

## **TUGAS AKHIR**

### **PERBANDINGAN DESAIN PERKERASAN LENTUR METODE EMPIRIK DAN METODE MEKANISTIK-EMPIRIK MENGUNAKAN PROGRAM *KENPAVE* PADA RUAS JALAN MILIR-SENTOLO**

***(COMPARISON OF FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN WITH  
EMPIRICAL METHOD AND MECHANISTIC-EMPIRICAL  
METHOD USING KENPAVE PROGRAM ON MILIR-SENTOLO  
ROAD)***

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



**Ferdea Karnurin  
15511202**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2020**

## TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN DESAIN PERKERASAN LENTUR  
METODE EMPIRIK DAN METODE MEKANISTIK-EMPIRIK  
MENGUNAKAN PROGRAM *KENPAVE* PADA RUAS JALAN  
MILIR-SENTOLO  
(*COMPARISON OF FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN WITH  
EMPIRICAL METHOD AND MECHANISTIC-EMPIRICAL  
METHOD USING KENPAVE PROGRAM ON MILIR-SENTOLO  
ROAD*)**

Disusun oleh:

**Ferdea Karnurin  
15511202**

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

Diuji pada tanggal 1 Februari 2021

Oleh dewan Penguji

Pembimbing



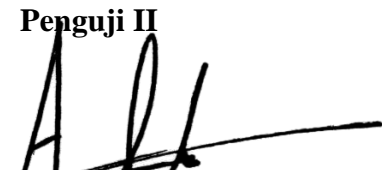
Miftahul Fauziah, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIK: 955110103

Penguji I



Ir. Corry Ya'cub, M.T.  
NIK: 815110102

Penguji II



Ir. Akhmad Marzuko, M.T.  
NIK: 885110107

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amni Yuni Astuti, M.T.  
NIK: 8851101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, September 2020

Yang membuat pernyataan,

  
Perdea Karnurin  
(15511202)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena sudah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Desain Perkerasan Lentur Metode Empirik dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program KENPAVE pada Ruas Jalan Milir-Sentolo*. Shalawat serta salam juga selalu dilimpahkan kepada junjungan Rasulullah SAW. Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak bantuan, saran, kritik, serta dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing yang sudah memberikan bimbingan, kritik dan saran selama penyusunan Tugas Akhir,
2. Bapak Ir. Corry Ya'cub, M.T dan Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta mengarahkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir,
3. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang sudah memberikan ilmu dan wawasan selama perkuliahan,
4. Orangtua penulis, Bapak Zulfakar dan Ibu Indriani, beserta saudara penulis M. Hanif Muttaqin, Muhiithah Nur Kualifah, dan Amaliyah Aziizah yang sudah memberikan dukungan dan do'a yang tiada henti kepada penulis,
5. Sahabat-sahabat penulis, Isty Rizky Utami, Ravel Galang TF, Yugo Bayu Prastyo, HDclub, Decatiluzabel, terimakasih untuk semangat, nasihat dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
6. Saudara seperkuliahan Teknik Sipil 2015, Wilda, Suciani, Faza, Apsa dan teman-teman lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih

telah menemani penulis dari awal kuliah sampai sekarang bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Yogyakarta, 29 Juli 2020  
Penulis,

Ferdea Karnurin  
15511202



## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2017 dan <i>AASHTO</i> 1993	4
2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program <i>KENPAVE</i> 5	
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017	9
3.2 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode <i>AASHTO</i> 1993	16
3.3 Program <i>KENPAVE</i>	27

BAB IV METODE PENELITIAN	31
4.1 Metode Penelitian	31
4.2 Pengumpulan Data	31
4.3 Lokasi Studi Kasus	31
4.4 Prosedur Penelitian	32
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	35
5.1 Perhitungan Desain Perkerasan Metode Bina Marga 2017	35
5.2 Perhitungan Desain Perkerasan Metode <i>AASHTO</i> 1993	41
5.3 Analisis Perkerasan dengan Program <i>KENPAVE</i>	49
5.4 Alternatif Tebal Lapis Perkerasan	55
5.5 Pembahasan	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	69
6.1 Kesimpulan	69
6.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	7
Tabel 3.1 Umur Rencana (UR) Perkerasan Jalan Baru	9
Tabel 3.2 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)(%)	10
Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (DL)	11
Tabel 3.4 Pengumpulan Data Beban Gandar	11
Tabel 3.5 Nilai <i>VDF</i> Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga	14
Tabel 3.6 Desain Tebal Perkerasan Lentur	13
Tabel 3.7 Desain Tebal Perkerasan Lentur Alternatif	13
Tabel 3.8 Periode Analisa	17
Tabel 3.9 Faktor Distribusi Jumlah Lajur ( $D_L$ )	18
Tabel 3.10 Tingkat Reliabilitas berdasarkan Fungsi Jalan	19
Tabel 3.11 Nilai Simpangan Baku Normal ( $Z_r$ )	19
Tabel 3.12 Indeks Penilaian yang Tidak Diterima Pengguna Jalan	20
Tabel 3.13 Tingkat Kualitas Drainase	21
Tabel 3.14 Koefisien Drainase ( $m_1$ )	21
Tabel 3.15 Nilai Modulus Elastisitas ( $E_{BS}$ )	23
Tabel 3.16 Tegangan Berdasarkan Modulus dan Tebal Tanah Dasar	24
Tabel 3.17 Nilai $k_1$ dan $k_2$ untuk Lapis Pondasi dan Pondasi Dasar	24
Tabel 3.18 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan	28
Tabel 3.19 Angka <i>Possion Ratio</i>	29
Tabel 5. 1 Lalu Lintas Harian Rata-Rata	35
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Nilai $VDF_4$ dan $VDF_5$	37
Tabel 5. 3 Nilai <i>VDF</i> masing-masing jenis kendaraan niaga	38
Tabel 5. 4 Perhitungan Beban Sumbu Standar Kumulatif ( <i>CESA</i> )	39
Tabel 5. 5 Pemilihan Jenis Perkerasan	40
Tabel 5. 6 Angka Ekuivalen (E)	42
Tabel 5. 7 Nilai $w_{18}$	43
Tabel 5. 8 Data Parameter untuk Program <i>KENPAVE</i> dari Bina Marga 2017	49
Tabel 5. 9 Data Parameter untuk Program <i>KENPAVE</i> dari <i>AASHTO</i> 1993	49



Tabel 5. 10 Data <i>Input</i> Menu General	50
Tabel 5. 11 Data Koordinat <i>Zcoord</i> untuk Bina Marga 2017	50
Tabel 5. 12 Data Koordinat <i>Zcoord</i> untuk <i>AASHTO</i> 1993	51
Tabel 5. 13 Koordinat XPT dan YPT	52
Tabel 5.14 Nilai <i>Vertical Strain</i> dan <i>Horizontal Strain</i> dari Bina Marga 2017	53
Tabel 5.15 Nilai <i>Vertical Strain</i> dan <i>Horizontal Strain</i> dari <i>AASHTO</i> 1993	53
Tabel 5.16 Analisa Beban Lalu Lintas (Bina Marga 2017)	54
Tabel 5.17 Analisa Beban Lalu Lintas ( <i>AASHTO</i> 1993)	55
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Tebal Perkerasan	55
Tabel 5. 19 <i>Vertical Strain</i> dan <i>Horizontal Strain</i> pada Tebal Perencanaan	56
Tabel 5.20 Alternatif Tebal Perkerasan Metode Bina Marga 2017	57
Tabel 5. 21 <i>Vertical Strain</i> dan <i>Horizontal Strain</i> pada Tebal Alternatif (Bina Marga 2017)	57
Tabel 5.22 Regangan pada Jenis Kerusakan (Bina Marga 2017)	58
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban (Bina Marga 2017)	58
Tabel 5.24 Alternatif Tebal Perkerasan Metode <i>AASHTO</i> 1993	58
Tabel 5. 25 <i>Vertical Strain</i> dan <i>Horizontal Strain</i> pada Tebal Alternatif ( <i>AASHTO</i> 1993)	59
Tabel 5.26 Regangan pada Jenis Kerusakan ( <i>AASHTO</i> 1993)	59
Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban ( <i>AASHTO</i> 1993)	60
Tabel 5.28 Rekapitulasi Perbandingan Metode	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir Desain Perkerasan Lentur dengan Bina Marga 2017	15
Gambar 3.2 Grafik Nilai Kumulatif Lalu Lintas 18 Kips ESAL terhadap Waktu	18
Gambar 3.3 Grafik Estimasi Koefisien Lapis Perkerasan Dasar ( $a_1$ )	22
Gambar 3.4 Grafik koefisien lapis pondasi granurel ( $a_2$ )	23
Gambar 3.5 Grafik Koefisien Lapisan Pondasi dalam Granural	25
Gambar 3.6 Bagan Alir Penelitian Desain Perkerasan Lentur dengan <i>AASHTO</i> 1993	26
Gambar 3.7 Tampilan Menu Utama <i>KENPAVE</i>	27
Gambar 3.8 Sumbu Standar Ekuivalen Indonesia	30
Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 5.1 Nomogram Koefisien Lapis $a_1$	44
Gambar 5.2 Nomogram Koefisien Lapis $a_2$	44
Gambar 5.3 Nomogram Koefisien Lapis $a_3$	45
Gambar 5.4 Nomogram Nilai Structural Number	46
Gambar 5.5 Titik Kerusakan yang Ditinjau (Bina Marga 2017)	51
Gambar 5.6 Titik Kerusakan yang Ditinjau ( <i>AASHTO</i> 1993)	51
Gambar 5.7 Alternatif Desain Tebal Perkerasan (Bina Mirga 2017)	63
Gambar 5.8 Alternatif Desain Tebal Perkerasan ( <i>AASHTO</i> 1993)	64
Gambar 5.9 Tebal Perkerasan Optimal dan Eksisting	65
Gambar 5.10 Regangan pada Jenis Kerusakan (Bina Marga 2017)	66
Gambar 5.11 Regangan pada Jenis Kerusakan ( <i>AASHTO</i> 1993)	67

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data lalu lintas ruas Milir-Sentolo

Lampiran 2 Hasil analisis *KENLAYER*



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	=	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
<i>AC BC</i>	=	<i>Asphalt Concrete-Binder Course</i>
<i>AC WC</i>	=	<i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i>
<i>a</i>	=	Koefisien lapis perkerasan
<i>CBR</i>	=	<i>California Bearing Ratio</i>
<i>CESA</i>	=	<i>Cummulative Equivalent Standard Axle</i>
<i>CTB</i>	=	<i>Cement Treated Base</i>
<i>CP</i>	=	<i>Contact Pressure on Circular Loaded Area</i>
<i>CR</i>	=	<i>Contact Radius of Circular Loaded Area</i>
<i>DCP</i>	=	<i>Dinamic Cone Penetration</i>
<i>E</i>	=	Modulus elastisitas (kPa)
<i>DD</i>	=	Faktor distribusi arah
<i>DL</i>	=	Faktor distribusi lajur
<i>ESAL</i>	=	<i>Equivalent Standar Axle Load</i> (Ekuivalent Sumbu Tunggal Standar)
<i>i</i>	=	Tingkat pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)
<i>LHRT</i>	=	Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan
<i>LPA</i>	=	Lapis pondasi atas
<i>LPB</i>	=	Lapis pondasi bawah
<i>Mr</i>	=	Modulus resilien tanah dasar
<i>Nd</i>	=	Jumlah repetisi beban yang memicu terjadinya kerusakan deformasi permanen
<i>Nf</i>	=	Jumlah repetisi beban yang memicu terjadinya kerusakan <i>fatigue cracking</i>
<i>Nr</i>	=	Jumlah repetisi beban yang diizinkan
<i>PSI</i>	=	Indeks pelayanan kinerja jalan
<i>R</i>	=	Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

UR	=	Umur rencana (tahun)
VDF	=	<i>Vehicle Damage Factor</i>
XW	=	<i>Center to center spacing between two axles along the X axis</i>
Zr	=	Simpangan baku
$\mu$	=	<i>Poisson ratio</i>
$\epsilon$	=	Regangan
$\tau$	=	Tegangan geser
$\sigma$	=	Tegangan (Pa)
$\sigma$	=	Jumlah tegangan pokok



## ABSTRAK

Ruas jalan Milir-Sentolo merupakan salah satu jalan arteri di Kabupaten Kulonprogo dan termasuk jalur menuju bandara baru *Yogyakarta International Airport (YIA)*. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan pendekatan dan desain perkerasan jalan untuk meningkatkan dan mengembangkan kualitas jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mendesain tebal perkerasan lentur jalan Milir-Sentolo menggunakan metode empirik dan mekanistik empirik. Metode empirik yang digunakan adalah Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993, sedangkan untuk metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan hasil desain, tegangan dan regangan, dan jenis perkerasan yang terjadi antara semua metode tersebut. Selain itu juga untuk mendapatkan tebal optimal yang bisa digunakan untuk ruas jalan Milir-Sentolo.

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Dari data tersebut, perhitungan rencana tebal perkerasan dilakukan dengan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993. Selanjutnya dilakukan kontrol menggunakan program *KENPAVE* dan menambah empat alternatif tebal perkerasan desain dari masing-masing metode empiris. Penambahan alternatif perkerasan dilakukan untuk mendapatkan tebal optimal yang masih aman dan memenuhi syarat untuk mengampu beban lalu lintas selama umur rencana.

Tebal lapis perkerasan yang diperoleh dari metode Bina Marga 2017 yaitu 4 cm untuk lapis permukaan *AC WC*, 6 cm lapis permukaan *AC BC*, 12,5 cm lapis permukaan *AC Base*, 15 cm lapis pondasi atas menggunakan *CTB*, dan 15 cm lapis pondasi bawah menggunakan LPA kelas A. Hasil tebal perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993 didapatkan lapis permukaan *AC WC* sebesar 4 cm, *AC BC* sebesar 6 cm, Laston MS 744 sebesar 12 cm, lapis pondasi atas menggunakan batu pecah (kelas A) sebesar 9 cm, lapis pondasi bawah menggunakan sirtu (kelas A) sebesar 25 cm. Hasil kedua metode tersebut dikontrol serta diberikan beberapa alternatif tebal perkerasan menggunakan program *KENPAVE* sehingga didapatkan nilai tegangan dan regangan untuk mengetahui desain tersebut bisa menahan beban selama umur rencana secara optimal. Selain itu, prediksi jenis kerusakan yang akan terjadi juga bisa diketahui. Pada hasil desain metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 urutan kerusakan yang terjadi adalah *permanent deformation*, *rutting*, dan *fatigue cracking*. Hasil setiap metode akan lebih baik jika dikontrol menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan hasil tebal perkerasan optimal sesuai umur rencana.

**Kata kunci:** Bina Marga 2017, *AASHTO* 1993, *KENPAVE*, Perbandingan

## **ABSTRACT**

*Milir-Sentolo road's segment is one of arterial road at Kulonprogo district and part of the road that going to new airport Yogyakarta International Airport (YIA). Therefore, it is necessary to approach the planning and design pavements to improve and develop the road quality. This research was conducted to redesign the thickness of flexible pavement on Milir-Sentolo road using empirical method and empirical-mechanical method. The empirical method used Bina Marga 2017 and AASHTO 1993, for the mechanistic-empirical method used KENPAVE program. The purpose of this research is to know comparison of thick result of all method, stress strain, type of damage and to know the optimal thickness that can be used on Milir-Sentolo road.*

*This research using secondary data obtained from P2JN DIY. Pavement thickness was planned use Bina Marga 2017 method and AASHTO 1993 method. The thickness result would be controlled by KENPAVE program increase pavement alternative design from each method. By adding the alternative design is done for optimal thickness to find out a safe and qualified for keep the loads during life of the plan.*

*Pavement thickness from Bina Marga 2017 method was 4 cm of AC WC for surface layer, 6 cm of AC BC for surface layer, 12,5cm of AC Base for surface layer, 15 cm of CTB for upper layer, and 15 cm of LPA class A for bottom layer. Pavement thickness from AASHTO 1993 method was 4 cm of AC WC, 6 cm of AC BC, 12 cm of Laston MS 744 for surface layer, 9 cm of rubble stone class A for upper layer, 25 cm of grained soil class A for bottom layer. The thickness by the both of them can get the stress and strain to get optimal thickness for a safe and qualified during life of the plan. The type of damage could be predicted, such as Bina Marga 2017 and AASHTO 1993 method will has permanent deformation damage that will happened for the first time. The results of all methods would be better to controlled by KENPAVE program and get the optimal thickness during the life of the plan.*

**Keywords:** *Bina Marga 2017, AASHTO 1993, KENPAVE, comparison*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jaringan jalan raya merupakan salah satu infrastruktur yang penting untuk mendorong dan meningkatkan kegiatan ekonomi masyarakat. Transportasi darat adalah salah satu prasarana yang sangat mudah dan cepat untuk digunakan, oleh karena itu perlu dibuat jalan yang sesuai dengan fungsi dan kebutuhannya. Penggunaan material yang baik juga bisa menghasilkan jalan yang layak sehingga menimbulkan rasa aman dan nyaman bagi pengguna jalan.

Jalan nasional Milir-Sentolo sepanjang 7,8 km, yaitu dari km 16+147 sampai dengan km 23+980 ini merupakan salah satu jalan arteri yang berfungsi sebagai jalan primer dan terletak di Kabupaten Kulonprogo. Jalur ini sering terjadi kecelakaan terutama pada saat mudik lebaran dan juga termasuk jalur menuju bandara baru *Yogyakarta International Airport (YIA)* sehingga harus memiliki kondisi perkerasan yang cukup baik. Selain itu, diperlukan evaluasi secara berkala dan penentuan jenis perawatan dan pemeliharaan yang tepat untuk kenyamanan penggunanya.

Desain perkerasan lentur Jalan Nasional Milir-Sentolo perlu dilakukan pendekatan dan perencanaan yang baik agar kualitas dan efisiensi jalan terjamin. Amirah dan Wiyasa (2003) melakukan peninjauan kembali struktur perkerasan lentur pada jalan ini dengan menggunakan metode Bina Marga 1987. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk menghitung kembali tebal perkerasan jalan yang dibutuhkan menggunakan metode analisa komponen Bina Marga 2017, *American Association State Highway Transportation Official (AASHTO)* 1993, dan didukung menggunakan metode mekanistik-empirik dengan program komputer *KENPAVE* agar lebih efisien.

Aji, dkk (2015) melakukan penelitian analisis struktur perkerasan lentur menggunakan perbandingan antara metode Bina Marga 2013 dan metode *AASHTO* 1993 dengan hasil bahwa perhitungan tebal lapis perkerasan menggunakan Bina Marga 2013 lebih tipis jika dibandingkan dengan hasil perhitungan tebal lapis



menggunakan metode *AASHTO* 1993. Berdasarkan hasil dari penelitian tersebut, maka dalam penelitian ini menggunakan metode Bina Marga 2017 sebagai pembaharuan dari metode sebelumnya. Kajian ulang tentang perkerasan jalan ini perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil desain yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan.

Penelitian ini menggunakan metode secara empiris yaitu dengan Bina Marga 2017, dimana metode ini merupakan yang paling umum digunakan di Indonesia untuk menghitung tebal perkerasan jalan serta *AASHTO* 1993 yang biasa digunakan di Amerika. Hasil dan parameter *input* yang tersedia didukung dengan metode mekanistik-empiris menggunakan program *KENPAVE*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Berapa tebal lapis perkerasan Jalan Milir-Sentolo jika dihitung dengan metode Bina Marga 2017?
2. Berapa tebal lapis perkerasan Jalan Milir-Sentolo jika dihitung dengan metode *AASHTO* 1993?
3. Berapa tebal perkerasan alternatif paling optimal pada Jalan Milir-Sentolo menggunakan program *KENPAVE* sebagai kontrol?
4. Bagaimana hasil dari perbandingan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 dilihat dari tebal perkerasan, tegangan regangan, dan jenis kerusakan yang terjadi pada Jalan Milir-Sentolo?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui tebal lapis perkerasan Jalan Milir-Sentolo menggunakan Metode Bina Marga 2017.
2. Mengetahui tebal lapis perkerasan Jalan Milir-Sentolo menggunakan Metode *AASHTO* 1993.
3. Mengetahui tebal perkerasan alternatif paling optimal dari hasil kontrol menggunakan program *KENPAVE*.

4. Mengetahui hasil perbandingan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 dilihat dari tebal perkerasan, tegangan regangan, dan jenis kerusakan yang terjadi pada Jalan Milir-Sentolo.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai metode baru analisis Bina Marga 2017.
2. Menambah alternatif dalam pemilihan metode baru untuk menghitung tebal perkerasan jalan
3. Menjadi pertimbangan instansi terkait khususnya Satker Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah DIY selaku pengelola pemeliharaan jalan nasional untuk merumuskan kegiatan pemeliharaan jalan di Kabupaten Kulon Progo.

#### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian yang dibahas berdasarkan masalah yang ada adalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian yang dilakukan menggunakan ruas Jalan Nasional Milir-Sentolo.
2. Perhitungan tebal perkerasan lentur jalan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993.
3. Data yang digunakan untuk analisis menggunakan data sekunder yang diperoleh dari kantor Satker pelaksanaan jalan nasional wilayah D.I.Yogyakarta pada tahun 2019.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Putra dkk. (2013) melakukan evaluasi fungsional dan struktural pada perkerasan lentur di Jalan Lintas Timur Sumatra Ruas Medan-Lubuk Pakam dan memberikan saran penanganan dari hasil evaluasi tersebut. Evaluasi fungsional dilakukan berdasarkan Bina Marga, sedangkan untuk evaluasi struktural dilakukan menggunakan metode *AASHTO* 1993. Dari penelitian yang sudah dilakukan maka bisa disimpulkan bahwa kondisi masing-masing segmen jalan mengalami rusak sedang dan ringan. Pada analisis struktural menghasilkan nilai  $SCI < 1$  yang berarti harus dilakukan lapis tambahan (*overlay*) pada seluruh segmen di antara 11 cm sampai 20 cm.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Aji dkk. (2015) mengenai evaluasi struktur perkerasan lentur pada Jalan Nasional Losari-Cirebon. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis struktural perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2013 lalu membandingkan dengan metode *AASHTO* 1993. Hasil analisis struktural pada metode *AASHTO* 1993 didapatkan bahwa perlu dilakukan *overlay* pada setiap segmen dengan tebal sekitar 6 cm sampai 11 cm. Hasil analisis struktural dengan metode Bina Marga 2013 didapatkan tebal *overlay* sebesar 5 cm untuk umur rencana 10 tahun. Dengan ini disimpulkan bahwa perhitungan tebal *overlay* Bina Marga 2013 lebih tipis daripada *AASHTO* 1993 karena beberapa faktor serta penggunaan parameter yang berbeda.

