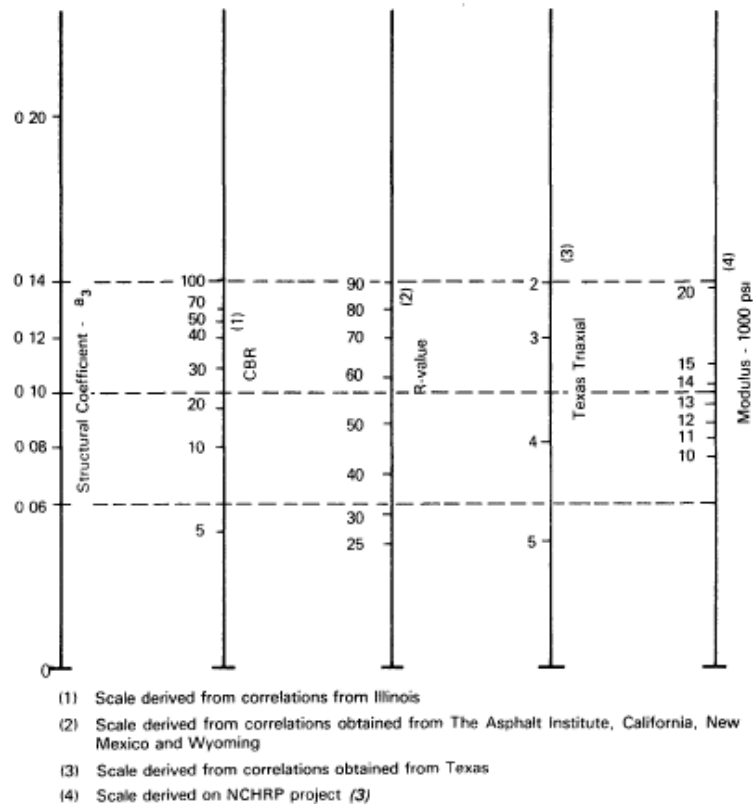
$$a_2 = 0,249(\text{Log}_{10}E_{BS}) - 0,977 \quad (3.6)$$

$$E_{BS} = k_1\theta k_2 \quad (3.7)$$

dengan:  $k_1, k_2$  = regresi konstan sesuai dengan fungsi dari tipe material

$\theta$  = jumlah tegangan pokok

Grafik koefisien lapis pondasi granural dapat dilihat pada **Gambar 3.6**



**Gambar 3. 6** Grafik koefisien lapis pondasi granular (a2)

Sumber: AASHTO (1993)

Modulus elastisitas ( $E_B$ ) menurut AASHTO 1993 dapat disajikan pada Tabel 3.15 dalam satuan psi.

**Tabel 3. 15** Nilai Modulus Elastisitas ( $E_B$ )

Tingkat kelembaban	Persamaan	Tegangan (psi)			
		$\epsilon = 5$	$\epsilon = 10$	$\epsilon = 20$	$\epsilon = 30$
Kering	$8000e^{0,6}$	21,012	31,848	48,273	61, 569
Lembap	$4000e^{0,6}$	10,506	15,924	24,136	30, 784
basah	$3200e^{0,6}$	8,404	12,739	19,309	24, 627

Sumber: AASHTO 1993

Ketebalan lapisan perkerasan dasar dan modulus lapisan dasar menentukan nilai tegangan ( $\epsilon$ ) lapisan pondasi. **Tabel 3.16** mencantumkan nilai tegangan yang digunakan dalam desain.

**Tabel 3. 16** Tegangan Berdasarkan Modulus dan Tebal Tanah Dasar

Tebal permukaan (inch)	Modulus resilien permukaan (psi)		
	3000	7500	15000
< 2	20	25	30
2-4	10	15	20
4-6	5	10	15
<6	5	5	5

Sumber: AASHTO (1993)

Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  didapat berdasarkan kondisi kelembaban lapisan dan fungsi kualitas material yang bisa dilihat pada Tabel 3.16

**Tabel 3. 17** Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  untuk Lapis Pondasi dan Pondasi Dasar

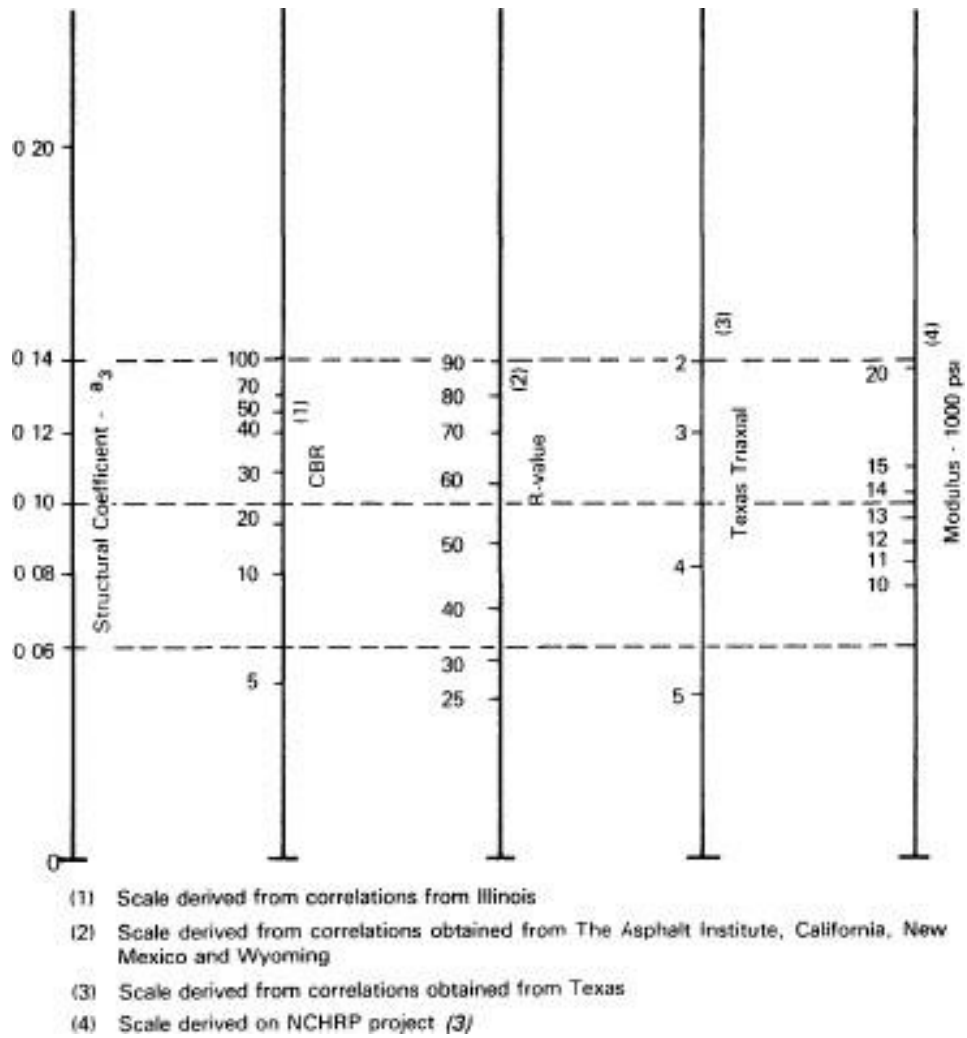
Lapisan	Kondisi kelembaban	Fungsi kualitas material	
		$k_1$	$k_2$
Pondasi	Kering	6000-10000	0,5-0,7
	Lembap	4000-6000	0,5-0,7
	basah	2000-4000	0,5-0,7
Pondasi dasar	Kering	6000-8000	0,4-0,6
	Lembap	4000-6000	0,4-0,6
	basah	1500-4000	0,4-0,6

Sumber: AASHTO (1993)

- c. Koefisien lapis pondasi dasar ( $a_3$ ) granural perkiraan pada salah satu dari empat laboratorium termasuk modulus resilien pondasi dasar ( $E_{SB}$ ) atau dari Persamaan 3. 8

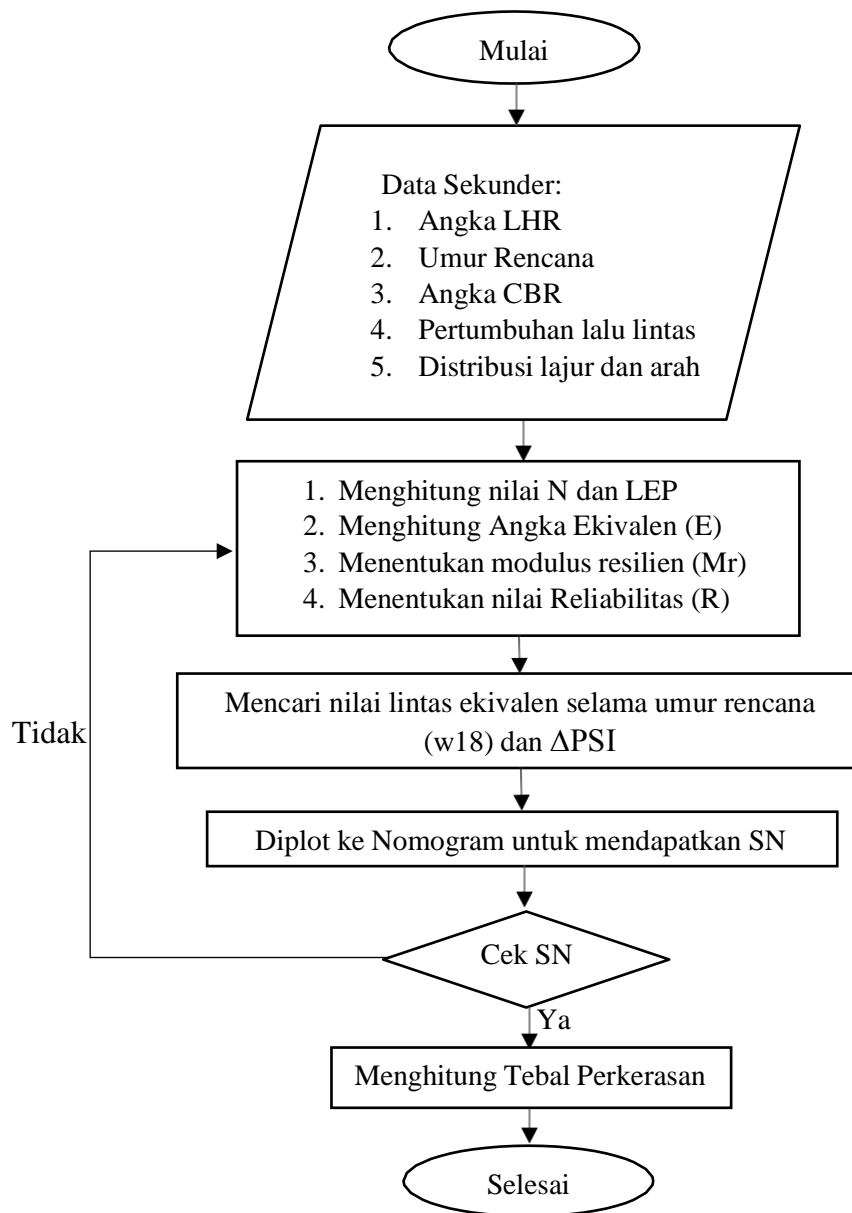
$$a_3 = 0,277(\log_{10}E_{SB})-0,839 \quad (3.8)$$

Lapisan pondasi secara keseluruhan juga diberi nilai EBS berdasarkan stress, dimana  $k_1$  berkisar antara 1500 sampai 6000 dan  $k_2$  berkisar antara 0,4 sampai 0,6. Kurva nilai koefisien untuk lapisan pondasi ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan diagram alir desain umum perkerasan ditunjukkan pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.7** Grafik Nilai Koefisien Lapis Pondasi

Sumber: AASHTO (1993)



**Gambar 3. 8** Bagan Alir Penelitian Desain Perkerasan Lentur dengan AASHTO (1993)

### 3.4 Analisis Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik – Empirik

*Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) memanfaatkan informasi tentang beban lalu lintas, berbagai jenis bahan penutup, data lingkungan, kriteria kegagalan, dan ketergantungan. Koefisien luas kondisi lalu lintas tanah dasar (ESAL) (diasumsikan 1) dan koefisien material lapisan adalah



input untuk perkerasan lentur. Metode mekanis-empiris untuk merancang perkerasan membutuhkan dua tahap perhitungan berikut.

1. Menentukan respon perkerasan berupa tegangan (*compressive stresses*), regangan (*tensile strain*) dan lendutan kritis (*deflection*) setiap lapisan (*layer*) menggunakan analisis metode mekanistik berdasarkan prinsip teori elastis.
2. Mengestimasi performa struktural dan fungsi perkerasan dimasa depan (*design life*). parameter performa untuk *flexibel pavement* yaitu *fatigue cracking* dan *rutting*. Fungsi performa tergantung waktu yang berkaitan erat dalam mengestimasi *IRI (Internasional Roughness Index)*, faktor penentu utama adalah iklim.

Regangan ( $\epsilon$ ), lendutan ( $d$ ), nilai struktur kritis (*Critical Structure Value*), modulus elastisitas linier perkerasan ( $E$ ), modulus elastisitas nonlinier tanah dasar ( $ES$ ), rasio Poisson ( $\mu$ ), tegangan ( $\sigma$ ), dan kondisi lingkungan di antaranya parameter sistem Perkerasan Lentur (SPL) (Huang, 2004).

Berikut ini adalah kegunaan metode desain perkerasan mekanistik-empiris dibandingkan metode desain perkerasan yang hanya bersifat empiris.

1. Dapat digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan baru serta rekonstruksi perkerasan yang ada.
2. Memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan beban lalu lintas yang berbeda.
3. Sifat material dapat dimodifikasi tergantung pada material yang digunakan (material lokal atau baru).
4. Buat prakiraan kinerja yang akurat.
5. Mempertimbangkan bagaimana bahan perkerasan dapat mempengaruhi lingkungan.

Keuntungan lain dari pendekatan mekanistik-empiris adalah kemampuannya untuk secara tepat menentukan sifat material in-situ (termasuk struktur tanah dasar dan perkerasan). Lendutan medan sebenarnya pada struktur perkerasan saat

ini biasanya diukur dengan menggunakan peralatan portabel (FWD), yang juga menghasilkan estimasi umur perkerasan. Akibatnya, desain yang lebih realistis untuk pengaturan alam dapat dibuat.

#### **3.4.1 Metode empirik**

Metode empiris dibuat berdasarkan pengetahuan yang diperoleh dari melakukan penelitian tentang jalan raya yang sudah ada atau dibangun secara khusus. Menurut karakteristik spesifiknya, setiap negara memiliki pendekatan empiris untuk menghitung ketebalan perkerasan lentur. Metode Bina Marga yang dirilis pada tahun 1987 digunakan di Indonesia. Pendekatan AASHTO 1972 dimodifikasi dengan metode Bina Marga, yang memperhitungkan medan, sifat tanah di sekitarnya, dan jenis perkerasan.

#### **3.4.2 Metode mekanistik Empirik**

Metode mekanistik adalah teknik untuk mengembangkan landasan teoretis dan karakteristik material permukaan jalan, dan dilengkapi dengan perhitungan yang tepat tentang bagaimana struktur perkerasan jalan akan merespons beban gandar kendaraan. Untuk perkerasan lentur, diasumsikan bahwa perkerasan memiliki struktur berlapis (elastis), sedangkan perkerasan kaku diasumsikan memiliki balok dan substruktur elastis.

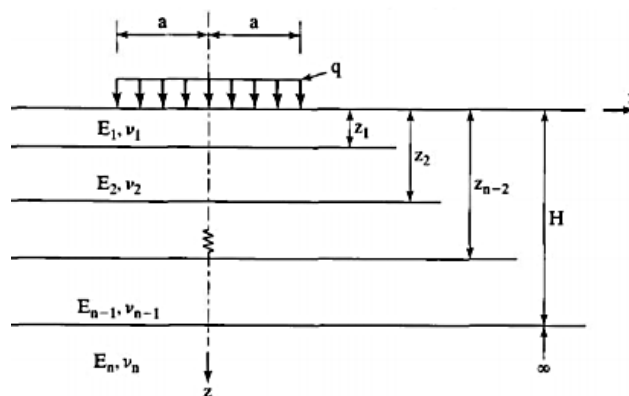
Sebuah teknik mendasar untuk merancang perkerasan, pendekatan mekanis empiris diciptakan dengan menggabungkan teknik mekanis dan empiris. Ketika digunakan dalam desain perkerasan, semua metodologi yang disebutkan di atas memiliki kekurangan. Awalnya, metode mekanis yang bergantung pada hasil uji skala penuh digunakan untuk merencanakan ketebalan perkerasan. Kemudian, mekanisme yang didasarkan pada prinsip teoritis dari karakteristik bahan perkerasan yang meliputi perhitungan respon struktur perkerasan terhadap beban sumbu kendaraan dibuat dengan menggunakan metode analitik. Adopsi salah satu dari strategi ini untuk desain perkerasan memiliki kelemahan. Teknik mekanistik-empiris dikembangkan sebagai hasil dari peningkatan teknologi untuk mempercepat dan mengelola proses estimasi ketebalan perkerasan.

Metode Mekanistik Empirik merupakan metode perancangan tebal

perkerasan berdasarkan penentuan umur perkerasan akibat tegangan dan atau tegangan yang timbul berulang-ulang pada lapis perkerasan sampai terjadi kerusakan yang telah ditetapkan sebelumnya sebagai batas tingkat kerusakan yang dapat diterima oleh lapis perkerasan. Metode desain mekanik empiris didasarkan pada mekanika material dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai respon ini digunakan untuk memprediksi tekanan dari data potensial lapangan dan uji laboratorium. Mengamati observasi terhadap kinerja perkerasan harus dilakukan karena teori dianggap belum cukup terbukti untuk desain perkerasan yang realistis (Huang, 2014).

Keuntungan dari metode mekanis adalah meningkatkan keandalan desain, kemampuan untuk memprediksi jenis kerusakan, dan kemampuan untuk mengevaluasi data lapangan dan laboratorium, yang mungkin terbatas. Kelemahan dari desain mekanik adalah penentuan sifat struktural bahan perkerasan elastis, yang membutuhkan alat uji yang relatif mahal. Perhitungan metode mekanik ini biasanya didasarkan pada metode sistem multilayer. Konsep ini mengasumsikan bahwa setiap pelapisan memiliki sifat seperti homogenitas, isotropi, dan elastisitas linier, yang berarti akan kembali ke bentuk aslinya saat diberikan beban.

Metode mekanika empiris memiliki solusi analitik yang disebut Sistem Elastis Multilayer. Sistem ini menggunakan asumsi untuk menghitung respon struktural seperti tegangan, regangan, dan defleksi akibat beban roda kendaraan. Menurut Yonder dan Witczak (1975), asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut. Sistem elastis berlapis-lapis ditunjukkan pada **Gambar 3.9**



**Gambar 3.9 Multilayer Elastic System**  
(Sumber : Huang, 2004)

### 3.4.3 Karakteristik Material

Dalam perkerasan dapat menggunakan beberapa karakteristik material, yaitu lapisan viskoelastik dan lapisan elastik. Penjelasan lapisan viskoelastik dan lapisan elastik dapat dilihat di bawah ini.

#### 1. Lapisan Elastik

Pemodelan lapisan secara elastik dapat menghitung tegangan, regangan dan defleksi di struktur pekerasan yang permukaannya telah dibebani. Untuk layer elastis ini menganggap bahwa setiap layer struktur perkerasan homogen, isotropis, dan elastis secara linear (Huang, 2004).

#### 2. Lapisan Viskoelastik

Sifat viskoelastis diterapkan dalam analisis lapisan aspal, dimana waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Solusi lapisan viskoelastik ini diperoleh dengan prinsip korespondensi elastis-viskoelastik menggunakan transformasi Laplace untuk menghilangkan variabel waktu (Huang, 2004). Metode untuk mengkarakterisasi bahan viskoelastis adalah dengan menentukan persyaratan mulur. Untuk mengukur ketaatan Romawi, dihitung dengan menggunakan 11 periode yang berbeda, termasuk 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 detik. Untuk temperatur standar pada perkerasan lentur yang disarankan ketika input pada layerinp dapat di tampilkan pada Persamaan 3.9 berikut.

$$D(t) = \frac{1}{E_0} \left( 1 + \frac{1}{T_0} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_1} [1 - \exp(\frac{-t}{T_1})] \quad (3.9)$$

### 3.4.4 Analisis Kerusakan Perkerasan

Fatigue cracking, rutting, dan depresi adalah penilaian kerusakan lapisan yang bersangkutan. muatan kendaraan mengakibatkan kerusakan permukaan jalan. Hasil studi perhitungan yang dilakukan dengan metode mekanis-empiris meliputi pengukuran deformasi dan tegangan lapisan lentur. Nilai tegangan dan regangan ini digunakan untuk memperkirakan degradasi lapisan fleksibel. Ada banyak persamaan untuk meramalkan kuantitas pengulangan beban, salah satunya adalah persamaan model The Asphalt Institute (Simanjuntak, 2014).

