

## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Data Penelitian

Terdapat beberapa jenis data penelitian untuk melakukan desain perancangan jalan seperti data lalu lintas, nilai *CBR* (*California Bearing Ratio*).

##### 5.1.1 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas pada Jalan Tempel – Pakem merupakan data sekunder yang diperoleh dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I.Y Yogyakarta tahun anggaran 2017. Jalan Tempel – Pakem ini merupakan jalan alternatif yang digunakan pengemudi dari Magelang atau Solo jika ingin menghindari jalur dalam kota Yogyakarta. Ruas jalan Tempel – Pakem merupakan jalan nasional dengan lebar jalan 7 meter, memiliki 2 lajur dengan 2 arah. Berdasarkan data sekunder dari laporan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I.Y Yogyakarta didapatkan hasil perhitungan lalu lintas berdasarkan golongan kendaraan yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Tempel – Pakem**

No	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (Unit)
1	Motor	6.944
2	Sedan, Jeep	1.622
3	Pick-up	252
4	Truk 2 As (L), Truk Kecil	531
5	Bus Kecil	18
6	Bus Besar	9
7	Truk 2 As (H)	90
8	Truk 2 As (H)	274

(Sumber: Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I.Yogyakarta, 2017)

**Tabel 5.2 Lanjutan Lalu Lintas Harian Ruas Jalan Tempel – Pakem**

No	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (Unit)
9	Truk 3 As	22
10	Trailer 4 As, Truk Gandeng	0
11	Truk Semi Trailer	0
12	Kendaraan Tidak Bermotor	178

(Sumber: Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I.Yogyakarta, 2017)

### 5.1.2 Data Nilai CBR

Data nilai CBR merupakan data sekunder yang didapat dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I. Yogyakarta. Nilai CBR berurutan dari terkecil hingga terbesar dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.3 Data Nilai CBR**

No	CBR (%)
1	7,34
2	7,37
3	8,56
4	8,87
5	9,05
6	9,27
7	9,48
8	9,55
9	9,97
10	10,1
11	10,5
12	10,65
13	10,94

(Sumber : Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I.Yogyakarta, 2019)

Dari data diatas dapat diambil nilai CBR optimum yang digunakan adalah angka persentil ke 10 dengan besaran 7,34%.

### 5.1.3 Data Tebal Perkerasan Eksisting

Ruas jalan Tempel – Pakem merupakan jalan yang mulai mengalami rehabilitasi terhitung tanggal 3 Juli 2019. Pengerjaannya pun dibagi menjadi tiga segmen, sehingga ruas jalan Tempel – Pakem memiliki waktu mulai operasi yang fleksibel. Berdasarkan data yang didapatkan dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I. Yogyakarta, tebal perkerasan Jalan Tempel – Pakem ini adalah sebagai berikut.

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

## 5.2 Desain Perkerasan Lentur

Desain perkerasan yang akan dilakukan meliputi desain perkerasan eksisting menggunakan program *Kenpave*, desain perkerasan alternatif menggunakan metode Bina marga 2017 dan menggunakan program *Kenpave*.

### 5.2.1 Desain Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program *Kenpave* Pemodelan Viskoelastik

Data tebal perkerasan eksisting yang telah didapatkan dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta dapat diolah langsung menggunakan program *Kenpave* untuk mengetahui besaran kerusakan yang terjadi.

#### 1. Data Analisis

##### a. Detail beban sumbu roda

Data detail sumbu roda yang digunakan diambil berdasarkan Gambar 3.5 yang merupakan data detail sumbu roda di Indonesia menurut Sukirman (1992), sebagai berikut.

- 1) Beban sumbu standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
- 2) Tekanan roda untuk satu ban sebesar  $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa}$ .
- 3) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.

4) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter tiap lapis perkerasan

Pada analisis lapisan permukaan perkerasan ini menggunakan material berbahan viskoelastik, sehingga perhitungan ini dilakukan berdasarkan *creep compliances*. Sedangkan pada lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan tetap menggunakan amterial berbahan linier elastik. Jadi pada perhitungan ini hanya menggunakan parameter modulus elastis dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

**Tabel 5.4 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan**

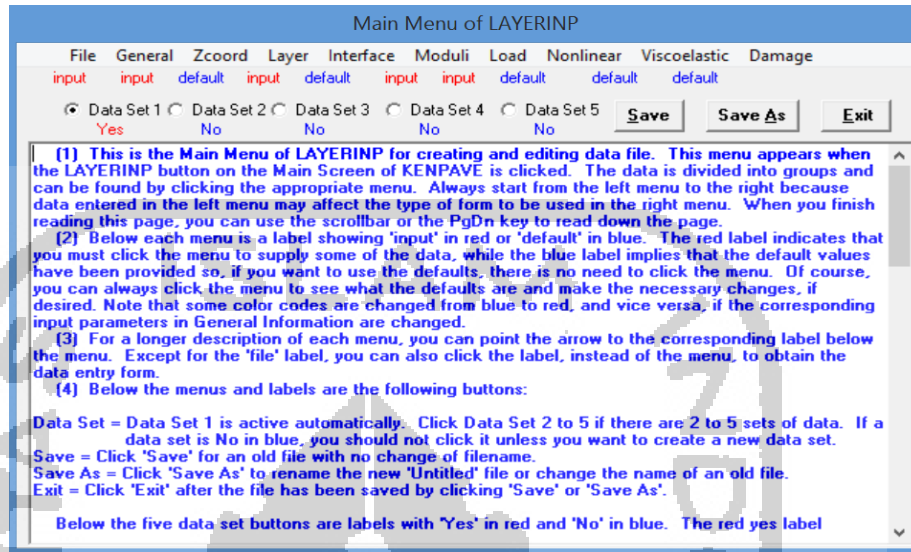
AC-WC	Modulus Elastis (E)	1.100.000 KPa
	<i>Poison Ratio</i>	0,35
AC-BC	Modulus Elastis (E)	1.200.000 KPa
	<i>Poison Ratio</i>	0,35
AC-Base	Modulus Elastis (E)	1.600.000 Kpa
	<i>Poison Ratio</i>	0,35
Pondasi Kelas A	Modulus Elastis (E)	250.000 Kpa
	<i>Poison Ratio</i>	0,4
Tanah Dasar	Modulus Elastis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

(Sumber : Huang, 2004)

2. Input program *Kenpave*

a. Input *Layernip*

Pada menu *Layernip* ini disediakan beberapa pilihan untuk mengisi data-data yang dibutuhkan sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur yang di analisis.



**Gambar 5.1 Tampilan Layernip**

Untuk memulai halaman baru pada *Layernip* klik file dan klik new. Maka data yang diinputkan akan kembali ke default.

b. General

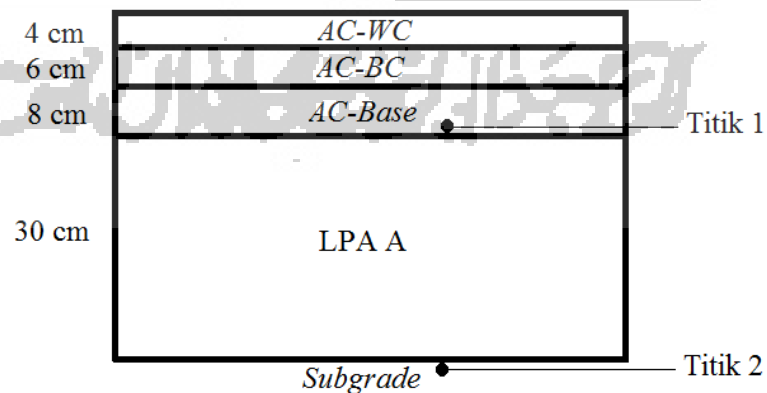
Setelah itu masukkan data input general seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

**Tabel 5.5 Input General**

<i>Title</i>	<i>Trial</i>	<i>Keterangan</i>
MATL	3	Lapis perkerasan adalah Viskoelastik
NDAMA	0	Diawal tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NLG	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
DEL	0,001	Akurasi analisis
NL	5	Jumlah Lapis Perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade</i> )
NZ	5	Jumlah titik tinjau kerusakan
ICL	80	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NSDT	9	Untuk hasil analisis perpindahan vertikal, nilai tegangan dan nilai regangan
NBOND	1	Semua lapisan perkerasan saling terikat
NLBT	0	
NLTC	0	
NUNIT	1	Unit satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.

**Gambar 5.2 Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan**

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa terdapat dua titik tinjau kerusakan, dimana titik 1 merupakan kedalaman tinjauan kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan retak alur (*rutting*). Perbedaannya adalah untuk retak lelah menggunakan regangan horizontal sedangkan retak alur menggunakan regangan vertikal. Sedangkan titik 2 adalah kedalaman tinjauan kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*). Untuk detail kedalaman input *Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

**Tabel 5.6 Input *Zcoord***

No	Kedalaman (cm)	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	17,995	Dasar lapis perkerasan
3	18,005	Permukaan lapis pondasi
4	47,995	Dasar lapis pondasi
5	48,005	<i>Subgrade</i>

d. *Layer*

Menu *layer* ini berfungsi untuk *input* data parameter perkerasan berupa tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut diperoleh dari Bina Marga 2017 dan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.7 Input Parameter *Layer***

No Layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>	Keterangan
1	4	0,35	<i>AC-WC</i>
2	6	0,35	<i>AC-BC</i>
3	8	0,35	<i>AC-Base</i>
4	30	0,4	LPA A
5	$\infty$	0,45	<i>Subgrade</i>

e. *Moduli*

Menu *moduli* berfungsi untuk *input* parameter perkerasan berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastis ini diperoleh dari Bina Marga 2017 dan dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8 Input Moduli**

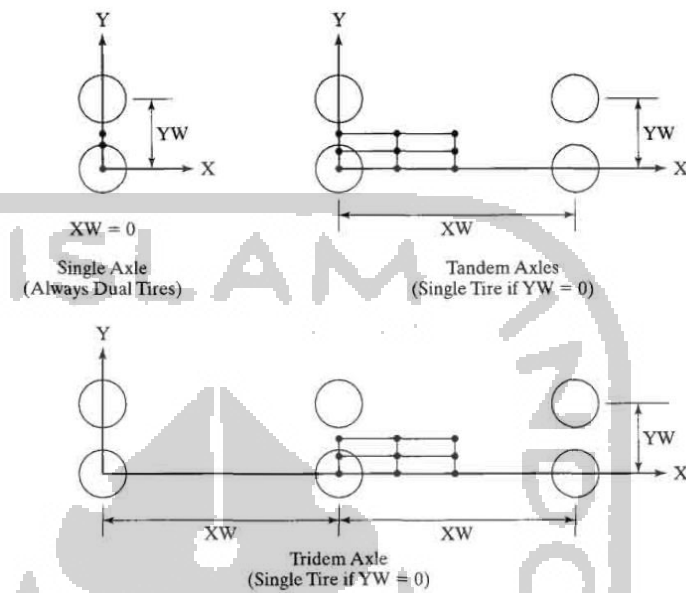
No	Modulus Elastisitas (KPa)
1	1.100.000
2	1.200.000
3	1.600.000
4	250.000
5	150.000

f. *Load*

Pada menu *Load* ini akan dimasukkan data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan.