Hasil penelitian tersebut berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Alfianti (2017) yang juga membahas tentang perbandingan perencanaan tebal lapis tambah menggunakan metode Bina Marga 2013 dan *AASHTO* 1993 di ruas Jalan Kalianak Osowilangun, Kecamatan Benowo, Surabaya. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa tebal lapis tambah menggunakan metode *AASHTO* 1993 lebih kecil dibandingkan dengan hasil tebal lapis tambah

menggunakan metode Bina Marga 2013. Pada metode *AASHTO* 1993 didapatkan ketebalan *AC WC* sebesar 6 cm dan metode Bina Marga 2013 membutuhkan tebal lapis tambah *AC WC* sebesar 7 cm dan *AC BC* sebesar 8 cm. Biaya yang dibutuhkan sebesar Rp. 31.550.039.560 untuk metode *AASHTO* 1993 dan Rp. 76.335.629.158 untuk metode Bina Marga 2017.

## 2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program *KENPAVE*

Penelitian yang menggunakan metode mekanis-empirik dengan program *KENPAVE* pernah dilakukan oleh Marita dan Fauziah (2018) di ruas Jalan Pakem-Prambanan dan untuk desain ulang tebal perkerasan lentur jalan tersebut menggunakan metode empirik Bina Marga 2013. Tujuannya adalah untuk mengetahui hasil tebal perkerasan, mengetahui perbandingan konsep, prosedur, dan parameter desain dari kedua metode. Dari penelitian yang sudah dilakukan hasilnya lapis permukaan *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 13,5 cm, lapis pondasi atas menggunakan *CTB* sebesar 15 cm dan lapis pondasi atas kelas A sebesar 15 cm untuk metode Bina Marga 2013. Pada program *KENPAVE* tebal perkerasan minimal yang bisa menahan beban adalah 7 cm untuk lapis permukaan dan 12 cm untuk lapis pondasi atas.

Dinata dkk. (2017) meneliti tentang perbandingan tebal perkerasan lentur dengan metode analisa komponen dari Bina Marga 1987 dan metode *AASHTO* 1993 di jalan Karangmojo-Semin, Gunung Kidul, Yogyakarta. Setelah dibandingkan, kemudian dilakukan analisa jalan raya pada Sta (0+000) sampai Sta (4+050) menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada jalan akibat beban lalu lintas. Hasil penelitiannya didapatkan tebal perkerasan untuk metode analisa komponen Bina Marga 1987 lapis permukaan 10 cm, lapis pondasi atas 20 cm, dan lapis pondasi bawah 20 cm. sedangkan, metode *AASHTO* 1993 didapatkan lapis permukaan 15 cm, lapis pondasi atas 10 cm, dan lapis pondasi bawah 20 cm. Dari penelitian tersebut bisa dilihat bahwa penggunaan program *KENPAVE* bisa mengoptimalkan hasil tebal perkerasan yang sebelumnya sudah dihitung menggunakan Bina Marga dan *AASHTO*.

Perhitungan dengan cara mengasumsikan tebal lapis perkerasan menggunakan program *KENPAVE* dilakukan oleh Nathasya (2012) pada Jalan Tol Cipularang. Parameter yang dibutuhkan adalah modulus elastis dan *poisson ratio*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh tebal lapis perkerasan terhadap nilai regangan yang terjadi. Hasil dari nilai tegangan dan regangan yang didapatkan selanjutnya diperoleh repetisi beban menggunakan persamaan  $N_f$  dan  $N_d$ . Disimpulkan bahwa semakin tebal lapis perkerasan dan modulus elastis maka semakin kecil nilai regangan yang terjadi dan nilai repetisi beban semakin besar sehingga waktu terjadinya kerusakan akan semakin panjang. Perbandingan dari penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan bisa dilihat pada Tabel 2.1.



**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

<b>Peneliti</b>	Putra dkk. (2013)	Aji dkk.(2015)	Marita dan Fauziah (2018)	Dinata dkk. (2017)	Alfianti (2017)	Natashya (2012)
<b>Judul Penelitian</b>	Evaluasi Kondisi Fungsional dan Struktural Menggunakan Metode Bina Marga dan <i>AASHTO</i> 1993 Sebagai Dasar dalam Penanganan Perkerasan Lentur	Evaluasi Struktural Perkerasan Lentur Menggunakan Metode <i>AASHTO</i> 1993 dan Metode Bina Marga 2013	Perbandingan Perancangan Struktur Perkerasan Lentur Jalan dengan Metode Mekanistik Empirik dan Metode Bina Marga 2013	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Analisa Komponen dari Bina Marga 1987 dan <i>AASHTO</i> 1993 menggunakan program <i>KENPAVE</i>	Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Tambah dengan Metode Manual Desain Perkerasan Bina Marga 2013 dan <i>AASHTO</i> 1993	Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Program <i>KENPAVE</i> dan Studi Parameter Pengaruh Tebal Lapis dan Modulus Elastisitas terhadap Nilai Tegangan, Regangan, dan Repetisi Beban
<b>Tujuan Penelitian</b>	Melakukan evaluasi fungsional dan struktural pada perkerasan lentur jalan dan memberi rekomendasi penanganan berdasarkan hasil evaluasi	Melakukan analisis struktural perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2013 dan membandingkan dengan metode <i>AASHTO</i> 1993 dimana keduanya merupakan bagian dari evaluasi metode non-destructive	Mendapatkan perbedaan konsep, parameter desain, dan prosedur desain yang digunakan pada metode Bina Marga 2013 dan program <i>KENPAVE</i>	Melakukan perbandingan tebal perkerasan dan mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada jalan akibat beban lalu lintas.	Mengetahui perbandingan tebal lapis tambah antara metode Bina Marga 2013 dan <i>AASHTO</i> 1993 serta meningkatkan pengetahuan mengenai pemilihan jenis penanganan dengan lapis tambah.	Menganalisa pengaruh tebal lapis perkerasan terhadap nilai regangan yang terjadi

Sumber: Putra dkk. (2013), Aji dkk (2015), Marita dan Fauziah (2018), Dinata dkk (2017), Alfianti (2017), Natashya (2012)

**Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Penelitian Terdahulu**

<b>Lokasi Penelitian</b>	Jalan Lintas Timur Sumatra Ruas Medan-Lubuk Pakam.	Jalan Nasional Losari-Cirebon	Jalan Pakem-Prambanan	Jalan Karangmojo-Semin, Gunungkidul, Yogyakarta	Jalan Kalianak-Osowilangun, Surabaya	Jalan Tol Cipularang
<b>Metode Penelitian</b>	Bina Marga dan <i>AASHTO</i> 1993	<i>AASHTO</i> 1993 dan Bina Marga 2013	Bina Marga 2013 dan Program <i>KENPAVE</i>	Bina Marga 1987 dan <i>AASHTO</i> 1993	Bina Marga 2013 dan <i>AASHTO</i> 1993	<i>KENPAVE</i>
<b>Hasil Penelitian</b>	Menurut <i>AASHTO</i> 1993 perlu di <i>overlay</i> 11 cm sampai 20 cm. menurut Bina Marga hanya memerlukan pemeliharaan secara rutin dan berkala	Tebal <i>overlay</i> 6 cm sampai 11 cm dengan metode <i>AASHTO</i> 1993 dan metode Bina Marga 2013 tebalnya 5 cm	Bina Marga 2013 didapatkan <i>AC-WC</i> 4 cm, <i>AC-BC</i> 13,5 cm, <i>CTB</i> 15 cm. Pada kontrol program <i>KENPAVE</i> didapatkan 7 cm <i>surface</i> dan 12 cm <i>base</i> .	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 <i>AASHTO</i> 1993	Metode Bina Marga 2013 memperoleh ketebalan <i>AC WC</i> 7 cm dan <i>AC BC</i> 8 cm sedangkan <i>AASHTO</i> 1993 memperoleh ketebalan <i>AC WC</i> 6 cm.	Semakin tebal lapis perkerasan lentur dan nilai modulus elastisitas, maka semakin kecil nilai regangan yang terjadi dan semakin besar nilai repetisi bebannya.

Sumber: Putra dkk. (2013), Aji dkk (2015), Marita dan Fauziah (2018), Dinata dkk (2017), Alfianti (2017), Natasha (2012)

### BAB III LANDASAN TEORI

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

Manual desain perkerasan jalan 2017 atau biasa yang disebut dengan bina marga 2017 merupakan salah satu metode yang digunakan di Indonesia untuk membuat desain perkerasan jalan baru serta desain rehabilitasi dan rekonstruksi perkerasan yang sudah di revisi dari edisi sebelumnya. Metode ini merupakan adaptasi dari metode *AASHTO* yang digunakan di Amerika dan disesuaikan dengan keadaan dan kebutuhan yang ada di Indonesia.

Langkah-langkah pengerjaan metode Bina Marga 2017 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan umur rencana (UR)

Umur rencana merupakan waktu yang dihitung dari mulainya jalan digunakan sampai jalan mengalami kerusakan ringan maupun berat hingga perlu diberikan lapisan yang baru (*overlay*). Pada Bina Marga 2017 umur rencana ditentukan berdasarkan Tabel 3.1

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

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

Sumber: Bina Marga 2017



2. Mengetahui data lalu lintas dan lalu lintas harian rerata tahunan (LHRT)

Data lalu lintas pada jam-jam sibuk dibutuhkan untuk menentukan volume lalu lintas. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jumlah beban yang akan dipikul oleh perkerasan selama umur rencana jalan. LHRT sendiri merupakan volume lalu lintas dari hasil survei 7x24 jam dan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (SMP).

3. Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor lalu lintas didapatkan dari data-data pertumbuhan lalu lintas sebelumnya namun bisa juga menggunakan Tabel 3.2 berikut untuk tahun 2015-2035.

**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

Setelah ditentukan faktor laju pertumbuhan lalu lintas, maka bisa dicari faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dengan persamaan 3.1

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

dengan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

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

UR = umur rencana (tahun).

4. Menentukan faktor lajur rencana

Mengacu pada permen PU No.19/PRT/M/2011 tentang rasio antara volume dan kapasitas jalan yang harus dipenuhi, beban pada setiap lajur tidak boleh melebihi kapasitas lajur selama umur rencana. Angka faktor distribusi lajur (DL) bisa diperoleh dari Tabel 3.3

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

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

Sumber: Bina Marga 2017

## 5. Menentukan faktor ekivalen beban

Faktor ekivalen beban atau biasa disebut dengan *Vehicle Damage Factor (VDF)* merupakan perkiraan faktor beban yang dikonversi ke beban standar (*ESA*) dimana pengumpulan data beban gandar bisa dilihat pada Tabel 3.4 dan untuk yang data lalu lintasnya teridentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaganya dapat menggunakan *VDF* menggunakan Tabel 3.5

**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)*

Menghitung beban sumbu standar kumulatif maksudnya adalah menghitung jumlah dari beban sumbu lalu lintas pada lajur dan umur rencana secara kumulatif.

Cara menghitungnya bisa menggunakan Persamaan 3.2

$$ESA = (\sum LHRT_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.2)$$

dengan :

*ESA* = kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen pada tahun pertama,

*LHRT<sub>JK</sub>* = lintasan harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),

*VDF<sub>JK</sub>* = faktor ekivalen beban tiap jenis kendaraan niaga pada Tabel 3.5,

- DD = Faktor distribusi arah,  
DL = Faktor distribusi lajur,  
CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen umur rencana, dan  
R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

7. Menentukan desain pondasi jalan

Dalam menentukan desain lapis perkerasan ada beberapa faktor penting yang mempengaruhi seperti lalu lintas, tanah dasar serta pengaruh air. Sebelumnya tanah dasar dilakukan pengujian untuk mengetahui kekuatan tanah dasar sebelumnya sehingga bisa menentukan perkerasan seperti apa yang akan dilakukan. Bentuk pengujiannya bisa dilakukan dengan cara asumsi maupun dengan *Dynamic Cone Penetration Test (DCP)*. Menurut Bina Marga 2017, kriteria yang harus dipenuhi dalam perkerasan tanah dasar adalah sebagai berikut.

- 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

Pada Bina Marga 2017, desain perkerasan lentur bisa dilihat pada Tabel 3.5 serta Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 untuk desain tebal perkerasan lentur alternatif. Bagan alir desain perkerasan secara keseluruhan juga bisa dilihat pada Gambar 3.1.

**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> ESA <sub>5</sub> )	>10 - 30	>30-50	>50-100	>100-200	>200-500
Jenis permukaan berpangkat	AC	AC			
Jenis lapis pondasi	Cement Treated Base (CTB)				
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**

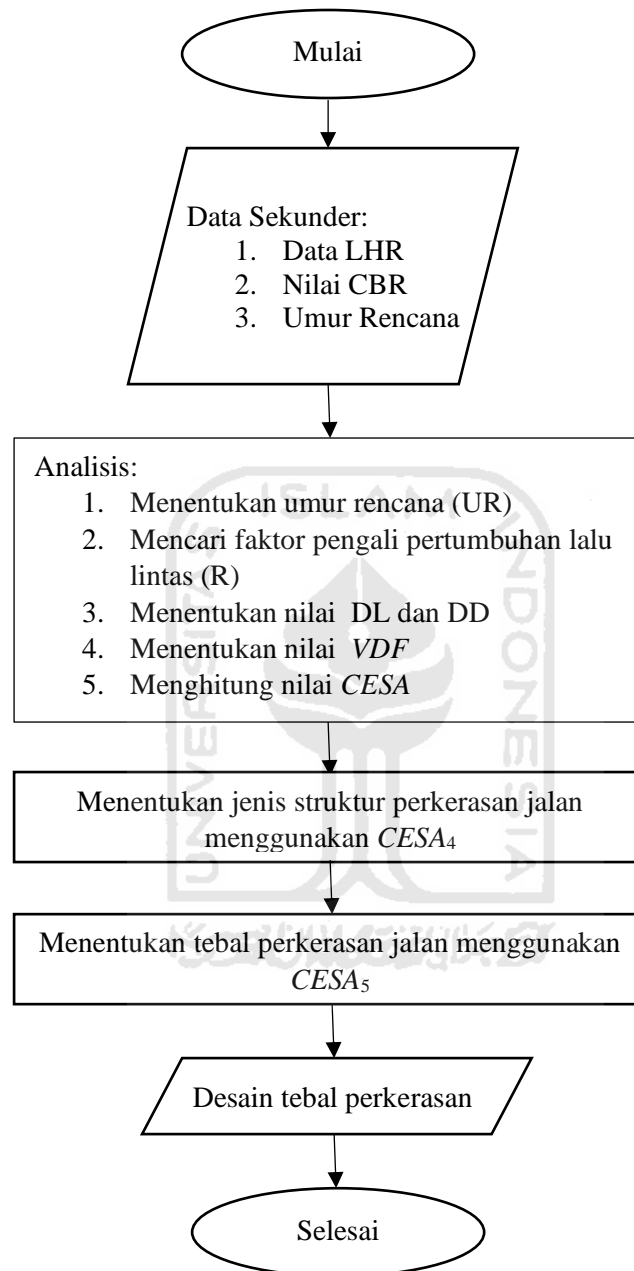
	STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9	
Solusi yang dipilih					Lihat Catatan 2					
Kumulatif beban sumbu 20 Tahun pada lajur rencana (10 <sup>6</sup> ESA <sub>5</sub> )	<2	≥2-4	>4-7	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200	
KETEBALAN PERKERASAN (mm)										
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			
KENDARAAN NAGA	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 trailer penarik 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 3.1 Bagan Alir Desain Perkerasan Lentur dengan Bina Marga 2017**

### 3.2 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode AASHTO 1993

Seperti yang sudah dibahas pada 3.1 bahwa Amerika Serikat memiliki metode tersendiri untuk merancang tebal perkerasan lentur yaitu *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*. Metode ini juga mengalami beberapa perubahan karena menyesuaikan dengan lingkungan sekitar dan kondisi alam. Pada penelitian ini, metode AASHTO yang digunakan yaitu AASHTO 1993.

Perbedaan AASHTO 1993 dengan AASHTO 1972 bisa dilihat dari beberapa aspek seperti diperhatikannya simpangan baku keseluruhan, koefisien drainase, serta faktor regional yang tidak lagi diperhitungkan. Persamaan yang digunakan pada AASHTO 1993 bisa dilihat pada Persamaan 3.3 sedangkan untuk rumusnya menggunakan Persamaan 3.4

$$SN = a_1 d_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (3.3)$$

dengan :

SN = indeks tebal perkerasan,

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

$D_1$  = tebal lapis perkerasan ke 1, dan

$m_1$  = koefisien drainase lapis ke 1.

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

dengan :

W18 = perkiraan nilai kumulatif ekivalen 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,

$\Delta PSI$  = selisih antara pelayanan indeks permukaan awal dan akhir, dan

$M_r$  = modulus resilien tanah dasar.

1. *Analysis Period* (Periode Analisa)

Pada umumnya untuk jalan baru digunakan umur rencana (UR) 20 tahun. Namun, penentuan dari lamanya periode analisis ini juga tergantung dengan biaya pembangunan dan fungsi jalan yang akan dibuat. Penentuan nilai dari periode analisis berdasarkan dari klasifikasi fungsi jalan bisa dilihat pada Tabel 3.8

**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)

Prosedur perencanaan untuk kondisi jalan dengan volume kendaraan yang tinggi maupun yang rendah dilakukan berdasarkan nilai kumulatif 18 kips ekuivalen beban sumbu tunggal (18 kips *equivalent single axle loads*) selama periode analisis. Jika kondisi perencanaan mempertimbangkan konstruksi perkerasan secara bertahap dengan melakukan pelapisan kembali atau peningkatan, maka harus mempertimbangkan pengaruh hal lain seperti ketersediaan dana awal. Grafik dari nilai kumulatif lalu lintas 18 kips *ESAL* terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 3.1

Persamaan yang digunakan untuk memprediksi beban lalu lintas 18 kips *ESAL* selama periode analisis bisa dilihat pada Persamaan 3.5

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

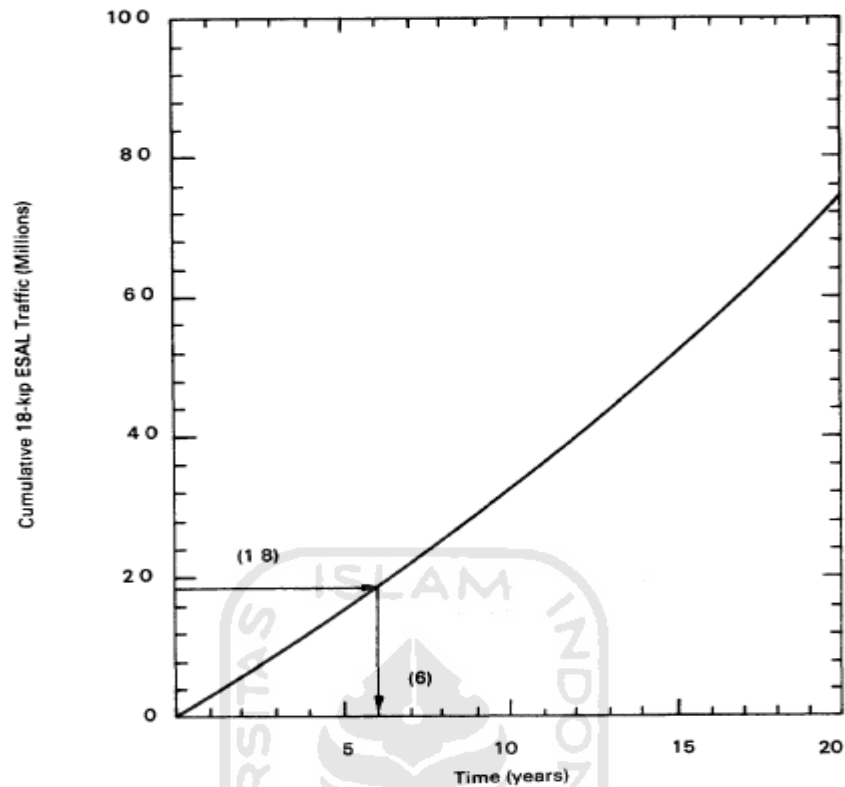
dengan :

$D_D$  = faktor distribusi berdasarkan arah,

$D_L$  = faktor distribusi berdasarkan jumlah lajur, dan

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





**Gambar 3.2 Grafik Nilai Kumulatif Lalu Lintas 18 Kips ESAL terhadap Waktu**

(Sumber: AASHTO, 1993)

Pada umumnya, nilai  $D_D$  ditentukan sebesar 0,5 (50%) pada jalan dua arah. Namun, nilai dari  $D_D$  mungkin juga bisa menggunakan 0,3 sampai 10,7 tergantung pada arah mana yang lebih banyak digunakan atau dilewati. Nilai  $D_L$  ditentukan dari Tabel 3.9

**Tabel 3.9 Faktor Distribusi Jumlah Lajur ( $D_L$ )**

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)

Reliabilitas diartikan sebagai kemungkinan dari tingkat pelayanan yang tercapai selama umur rencana menurut pengguna jalan. Semakin tinggi angka reliabilitas, maka tebal lapisan perkerasan yang akan dibutuhkan semakin besar.

**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 (So)

Nilai simpangan baku secara keseluruhan dipilih berdasarkan variasi lalu lintas yang diperhitungkan atau tidak. Nilai So jika variasi lalu lintas diperhitungkan adalah 0,49 dan 0,44 jika variasi lalu lintas tidak diperhitungkan. Pada AASHTO 1993 nilai So bisa digunakan antara 0,4-0,5.

Untuk nilai simpangan baku normal ( $Z_r$ ) yang ditentukan berdasarkan reliabilitas dapat dilihat pada Tabel 3.11

**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

Sumber: AASHTO 1993

**Tabel 3.11 Lanjutan Nilai Simpangan Baku Normal (Zr)**

Reliabilitas (%)	Standar Deviasi Normal (Zr)
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber: AASHTO 1993

#### 5. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan bisa mempengaruhi kekuatan, daya tahan, maupun kemampuan menahan beban dari suatu perkerasan jika terjadi perubahan suhu yang cukup ekstrim. Hal ini membuat masa pelayanan jalan berkurang. Selain perubahan suhu, kondisi lingkungan yang dimaksud juga berupa perubahan musim yang membutuhkan jenis material yang berbeda.