#### 1. *Fatigue cracking*

Kerusakan retak fatik melibatkan pola retak progresif akibat beban

berulang, dan cacat ini terjadi ketika sejumlah besar retak menutupi permukaan perkerasan. Pembebanan yang terus menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan retak meskipun tegangan yang diberikan masih di bawah batasnya. Pembebanan material perkerasan yang berulang-ulang diakibatkan oleh jalur beban kendaraan (as) yang terjadi secara terus menerus, dengan intensitas yang bervariasi tergantung jenis kendaraan, dan terjadi secara acak. Persamaan kelelahan untuk pelapis fleksibel untuk menentukan jumlah pengulangan beban berdasarkan tegangan tarik di bawah lapisan permukaan pada Persamaan 3. 9 berikut.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854} \quad (3.9)$$

dengan,

$N_f$  : jumlah nilai beban pengulangan yang diizinkan untuk mengontrol *fatiguecracking*,

$\epsilon_t$  : tensile strain di lokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan(in/in), dan

$|E^*|$  : modulus elastis pada lapis permukaan atau lapisan *HMA*.

## 2. *Rutting*

Agregasi dari semua deformasi plastis yang terjadi pada lapisan aspal, lapisan dasar, dan lapisan tanah kasar menghasilkan rutting atau alur pada permukaan perkerasan. Kriteria lain yang digunakan dalam metode analisis mekanis untuk menunjukkan struktur perkerasan yang runtuh akibat beban berulang adalah kriteria keretakan retak. Agar tidak membahayakan pengemudi saat melewati titik trayek, terutama pada kecepatan tinggi, maka nilai maksimal trayek harus dibatasi. Setiap lapisan struktur menunjukkan deformasi permanen, membuat retakan alur lebih tidak terduga daripada retakan lelah. Bekas roda dapat diarahkan ke sebagian besar komponen perkerasan yang rentan, dan teknik pembongkaran saat ini dibuat untuk bekas roda. Tekanan vertikal atas substrat sering dinyatakan. Persamaan 3. 10 memberikan rumus untuk menghitung jumlah pengulangan beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapisan *subbase* sebagai

berikut.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,47} \quad (3.10)$$

dengan,  $N_d$ : jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting*, dan  $\epsilon_c$  : regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar.

### 3. *Permanent deformation*

Persamaan 3. 11 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung pengaruh beban pengulangan perkerasan lentur terhadap kerusakan deformasi permanen sebagai berikut.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,47} \quad (3.11)$$

dengan,  $N_d$ : jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting*, dan  $\epsilon_c$  : regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar.

### 3.5 Program KENPAVE

Metodologi empiris yang dibahas sebelumnya memiliki keterbatasan bila diterapkan pada desain perkerasan. Untuk mengatasi ketidakcukupan pendekatan sebelumnya berdasarkan mekanika material, metode mekanis empiris diciptakan dengan mengintegrasikan metodologi mekanis dan empiris.

Penggunaan aplikasi ini sangat sederhana karena menggunakan data yang sudah ada untuk menghitung nilai tegangan dan regangan yang terkait dengan beban lalu lintas jalan. Profesor Emeritus Teknik Sipil di University of Kentucky membuat program ini. PE. Yang H. Huang Karena dipisahkan menjadi empat program—*LAYERINP* dan *KENLAYER* untuk analisis perkerasan lentur dan *SLABSINP* dan *KENSLAB* untuk analisis perkerasan kaku—perangkat lunak ini juga dapat digunakan untuk analisis perkerasan kaku.

Tegangan permukaan, tegangan, dan defleksi yang disebabkan oleh beban yang diterapkan pada permukaan dihitung dalam pekerjaan ini menggunakan algoritma *KENLAYER* dan *LAYERINP*. **Gambar 3.9** menggambarkan layar menu program KENPAVE, dengan opsi program *fleksibel Pavement* di sebelah kiri.



**Gambar 3. 10 Tampilan Menu Utama KENPAVE**

### **3.5.1 INPUT program KENPAVE**

Untuk menggunakan aplikasi ini, masukkan data Anda saat ini pada menu LAYERINP untuk menemukan tegangan, regangan, dan reaksi perkerasan, lalu pilih KENLAYER dari menu untuk menggunakan hasilnya. Informasi berikut ini relevan.

#### **1. Modulus elastisitas**

Setiap jenis bahan pelapis memiliki modulus elastisitas, disebut juga modulus *young*. Angka ini dihitung dengan membandingkan pembacaan tegangan dan regangan. Metrik yang digunakan untuk menggambarkan seberapa baik jenis bahan perkerasan tertentu dapat memperoleh kembali ukuran dan bentuk sebelumnya setelah dikompresi dan diregangkan disebut modulus elastisitas. Untuk menghitung modulus elastisitas, gunakan Persamaan 3.12 seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

$$E = \frac{\tau}{\epsilon} \quad (3.12)$$

Dengan : E = Modulus elastisitas (kPa atau Psi),  $\tau$  = Tegangan (kPa), dan  $\epsilon$  = Regangan.

Modulus elastis setiap bahan memiliki batas tarik dan elastis yang unik. Batas elastis suatu bahan mengevaluasi seberapa baik bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya setelah mengalami tekanan atau regangan dan sama dengan

kekuatan bahan untuk menahan tekanan atau regangan. Informasi berikut diberikan pada **Tabel 3.18** mengenai modulus elastisitas beberapa jenis bahan perkerasan.

**Tabel 3. 18 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan**

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
<i>Cement-treated granural 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 granural materials</i>	$15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$	$105 \times 10^3 - 315 \times 10^3$
<i>Fine grained or natural subgrade materials</i>	$3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	$21 \times 10^3 - 28 \times 10^4$

Sumber: Huang (2004)

## 2. *Possion Ratio*

Rasio posisi ini adalah rasio antara regangan horizontal dan regangan vertikal yang diinduksi oleh tegangan sumbu paralel, dan digunakan untuk menghitung modulus elastisitas. Angka ini dapat dilihat pada **Tabel 3.19**.

**Tabel 3. 19 Angka Possion 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 granural 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-stabilized material</i>	0,10-0,25	0,20
<i>Lime-flyash mixture</i>	0,10-0,15	0,15
<i>Loose sand/silty sand</i>	0,20-0,40	0,30
<i>Dense sand</i>	0,30-0,45	0,35
<i>Fine-grained soil</i>	0,30-0,50	0,40
<i>Saturated soft clay</i>	0,40-0,40	0,45

Sumber: Huang (2004)



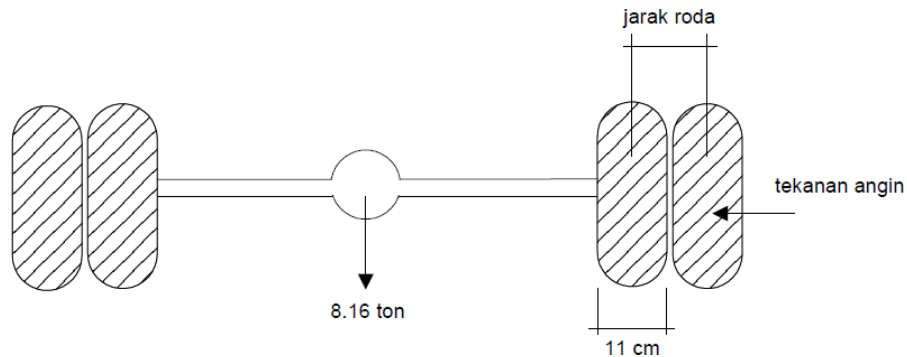
3. Tebal lapis perkerasan

Perangkat lunak ini perlu mengetahui ketebalan setiap lapisan dalam milimeter atau inci. Temuan dari dua teknik perhitungan sebelumnya digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan perkerasan.

4. Data kondisi beban

Beban roda kendaraan ( $P$ , kN/lb), tekanan ban ( $q$ , Kpa/Psi), jarak antara dua roda ( $d$ , cm/in), dan bidang kontak ( $a$ , cm/in) adalah beban referensi data. Data kasus beban yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan informasi dari **Gambar 3.10** yang digunakan di Indonesia. Informasi yang digunakan, jika dijelaskan, adalah sebagai berikut.

- $P = 18.000 \text{ pon} / 8,16 \text{ ton}$ .
- $q = 0,55 \text{ MPa} = 5,5 \text{ kg/cm}^2$ .
- $d = 33 \text{ cm}$ .
- $a = 110 \text{ mm} = 11 \text{ cm}$ .

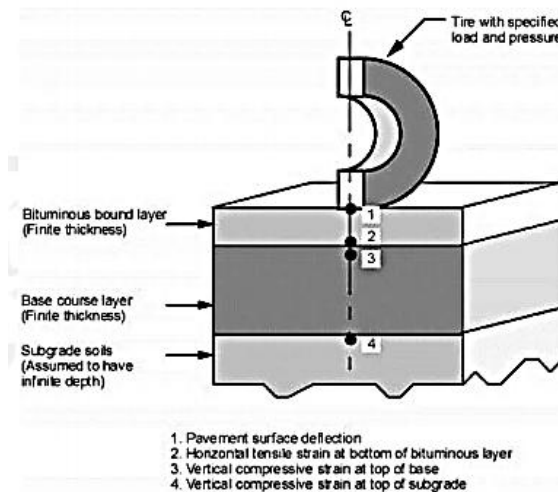


**Gambar 3. 11 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia**

Sumber: Sukirman (2010)

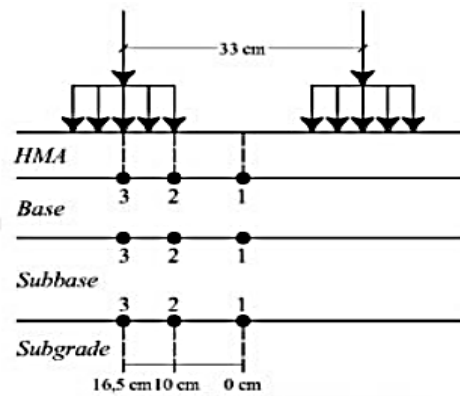
Nilai keluaran dari pemodelan sistem perkerasan berlapis adalah (a) tegangan, yang dinyatakan sebagai intensitas internal pada struktur perkerasan pada titik yang berbeda dengan satuan ( $\text{N/mm}^2$ , Pa, atau Psi), (b) regangan, yang dinyatakan sebagai rasio perubahan bentuk dari bentuk aslinya ( $\text{mm/mm}$  atau inci/inci), dan (c) defleksi, yaitu perubahan bentuk secara linier yang dinyatakan dalam microstrain ( $10^{-6}$ ). (inci atau mm).

Menghitung tegangan, regangan, dan defleksi pada berbagai titik struktur atap dapat dilakukan dengan mudah dengan program KENPAVE. Saat menganalisis perkerasan jalan pendek dan panjang, ada beberapa area atau lokasi penting yang sering digunakan. seperti terlihat misalnya pada **Gambar 3.12** dan **Gambar 3.13** di bawah ini.



**Gambar 3. 12 Lokasi Analisis Struktur Perkerasan**

(Sumber: NCHRP, 2004)



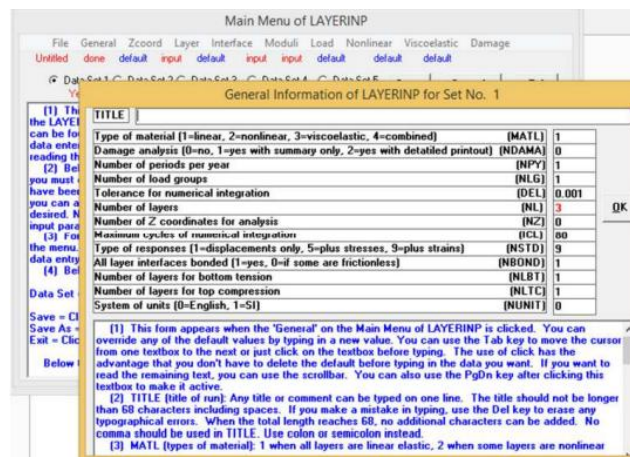
**Gambar 3. 13 Lokasi Analisis Secara Horizontal**

### 3.5.2 Program KENPAVE

Program *KENLAYER* adalah program yang digunakan untuk jenis perkerasan lentur yang dapat dimulai setelah memasukan data pada menu *LAYERINP*. Menu yang ada di *LAYERINP* terdiri dari 11 (sebelas) menu. Setiap menunya memiliki data yang harus diisi

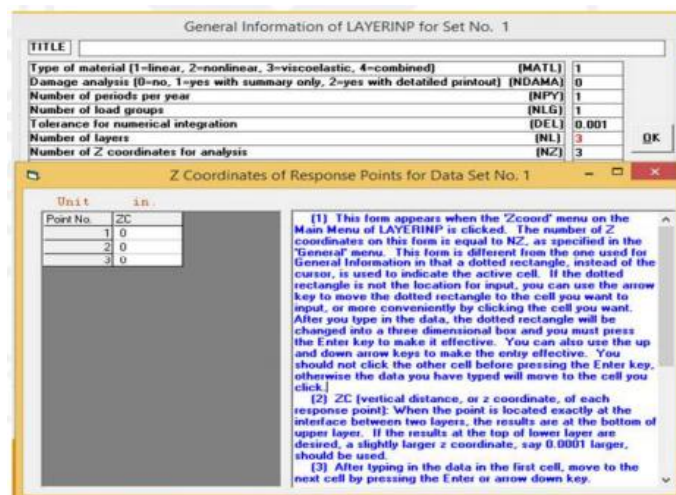
. Berikut penjelasan mengenai menu yang ada di *LAYERINP*.

1. **File**, Menu file digunakan untuk memulai pekerjaan dengan pilihan new untuk file baru atau old untuk file yang sudah ada.
2. **General**, Merupakan menu yang memunjukkan informasi mengenai perkerasan yang akan dianalisis. Dapat dilihat pada **Gambar 3.14** berikut.



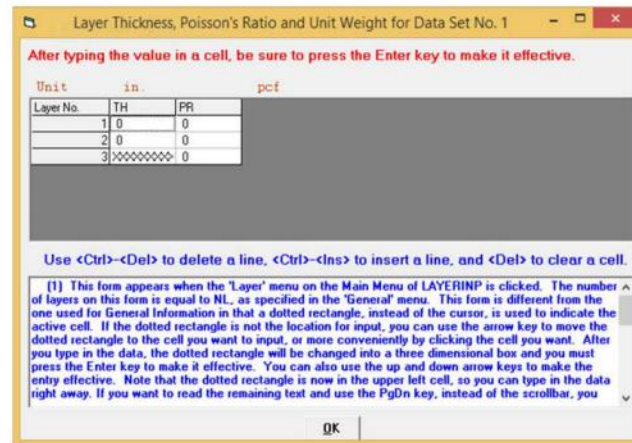
**Gambar 3. 14** Tampilan Layar General

3. **Zcoord**, adalah menu untuk menganalisis perkerasan pada titik jarak koordinat Z. Poin pada menu tersebut otomatis jumlahnya pasti sama dengan nilai NZ pada pengisian menu general. Contoh ditampilkan dalam **Gambar 3.15** berikut, di point tersebut dimasukan nilai kedalaman yang mau dianalisa.



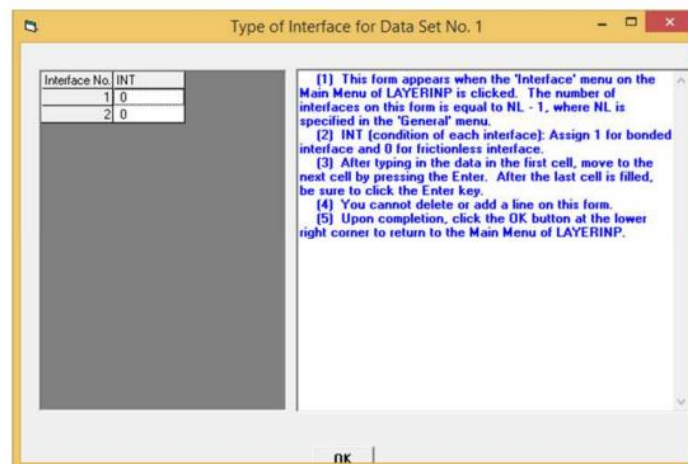
**Gambar 3. 15** Jendela Menu Zcoord

4. **Layer**, Terdapat dua kolom yang di input pada menu *layer*. Kolom pertama yaitu TH adalah tebal tiap layer dan kolom kedua PR adalah poisson's ratio tiap layer. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 3.16** berikut.



**Gambar 3. 16 Tampilan Jendela Layer**

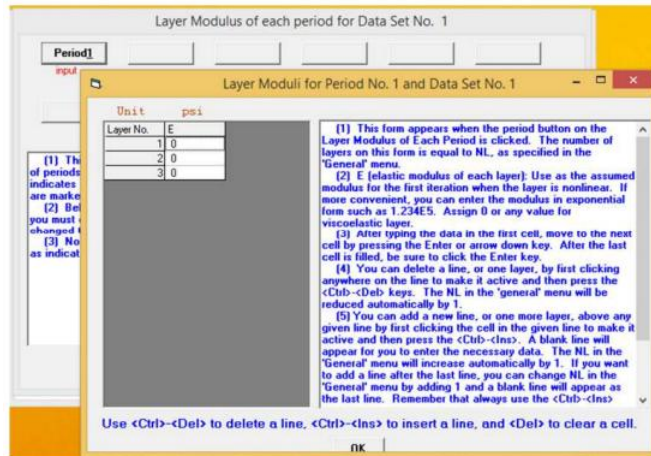
5. **Interface**, Menu interface tergantung pada nilai input NBOUND pada menu general . Jika NBOUND = 1 maka menu interface menjadi default. Jika NBOUND = 2 maka menu interface menjadi aktif untuk diinput. Seperti Gambar 3.17 berikut.



**Gambar 3. 17 Tampilan Jendela Interface**

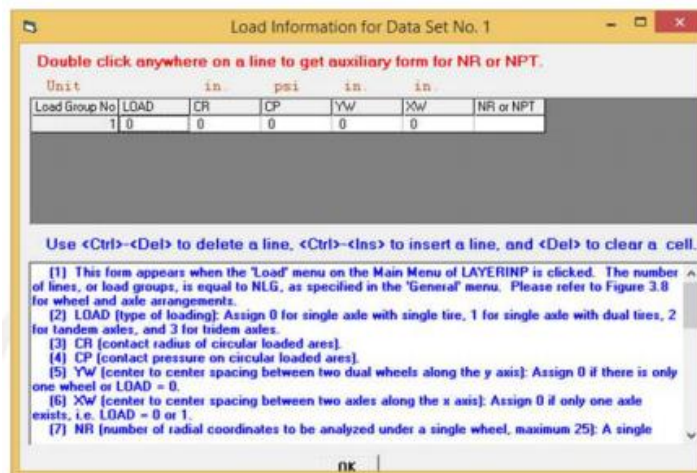
6. **Moduli**, dalam menu modul ini terdapat tampilan layar seperti **Gambar 3.18** Jumlah dari periode pada menu ini sesuai dengan nilai input NY

dalam menu general. Terdapat maksimum 12 periode pada menu ini. Setiap periode memiliki tampilan untuk memasukan nilai E. Nilai E (modulus elastisitas) dimasukan per layer yang ada.



**Gambar 3. 18 Tampilan Jendela Moduli**

7. **Load**, jumlah unit yang ada dalam menu ini sesuai dengan jumlah NLG pada menu general. Untuk pengisian kolom load, (0) untuk sumbu tunggal, (1) untuk sumbu tunggal roda ganda, (2) untuk sumbu tandem, (3) untuk sumbu triple. Kolom CR adalah radius kontak pembebanan. Kolom CP adalah nilai beban. Kolom XW dan YW adalah jarak antar roda arah x dan y. Kolom NR dan NPT merupakan titik koordinat tegangan-regangan yang ingin ditinjau. Berikut tampilan jendela load dapat dilihat pada **Gambar 3.19**.