- 1) *Load* = 1 (*single axle road*, roda gandar ganda)
- 2) CR, berdasarkan nilai jarak antar ban = 11 cm
- 3) CP, berdasarkan nilai tekanan ban = 0,55 MPa = 550 KPa
- 4) YW dan XW, merupakan roda single axle dual tires maka nilai YW = 33 dan XW = 0





**Gambar 5.3 Plan View of Multiple Wheels**

(Sumber : Huang, 2004)

- 5) NPT, nilai koordinat NPT yang ditinjau adalah 3, dengan nilai koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.9 Koordinat NPT**

	X	Y
	0	0
	0	10
	0	16,5

g. *Viscoelastic*

1) *General*

*Load Duration (DUR)* = 0,1

*Number of viscoelastic layers* = 3

*Number of time durations for creep compliances* = 11

2) *Time*

*Creep compliances* dihitung menggunakan 11 variasi waktu dan dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.10** *Time of Durations for Creep Compliances*

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

(Sumber: Huang, 2004)

3) *Layer*

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

*Temperature* = 25°C

4) *Creep Compliances*

Pada menu *creep*, nilai-nilai angka *creep compliances* akan secara otomatis terisi pada menu ini. Nilai *Creep compliances* adalah sama dengan NTYME pada *Viscoelastis General Information*. Satuan pada waktu NTYME akan dikonversikan secara otomatis ke KPa di menu ini. Untuk nilai *creep compliances* dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

**Tabel 5.11 Nilai Creep Compliances**

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

(Sumber : Huang, 2004)

5) *Temperature*

Pada menu temperatur sama dengan temperatur pada menu *layer* yakni 25°C.

Setelah seluruh data telah terisi di setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *Kenpave*. Data akan *dirunning* dengan klik menu *Kenlayer*. Lalu untuk melihat hasil analisis nilai tegangan dan regangan, klik menu *Editor* dan buka nama file.

## 3. Hasil Analisis

Hasil analisis yang dilakukan oleh *Kenlayer* mengeluarkan *output* analisis berupa tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Respon yang diberikan untuk *single axle load* (roda gandar tunggal) pada analisis ini berupa *vertikal compressive strain* yang terdapat pada permukaan tanah dasar dan radial (*tangential*) *tensile strain* yang terletak di aspal bagian bawah. Tegangan dan regangan yang ada pada Tabel 5.12 didapat ketika struktur perkerasan jalan sudah

dibebani. Sedangkan pada Tabel 5.13 merupakan rekapitulasi nilai tegangan dan regangan terbesar dari tiap *layer*.

**Tabel 5.12 Hasil Analisis Eksisting Pemodelan Viskoelastik**

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	834,738
		$2,14 \times 10^{-4}$	$2,8 \times 10^{-4}$
	17,995	145,28	-178,919
		$2,63 \times 10^{-4}$	$-2,42 \times 10^{-4}$
	18,005	145,19	19,574
		$5,36 \times 10^{-4}$	$-2,42 \times 10^{-4}$
	47,995	40,953	-15,546
		$2,21 \times 10^{-4}$	$-1,27 \times 10^{-4}$
48,005	40,943	4,41	
	$2,5 \times 10^{-4}$	$-1,27 \times 10^{-4}$	
2	0	550	455,883
		$3,69 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-4}$
	17,995	129,301	-90,488
		$2,54 \times 10^{-4}$	$-1,43 \times 10^{-4}$
	18,005	129,256	37,576
		$4,46 \times 10^{-4}$	$-2,43 \times 10^{-4}$
	47,995	44,225	-17,443
		$2,41 \times 10^{-4}$	$-1,35 \times 10^{-4}$
48,005	44,214	335,921	
	$2,73 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-4}$	
3	0	0	335,921
		$-4,63 \times 10^{-6}$	$1,19 \times 10^{-4}$
	17,995	117,993	-43,421
		$2,17 \times 10^{-4}$	$-2,38 \times 10^{-4}$
	18,005	117,907	45,415
		$3,90 \times 10^{-4}$	$-2,38 \times 10^{-4}$
	47,995	44,807	-17,744
		$2,45 \times 10^{-4}$	$-1,37 \times 10^{-4}$
48,005	44,795	5,275	
	$2,77 \times 10^{-4}$	$-1,37 \times 10^{-4}$	

**Tabel 5.13 Rekapitulasi Regangan Maksimum**

	Regangan Horizontal	Regangan Vertikal	Regangan Vertikal
	17,995 cm	17,995	48,005
Beban	$2,42 \times 10^{-4}$	$2,63 \times 10^{-4}$	$2,50 \times 10^{-4}$
	$1,43 \times 10^{-4}$	$2,54 \times 10^{-4}$	$2,73 \times 10^{-4}$
	$2,38 \times 10^{-4}$	$2,17 \times 10^{-4}$	$2,77 \times 10^{-4}$
Max	$2,42 \times 10^{-4}$	$2,63 \times 10^{-4}$	$2,77 \times 10^{-4}$

Dari Tabel 5.12 dapat dilihat hasil dari analisis Program *Kenpave* berupa tegangan dan regangan yang dialami oleh perkerasan. Tegangan yang ditampilkan sesuai dengan tiap-tiap kedalaman yang diinput. Lalu pada Tabel 5.13 dapat dilihat tegangan maksimum yang dihasilkan dari tiap kerusakan yang akan digunakan untuk kontrol jumlah beban gandar dan umur pelayanan.

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah memperoleh nilai tegangan dan regangan, lalu dilanjutkan dengan menganalisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation* dan *rutting* sebagai bentuk kontrol prediksi umur pelayanan jalan. Kontrol ini dilakukan dengan cara menghitung nilai  $N_f$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*) dan  $N_d$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation* dan *rutting*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi. Untuk nilai  $f_4$  dan  $f_5$  mengikuti rekomendasi dari *Asphalt Intitute*.

##### a. Perhitungan nilai $N_f$ (*fatigue cracking*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (2,42 \times 10^{-4})^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 60.682.360 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai  $N_d$  (*rutting*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (2,63 \times 10^{-4})^{-4,477}$$

$$N_d = 14.504.833 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai  $N_d$  (*permanent deformation*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (2,77 \times 10^{-4})^{-4,477}$$

$$N_d = 11.594.650 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dari hasil perhitungan analisis program *Kenlayer* diketahui bahwa Jalan Tempel – Pakem mengalami kerusakan *fatigue cracking* setelah dilalui beban gandar sebesar 60.682.360 ESAL, untuk kerusakan *rutting* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 14.504.833 ESAL dan sedangkan kerusakan *permanent deformation* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 11.594.650 ESAL. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali merupakan *permanent deformation*. Maka dari besaran beban gandar ini dapat dihitung prediksi umur pelayanan dari Jalan Tempel – Pakem terhadap kerusakan menggunakan data-data LHR, *VDF*, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan juga nilai faktor pertumbuhan lalu lintas. Berikut adalah uraiannya.

$$CESA_{Deform} = \sum (\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times \text{VDF}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \frac{(1+0,01i)^{UR-1}}{0,01i}$$

$$11.594.650 = [10.016 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[19 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[10 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$\begin{aligned}
 & [96 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
 & [294 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
 & [24 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
 UR & = 16 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Dari analisis perkerasan lentur eksisting menggunakan pemodelan Viskoelastik didapatkan output berupa beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh Jalan Tempel – Pakem dari setiap kerusakan yang terjadi dan umur rencana yang menunjukkan lama Jalan Tempel – Pakem menahan beban gandar maksimum tersebut sampai terjadi kerusakan. Untuk nilai rekapitulasi beban gandar maksimum dan masa layanan beban gandarnya dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

**Tabel 5.14 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Eksisting Pemodelan Viskoelastik**

Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	60.682.360	45
<i>Rutting</i>	14.504.833	19
<i>Permanent Deformation</i>	11.594.650	16

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali pada Jalan Tempel – Pakem adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 11.594.650 ESAL dengan umur pelayanan 16 tahun. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa tebal perkerasan lentur eksisting dengan pemodelan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa sebelum umur rencana Jalan Tempel – Pakem juga akan mengalami kerusakan *rutting*. Tetapi untuk kerusakan *fatigue cracking* jalan ini dianggap sudah sangat mampu untuk menahan beban tersebut.

### 5.2.2 Desain Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program *Kenpave* Pemodelan Linier Elastik

Data tebal perkerasan eksisting yang telah didapatkan dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta dapat diolah langsung menggunakan program *Kenpave* untuk mengetahui besaran kerusakan yang terjadi.