#### 6. Indeks Pelayanan (PSI)

Indeks pelayanan merupakan penilaian kinerja dari suatu perkerasan jalan yang dinilai pada awal ( $P_o$ ) dan akhir masa pelayanan ( $P_t$ ). Angka PSI dinilai dari angka 0 sebagai tingkat pelayanan paling buruk sampai dengan 5 sebagai tingkat pelayanan paling baik. Sebelum melakukan rehabilitasi maupun rekonstruksi jalan, perlu ditetapkan angka PSI ( $P_t$ ) minimum yang masih bisa ditoleransi oleh pengguna jalan. Angka  $P_t$  yang biasanya digunakan sekitar 2,5 sampai angka paling rendah yaitu 2. Angka ini didasarkan oleh pengguna jalan berdasarkan Tabel 3.12. Perencanaan kelas jalan tinggi biasanya digunakan angka 2,5 sampai 3,0 namun jika faktor ekonomi menjadi pertimbangan untuk jalan kelas rendah bisa digunakan angka 1,5.

**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

Pada perencanaan jalan, faktor drainase salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan karena dapat mempengaruhi sistem kerja dari jalan tersebut. Penilaian kualitas drainase berdasarkan lamanya air yang terserap pada saat mengalir di jalan. Tingkat kualitas drainase berdasarkan *AASHTO* 1993 bisa 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.

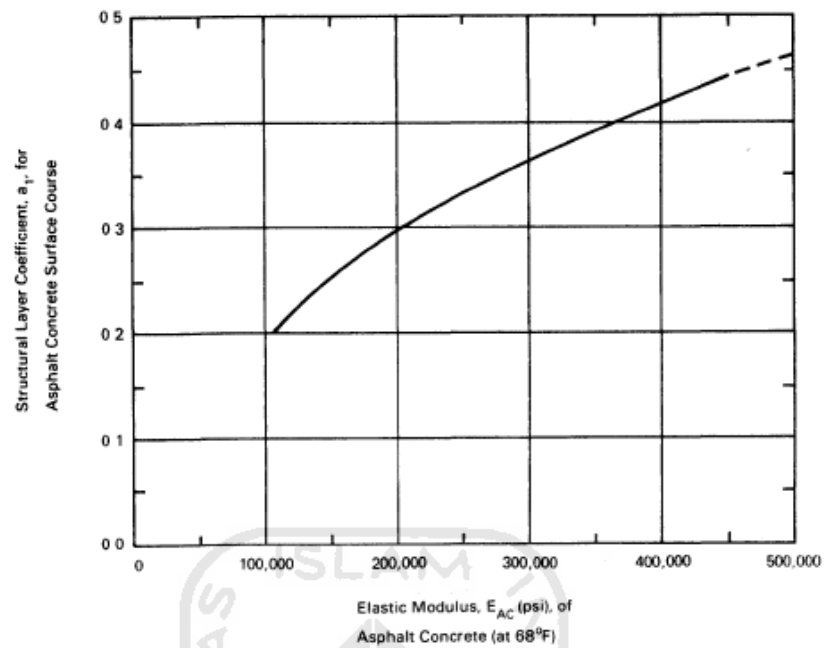
**Tabel 3.14 Koefisien Drainase ( $m_1$ )**

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 lapis perkerasan dasar ( $a_1$ ) diperkirakan berdasarkan estimasi koefisien lapis perkerasan berdasarkan modulus elastisitas ( $E_{AC}$ ) pada suhu 68°F. Grafik yang digunakan untuk estimasi koefisien lapis perkerasan dasar bisa dilihat pada Gambar 3.2



**Gambar 3.3 Grafik Estimasi Koefisien Lapis Perkerasan Dasar ( $a_1$ )**

(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 yang bisa digunakan untuk estimasi  $a_2$  bisa dilihat pada Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7

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

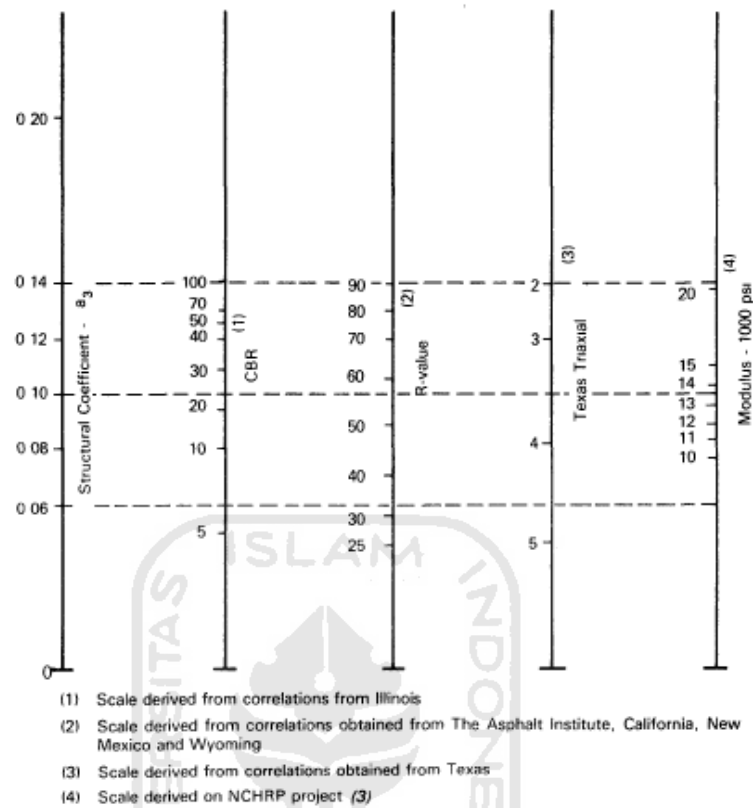
$$E_{BS} = k_1 \epsilon k_2 \quad 3.7$$

dengan :

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

$\epsilon$  = jumlah tegangan pokok

Grafik koefisien lapis pondasi granural bisa dilihat pada Gambar 3.4



**Gambar 3.4 Grafik koefisien lapis pondasi granular ( $a_2$ )**  
 (Sumber: AASHTO 1993)

Modulus elastisitas ( $E_{BS}$ ) menurut AASHTO 1993 bisa di ditentukan pada Tabel 3.14 dalam satuan psi.

**Tabel 3.15 Nilai Modulus Elastisitas ( $E_{BS}$ )**

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

Sumber: AASHTO 1993

Nilai tegangan ( $\sigma$ ) pada lapis pondasi berdasarkan ketebalan dari lapis perkerasan dasar serta modulus lapis dasar. Nilai tegangan yang digunakan untuk desain bisa dilihat pada Tabel 3.15

**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  $k_2$  ditentukan berdasarkan kondisi kelembaban lapisan dan fungsi kualitas material yang dapat dilihat pada Tabel 3.16

**Tabel 3.17 Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  untuk Lapis Pondasi dan Pondasi Dasar**

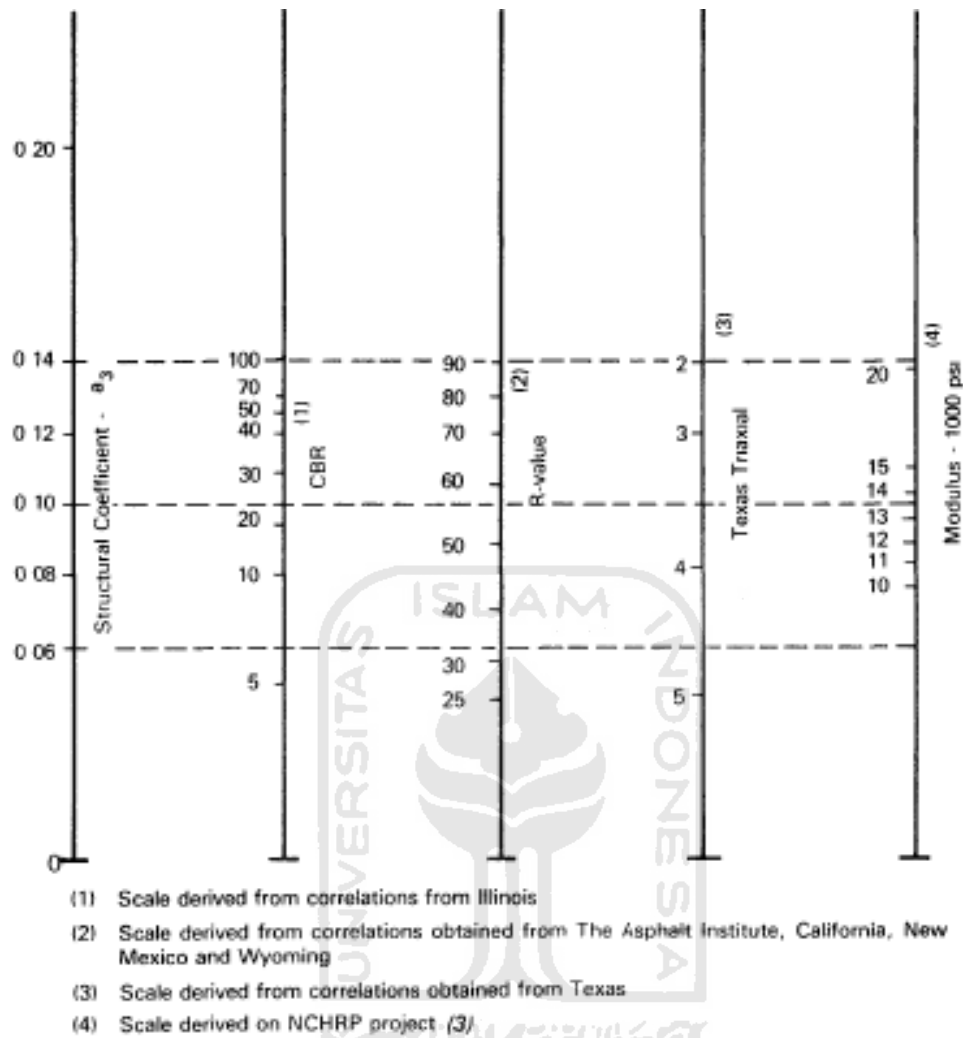
Lapisan	Kondisi kelembaban	Fungsi kualitas material	
		$k_1$	$k_2$
Pondasi	Kering	6000-10000	0,5-0,7
	Lembap	4000-6000	0,5-0,7
	basah	2000-4000	0,5-0,7
Pondasi dasar	Kering	6000-8000	0,4-0,6
	Lembap	4000-6000	0,4-0,6
	basah	1500-4000	0,4-0,6

Sumber: AASHTO 1993

- c. Koefisien lapis pondasi dasar ( $a_3$ ) granural diestimasi pada salah satu dari empat laboratorium termasuk modulus resilien pondasi dasar ( $E_{SB}$ ) atau dari Persamaan 3.8

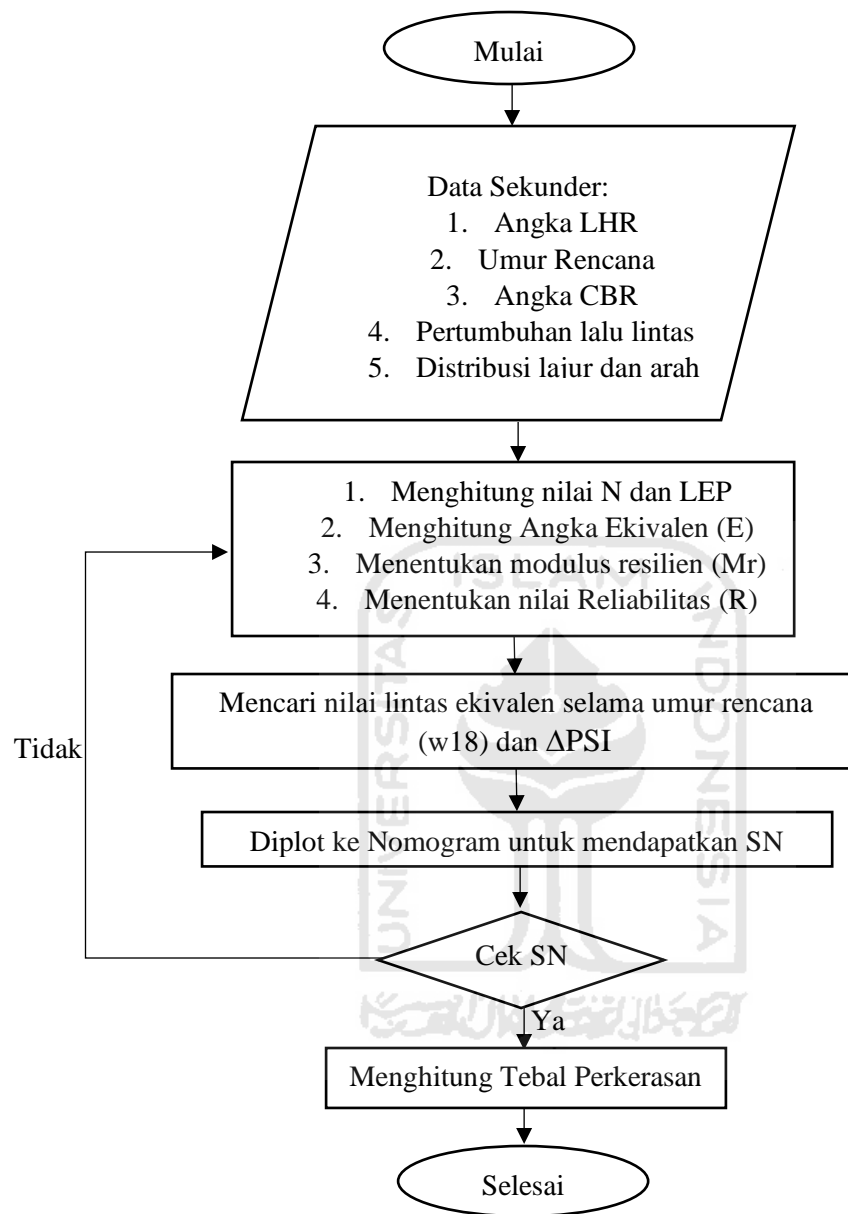
$$a_3 = 0,277(\log_{10}E_{SB}) - 0,839 \quad (3.8)$$

Untuk lapisan pondasi dalam agregat, nilai EBS juga ditentukan berdasarkan tegangan dimana  $k_1$  bernilai antara 1500 sampai 6000 dan  $k_2$  antara 0,4 sampai 0,6. Grafik nilai koefisien lapis pondasi bisa dilihat pada Gambar 3.5 dan bagan alir desain perkerasan secara keseluruhan bisa dilihat pada Gambar 3.6



**Gambar 3.5 Grafik Koefisien Lapisan Pondasi dalam Granural**  
 (Sumber: AASHTO 1993)





**Gambar 3.6 Bagan Alir Penelitian Desain Perkerasan Lentur dengan AASHTO 1993**

### 3.3 Program *KENPAVE*

Metode empirik yang sudah dijelaskan sebelumnya memiliki kekurangan dalam penggunaannya untuk desain perkerasan jalan. Metode mekanistik empirik dikembangkan dengan cara mengkombinasi metode mekanis dan empirik untuk menutupi kekurangan yang ada pada metode sebelumnya yaitu dengan didasarkan pada mekanika bahan.

Program ini digunakan untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada jalan akibat dari beban lalu lintas dengan cara memasukan data-data yang sudah ada sehingga sangat mudah untuk digunakan serta dikembangkan oleh profesor emeritus dari Teknik sipil, Universitas Kentucky bernama Dr. Yang H. Huang, P.E. *Software* ini juga bisa digunakan untuk analisis perkerasan kaku karena terbagi menjadi 4 program yaitu *LAYERINP* dan *KENLAYER* yang digunakan untuk analisis perkerasan lentur serta *SLABSINP* dan *KENSLAB* digunakan untuk analisis perkerasan kaku.

Penelitian ini menggunakan program *KENLAYER* dan *LAYERINP* untuk bisa menghitung regangan, tegangan, serta lendutan permukaan yang terjadi pada permukaan akibat dari beban tertentu. Tampilan menu program dari *KENPAVE* ini bisa dilihat pada Gambar 3.5 dimana pilihan program yang digunakan untuk perkerasan lentur ada pada bagian sebelah kiri.



**Gambar 3.7 Tampilan Menu Utama KENPAVE**

(Sumber: Fadhlán, 2010)

### 3.3.1 INPUT program KENPAVE

Penggunaan program ini dimulai dengan menginput data-data yang sudah ada pada menu *LAYERINP* untuk dapat mengetahui tegangan, regangan, dan respon perkerasan pada menu *KENLAYER*. Data-data yang dimaksud adalah sebagai berikut.

#### 1. Modulus elastisitas

Setiap jenis bahan atau material perkerasan memiliki angka modulus elastisitas atau biasa disebut dengan Modulus *young*. Angka ini didapat kan dari perbandingan antara nilai tegangan dan regangan. Modulus elastisitas ini digunakan sebagai parameter seberapa baik suatu jenis bahan perkerasan untuk kembali ke ukuran dan bentuk aslinya setelah ditekan dan diregangkan.

**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

Jika pada modulus elastisitas yaitu hasil perbandingan antara tegangan dan regangan, angka *possion ratio* ini adalah perbandingan antara regangan *horizontal* dan regangan *vertikal* yang disebabkan karena beban sumbu sejajar. Angka ini bisa didapatkan dari Tabel 3.18

**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)

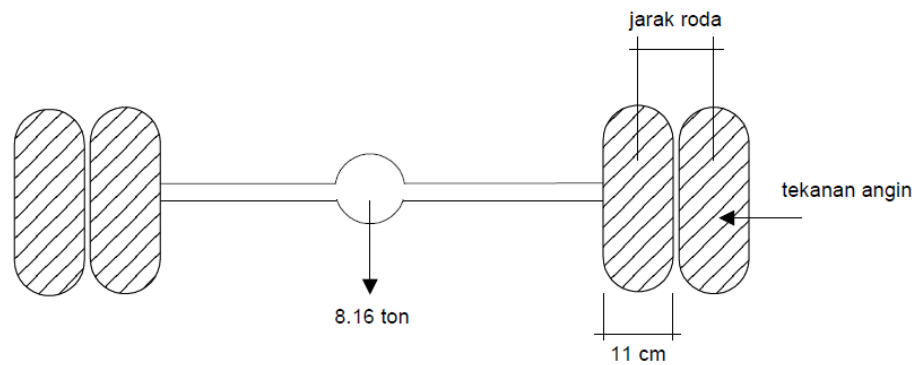
3. Tebal lapis perkerasan

Tebal tiap lapis perkerasan dalam satuan mm atau *inch* dibutuhkan dalam menyelesaikan penggunaan program ini. Ketebalan lapis perkerasan didapatkan dari hasil perhitungan melalui perhitungan kedua metode sebelumnya.

4. Data kondisi beban

Data beban yang dimaksud adalah beban roda kendaraan (P,kN/lbs), tekanan ban (q,Kpa/Psi), data jarak antar roda ganda (d,cm/inch), serta jari-jari bidang kontak (a,cm/inch). Data kondisi beban yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan data yang digunakan di Indonesia pada Gambar 3.8. Jika diuraikan, data yang digunakan adalah sebagai berikut.

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



**Gambar 3.8 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia**

Sumber: Sukirman, 1999

### 3.3.1 OUTPUT program *KENPAVE*

Setelah input data dilakukan pada menu *LAYERINP*, selanjutnya data diolah melalui menu *KENLAYER*. Pada menu ini, ada banyak hasil yang bisa kita ketahui antara lain:

1. *vertical stress*,
2. *vertical deflection*,
3. *major principal stress*,
4. *minor principal stress*,
5. *intermediate principal stress*,
6. *vertical strain*,
7. *major principal strain*,
8. *minor principal strain*, dan
9. *horizontal principal strain*.

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Metode Penelitian**

Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu studi kasus yang dilakukan dengan rinci pada suatu subjek. Penelitian ini dilakukan hingga tercapai pemahaman secara mendalam sehingga peneliti bisa menjelaskan tentang apa objek yang diamati serta bagaimana dan mengapa penelitian ini dilakukan.

Metode pengambilan data memiliki 2 macam jenis yaitu data primer dan data sekunder. Data primer maksudnya adalah data yang diambil secara langsung oleh peneliti dari sumber asli. Sedangkan, data sekunder adalah data yang sudah tersedia dari perantara sehingga peneliti tidak memperolehnya secara langsung seperti dari organisasi, perusahaan maupun pemerintahan.

### **4.2 Pengumpulan Data**

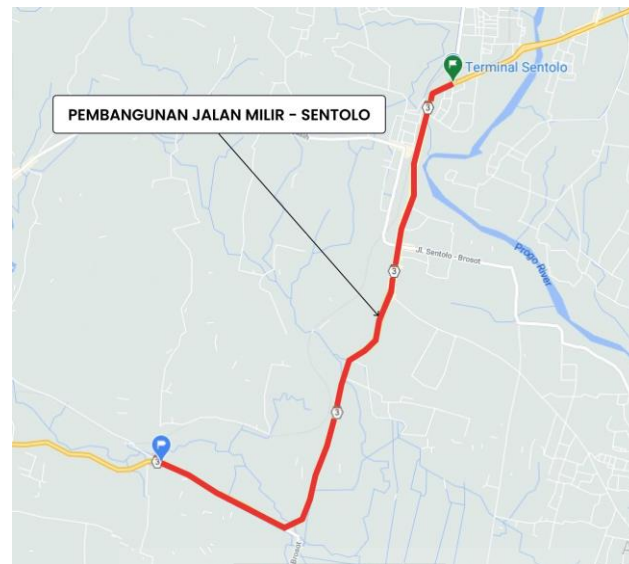
Jenis pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dimana data-data yang dibutuhkan untuk analisis diperoleh dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Data-data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

1. Peta lokasi studi kasus.
2. Data tanah dasar (*CBR*).
3. Data lalu lintas rata-rata harian (*LHR*).
4. Propertis material.
5. Struktur perkerasan jalan (panjang, lebar, median, bahu, jumlah, serta jalur jalan).

### **4.3 Lokasi Studi Kasus**

Objek studi kasus dalam penelitian ini terletak di ruas Jalan Milir-Sentolo Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar

4.1



**Gambar 4.1 Peta Lokasi Objek Penelitian**

#### 4.4 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian desain perkerasan lentur pada Bina Marga 2017 yaitu sebagai berikut:

1. menentukan umur rencana berdasarkan elemen serta jenis perkerasan pada Tabel 3.1,
2. mencari nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R),
3. menentukan nilai faktor distribusi lajur (DL) dan faktor distribusi arah (DD),
4. menentukan VDF,
5. menghitung nilai CESA berdasarkan LHR,
6. menentukan jenis perkerasan, dan
7. menentukan tebal perkerasan.