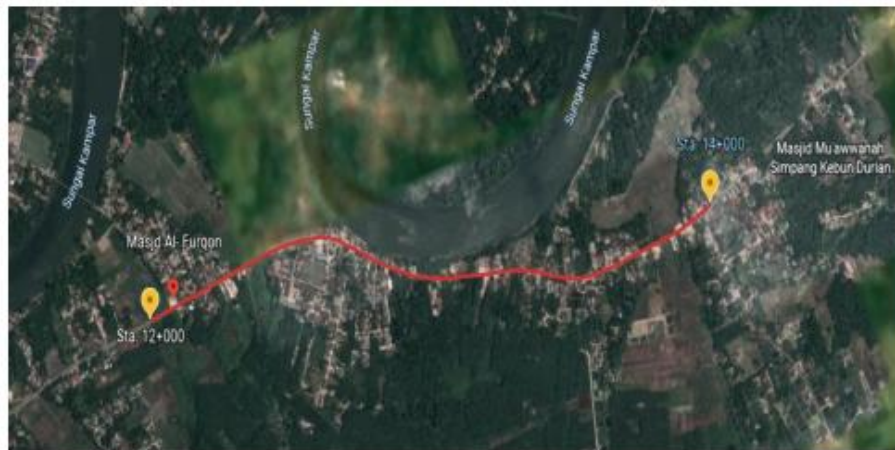


**Gambar 3. 19 Tampilan Jendela Load**

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah pada ruas Jalan Batas Kabupaten Kampar – Batas Kota Bangkinang (Sta. 12+000 – Sta. 14+000) sepanjang 2000 meter. Jalan tersebut merupakan jalan utama yang menjadi jalur utama kendaraan menuju Kota Bangkinang dan Kabupaten Kampar seperti terlihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



**Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian**

Kondisi lokasi pada ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang (Sta. 12+000 – Sta. 14+000) pada tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

**Tabel 4. 1 Kondisi Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang**

Status Jalan	Jalan Arteri
Tipe Perkerasan	Perkerasan Lentur
Panjang Jalan (yang diteliti)	2,0 km
Lebar Jalan	7 m

Adapun untuk struktur perkerasan eksisting pada ruas jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Kota Bangkinang dapat dilihat sebagai berikut.

- a. Lapis AC-WC : 4 cm
- b. Lapis AC-BC : 6 cm
- c. Lapis Pondasi Atas (LPA) : 15 cm
- d. Lapis Pondasi Bawah (LPB) : 20 cm

## 4.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknis pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah study literatur dan pengumpulan data sekunder yang dibutuhkan, seperti peta lokasi yang akan diteliti, data LHR, tipe dan material perkerasan serta data CBR. Data-data tersebut diperoleh dari P2JN Riau. Studi kepustakaan atau penelitian kepustakaan melalui penelitian, kajian, evaluasi dan penelitian kepustakaan yang berkaitan dengan masalah yang diteliti baik berupa buku (buku pelajaran), majalah, peraturan perundang-undangan, artikel, website dan penelitian terdahulu. Tujuan dari kajian pustaka ini adalah untuk mendapatkan sebanyak mungkin teori yang diharapkan dapat mendukung data yang terkumpul dan pengolahan selanjutnya.

## 4.3 Analisis Data

Pengumpulan data yang telah dilakukan di lapangan serta data pendukung yang diperoleh berkaitan dengan pokok permasalahan di atas, selanjutnya dilakukan proses analisis data.

1. Analisis desain tebal lapis perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993.

Langkah-langkah desain tebal lapis perkerasan metode Bina Marga 2017 adalah sebagai berikut.

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



- h. Menentukan desain perkerasan
2. Analisis respon tegangan-regangan perkerasan eksisting, desain Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 menggunakan *KENPAVE* dengan pendekatan pemodelan elastik dan viskoelastik. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.
- a. judul file, jenis material, analisis kerusakan, akurasi hasil analisis, jumlah lapisan, letak koordinat arah Z (kedalaman), jenis respon yang akan dianalisis, jenis ikatan lapisan, dan satuan yang digunakan.
    - Input tipe material "*linear (1)*" untuk analisa pemodelan elastik, dan
    - Input tipe material "*viscoelastic (3)*" untuk analisa pemodelan viskoelastik.
  - b. Meng-*input* jumlah point yang akan di analisa dan jarak vertikal.
  - c. Meng-*input* tebal dan nilai Poisson's Ratio tiap lapis perkerasan.
  - d. Meng-*input* jenis ikatan antar lapisan.
  - e. Menentukan jumlah periode yang ditinjau dan nilai modulus elastisitas tiap *layer*.
  - f. Meng-*input* info data beban lalu lintas, yaitu beban roda, radius kontak pembebanan, nilai beban, jarak antar roda arah Y dan X dan titik koordinat tegangan - regangan yang ingin ditinjau.
  - g. Meng-*input* parameter lain seperti non linear, *viscoelastic*, *damage*, *Mohr Coulomb* akan ikut dengan sendirinya sesuai dengan input nilai sebelum data ini.
  - h. Menentukan hasil output defleksi dari running program *KENLAYER* digunakan untuk mengetahui nilai repetisi yang menyebabkan kegagalan struktur di lapangan.
3. Analisis sisa umur pelayanan perkerasan jalan.
- Setelah menganalisis perkerasan jalan, kemudian mendapatkan nilai tegangan regangan, lalu hubungkan jenis kerusakan dengan repetisi beban,



maka analisis prediksi sisa umur layan perkerasan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 4. 1

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

dengan:

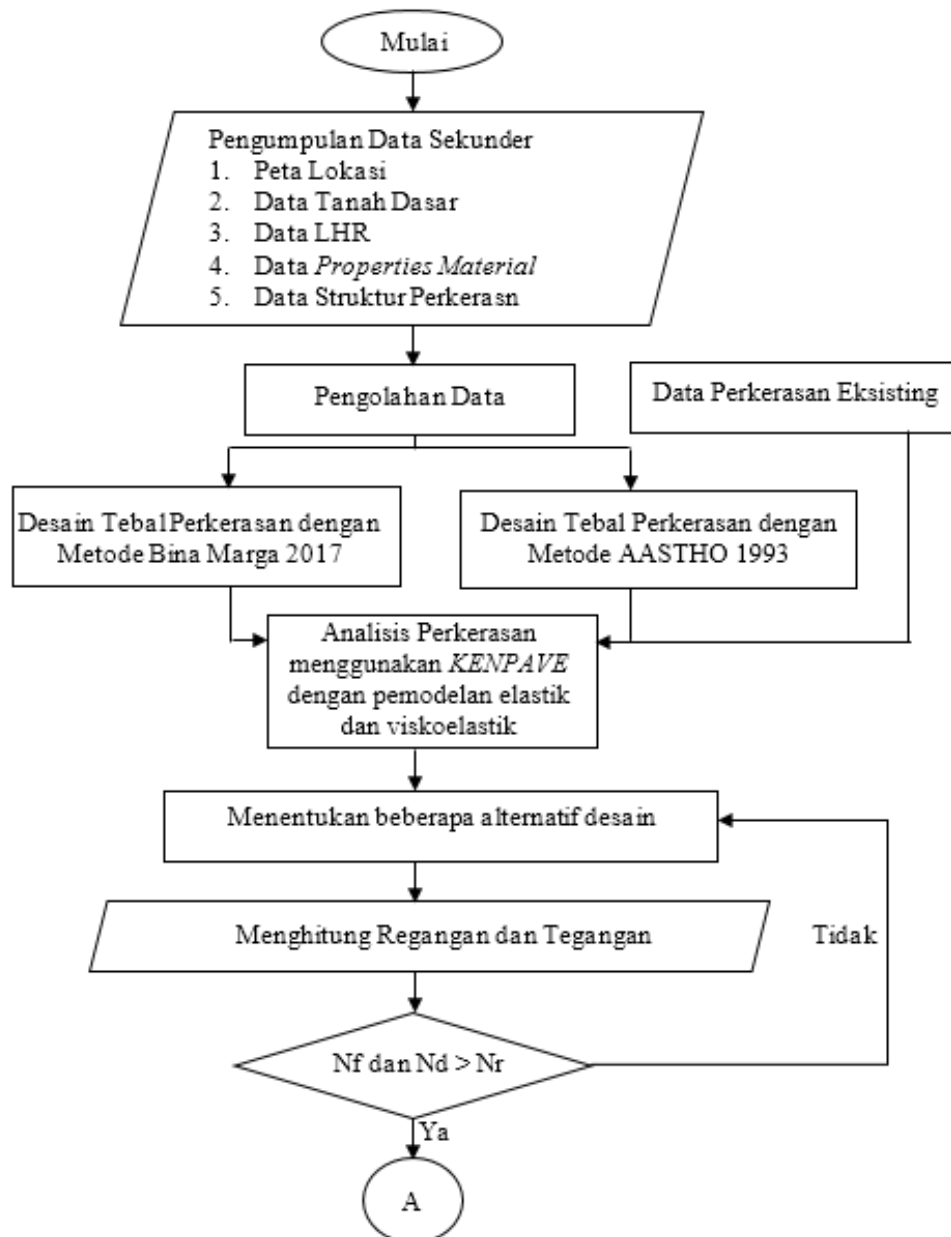
$RL = Remaining\ Life$  (%),

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

$N_{1,5} = Total\ Traffic$  pada kondisi perkerasan berakhir (*failure*) ( $ESAL$ ).

#### **4.4 Bagan Alir (*Flow Chart*) Penelitian**

Desain perkerasan lentur memerlukan data-data mengenai objek yang akan direncanakan. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data lalu lintas harian rerata (LHR) dan data daya dukung tanah dasar (CBR) yang selanjutnya di hitung menggunakan metode Bina Marga 2017 dan kemudian di analisis menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada struktur perkerasan tersebut serta mengetahui nilai sisa umur layan pada perkerasan eksisting dan perkerasan hasil desain menggunakan metode Bina Marga 2017 yang mana tahapan pada penelitian ini dapat dijelaskan pada bagan alir pada Gambar 4.2 berikut ini.



**Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian**



**Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian**

**BAB V**  
**HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

**5.1 Umum**

Masa layanan pada ruas Jalan Kampar - Bangkinang seharusnya habis sesuai dengan yang sudah direncanakan yaitu 20 tahun, Data sekunder lalu lintas Jalan Kampar-Bangkinang diambil dari laporan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Riau tahun 2022. Adapun data lalu lintas Jalan Kampar – Bangkinang disajikan dalam **Tabel 5.1** sampai **Tabel 5.3** dan **Gambar 5.1** berikut.

**Tabel 5. 1 Jenis dan Detail Jalan**

<b>Data</b>	<b>Keterangan</b>
Jenis Jalan	Arteri
Umur Rencana (UR)	20 tahun (2021-2040)
Distribusi Kendaraan	2 Jalur 4 Aljur 2 Arah
Pertumbuhan Lalulintas (i)	4,83 %
CBR Tanah Dasar	4 %
R (UR 20 th)	20,092 %

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Riau, 2022

**Tabel 5. 2 Lalulintas Harian Rata-rata Tahunan**

<b>Jenis Kendaraan</b>	<b>LHR (Kendaraan/Tahun)</b>		
	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Gol 2,3, dan 4	3518	12332	6526
Bus kecil golongan 5a	12	131	21
Bus besar golongan 5b	24	33	5
Truk 2 as golongan 6a	284	1506	372
Truk 2 as golongan 6b	692	541	401
Truk 3 as golongan 7a	1354	659	572
Trailer 4 as, truk gandeng 7b	162	2	2
Truk semi trailer golongan 7c	72	18	12
<i>Total</i>	<i>6118</i>	<i>15222</i>	<i>7911</i>

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Riau, 2022

AC-WC	4 cm
AC-BC	6 cm
Base	15 cm
Subbase	20 cm
Subgrade	

**Gambar 5. 1 Tebal Perkerasan Jalan Eksisting**

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Riau, 2022

**Tabel 5. 3 Tebal Perkerasan Jalan Eksisting**

Jenis Perkerasan		Tebal Perkerasan (cm)
Surface	AC-WC	4
	AC-BC	6
Base		15
Subbase		20
Subgrade		-

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Riau, 2022

Dari data di atas maka akan didapatkan nilai sebagai berikut.

1. Faktor Lajur Rencana

Faktor distribusi arah (DD) berdasarkan Bina Marga 2017 umumnya nilai DD yang digunakan adalah 0,5 untuk jalan 2 arah. Sedangkan faktor distribusi lajur (DL) untuk kendaraan niaga dapat dilihat dalam **Tabel 5.4**. Untuk Jalan Kampar – Bangkinang menggunakan nilai 80% karena mempunyai 2 lajur setiap arah.

**Tabel 5. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL)**

Jumlah Lajur setiap Arah	Kondisi Niaga pada Lajur desain (%) terhadap Populasi Kendaraan Niaga
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber: Bina Marga, 2017

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

3. Beban Sumbu Standar Kumulatif (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*, CESA)

Beban sumbu standar kumulatif merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana yang ditentukan. Nilai *ESA* pada kendaraan dapat dihitung dengan menggunakan cara berikut.

$$ESA^5 = (\Sigma LHR \times VDF^5) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Perhitungan rencana jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun dapat dilihat pada **Tabel 5.5** dan **Tabel 5.6** berikut.

**Tabel 5. 5 Perkiraan Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESA)**

Jenis Kendaraan	LHR	VDF <sub>4</sub>	VDF <sub>5</sub>	DD	DL	R	ESA <sub>4</sub>	ESA <sub>5</sub>
Gol 2,3, dan 4	15991	0.00	0.00	0.5	0.8	20.09	0	0
Bus kecil golongan 5a	51	0.00	0.00	0.5	0.8	20.09	0	0
Bus besar golongan 5b	12	1.00	1.00	0.5	0.8	20.09	35,940	35,940
Truk 2 as golongan 6a	912	0.55	0.50	0.5	0.8	20.09	1,470,647	1,336,952
Truk 2 as golongan 6b	983	4.50	7.40	0.5	0.8	20.09	12,970,593	21,329,420
Truk 3 as golongan 7a	1402	10.10	18.40	0.5	0.8	20.09	41,526,024	75,651,370
Truk 4 as, truk gandeng 7c1	5	15.90	29.50	0.5	0.8	20.09	228,576	424,087
Truk semi trailer golongan 7c2	29	19.80	39.00	0.5	0.8	20.09	1,707,849	3,363,944
<i>CESA</i> 20 tahun							57,939,628	102,141,712

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai *CESA*<sup>4</sup> sebesar  $57,9 \times 10^6$  dan *CESA*<sup>5</sup> sebesar  $102,1 \times 10^6$ .

**Tabel 5. 6 Rekapitulasi Rencana Jumlah Kendaraan Setiap Tahun**

<b>Tahun</b>	<b><i>CESA<sub>4</sub></i></b>	<b><i>CESA<sub>5</sub></i></b>
2021	692,887	932,006
2022	1,453,057	1,954,515
2023	3,881,752	6,843,137
2024	5,426,965	9,567,191
2025	7,113,077	12,539,636
2026	8,950,128	15,778,171
2027	10,948,800	19,301,628
2028	13,120,457	23,130,041
2029	15,477,186	27,284,716
2030	18,031,839	31,788,311
2031	20,798,079	36,664,913
2032	23,790,432	41,940,129
2033	27,024,333	47,641,170
2034	30,516,184	53,796,951
2035	34,283,410	60,438,190
2036	38,344,521	67,597,517
2037	42,719,173	75,309,587
2038	47,428,240	83,611,196
2039	52,493,883	92,541,414
2040	57,939,628	102,141,712

## **5.2 Evaluasi Perkerasan Jalan Eksisting dengan *KENPAVE***

Berikut adalah analisis Program *KENPAVE* terhadap nilai regangan dan tegangan pada Jalan Kampar - Bangkinang saat ini.

### **5.2.1 Model Pendekatan Elastis – Eksisting**

Metode di bawah ini menjelaskan bagaimana menilai perkerasan jalan eksisting menggunakan program *KENPAVE*, khususnya *KENLAYER*, untuk menghitung nilai tegangan dan regangan untuk model perkerasan lentur elastis.

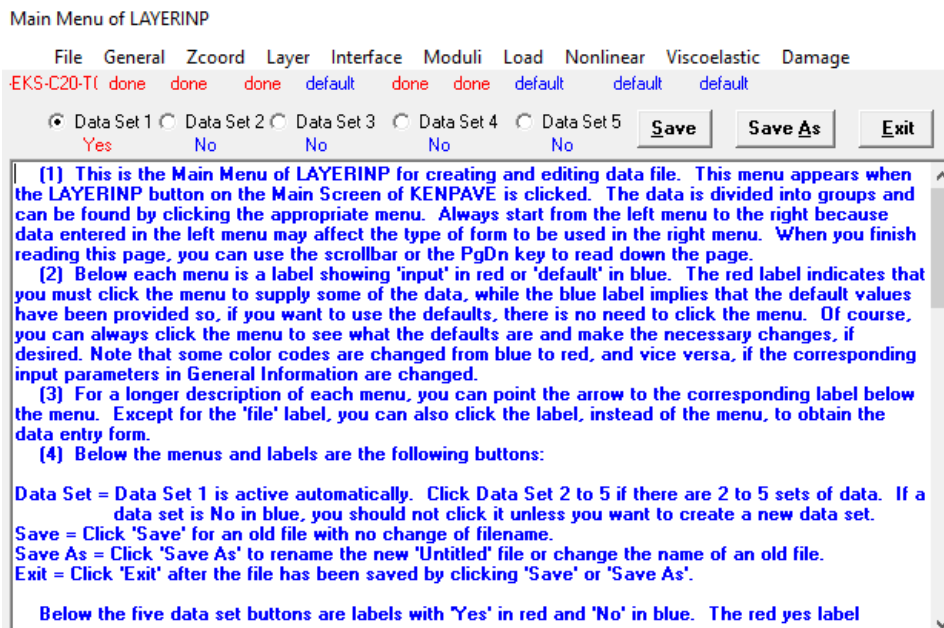
#### **1. *Layerinp***

Seperti pada **Gambar 5.2** dan **Gambar 5.3**, klik pilihan *LAYERINP* untuk memulai input data setelah terlebih dahulu memilih menu Program *KENPAVE*.





**Gambar 5. 2 Menu Utama Program *KENPAVE***  
 Sumber: Hasil Penelitian, 2022



**Gambar 5. 3 Tampilan Menu *LAYERINP***  
 Sumber: Hasil Penelitian, 2022

Kemudian klik pada menu *file* lalu pilih *new* untuk memulai input data

## 2. General

Pada menu *general* terdapat beberapa nilai yang di input, dapat ddisajikan pada **Gambar 5.4** berikut.

TITLE	N-EKS-C20-T01	
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 detatiled 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)	1
Number of layers for top compression	(NLTC)	1
System of units (0=English, 1=S1)	(NUNIT)	1

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

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

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

**Gambar 5. 4 Data Input pada Menu General**

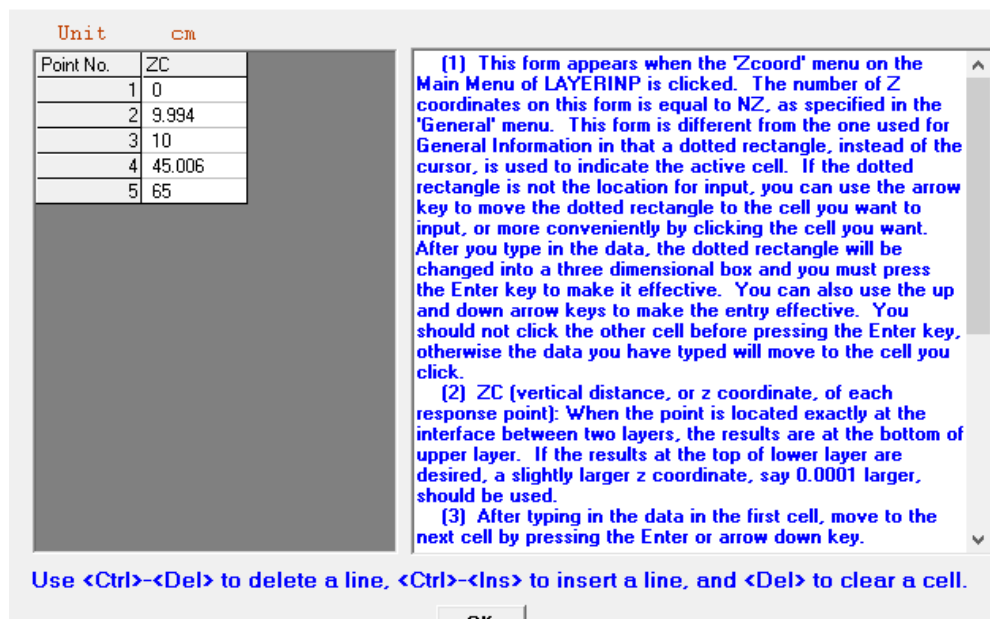
## 3. Zcoord

Posisi titik kerusakan yang dipertimbangkan menentukan berapa banyak titik yang ditampilkan pada menu Zcoord. Jumlah poin sama dengan jumlah NZ pada menu utama. Tabel di bawah ini, **Tabel 5.8**, mencantumkan 5 poin yang ditinjau.