#### 1. Data Analisis

##### a. Detail beban sumbu roda

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

##### b. Parameter tiap lapis perkerasan

Pada analisis ini lapisan *hot mix asphalt*, lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan menggunakan material berbahan linier elastik. Jadi pada perhitungan ini hanya menggunakan parameter modulus elastis dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

**Tabel 5.15 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan**

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

Sumber : Huang (2004)

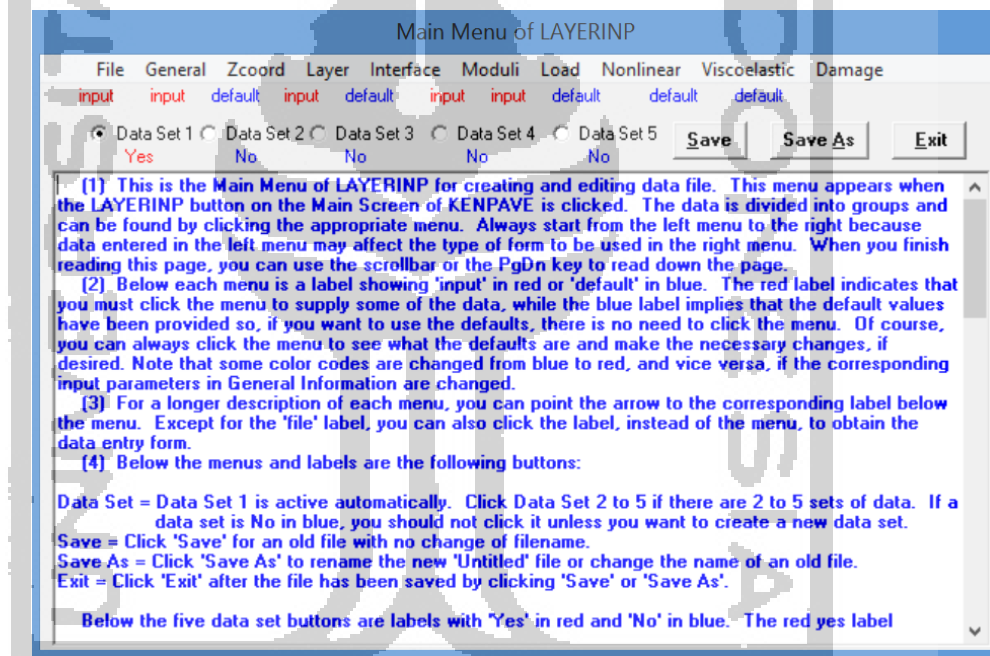


## 2. Input program *Kenpave*

Berikut ini akan dilakukan analisis perkerasan eksisting menggunakan program *Kenpave* dengan beberapa tahap pengerjaan untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.

### a. Input *Layernip*

Pada menu *Layernip* ini disediakan beberapa pilihan untuk mengisi data-data yang dibutuhkan sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur yang di analisis.



Gambar 5.4 Tampilan *Layernip*

Untuk memulai halaman baru pada *Layernip* klik file dan klik new. Maka data yang diinputkan akan kembali ke default.

### b. General

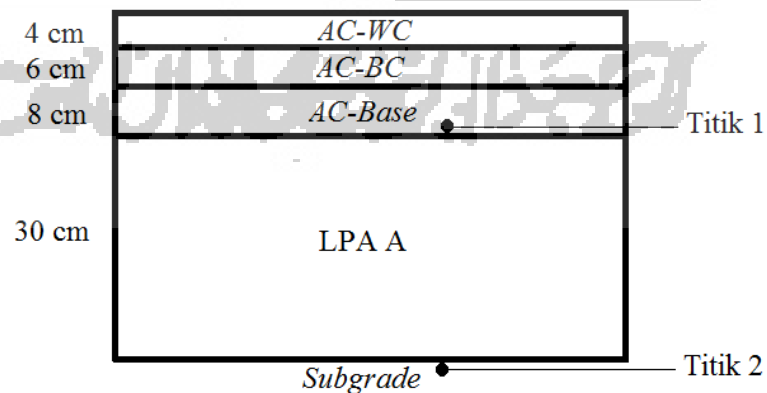
Setelah itu masukkan data input general seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

**Tabel 5.16 Input General**

<i>Title</i>	<i>Trial</i>	<i>Keterangan</i>
MATL	1	Lapis perkerasan adalah Linier Elastik
NDAMA	0	Diawal tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NLG	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
DEL	0,001	Akurasi analisis
NL	5	Jumlah Lapis Perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade</i> )
NZ	5	Jumlah titik tinjau kerusakan
ICL	80	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NSDT	9	Untuk hasil analisis perpindahan vertikal, nilai tegangan dan nilai regangan
NBOND	1	Semua lapisan perkerasan saling terikat
NLBT	0	
NLTC	0	
NUNIT	1	Unit satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.

**Gambar 5.5 Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan**

Sama seperti menggunakan pemodelan Viskoelastik, titik kedalaman yang ditinjau adalah 17,995 dan 48,005 untuk melihat tegangan dan regangan pada lokasi kerusakan. Untuk detail kedalaman input *Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

**Tabel 5.17 Input *Zcoord***

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	17,995	Dasar lapis perkerasan
3	18,005	Permukaan lapis pondasi
4	47,995	Dasar lapis pondasi
5	48,005	<i>Subgrade</i>

d. *Layer*

Menu *layer* ini berfungsi untuk *input* data parameter perkerasan berupa tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut diperoleh dari Huang (2004) dan dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

**Tabel 5.18 Input Parameter *Layer***

No Layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>	Keterangan
1	4	0,35	<i>AC-WC</i>
2	6	0,35	<i>AC-BC</i>
3	8	0,35	<i>AC-Base</i>
4	30	0,4	LPA A
5	$\infty$	0,45	<i>Subgrade</i>

e. *Moduli*

Menu *moduli* berfungsi untuk *input* parameter perkerasan berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastis ini diperoleh dari Huang (2004) dan dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

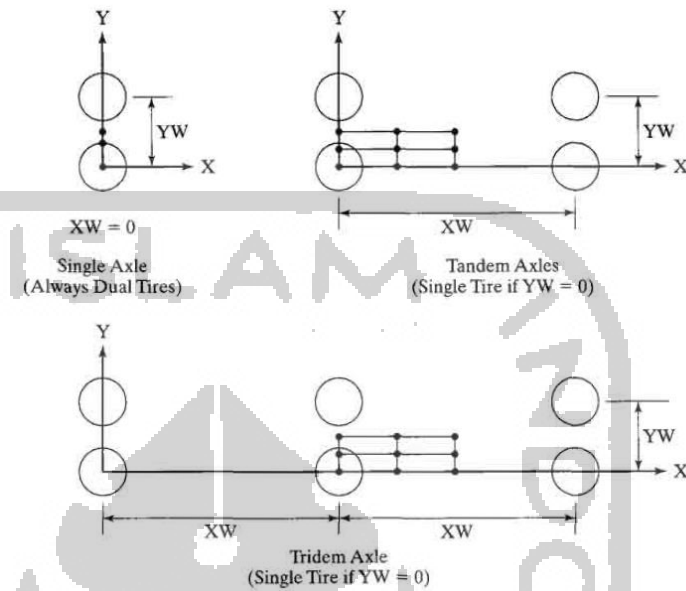
**Tabel 5.19 Input Moduli**

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

f. *Load*

Pada menu *Load* ini akan dimasukkan data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan.

- 1) *Load* = 1 (*single axle road*, roda gandar ganda)
- 2) CR, berdasarkan nilai jarak antar ban = 11 cm
- 3) CP, berdasarkan nilai tekanan ban = 0,55 MPa = 550 KPa
- 4) YW dan XW, merupakan roda *single axle dual tires* maka nilai YW = 33 dan XW = 0



**Gambar 5.6 Plan View of Multiple Wheels**

(Sumber : Huang, 2004)

- 5) NPT, nilai koordinat NPT yang ditinjau adalah 3, dengan nilai koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

**Tabel 5.20 Koordinat NPT**

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Setelah seluruh data telah terisi di setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *Kenpave*. Data akan *dirunning* dengan klik menu *Kenlayer*. Lalu untuk melihat hasil analisis nilai tegangan dan regangan, klik menu *Editor* dan buka nama file.

### 3. Hasil Analisis

Berikut adalah hasil output tegangan dan regangan pada pemodelan elastik linier menggunakan program *Kenlayer*.

**Tabel 5.21 Hasil Analisis Eksisting Pemodelan Elastik Linier**

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	788,062
		$1,73 \times 10^{-4}$	$2,19 \times 10^{-4}$
	17,995	126,679	-297,226
		$2,28 \times 10^{-4}$	$-2,01 \times 10^{-4}$
	18,005	126,606	19,664
		$4,57 \times 10^{-4}$	$-2,02 \times 10^{-4}$
	47,995	38,682	-14,362
		$2,08 \times 10^{-4}$	$-1,18 \times 10^{-4}$
48,005	38,673	4,423	
	$2,34 \times 10^{-4}$	$-1,18 \times 10^{-4}$	
2	0	550	453,684
		$1,37 \times 10^{-5}$	$1,36 \times 10^{-4}$
	17,995	115,823	-180,674
		$1,88 \times 10^{-4}$	$-2,04 \times 10^{-4}$
	18,005	115785	34,242
		$3,93 \times 10^{-4}$	$-2,04 \times 10^{-4}$
	47,995	41,676	-16,122
		$2,26 \times 10^{-4}$	$-1,25 \times 10^{-4}$
48,005	41,665	5,054	
	$2,55 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-4}$	
3	0	0	369,454
		$-2,21 \times 10^{-5}$	$1,21 \times 10^{-4}$
	17,995	107,326	-116,448
		$1,63 \times 10^{-4}$	$-2,00 \times 10^{-4}$
	18,005	107,302	40,096
		$3,51 \times 10^{-4}$	$-2,00 \times 10^{-4}$
	47,995	42,213	-16,41
		$2,29 \times 10^{-4}$	$-1,26 \times 10^{-4}$
48,005	42,203	5,188	
	$2,63 \times 10^{-4}$	$-1,26 \times 10^{-4}$	

**Tabel 5.22 Rekapitulasi Regangan Maksimum**

	Regangan Horizontal	Regangan Vertikal	Regangan Vertikal
	17,995 cm	17,995	48,005
Beban	$2,01 \times 10^{-4}$	$2,28 \times 10^{-4}$	$2,34 \times 10^{-4}$
	$2,04 \times 10^{-4}$	$1,88 \times 10^{-4}$	$2,55 \times 10^{-4}$
	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,63 \times 10^{-4}$	$2,63 \times 10^{-4}$
Max	$2,04 \times 10^{-4}$	$2,28 \times 10^{-4}$	$2,63 \times 10^{-4}$

Dari Tabel 5.21 dapat dilihat hasil dari analisis Program *Kenpave* berupa tegangan dan regangan yang dialami oleh perkerasan. Tegangan yang ditampilkan sesuai dengan tiap-tiap kedalaman yang diinput. Lalu pada Tabel 5.22 dapat dilihat tegangan maksimum yang dihasilkan dari tiap kerusakan yang akan digunakan untuk kontrol jumlah beban gandar dan umur pelayanan.

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah memperoleh nilai tegangan dan regangan, lalu dilanjutkan dengan menganalisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation* dan *rutting* sebagai bentuk kontrol prediksi umur pelayanan jalan. Kontrol ini dilakukan dengan cara menghitung nilai  $N_f$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*) dan  $N_d$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation* dan *rutting*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi.