Pada *AASHTO* 1993 tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

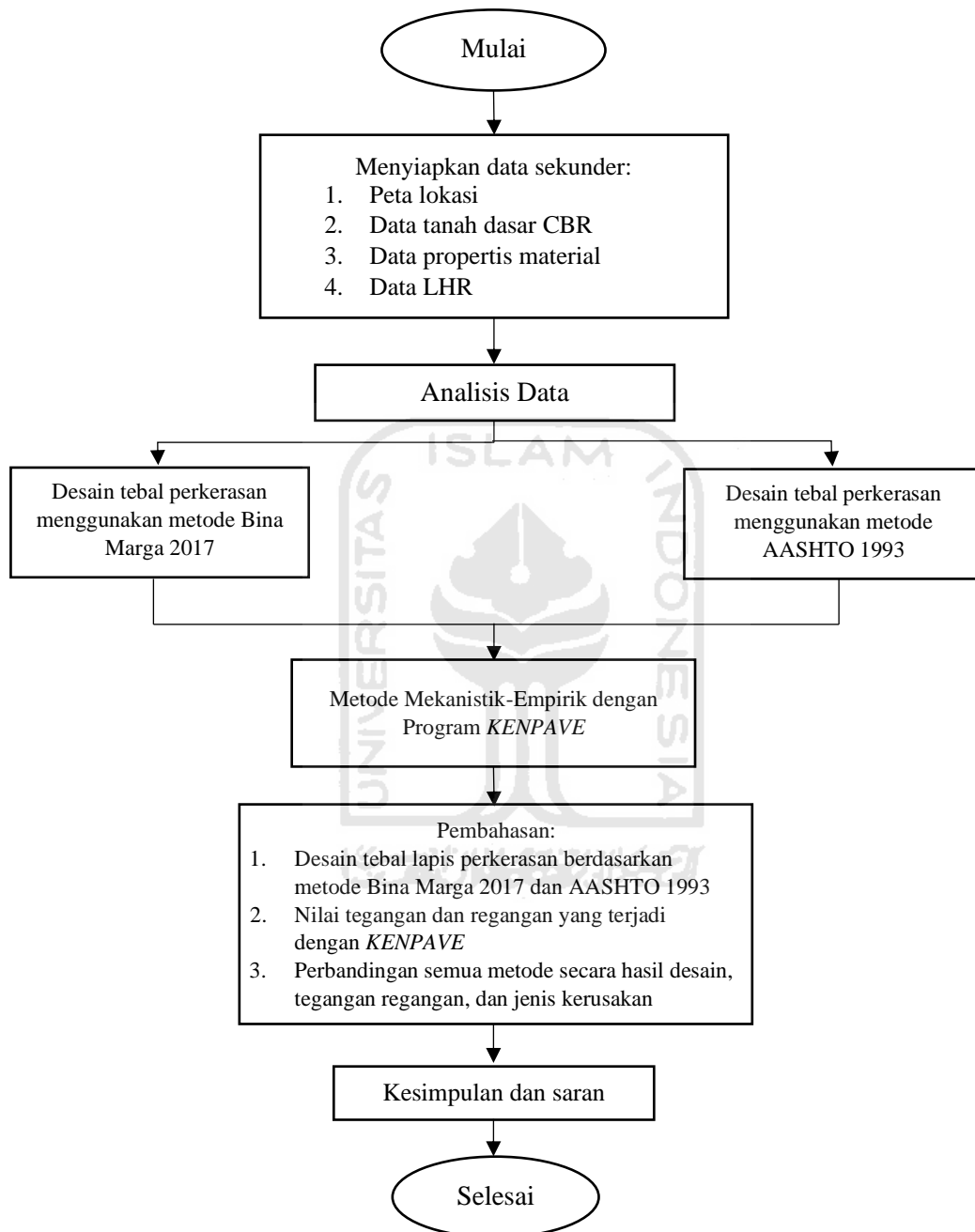
1. Mencari dan menghitung nilai N dan LEP.
2. Menghitung angka Ekuivalen (E).
3. Menentukan angka modulus resilien ( $M_r$ ).
4. Menentukan nilai Reliabilitas (R).
5. Mencari nilai lintas ekuivalen selama umur rencana ( $w_{18}$ ) dan  $\Delta PSI$ .
6. Mengecek nilai SN.

7. Menghitung tebal perkerasan.

Untuk tahap penelitian menggunakan program *KENPAVE* langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menentukan material yang digunakan pada pemodelan struktur, seperti tebal, nilai modulus elastisitas ( $E$ ), serta nilai *poisson ratio* tiap lapisan perkerasan.
2. Menentukan data lalu lintas, antara lain sebagai berikut:
  - a. menentukan periode waktu tinjauan analisis perkerasan,
  - b. menghitung lalu lintas rerata harian (LHR) pada tahun perencanaan,
  - c. menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas sehingga bisa dapat memprediksi angka jumlah kendaraan pada periode tinjauan, dan
  - d. menentukan beban sumbu roda.
3. Melakukan pemodelan struktur perkerasan pada program *KENPAVE* dengan sub program *KENLAYER*. Memasukkan data umum mengenai struktur perkerasan seperti nama file, satuan yang digunakan, jenis material perkerasan, jumlah *layer*, letak koordinat kedalaman ( $Z$ ), jenis ikatan lapisan, dan tipe respon yang dianalisis.
4. Menentukan *output* dari program tersebut agar dapat mengetahui respon tegangan dan regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas.
5. Menganalisa repitisi beban lalu lintas yang didapatkan dari program tersebut  
Tahapan penelitian ini bisa dilihat melalui diagram bagan alir yang ada pada Gambar 4.2.





**Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian**

## BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Perhitungan Desain Perkerasan Metode Bina Marga 2017

#### 5.1.1 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas harian pada ruas Jalan Milir-Sentolo yang didapat dari laporan satuan kerja pengawas dan perencanaan jalan nasional D.I. Yogyakarta pada tahun 2017. Masa konstruksi dilakukan selama satu tahun sehingga awal dibukanya jalan pada tahun 2018, maka dilakukan perhitungan lalu lintas untuk tahun 2018 seperti contoh pada Persamaan 5.1.

$$\begin{aligned}
 \text{LHRT} &= \text{LHRo} (1+i)^n && (5.1) \\
 &= 27677 (1+0,048)^1 \\
 &= 29005 \text{ kend/hari}
 \end{aligned}$$

Lalu lintas harian rata-rata pada tahun 2017 dan 2018 disajikan pada Tabel

5.1

**Tabel 5. 1 Lalu Lintas Harian Rata-Rata**

No.	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (kend/hari)	LHR 2018 (kend/hari)
1	Motor	27677	29005
2	Sedan, Jeep	8086	8474
3	Pick-up	294	308
4	Truk kecil	1477	1548
5	Bus kecil golongan 5a	446	467
6	Bus besar golongan 5b	630	660
7	Truk 2 as golongan 6a	371	389
8	Truk 2 as golongan 6b	1140	1195
9	Truk 3 as golongan 7a	420	440
10	Trailer 4 as, truk gandeng	128	134
11	Truk semi trailer golongan 7c	166	174
12	Kendaraan tidak bermotor	181	190

Sumber: P2JN (2019)

### 5.1.2 Data Nilai *CBR*

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I. Yogyakarta nilai *CBR* yang digunakan 4,83%.

### 5.1.3 Analisis Perhitungan Tebal Perkerasan

#### 1. Umur rencana

Jalan Milir-Sentolo berdasarkan Tabel 3.1 dengan jenis perkerasan lentur dan elemen perkerasan aspal menggunakan umur rencana 20 tahun dengan masa pelayanan dari tahun 2018 sampai 2037.

#### 2. Faktor pengali pertumbuhan laju lalu lintas kumulatif

Faktor laju pertumbuhan lalu lintas tahunan pada Jalan Milir-Sentolo berdasarkan Tabel 3.2 sebesar 4,8% karena jalan tersebut termasuk pada kelas arteri di daerah Jawa. Pada faktor laju pertumbuhan lalu lintas tersebut maka nilai faktor pengali sebesar 32,3756% yang dihitung menggunakan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \quad (5.2)$$

$$R = \frac{(1+0,01 \times 4,8)^{20}-1}{0,01 \times 4,8}$$

$$R = 32,3756\%$$

#### 3. Faktor Lajur Rencana

Faktor distribusi arah (*DD*) di Jalan Milir-Sentolo menggunakan sistem 2 arah, sehingga pada umumnya diambil nilai 0,5. Berdasarkan Tabel 3.3 untuk nilai faktor distribusi lajur (*DL*) menggunakan nilai 80% karena Jalan Milir-Sentolo mempunyai 2 lajur setiap arah.

#### 4. *Vehicle Damage Factor (VDF)*

Nilai *VDF* ini dibedakan menjadi 2 jenis yaitu  $VDF_4$  dan  $VDF_5$  karena selanjutnya akan digunakan untuk menghitung *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)*.  $CESA_4$  dan  $CESA_5$  dihitung untuk menentukan jenis perkerasan dan tebal perkerasan. Untuk nilai  $VDF_4$  dan  $VDF_5$  bisa di dapatkan dari Tabel 5.3

berdasarkan jenis kendaraan sehingga hasil rekapitulasinya bisa dilihat pada Tabel 5.2.

**Tabel 5. 2 Rekapitulasi Nilai  $VDF_4$  dan  $VDF_5$**

Jenis Kendaraan	$VDF_4$	$VDF_5$
Motor, sedan, pick-up, dll	0	0
Bus kecil golongan 5a	0,3	0,2
Bus besar golongan 5b	1	1
Truk 2 as golongan 6a	0,55	0,5
Truk 2 as golongan 6b	4,0	5,1
Truk 3 as golongan 7a	4,7	6,4
Trailer 4 as, truk gandeng	9,4	13
Truk semi trailer golongan 7c	7,4	9,7

5. *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)*

Beban sumbu standar kumulatif ditentukan menggunakan Persamaan 3.2. Dari data yang sudah didapatkan, contoh perhitungan untuk kendaraan golongan 5a sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ESA_4 &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (446 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 32,3756 \\
 &= 632450,542
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ESA_5 &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (446 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 32,3756 \\
 &= 421633,6949
 \end{aligned}$$

Perhitungan *CESA* secara keseluruhan bisa dilihat pada Tabel 5.4 dengan hasil  $CESA_4 = 46953780,6$  esal dan  $CESA_5 = 59940523,79$  esal

**Tabel 5. 3 Nilai VDF masing-masing jenis kendaraan niaga**

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

(Sumber: Bina Marga 2017)

**Tabel 5. 4Perhitungan Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESA)**

Jenis Kendaraan	LHR	R	DD	DL	VDF4	VDF5	ESA4	ESA5
Gol 1,2,3, dan 4	39336	32,37558	0,5	0,8	0	0	0	0
Bus kecil golongan 5a	467	32,37558	0,5	0,8	0,3	0,2	662808,168	441872,1123
Bus besar golongan 5b	660	32,37558	0,5	0,8	1,0	1,0	3120845,64	3120845,636
Truk 2 as golongan 6a	389	32,37558	0,5	0,8	0,55	0,5	1010807,23	918915,6596
Truk 2 as golongan 6b	1195	32,37558	0,5	0,8	4,0	5,1	22588977,9	28800946,87
Truk 3 as golongan 7a	440	32,37558	0,5	0,8	4,7	6,4	9778649,66	13315608,05
Trailer 4 as, truk gandeng	134	32,37558	0,5	0,8	9,4	13,0	5960319,79	8242995,458
Truk semi trailer golongan 7c	174	32,37558	0,5	0,8	7,4	9,7	6085153,62	7976485,148
<i>CESA</i>							49207562	62817668,93

## 6. Menentukan tipe perkerasan

Tipe perkerasan ditentukan berdasarkan hasil dari nilai  $CESA_4$  yang sudah didapatkan sebelumnya. Jika nilai  $CESA_4$  sebesar 49207562 dimasukkan pada Tabel 5.5 maka bisa ditentukan jenis perkerasan yang digunakan adalah *AC WC* modifikasi dengan *CTB* (ESA pangkat 5) menggunakan kontraktor besar dan sumber daya yang memadai. Pada jalan repetisi lalu lintas dengan umur rencana 20 tahun dan melebihi 10 juta ESA disarankan untuk menggunakan aspal modifikasi untuk memperpanjang umur pelayanan dan ketahanan deformasi lapis permukaan lalu lintas akibat beban lalu lintas.

**Tabel 5. 5 Pemilihan Jenis Perkerasan**

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0-0,5	0,1-4	>4-10	>10-30	>30-200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (diatas tanah dengan CBR > 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 > 100mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis fondasi soil cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

(Sumber: Bina Marga 2017)

## 7. Menentukan Tebal Lapis Perkerasan

Penentuan tebal lapis perkerasan hampir sama seperti penentuan jenis perkerasan namun untuk tebal menggunakan  $CESA_5$ . Berdasarkan Tabel 3.5 dan nilai  $CESA_5$  sebesar 62817668,93 maka didapatkan tebal lapis perkerasan sebagai berikut.

$AC\ WC$	= 40 mm
$AC\ BC$	= 60 mm
$AC\ Base$	= 125 mm
CTB	= 150 mm
LPA Kelas A	= 150 mm

## 5.2 Perhitungan Desain Perkerasan Metode AASHTO 1993

### 5.2.1 Menentukan Indeks Penilaian ( $P_o$ dan $P_t$ )

Indeks penilaian ditentukan berdasarkan beberapa parameter fungsi jalan, seperti:

Fungsi jalan	= Arteri
Nilai $P_o$	= 4,2
Nilai $P_t$	= 2,5

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4,2 - 2,5 = 1,7$$

### 5.2.2 Koefisien distribusi kendaraan (C)

Ruas jalan Milir-Sentolo memiliki 2 lajur setiap arah, sehingga faktor distribusi jumlah lajur ( $D_L$ ) berdasarkan Tabel 3.9 adalah 90% karena diambil nilai yang paling besar. Untuk nilai  $D_D$  ditentukan berdasarkan jalan 2 arah senilai 0,5.

### 5.2.3 Reliabilitas (R)

Tingkat reliabilitas berdasarkan fungsi Jalan Milir-Sentolo yaitu arteri daerah rural, maka berdasarkan Tabel 3.10 diambil nilai sebesar 85%.



#### 5.2.4 Simpangan Baku (So)

Berdasarkan tingkat reliabilitas sebesar 85%, maka simpangan baku ( $Z_T$ ) = -1,037 dan  $S_o = 0,45$ . Nilai tersebut bisa ditentukan dari Tabel 3.11

#### 5.2.5 Angka Ekuivalen (E)

Hasil perhitungan nilai ekuivalen yang ditentukan berdasarkan tabel beban gandar bisa dilihat pada Tabel 5.6. Dari angka ekuivalen yang sudah ada, selanjutnya menghitung analisis lalu lintas kendaraan pada setiap golongan menggunakan Persamaan 3.5. Berikut contoh perhitungan analisis lalu lintas pada jenis kendaraan mobil penumpang golongan 2.

$$\begin{aligned}\hat{W}_{18} &= LHR \times E \times DD \times DL \\ &= 8274 \times 0,00045 \times 0,5 \times 90\% \\ &= 1,7202 \text{ ESAL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{18} &= \hat{W}_{18} \times 365 \times \frac{(1+g)^n - 1}{g} \\ &= 1,7202 \times 365 \times \frac{(1+0,048)^{20} - 1}{0,048} \\ &= 20327,6586 \text{ ESAL}\end{aligned}$$

**Tabel 5. 6 Angka Ekuivalen (E)**

No.	Tipe kendaraan			berat total (ton)	Konfigurasi beban sumbu roda (ton)				Ekivalen
					Depan	Belakang			
1	Sedan, Jeep	2	1.1	2	1	1			0,0004510
2	Pick-up	3	1.2	8,3	2.822	5,478			0,2174125
3	Truck kecil	4	1.2L	9	3,06	5,94			0,3005676
4	Bus Kecil	5a	1.2H	18,2	6,188	12,01			5,0264082
5	Bus Besar	5b	1.22	25	6,25	18,75			2,7415725
6	Truck 2as	6	1.2+2	26,2	4,716	10,74	10,74		0,6281119
7	Truck 3as	7a	1.2+2.2	31,4	5,652	8,79	8,478	8,47	0,5464911
8	Truck 4as	7b	1.2+2.2	42	7,56	11,76	11,34	11,34	1,7492895
9	Truck S, Trailer	7c	1.2+222	45	5,85	18	21,15		6,1817108

**Tabel 5. 7 Nilai w18**

No.	Tipe kendaraan	Golongan	w18(ESAL)	w18(ESAL)
1	Sedan, Jeep	2	1,7202	20327,6586
2	Pick-up	3	30,1443	356218,2548
3	Truck kecil	4	209,3614	2474041,64
4	Bus Kecil	5a	1057,223	12493291,76
5	Bus Besar	5b	814,5431	9625527,673
6	Truck 2as	6	109,8967	1298659,349
7	Truck 3as	7a	293,8068	3471940,302
8	Truck 4as	7b	346,4853	4094447,034
9	Truck S, Trailer	7c	373,1577	4409637,773

#### 5.2.6 Koefisien drainase ( $m_i$ )

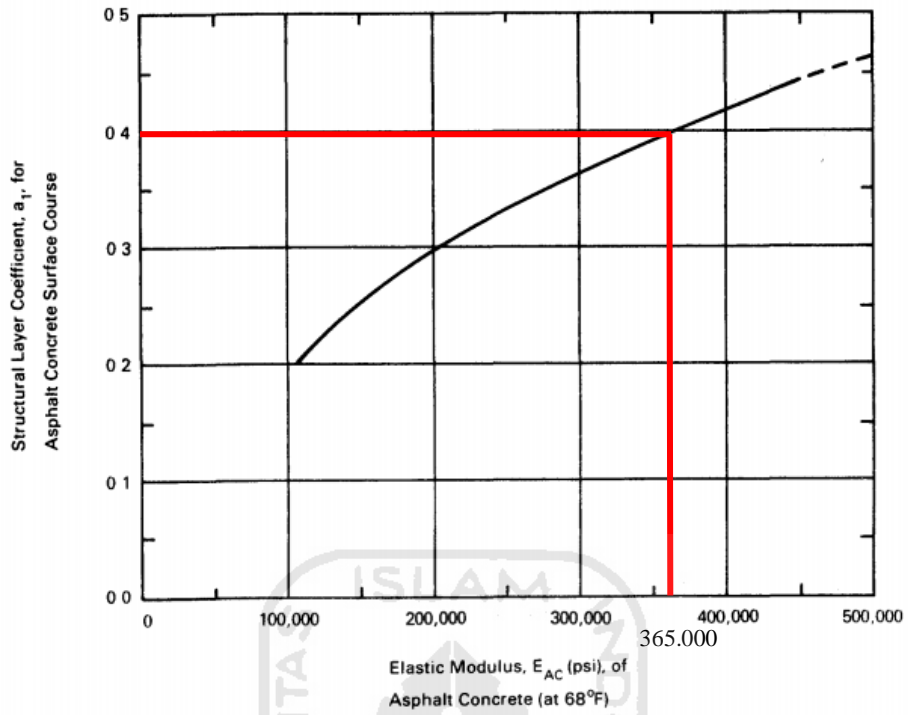
Kualitas drainase pada Jalan Milir-Sentolo ini dinyatakan baik karena pada saat terjadi hujan, tidak ada terjadi genangan. Penentuan nilai koefisien drainase dapat dilihat pada Tabel 3.14 dengan cara interpolasi. Berdasarkan data sekunder dari P2JN D.I Yogyakarta di dapatkan waktu perkerasan dalam keadaan jenuh sebesar 9,7% sehingga jika dilakukan interpolasi, maka angka koefisien drainase yang digunakan sebesar 1,11475.

#### 5.2.7 Koefisien Lapisan

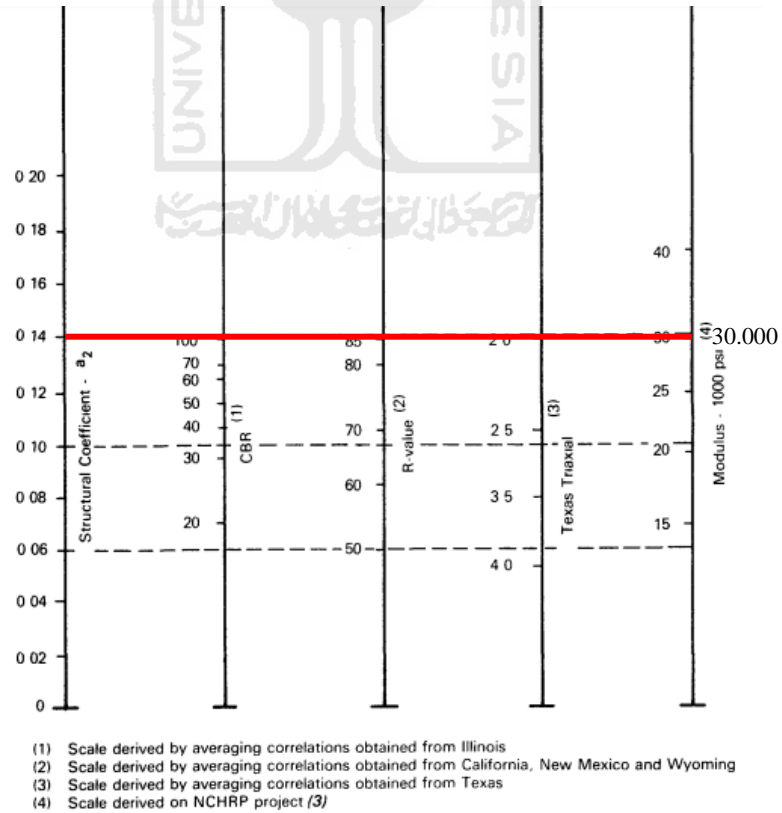
Nilai koefisien lapisan bisa dihitung menggunakan persamaan atau grafik dengan nilai koefisien bahan lapis sebagai berikut.