**Tabel 5. 7 Titik Tinjau pada Zcoord**

No.	Kedalaman (cm)	Tidak ada analisis kerusakan
1	0	Permukaan AC-WC
2	9,994	Titik tinjau 1 pada dasar lapisan surface, atau titik letak untuk kerusakan <i>fatigue cracking</i> dan <i>rutting</i> (alur)
3	10	Permukaan LPA
4	45,006	Titik tinjau 2 yang terletak di permukaan lapis subgrade, atau titik letak kerusakan <i>deformation</i>
5	65	Dasar subgrade (asumsi)

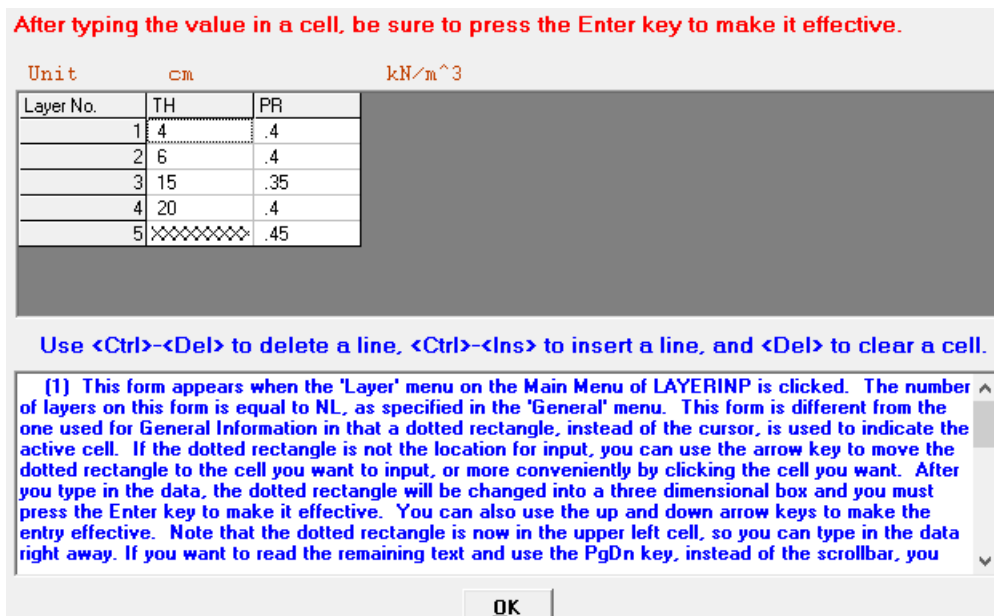
Tampilan pada menu *zcoord* lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 5.5**.



Gambar 5. 5 Data Input pada Menu *Zcoord*

#### 4. *Layer*

Ketebalan perkerasan dan nilai Poisson's Ratio tiap lapisan perkerasan merupakan parameter yang digunakan pada menu lapisan. **Gambar 5.6** memperlihatkan tampilan menu *layer*.



Gambar 5. 6 Data Input pada Menu *Layer*

## 5. Moduli

Nilai modulus elastisitas masing-masing perkerasan dimasukkan sebagai parameter pada menu moduli. Tampilan menu moduli ditunjukkan pada **Gambar 5.7** berikut ini.

The screenshot shows a software interface for entering modulus data. At the top, it says "Unit kPa". Below this is a table with two columns: "Layer No." and "E". The table contains five rows of data:

Layer No.	E
1	1100000
2	1200000
3	500000
4	1600000
5	40000

To the right of the table is a text box containing instructions:

more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for viscoelastic layer.

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

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

[5] You can add a new line, or one more layer, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NL in the 'General' menu will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NL in the 'General' menu by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that always use the <Ctrl>-<Ins> keys to add a line unless the line to be added is the last line. By so doing, you don't have to retype any of the existing lines.

[6] Upon completion, click the OK button to return to the Layer Modulus of Each Period.

At the bottom of the interface, there is a button labeled "OK" and a line of text: "Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell."

**Gambar 5.7** Data Input pada Menu *Moduli*

Sumber: Huang, 2004

## 6. Load

Dalam perhitungan metode mekanistik-empirik dibutuhkan dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban dan jarak ban pada roda ganda. Pada nilai beban sumbu roda dapat dilihat pada **Gambar 3.10** yang merupakan data kondisi beban berdasarkan Sukirman (1993). Berikut ini merupakan cara untuk menentukan data Load.

Load : 1 (single axle load), menggunakan beban sumbu standar sebesar 18.000 pon (8,16 ton), CR : 11 cm (berdasarkan nilai jarak antar ban), CP : 550 kPa (berdasarkan nilai tekanan ban), YW : 33 cm (jarak antar roda arah Y), XW : 0 cm (jarak antar roda arah X), dan NPT : 5. Nilai NPT adalah 5, hal ini dikarenakan terdapat 5 pengulangan pada beban dengan tinjauan yang berbeda. Tampilan pada menu Load dapat dilihat pada **Gambar 5.8** dan **Gambar 5.9**.

**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	5

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

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

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

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

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

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

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

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

**Gambar 5. 8 Data Input pada Menu Load**

Sumber: Huang, 2004

Unit	cm	cm
Point No.	XPT	YPT
1	0	0
2	0	16.5
3	0	11
4	0	33
5	0	22

(1) This auxiliary form appears automatically when NPT of a given load is typed on the main form. If NPT was specified previously, you can also enter this auxiliary form by double clicking the main form anywhere on the given load group, instead of retyping NPT to enter this auxiliary form.

(2) XPT (x coordinates of points to be analyzed).

(3) YPT (y coordinates of points to be analyzed).

(4) After typing the data in a cell, be sure to press the Enter key to make it effective.

(5) You can delete a line, or one of the points, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>-<Del> keys. The NPT in the main form will be reduced automatically by 1.

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

(7) After completing this form, click OK to return to the

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

**Gambar 5. 9 Data Input pada Menu NPT**

Sumber: Huang, 2004

Simpan informasi setelah memasukkannya, lalu kembali ke menu utama program *KENPAVE*. Selanjutnya, pilih *KENLAYER* dari menu untuk menjalankan data dan mendapatkan angka tegangan dan regangan. Saat perangkat lunak terbuka, pilih menu edit lalu buka nama file untuk melihat hasilnya.

## 7. Output Nilai Tegangan dan Regangan

Hasil analisis perangkat lunak *KENLAYER* dan *KENPAVE*. Tingkat tegangan dan regangan yang diamati pada perkerasan lentur adalah hasil dari penyelidikan *KENLAYER*. **Tabel 5.9** di bawah ini menunjukkan hasil pembebanan berulang untuk setiap ketebalan lapisan coating.

**Tabel 5. 8 Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain*  
Pendekatan Elastis - *Eksisting***

No. Koor	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 9,994 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 45,006 cm	<i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 9,994 cm
1	0,0003187	0,0002556	0,0001638
2	0,0000275	0,0002758	0,0001196
3	0,0001177	0,0002739	0,0001368
4	0,0003187	0,0002556	0,0001638
5	0,0001177	0,0002739	0,0001368
<b>Max</b>	0,0003187	0,0002758	0,0001638

Berdasarkan **Tabel 5.9**, nilai tegangan tarik atau nilai tegangan horizontal di bawah lapisan HMA adalah 0,0003187 untuk menganalisis jenis keruntuhan retak leleh. Dalam hal ini nilai tegangan tekan di atas permukaan atas atau nilai tegangan horizontal atau pada kedalaman 9,994 cm untuk jenis cacat alur adalah 0,0001638 dan nilai tegangan vertikal di bawah permukaan bawah atau pada kedalaman 45,006 cm. untuk kerusakan deformasi adalah 0,0002758.

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, retak leleh, lubang dan kerusakan deformasi permanen dianalisis. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban. Kemudian perhitungan  $N_f$ ,  $N_r$  dan  $N_d$ .

- a. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

$$\begin{aligned}
 N_f &= 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} |E|^{-0,854} \\
 &= 0,0796 (0,0003187)^{-3,921} |1600000|^{-0,854} \\
 &= 1,02E+09 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

b. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *rutting*

$$\begin{aligned} N_d &= 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,47} \\ &= 1,365 \times 10^{-9} (0,0001638)^{-4,47} \\ &= 2,726E+08 \text{ ESAL} \end{aligned}$$

c. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan deformation

$$\begin{aligned} N_d &= 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,47} \\ &= 1,365 \times 10^{-9} (0,0002758)^{-4,47} \\ &= 1,21E+07 \text{ ESAL} \end{aligned}$$

Analisis beban lalu lintas dari kondisi perkerasan ruas Jalan Eksisting Kampar- Bangkinang dengan menggunakan program *KENPAVE* dapat disajikan pada **Tabel 5.10** sebagai berikut.

**Tabel 5. 9 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting-Elastis**

<i>CESA20/LHR</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalu lintas
1.02E+08	Nf	1.02E+09	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	2.72E+08	Nd > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	1.21E+07	Nd < Nr (no)

### 5.2.2 Model Pendekatan Viscoelastis – Eksisting

Berikut ini adalah langkah – langkah evaluasi perkerasan jalan dengan program *KENPAVE* untuk memprediksi nilai tegangan dan nilai regangan pada model pendekatan viscoelastis perkerasan lentur ruas Jalan Eksisting. Langkah – langkah dalam analisis *kenpave* pendekatan elastis dan viscoelastis adalah data input general dan pada pendekatan viscoelastis ditambahkan variabel *time* dan *temperature*.

#### 1. *General*

Pada menu *general* terdapat beberapa nilai yang di input, dapat di lihat pada **Gambar 5.10** berikut.

TITLE	N-EKS-C20-T01	
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)	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

(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. 10 Data Input pada Menu *General*

Sumber: Huang, 2004

## 2. Time

Tampilan pada saat input data di menu general program *KENPAVE* dapat dilihat pada **Gambar 5.11**.

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>-<Del> keys. The NTYME in the Viscoelastic General Information will be reduced automatically by 1.

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

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

Gambar 5. 11 Data Input pada Menu *Time*

Sumber: Huang, 2004



### 3. Temperature

Tampilan pada saat input data di menu general program *KENPAVE* dapat dilihat pada **Gambar 5.12**.

Layer No.	TEMP
1	25
2	25

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

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

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

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

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

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

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

OK

**Gambar 5. 12** Data Input pada Menu Temperature

Sumber: Huang, 2004

### 4. Creep Compliances

Tampilan pada saat input data di menu general program *KENPAVE* dapat dilihat pada **Gambar 5.13**.

TYME	CREEP
0.001	9.162E-07
0.003	9.303E-07
0.01	9.778E-07
0.03	1.098E-06
0.1	1.393E-06
0.3	1.746E-06
1	2.152E-06
3	2.599E-06
10	3.276E-06
30	5.095E-06
100	1.146E-05

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

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

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

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

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

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

**Gambar 5. 13** Data Input pada Menu Creep Compliances

Sumber: Huang, 2004

Hasil analisis Program *KENPAVE* menggunakan *KENLAYER*

Keluaran dari analisis menggunakan *KENLAYER* ditunjukkan pada **Tabel 5.12** di bawah ini sebagai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan jalan saat ini dengan metode viskoelastik.

**Tabel 5. 10 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis – Eksisting**

No. Koor	Vertical Strain pada kedalaman 9,994 cm	Vertical Strain pada kedalaman 45,006 cm	Horizontal Strain pada kedalaman 9,994 cm
1	0,0003737	0,0002615	0,0001688
2	0,0000280	0,0002820	0,0001192
3	0,0001356	0,0002801	0,0001383
4	0,0003737	0,0002615	0,0001688
5	0,0001356	0,0002801	0,0001383
<b>Max</b>	0,0003737	0,0002820	0,0001688

Fatigue cracking, rutting, dan kerusakan deformasi permanen diperiksa ketika nilai tegangan dan regangan ditentukan. Untuk menghitung jumlah pengulangan beban digunakan analisis ini.  $N_f$ ,  $N_r$ , dan  $N_d$  dihitung. Berikut pemaparan studi beban lalu lintas dari hasil *running* program *KENPAVE* untuk menilai kondisi perkerasan viskoelastis ruas Jalan Kampar- Bangkinang saat ini dapat disajikan pada **Tabel 5.13**.

**Tabel 5. 11 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting-Viskoelastis**

<i>CESA20/LHR</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
1.02E+08	$N_f$	5.86E+08	$N_f > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ rutting	2.59E+08	$N_d > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ deformation	1.10E+07	$N_d < N_r$ (no)

Berdasarkan hasil perhitunga analisis kerusakan di atas, maka selanjutnya dapat menghitung umur sisa layan perkerasan jalan menggunakan Persamaan 4.1 dan dapat disajikan pada **Tabel 5.14** sebagai berikut.

**Tabel 5. 12 Umur Sisa Layan Perkerasan Jalan Eksisting (%)**

Tahun ke-	Np (ESAL)	Umur Sisa Layan Perkerasan Eksisting (%)					
		<i>Fatigue Cracking</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		<i>E</i>	<i>V</i>	<i>E</i>	<i>V</i>	<i>E</i>	<i>V</i>
0		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	932.006	99,91	99,84	99,66	99,64	92,32	91,51
2	1.954.515	99,81	99,67	99,28	99,24	83,89	82,20
3	6.843.137	99,33	98,83	97,48	97,35	43,61	37,66
4	9.567.191	99,06	98,37	96,48	96,30	21,16	12,85
5	12.539.636	98,77	97,86	95,38	95,15	<i>fail</i>	<i>fail</i>
6	15.778.171	98,45	97,31	94,19	93,90		
7	19.301.628	98,11	96,71	92,89	92,54		
8	23.130.041	97,73	96,05	91,48	91,06		
9	27.284.716	97,33	95,35	89,95	89,45		
10	31.788.311	96,89	94,58	88,29	87,71		
11	36.664.913	96,41	93,74	86,50	85,82		
12	41.940.129	95,89	92,84	84,56	83,78		
13	47.641.170	95,33	91,87	82,46	81,58		
14	53.796.951	94,73	90,82	80,19	79,20		
15	60.438.190	94,08	89,69	77,74	76,63		
16	67.597.517	93,38	88,47	75,11	73,86		
17	75.309.587	92,62	87,15	72,27	70,88		
18	83.611.196	91,81	85,74	69,21	67,67		
19	92.541.414	90,94	84,21	65,92	64,22		
20	102.141.712	90,00	82,57	62,39	60,51		

### 5.3 Desain Tebal Perkerasan Jalan dengan Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993

#### 5.3.1 Desain Tebal Perkerasan Jalan dengan Bina Marga 2017

1. Kondisi Lalu Lintas
2. Analisis Lalu Lintas
3. Faktor pertumbuhan lalu lintas
4. Pemilihan Struktur Perkerasan

Tipe perkerasan berdasarkan nilai CESA yang didapatkan sebelumnya pada **Tabel 5.5**. Jika nilai CESA4 sebesar 102,141,712 digunakan pada pemilihan jenis perkerasan yang disajikan pada **Tabel 5.15** pada Bagan

Desain-3B desain perkerasan lentur dengan lapis pondasi berbutir. Dengan menggunakan kontraktor utama dan sumber daya yang cukup, maka dapat diketahui bahwa jenis perkerasan yang digunakan adalah AC 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (ESA rank 5). Jika sumber daya untuk pencampuran dan penyimpanan yang sesuai tersedia, direkomendasikan untuk menggunakan aspal modifikasi pada jalur keausan jalan pengulangan lalu lintas dengan umur desain 20 tahun dan lebih dari 30 hingga 200 juta ESA.

**Tabel 5. 13 Pemilihan Jenis Perkerasan yang Digunakan**

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

#### 5. Menentukan Tebal Lapis Perkerasan

Penentuan tebal lapis perkerasan hampir sama seperti penentuan jenis perkerasan namun untuk tebal menggunakan CESA<sub>5</sub>. Berdasarkan Bagan Desain

dan nilai  $CESA_5$  sebesar 102,141,712 maka didapatkan tebal lapis perkerasan disajikan pada **Tabel 5.16** berikut.

**Tabel 5. 14 Desain Tebal Perkerasan Lentur yang Digunakan**

STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih									
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana ( $10^6$ ESA5)	< 2	$\geq 2 - 4$	> 4 - 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	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

Hasil dari **Tabel 5.16** di atas diperoleh tebal lapis perkerasan lentur yang disajikan sebagai berikut.

- AC WC = 4,0 cm
- AC BC = 6,0 cm
- AC Base = 24,5 cm
- LPA Kelas A = 30,0 cm

### 5.3.2 Desain Tebal Perkerasan Jalan dengan AASHTO 1993

#### 1. Menentukan Indeks Penilaian ( $P_o$ dan $P_t$ )

Indeks penilaian ditentukan berdasarkan beberapa parameter fungsi jalan, seperti:

Fungsi jalan = Arteri

Initial serviceability ( $P_o$ ) = 4,2

Terminal serviceability index Jalur utama ( $P_t$ ) = 2,5

Total loss of serviceability ( $\Delta PSI$ ) =  $P_o - P_t = 4,2 - 2,5 = 1,7$

#### 2. Reliabilitas (R)

Tingkat reliabilitas berdasarkan fungsi Jalan Kampar- Bangkinang yaitu arteri daerah Urban, maka nilai reliabilitas (R) diambil sebesar 90%, dan nilai

standar deviasi normal ( $Z_R$ ) sebesar -1,282. *Standard deviation* ( $S_o$ ) untuk *flexible pavement*  $S_o = 0,40 - 0,50$  (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62).