##### a. Perhitungan nilai $N_f$ (*fatigue cracking*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (2,04 \times 10^{-4})^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 118.861.382 \text{ ESAL}$$

##### b. Perhitungan nilai $N_d$ (*rutting*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*.

$$\begin{aligned}
 N_d &= f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \\
 N_d &= 1,365 \times 10^{-9} \times (2,28 \times 10^{-4})^{-4,477} \\
 N_d &= 27.801.770 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan nilai  $N_d$  (*permanent deformation*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*.

$$\begin{aligned}
 N_d &= f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \\
 N_d &= 1,365 \times 10^{-9} \times (2,63 \times 10^{-4})^{-4,477} \\
 N_d &= 14.653.797 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dari hasil perhitungan analisis program *Kenlayer* diketahui bahwa Jalan Tempel – Pakem mengalami kerusakan *fatigue cracking* setelah dilalui beban gandar sebesar 118.861.382 ESAL, untuk kerusakan *rutting* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 27.801.770 ESAL dan sedangkan kerusakan *permanent deformation* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 14.653.797 ESAL. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali merupakan *permanent deformation*. Maka dari besaran beban gandar ini dapat dihitung prediksi umur pelayanan dari Jalan Tempel – Pakem terhadap kerusakan menggunakan data-data LHR, *VDF*, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan juga nilai faktor pertumbuhan lalu lintas. Berikut adalah uraiannya.

$$\begin{aligned}
 CESA_{Deform} &= \sum (LHRT_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \\
 14.653.797 &= [10.016 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] + \\
 &\quad [19 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] + \\
 &\quad [10 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] + \\
 &\quad [96 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] +
 \end{aligned}$$



$$[294 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[24 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$UR = 18 \text{ Tahun}$$

Dari analisis perkerasan lentur eksisting menggunakan pemodelan Elastik Linier didapatkan output berupa beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh Jalan Tempel – Pakem dari setiap kerusakan yang terjadi dan umur rencana yang menunjukkan lama Jalan Tempel – Pakem menahan beban gandar maksimum tersebut sampai terjadi kerusakan. Untuk nilai rekapitulasi beban gandar maksimum dan masa layanan beban gandarnya dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut ini.

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Eksisting Pemodelan Elastik Linier**

Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	118.861.382	61
<i>Rutting</i>	27.801.770	29
<i>Permanent Deformation</i>	14.653.797	18

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali pada Jalan Tempel – Pakem adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 14.653.797 ESAL dengan umur pelayanan 18 tahun. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa tebal perkerasan lentur eksisting dengan pemodelan elastik linier tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa Jalan Tempel – Pakem sudah mampu menahan beban maksimum untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* selama masa umur rencana.

### 5.2.3 Desain Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Bina Marga 2017

Dalam perancangan desain perkerasan lentur Alternatif menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 diperlukan beberapa tahapan pengerjaan. Adapun tahapan dari metode ini adalah sebagai berikut.

1. Umur rencana

Berdasarkan pada Tabel 3.1, pada perancangan perkerasan lentur menggunakan perkerasan aspal telah ditentukan menggunakan umur rencana 20 tahun dari tahun 2019 sehingga akan habis masa pelayanan pada tahun 2038.

2. Nilai faktor laju pertumbuhan lalu lintas (i)

Berdasarkan pada Tabel 3.2, Jalan Tempel – Pakem dapat dikategorikan sebagai jalan rural karna berada pada daerah pedesaan sehingga didapatkan faktor pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 3,5%.

3. Nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R)

Untuk nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas ini dibagi menjadi dua yakni  $R_{faktual}$  digunakan perhitungan untuk dibawah tahun 2020 dan  $R_{normal}$  digunakan untuk perhitungan diatas tahun 2020.

$$\begin{aligned} R_{faktual} &= \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \\ &= \frac{(1+0,01 \times 3,5)^2-1}{0,01 \times 3,5} \\ &= 2,00035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{normal} &= \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \\ &= \frac{(1+0,01 \times 3,5)^{18}-1}{0,01 \times 3,5} \\ &= 18,05365 \end{aligned}$$

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

Untuk Jalan Tempel – Pakem menggunakan sistem dua arah sehingga faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,5. Sedangkan untuk faktor distribusi lajur

(DL) diambil nilai 100% berdasarkan dari Tabel 3.3 karena jumlah lajur per arah adalah 1.

#### 5. Faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*)

Faktor ekivalen beban (*VDF*) ini dibutuhkan untuk memperoleh gambaran tentang beban sumbu kendaraan dan konfigurasi sumbu kendaraan yang ada. Dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Lentur No 02/M/BM/2017 *VDF* dibagi menjadi *VDF<sub>4</sub>* dan *VDF<sub>5</sub>* dan masing-masingnya memiliki nilai faktual ( $\leq 2020$ ) dan nilai normal ( $> 2020$ ) sehingga nantinya akan membedakan hasil Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)* menjadi *CESA<sub>4</sub>* dan *CESA<sub>5</sub>*. Nilai *CESA<sub>4</sub>* digunakan untuk menentukan pemilihan jenis perkerasan sedangkan *CESA<sub>5</sub>* digunakan untuk menentukan tebal perkerasan lentur yang digunakan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Lentur No 02/M/BM/2017. Untuk detail nilai *VDF<sub>4</sub>* dan *VDF<sub>5</sub>* daerah Jawa ini dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut ini.

**Tabel 5.24 Nilai *VDF<sub>4</sub>* dan *VDF<sub>5</sub>***

Kode	Jenis Kendaraan	<i>VDF<sub>4</sub></i> Aktual	<i>VDF<sub>4</sub></i> Normal	<i>VDF<sub>5</sub></i> Aktual	<i>VDF<sub>5</sub></i> Normal
2,3,4	Sepede Motor, Mobil Penumpang, Angkutan Umum, Pick up, dll	0	0	0	0
5a	Bus Besar dan Kecil Golongan 5a	0,3	0,3	0,2	0,2
5b	Bus Besar dan Kecil Golongan 5b	1,0	1,0	1,0	1,0
6a	Truk 2 As Golongan 6a	0,55	0,55	0,5	0,5
6b	Truk 2 As Golongan 6b	5,3	4,0	9,2	5,1
7a1	Truk 3 As Golongan 7a	8,2	4,7	14,4	6,4
7b1	Trailer 4 As, Truk Gandeng	11,8	9,4	18,2	13,0
7c1	Truk Semi Trailer	11,0	7,4	19,8	9,7

(Sumber : Bina Marga, 2017)

Dari data – data yang telah diberikan diatas maka dapat dihitung rencana jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun. Untuk contoh perhitungan akan diberikan perhitungan *Equivalent Single Axle Load (ESA<sub>4</sub> dan ESA<sub>5</sub>)* pada kendaraan golongan 5a.

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{4 \text{ Aktual}} &= (\sum \text{LHRT}_{\text{Jenis Kendaraan}} \times \text{VDF}_4) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (20 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 2,00035 \\ &= 2111,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{4 \text{ Normal}} &= (\sum \text{LHRT}_{\text{Jenis Kendaraan}} \times \text{VDF}_4) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (21 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 18,05365 \\ &= 20416,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{5 \text{ Aktual}} &= (\sum \text{LHRT}_{\text{Jenis Kendaraan}} \times \text{VDF}_4) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (20 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 2,00035 \\ &= 1407,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{5 \text{ Normal}} &= (\sum \text{LHRT}_{\text{Jenis Kendaraan}} \times \text{VDF}_4) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (21 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 18,05365 \\ &= 13611,06 \end{aligned}$$

Untuk rekapan perhitungan beban kendaraan golongan yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut ini.

**Tabel 5.25 Prediksi Jumlah Beban Gandar Selama Umur Perkerasan**

Kode	LHR (2019)	LHR (2021)	VDF <sub>4</sub> Aktual	VDF <sub>4</sub> Normal	VDF <sub>5</sub> Aktual	VDF <sub>5</sub> Normal	ESA <sub>4</sub> Aktual	ESA <sub>4</sub> Normal	ESA <sub>5</sub> Aktual	ESA <sub>5</sub> Normal
2,3,4	10017	10731	0	0	0	0	0	0	0	0
5a	20	21	0,3	0,3	0,2	0,2	2111,75	20416,58	1407,84	13611,06
5b	10	11	1	1	1	1	3519,59	34027,64	3519,59	34027,64
6a	97	104	0,55	0,55	0,5	0,5	19357,74	187152,01	17597,95	170138,19
6b	294	315	5,3	4	9,2	5,1	567905,39	4143810,08	985798,04	5283357,86
7a1	24	26	8,2	4,7	14,4	6,4	70548,23	390939,75	123889,57	532343,49
7b1	0	0	11,8	9,4	18,2	13	0	0	0	0
7c1	0	0	11	7,4	19,8	9,7	0	0	0	0
Jumlah ESA							663442,70	4776346,06	1132212,98	6033478,22
CESA							5.430.788,76		7.165.691,20	

Maka dari Tabel 5.22 didapat kan hasil perhitungan sebagai berikut.

$$CESA_4 = 5.430.788,76 \text{ ESAL}$$

$$CESA_5 = 7.165.691,20 \text{ ESAL}$$

## 6. Menentukan tipe perkerasan

Dalam menentukan tipe perkerasan ini dipengaruhi oleh hasil beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)* yang telah diperoleh sebelumnya. Dari nilai  $CESA_4$  sebesar 5.430.788,76 ESAL jika disinkronkan dengan Tabel 3.6, maka jenis perkerasan yang didapatkan adalah AC tebal  $\geq 100$  mm dengan lapis pondasi berbutir ( $ESA_5$ ) dengan persyaratan menggunakan kontraktor kecil – medium atau kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai. Aspal modifikasi direkomendasikan digunakan untuk lapis aur (*wearing course*) untuk jalan dengan repetisi lalu lintas 4 juta – 10 juta ESAL selama 20 tahun. Tujuan dari penggunaan bahan pengikat aspal adalah untuk memperpanjang umur pelayanan dan umur *fatigue* dan ketahanan deformasi lapis permukaan akibat lalu lintas berat.

## 7. Desain tebal perkerasan

Untuk menentukan desain tebal perkerasan didasarkan melalui Tabel 3.7 dengan menggunakan nilai  $CESA_5$  sebesar 7.165.691,20 ESAL. Sehingga didapatkan tebal lapisan perkerasan sebagai berikut.

<i>AC-WC</i>	= 4 cm
<i>AC-BC</i>	= 6 cm
<i>AC-Base</i>	= 10,5 cm
LPA Kelas A	= 30 cm

Dari data tebal perkerasan alternatif diatas didapatkan bahwa terdapat perbedaan tebal pada lapisan *AC Base* jika dibandingkan dengan perkerasan eksisting.