1. *Surface course*, Laston MS 744 = 0,4
2. *Base course*, Batu pecah (Kelas A) = 0,14
3. *Sub base course*, Sirtu (Kelas A) = 0,14

Dari nilai koefisien bahan lapis yang sudah ditentukan, kita bisa mendapatkan nilai *elastic modulus* dan *modulus resilient* dengan menggunakan grafik pada Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.3



Gambar 5.1 Nomogram Koefisien Lapis  $a_1$



Gambar 5.2 Nomogram Koefisien Lapis  $a_2$

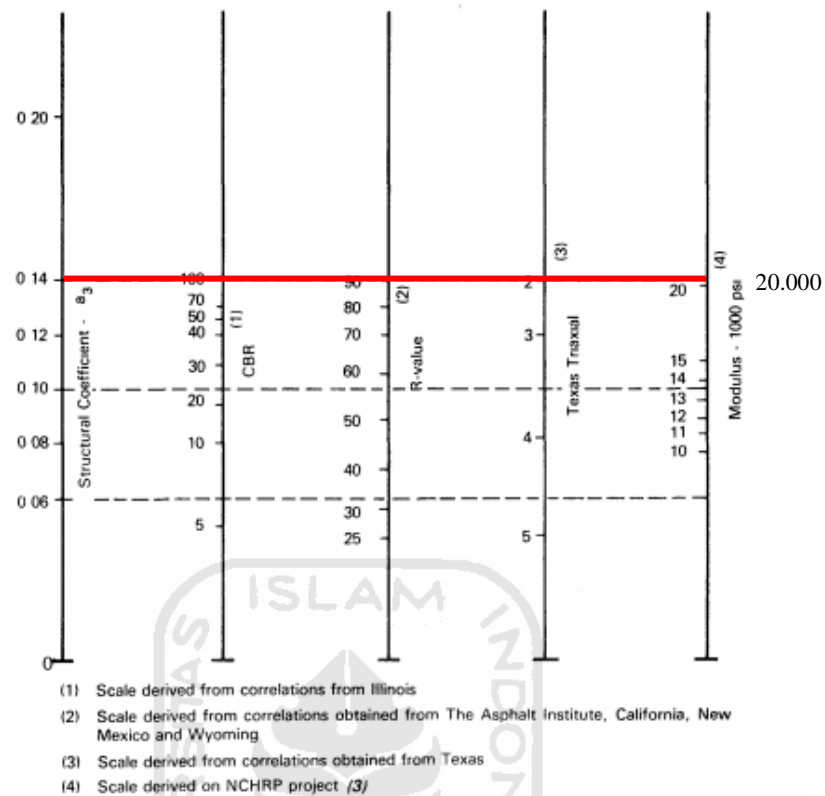


Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient ( $a_3$ ) with Various Subbase Strength Parameters (3)

Gambar 5.3 Nomogram Koefisien Lapis  $a_3$

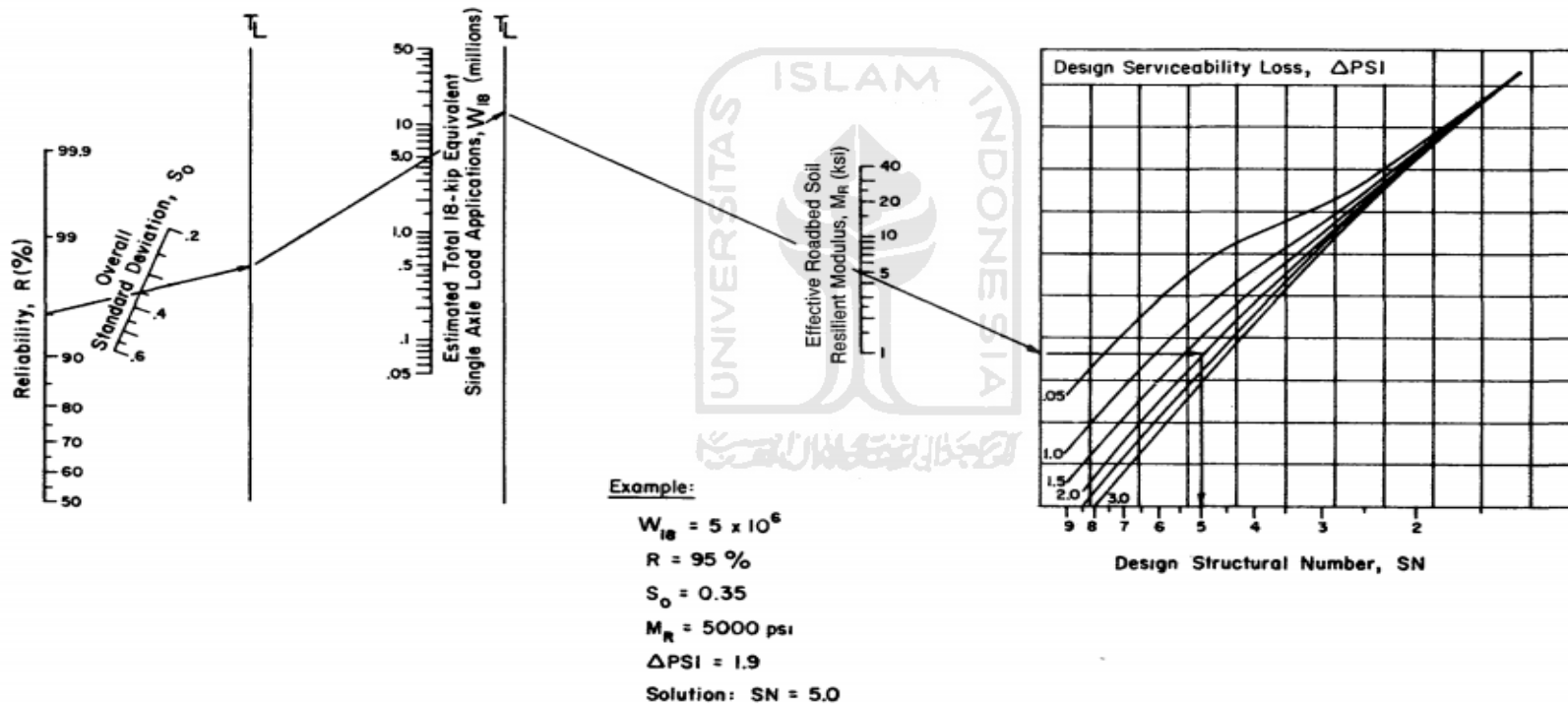
### 5.2.8 Menghitung *Structural Number* (SN)

*Structural number* didapatkan dari nomogram pada Gambar 5.4 atau Persamaan 3.4 untuk mencari tebal dari setiap lapisan. Data yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai SN adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S_o &= 0,45 \\
 R &= 85\% \\
 W_{18} &= 38244091,45 \\
 \Delta PSI &= 1,7 \\
 EBS &= 30000 \\
 ESB &= 20000 \\
 ZR &= -1,037 \\
 MR &= 1500 \times 4,83\% \\
 &= 7245
 \end{aligned}$$

NOMOGRAPH SOLVES:

$$\log_{10} \frac{W}{18} = z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$



Gambar 5. 4 Nomogram Nilai *Structural Number*

Nilai SN yang dihitung menggunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$1. \quad \text{Log } 38244091,45 = -1,037 \times 0,45 + 9,36 \log (\text{SN}+1) - 0,2 + \left[ \frac{\log \frac{1,7}{4,2-1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] \\ + 2,32 \log 7245 - 8,07$$

$$7,583 = -0,46665 + 9,36 \log (\text{SN}+1) - 0,2 + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] + 8,96 - 8,07$$

$$7,583 + 0,46665 + 0,2 - 8,96 + 8,07 = 9,36 \log (\text{SN}+1) + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$7,36 = 9,36 \log (\text{SN}+1) + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$\text{SN} = 5,821$$

$$2. \quad \text{Log } 38244091,45 = -1,037 \times 0,45 + 9,36 \log (\text{SN}+1) - 0,2 + \left[ \frac{\log \frac{1,7}{4,2-1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] \\ + 2,32 \log 20000 - 8,07$$

$$7,583 = -0,46665 + 9,36 \log (\text{SN}+1) - 0,2 + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] + 9,9784 - 8,07$$

$$7,583 + 0,46665 + 0,2 - 9,9784 + 8,07 = 9,36 \log (\text{SN}+1) + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$6,3412 = 9,36 \log (\text{SN}+1) + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$\text{SN} = 4,153$$

$$3. \quad \text{Log } 38244091,45 = -1,037 \times 0,45 + 9,36 \log (\text{SN}+1) - 0,2 + \left[ \frac{\log \frac{1,7}{4,2-1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] \\ + 2,32 \log 30000 - 8,07$$

$$7,583 = -0,46665 + 9,36 \log (\text{SN}+1) - 0,2 + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] + 10,3869 - 8,07$$

$$7,583 + 0,46665 + 0,2 - 10,387 + 8,07 = 9,36 \log (\text{SN}+1) + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$5,9327 = 9,36 \log (\text{SN}+1) + \left[ \frac{-0,2009}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$\text{SN} = 3,575$$

### 5.2.9 Menghitung Tebal Lapis Perkerasan

Setelah mendapatkan nilai SN dan koefisien lapisan, maka tebal perkerasan bisa dihitung menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

#### 1. *Surface Course*

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 + a_3 \times D_3$$

$$3,575 = 0,4 \times D_1 + 0,4 \times 1,5748 + 0,4 \times 2,362$$

$$3,575 = 0,4D_1 + 0,629 + 0,9448$$

$$D_1 = 5,003 \text{ in} = 12,707 \text{ cm} \rightarrow 12 \text{ cm}$$

#### 2. *Base Course*

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2$$

$$4,153 = ((0,4 \times 5,003) + (0,4 \times 1,5748) + (0,4 \times 2,362)) + (0,14 \times D_2 \times 1,11475)$$

$$4,153 = 3,576 + 0,156D_2$$

$$D_2 = 3,69 \text{ in} = 9,39 \text{ cm} \rightarrow 9 \text{ cm}$$

#### 3. *Sub Base Course*

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

$$5,821 = ((0,4 \times 5,003) + (0,4 \times 1,5748) + (0,4 \times 2,362)) + (0,14 \times 3,69 \times 1,11475) + (0,14 \times D_3 \times 1,11475)$$

$$5,821 = 3,575 + 0,575 + 0,156D_3$$

$$D_3 = 10,71 \text{ in} = 27,21 \text{ cm} \rightarrow 25 \text{ cm}$$

Tebal lapis perkerasan berdasarkan hitungan diatas adalah sebagai berikut.

$$AC-WC = 4 \text{ cm}$$

$$AC-BC = 6 \text{ cm}$$

$$\text{Laston MS 744} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Batu Pecah (Kelas A)} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{Sirtu (Kelas A)} = 25 \text{ cm}$$

### 5.3 Analisis Perkerasan dengan Program *KENPAVE*

Hasil tebal perkerasan yang sudah dihitung selanjutnya dianalisis kembali menggunakan program *KENPAVE* bagian *KENLAYER* untuk mengetahui nilai tegangan dan regangannya. Data yang dibutuhkan dalam analisis menggunakan program *KENPAVE* ini bisa dilihat pada Tabel 5.8 untuk hasil perkerasan dari Bina Marga 2017 dan Tabel 5.9 untuk hasil perkerasan dari *AASHTO* 1993

**Tabel 5. 8 Data Parameter untuk Program *KENPAVE* dari Bina Marga 2017**

Lapis Perkerasan	Modulus elastisitas, E (kPa)	<i>Poisson ratio</i> , $\mu$	Tebal Perkerasan (cm)
<i>AC WC</i>	1.100.000	0,35	4
<i>AC BC</i>	1.200.000	0,35	6
<i>AC Base</i>	1.600.000	0,35	12,5
<i>CTB</i>	500.000	0,35	15
LPA Kelas A	250.000	0,4	15
<i>Subgrade</i>	150.000	0,45	$\infty$

**Tabel 5. 9 Data Parameter untuk Program *KENPAVE* dari *AASHTO* 1993**

Lapis Perkerasan	Modulus elastisitas, E (kPa)	<i>Poisson ratio</i> , $\mu$	Tebal Perkerasan (cm)
<i>AC WC</i>	1.100.000	0,35	4
<i>AC BC</i>	1.200.000	0,35	6
Laston	1.600.000	0,35	12
Batu Pecah	315.000	0,35	9
Sirtu	250.000	0,4	25
<i>Subgrade</i>	150.000	0,45	$\infty$

#### 5.3.1 Analisis Hasil Tebal Perkerasan pada Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993

Langkah-langkah yang dilakukan pada program *KENPAVE* adalah mengisi data yang dibutuhkan pada menu *LAYERINP*. Data-data tersebut adalah sebagai berikut.



1. *General.*

Pada bagian input data ini bisa dilihat berdasarkan Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5. 10 Data Input Menu General**

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	BM17	Diisi dengan nama judul
MATL	1	Lapisan perkerasan yang dianalisis lapisan linier
NDAMA	0	Tidak ada analisis kerusakan
NPY	1	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
NLG	1	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	5	Jumlah lapisan perkerasan
NZ	5	Letak koordinat arah Z yang dianalisis
ICL	80	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
NSDT	9	<i>Output</i> berupa tegangan, regangan, dan <i>vertical displacement</i>
NBOND	1	Semua lapisan saling mengikat
NLBT	0	
NLTC	0	
NUNIT	1	Satuan yang digunakan Standar Internasional (SI)

2. *Zcoord*

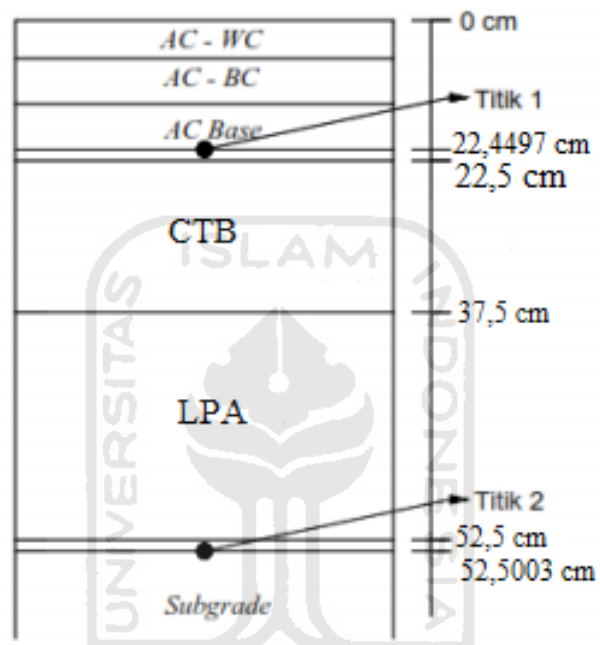
Pada bagian ini, kita memasukkan titik dan jarak arah Z yang ingin dianalisis oleh program. Titik kerusakan yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 dimana titik 1 yang ada di lapisan permukaan (*surface*) merupakan letak kerusakan *fatigue cracking* dan letak kerusakan *deformation* ada di titik 2.

**Tabel 5. 11 Data Koordinat *Zcoord* untuk Bina Marga 2017**

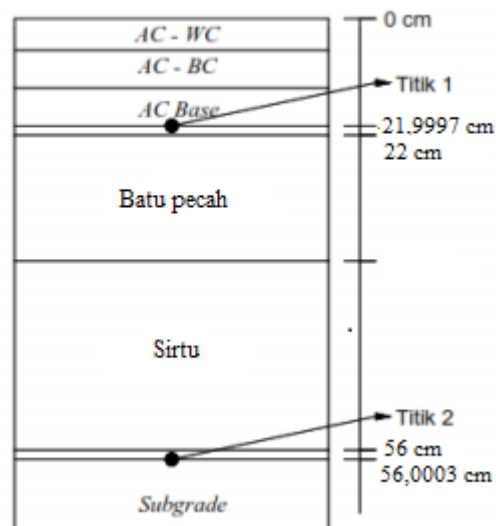
No	Kedalaman (cm)
1	0
2	22,4997
3	22,5
4	52,5
5	52,5003

Tabel 5. 12 Data Koordinat *Zcoord* untuk *AASHTO* 1993

No	Kedalaman (cm)
1	0
2	21,9997
3	22
4	56
5	56,0003



Gambar 5. 5 Titik Kerusakan yang Ditinjau (Bina Marga 2017)

Gambar 5.6 Titik Kerusakan yang Ditinjau (*AASHTO* 1993)

### 3. *Layer*

Menu ini diisi berdasarkan jumlah layer yang sudah ada pada menu *general*. Parameter yang akan diisi adalah tebal perkerasan dan *poisson ratio* yang bisa dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9.

### 4. *Moduli*

Nilai modulus elastisitas pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 tiap lapisan diisi pada menu ini.

### 5. *Load*

Penentuan beban kendaraan yang digunakan di Indonesia adalah sebagai berikut.

- a. Beban sumbu standar 8160 kg
- b. Radius kontak pembebanan (CR) 11 cm, dilihat berdasarkan jarak antar ban
- c. Nilai tekanan satu ban (CP) 550 kPa atau 0,55 Mpa
- d. Jarak sumbu ronda ganda arah Y (YW) 33 cm
- e. Jarak sumbu roda ganda arah X (XW) 0 cm
- f. Jumlah pengulangan beban berdasarkan jumlah *tire spacing* (NPT) adalah 3
- g. Nilai koordinat tinjauan berdasarkan jenis roda dapat dilihat pada Tabel 5.13

**Tabel 5. 13 Koordinat XPT dan YPT**

<b>Koordinat Tinjauan</b>	<b>XPT (cm)</b>	<b>YPT (cm)</b>
1	0	0
2	0	10
3	0	16,5

#### 5.3.2 Hasil Analisis *KENLAYER*

Setelah mengisi data-data yang dibutuhkan pada menu *LAYERINP*, selanjutnya disimpan dan kembali ke menu utama. Klik menu *KENLAYER* untuk mengeksekusi hasil data yang sudah dimasukkan dan hasilnya bisa dilihat pada

menu Editor. Rekapitulasi hasil nilai tegangan dan regangan pada perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan 5.15

**Tabel 5.14 Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain* dari Bina Marga 2017**

No.	<i>Vertical Strain</i> di 22,4997 cm ( $\times 10^{-5}$ )	<i>Vertical Strain</i> di 52,5003 cm ( $\times 10^{-5}$ )	<i>Horizontal Strain</i> di 22,4997 cm ( $\times 10^{-5}$ )
1	12,76	12,4	9,185
2	11,14	13,41	9,475
3	10,08	13,59	9,371
Maksimum	12,76	13,59	9,475

**Tabel 5.15 Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain* dari AASHTO 1993**

No.	<i>Vertical Strain</i> di 21,9997 cm ( $\times 10^{-5}$ )	<i>Vertical Strain</i> di 56,0003 cm ( $\times 10^{-5}$ )	<i>Horizontal Strain</i> di 21,9997 cm ( $\times 10^{-5}$ )
1	16,65	17,61	14,56
2	15,06	19	15,09
3	13,91	19,25	14,98
Maksimum	16,65	19,25	15,09

1. Perhitungan nilai Nf dan Nd pada perkerasan metode Bina Marga.
  - a. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* menggunakan nilai maksimum *horizontal strain* di 22,4997 cm.
 
$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} | E^* |^{-0,854} \quad (5.1)$$

$$= 0,0796 (0,00009475)^{-3,921} | 1100000 |^{-0,854}$$

$$= 3.291.520.758 \text{ ESAL}$$
  - b. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *rutting* menggunakan nilai maksimum *vertical strain* di koordinat 22,4997 cm.
 
$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_s} \quad (5.2)$$

$$= 1,365 \times 10^{-9} (0,0001276)^{-4,477}$$

$$= 370.884.925,7 \text{ ESAL}$$
  - c. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* menggunakan nilai maksimum *vertical strain* di koordinat 52,5003 cm

$$\begin{aligned}
 Nd &= f_4 (\epsilon_c)^{-fs} & (5.3) \\
 &= 1,365 \times 10^{-9} (0,0001359)^{-4,477} \\
 &= 279.710.740,9 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai Nf dan Nd pada perkerasan metode *AASHTO* 1993
- a. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* menggunakan nilai maksimum *horizontal strain* di 21,9997 cm.

$$\begin{aligned}
 Nf &= 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} | E^* |^{-0,854} \\
 &= 0,0796 (0,0001509)^{-3,921} | 1100000 |^{-0,854} \\
 &= 530.790.578,4 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

- b. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *rutting* menggunakan nilai maksimum *vertical strain* di koordinat 21,9997 cm.

$$\begin{aligned}
 Nd &= f_4 (\epsilon_c)^{-fs} \\
 &= 1,365 \times 10^{-9} (0,0001665)^{-4,477} \\
 &= 112.683.702,6 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

- c. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* menggunakan nilai maksimum *vertical strain* di koordinat 56,0003 cm

$$\begin{aligned}
 Nd &= f_4 (\epsilon_c)^{-fs} \\
 &= 1,365 \times 10^{-9} (0,0001925)^{-4,477} \\
 &= 58.848.616,32 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan diatas, didapatkan nilai Nf dan Nd untuk dianalisa dengan beban lalu lintas rencana (Nr) agar dapat mengetahui tebal perkerasan yang sudah direncanakan mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana.