### 3. *Resilient Moudulus* ( $M_R$ )

#### a. *Resilient moudulus* tanah dasar

*Resilient Modulus* Tanah Dasar ( $M_R$ ) :

- $M_R = C_R \times \text{CBR}$  (psi)
- $C_R =$  Nilai dengan range 750 – 3.000
- $M_R = 1.500 \times \text{CBR}$
- $M_R = 1.500 \times 4 = 7.500$  psi

#### b. *Resilient moudulus* agregat base kelas A dan B

- $M_R = A + B \times R$
- $M_R =$  *Resilient modulus* (psi)
- $A = 772 - 1.155$ ;  $B = 369 - 555$ ; dan  $R = R$ -value
- $A = \frac{772+1155}{2} = 964$  ; diambil  $A = 1.000$
- $B = \frac{369+555}{2} = 462$  ; diambil  $B = 450$

Penentuan *resilient modulus* Agregat Base Klas A

- $\text{CBR} = 80$ ;  $R = 85$  (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21)
- $M_R = 1.000 + 450 \times 85 = 39.250$  psi ; ambil = 40.000 psi

Penentuan *resilient modulus* Agregat Base Klas B

- $\text{CBR} = 40$ ;  $R = 70$  (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21)
- $M_R = 1.000 + 450 \times 70 = 32.500$  psi ; ambil = 30.000 psi

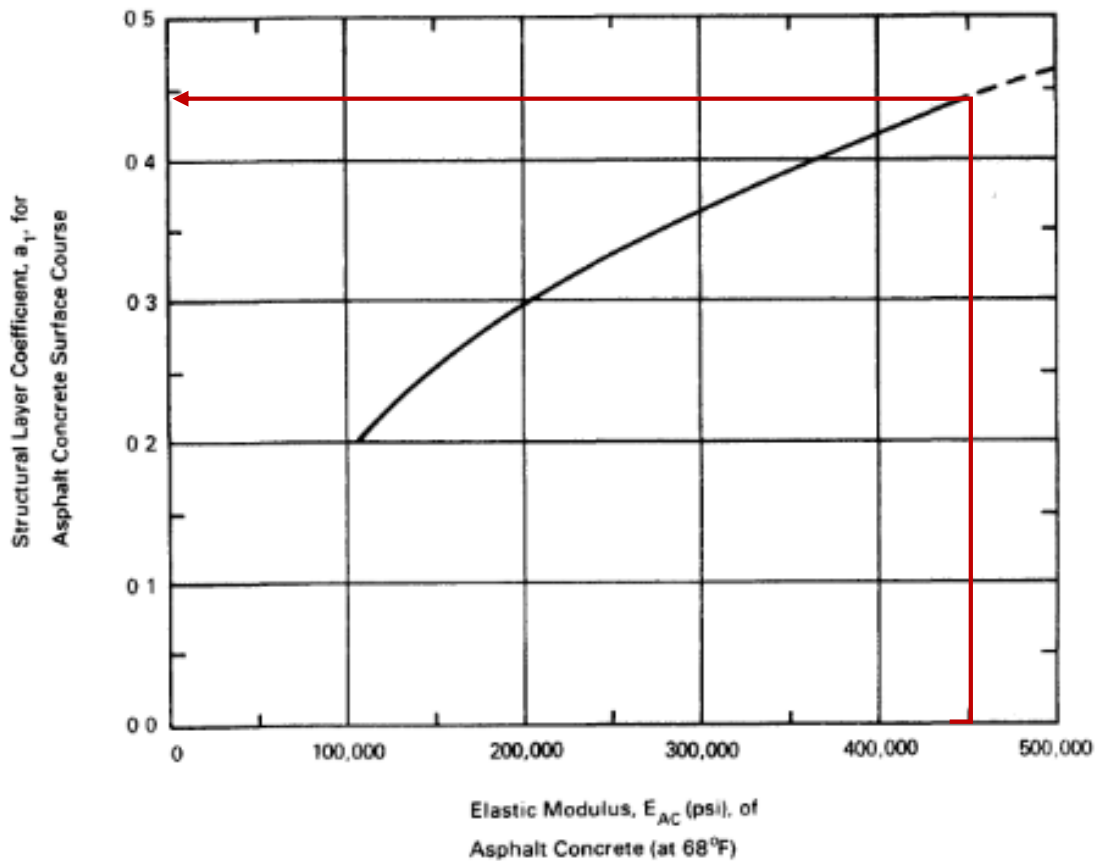
#### c. Koefisien drainase

- Berdasar waktu untuk mematus : 0,2 hari
- Berdasar kualitas drainase : *Good – Excellent*, ambil *Good*
- Kondisi *time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation* dalam setahun :  $< 1$  %. Maka desain *parameter drainage coefficient* diambil :  $m_i = 1,30$

#### d. Koefisien layer

Koefisien layer AC WC dan AC BC

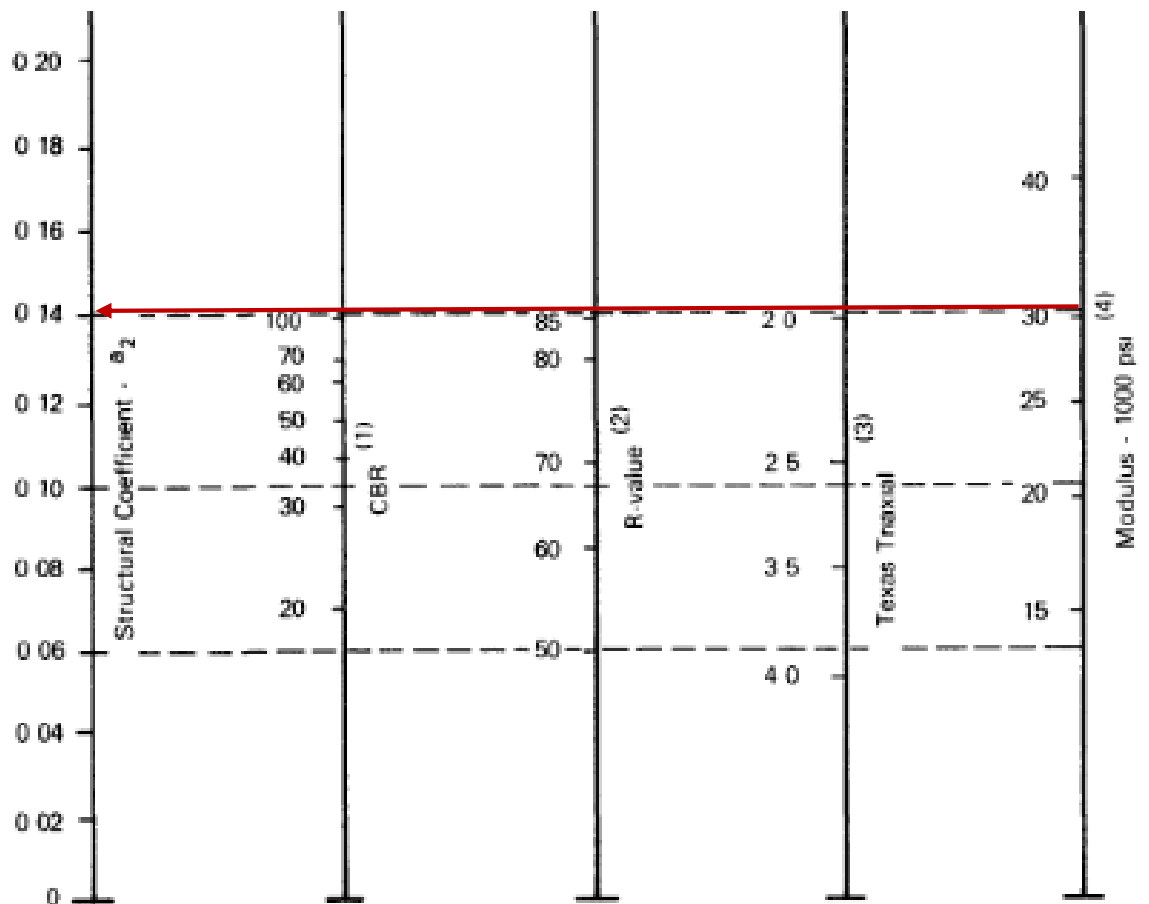
- *Marshall stability* = 1.100 kg = 2.423 lb
- *Elastic / resilient modulus* :  $E_{AC} \geq 450.000$  psi (diambil dari AASHTO 93 hal. II-17)
- *Structural layer coefficient* :  $a_i = 0,45$  (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-18).



**Gambar 5. 14 Nilai *Modulus Resilient* ( $M_R$ )  $E_{AC}$**

Koefisien layer agregat base kelas A

- *R Value* = 85
- *Structural layer coefficient* :  $a_i = 0,14$  (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21).



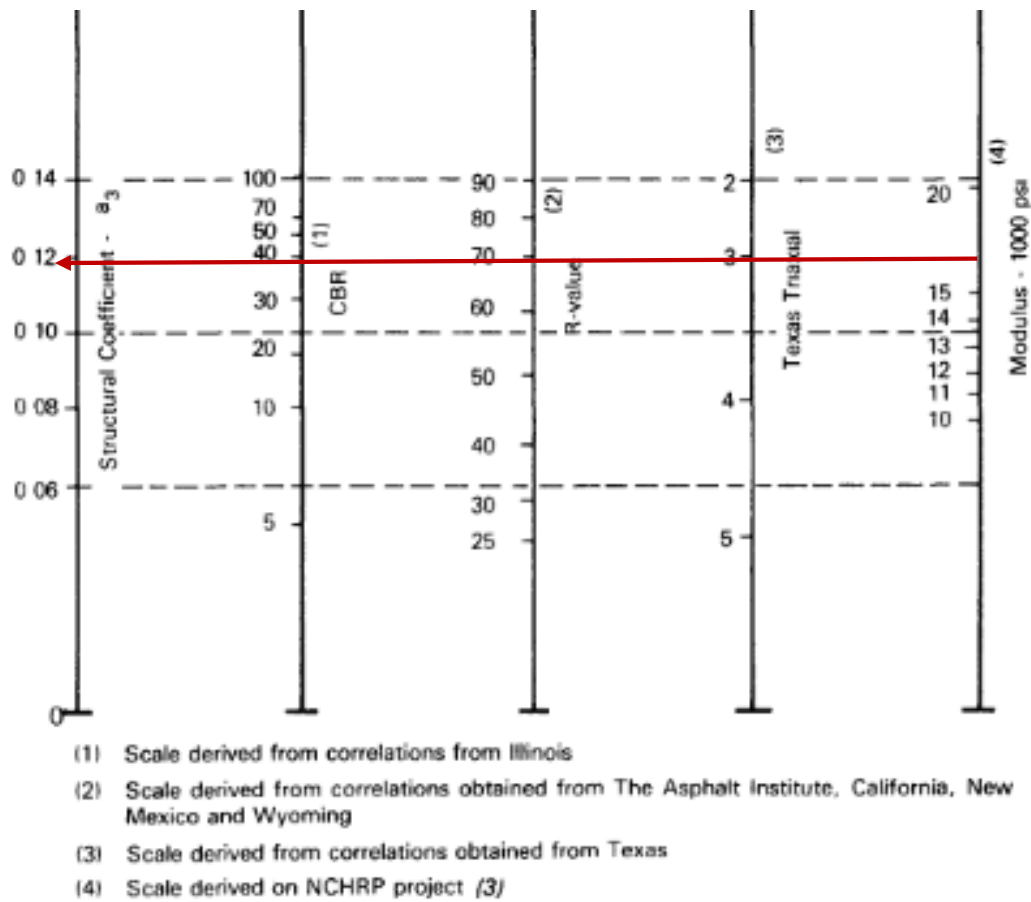
- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3)

**Gambar 5. 15 Nilai Modulus Resilient ( $M_R$ ) LPA**

Koefisien layer agregat base kelas B

- CBR = 40
- *Structural layer coefficient* :  $a_i = 0,12$  (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21).





**Gambar 5. 16 Nilai Modulus Resilient (MR) LPB**

e. Struktur number (SN)

$$SN = a_1 d_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} M_R - 8,07$$

Structure number AC-WC (SN<sub>1</sub>)

ES AL (W18) selama umur rencana	Log10 (W18)	SN1	ZR.So	9,36Lo g10(SN +1)-0,2	Log10 (ΔPS/ 4,2- 1,5)	0,4+109 4/(SN+1) ^5,19	2,32* Log10 MR- 8,07	Control
102141712	8.009	1.523	-0.577	3.56	-0.20	9.38	5.05	8.009

Structure number AC-BC (SN<sub>2</sub>)

ESAL (W18) selama umur rencana	Log10 (W18)	SN2	ZR.So	9,36L og10(SN+1) -0,2	Log10(ΔPS/4, 2-1,5)	0,4+1094/(SN+1)^5,19	2,32*L og10MR-8,07	Control
102141712	8.009	4.346	-0.577	6.61	-0.20	0.58	2.32	8.009

Structure number LPA (SN<sub>3</sub>)

ESAL (W18) selama umur rencana	Log10 (W18)	SN3	ZR.So	9,36L og10(SN+1) -0,2	Log10(ΔPS/4, 2-1,5)	0,4+1094/(SN+1)^5,19	2,32*L og10MR-8,07	Control
102141712	8.009	5.168	-0.577	7.20	-0.20	0.49	1.80	8.008

Structure number LPB (SN<sub>4</sub>)

ESAL (W18) selama umur rencana	Log10 (W18)	SN4	ZR.So	9,36Lo g10(SN+1)-0,2	Log10(ΔPS/4, 2-1,5)	0,4+1094/(SN+1)^5,19	2,32*L og10MR-8,07	Control
102141712	8.009	6.775	-0.577	8.14	-0.20	0.43	0.92	8.009

f. Tebal perkerasan (D<sub>i</sub>)

Berdasarkan nilai *structural number* pada masing-masing lapisan di atas, maka dapat dihitung tebal masing-masing perkerasan sebagai berikut.

Lapis permukaan AC-WC (D<sub>1</sub>)

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$= \frac{1.523}{0.45}$$

$$D_1 = 3,38 \text{ inc} = 8,6 \text{ cm} \approx 9,0 \text{ cm}$$

Lapis permukaan AC-BC (D<sub>2</sub>)

$$\begin{aligned} D_2 &= \frac{SN_2 - a_1 \cdot D_1}{a_2 \cdot m_2} \\ &= \frac{4.346 - 0.45 \times 3.38}{0.45 \times 1.0} \\ &= 6,27 \text{ inc} \quad = 15,93 \text{ cm} \quad \approx 16,0 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lapis permukaan LPA (D<sub>3</sub>)

$$\begin{aligned} D_3 &= \frac{SN_3 - a^1 \cdot D_1 + a^2 \cdot m^2 \cdot D_2}{a^3 \cdot m_3} \\ &= 4,52 \text{ inc} \quad = 11,47 \text{ cm} \quad \approx 11,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lapis permukaan LPB (D<sub>4</sub>)

$$\begin{aligned} D_4 &= \frac{SN_3 - a^1 \cdot D_1 + a^2 \cdot m^2 \cdot D_2}{a^3 \cdot m_3} \\ &= 10,30 \text{ inc} \quad = 26,17 \text{ cm} \quad \approx 26,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis di atas, maka tebal lapis perkerasan desain AASHTO 1993 dapat di sajikan pada **Gambar 5.17** berikut.

AC-WC	D <sub>1</sub>	9,0 cm
AC-BC	D <sub>2</sub>	16,0 cm
Base (LPA)	D <sub>3</sub>	11,5 cm
Subbase (LPB)	D <sub>4</sub>	26,5 cm
Subgrade		

**Gambar 5. 17** Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993

#### **5.4 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 dengan KENPAVE**

##### **5.4.1 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017**

Berdasarkan hasil nilai tebal perkerasan metode Bina Marga 2017, tebal desain perkerasan dianalisis menggunakan program KENPAVE dengan pendekatan elastis maupun viscoelastis, maka didapat nilai tegangan dan regangan masing-masing pendekatan disajikan pada **Tabel 5.17** dan **Tabel 5.18** berikut.

**Tabel 5. 15 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain  
Pendekatan Elastis - Bina Marga 2017**

No. Koor	Vertical Strain pada kedalaman 34,446 cm	Vertical Strain pada kedalaman 64,504 cm	Tangential Strain pada kedalaman 34,446 cm
1	0,0001037	0,0001835	0,0000808
2	0,0001080	0,0001953	0,0000865
3	0,0001083	0,0001942	0,0000860
4	0,0001037	0,0001835	0,0000808
5	0,0001083	0,0001942	0,0000860
<b>Max</b>	0,0001083	0,0001953	0,0000865

**Tabel 5. 16 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain  
Pendekatan Viscoelastis - Bina Marga 2017**

No. Koor	Vertical Strain pada kedalaman 34,446 cm	Vertical Strain pada kedalaman 64,504 cm	Tangential Strain pada kedalaman 34,446 cm
1	0,0001344	0,0002104	0,0000959
2	0,0001398	0,0002256	0,0001032
3	0,0001403	0,0002240	0,0001026
4	0,0001344	0,0002104	0,0000959
5	0,0001403	0,0002240	0,0001026
<b>Max</b>	0,0001403	0,0002256	0,0001032

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, retak lelah, *rutting* dan kerusakan deformasi permanen dianalisis. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban. **Tabel 5.19** dan **Tabel 5.20** merupakan perhitungan untuk nilai  $N_f$ ,  $N_r$  dan  $N_d$  masing-masing pendekatan.

**Tabel 5. 17 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Bina Marga 2017- Elastis**

<i>CESA20/LHR</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
1.02E+08	$N_f$	1.42E+09	$N_f > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ <i>rutting</i>	2.11E+09	$N_d > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ <i>deformation</i>	5.52E+07	$N_d < N_r$ (no)

**Tabel 5. 18 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan BM 2017- Viscoelastis**

<i>CESA20/LHR</i> (Nr)	<b>Repetisi Beban (<i>ESAL</i>)</b>		<b>Analisis Beban Lalulintas</b>
1.02E+08	Nf	5.13E+08	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	9.59E+08	Nd > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	2.89E+07	Nd < Nr (no)

Berdasarkan hasil perhitunga analisis kerusakan di atas, maka selanjutnya dapat menghitung umur sisa layan perkerasan jalan menggunakan Persamaan 4.1 dan dapat disajikan pada **Tabel 5.21** sebagai berikut.

**Tabel 5. 19 Umur Sisa Layan Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 (%)**

<b>Tahun ke-</b>	<b>Np (<i>ESAL</i>)</b>	<b>Umur Sisa Layan Perkerasan BM 17' (%)</b>					
		<i>Fatigue Cracking</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		<i>E</i>	<i>V</i>	<i>E</i>	<i>V</i>	<i>E</i>	<i>V</i>
0		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	932.006	99,93	99,82	99,96	99,90	98,31	96,78
2	1.954.515	99,86	99,62	99,91	99,80	96,46	93,24
3	6.843.137	99,52	98,67	99,68	99,29	87,60	76,34
4	9.567.191	99,32	98,13	99,55	99,00	82,66	66,92
5	12.539.636	99,11	97,55	99,41	98,69	77,27	56,64
6	15.778.171	98,89	96,92	99,25	98,35	71,40	45,45
7	19.301.628	98,64	96,24	99,09	97,99	65,01	33,26
8	23.130.041	98,37	95,49	98,91	97,59	58,07	20,03
9	27.284.716	98,07	94,68	98,71	97,16	50,54	5,66
10	31.788.311	97,75	93,80	98,50	96,69	42,38	<i>fail</i>
11	36.664.913	97,41	92,85	98,26	96,18	33,54	
12	41.940.129	97,04	91,82	98,02	95,63	23,97	
13	47.641.170	96,63	90,71	97,75	95,03	13,64	
14	53.796.951	96,20	89,51	97,45	94,39	2,48	
15	60.438.190	95,73	88,21	97,14	93,70	<i>fail</i>	
16	67.597.517	95,22	86,82	96,80	92,95		
17	75.309.587	94,68	85,32	96,44	92,15		
18	83.611.196	94,09	83,70	96,04	91,28		
19	92.541.414	93,46	81,96	95,62	90,35		
20	102.141.712	92,78	80,08	95,17	89,35		

### 5.4.2 Evaluasi Desain Perkerasan Jalan AASHTO 1993

Berdasarkan hasil nilai tebal perkerasan metode AASHTO 1993, tebal desain perkerasan tersebut dianalisis menggunakan program KENPAVE dengan pendekatan elastis maupun viscoelastis, maka didapat nilai tegangan dan regangan masing-masing pendekatan disajikan pada **Tabel 5.22** dan **Tabel 5.23** berikut.

**Tabel 5. 20 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Elastis - AASHTO 1993**

No. Koor	Vertical Strain pada kedalaman 24,996 cm	Vertical Strain pada kedalaman 63,004 cm	Tangential Strain pada kedalaman 24,996 cm
1	0,0001786	0,0002418	0,0001334
2	0,0001606	0,0002594	0,0001398
3	0,0001670	0,0002575	0,0001399
4	0,0001786	0,0002418	0,0001334
5	0,0001670	0,0002575	0,0001399
<b>Max</b>	0,0001786	0,0002594	0,0001399

**Tabel 5. 21 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis - AASHTO 1993**

No. Koor	Vertical Strain pada kedalaman 24,996 cm	Vertical Strain pada kedalaman 63,004 cm	Tangential Strain pada kedalaman 24,996 cm
1	0,0002028	0,0002538	0,0001429
2	0,0001798	0,0002731	0,0001497
3	0,0001877	0,0002710	0,0001499
4	0,0002028	0,0002538	0,0001429
5	0,0001877	0,0002710	0,0001499
<b>Max</b>	0,0002028	0,0002731	0,0001499

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, retak lelah, *rutting* dan kerusakan deformasi permanen dianalisis. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban. **Tabel 5.24** dan **Tabel 5.25** merupakan perhitungan untuk nilai Nf, Nr dan Nd masing-masing pendekatan.

**Tabel 5. 22 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan AASHTO 1993 - Elastis**

CESA20/LHR (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalulintas
1.02E+08	Nf	2.59E+08	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	2.46E+08	Nd > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	1.60E+07	Nd < Nr (no)

**Tabel 5. 23 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan AASHTO 1993 - Viscoelastis**

CESA20/LHR (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalulintas
1.02E+08	Nf	1.64E+08	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	1.80E+08	Nd > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	1.27E+07	Nd < Nr (no)

Berdasarkan hasil perhitunga analisis kerusakan di atas, maka selanjutnya dapat menghitung umur sisa layan perkerasan jalan menggunakan Persamaan 4.1 dan dapat disajikan pada **Tabel 5.26** sebagai berikut.