#### 5.2.4 Desain Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Program *Kenpave* Pemodelan Viskoelastik

Data tebal perkerasan eksisting yang telah didapatkan dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta dapat diolah langsung menggunakan program *Kenpave* untuk mengetahui besaran kerusakan yang terjadi.

##### 1. Data Analisis

###### a. Detail beban sumbu roda

Data detail sumbu roda yang digunakan diambil berdasarkan Gambar 3.5 yang merupakan data detail sumbu roda di Indonesia menurut Sukirman (1992), sebagai berikut.

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

###### b. Parameter tiap lapis perkerasan

Pada analisis lapisan permukaan perkerasan ini menggunakan material berbahan viskoelastik, sehingga perhitungan ini dilakukan berdasarkan *creep compliances*. Sedangkan pada lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan tetap menggunakan material berbahan linier elastik. Jadi pada perhitungan ini hanya menggunakan parameter modulus elastis dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut ini.

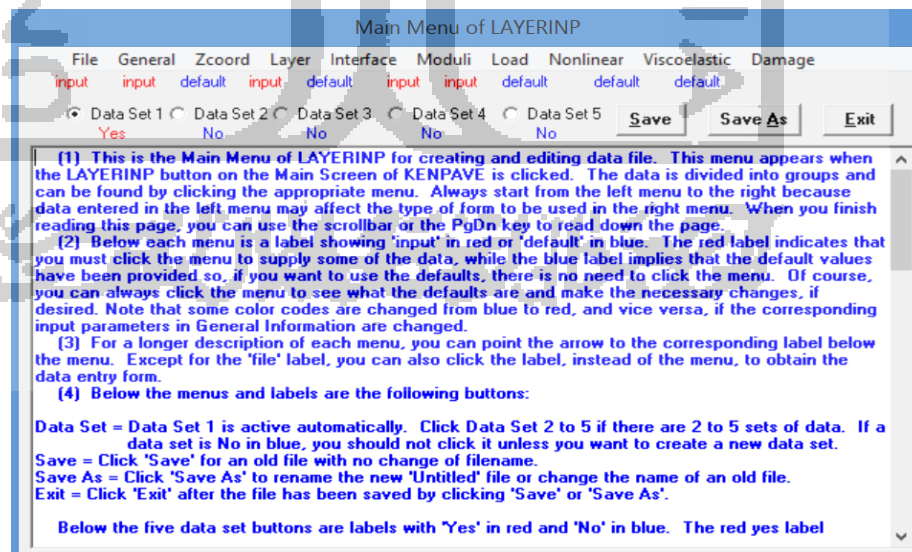
Tabel 5.26 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan

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

(Sumber : Huang, 2004)

2. Input program *Kenpave*a. Input *Layernip*

Pada menu *Layernip* ini disediakan beberapa pilihan untuk mengisi data-data yang dibutuhkan sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur yang di analisis.

Gambar 5.7 Tampilan *Layernip*



Untuk memulai halaman baru pada *Layernip* klik file dan klik new. Maka data yang diinputkan akan kembali ke default.

b. General

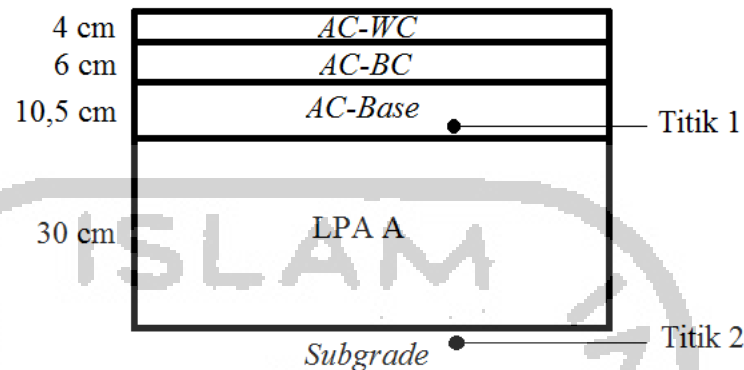
Setelah itu masukkan data input general seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut ini.

**Tabel 5.27 Input General**

<i>Title</i>	Trial	Keterangan
MATL	3	Lapis perkerasan adalah Viskoelastik
NDAMA	0	Diawal tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NLG	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
DEL	0,001	Akurasi analisis
NL	5	Jumlah Lapis Perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade</i> )
NZ	5	Jumlah titik tinjau kerusakan
ICL	80	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NSDT	9	Untuk hasil analisis perpindahan vertikal, nilai tegangan dan nilai regangan
NBOND	1	Semua lapisan perkerasan saling terikat
NLBT	0	
NLTC	0	
NUNIT	1	Unit satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



**Gambar 5.8 Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan**

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa terdapat dua titik tinjau kerusakan, dimana titik 1 merupakan kedalaman tinjauan kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan retak alur (*rutting*). Perbedaannya adalah untuk retak lelah menggunakan regangan horizontal sedangkan retak alur menggunakan regangan vertikal. Sedangkan titik 2 adalah kedalaman tinjauan kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*). Untuk detail kedalaman input *Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut ini.

**Tabel 5.28 Input *Zcoord***

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	20,495	Dasar lapis perkerasan
3	20,505	Permukaan lapis pondasi
4	50,495	Dasar lapis pondasi
5	50,505	<i>Subgrade</i>

d. *Layer*

Menu *layer* ini berfungsi untuk *input* data parameter perkerasan berupa tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut diperoleh dari Bina Marga 2017 dan dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut.

**Tabel 5.29 Input Parameter Layer**

No Layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>	Keterangan
1	4	0,35	AC-WC
2	6	0,35	AC-BC
3	10,5	0,35	AC-Base
4	30	0,4	LPA A
5	$\infty$	0,45	Subgrade

e. *Moduli*

Menu *moduli* berfungsi untuk *input* parameter perkerasan berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastis ini diperoleh dari Bina Marga 2017 dan dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut.

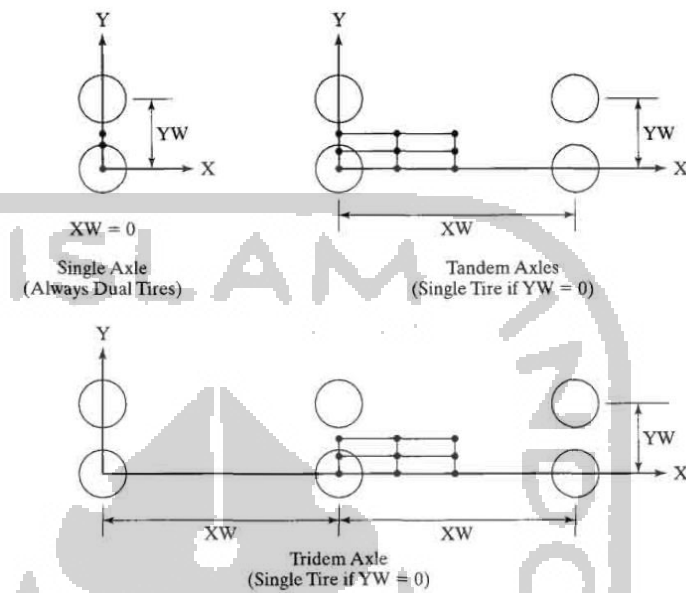
**Tabel 5.30 Input Moduli**

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

f. *Load*

Pada menu *Load* ini akan dimasukkan data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan.

- 1) *Load* = 1 (*single axle road*, roda gandar ganda)
- 2) CR, berdasarkan nilai jarak antar ban = 11 cm
- 3) CP, berdasarkan nilai tekanan ban = 0,55 MPa = 550 KPa
- 4) YW dan XW, merupakan roda *single axle dual tires* maka nilai YW = 33 dan XW = 0



**Gambar 5.9 Plan View of Multiple Wheels**

(Sumber : Huang, 2004)

- 5) NPT, nilai koordinat NPT yang ditinjau adalah 3, dengan nilai koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut.

**Tabel 5.31 Koordinat NPT**

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

g. *Viscoelastic*

1) *General*

*Load Duration (DUR)* = 0,1

*Number of viscoelastic layers* = 3

*Number of time durations for creep compliances* = 11

2) *Time*

*Creep compliances* dihitung menggunakan 11 variasi waktu dan dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut.

**Tabel 5.32 Time of Durations for Creep Compliances**

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

(Sumber: Huang, 2004)

3) *Layer*

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

*Temperature* = 25°C

4) *Creep Compliances*

Pada menu *creep*, nilai-nilai angka *creep compliances* akan secara otomatis terisi pada menu ini. Nilai *Creep compliances* adalah sama dengan NTYME pada *Viscoelastis General Information*. Satuan pada waktu NTYME akan dikonversikan secara otomatis ke KPa di menu ini. Untuk nilai *creep compliances* dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut ini.

**Tabel 5.33 Nilai Creep Compliances**

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

(Sumber : Huang, 2004)

5) *Temperature*

Pada menu temperatur sama dengan temperatur pada menu *layer* yakni 25°C.

Setelah seluruh data telah terisi di setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *Kenpave*. Data akan *dirunning* dengan klik menu *Kenlayer*. Lalu untuk melihat hasil analisis nilai tegangan dan regangan, klik menu *Editor* dan buka nama file.

## 3. Hasil Analisis

Hasil analisis yang dilakukan oleh *Kenlayer* mengeluarkan *output* analisis berupa tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Respon yang diberikan untuk *single axle load* (roda gandar tunggal) pada analisis ini berupa *vertikal compressive strain* yang terdapat pada permukaan tanah dasar dan radial (*tangential*) *tensile strain* yang terletak di aspal bagian bawah. Tegangan dan regangan yang ada pada Tabel 5.34 didapat ketika struktur perkerasan jalan sudah

dibebani. Sedangkan pada Tabel 5.35 merupakan rekapitulasi nilai tegangan dan regangan terbesar dari tiap *layer*.