**Tabel 5.16 Analisa Beban Lalu Lintas (Bina Marga 2017)**

Beban lalu lintas rencana (Nr)	Repetisi beban (ESAL)		Analisa beban lalu lintas
59.940.523,79	Nf	3.291.520.758	Nf > Nr (ok)
59.940.523,79	Nd	370.884.925,7	Nd > Nr (ok)
59.940.523,79	Nd	279.710.740,9	Nd > Nr (ok)

**Tabel 5.17 Analisa Beban Lalu Lintas (AASHTO 1993)**

Beban lalu lintas rencana (Nr)	Repetisi beban (ESAL)		Analisa beban lalu lintas
	Nf	Nd	
36.492.453,67	Nf	530.790.578,4	Nd > Nr (ok)
36.492.453,67	Nd	112.683.702,6	Nd > Nr (ok)
36.492.453,67	Nd	58.848.616,32	Nd > Nr (ok)

#### 5.4 Alternatif Tebal Lapis Perkerasan

Setelah melakukan analisis perhitungan menggunakan program *KENPAVE*, selanjutnya dilakukan percobaan desain tebal lapis perkerasan dengan melakukan alternatif tebal perkerasan untuk mendapatkan angka minimum dari nilai Nf dan Nd sehingga didapatkan tebal perkerasan minimum yang masih memenuhi syarat tegangan dan regangan sesuai umur rencana. Rekapitulasi hasil tebal perkerasan yang sudah didapatkan dan tebal eksisting bisa dilihat pada Tabel 5.18

**Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Tebal Perkerasan**

Eksisting	Lapis Perkerasan	
	Surface	Base
Eksisting	Surface	8 cm
	Base	30 cm
	Sub Base	40 cm
Bina Marga 2017	Surface	22,5 cm
	Base	15 cm
	Sub Base	15 cm
AASHTO 1993	Surface	22 cm
	Base	9 cm
	Sub Base	25 cm

Dari data rekapitulasi tebal perkerasan pada Tabel 5.18 di *input* pada program *KENLAYER*, maka akan menghasilkan output nilai tegangan regangan yang disajikan pada Tabel 5.19

**Tabel 5. 19 Vertical Strain dan Horizontal Strain pada Tebal Perencanaan**

Eksisting	<i>Horizontal Strain (Fatiugue cracking)</i>	0,00006775
		0,00002635
		0,00002648
	Maksimum	0,00006775
	<i>Vertical Strain (Rutting)</i>	0,0002406
		0,0001223
		0,0000217
	Maksimum	0,0002406
	<i>Vertical Strain (Permanent Deformation)</i>	0,00005506
0,00005802		
0,00005855		
Maksimum		0,00005855
Bina Marga 2017	<i>Horizontal Strain (Fatiugue cracking)</i>	0,00009185
		0,00009475
		0,00009371
	Maksimum	0,00009475
	<i>Vertical Strain (Rutting)</i>	0,0001276
		0,0001114
		0,0001008
	Maksimum	0,0001276
	<i>Vertical Strain (Permanent Deformation)</i>	0,000124
0,0001341		
0,0001359		
Maksimum		0,0001359
AASHTO 1993	<i>Horizontal Strain (Fatiugue cracking)</i>	0,0001456
		0,0001509
		0,0001498
	Maksimum	0,0001509
	<i>Vertical Strain (Rutting)</i>	0,0001665
		0,0001506
		0,0001391
	Maksimum	0,0001665
	<i>Vertical Strain (Permanent Deformation)</i>	0,0001761
0,00019		
0,0001925		
Maksimum		0,0001925

1. Alternatif perkerasan untuk metode Bina Marga 2017

Percobaan desain alternatif perkerasan dilakukan dengan cara melakukan reduksi tebal yang sudah didapatkan secara bertahap sehingga mendapatkan tebal minimum yang masih memenuhi syarat tegangan regangan yang sesuai dengan

umur rencana. Berikut alternatif tebal lapis perkerasan untuk metode Bina Marga 2017 disajikan pada Tabel 5.20

**Tabel 5.20 Alternatif Tebal Perkerasan Metode Bina Marga 2017**

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan				
	Bina Marga 2017	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
<i>Surface</i>	22,5 cm	22,5 cm	22,5 cm	22,5 cm	20 cm
<i>Base</i>	15 cm	10 cm	10 cm	8 cm	10 cm
<i>Sub base</i>	15 cm	15 cm	10 cm	10 cm	10 cm

Setelah proses *input* data pada Tabel 5.20 dilakukan, hasil *output* berupa tegangan dan regangan pada program *KENLAYER* disajikan pada Tabel 5.21

**Tabel 5. 21 Vertical Strain dan Horizontal Strain pada Tebal Alternatif (Bina Marga 2017)**

	Bina Marga 2017 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 1 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 2 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 3 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 4 ( $\times 10^{-5}$ )
<i>Horizontal Strain</i>	9,185	8,826	9,334	9,175	9,929
	9,475	9,070	9,594	9,409	9,995
	9,371	8,957	9,484	9,293	9,77
Maksimum	9,475	9,070	9,594	9,409	9,995
<i>Vertical Strain (Rutting)</i>	12,76	12,55	12,79	12,69	14,47
	11,14	10,81	11,06	10,89	11,58
	10,08	9,711	11,04	9,771	9,889
Maksimum	12,76	12,55	12,79	12,69	14,47
<i>Vertical Strain (Permanent Deformation)</i>	12,4	14,12	16,63	17,66	18,41
	13,41	15,28	17,94	18,99	19,83
	13,59	15,48	18,14	19,17	20,02
Maksimum	13,59	15,48	18,14	19,17	20,02

Dari nilai *vertical* dan *horizontal strain*, didapatkan nilai maksimum dari masing-masing tegangan regangan untuk mencari nilai  $N_f$  dan  $N_d$  menggunakan Persamaan 5.1, Persamaan 5.2, dan Persamaan 5.3. Hasil perhitungan untuk mengetahui *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Gambar 5.7. Nilai  $N_f$  dan  $N_d$  bisa dilihat pada Tabel 5.23.



**Tabel 5.22 Regangan pada Jenis Kerusakan (Bina Marga 2017)**

Jenis Kerusakan	Bina Marga 2017 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 1 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 2 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 3 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 4 ( $\times 10^{-5}$ )
<i>Fatigue cracking</i>	9,475	9,070	9,594	9,409	9,995
<i>Rutting</i>	12,76	12,55	12,79	12,69	14,47
<i>Permanent Deformation</i>	13,59	15,48	18,14	19,17	20,02

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban (Bina Marga 2017)**

Alternatif	Beban lalu lintas rencana (Nr)	Repetisi beban (ESAL)		Keterangan
Bina Marga 2017	62.817.668,93 ESAL	Nf	1.229.534.437	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	288.156.466,4	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	847.236.929,6	Nd > Nr (ok)
1	62.817.668,93 ESAL	Nf	3.906.479.432	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	399.488.876	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	156.144.999,2	Nd > Nr (ok)
2	62.817.668,93 ESAL	Nf	3.134.316.403	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	367.006.050	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	76.773.888,32	Nd > Nr (ok)
3	62.817.668,93 ESAL	Nf	3.382.982.681	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	380.132.471,5	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	59.956.110,59	Nd > Nr (ok)
4	62.817.668,93 ESAL	Nf	2.669.410.484	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	211.210.272	Nd > Nr (ok)
	62.817.668,93 ESAL	Nd	49.371.690,28	Nd < Nr (no)

## 2. Alternatif perkerasan untuk metode AASHTO 1993

Percobaan desain alternatif perkerasan dilakukan dengan cara melakukan reduksi tebal yang sudah didapatkan secara bertahap sehingga mendapatkan tebal minimum yang masih memenuhi syarat tegangan regangan yang sesuai dengan umur rencana. Berikut alternatif tebal lapis perkerasan untuk metode AASHTO 1993 disajikan pada Tabel 5.24

**Tabel 5.24 Alternatif Tebal Perkerasan Metode AASHTO 1993**

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan				
	AASHTO 1993	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
<i>Surface</i>	22 cm	21 cm	20 cm	21 cm	20 cm
<i>Base</i>	9 cm	9 cm	9 cm	9 cm	9 cm
<i>Sub base</i>	25 cm	24 cm	25 cm	23 cm	20 cm

Setelah proses *input* data pada Tabel 5.24 dilakukan, hasil *output* berupa tegangan dan regangan pada program *KENLAYER* disajikan pada Tabel 5.25

**Tabel 5. 25 Vertical Strain dan Horizontal Strain pada Tebal Alternatif (AASHTO 1993)**

	AASHTO 1993 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 1 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 2 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 3 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 4 ( $\times 10^{-5}$ )
<i>Horizontal Strain</i>	14,56	15,37	16,2	15,4	16,34
	15,09	15,84	16,59	15,87	16,73
	14,98	15,69	16,37	15,72	16,52
Maksimum	15,09	15,84	16,59	15,87	16,73
<i>Vertical Strain (Rutting)</i>	16,65	17,66	18,73	17,68	18,84
	15,06	15,63	16,17	15,65	16,28
	13,91	14,24	14,49	14,26	14,6
Maksimum	16,65	17,66	18,73	17,68	18,84
<i>Vertical Strain (Permanent Deformation)</i>	17,61	18,73	19,09	19,15	21,38
	19	20,25	20,66	20,72	23,21
	19,25	20,53	20,95	21,01	23,53
Maksimum	19,25	20,53	20,95	21,01	23,53

Dari nilai *vertical* dan *horizontal strain*, didapatkan nilai maksimum dari masing-masing tegangan regangan untuk mencari nilai  $N_f$  dan  $N_d$  menggunakan Persamaan 5.1, Persamaan 5.2, dan Persamaan 5.3. Hasil perhitungan untuk mengetahui *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan Gambar 5.8. Nilai  $N_f$  dan  $N_d$  bisa dilihat pada Tabel 5.27.

**Tabel 5.26 Regangan pada Jenis Kerusakan (AASHTO 1993)**

Jenis Kerusakan	AASHTO 1993 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 1 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 2 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 3 ( $\times 10^{-5}$ )	Alternatif 4 ( $\times 10^{-5}$ )
<i>Fatigue cracking</i>	15,09	15,84	15,87	16,59	16,73
<i>Rutting</i>	16,65	17,66	17,68	18,73	18,84
<i>Permanent Deformation</i>	19,255	20,53	21,01	20,95	23,53

**Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban (AASHTO 1993)**

Alternatif	Beban lalu lintas rencana (Nr)	Repitisi beban (ESAL)		Keterangan
		Nf	Nd	
AASHTO 1993	36.492.453,67 ESAL	Nf	530.790.578,4	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	112.683.702,6	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	58.848.616,32	Nd > Nr (ok)
1	36.492.453,67 ESAL	Nf	438.857.641,3	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	86.567.582,77	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	44.113.074,26	Nd > Nr (ok)
2	36.492.453,67 ESAL	Nf	435.613.755,2	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	86.130.024,42	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	39.776.925,76	Nd > Nr (ok)
3	36.492.453,67 ESAL	Nf	366.054.740,1	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	66.524408,55	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	40.289.489,18	Nd > Nr (ok)
4	36.492.453,67 ESAL	Nf	354.189.865,2	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	64.803.053,32	Nd > Nr (ok)
	36.492.453,67 ESAL	Nd	23.954.178,61	Nd < Nr (no)

## 5.5 Pembahasan

Dari analisis perhitungan tebal lapis perkerasan lentur pada jalan Milir-Sentolo dengan menggunakan metode Bina Marga 2017, AASHTO 1993, dan program *KENPAVE* bisa diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Tebal perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017
2. Tebal perkerasan lentur menggunakan metode AASHTO 1993
3. Alternatif desain berdasarkan metode mekanistik-empiris (*KENPAVE*)
4. Perbandingan kedua metode dengan metode mekanistik-empiris
  - a. Perbandingan hasil desain
  - b. Perbandingan tegangan regangan yang terjadi
  - c. Perbandingan jenis kerusakan yang terjadi

### 5.4.1 Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2017

Perencanaan tebal lapis perkerasan jalan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017 ini tidak berbeda jauh dengan Bina Marga 2013. Metode ini menggunakan nilai *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)* dalam menentukan tebal dan tipe perkerasan. Selain itu, metode ini juga sangat mudah untuk digunakan karena prosedurnya bisa diikuti pada buku pedoman manual perkerasan jalan nomor 04/SE/Db/2017. Dari perhitungan yang sudah dilakukan

sebelumnya didapatkan tebal lapis permukaan *AC WC* sebesar 4 cm, *AC BC* sebesar 6 cm, *AC Base* sebesar 12,5 cm, lapis fondasi atas (*CTB*) dan lapis fondasi bawah (*LPA Kelas A*) masing-masing sebesar 15 cm, sehingga didapatkan perkerasan total sebesar 52,5 cm.

#### 5.4.2 Tebal Perkerasan lentur dengan Metode *AASHTO* 1993

Perencanaan tebal perkerasan metode ini menggunakan nilai  $w_{18}$  untuk desain beban sumbu lalu lintas. Metode ini sangat jarang digunakan di Indonesia. Dari analisis sebelumnya, didapatkan hasil tebal lapis permukaan *AC WC* sebesar 4 cm, *AC WC* sebesar 6 cm, Laston MS 744 sebesar 12 cm, lapis fondasi atas menggunakan batu pecah kelas A sebesar 9 cm, dan lapis fondasi bawah menggunakan sirtu kelas A sebesar 25 cm sehingga total tebal perkerasan menggunakan metode ini sebesar 56 cm.

#### 5.4.3 Alternatif desain berdasarkan metode mekanistik-empiris (*KENPAVE*)

Hasil tebal perkerasan yang dihitung menggunakan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 dikontrol dengan program *KENPAVE* menyatakan bahwa kedua desain tersebut sangat mampu dan aman dalam menahan beban selama umur rencana. Oleh karena itu, dilakukan penambahan alternatif desain tebal perkerasan menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai tebal optimum lapis perkerasan yang mampu menahan beban selama umur rencana.

Penelitian oleh Marita dan Fauziah (2018) melakukan hal yang sama untuk mendapatkan tebal perkerasan yang nilai repetisi bebannya mendekati nilai repetisi beban rencana sehingga bisa mendapatkan tebal perkerasan yang bisa menahan beban sesuai dengan umur rencana. Tabel 5.23 dan Tabel 5.27 menunjukkan hal yang sama bahwa semakin kecil tebal perkerasan suatu lapisan, maka semakin kecil nilai repetisi beban yang dihasilkan. Pernyataan ini sama dengan hasil kajian yang dilakukan oleh Nathasya (2012).

Alternatif desain tebal perkerasan ini dilakukan dengan cara mereduksi tiap tebal lapis perkerasan dari hasil desain kedua metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993. Pada Tabel 5.20 dan Tabel 5.24 disajikan 4 alternatif yang diperoleh tebal optimal untuk metode Bina Marga 2017 adalah 22,5 cm untuk lapis

permukaan, 8 cm untuk lapis fondasi atas, dan 10 cm untuk lapis fondasi bawah. Pada metode *AASHTO* 1993 tebal optimal yang didapatkan adalah 21 cm untuk lapis permukaan, 9 cm untuk lapis fondasi atas, dan 23 cm untuk lapis fondasi bawah.

#### 5.4.4 Perbandingan Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 dengan Metode Mekanistik-Empiris (*KENPAVE*)

##### 1. Perbandingan hasil desain

Hasil analisis perencanaan tebal perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 dan metode mekanik-empiris menggunakan program *KENPAVE* dapat diperoleh hasil sebagai berikut.

##### a. Metode Bina Marga 2017

*Surface* = 22,5 cm

*Base* = 15 cm

*Sub Base* = 15 cm

##### b. Metode *AASHTO* 1993

*Surface* = 22 cm

*Base* = 9 cm

*Sub Base* = 25 cm

##### c. Metode mekanik-empiris program *KENPAVE*

Hasil analisis tebal perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 didapatkan hasil tegangan regangan menggunakan program *KENPAVE* yang selanjutnya di analisis kembali untuk mendapatkan nilai  $N_d$  dan  $N_f$ . Dari hasil tersebut kedua desain diprediksi mampu menahan beban selama umur rencana. Dari hasil kedua metode tersebut didapatkan beberapa alternatif perkerasan sehingga didapatkan tebal perkerasan optimal. Berikut tebal alternatif yang didapatkan dari metode Bina Marga 2017.

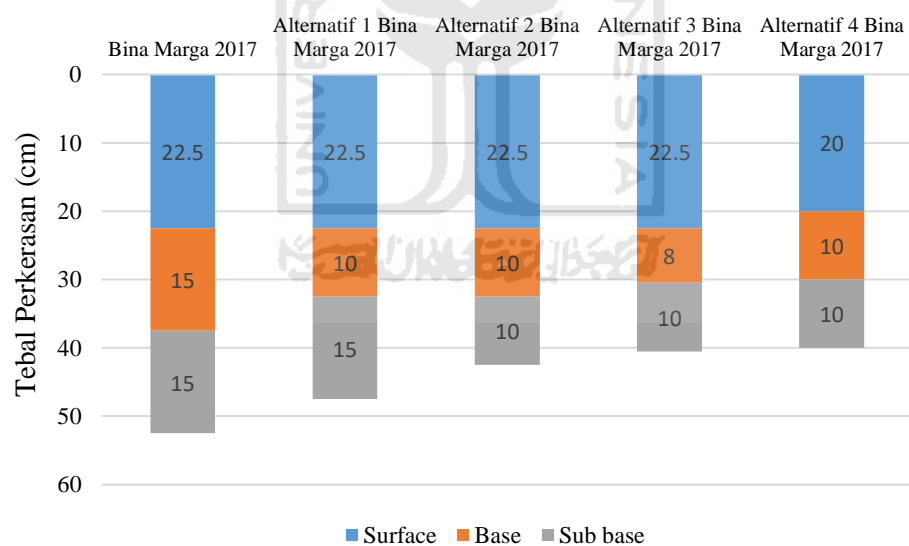
##### 1) Alternatif 1

*Surface* = 22,5 cm

*Base* = 10 cm

*Sub Base* = 15 cm

- 2) Alternatif 2
- Surface* = 22,5 cm
- Base* = 10 cm
- Sub Base* = 10 cm
- 3) Alternatif 3
- Surface* = 22,5 cm
- Base* = 8 cm
- Sub Base* = 10 cm
- 4) Alternatif 4
- Surface* = 20 cm
- Base* = 10 cm
- Sub Base* = 10 cm



**Gambar 5. 7 Alternatif Desain Tebal Perkerasan (Bina Mirga 2017)**

Gambar 5.7 diatas menunjukkan bahwa perkerasan tiap alternatif mengalami pengurangan secara bertahap. Perkerasan alternatif 1 sampai dengan alternatif 3 didapatkan bahwa masih aman untuk menahan beban selama umur rencana, namun pada saat dilakukan reduksi tebal yaitu alternatif 4 diperoleh bahwa akan mengalami kerusakan *permanent deformation* karena nilai  $N_d < N_r$ .

Tebal perkerasan alternatif yang diperoleh dari metode *AASHTO* 1993 adalah sebagai berikut.

1) Alternatif 1

*Surface* = 21 cm

*Base* = 9 cm

*Sub base* = 24 cm

2) Alternatif 2

*Surface* = 20 cm

*Base* = 9 cm

*Sub base* = 25 cm

3) Alternatif 3

*Surface* = 21 cm

*Base* = 9 cm

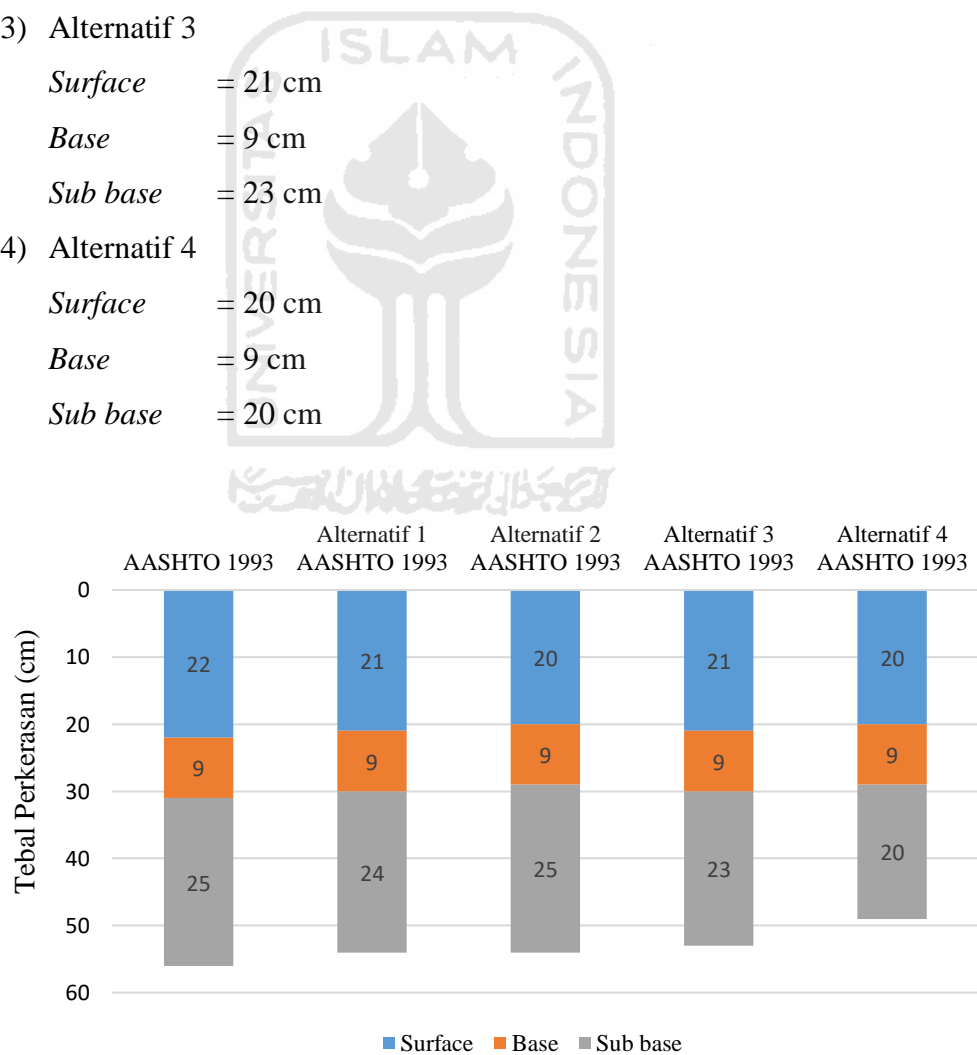
*Sub base* = 23 cm

4) Alternatif 4

*Surface* = 20 cm

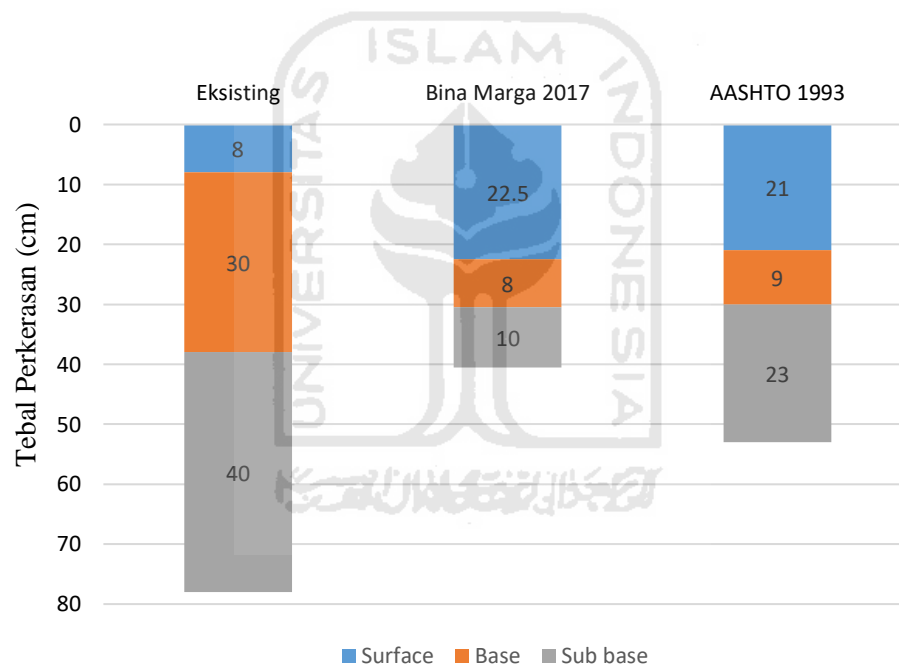
*Base* = 9 cm

*Sub base* = 20 cm



**Gambar 5.8 Alternatif Desain Tebal Perkerasan (*AASHTO* 1993)**

Pada tebal perkerasan alternatif untuk metode *AASHTO* 1993 hasilnya sama seperti pada metode Bina Marga 2017 dimana alternatif 1 sampai alternatif 3 hasilnya bisa menahan beban sampai umur rencana, sedangkan untuk alternatif 4 desain ini mengalami kerusakan *permanent deformation*. Grafik tebal perkerasan alternatif bisa dilihat pada Gambar 5.8. Jika dilihat dari tebal yang didapatkan, hasilnya sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Ulya (2017) dimana tebal perkerasan yang didapatkan menggunakan metode Bina Marga lebih kecil dibandingkan dengan metode *AASHTO* 1993. Desain tebal perkerasan optimal yang sudah didapatkan dari metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 bisa dilihat pada Gambar 5.9