**Tabel 5. 24 Umur Sisa Layan Perkerasan Jalan AASHTO 1993 (%)**

Tahun ke-	Np (ESAL)	Umur Sisa Layan Perkerasan AASHTO 93' (%)					
		<i>Fatigue Cracking</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
		<i>E</i>	<i>V</i>	<i>E</i>	<i>V</i>	<i>E</i>	<i>V</i>
0		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	932.006	99,64	99,43	99,62	99,48	94,17	92,68
2	1.954.515	99,25	98,81	99,20	98,92	87,78	84,64
3	6.843.137	97,36	95,82	97,21	96,21	57,23	46,23
4	9.567.191	96,31	94,16	96,11	94,69	40,20	24,83
5	12.539.636	95,16	92,35	94,90	93,05	21,62	1,47
6	15.778.171	93,91	90,37	93,58	91,25	1,38	<i>fail</i>
7	19.301.628	92,55	88,22	92,14	89,30	<i>fail</i>	
8	23.130.041	91,07	85,88	90,58	87,17		
9	27.284.716	89,47	83,34	88,89	84,87		
10	31.788.311	87,73	80,59	87,06	82,37		
11	36.664.913	85,84	77,62	85,07	79,67		
12	41.940.129	83,81	74,40	82,93	76,74		
13	47.641.170	81,61	70,92	80,61	73,58		
14	53.796.951	79,23	67,16	78,10	70,17		

Tahun ke-	Np (ESAL)	Umur Sisa Layan Perkerasan AASHTO 93' (%)					
		Fatigue Cracking		Rutting		Permanent Deformation	
		E	V	E	V	E	V
15	60.438.190	76,67	63,10	75,40	66,48		
16	67.597.517	73,90	58,73	72,48	62,51		
17	75.309.587	70,92	54,03	69,34	58,24		
18	83.611.196	67,72	48,96	65,96	53,63		
19	92.541.414	64,27	43,51	62,33	48,68		
20	102.141.712	60,57	37,65	58,42	43,36		

### 5.5 Tebal Perkerasan Alternatif

Berdasarkan hasil analisis desain tebal perkerasan di atas, maka dibuat tebal perkerasan alternatif untuk mencari tebal perkerasan yang paling optimum dan efektif. Usulan dan analisis tebal perkerasan disajikan pada **Tabel 5.27** berikut.

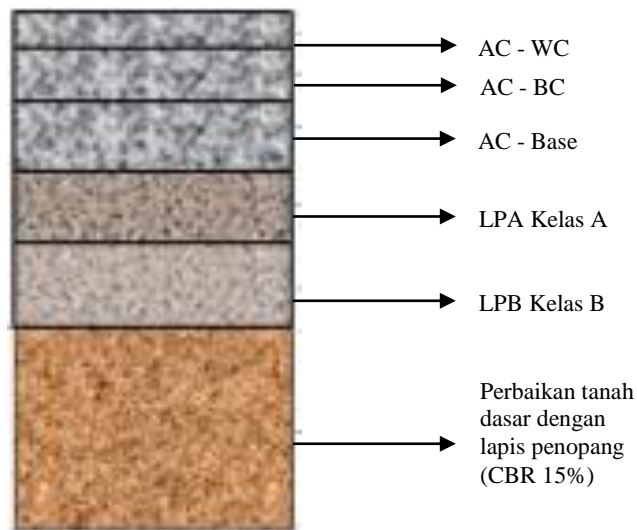
**Tabel 5. 25 Tebal Perkerasan Alternatif**

Jenis Perkerasan	Modulus Elastis, E (kPa)	Poisson's Ratio	Tebal Perkerasan (cm)		
			Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
AC-WC	1.100.000	0,40	4	4	4
AC-BC	1.200.000	0,40	6	6	6
AC Base	1.600.000	0,40	20	16	16
LPA Kelas A	350.000	0,35	30	30	20
LPB Kelas B	250.000	0,35	20	-	20
Subgrade	150.000	0,45	-	-	-

#### 5.6.1 Evaluasi Perkerasan Alternatif 1

Berdasarkan data input yang diusulkan, hasil evaluasi perkerasan alternatif 1 dengan detail **Gambar 5.18**.





**Gambar 5. 18 Detail Tebal Perkerasan Alternatif 1**

Tebal perkerasan tersebut dianalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastis maupun viscoelastis, maka didapat nilai tegangan dan regangan masing-masing pendekatan disajikan pada **Tabel 5.28** dan **Tabel 5.29** berikut.

**Tabel 5. 26 Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Elastis – Alternatif 1**

<b>No. Koor</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 29,996 cm</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 80,004 cm</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 29,996 cm</b>
1	0,0001141	0,0000945	0,0000873
2	0,0001131	0,0001003	0,0000935
3	0,0001149	0,0000997	0,0000931
4	0,0001141	0,0000945	0,0000873
5	0,0001149	0,0000997	0,0000931
<b>Max</b>	0,0001149	0,0001003	0,0000935

**Tabel 5. 27 Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Viscoelastis - Alternatif 1**

<b>No. Koor</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 29,996 cm</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 80,004 cm</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 29,996 cm</b>
1	0,0001532	0,0001031	0,0001053
2	0,0001509	0,0001101	0,0001130
3	0,0001535	0,0001093	0,0001125
4	0,0001532	0,0001031	0,0001053
5	0,0001535	0,0001093	0,0001125
<b>Max</b>	0,0001535	0,0001101	0,0001130

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, retak lelah, *rutting* dan kerusakan deformasi permanen dianalisis. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban. **Tabel 5.30** dan **Tabel 5.31** merupakan perhitungan untuk nilai  $N_f$ ,  $N_r$  dan  $N_d$  masing-masing pendekatan.

**Tabel 5. 28 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 1- Elastis**

<b>CESA20/LHR (Nr)</b>	<b>Repetisi Beban (ESAL)</b>		<b>Analisis Beban Lalulintas</b>
1.02E+08	$N_f$	2.52E+09	$N_f > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ <i>rutting</i>	5.93E+08	$N_d > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ <i>deformation</i>	1.09E+09	$N_d > N_r$ (yes)

**Tabel 5. 29 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 1- Viscoelastis**

<b>CESA20/LHR (Nr)</b>	<b>Repetisi Beban (ESAL)</b>		<b>Analisis Beban Lalulintas</b>
1.02E+08	$N_f$	1.20E+09	$N_f > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ <i>rutting</i>	1.62E+08	$N_d > N_r$ (yes)
1.02E+08	$N_d$ <i>deformation</i>	7.18E+08	$N_d > N_r$ (yes)

### 5.6.2 Evaluasi Perkerasan Alternatif 2

Berdasarkan data input yang diusulkan, hasil evaluasi perkerasan alternatif 2 dengan detail **Gambar 5.19**.

AC-WC	4 cm
AC-BC	6 cm
AC Base	16 cm
LPA Kelas A	30 cm
Perbaiki tanah dasar dengan lapis penopang (CBR15%)	

**Gambar 5. 19 Detail Tebal Perkerasan Alternatif 2**

Tebal perkerasan tersebut dianalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastis maupun viscoelastis, maka didapat nilai tegangan dan regangan masing-masing pendekatan disajikan pada **Tabel 5.32** dan **Tabel 5.33** berikut.

**Tabel 5. 30 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Elastis – Alternatif 2**

No. Koor	Vertical Strain pada kedalaman 25,996 cm	Vertical Strain pada kedalaman 56,004 cm	Horizontal Strain pada kedalaman 25,996 cm
1	0,0001408	0,0001559	0,0001080
2	0,0001295	0,0001700	0,0001139
3	0,0001339	0,0001684	0,0001138
4	0,0001408	0,0001559	0,0001080
5	0,0001339	0,0001684	0,0001138
<b>Max</b>	0,0001408	0,0001700	0,0001139

**Tabel 5. 31 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis - Alternatif 2**

No. Koor	Vertical Strain pada kedalaman 25,996 cm	Vertical Strain pada kedalaman 56,004 cm	Horizontal Strain pada kedalaman 25,996 cm
1	0,0001853	0,0001910	0,0001272
2	0,0001674	0,0002084	0,0001342
3	0,0001739	0,0002064	0,0001341
4	0,0001853	0,0001910	0,0001272
5	0,0001739	0,0002064	0,0001341
<b>Max</b>	0,0001853	0,0002084	0,0001342

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, retak lelah, *rutting* dan kerusakan deformasi permanen dianalisis. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban. **Tabel 5.34** dan **Tabel 5.35** merupakan perhitungan untuk nilai Nf, Nr dan Nd masing-masing pendekatan.

**Tabel 5. 32 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 2- Elastis**

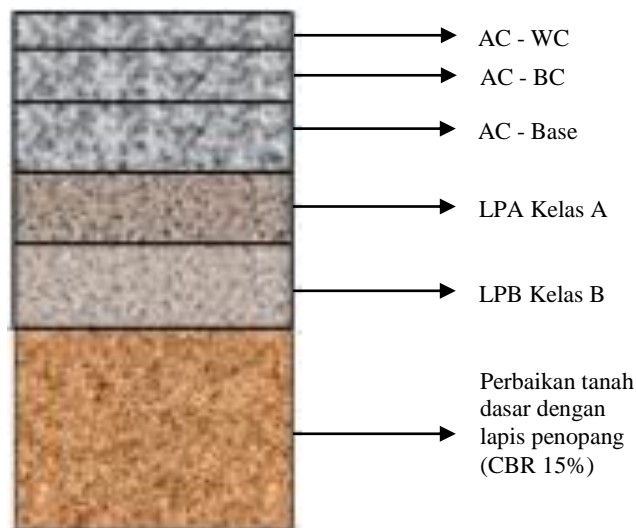
<i>CESA20/LHR</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
1.02E+08	Nf	1.16E+09	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	2.39E+08	Nd > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	1.03E+08	Nd > Nr (yes)

**Tabel 5. 33 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 2- Viscoelastis**

<i>CESA20/LHR</i> (Nr)	Repetisi Beban ( <i>ESAL</i> )		Analisis Beban Lalulintas
1.02E+08	Nf	6.10E+08	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	6.98E+07	Nd < Nr (no)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	4.13E+07	Nd < Nr (no)

### 5.6.3 Evaluasi Perkerasan Alternatif 3

Berdasarkan data input yang diusulkan, hasil evaluasi perkerasan alternatif 3 dengan detail **Gambar 5.20**.



**Gambar 5. 20 Detail Tebal Perkerasan Alternatif 3**

Tebal perkerasan tersebut dianalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastis maupun viscoelastis, maka didapat nilai tegangan dan regangan masing-masing pendekatan disajikan pada **Tabel 5.36** dan **Tabel 5.37** berikut.

**Tabel 5. 34 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Elastis – Alternatif 3**

No. Koor	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 25,996 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 66,004 cm	<i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 25,996 cm
1	0,0001407	0,0001294	0,0001081
2	0,0001295	0,0001395	0,0001139
3	0,0001339	0,0001384	0,0001139
4	0,0001407	0,0001294	0,0001081
5	0,0001339	0,0001384	0,0001139
<b>Max</b>	0,0001407	0,0001395	0,0001139

**Tabel 5. 35 Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastis - Alternatif 3**

No. Koor	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 25,996 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 66,004 cm	<i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 25,996 cm
1	0,0001870	0,0001410	0,0001287
2	0,0001693	0,0001530	0,0001357
3	0,0001758	0,0001516	0,0001357
4	0,0001870	0,0001410	0,0001287
5	0,0001758	0,0001516	0,0001357
<b>Max</b>	0,0001870	0,0001530	0,0001357

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, retak lelah, *rutting* dan kerusakan deformasi permanen dianalisis. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban. **Tabel 5.38** dan **Tabel 5.39** merupakan perhitungan untuk nilai  $N_f$ ,  $N_r$  dan  $N_d$  masing-masing pendekat.

**Tabel 5. 36 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 3- Elastis**

<b><i>CESA20/LHR</i></b> <b>(Nr)</b>	<b>Repetisi Beban (<i>ESAL</i>)</b>		<b>Analisis Beban</b> <b>Lalulintas</b>
1.02E+08	Nf	2.52E+09	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	5.93E+08	Nd > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	1.09E+09	Nd > Nr (yes)

**Tabel 5. 37 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif 3- Viscoelastis**

<b><i>CESA20/LHR</i></b> <b>(Nr)</b>	<b>Repetisi Beban (<i>ESAL</i>)</b>		<b>Analisis Beban</b> <b>Lalulintas</b>
1.02E+08	Nf	1.20E+09	Nf > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>rutting</i>	1.62E+08	Nd > Nr (yes)
1.02E+08	Nd <i>deformation</i>	7.18E+08	Nd > Nr (yes)

Selanjutnya rekapitulasi nilai tegangan dan regangan maupun nilai umur sisa layan pada setiap tipe perkerasan dapat disajikan pada **Tabel 5.40** dan **Tabel 5.41** berikut.

**Tabel 5. 38 Rekapitulasi Nilai Regangan dan Tegangan pada setiap Tipe Perkerasan**

Tahun ke-	Np (ESAL)	Eksisting				BM 2017				AASHTO 1993			
		Viscoelastis		Elastis		Viscoelastis		Elastis		Viscoelastis		Elastis	
1	9.3E+05	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd > Nr	1.2E+07	Nd > Nr	2.9E+07	Nd > Nr	5.5E+07	Nd > Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
2	2.0E+06	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd > Nr	1.2E+07	Nd > Nr	2.9E+07	Nd > Nr	5.5E+07	Nd > Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
3	6.8E+06	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd > Nr	1.2E+07	Nd > Nr	2.9E+07	Nd > Nr	5.5E+07	Nd > Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
4	9.6E+06	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd > Nr	1.2E+07	Nd > Nr	2.9E+07	Nd > Nr	5.5E+07	Nd > Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
5	1.3E+07	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd > Nr	5.5E+07	Nd > Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
6	1.6E+07	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd > Nr	5.5E+07	Nd > Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
7	1.9E+07	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd > Nr	5.5E+07	Nd > Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr





Lanjutan Tabel 5.40 Rekapitulasi Nilai Regangan dan Tegangan pada setiap Tipe Perkerasan

16	6.8E+07	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd < Nr	5.5E+07	Nd < Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
17	7.5E+07	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd < Nr	5.5E+07	Nd < Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
18	8.4E+07	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd < Nr	5.5E+07	Nd < Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
19	9.3E+07	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd < Nr	5.5E+07	Nd < Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr
20	1.0E+08	5.9E+08	Nf > Nr	1.0E+09	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.4E+09	Nf > Nr	1.6E+08	Nf > Nr	2.6E+08	Nf > Nr
		2.6E+08	Nd > Nr	2.7E+08	Nd > Nr	9.6E+08	Nd > Nr	2.1E+09	Nd > Nr	1.8E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
		1.1E+07	Nd < Nr	1.2E+07	Nd < Nr	2.9E+07	Nd < Nr	5.5E+07	Nd < Nr	1.3E+07	Nd > Nr	1.6E+07	Nd > Nr

Lanjutan Tabel 5.40 Rekapitulasi Nilai Regangan dan Tegangan pada setiap Tipe Perkerasan

Tahun ke-	Np (ESAL)	Alternatif 1				Alternatif 2				Alternatif 3			
		Viscoelastis		Elastis		Viscoelastis		Elastis		Viscoelastis		Elastis	
1	9.3E+05	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd > Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
2	2.0E+06	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd > Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
3	6.8E+06	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd > Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
4	9.6E+06	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd > Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
5	1.3E+07	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd > Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
6	1.6E+07	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd > Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
7	1.9E+07	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd > Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr



Lanjutan Tabel 5.40 Rekapitulasi Nilai Regangan dan Tegangan pada setiap Tipe Perkerasan

16	6.8E+07	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd < Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
17	7.5E+07	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd < Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
18	8.4E+07	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd < Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
19	9.3E+07	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd < Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr
20	1.0E+08	3.6E+08	Nf > Nr	1.1E+09	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr	1.7E+08	Nf > Nr	5.1E+08	Nf > Nr
		6.4E+08	Nd > Nr	1.5E+09	Nd > Nr	3.0E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr	2.8E+08	Nd > Nr	6.2E+08	Nd > Nr
		7.2E+08	Nd > Nr	1.1E+09	Nd > Nr	4.1E+07	Nd < Nr	1.0E+08	Nd > Nr	1.6E+08	Nd > Nr	2.5E+08	Nd > Nr

**Tabel 5. 39 Rekapitulasi Nilai Umur Sisa Layan (Tahun)**

Tipe Tebal Perkerasan	Lama Repetisi Pembebanan (tahun)					
	<i>Fatigue Cracking</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
	<i>Vicoelastis</i>	<i>Elastis</i>	<i>Vicoelastis</i>	<i>Elastis</i>	<i>Vicoelastis</i>	<i>Elastis</i>
<b>Eksisting</b>	41	49	30	31	4	4
<b>Bina Marga 2017</b>	39	54	48	45	9	14
<b>AASHTO 1993</b>	25	30	26	29	5	6
<b>Alternatif 1</b>	34	50	42	55	44	50
<b>Alternatif 2</b>	25	39	32	42	11	20
<b>Alternatif 3</b>	25	39	31	42	25	30

**BAB VI**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

**6.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis perkerasan eksisting serta desain tebal dengan metode Bina Marga 2017 dan AASTHO 1993 serta beberapa alternatif desain pada ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dapat dirangkum pada **Tabel 6.1** berikut.

**Tabel 6. 1 Rangkuman/Kesimpulan Hasil Penelitian**

Tipe Tebal Perkerasan	Jenis Perkerasan					Lama Repetisi Pembebanan (tahun)						
	AC-WC	AC-BC	AC-Base	LPA	LPB	CESA20/LHR (Nr)	Fatigue Cracking		Rutting		Permanent Deformation	
							Vicoelastis	Elastis	Vicoelastis	Elastis	Vicoelastis	Elastis
<b>Eksisting</b>	4	6		15	20	1.02E+08	41	49	30	31	4	4
<b>Nf/Nd/Nd</b>							5.9E+08	1.0E+09	2.6E+08	2.7E+08	1.1E+07	1.2E+07
<b>Bina Marga 2017</b>	4	6	24,5	30		1.02E+08	39	54	48	45	9	14
<b>Nf/Nd/Nd</b>							5.1E+08	1.4E+09	9.6E+08	2.1E+09	2.9E+07	5.5E+07
<b>AASHTO 1993</b>	9	16	11,5		26,5	1.02E+08	25	30	26	29	5	6
<b>Nf/Nd/Nd</b>							1.6E+08	2.6E+08	1.8E+08	2.5E+08	1.3E+07	1.6E+07
<b>Alternatif 1</b>	4	6	20	30	20	1.02E+08	34	50	42	55	44	50
<b>Nf/Nd/Nd</b>							1.6E+08	2.5E+09	1.8E+08	5.9E+08	7.2E+08	1.1E+09
<b>Alternatif 2</b>	4	6	16	30		1.02E+08	25	39	32	42	11	20
<b>Nf/Nd/Nd</b>							6.1E+08	1.2E+09	7.0E+07	2.4E+08	4.1E+07	1.0E+08
<b>Alternatif 3</b>	4	6	16	20	20	1.02E+08	25	39	31	42	25	30
<b>Nf/Nd/Nd</b>							1.2E+09	2.5E+09	1.6E+08	5.9E+08	7.2E+08	1.1E+09

Dari tabel di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi perkerasan eksisting didapatkan CESA20 (Nr) selama umur rencana 20 tahun adalah  $1.02E+08$  ESAL. Evaluasi tegangan regangan yang terjadi dengan pemodelan Elastis untuk penyebab kerusakan berupa *Fatigue Cracking* dengan nilai repitisi beban sebesar  $1.0E+09$ , *Rutting* dengan nilai repitisi beban sebesar  $2.7E+08$  dan *Permanent Deformation* dengan nilai repitisi beban sebesar  $1.2E+07$ . Sedangkan dengan pemodelan Viskoelastic untuk penyebab kerusakan berupa *Fatigue Cracking* dengan nilai repitisi beban sebesar  $5.9E+08$ , *Rutting* dengan nilai repitisi beban sebesar  $2.6E+08$  dan *Permanent Deformation* dengan nilai repitisi beban sebesar  $1.1E+07$ .
2. Desain sruktur perkerasan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dengan metode AASTO 1993 didapatkan ketebalan untuk AC-WC 9cm, AC-BC 16,5 cm, AC-Base 11.5 cm dan LPB 26,5 cm. Sedangkan dengan metode Bina Marga 2017 didapatkan ketebalan untuk AC-WC 4cm, AC-BC 6cm, AC-Base 24,5 dan LPA 30cm.
3. Perbandingan nilai tegangan regangan kondisi eksisting dengan desain metode AASTHO 1993 dan Bina Marga 2017 adalah seperti pada Tabel 6.2. untuk pendekatan Elastis dan Tabel 6.3. untuk pendekatan Viskoelastik.