**Tabel 5.34 Hasil Analisis Alternatif Pemodelan Viskoelastik**

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	796,468
		$1,91 \times 10^{-4}$	$2,37 \times 10^{-4}$
	20,495	116,881	-173,787
		$2,26 \times 10^{-4}$	$-2,02 \times 10^{-4}$
	20,505	116,821	-13,591
		$4,38 \times 10^{-4}$	$-2,02 \times 10^{-4}$
	50,495	36,182	-14,053
		$1,96 \times 10^{-4}$	$-1,11 \times 10^{-4}$
	50,505	36,173	3,745
		$2,21 \times 10^{-4}$	$-1,11 \times 10^{-4}$
2	0	550	441,23
		$3,12 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-4}$
	20,495	109,42	-113,976
		$2,18 \times 10^{-4}$	$-2,08 \times 10^{-4}$
	20,505	109,38	26,669
		$3,91 \times 10^{-4}$	$-2,08 \times 10^{-4}$
	50,495	38,914	-15,771
		$2,13 \times 10^{-4}$	$-1,18 \times 10^{-4}$
	50,505	38,904	4,256
		$2,41 \times 10^{-4}$	$-1,18 \times 10^{-4}$
3	0	0	352,786
		$-5,94 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-4}$
	20,495	103,031	-81,817
		$1,97 \times 10^{-4}$	$-2,05 \times 10^{-4}$
	20,505	103,031	31,493
		$3,58 \times 10^{-4}$	$-2,05 \times 10^{-4}$
	50,495	39,409	-16,062
		$2,16 \times 10^{-4}$	$-1,19 \times 10^{-4}$
	50,505	39,399	4,364
		$2,44 \times 10^{-4}$	$-1,19 \times 10^{-4}$

**Tabel 5.35 Rekapitulasi Regangan Maksimum**

	Regangan Horizontal	Regangan Vertikal	Regangan Vertikal
	20,495 cm	20,495	50,505
Beban	$2,02 \times 10^{-4}$	$2,26 \times 10^{-4}$	$2,21 \times 10^{-4}$
	$2,08 \times 10^{-4}$	$2,18 \times 10^{-4}$	$2,41 \times 10^{-4}$
	$2,05 \times 10^{-4}$	$1,97 \times 10^{-4}$	$2,44 \times 10^{-4}$
Max	$2,08 \times 10^{-4}$	$2,50 \times 10^{-4}$	$2,44 \times 10^{-4}$

Dari Tabel 5.34 dapat dilihat hasil dari analisis Program *Kenpave* berupa tegangan dan regangan yang dialami oleh perkerasan. Tegangan yang ditampilkan sesuai dengan tiap-tiap kedalaman yang diinput. Lalu pada Tabel 5.35 dapat dilihat tegangan maksimum yang dihasilkan dari tiap kerusakan yang akan digunakan untuk kontrol jumlah beban gandar dan umur pelayanan.

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah memperoleh nilai tegangan dan regangan, lalu dilanjutkan dengan menganalisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation* dan *rutting* sebagai bentuk kontrol prediksi umur pelayanan jalan. Kontrol ini dilakukan dengan cara menghitung nilai  $N_f$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*) dan  $N_d$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation* dan *rutting*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi. Untuk nilai  $f_4$  dan  $f_5$  mengikuti rekomendasi dari *Asphalt Intitute*.

##### a. Perhitungan nilai $N_f$ (*fatigue cracking*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (2,08 \times 10^{-4})^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 110.135.188 \text{ ESAL}$$



b. Perhitungan nilai  $N_d$  (*rutting*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (2,26 \times 10^{-4})^{-4,477}$$

$$N_d = 28.693.872 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai  $N_d$  (*permanent deformation*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (2,44 \times 10^{-4})^{-4,477}$$

$$N_d = 20.360.498 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dari hasil perhitungan analisis program *Kenlayer* diketahui bahwa Jalan Tempel – Pakem mengalami kerusakan *fatigue cracking* setelah dilalui beban gandar sebesar 110.135.188 ESAL, untuk kerusakan *rutting* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 28.693.872 ESAL dan sedangkan kerusakan *permanent deformation* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 20.360.498 ESAL. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali merupakan *permanent deformation*. Maka dari besaran beban gandar ini dapat dihitung prediksi umur pelayanan dari Jalan Tempel – Pakem terhadap kerusakan menggunakan data-data LHR, *VDF*, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan juga nilai faktor pertumbuhan lalu lintas. Berikut adalah uraiannya.

$$CESA_{Deform} = \sum (\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times \text{VDF}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \frac{(1+0,01i)^{UR-1}}{0,01i}$$

$$20.360.498 = [10.016 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[20 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[10 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$\begin{aligned}
 & [97 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
 & [294 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
 & [24 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
 \text{UR} & = 23 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Dari analisis perkerasan lentur alternatif menggunakan pemodelan Viskoelastik didapatkan output berupa beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh Jalan Tempel – Pakem dari setiap kerusakan yang terjadi dan umur rencana yang menunjukkan lama Jalan Tempel – Pakem menahan beban gandar maksimum tersebut sampai terjadi kerusakan. Untuk nilai rekapitulasi beban gandar maksimum dan masa layanan beban gandarnya dapat dilihat pada Tabel 5.36 berikut ini.

**Tabel 5.36 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Alternatif Pemodelan Viskoelastik**

Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	110.135.188	60
<i>Rutting</i>	28.693.872	30
<i>Permanent Deformation</i>	20.360.498	23

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali pada Jalan Tempel – Pakem adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 20.360.498 ESAL dengan umur pelayanan 23 tahun. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa tebal perkerasan lentur alternatif dengan pemodelan viskoelastik sudah mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa Jalan Tempel – Pakem sudah mampu menahan beban maksimum untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* selama masa umur rencana.

### 5.2.5 Desain Perkerasan Lentur Alternatif Menggunakan Program *Kenpave* Pemodelan Linier Elastik

Data tebal perkerasan alternatif yang telah didapatkan dari desain tebal perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017 selanjutnya dapat dilakukan pemodelan menggunakan program *Kenpave*.

#### 1. Data Analisis

##### a. Detail beban sumbu roda

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

##### b. Parameter tiap lapis perkerasan

Pada analisis ini lapisan *hot mix asphalt*, lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan menggunakan material berbahan linier elastik. Jadi pada perhitungan ini hanya menggunakan parameter modulus elastis dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.37 berikut ini.

**Tabel 5.37 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan**

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

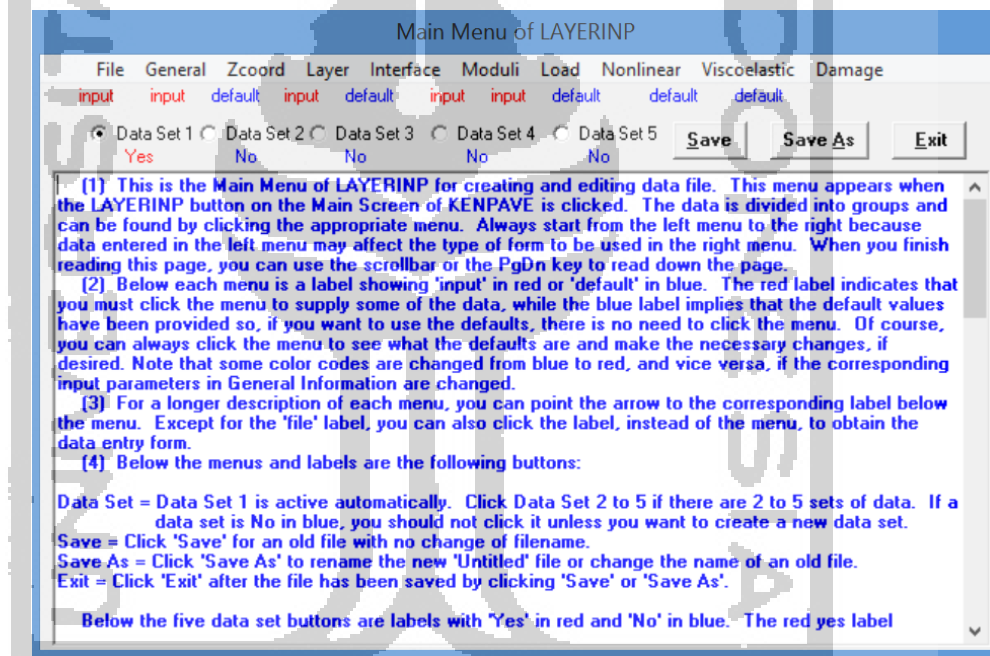
(Sumber : Huang, 2004)

## 2. Input program *Kenpave*

Berikut ini akan dilakukan analisis perkerasan alternatif menggunakan program *Kenpave* dengan beberapa tahap pengerjaan untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.

### a. Input *Layernip*

Pada menu *Layernip* ini disediakan beberapa pilihan untuk mengisi data-data yang dibutuhkan sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur yang di analisis.



Gambar 5.10 Tampilan *Layernip*

Untuk memulai halaman baru pada *Layernip* klik file dan klik new. Maka data yang diinputkan akan kembali ke default.

### b. General

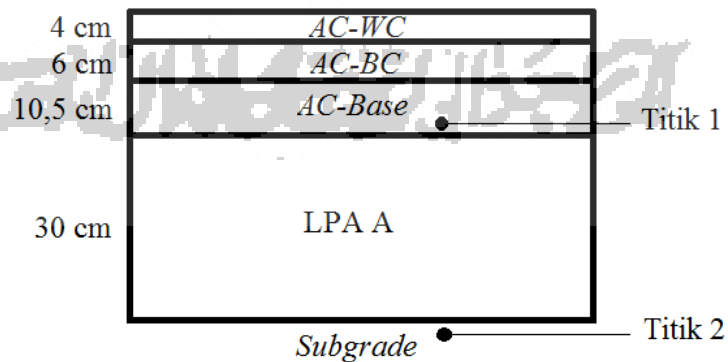
Setelah itu masukkan data input general seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.38 berikut ini.

**Tabel 5.38 Input General**

<i>Title</i>	<i>Trial</i>	<i>Keterangan</i>
MATL	1	Lapis perkerasan adalah Linier Elastik
NDAMA	0	Diawal tidak terdapat analisis kerusakan
NPY	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NLG	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
DEL	0,001	Akurasi analisis
NL	5	Jumlah Lapis Perkerasan ( <i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade</i> )
NZ	5	Jumlah titik tinjau kerusakan
ICL	80	Mengikuti <i>Kenpave</i>
NSDT	9	Untuk hasil analisis perpindahan vertikal, nilai tegangan dan nilai regangan
NBOND	1	Semua lapisan perkerasan saling terikat
NLBT	0	
NLTC	0	
NUNIT	1	Unit satuan Standar Internasional

c. *Zcoord*

Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.

**Gambar 5.11 Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan**

Sama seperti menggunakan pemodelan Viskoelastik, titik kedalaman yang ditinjau adalah 20,495 dan 50,505 untuk melihat tegangan dan regangan pada lokasi kerusakan. Untuk detail kedalaman input *Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut ini.