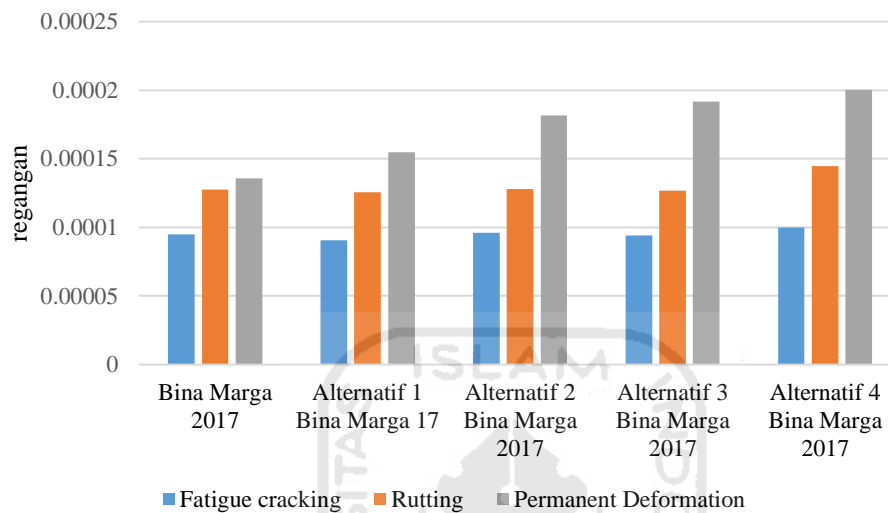
**Gambar 5.9 Tebal Perkerasan Optimal dan Eksisting**

## 2. Perbandingan regangan yang terjadi

Perencanaan tebal perkerasan dengan metode mekanis-empiris dikontrol menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan. Pada hasil tebal perkerasan metode Bina Marga 2017 didapatkan nilai regangan yang menyebabkan kerusakan *fatigue cracking* sebesar 0,00009475; penyebab kerusakan *rutting* sebesar 0,0001276; dan *permanent deformation*

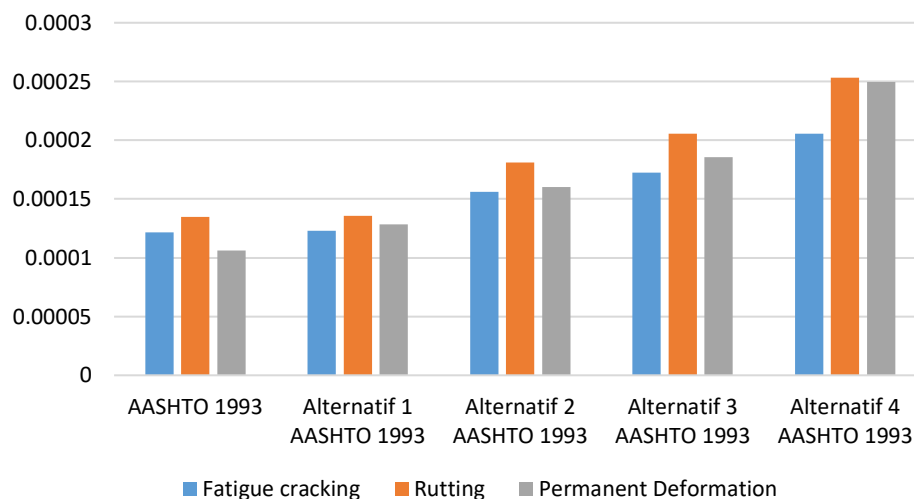


sebesar 0,0001359. Nilai repetisi beban yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa desain ini lebih besar dari beban lalu lintas rencana sehingga aman dan mampu menahan beban lebih dari umur rencana yaitu 20 tahun. Pada desain tebal alternatif juga tegangan dan regangan yang terjadi bisa dilihat pada grafik Gambar 5.10



**Gambar 5.10 Regangan pada Jenis Kerusakan (Bina Marga 2017)**

Pada hasil perkerasan menggunakan metode *AASHTO* 1993 didapatkan nilai regangan yang menyebabkan kerusakan *fatigue cracking* sebesar 0,0001509; penyebab kerusakan *rutting* sebesar 0,0001665; dan *permanent deformation* sebesar 0,00019255. Dari nilai tersebut, bisa diprediksi bahwa urutan kerusakan yang akan terjadi adalah *permanent deformation*, *rutting*, kemudian *fatigue cracking*. Nilai repetisi beban yang didapatkan juga menunjukkan bahwa desain ini akan mampu menahan beban lalu lintas lebih dari 20 tahun (umur rencana) karena lebih besar dari beban lalu lintas rencana sebesar 36.492.453,67 ESAL. Tegangan dan regangan yang terjadi pada desain tebal alternatif juga bisa dilihat pada grafik Gambar 5.11



**Gambar 5. 11 Regangan pada Jenis Kerusakan (AASHTO 1993)**

Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 menunjukkan bahwa urutan kerusakan yang terjadi pada kedua metode tersebut adalah sama, yaitu kerusakan *permanent deformation*, *rutting*, lalu *fatigue cracking*. Hasil penelitian ini sama seperti kajian yang dilakukan oleh Yulianto (2019) dimana nilai regangan untuk kerusakan *permanent deformation* paling besar diantara kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*.

### 3. Perbandingan jenis kerusakan yang terjadi

Jenis kerusakan seperti *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* bisa diketahui dari nilai tegangan regangan masing-masing alternatif desain. Pada Gambar 5.9 nilai urutan regangan dari yang paling tinggi untuk metode Bina Marga 2017 ada pada jenis kerusakan *permanent deformation*, *rutting*, lalu *fatigue*. Urutan kerusakan ini terjadi pada semua desain tebal perkerasan dari metode Bina Marga 2017 sampai semua alternatif perkerasan. Pada grafik Gambar 5.10 nilai regangan tertinggi untuk metode *AASHTO 1993* ada pada jenis kerusakan *permanent deformation*. Perkerasan alternatif untuk metode *AASHTO 1993*, urutan kerusakan yang terjadi *permanent deformation*, *rutting*, *fatigue*.

Adapun ringkasan dari perbedaan ketiga metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut.

**Tabel 5.28 Rekapitulasi Perbandingan Metode**

<b>No.</b>	<b>Tinjauan</b>	<b>Bina Marga 2017</b>	<b>AASHTO 1993</b>
1	Hasil perkerasan	<i>Surface</i> = 22,5 cm <i>Base</i> = 15 cm <i>Sub base</i> = 15 cm	<i>Surface</i> = 22 cm <i>Base</i> = 9 cm <i>Sub base</i> = 25 cm
2	Perkerasan optimal	<i>Surface</i> = 22,5 cm <i>Base</i> = 8 cm <i>Sub base</i> = 10 cm	<i>Surface</i> = 21 cm <i>Base</i> = 9 cm <i>Sub base</i> = 23 cm
3	Regangan	<i>Rutting</i> = 0,0001276 <i>Fatigue</i> = 0,00009475 <i>Permanent deformation</i> = 0,0001359	<i>Rutting</i> = 0,0001665 <i>Fatigue</i> = 0,0001509 <i>Permanent deformation</i> = 0,0001925
4	Jenis kerusakan	Urutan kerusakan yang terjadi adalah <i>permanent deformation</i> , <i>rutting</i> , dan <i>fatigue cracking</i> .	Urutan kerusakan yang terjadi adalah <i>permanent deformation</i> , <i>rutting</i> , serta <i>fatigue cracking</i> .



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan menggunakan beberapa metode, maka bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Tebal lapis perkerasan yang diperoleh menggunakan metode Bina Marga 2017 adalah 22,5 cm untuk lapis permukaan dan 15 cm untuk masing-masing tiap lapis pondasi atas serta lapis pondasi bawah.
2. Tebal lapis perkerasan yang diperoleh menggunakan metode *AASHTO* 1993 adalah sebesar 22 cm untuk lapis permukaan, 9 cm untuk lapis pondasi atas, dan 25 cm untuk lapis pondasi bawah.
3. Tebal optimal yang didapatkan untuk metode Bina Marga 2017 adalah 22,5 cm untuk lapis permukaan, 8 cm untuk lapis perkerasan atas, dan 10 cm untuk lapis permukaan bawah. Tebal optimal yang didapatkan untuk metode *AASHTO* 1993 adalah 21 cm untuk lapis permukaan, 9 cm untuk lapis permukaan atas, dan 23 cm untuk lapis permukaan bawah.
4. Perbandingan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 adalah sebagai berikut.
  - a. Perbandingan berdasarkan hasil desain, metode Bina Marga 2017 mendapatkan tebal perkerasan lapis permukaan sebesar 22,5 cm; lapis pondasi atas sebesar 15 cm; dan lapis pondasi bawah sebesar 15 cm. metode *AASHTO* 1993 mendapatkan tebal perkerasan lapis permukaan sebesar 22 cm, lapis pondasi atas sebesar 9 cm, dan lapis pondasi bawah sebesar 25 cm. Pada control menggunakan program *KENPAVE*, hasil yang di tunjukkan dari kedua metode desain adalah memiliki nilai  $N_f$  dan  $N_d > N_r$  dimana prediksi kerusakan terjadi melebihi umur rencana.
  - b. Nilai tegangan dan regangan pada jenis kerusakan *rutting* untuk metode Bina Marga 2017 sebesar 0,0001276 dan untuk metode *AASHTO* 1993 sebesar 0,0001665. Pada jenis kerusakan *fatigue cracking* nilai tegangan regangan metode Bina Marga 2017 sebesar 0,00009475 dan metode

*AASHTO* 1993 sebesar 0,0001509. Jenis kerusakan *permanent deformation* di metode Bina Marga 2017 nilai tegangan regangannya sebesar 0,0001359 dan 0,0001925 untuk metode *AASHTO* 1993.

- c. Urutan jenis kerusakan yang terjadi terlebih dahulu dari kedua metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 adalah *permanent deformation*, *rutting*, dan *fatigue cracking*.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapat pada penelitian ini, bisa diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dibutuhkan perhitungan perbandingan berdasarkan biaya dari hasil tebal perkerasan rencana untuk mendapatkan metode yang lebih efisien dan efektif untuk digunakan
2. Penelitian selanjutnya bisa melakukan evaluasi dengan penambahan analisis untuk mengetahui pada umur berapa Jalan Milir-Sentolo ini mengalami kerusakan untuk pertama kali.
3. Program *KENPAVE* lebih efektif digunakan untuk kontrol tebal perkerasan jika karakteristik material seperti *poisson ratio* dan modulus elastisitas dilakukan pengujian yang sebenarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1993, *Guide for Design of Pavement Structure*, Washington D. C.
- Aji, A. H. F., Subagio, B. S., Hariyadi, E. S., dan Weningtyas, Widyarini. 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.
- Alfianti, Faradita. 2017. Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Tambah dengan Metode Manual Desain Perkerasan Bina Marga 2013 dan AASHTO 1993 Studi Kasus: Jalan Kalianak Osowilangun, Surabaya. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol.03 No.03:202-208. Surabaya.
- Amirah, Sitti. 2003. Peninjauan dan Perancangan Kembali Struktur Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga (Studi Kasus: Jalan Wates-Purworejo DIY). *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. Juni, 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta
- Dinata, D. I., Rahmawati, A., dan 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 Teknika*. Vol.20 No.1:8-19. Yogyakarta
- Huang, Y. H. 2004. *Pavement Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> ed. Pearson Education. United States of America. USA.
- Marita, A. dan 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, Putri. 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., Hariadi, E. S., dan Hendarto, 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.

- Ulya, K. S. 2017. Analisis Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 dan *AASHTO* 1993 (Studi Kasus: Ruas Jalan Baron-Tepus). *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Sukirman, S. 2010. *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Nova. Bandung
- Widiastuti, A. P. 2018. Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur menggunakan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Empiris pada Ruas Jalan Legundi-Kanigoro-Planjan. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.



# LAMPIRAN





## Lampiran 1 Data Lalu Lintas Milir-Sentolo

Link		AADT		Car	Bus	LTr	HTr	Motor Cycle	Car	Util 1	Util 2	Small Bus	Large Bus	Truck 2x a)	Truck 2x b)	Truck 3x a)	Truck 3x b)	Truck 3x c)	No Mot Traf	Survey Year	
Traffic Post	MBT	Total	%	%	%	%			Veh 1	Veh 2	Veh 3	Veh 4	Veh5a	Veh5b	Veh6a	Veh6b	Veh7a	Veh7b	Veh7c	Veh 8	
001 - KARANG NONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYAN																					
A001	7,366	18,354	69.89	6.76	17.66	5.69	10,612	4,077	338	733	137	361	364	937	273	59	87	376	2017	Status: N/A	
002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES																					
A002	13,905	30,481	80.89	8.82	7.45	2.84	15,974	5,955	4,389	904	294	932	311	725	263	57	75	602	2017	Status: N/A	
00211 K - JLN. CHUDORI (WATES)																					
A00211	8,957	39,485	65.66	8.41	20.39	5.55	30,145	2,889	1,879	1,113	123	630	307	1,519	241	111	145	383	2017	Status: N/A	
003 - BTS. KOTA WATES - MILIR																					
A003	12,164	39,785	68.77	7.97	16.82	6.45	26,433	5,044	1,458	1,863	349	620	533	1,513	321	229	234	1,188	2017	Status: N/A	
00311 K - JLN. KOL. SUGIYONO (WATES)																					
A00311	12,712	37,868	70.53	9.50	12.69	7.28	24,417	3,274	4,680	1,012	582	626	622	991	474	254	197	739	2017	Status: N/A	
004 - MILIR - SENTOLO																					
A004	13,158	41,016	74.91	8.18	11.48	5.43	27,677	8,086	294	1,477	446	630	371	1,140	420	128	166	181	2017	Status: N/A	
005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN																					
A005	15,566	53,781	72.72	7.60	13.47	6.21	37,213	5,944	3,827	1,548	569	614	768	1,329	417	329	221	1,002	2017	Status: N/A	
006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA																					
A006	15,169	58,991	77.03	7.09	11.35	4.53	43,519	10,000	303	1,382	362	714	408	1,313	408	103	176	303	2017	Status: N/A	
00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING) (YOGYAKARTA)																					
A00611	14,420	105,528	92.74	3.33	3.73	0.20	90,020	12,006	490	877	177	303	275	263	23	0	6	1,088	2017	Status: N/A	
00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA)																					
A00711	33,079	84,696	88.59	5.82	4.43	1.16	50,743	23,822	1,454	4,028	676	1,250	395	1,070	283	43	58	874	2017	Status: N/A	
008 - YOGYAKARTA - PIYUNGAN																					
A008	9,794	48,941	76.67	5.76	15.72	1.85	38,593	4,528	1,284	1,697	276	288	365	1,175	128	19	34	554	2017	Status: N/K1	
009 - PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL																					
A009	8,463	38,537	78.32	3.80	16.86	1.02	30,065	5,375	79	1,174	224	98	233	1,194	55	1	30	9	2017	Status: N/K1	
010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING																					
A010	7,712	25,401	77.94	5.37	14.91	1.78	17,671	5,116	140	755	138	276	207	943	115	6	16	18	2017	Status: N/K1	
011 - GADING - GLEDAG																					
A011	7,498	30,198	82.81	5.20	10.88	1.11	22,434	4,620	678	911	245	145	250	566	59	0	24	266	2017	Status: N/K1	
012 - GLEDAG - WONOSARI (LINGKAR UTARA WONOSARI)																					
A012	11,189	44,388	77.51	3.37	17.26	1.86	32,916	1,776	4,908	1,989	210	167	591	1,340	155	15	38	283	2017	Status: N/K1	
013 - LINGKAR SELATAN WONOSARI																					
A013	2,835	7,571	81.90	4.73	12.17	1.20	4,589	1,858	98	366	87	47	76	269	25	4	5	147	2017	Status: N/K1	
014 - BTS. KOTA WONOSARI - NGEPOSARI - PACUCAK - BEDOYO - DUWET																					
A014	11,521	45,160	76.67	3.71	17.34	2.27	33,306	1,817	4,984	2,032	234	194	620	1,378	189	22	51	333	2017	Status: N/K1	

## Lampiran 2 Hasil Analisis *KENLAYER*

INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\aaashto 1993.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -aaashto 1993

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
 NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
 NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
 NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
 TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
 NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
 NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
 LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
 COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
 SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 12 9 25  
 POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
 VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 21.9997 22 56 56.0003  
 ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
 3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 2.500E+05 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02932	550.000	750.842	725.326	745.252
	(STRAIN)		2.147E-04	2.147E-04	1.834E-04	1.834E-04
1	21.99970	0.02374	99.181	99.978	-270.711	-207.939
	(STRAIN)		1.665E-04	1.672E-04	-1.456E-04	-1.456E-04
1	22.00000	0.02374	99.179	99.976	-270.724	-207.950
	(STRAIN)		1.665E-04	1.672E-04	-1.456E-04	-1.456E-04
1	56.00000	0.01665	28.601	29.118	-14.737	-11.733
	(STRAIN)		1.559E-04	1.588E-04	-8.677E-05	-8.677E-05
1	56.00030	0.01665	28.600	29.405	1.407	2.642
	(STRAIN)		1.761E-04	1.839E-04	-8.676E-05	-8.676E-05
2	0.00000	0.02721	550.000	439.739	346.872	403.882
	(STRAIN)		4.691E-05	1.609E-04	4.691E-05	1.169E-04
2	21.99970	0.02454	94.342	94.344	-262.977	-156.085
	(STRAIN)		1.506E-04	1.506E-04	-1.509E-04	-1.509E-04
2	22.00000	0.02454	94.341	94.342	-262.989	-156.092
	(STRAIN)		1.506E-04	1.506E-04	-1.509E-04	-1.509E-04
2	56.00000	0.01713	30.498	30.579	-15.764	-13.097
	(STRAIN)		1.680E-04	1.685E-04	-9.103E-05	-9.103E-05
2	56.00030	0.01713	30.498	30.626	1.430	2.893

	(STRAIN)		1.900E-04	1.912E-04	-9.103E-05	-9.103E-05
3	0.00000	0.02652	0.000	367.974	252.729	329.522
	(STRAIN)		7.823E-06	1.493E-04	7.823E-06	1.021E-04
3	21.99970	0.02461	89.741	89.741	-252.738	-126.829
	(STRAIN)		1.391E-04	1.391E-04	-1.498E-04	-1.498E-04
3	22.00000	0.02461	89.740	89.740	-252.749	-126.835
	(STRAIN)		1.391E-04	1.391E-04	-1.499E-04	-1.499E-04
3	56.00000	0.01722	30.850	30.850	-15.956	-13.347
	(STRAIN)		1.703E-04	1.703E-04	-9.183E-05	-9.183E-05
3	56.00030	0.01722	30.850	30.850	1.433	2.945
	(STRAIN)		1.925E-04	1.925E-04	-9.183E-05	-9.183E-05



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\bina marga baru.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -bina marga baru

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
 NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
 NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
 NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
 TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
 NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
 NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
 LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
 COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
 SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 12.5 15 15  
 POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
 VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 22.4997 37.5 52.5 52.5003  
 ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
 3 1.600E+06 4 5.000E+05 5 1.600E+06 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02379	550.000 (STRAIN) 2.761E-04	805.135 (STRAIN) 2.761E-04	712.770 (STRAIN) 1.628E-04	719.797 (STRAIN) 1.628E-04
1	22.49970	0.01793	124.575 (STRAIN) 1.276E-04	126.068 (STRAIN) 1.289E-04	-135.565 (STRAIN) -9.185E-05	-93.487 (STRAIN) -9.185E-05
1	37.50000	0.01557	58.324 (STRAIN) 9.025E-05	66.351 (STRAIN) 1.119E-04	11.835 (STRAIN) -3.527E-05	17.847 (STRAIN) -1.904E-05
1	52.50000	0.01478	23.806 (STRAIN) 7.388E-05	23.880 (STRAIN) 7.395E-05	-126.322 (STRAIN) -5.748E-05	-109.768 (STRAIN) -5.748E-05
1	52.50030	0.01478	23.806 (STRAIN) 1.240E-04	24.356 (STRAIN) 1.293E-04	5.033 (STRAIN) -5.748E-05	5.988 (STRAIN) -5.748E-05
2	0.00000	0.02143	550.000 (STRAIN) 1.025E-04	403.502 (STRAIN) 1.294E-04	364.615 (STRAIN) 8.167E-05	381.561 (STRAIN) 8.168E-05
2	22.49970	0.01837	118.077 (STRAIN) 1.114E-04	118.086 (STRAIN) 1.114E-04	-126.259 (STRAIN) -9.475E-05	-45.672 (STRAIN) -9.475E-05
2	37.50000	0.01603	62.116 (STRAIN) 9.548E-05	63.287 (STRAIN) 9.864E-05	19.324 (STRAIN) -2.007E-05	20.588 (STRAIN) -2.007E-05
2	52.50000	0.01519	25.424 (STRAIN) 8.024E-05	25.435 (STRAIN) 8.025E-05	-135.555 (STRAIN) -6.062E-05	-121.849 (STRAIN) -6.062E-05
2	52.50030	0.01519	25.423 (STRAIN) 1.341E-04	25.510 (STRAIN) 1.349E-04	5.285 (STRAIN) -6.062E-05	6.440 (STRAIN) -6.062E-05
3	0.00000	0.02041	0.000	297.549	252.731	269.828

	(STRAIN)		4.922E-05	1.042E-04	4.923E-05	7.021E-05
3	22.49970	0.01838	111.952	111.952	-118.568	-22.313
	(STRAIN)		1.008E-04	1.008E-04	-9.371E-05	-9.371E-05
3	37.50000	0.01612	62.311	62.311	19.414	22.031
	(STRAIN)		9.561E-05	9.561E-05	-2.021E-05	-2.021E-05
3	52.50000	0.01526	25.716	25.716	-137.229	-123.994
	(STRAIN)		8.138E-05	8.138E-05	-6.120E-05	-6.120E-05
3	52.50030	0.01526	25.716	25.716	5.330	6.528
	(STRAIN)		1.359E-04	1.359E-04	-6.120E-05	-6.120E-05