**Tabel 6. 2 Nilai Tegangan Regangan Pendekatan Elastis**

<b>No. Koor</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 1 (<i>fatigue</i>)</b>	<b><i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 2 (<i>permanent deformation</i>)</b>	<b><i>Horizontal Strain</i> pada titik tinjau 1 (<i>rutting</i>)</b>
<b>Eksisting</b>	0,0003187	0,0002758	0,0001638
<b>AASTHO 1993</b>	0,0001786	0,0002594	0,0001399
<b>Bina Marga 2017</b>	0,0001083	0,0001953	0,0000865

**Tabel 6. 3 Nilai Tegangan Regangan Pendekatan Viscoelastis**

No. Koor	<i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 1 ( <i>fatigue</i> )	<i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 2 ( <i>permanent deformation</i> )	<i>Horizontal Strain</i> pada titik tinjau 1 ( <i>rutting</i> )
<b>Eksisting</b>	0,0003737	0,0002820	0,0001688
<b>AASTHO 1993</b>	0,0002028	0,0002731	0,0001499
<b>Bina Marga 2017</b>	0,0001403	0,0002256	0,0001032

4. **Alternatif desain tebal lapis perkerasan Ruas Jln Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang, Alternatif 1** ketebalan untuk AC-WC 4cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 20 cm, LPA 30cm dan LPB 20 cm serta untuk **Alternatif 2** ketebalan untuk AC-WC 4cm, AC-BC 6cm, AC-Base 16 dan LPA 30cm serta **Alternatif 3** ketebalan untuk AC-WC 4cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 16 cm, LPA 20 cm dan LPB 20. Hasil tegangan regangannya seperti pada Tabel 6.4

**Tabel 6. 4 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif**

Pendekatan	<i>Alternatif 1</i>	<i>Alternatif 2</i>	<i>Alternatif 3</i>
<b>Elastis</b>			
<i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 1 ( <i>fatigue</i> )	0,0001149	0,0001408	0,0001407
<i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 2 ( <i>permanent deformation</i> )	0,0001003	0,0001700	0,0001395
<i>Horizontal Strain</i> pada titik tinjau 1 ( <i>rutting</i> )	0,0000935	0,0001139	0,0001139
<b>Viskoelastik</b>			
<i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 1 ( <i>fatigue</i> )	0,0001535	0,0001853	0,0001870
<i>Vertical Strain</i> pada titik tinjau 2 ( <i>permanent deformation</i> )	0,0001101	0,0002084	0,0001530
<i>Horizontal Strain</i> pada titik tinjau 1 ( <i>rutting</i> )	0,000113	0,0001342	0,0001357



5. Nilai umur sisa layan perkerasan Ruas Jln Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang seperti pada **Tabel 6.5**.

**Tabel 6. 5 Nilai Umur Sisa Layan**

Tipe Tebal Perkerasan	Lama Repetisi Pembebanan (tahun)					
	<i>Fatigue Cracking</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
	<i>Vicoelastis</i>	<i>Elastis</i>	<i>Vicoelastis</i>	<i>Elastis</i>	<i>Vicoelastis</i>	<i>Elastis</i>
<b>Eksisting</b>	41	49	30	31	4	4
<b>Bina Marga 2017</b>	39	54	48	45	9	14
<b>AASHTO 1993</b>	25	30	26	29	5	6
<b>Alternatif 1</b>	34	50	42	55	44	50
<b>Alternatif 2</b>	25	39	32	42	11	20
<b>Alternatif 3</b>	25	39	31	42	25	30

Dari hasil di atas dapat disimpulkan desain tebal optimum yang mampu menahan beban selama umur rencana 20 tahun adalah dengan tebal desain alternatif 3 yaitu AC WC 4cm, AC BC 6 cm, AC Base 16cm, LPA 20 cm dan LPB 20 cm.

## 6.2 Saran

1. Perlu dilakukan perhitungan dengan tebal dan jenis material lain yang mungkin dapat digunakan.
2. Perlu adanya perhitungan perbandingan biaya dari hasil tebal perkerasan yang direncanakan dan metode yang lebih efisien dan efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structure. In *Washington, D.C.* American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aji, A. H. F., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2015). Evaluasi Struktural Perkerasan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Metode Bina Marga 2013 Studi Kasus Jalan Nasional Losari-Cirebon. *Jurnal Teoretis Dan Terapan. Vol.22 No.2:147-164. Bandung.*
- Dinata, D. I., Rahmawati, A., & Setiawan, D. (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 Semesta Teknik. Vol.20 No.1:8-19. Yogyakarta.*
- Direktur Jendral Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan.* No. 04/SE/Db/2017.
- Huang, Y. H. (2004). Pavement Analysis and Design. *Pearson Education, 2nd Editio.*
- Karnurin, F. (2020). Perbandingan Desain Perkerasan Lentur Metode Empirik dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave pada Ruas Jalan Milir-Sentolo. *Skripsi Mahasiswa Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.*
- Marita, A., & Fauziah, M. (2018). Perbandingan Perancangan Struktur Perkerasan Lentur Jalan dengan Metode Mekanistik Empirik dan Metode Bina Marga 2013. *Prosiding Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi. Yogyakarta. 11-13 Oktober:1065-1074.*
- Nathasya, P. (2012). Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Program KENPAVE dan Studi Parameter Pengaruh Tebal Lapis dan Modulus Elastisitas terhadap Nilai Tegangan, Regangan, dan Repetisi Beban. *Skripsi. Universitas Bina Nusantara. Jakarta.*
- Putra, M. Y. M., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2013). Evaluasi Kondisi Fungsional dan Struktural Menggunakan Metode Bina Marga dan AASHTO 1993 Sebagai Dasar dalam Penanganan Perkerasan Lentur Studi Kasus: Ruas

- Medan-Lubuk Pakam. *Jurnal Teoretis Dan Terapan*. Vol.20 No.3:245-254. Bandung.
- Satria, M. I. F. (2022). *Analisis Perbandingan Desain Mekanistik- dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik: Studi Kasus pada Ruas Jalan Milir-Sentolo*.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Nova, Bandung.
- Suwanda, M. A., & Kushari, B. (2020). *Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris dengan Pemodelan Viskoelastik dan Elastik pada Ruas Jalan Tempel - Pakem Yogyakarta*. <http://hdl.handle.net/123456789/20026>
- Utami, R. V. A. (2022). *Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisaumur Dengan Metode PCI dan Metode Mekanis –Empiris Dengan Program KENPAVE Study Kasus pada Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang (Sta. 12+000 – Sta. 14+000)*. *Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*.
- Widodo, A. D., Fauziah, M., & Bachnas. (2018). *Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur dengan Metode Pavement Condition Index, Bina Marga dan Metode Mekanistik - Empirik dengan Program Kenpave*.
- Yonder, E. J., & M. W. Witczak. (1975). *Principles of Pavement Design*. Second Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.

## **LAMPRIRAN**

Lampiran 1. Eksisting Elastis

N-EKS-C20-T1 (ELASTIK)						
NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR I PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0	0.05146	550	759.431	583.619	751.251
	(STRAIN)		-1.88E-05	2.05E-04	-1.88E-05	1.95E-04
1	9.994	0.04921	326.881	327.478	-86.651	-52.772
	(STRAIN)		3.19E-04	3.19E-04	-1.64E-04	-1.64E-04
1	10	0.04921	326.746	327.344	-87.1	-53.189
	(STRAIN)		3.19E-04	3.20E-04	-1.64E-04	-1.64E-04
1	45.006	0.04242	14.366	14.617	4.209	4.749
	(STRAIN)		2.56E-04	2.65E-04	-1.13E-04	-1.13E-04
1	65	0.03779	10.781	10.929	2.483	2.721
	(STRAIN)		2.09E-04	2.15E-04	-9.15E-05	-9.15E-05
2	0	0.04884	0	415.645	252.729	381.507
	(STRAIN)		-6.01E-05	1.47E-04	-6.01E-05	1.04E-04
2	9.994	0.04778	146.424	263.298	20.36	146.424
	(STRAIN)		2.75E-05	1.64E-04	-1.20E-04	-1.20E-04
2	10	0.04778	146.452	263.363	20.213	146.452
	(STRAIN)		2.75E-05	1.64E-04	-1.20E-04	-1.20E-04
2	45.006	0.04337	15.254	15.254	4.342	5.04
	(STRAIN)		2.76E-04	2.76E-04	-1.20E-04	-1.20E-04
2	65	0.03841	11.277	11.277	2.537	2.799
	(STRAIN)		2.22E-04	2.22E-04	-9.49E-05	-9.49E-05
3	0	0.04968	550	506.215	330.028	466.005
	(STRAIN)		-5.35E-05	1.71E-04	-5.35E-05	1.20E-04
3	9.994	0.04834	202.464	241.323	-15.707	129.843
	(STRAIN)		1.18E-04	1.63E-04	-1.37E-04	-1.37E-04
3	10	0.04834	202.431	241.071	-15.961	129.969
	(STRAIN)		1.18E-04	1.63E-04	-1.37E-04	-1.37E-04
3	45.006	0.04324	15.17	15.197	4.33	5.006
	(STRAIN)		2.74E-04	2.75E-04	-1.19E-04	-1.19E-04
3	65	0.03831	11.231	11.248	2.529	2.788
	(STRAIN)		2.21E-04	2.21E-04	-9.47E-05	-9.47E-05
4	0	0.05146	550	759.431	583.619	751.251
	(STRAIN)		-1.88E-05	2.05E-04	-1.88E-05	1.95E-04
4	9.994	0.04921	326.881	327.478	-86.651	-52.772
	(STRAIN)		3.19E-04	3.19E-04	-1.64E-04	-1.64E-04

4	10	0.04921	326.746	327.344	-87.1	-53.189
	(STRAIN)		3.19E-04	3.20E-04	-1.64E-04	-1.64E-04
4	45.006	0.04242	14.366	14.617	4.209	4.749
	(STRAIN)		2.56E-04	2.65E-04	-1.13E-04	-1.13E-04
4	65	0.03779	10.781	10.929	2.483	2.721
	(STRAIN)		2.09E-04	2.15E-04	-9.15E-05	-9.15E-05
5	0	0.04968	550	506.215	330.028	466.005
	(STRAIN)		-5.35E-05	1.71E-04	-5.35E-05	1.20E-04
5	9.994	0.04834	202.464	241.323	-15.707	129.843
	(STRAIN)		1.18E-04	1.63E-04	-1.37E-04	-1.37E-04
5	10	0.04834	202.431	241.071	-15.961	129.969
	(STRAIN)		1.18E-04	1.63E-04	-1.37E-04	-1.37E-04
5	45.006	0.04324	15.17	15.197	4.33	5.006
	(STRAIN)		2.74E-04	2.75E-04	-1.19E-04	-1.19E-04
5	65	0.03831	11.231	11.248	2.529	2.788
	(STRAIN)		2.21E-04	2.21E-04	-9.47E-05	-9.47E-05

## Lampiran 2. Eksisting Viskoelastik

### TITLE N-EKS-C20-T1 (VISKOELASTIK)

NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR IN PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	TERMEDATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0	0.02631	550	2947.615	114.633	2887.664
	(STRAIN)		-1.40E-05	1.12E-05	-1.40E-05	1.06E-05
1	9.994	0.02661	36.373	36.388	-4161.532	-3691.436
	(STRAIN)		2.06E-05	2.06E-05	-1.75E-05	-1.75E-05
1	10	0.02661	36.365	36.379	-4167.132	-3696.421
	(STRAIN)		2.06E-05	2.06E-05	-1.75E-05	-1.75E-05
1	45.006	0.02524	5.225	5.269	1.638	1.711
	(STRAIN)		9.24E-05	9.41E-05	-3.76E-05	-3.76E-05
1	65	0.02348	4.347	4.378	1.092	1.137
	(STRAIN)		8.33E-05	8.44E-05	-3.47E-05	-3.47E-05
2	0	0.02664	0	3156.865	101.816	3062.024
	(STRAIN)		-1.39E-05	1.10E-05	-1.39E-05	1.04E-05
2	9.994	0.02696	36.365	37.431	-3942.598	-3049.327
	(STRAIN)		1.78E-05	1.83E-05	-1.77E-05	-1.77E-05
2	10	0.02696	36.36	37.428	-3947.687	-3053.041
	(STRAIN)		1.78E-05	1.83E-05	-1.77E-05	-1.77E-05

2	45.006	0.02553	5.454	5.454	1.698	1.775
	(STRAIN)		9.73E-05	9.73E-05	-3.89E-05	-3.89E-05
2	65	0.02369	4.504	4.504	1.124	1.168
	(STRAIN)		8.68E-05	8.68E-05	-3.57E-05	-3.57E-05
3	0	0.02662	550	3170.641	124.723	3081.623
	(STRAIN)		-1.54E-05	1.28E-05	-1.54E-05	1.15E-05
3	9.994	0.02687	36.941	37.003	-4053.533	-3279.105
	(STRAIN)		1.89E-05	1.89E-05	-1.78E-05	-1.78E-05
3	10	0.02687	36.933	36.994	-4057.779	-3280.531
	(STRAIN)		1.89E-05	1.89E-05	-1.79E-05	-1.79E-05
3	45.006	0.02545	5.391	5.396	1.672	1.749
	(STRAIN)		9.62E-05	9.64E-05	-3.86E-05	-3.86E-05
3	65	0.02363	4.449	4.453	1.108	1.152
	(STRAIN)		8.58E-05	8.59E-05	-3.54E-05	-3.54E-05
4	0	0.02631	550	2947.615	114.633	2887.664
	(STRAIN)		-1.40E-05	1.12E-05	-1.40E-05	1.06E-05
4	9.994	0.02661	36.373	36.388	-4161.532	-3691.436
	(STRAIN)		2.06E-05	2.06E-05	-1.75E-05	-1.75E-05
4	10	0.02661	36.365	36.379	-4167.132	-3696.421
	(STRAIN)		2.06E-05	2.06E-05	-1.75E-05	-1.75E-05
4	45.006	0.02524	5.225	5.269	1.638	1.711
	(STRAIN)		9.24E-05	9.41E-05	-3.76E-05	-3.76E-05
4	65	0.02348	4.347	4.378	1.092	1.137
	(STRAIN)		8.33E-05	8.44E-05	-3.47E-05	-3.47E-05
5	0	0.02662	550	3170.641	124.723	3081.623
	(STRAIN)		-1.54E-05	1.28E-05	-1.54E-05	1.15E-05
5	9.994	0.02687	36.941	37.003	-4053.533	-3279.105
	(STRAIN)		1.89E-05	1.89E-05	-1.78E-05	-1.78E-05
5	10	0.02687	36.933	36.994	-4057.779	-3280.531
	(STRAIN)		1.89E-05	1.89E-05	-1.79E-05	-1.79E-05
5	45.006	0.02545	5.391	5.396	1.672	1.749
	(STRAIN)		9.62E-05	9.64E-05	-3.86E-05	-3.86E-05
5	65	0.02363	4.449	4.453	1.108	1.152
	(STRAIN)		8.58E-05	8.59E-05	-3.54E-05	-3.54E-05

Lampiran 3. Bina Marga 2017 Elastik

**TITLE - N-BM17-C20-T02 (ELASTIK)**

NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR IN PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	TERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0	0.03391	550	574.683	565.479	568.244
	(STRAIN)		1.10E-04	1.10E-04	9.85E-05	9.80E-05
1	10	0.032	394.54	395.987	175.143	180.005
	(STRAIN)		2.10E-04	2.12E-04	-4.61E-05	-4.61E-05
1	34.446	0.02937	45.61	46.451	-165.312	-136.392
	(STRAIN)		1.04E-04	1.05E-04	-8.08E-05	-8.08E-05
1	34.5	0.02937	45.481	46.301	-166.209	-137.144
	(STRAIN)		1.04E-04	1.05E-04	-8.12E-05	-8.12E-05
1	65.004	0.02593	11.795	12.01	0.696	1.043
	(STRAIN)		1.82E-04	1.87E-04	-8.63E-05	-8.63E-05
1	80	0.02351	9.396	9.523	0.66	0.842
	(STRAIN)		1.44E-04	1.48E-04	-6.68E-05	-6.68E-05
2	0	0.03155	0	267.253	188.192	258.713
	(STRAIN)		-2.02E-05	8.05E-05	-2.02E-05	6.96E-05
2	10	0.03154	115.914	194.734	96.869	115.914
	(STRAIN)		-6.06E-07	9.14E-05	-2.28E-05	-2.28E-05
2	34.446	0.03007	47.733	47.733	-174.516	-137.988
	(STRAIN)		1.08E-04	1.08E-04	-8.65E-05	-8.65E-05
2	34.5	0.03007	47.617	47.617	-175.418	-138.709
	(STRAIN)		1.08E-04	1.08E-04	-8.69E-05	-8.69E-05
2	65.004	0.0264	12.392	12.392	0.672	1.06
	(STRAIN)		1.94E-04	1.94E-04	-8.97E-05	-8.97E-05
2	80	0.02384	9.751	9.751	0.658	0.85
	(STRAIN)		1.51E-04	1.51E-04	-6.85E-05	-6.85E-05
3	0	0.03111	550	247.243	168.169	241.035
	(STRAIN)		-2.47E-05	7.60E-05	-2.47E-05	6.81E-05
3	10	0.03179	203.369	274.39	119.811	119.811
	(STRAIN)		6.59E-05	1.49E-04	-3.16E-05	-3.15E-05
3	34.446	0.02999	47.811	47.871	-174.255	-139.45
	(STRAIN)		1.08E-04	1.08E-04	-8.60E-05	-8.60E-05
3	34.5	0.02998	47.691	47.751	-175.165	-140.193



	(STRAIN)		1.09E-04	1.09E-04	-8.64E-05	-8.64E-05
3	65.004	0.02633	12.331	12.356	0.67	1.053
	(STRAIN)		1.92E-04	1.93E-04	-8.94E-05	-8.94E-05
3	80	0.02378	9.716	9.731	0.651	0.842
	(STRAIN)		1.51E-04	1.51E-04	-6.84E-05	-6.84E-05
4	0	0.03391	550	574.683	565.479	568.244
	(STRAIN)		1.10E-04	1.10E-04	9.85E-05	9.80E-05
4	10	0.032	394.54	395.987	175.143	180.005
	(STRAIN)		2.10E-04	2.12E-04	-4.61E-05	-4.61E-05
4	34.446	0.02937	45.61	46.451	-165.312	-136.392
	(STRAIN)		1.04E-04	1.05E-04	-8.08E-05	-8.08E-05
4	34.5	0.02937	45.481	46.301	-166.209	-137.144
	(STRAIN)		1.04E-04	1.05E-04	-8.12E-05	-8.12E-05
4	65.004	0.02593	11.795	12.01	0.696	1.043
	(STRAIN)		1.82E-04	1.87E-04	-8.63E-05	-8.63E-05
4	80	0.02351	9.396	9.523	0.66	0.842
	(STRAIN)		1.44E-04	1.48E-04	-6.68E-05	-6.68E-05
5	0	0.03111	550	247.243	168.169	241.035
	(STRAIN)		-2.47E-05	7.60E-05	-2.47E-05	6.81E-05
5	10	0.03179	203.369	274.39	119.811	119.811
	(STRAIN)		6.59E-05	1.49E-04	-3.16E-05	-3.15E-05
5	34.446	0.02999	47.811	47.871	-174.255	-139.45
	(STRAIN)		1.08E-04	1.08E-04	-8.60E-05	-8.60E-05
5	34.5	0.02998	47.691	47.751	-175.165	-140.193
	(STRAIN)		1.09E-04	1.09E-04	-8.64E-05	-8.64E-05
5	65.004	0.02633	12.331	12.356	0.67	1.053
	(STRAIN)		1.92E-04	1.93E-04	-8.94E-05	-8.94E-05
5	80	0.02378	9.716	9.731	0.651	0.842
	(STRAIN)		1.51E-04	1.51E-04	-6.84E-05	-6.84E-05

#### Lampiran 4. Bina Marga 2017 Viskoelastik

##### TITLE - N-BM17-C20-T01 (VISKOELASTIK)

NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR I PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0	0.02892	550	3202.319	124.465	3136.056
	(STRAIN)		-1.63E-05	1.33E-05	-1.63E-05	1.25E-05