**Tabel 5.39 Input *Zcoord***

No	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan lapis perkerasan
2	20,495	Dasar lapis perkerasan
3	20,505	Permukaan lapis pondasi
4	50,495	Dasar lapis pondasi
5	50,505	<i>Subgrade</i>

d. *Layer*

Menu *layer* ini berfungsi untuk *input* data parameter perkerasan berupa tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut diperoleh dari Huang (2004) dan dapat dilihat pada Tabel 5.40 berikut.

**Tabel 5.40 Input Parameter *Layer***

No Layer	Tebal (cm)	<i>Poisson's Ratio</i>	Keterangan
1	4	0,35	<i>AC-WC</i>
2	6	0,35	<i>AC-BC</i>
3	10,5	0,35	<i>AC-Base</i>
4	30	0,4	LPA A
5	$\infty$	0,45	<i>Subgrade</i>

e. *Moduli*

Menu *moduli* berfungsi untuk *input* parameter perkerasan berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastis ini diperoleh dari Huang (2004) dan dapat dilihat pada Tabel 5.41 berikut.

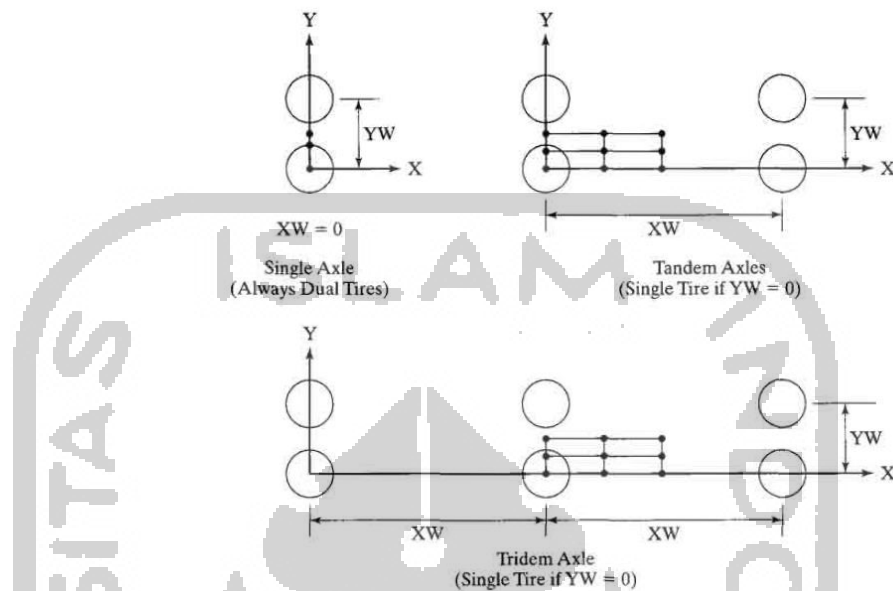
**Tabel 5.41 Input Moduli**

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

f. *Load*

Pada menu *Load* ini akan dimasukkan data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan.

- 1) *Load* = 1 (*single axle load*, roda gandar ganda)
- 2) CR, berdasarkan nilai jarak antar ban = 11 cm
- 3) CP, berdasarkan nilai tekanan ban = 0,55 MPa = 550 KPa
- 4) YW dan XW, merupakan roda single axle dual tires maka nilai YW = 33 dan XW = 0



**Gambar 5.12 Plan View of Multiple Wheels**

(Sumber : Huang, 2004)

- 5) NPT, nilai koordinat NPT yang ditinjau adalah 3, dengan nilai koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.42 berikut.

**Tabel 5.42 Koordinat NPT**

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Setelah seluruh data telah terisi di setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *Kenpave*. Data akan *dirunning* dengan klik menu *Kenlayer*. Lalu untuk melihat hasil analisis nilai tegangan dan regangan, klik menu *Editor* dan buka nama file.



### 3. Hasil Analisis

Berikut adalah hasil output tegangan dan regangan pada pemodelan Elastik linier menggunakan program *Kenlayer*.

**Tabel 5.43 Hasil Analisis Alternatif Pemodelan Elastik Linier**

Point	Koordinat Vertikal	Regangan Vertikal	Regangan Horizontal
1	0	550	753,935
		$1,97 \times 10^{-4}$	$1,99 \times 10^{-4}$
	20,495	105,033	-256,67
		$1,94 \times 10^{-4}$	$-1,74 \times 10^{-4}$
	20,505	104,997	14,096
		$3,86 \times 10^{-4}$	$-1,74 \times 10^{-4}$
50,495	34,562	-13,051	
	$1,86 \times 10^{-4}$	$-1,04 \times 10^{-4}$	
50,505	34,554	3,859	
	$2,09 \times 10^{-4}$	$-1,42 \times 10^{-4}$	
2	0	550	427,026
		$3,07 \times 10^{-5}$	$1,29 \times 10^{-4}$
	20,495	99,808	-182,587
		$1,71 \times 10^{-4}$	$-1,79 \times 10^{-4}$
	20,505	99,764	25,226
		$3,50 \times 10^{-4}$	$-1,79 \times 10^{-4}$
50,495	37,089	-14,638	
	$2,01 \times 10^{-4}$	$-1,10 \times 10^{-4}$	
50,505	37,079	4,327	
	$2,27 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-4}$	
3	0	0	349,999
		$-7,17 \times 10^{-6}$	$1,21 \times 10^{-4}$
	20,495	94,765	-141,155
		$1,56 \times 10^{-4}$	$-1,77 \times 10^{-4}$
	20,505	94,737	29,123
		$3,24 \times 10^{-4}$	$-1,78 \times 10^{-4}$
50,495	37,549	-14,912	
	$2,04 \times 10^{-4}$	$-1,11 \times 10^{-4}$	
50,505	37,539	4,426	
	$2,30 \times 10^{-4}$	$-1,11 \times 10^{-4}$	

**Tabel 5.44 Rekapitulasi Regangan Maksimum**

	Regangan Horizontal	Regangan Vertikal	Regangan Vertikal
	20,495 cm	20,495	50,505
Beban	$1,74 \times 10^{-4}$	$1,94 \times 10^{-4}$	$2,09 \times 10^{-4}$
	$1,79 \times 10^{-4}$	$1,71 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-4}$
	$1,77 \times 10^{-4}$	$1,56 \times 10^{-4}$	$2,30 \times 10^{-4}$
Max	$1,79 \times 10^{-4}$	$1,94 \times 10^{-4}$	$2,30 \times 10^{-4}$

Dari Tabel 5.43 dapat dilihat hasil dari analisis Program *Kenpave* berupa tegangan dan regangan yang dialami oleh perkerasan. Tegangan yang ditampilkan sesuai dengan tiap-tiap kedalaman yang diinput. Lalu pada Tabel 5.44 dapat dilihat tegangan maksimum yang dihasilkan dari tiap kerusakan yang akan digunakan untuk kontrol jumlah beban gandar dan umur pelayanan.

#### 4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah memperoleh nilai tegangan dan regangan, lalu dilanjutkan dengan menganalisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation* dan *rutting* sebagai bentuk kontrol prediksi umur pelayanan jalan. Kontrol ini dilakukan dengan cara menghitung nilai  $N_f$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*) dan  $N_d$  (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation* dan *rutting*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi.

##### a. Perhitungan nilai $N_f$ (*fatigue cracking*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (1,79 \times 10^{-4})^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 196.022.664 \text{ ESAL}$$

##### b. Perhitungan nilai $N_d$ (*rutting*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*.

$$\begin{aligned}
 N_d &= f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \\
 N_d &= 1,365 \times 10^{-9} \times (1,94 \times 10^{-4})^{-4,477} \\
 N_d &= 56.577.124 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan nilai  $N_d$  (*permanent deformation*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*.

$$\begin{aligned}
 N_d &= f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \\
 N_d &= 1,365 \times 10^{-9} \times (2,30 \times 10^{-4})^{-4,477} \\
 N_d &= 26.719.771 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dari hasil perhitungan analisis program *Kenlayer* diketahui bahwa Jalan Tempel – Pakem mengalami kerusakan *fatigue cracking* setelah dilalui beban gandar sebesar 196.022.664 ESAL, untuk kerusakan *rutting* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 56.577.124 ESAL dan sedangkan kerusakan *permanent deformation* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 26.719.771 ESAL. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali merupakan *permanent deformation*. Maka dari besaran beban gandar ini dapat dihitung prediksi umur pelayanan dari Jalan Tempel – Pakem terhadap kerusakan menggunakan data-data LHR, *VDF*, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan juga nilai faktor pertumbuhan lalu lintas. Berikut adalah uraiannya.

$$\begin{aligned}
 CESA_{Deform} &= \sum (LHRT_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \\
 26.719.771 &= [10.016 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] + \\
 &\quad [19 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] + \\
 &\quad [10 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] + \\
 &\quad [96 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR}-1}{0,01 \times 4,8}] +
 \end{aligned}$$

$$[294 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[24 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01(4,8))^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$UR = 28 \text{ Tahun}$$

Dari analisis perkerasan lentur alternatif menggunakan pemodelan Elastik linier didapatkan output berupa beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh Jalan Tempel – Pakem dari setiap kerusakan yang terjadi dan umur rencana yang menunjukkan lama Jalan Tempel – Pakem menahan beban gandar maksimum tersebut sampai terjadi kerusakan. Untuk nilai rekapitulasi beban gandar maksimum dan masa layanan beban gandarnya dapat dilihat pada Tabel 5.45 berikut ini.

**Tabel 5.45 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Alternatif Pemodelan Elastik Linier**

Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	196.022.664	74
<i>Rutting</i>	56.577.124	43
<i>Permanent Deformation</i>	26.719.771	28

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali pada Jalan Tempel – Pakem adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 26.719.771 ESAL dengan umur pelayanan 28 tahun. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa tebal perkerasan lentur alternatif dengan pemodelan Elastik Linier sudah mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa Jalan Tempel – Pakem sudah mampu menahan beban maksimum untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* selama masa umur rencana.

### 5.3 Pembahasan

Setelah dilakukannya analisis desain perkerasan lentur Jalan Tempel – Pakem untuk rehabilitasi dengan menggunakan metode mekanistik empiris, didapatkanlah beberapa hasil sebagai berikut ini.