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 1 bina  
marga.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -bina marga baru

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 12.5 10 15  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 22.4997 32.5 47.5 47.5003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 5.000E+05 5 1.600E+06 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02425	550.000 (STRAIN) 2.755E-04	805.137 (STRAIN) 2.755E-04	713.598 (STRAIN) 1.632E-04	720.815 (STRAIN) 1.632E-04
1	22.49970	0.01842	126.187 (STRAIN) 1.255E-04	128.065 (STRAIN) 1.270E-04	-127.110 (STRAIN) -8.826E-05	-87.743 (STRAIN) -8.826E-05
1	32.50000	0.01671	72.917 (STRAIN) 1.105E-04	81.792 (STRAIN) 1.344E-04	17.609 (STRAIN) -3.887E-05	24.043 (STRAIN) -2.149E-05
1	47.50000	0.01581	27.016 (STRAIN) 8.423E-05	27.104 (STRAIN) 8.430E-05	-145.258 (STRAIN) -6.651E-05	-124.199 (STRAIN) -6.651E-05
1	47.50030	0.01581	27.016 (STRAIN) 1.412E-04	27.671 (STRAIN) 1.475E-04	5.531 (STRAIN) -6.651E-05	6.790 (STRAIN) -6.651E-05
2	0.00000	0.02189	550.000 (STRAIN) 1.016E-04	404.566 (STRAIN) 1.299E-04	366.110 (STRAIN) 8.269E-05	381.570 (STRAIN) 8.271E-05
2	22.49970	0.01887	118.581 (STRAIN) 1.081E-04	118.581 (STRAIN) 1.081E-04	-117.006 (STRAIN) -9.070E-05	-38.235 (STRAIN) -9.070E-05
2	32.50000	0.01724	74.936 (STRAIN) 1.126E-04	75.894 (STRAIN) 1.151E-04	24.898 (STRAIN) -2.255E-05	27.455 (STRAIN) -2.255E-05
2	47.50000	0.01628	28.905 (STRAIN) 9.153E-05	28.918 (STRAIN) 9.154E-05	-156.242 (STRAIN) -7.047E-05	-137.638 (STRAIN) -7.047E-05
2	47.50030	0.01628	28.905 (STRAIN) 1.528E-04	29.005 (STRAIN) 1.538E-04	5.809 (STRAIN) -7.047E-05	7.395 (STRAIN) -7.047E-05

3	0.00000 (STRAIN)	0.02088	0.000 4.832E-05	298.577 1.046E-04	252.732 4.832E-05	271.653 7.155E-05
3	22.49970 (STRAIN)	0.01888	112.004 9.711E-05	112.004 9.711E-05	-109.242 -8.957E-05	-14.675 -8.957E-05
3	32.50000 (STRAIN)	0.01733	74.069 1.109E-04	74.069 1.109E-04	24.593 -2.264E-05	28.539 -2.264E-05
3	47.50000 (STRAIN)	0.01636	29.236 9.278E-05	29.236 9.278E-05	-158.169 -7.120E-05	-139.845 -7.120E-05
3	47.50030 (STRAIN)	0.01636	29.236 1.548E-04	29.236 1.548E-04	5.858 -7.120E-05	7.517 -7.120E-05



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 2 bina  
marga.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -bina marga altf2

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 12.5 10 10  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 22.4997 32.5 42.5 42.5003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 5.000E+05 5 1.600E+06 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02575	550.000	808.735	727.051	740.960
	(STRAIN)		2.681E-04	2.681E-04	1.679E-04	1.679E-04
1	22.49970	0.01987	119.551	121.672	-142.693	-102.689
	(STRAIN)		1.279E-04	1.297E-04	-9.334E-05	-9.334E-05
1	32.50000	0.01819	64.245	72.681	6.342	11.747
	(STRAIN)		1.099E-04	1.327E-04	-4.641E-05	-3.182E-05
1	42.50000	0.01745	32.522	32.627	-169.508	-142.825
	(STRAIN)		9.838E-05	9.848E-05	-7.839E-05	-7.839E-05
1	42.50030	0.01745	32.522	33.299	7.213	8.860
	(STRAIN)		1.663E-04	1.738E-04	-7.839E-05	-7.839E-05
2	0.00000	0.02348	550.000	429.524	382.406	388.466
	(STRAIN)		9.482E-05	1.452E-04	8.737E-05	8.736E-05
2	22.49970	0.02041	110.981	110.983	-133.797	-54.674
	(STRAIN)		1.106E-04	1.106E-04	-9.594E-05	-9.594E-05
2	32.50000	0.01881	65.230	66.089	11.480	14.226
	(STRAIN)		1.119E-04	1.142E-04	-3.326E-05	-3.326E-05
2	42.50000	0.01803	34.819	34.833	-182.038	-156.662
	(STRAIN)		1.064E-04	1.064E-04	-8.332E-05	-8.332E-05
2	42.50030	0.01803	34.819	34.929	7.646	9.834



	(STRAIN)		1.794E-04	1.804E-04	-8.332E-05	-8.332E-05
3	0.00000	0.02237	0.000	314.187	252.729	285.569
	(STRAIN)		3.892E-05	1.143E-04	3.892E-05	7.922E-05
3	22.49970	0.02044	104.254	104.254	-126.258	-31.456
	(STRAIN)		9.966E-05	9.966E-05	-9.484E-05	-9.484E-05
3	32.50000	0.01892	64.247	64.247	10.979	14.890
	(STRAIN)		1.104E-04	1.104E-04	-3.344E-05	-3.344E-05
3	42.50000	0.01813	35.193	35.193	-184.049	-158.493
	(STRAIN)		1.076E-04	1.076E-04	-8.421E-05	-8.421E-05
3	42.50030	0.01813	35.193	35.193	7.722	10.035
	(STRAIN)		1.814E-04	1.814E-04	-8.421E-05	-8.421E-05



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 3 bina  
marga.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -bina marga altf3

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 12.5 8 10  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 22.4997 30.5 40.5 40.5003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 5.000E+05 5 1.600E+06 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02603	550.000	808.735	728.437	742.574
	(STRAIN)		2.672E-04	2.672E-04	1.686E-04	1.686E-04
1	22.49970	0.02017	119.602	121.993	-139.523	-101.200
	(STRAIN)		1.269E-04	1.289E-04	-9.175E-05	-9.175E-05
1	30.50000	0.01878	70.985	79.781	8.653	14.156
	(STRAIN)		1.198E-04	1.436E-04	-4.845E-05	-3.359E-05
1	40.50000	0.01800	34.482	34.593	-180.840	-151.394
	(STRAIN)		1.046E-04	1.047E-04	-8.382E-05	-8.382E-05
1	40.50030	0.01800	34.482	35.306	7.540	9.390
	(STRAIN)		1.766E-04	1.846E-04	-8.382E-05	-8.382E-05
2	0.00000	0.02378	550.000	431.348	384.329	388.496
	(STRAIN)		9.362E-05	1.462E-04	8.853E-05	8.855E-05
2	22.49970	0.02073	109.907	109.916	-130.620	-53.003
	(STRAIN)		1.089E-04	1.089E-04	-9.409E-05	-9.409E-05
2	30.50000	0.01943	70.355	71.059	13.178	16.647
	(STRAIN)		1.193E-04	1.212E-04	-3.504E-05	-3.504E-05
2	40.50000	0.01860	36.847	36.861	-193.873	-164.785
	(STRAIN)		1.127E-04	1.127E-04	-8.919E-05	-8.919E-05
2	40.50030	0.01860	36.847	36.958	7.978	10.501

	(STRAIN)		1.899E-04	1.910E-04	-8.919E-05	-8.919E-05
3	0.00000	0.02293	0.000	344.571	276.442	297.620
	(STRAIN)		4.698E-05	1.306E-04	4.698E-05	7.297E-05
3	22.49970	0.02077	102.757	102.757	-123.186	-29.904
	(STRAIN)		9.771E-05	9.771E-05	-9.293E-05	-9.293E-05
3	30.50000	0.01954	68.561	68.561	12.342	16.951
	(STRAIN)		1.166E-04	1.166E-04	-3.517E-05	-3.517E-05
3	40.50000	0.01871	37.208	37.208	-195.814	-166.187
	(STRAIN)		1.138E-04	1.138E-04	-9.014E-05	-9.014E-05
3	40.50030	0.01871	37.208	37.208	8.054	10.735
	(STRAIN)		1.917E-04	1.917E-04	-9.014E-05	-9.014E-05



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 4 bina  
marga.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -bina marga altf4

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 10 10 10  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 19.4997 30 40 40.0003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 5.000E+05 5 1.600E+06 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02681	550.000 (STRAIN) 2.571E-04	808.725 (STRAIN) 2.571E-04	743.680 (STRAIN) 1.773E-04	758.905 (STRAIN) 1.773E-04
1	19.49970	0.02126	147.603 (STRAIN) 1.447E-04	149.751 (STRAIN) 1.465E-04	-141.592 (STRAIN) -9.929E-05	-100.380 (STRAIN) -9.929E-05
1	30.00000	0.01925	74.715 (STRAIN) 1.239E-04	83.862 (STRAIN) 1.486E-04	10.713 (STRAIN) -4.890E-05	16.604 (STRAIN) -3.299E-05
1	40.00000	0.01845	36.203 (STRAIN) 1.087E-04	36.322 (STRAIN) 1.088E-04	-187.892 (STRAIN) -8.739E-05	-156.505 (STRAIN) -8.739E-05
1	40.00030	0.01844	36.203 (STRAIN) 1.841E-04	37.082 (STRAIN) 1.926E-04	8.121 (STRAIN) -8.739E-05	10.095 (STRAIN) -8.739E-05
2	0.00000	0.02458	550.000 (STRAIN) 8.530E-05	446.393 (STRAIN) 1.564E-04	388.446 (STRAIN) 8.527E-05	395.464 (STRAIN) 9.384E-05
2	19.49970	0.02176	129.094 (STRAIN) 1.158E-04	129.462 (STRAIN) 1.161E-04	-126.650 (STRAIN) -9.995E-05	-34.418 (STRAIN) -9.995E-05
2	30.00000	0.01994	74.094 (STRAIN) 1.232E-04	74.801 (STRAIN) 1.251E-04	15.748 (STRAIN) -3.438E-05	19.309 (STRAIN) -3.438E-05
2	40.00000	0.01909	38.772 (STRAIN) 1.173E-04	38.787 (STRAIN) 1.173E-04	-201.734 (STRAIN) -9.311E-05	-170.683 (STRAIN) -9.311E-05
2	40.00030	0.01909	38.772 (STRAIN) 1.983E-04	38.891 (STRAIN) 1.994E-04	8.630 (STRAIN) -9.311E-05	11.322 (STRAIN) -9.311E-05

3	0.00000 (STRAIN)	0.02372	0.000 3.979E-05	358.557 1.406E-04	276.443 3.979E-05	306.217 7.634E-05
3	19.49970 (STRAIN)	0.02175	116.878 9.889E-05	116.878 9.889E-05	-116.120 -9.770E-05	-2.013 -9.770E-05
3	30.00000 (STRAIN)	0.02006	72.192 1.202E-04	72.192 1.202E-04	14.896 -3.449E-05	19.646 -3.449E-05
3	40.00000 (STRAIN)	0.01921	39.168 1.185E-04	39.168 1.185E-04	-203.797 -9.412E-05	-172.169 -9.412E-05
3	40.00030 (STRAIN)	0.01921	39.167 2.002E-04	39.167 2.002E-04	8.719 -9.412E-05	11.581 -9.412E-05



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 1 aashto  
93.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -aashto 1993 altrntf 1

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 10 9 25  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 19.9997 20 54 54.0003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 2.500E+05 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.03058	550.000 (STRAIN) 2.006E-04	768.176 (STRAIN) 2.218E-04	746.273 (STRAIN) 1.950E-04	751.292 (STRAIN) 1.954E-04
1	19.99970	0.02518	114.336 (STRAIN) 1.873E-04	115.131 (STRAIN) 1.880E-04	-299.675 (STRAIN) -1.620E-04	-230.727 (STRAIN) -1.620E-04
1	20.00000	0.02518	114.333 (STRAIN) 1.873E-04	115.128 (STRAIN) 1.880E-04	-299.691 (STRAIN) -1.620E-04	-230.740 (STRAIN) -1.620E-04
1	54.00000	0.01735	31.046 (STRAIN) 1.690E-04	31.637 (STRAIN) 1.723E-04	-16.052 (STRAIN) -9.471E-05	-12.574 (STRAIN) -9.471E-05
1	54.00030	0.01735	31.046 (STRAIN) 1.909E-04	31.962 (STRAIN) 1.998E-04	1.500 (STRAIN) -9.471E-05	2.941 (STRAIN) -9.471E-05
2	0.00000	0.02851	550.000 (STRAIN) 3.516E-05	460.113 (STRAIN) 1.741E-04	346.871 (STRAIN) 3.516E-05	420.437 (STRAIN) 1.255E-04
2	19.99970	0.02600	105.572 (STRAIN) 1.617E-04	105.601 (STRAIN) 1.618E-04	-282.699 (STRAIN) -1.659E-04	-155.043 (STRAIN) -1.659E-04
2	20.00000	0.02600	105.571 (STRAIN) 1.617E-04	105.600 (STRAIN) 1.618E-04	-282.713 (STRAIN) -1.659E-04	-155.052 (STRAIN) -1.659E-04
2	54.00000	0.01789	33.212 (STRAIN) 1.828E-04	33.304 (STRAIN) 1.833E-04	-17.216 (STRAIN) -9.963E-05	-14.078 (STRAIN) -9.963E-05
2	54.00030	0.01789	33.211 (STRAIN) 2.066E-04	33.357 (STRAIN) 2.080E-04	1.533 (STRAIN) -9.963E-05	3.260 (STRAIN) -9.963E-05

3	0.00000 (STRAIN)	0.02782	0.000 -2.552E-06	386.767 1.619E-04	252.730 -2.551E-06	343.336 1.086E-04
3	19.99970 (STRAIN)	0.02603	98.644 1.449E-04	98.644 1.449E-04	-267.129 -1.637E-04	-113.511 -1.637E-04
3	20.00000 (STRAIN)	0.02603	98.643 1.449E-04	98.643 1.449E-04	-267.142 -1.637E-04	-113.516 -1.637E-04
3	54.00000 (STRAIN)	0.01799	33.612 1.853E-04	33.612 1.853E-04	-17.433 -1.006E-04	-14.349 -1.006E-04
3	54.00030 (STRAIN)	0.01799	33.611 2.095E-04	33.611 2.095E-04	1.539 -1.006E-04	3.326 -1.006E-04



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 2 aashto  
93.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -aashto 1993 altrntf 2

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 10 9 20  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 19.9997 20 49 49.0003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 2.500E+05 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000 (STRAIN)	0.03098	550.000 1.986E-04	771.349 2.237E-04	747.905 1.950E-04	752.784 1.970E-04
1	19.99970 (STRAIN)	0.02559	113.401 1.884E-04	114.217 1.890E-04	-303.529 -1.634E-04	-234.338 -1.634E-04
1	20.00000 (STRAIN)	0.02559	113.399 1.884E-04	114.215 1.890E-04	-303.546 -1.634E-04	-234.351 -1.634E-04
1	49.00000 (STRAIN)	0.01850	35.058 1.895E-04	35.759 1.934E-04	-17.912 -1.072E-04	-13.559 -1.072E-04
1	49.00030 (STRAIN)	0.01850	35.058 2.138E-04	36.144 2.243E-04	1.851 -1.072E-04	3.693 -1.072E-04
2	0.00000 (STRAIN)	0.02893	550.000 3.296E-05	463.722 1.764E-04	346.870 3.296E-05	423.752 1.273E-04
2	19.99970 (STRAIN)	0.02643	104.489 1.628E-04	104.515 1.628E-04	-286.807 -1.673E-04	-158.987 -1.673E-04
2	20.00000 (STRAIN)	0.02643	104.487 1.628E-04	104.514 1.628E-04	-286.821 -1.673E-04	-158.996 -1.673E-04
2	49.00000 (STRAIN)	0.01912	37.613 2.054E-04	37.720 2.060E-04	-19.294 -1.132E-04	-15.177 -1.132E-04
2	49.00030 (STRAIN)	0.01912	37.613 2.321E-04	37.781 2.337E-04	1.891 -1.132E-04	4.170 -1.132E-04
3	0.00000 (STRAIN)	0.02824	0.000 -4.801E-06	390.451 1.642E-04	252.729 -4.801E-06	346.722 1.106E-04
3	19.99970 (STRAIN)	0.02647	97.532 1.460E-04	97.532 1.460E-04	-271.285 -1.652E-04	-117.526 -1.652E-04
3	20.00000 (STRAIN)	0.02647	97.531 1.460E-04	97.531 1.460E-04	-271.298 -1.652E-04	-117.531 -1.652E-04



3	49.00000 (STRAIN)	0.01924	38.072 2.083E-04	38.072 2.083E-04	-19.545 -1.144E-04	-15.446 -1.144E-04
3	49.00030 (STRAIN)	0.01924	38.072 2.353E-04	38.072 2.353E-04	1.898 -1.144E-04	4.272 -1.144E-04



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 3 aashto  
93.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -aashto 1993 altrntf 1

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 11 9 23  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 20.9997 21 53 53.0003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 2.500E+05 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.03008	550.000 (STRAIN) 2.073E-04	757.329 2.152E-04	736.429 1.896E-04	750.902 1.896E-04
1	20.99970	0.02459	106.026 (STRAIN) 1.768E-04	106.832 1.775E-04	-286.066 -1.540E-04	-220.146 -1.540E-04
1	21.00000	0.02459	106.024 (STRAIN) 1.768E-04	106.830 1.775E-04	-286.081 -1.540E-04	-220.158 -1.540E-04
1	53.00000	0.01742	31.215 (STRAIN) 1.696E-04	31.807 1.729E-04	-16.040 -9.503E-05	-12.513 -9.503E-05
1	53.00030	0.01742	31.215 (STRAIN) 1.915E-04	32.134 2.004E-04	1.574 -9.503E-05	3.042 -9.503E-05
2	0.00000	0.02800	550.000 (STRAIN) 4.045E-05	450.843 1.681E-04	346.870 4.045E-05	413.084 1.217E-04
2	20.99970	0.02541	99.360 (STRAIN) 1.565E-04	99.369 1.565E-04	-274.195 -1.587E-04	-157.358 -1.587E-04
2	21.00000	0.02541	99.359 (STRAIN) 1.565E-04	99.367 1.565E-04	-274.208 -1.587E-04	-157.366 -1.587E-04
2	53.00000	0.01796	33.383 (STRAIN) 1.833E-04	33.475 1.838E-04	-17.213 -1.000E-04	-14.002 -1.000E-04
2	53.00030	0.01796	33.383 (STRAIN) 2.072E-04	33.528 2.086E-04	1.604 -1.000E-04	3.372 -1.000E-04

3	0.00000 (STRAIN)	0.02731	0.000 1.953E-06	378.434 1.562E-04	252.730 1.953E-06	337.512 1.060E-04
3	20.99970 (STRAIN)	0.02547	93.697 1.426E-04	93.697 1.426E-04	-261.543 -1.572E-04	-122.501 -1.572E-04
3	21.00000 (STRAIN)	0.02547	93.696 1.426E-04	93.696 1.426E-04	-261.554 -1.572E-04	-122.507 -1.572E-04
3	53.00000 (STRAIN)	0.01806	33.783 1.858E-04	33.783 1.858E-04	-17.430 -1.009E-04	-14.268 -1.009E-04
3	53.00030 (STRAIN)	0.01806	33.782 2.101E-04	33.782 2.101E-04	1.609 -1.009E-04	3.441 -1.009E-04



INPUT FILE NAME -D:\Tugas Akhir\setupkenpave (1)\KENPAVE\alternatif 4 aashto  
93.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -aashto 1993 altrntf 2

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM  
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED  
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1  
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1  
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001  
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 6  
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5  
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 11 9 24  
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.35 0.35 0.35 0.35 0.4 0.45  
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 20.9997 21 54 54.0003  
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06  
3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 2.500E+05 6 1.500E+05

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

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

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.03000	550.000 (STRAIN) 2.076E-04	755.927 2.139E-04	735.661 1.890E-04	751.936 1.893E-04
1	20.99970	0.02451	106.199 (STRAIN) 1.766E-04	107.001 1.773E-04	-285.367 -1.537E-04	-219.487 -1.537E-04
1	21.00000	0.02451	106.197 (STRAIN) 1.766E-04	106.999 1.773E-04	-285.381 -1.538E-04	-219.499 -1.538E-04
1	54.00000	0.01721	30.489 (STRAIN) 1.659E-04	31.062 1.691E-04	-15.702 -9.278E-05	-12.327 -9.278E-05
1	54.00030	0.01721	30.489 (STRAIN) 1.873E-04	31.378 1.959E-04	1.512 -9.278E-05	2.911 -9.278E-05
2	0.00000	0.02792	550.000 (STRAIN) 4.085E-05	450.196 1.677E-04	346.870 4.085E-05	412.485 1.214E-04
2	20.99970	0.02533	99.560 (STRAIN) 1.563E-04	99.569 1.563E-04	-273.452 -1.584E-04	-156.643 -1.584E-04
2	21.00000	0.02533	99.559 (STRAIN) 1.563E-04	99.567 1.563E-04	-273.465 -1.584E-04	-156.650 -1.584E-04
2	54.00000	0.01773	32.586 (STRAIN) 1.792E-04	32.675 1.797E-04	-16.834 -9.755E-05	-13.789 -9.755E-05
2	54.00030	0.01773	32.586 (STRAIN) 2.025E-04	32.727 2.039E-04	1.541 -9.755E-05	3.216 -9.755E-05

3	0.00000 (STRAIN)	0.02723	0.000 2.357E-06	377.774 1.558E-04	252.730 2.357E-06	336.902 1.057E-04
3	20.99970 (STRAIN)	0.02538	93.902 1.424E-04	93.902 1.424E-04	-260.792 -1.569E-04	-121.773 -1.569E-04
3	21.00000 (STRAIN)	0.02538	93.901 1.424E-04	93.901 1.424E-04	-260.803 -1.569E-04	-121.779 -1.569E-04
3	54.00000 (STRAIN)	0.01782	32.973 1.816E-04	32.973 1.816E-04	-17.045 -9.845E-05	-14.052 -9.845E-05
3	54.00030 (STRAIN)	0.01782	32.973 2.053E-04	32.973 2.053E-04	1.546 -9.845E-05	3.280 -9.845E-05