1	10	0.02916	39.753	39.791	-4345.436	-3888.805
	(STRAIN)		2.16E-05	2.16E-05	-1.82E-05	-1.82E-05
1	19.996	0.02878	19.277	19.712	-70.996	-63.814
	(STRAIN)		4.56E-05	4.60E-05	-3.34E-05	-3.34E-05
1	20	0.02878	19.273	19.708	-71.02	-63.836
	(STRAIN)		4.57E-05	4.60E-05	-3.34E-05	-3.34E-05
1	50.006	0.02683	5.533	5.589	0.726	0.816
	(STRAIN)		1.20E-04	1.22E-04	-5.39E-05	-5.39E-05
1	70	0.02467	4.499	4.529	0.633	0.676
	(STRAIN)		9.74E-05	9.85E-05	-4.27E-05	-4.27E-05
2	0	0.02926	0	3038.822	83.479	2966.619
	(STRAIN)		-1.55E-05	1.24E-05	-1.55E-05	1.15E-05
2	10	0.0296	33.811	34.827	-4129.208	-3260.588
	(STRAIN)		1.89E-05	1.94E-05	-1.84E-05	-1.84E-05
2	19.996	0.02922	19.95	19.95	-73.697	-65.26
	(STRAIN)		4.72E-05	4.72E-05	-3.47E-05	-3.47E-05
2	20	0.02922	19.946	19.946	-73.722	-65.283
	(STRAIN)		4.72E-05	4.72E-05	-3.47E-05	-3.47E-05
2	50.006	0.02718	5.725	5.725	0.742	0.835
	(STRAIN)		1.25E-04	1.25E-04	-5.53E-05	-5.53E-05
2	70	0.02494	4.623	4.623	0.654	0.695
	(STRAIN)		1.00E-04	1.00E-04	-4.35E-05	-4.35E-05
3	0	0.0292	550	3404.388	123.922	3313.636
	(STRAIN)		-1.68E-05	1.35E-05	-1.68E-05	1.25E-05
3	10	0.02945	36.061	36.351	-4240.217	-3486.594
	(STRAIN)		2.00E-05	2.02E-05	-1.85E-05	-1.85E-05
3	19.996	0.02907	19.978	20.015	-73.599	-65.527
	(STRAIN)		4.73E-05	4.73E-05	-3.46E-05	-3.46E-05
3	20	0.02907	19.975	20.011	-73.624	-65.55
	(STRAIN)		4.73E-05	4.73E-05	-3.46E-05	-3.46E-05
3	50.006	0.02703	5.676	5.683	0.718	0.81
	(STRAIN)		1.25E-04	1.25E-04	-5.51E-05	-5.51E-05
3	70	0.02481	4.579	4.583	0.633	0.675
	(STRAIN)		9.97E-05	9.99E-05	-4.33E-05	-4.33E-05
4	0	0.02892	5.50E+02	3.20E+03	1.24E+02	3.14E+03
	(STRAIN)		-0.00001629	0.00001328	-0.00001629	0.0000125
4	10	0.02916	3.98E+01	3.98E+01	-4.35E+03	-3.89E+03
	(STRAIN)		0.00002155	0.00002156	-0.00001815	-0.00001815

4	19.996	0.02878	19.277	19.712	-70.996	-63.814
	(STRAIN)		0.00004564	0.00004602	-0.00003335	-0.00003335
4	20	0.02878	19.273	19.708	-71.02	-63.836
	(STRAIN)		0.00004565	0.00004603	-0.00003336	-0.00003336
4	50.006	0.02683	5.533	5.589	0.726	0.816
	(STRAIN)		0.0001203	0.0001224	-0.0000539	-0.0000539
4	70	0.02467	4.499	4.529	0.633	0.676
	(STRAIN)		0.00009739	0.0000985	-0.00004272	-0.00004272
5	0	0.0292	550	3404.388	123.922	3313.636
	(STRAIN)		-0.00001677	0.00001348	-0.00001677	0.00001247
5	10	0.02945	36.061	36.351	-4240.217	-3486.594
	(STRAIN)		0.00001999	0.00002016	-0.00001852	-0.00001852
5	19.996	0.02907	19.978	20.015	-73.599	-65.527
	(STRAIN)		0.00004726	0.00004729	-0.00003462	-0.00003462
5	20	0.02907	19.975	20.011	-73.624	-65.55
	(STRAIN)		0.00004727	0.0000473	-0.00003463	-0.00003463
5	50.006	0.02703	5.676	5.683	0.718	0.81
	(STRAIN)		0.0001246	0.0001249	-0.00005509	-0.00005509
5	70	0.02481	4.579	4.583	0.633	0.675
	(STRAIN)		0.00009973	0.00009986	-0.00004332	-0.00004332

### Lampiran 5. AASTHO 1993 Elastik

#### TITLE N-A93-C20-T1 (ELASTIK)

NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR IN PRINCIAL STRESS (STRAIN)	TERMEDATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0	0.04004	5.50E+02	5.46E+02	4.40E+02	5.36E+02
	(STRAIN)		6.48E-06	1.42E-04	6.48E-06	1.29E-04
1	24.996	0.03626	8.55E+01	8.70E+01	-1.82E+02	-1.42E+02
	(STRAIN)		1.79E-04	1.80E-04	-1.33E-04	-1.33E-04
1	25	0.03625	8.55E+01	8.69E+01	-1.82E+02	-1.42E+02
	(STRAIN)		1.79E-04	1.80E-04	-1.34E-04	-1.34E-04
1	63.004	0.02949	1.53E+01	1.56E+01	4.34E-01	9.50E-01
	(STRAIN)		2.42E-04	2.50E-04	-1.17E-04	-1.17E-04
1	83	0.0254	1.10E+01	1.12E+01	4.55E-01	6.77E-01
	(STRAIN)		1.73E-04	1.77E-04	-8.12E-05	-8.12E-05
2	0	0.03828	0.00E+00	3.30E+02	1.88E+02	3.14E+02

	(STRAIN)		-6.33E-05	1.17E-04	-6.33E-05	9.74E-05
2	24.996	0.03724	7.99E+01	7.99E+01	-1.78E+02	-1.05E+02
	(STRAIN)		1.61E-04	1.61E-04	-1.40E-04	-1.40E-04
2	25	0.03724	7.98E+01	7.98E+01	-1.78E+02	-1.05E+02
	(STRAIN)		1.61E-04	1.61E-04	-1.40E-04	-1.40E-04
2	63.004	0.03013	1.62E+01	1.62E+01	3.96E-01	9.85E-01
	(STRAIN)		2.59E-04	2.59E-04	-1.22E-04	-1.22E-04
2	83	0.02579	1.14E+01	1.14E+01	4.49E-01	6.85E-01
	(STRAIN)		1.82E-04	1.82E-04	-8.35E-05	-8.35E-05
3	0	0.03937	5.50E+02	4.12E+02	2.72E+02	3.91E+02
	(STRAIN)		-4.51E-05	1.34E-04	-4.51E-05	1.06E-04
3	24.996	0.03716	8.22E+01	8.22E+01	-1.81E+02	-1.15E+02
	(STRAIN)		1.67E-04	1.67E-04	-1.40E-04	-1.40E-04
3	25	0.03716	8.22E+01	8.22E+01	-1.81E+02	-1.15E+02
	(STRAIN)		1.67E-04	1.67E-04	-1.40E-04	-1.40E-04
3	63.004	0.03005	1.61E+01	1.61E+01	3.98E-01	9.79E-01
	(STRAIN)		2.58E-04	2.58E-04	-1.22E-04	-1.22E-04
3	83	0.02574	1.14E+01	1.14E+01	4.46E-01	6.80E-01
	(STRAIN)		1.81E-04	1.82E-04	-8.33E-05	-8.33E-05
4	0	0.04004	5.50E+02	5.46E+02	4.40E+02	5.36E+02
	(STRAIN)		6.48E-06	1.42E-04	6.48E-06	1.29E-04
4	24.996	0.03626	8.55E+01	8.70E+01	-1.82E+02	-1.42E+02
	(STRAIN)		1.79E-04	1.80E-04	-1.33E-04	-1.33E-04
4	25	0.03625	8.55E+01	8.69E+01	-1.82E+02	-1.42E+02
	(STRAIN)		1.79E-04	1.80E-04	-1.34E-04	-1.34E-04
4	63.004	0.02949	1.53E+01	1.56E+01	4.34E-01	9.50E-01
	(STRAIN)		2.42E-04	2.50E-04	-1.17E-04	-1.17E-04
4	83	0.0254	1.10E+01	1.12E+01	4.55E-01	6.77E-01
	(STRAIN)		1.73E-04	1.77E-04	-8.12E-05	-8.12E-05
5	0	0.03937	5.50E+02	4.12E+02	2.72E+02	3.91E+02
	(STRAIN)		-4.51E-05	1.34E-04	-4.51E-05	1.06E-04
5	24.996	0.03716	8.22E+01	8.22E+01	-1.81E+02	-1.15E+02
	(STRAIN)		1.67E-04	1.67E-04	-1.40E-04	-1.40E-04
5	25	0.03716	8.22E+01	8.22E+01	-1.81E+02	-1.15E+02
	(STRAIN)		1.67E-04	1.67E-04	-1.40E-04	-1.40E-04
5	63.004	0.03005	1.61E+01	1.61E+01	3.98E-01	9.79E-01
	(STRAIN)		2.58E-04	2.58E-04	-1.22E-04	-1.22E-04
5	83	0.02574	11.394	1.14E+01	4.46E-01	6.80E-01

(STRAIN) 1.81E-04 1.82E-04 -8.33E-05 -8.33E-05

Lampiran 6. AASTHO 1993 Viskoelastik

TITLE N-A93-C20-T2 (VISKOELASTIK)

NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR IN PRINCIAL STRESS (STRAIN)	TERMEDATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0	0.02429	550	3376.123	115.931	3292.681
	(STRAIN)		-1.70E-05	1.37E-05	-1.70E-05	1.26E-05
1	9.994	0.02457	23.196	23.201	-4750.649	-4242.753
	(STRAIN)		2.42E-05	2.42E-05	-2.05E-05	-2.05E-05
1	10	0.02457	23.192	23.196	-4757.098	-4248.708
	(STRAIN)		2.42E-05	2.42E-05	-2.05E-05	-2.05E-05
1	45.006	0.02237	8.491	8.587	1.592	1.737
	(STRAIN)		1.16E-04	1.18E-04	-5.09E-05	-5.09E-05
1	65	0.02026	6.803	6.861	1.097	1.172
	(STRAIN)		9.59E-05	9.73E-05	-4.20E-05	-4.20E-05
2	0	0.02476	0	3671.266	113.688	3547.072
	(STRAIN)		-1.81E-05	1.47E-05	-1.81E-05	1.33E-05
2	9.994	0.02499	22.49	22.49	-4549.116	-3629.027
	(STRAIN)		2.16E-05	2.16E-05	-2.07E-05	-2.07E-05
2	10	0.02499	22.487	22.487	-4554.931	-3633.485
	(STRAIN)		2.16E-05	2.16E-05	-2.07E-05	-2.07E-05
2	45.006	0.0227	8.808	8.808	1.627	1.785
	(STRAIN)		1.21E-04	1.21E-04	-5.23E-05	-5.23E-05
2	65	0.02051	6.993	6.993	1.123	1.201
	(STRAIN)		9.91E-05	9.91E-05	-4.27E-05	-4.27E-05
3	0	0.02473	550	3752.535	131.919	3622.788
	(STRAIN)		-1.88E-05	1.53E-05	-1.88E-05	1.39E-05
3	9.994	0.0249	22.977	22.989	-4669.169	-3867.737
	(STRAIN)		2.27E-05	2.27E-05	-2.09E-05	-2.09E-05
3	10	0.0249	22.962	22.973	-4672.662	-3866.111
	(STRAIN)		2.27E-05	2.27E-05	-2.09E-05	-2.09E-05
3	45.006	0.02261	8.765	8.776	1.61	1.767
	(STRAIN)		1.21E-04	1.21E-04	-5.22E-05	-5.22E-05
3	65	0.02043	6.963	6.969	1.107	1.185
	(STRAIN)		9.88E-05	9.90E-05	-4.27E-05	-4.27E-05

4	0	0.02429	550	3376.123	115.931	3292.681
	(STRAIN)		-1.70E-05	1.37E-05	-1.70E-05	1.26E-05
4	9.994	0.02457	23.196	23.201	-4750.649	-4242.753
	(STRAIN)		2.42E-05	2.42E-05	-2.05E-05	-2.05E-05
4	10	0.02457	23.192	23.196	-4757.098	-4248.708
	(STRAIN)		2.42E-05	2.42E-05	-2.05E-05	-2.05E-05
4	45.006	0.02237	8.491	8.587	1.592	1.737
	(STRAIN)		1.16E-04	1.18E-04	-5.09E-05	-5.09E-05
4	65	0.02026	6.803	6.861	1.097	1.172
	(STRAIN)		9.59E-05	9.73E-05	-4.20E-05	-4.20E-05
5	0	0.02473	550	3752.535	131.919	3622.788
	(STRAIN)		-1.88E-05	1.53E-05	-1.88E-05	1.39E-05
5	9.994	0.0249	22.977	22.989	-4669.169	-3867.737
	(STRAIN)		2.27E-05	2.27E-05	-2.09E-05	-2.09E-05
5	10	0.0249	22.962	22.973	-4672.662	-3866.111
	(STRAIN)		2.27E-05	2.27E-05	-2.09E-05	-2.09E-05
5	45.006	0.02261	8.765	8.776	1.61	1.767
	(STRAIN)		1.21E-04	1.21E-04	-5.22E-05	-5.22E-05
5	65	0.02043	6.963	6.969	1.107	1.185
	(STRAIN)		9.88E-05	9.90E-05	-4.27E-05	-4.27E-05

		Umur Sisa Layan (%)											
Tahun ke-		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Np (ESAL)		9.3E+05	2.0E+06	6.8E+06	9.6E+06	1.3E+07	1.6E+07	1.9E+07	2.3E+07	2.7E+07	3.2E+07		
AAS HTO 1003	Eksisting	FC	VE	99.84	99.67	98.83	98.37	97.86	97.31	96.71	96.05	95.35	94.58
		E	99.91	99.81	99.33	99.06	98.77	98.45	98.11	97.73	97.33	96.89	
		Rt	VE	99.64	99.24	97.35	96.30	95.15	93.90	92.54	91.06	89.45	87.71
		E	99.66	99.28	97.48	96.48	95.38	94.19	92.89	91.48	89.95	88.29	
		PD	VE	91.51	82.20	37.66	12.85	fail					
		E	92.32	83.89	43.61	21.16	fail						
	BM 2017	FC	VE	99.82	99.62	98.67	98.13	97.55	96.92	96.24	95.49	94.68	93.80
E		99.93	99.86	99.52	99.32	99.11	98.89	98.64	98.37	98.07	97.75		
		Rt	VE	99.90	99.80	99.29	99.00	98.69	98.35	97.99	97.59	97.16	96.69
		E	99.96	99.91	99.68	99.55	99.41	99.25	99.09	98.91	98.71	98.50	
		PD	VE	96.78	93.24	76.34	66.92	56.64	45.45	33.26	20.03	5.66	-9.91
		E	98.31	96.46	87.60	82.66	77.27	71.40	65.01	58.07	50.54	42.38	
	FC	VE	99.43	98.81	95.82	94.16	92.35	90.37	88.22	85.88	83.34	80.59	
		E	99.64	99.25	97.36	96.31	95.16	93.91	92.55	91.07	89.47	87.73	

Alternatif 1	Rt	VE	99.48	98.92	96.21	94.69	93.05	91.25	89.30	87.17	84.87	82.37	
		E	99.62	99.20	97.21	96.11	94.90	93.58	92.14	90.58	88.89	87.06	
	PD	VE	92.68	84.64	46.23	24.83	1.47	<i>fail</i>					
		E	94.17	87.78	57.23	40.20	21.62	1.38	<i>fail</i>				
	FC	VE	99.74	99.46	98.10	97.35	96.52	95.62	94.65	93.58	92.43	91.18	
		E	99.92	99.83	99.39	99.15	98.88	98.59	98.28	97.94	97.57	97.17	
Alternatif 2	Rt	VE	99.85	99.69	98.93	98.50	98.04	97.53	96.98	96.38	95.73	95.03	
		E	99.94	99.87	99.54	99.36	99.16	98.94	98.71	98.45	98.17	97.87	
	PD	VE	99.87	99.73	99.05	98.67	98.25	97.80	97.31	96.78	96.20	95.57	
		E	99.91	99.82	99.37	99.12	98.85	98.55	98.23	97.88	97.50	97.08	
	FC	VE	99.46	98.87	96.03	94.45	92.72	90.84	88.80	86.57	84.16	81.55	
		E	99.82	99.61	98.65	98.11	97.52	96.88	96.18	95.43	94.60	93.71	
Alternatif 3	Rt	VE	99.69	99.34	97.69	96.77	95.76	94.67	93.48	92.18	90.78	89.26	
		E	99.85	99.68	98.89	98.45	97.97	97.44	96.87	96.25	95.58	94.85	
	PD	VE	97.74	95.26	83.41	76.81	69.60	61.75	53.21	43.93	33.86	22.94	
		E	99.09	98.10	93.33	90.68	87.79	84.63	81.20	77.47	73.42	69.04	
	FC	VE	99.44	98.82	95.88	94.24	92.46	90.51	88.39	86.09	83.59	80.88	
		E	99.82	99.61	98.65	98.11	97.53	96.89	96.19	95.44	94.62	93.73	
AASHTO 1993	Rt	VE	99.67	99.31	97.57	96.60	95.55	94.40	93.14	91.79	90.31	88.71	
		E	99.85	99.68	98.89	98.45	97.97	97.44	96.87	96.25	95.58	94.85	
	PD	VE	99.43	98.81	95.84	94.19	92.38	90.41	88.27	85.94	83.42	80.68	
		E	99.63	99.21	97.25	96.15	94.96	93.66	92.24	90.70	89.03	87.22	

		Umur Sisa Layan (%)										
Tahun ke-		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Np (ESAL)		3.7E+07	4.2E+07	4.8E+07	5.4E+07	6.0E+07	6.8E+07	7.5E+07	8.4E+07	9.3E+07	1.0E+08	
Eksisting	FC	VE	93,74	92,84	91,87	90,82	89,69	88,47	87,15	85,74	84,21	82,57
		E	96,41	95,89	95,33	94,73	94,08	93,38	92,62	91,81	90,94	90,00
	Rt	VE	85,82	83,78	81,58	79,20	76,63	73,86	70,88	67,67	64,22	60,51
		E	86,50	84,56	82,46	80,19	77,74	75,11	72,27	69,21	65,92	62,39
	PD	VE										
		E										
BM 2017	FC	VE	92,85	91,82	90,71	89,51	88,21	86,82	85,32	83,70	81,96	80,08
		E	97,41	97,04	96,63	96,20	95,73	95,22	94,68	94,09	93,46	92,78
	Rt	VE	96,18	95,63	95,03	94,39	93,70	92,95	92,15	91,28	90,35	89,35
		E	98,26	98,02	97,75	97,45	97,14	96,80	96,44	96,04	95,62	95,17
	PD	VE										
		E	33,54	23,97	13,64	2,48	<i>fail</i>					
AASHTO 1993	FC	VE	77,62	74,40	70,92	67,16	63,10	58,73	54,03	48,96	43,51	37,65
		E	85,84	83,81	81,61	79,23	76,67	73,90	70,92	67,72	64,27	60,57
	Rt	VE	79,67	76,74	73,58	70,17	66,48	62,51	58,24	53,63	48,68	43,36
		E										

		E	85,07	82,93	80,61	78,10	75,40	72,48	69,34	65,96	62,33	58,42
		VE										
	PD	E										
		VE	89,83	88,37	86,78	85,08	83,23	81,25	79,11	76,80	74,33	71,66
	FC	E	96,73	96,26	95,75	95,21	94,61	93,98	93,29	92,55	91,75	90,90
		VE	94,26	93,44	92,54	91,58	90,54	89,42	88,21	86,92	85,52	84,02
	Rt	E	97,55	97,19	96,81	96,40	95,95	95,47	94,96	94,40	93,80	93,16
		VE	94,89	94,16	93,36	92,51	91,58	90,58	89,51	88,35	87,11	85,77
	PD	E	96,64	96,15	95,63	95,06	94,45	93,80	93,09	92,33	91,51	90,63
		VE	78,72	75,66	72,35	68,77	64,92	60,76	56,29	51,47	46,29	40,71
	FC	E	92,75	91,71	90,58	89,36	88,05	86,63	85,11	83,47	81,70	79,80
		VE	87,61	85,83	83,90	81,82	79,58	77,16	74,55	71,75	68,73	65,48
	Rt	E	94,05	93,20	92,27	91,28	90,20	89,04	87,79	86,44	84,99	83,44
		VE	11,12	<i>fail</i>								
	PD	E	64,29	59,15	53,59	47,60	41,13	34,16	26,64	18,56	9,86	0,51
		VE	77,94	74,77	71,34	67,64	63,64	59,33	54,69	49,70	44,33	38,55
	FC	E	92,77	91,73	90,61	89,39	88,08	86,67	85,15	83,51	81,75	79,86
		VE	86,98	85,10	83,08	80,89	78,53	75,99	73,25	70,30	67,13	63,72
	Rt	E	94,05	93,20	92,27	91,28	90,20	89,04	87,79	86,44	84,99	83,44
		VE	77,72	74,51	71,05	67,30	63,27	58,92	54,23	49,18	43,76	37,92
	PD	E	85,26	83,14	80,85	78,38	75,71	72,83	69,73	66,40	62,81	58,95