1. Desain struktur perkerasan lentur eksisting dan alternatif Jalan Tempel – Pakem yang dilakukan dengan menggunakan metode mekanistik empiris yakni Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2017.
2. Nilai tegangan dan regangan perkerasan lentur eksisting dan alternatif dari Jalan Tempel – Pakem menggunakan metode mekanistik empiris yang dibantu dengan program *Kenpave-Kenlayer* menggunakan pemodelan Viskoelastik dan Elastik Linier.
3. Perbandingan perkiraan umur masa layanan struktur perkerasan eksisting dan alternatif menggunakan Bina Marga 2017.
4. Perbandingan perbedaan konsep, parameter desain, dan prosedur desain antara dua metode mekanistik empiris yakni Bina Marga 2017 dan Program *Kenpave*.

#### 5.3.1 Desain struktur perkerasan lentur eksisting dan alternatif Jalan Tempel – Pakem yang dilakukan dengan menggunakan metode mekanistik empiris yakni Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2017

Jalan Tempel – Pakem merupakan jalan yang menggunakan perkerasan lentur dengan jenis penanganan yaitu rehabilitasi jalan. Berdasarkan data yang diperoleh dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I. Yogyakarta, tebal perkerasan eksisting yang digunakan Jalan Tempel – Pakem adalah sebagai berikut.

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

Disamping itu dengan menggunakan data LHRT bisa didapatkan pula perkerasan alternatif berdasarkan Bina Marga 2017. Dari metode Bina Marga 2017 ini didapatkan angka  $CESA_4$  sebesar 5.430.788,76 ESAL dan  $CESA_5$  sebesar 7.165.691,20 ESAL. Jenis Perkerasan yang digunakan adalah AC dengan tebal lebih dari 10 cm dengan lapis pondasi berbutir dengan syarat menggunakan kontraktor kecil atau kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai. Dari Tabel 3.7 dengan  $CESA_5$  sebesar 7.165.691,20 ESAL didapatkan tebal perkerasan sebagai berikut.

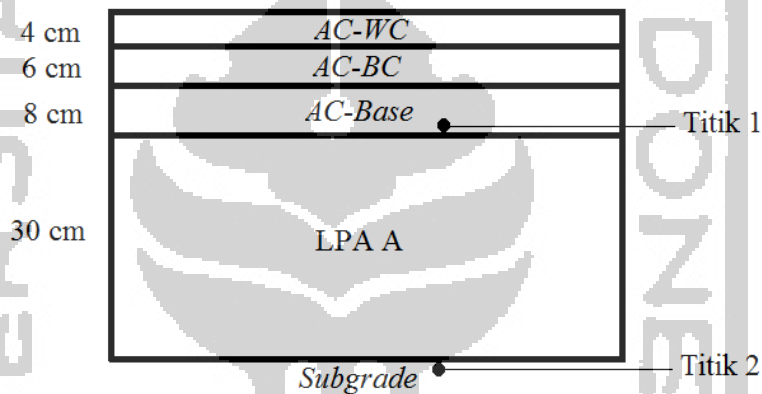
AC-WC	= 4 cm
AC-BC	= 6 cm
AC-Base	= 10,5 cm
Lapis Pondasi Agregat Kelas A	= 30 cm

Dapat dilihat dari tebal perkerasan lentur eksisting dan perkerasan lentur alternatif terdapat perbedaan tebal pada bagian AC dimana perkerasan lentur alternatif memiliki lapisan AC yang lebih tebal. Walaupun perbedaan ketebalan tidak terlalu signifikan, hal ini dapat berdampak besar kepada kemampuan Jalan Tempel – Pakem dalam menahan beban kendaraan yang lewat.

### **5.3.2 Nilai tegangan dan regangan perkerasan lentur eksisting dan alternatif dari Jalan Tempel – Pakem menggunakan metode mekanistik empiris yang dibantu dengan program *Kenpave-Kenlayer* menggunakan pemodelan Viskoelastik dan Elastik Linier**

Program *Kenpave-Kenlayer* ini membantu pengguna untuk memperkirakan tingkat kerusakan perkerasan yang mengacu kepada sifat-sifat fisik perkerasan seperti modulus elastisitas, *poisson ratio*, faktor lingkungan dan tebal perkerasan. Sifat-sifat perkerasan tersebut digunakan untuk menghitung respon perkerasan berupa tegangan dan regangan dari tiap lapisan. Untuk mengetahui seberapa perkerasan mampu menahan beban yang melintasinya, nilai tegangan dan regangan ini termasuk ke parameter yang penting.

Dalam melakukan pembacaan nilai tegangan dan regangan ini berbeda dalam tiap kerusakan. Untuk perkerasan eksisting, pada kerusakan *fatigue cracking* nilai kerusakan dibaca pada *tangential stress* kedalaman 17,995 cm yaitu pada lapisan permukaan bagian bawah, nilai kerusakan pada kerusakan *rutting* dibaca pada *vertical stress* kedalaman 17,995 cm. Sedangkan pada kerusakan *permanent deformation* dibaca pada *vertical stress* kedalaman 48,005 cm yaitu pada lapisan tanah dasar bagian atas (Huang, 2004). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.

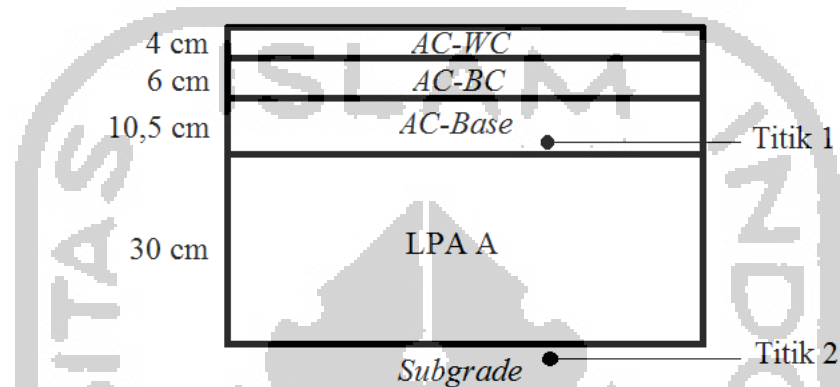


**Gambar 5.13 Letak Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Lentur Eksisting**

Pada hasil perhitungan dapat dilihat bahwa perkerasan lentur eksisting pemodelan Viskoelastik mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 60.682.360 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking*, 14.504.833 ESAL sampai terjadi *rutting* dan 11.594.650 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*. Untuk perkerasan lentur eksisting pemodelan Elastik Linier mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 118.861.382 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking*, 27.801.770 ESAL sampai terjadi *rutting* dan 14.653.797 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*.

Untuk perkerasan alternatif, pada kerusakan *fatigue cracking* nilai kerusakan dibaca pada *tangential stress* kedalaman 20,495 cm yaitu pada lapisan permukaan bagian bawah, nilai kerusakan pada kerusakan *rutting* dibaca pada *vertical stress*

kedalaman 20,495 cm. Sedangkan pada kerusakan *permanent deformation* dibaca pada *vertical stress* kedalaman 50,505 cm yaitu pada lapisan tanah dasar bagian atas (Huang, 2004). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



**Gambar 5.14 Letak Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Lentur Eksisting**

Pada hasil perhitungan dapat dilihat bahwa perkerasan lentur alternatif pemodelan Viskoelastik mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 110.135.188 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking*, 28.693.872 ESAL sampai terjadi *rutting* dan 20.360.498 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*. Untuk perkerasan lentur alternatif pemodelan Elastik Linier mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 196.022.664 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking*, 56.577.124 ESAL sampai terjadi *rutting* dan 26.719.771 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*.

### **5.3.3 Perbandingan perkiraan umur masa layanan struktur perkerasan eksisting dan alternatif menggunakan Bina Marga 2017**

Dalam penelitian ini dapat diprediksi umur pelayanan dari tebal perkerasan tertentu menggunakan angka beban repetisi dari tiap kerusakan sehingga dapat diketahui umur pelayanan sampai terjadi tiap-tiap kerusakan. Untuk mendapatkan umur pelayanan ini dilakukan dengan mengolah angka beban gandar tiap kerusakan



menggunakan data-data yang ada pada Bina Marga 2017 seperti LHR, VDF, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas.

Untuk perkerasan lentur eksisting pemodelan viskoelastik dengan tebal perkerasan tiap lapisan AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 8 cm dan LPA kelas A 30 cm didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 60.682.360 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 45 tahun, 14.504.833 ESAL (*rutting*) dengan umur pelayanan 19 tahun dan 11.594.650 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 16 tahun. Sedangkan perkerasan lentur eksisting pemodelan elastik linier didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 118.861.382 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 61 tahun, 27.801.770 ESAL (*rutting*) dengan umur pelayanan 29 tahun dan 14.653.797 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 18 tahun.

Untuk perkerasan lentur eksisting pemodelan viskoelastik dengan tebal perkerasan tiap lapisan AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 8 cm dan LPA kelas A 30 cm didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 60.682.360 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 45 tahun, 14.504.833 ESAL (*rutting*) dengan umur pelayanan 19 tahun dan 11.594.650 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 16 tahun. Sedangkan perkerasan lentur eksisting pemodelan elastik linier didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 118.861.382 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 61 tahun, 27.801.770 ESAL (*rutting*) dengan umur pelayanan 29 tahun dan 14.653.797 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 18 tahun.

Untuk perkerasan lentur alternatif pemodelan viskoelastik dengan tebal perkerasan tiap lapisan AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 10,5 cm dan LPA kelas A 30 cm didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 110.135.188 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 60 tahun, 28.693.872 ESAL (*rutting*) dengan umur pelayanan 30 tahun dan 20.360.498 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur

pelayanan 23 tahun. Sedangkan perkerasan lentur eksisting pemodelan elastik linier didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 196.022.664 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 74 tahun, 56.577.124 ESAL (*rutting*) dengan umur pelayanan 43 tahun dan 26.719.771 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 29 tahun.

#### **5.3.4 Perbandingan perbedaan konsep, parameter desain, dan prosedur desain antara dua metode mekanistik empiris yakni Bina Marga 2017 dan Program *Kenpave***

Setelah dilakukannya analisis perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017 dan menggunakan program *Kenpave*, didapatkan adanya beberapa perbandingan seperti konsep, parameter dan prosedur yang akan dijelaskan sebagai berikut.

##### **1. Konsep desain**

Pada penelitian ini dapat dilihat secara jelas bahwa analisis perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2017 dan Program *Kenpave* memiliki perbedaan konsep yang cukup signifikan. Pada dasarnya metode Bina Marga 2017 ini menggunakan konsep analisis perkerasan dengan menggunakan survey volume lalu lintas yang digunakan untuk menghitung beban lalu lintas yang akan dipikul jalan selama umur rencana. Dalam analisis perkerasan metode Bina Marga 2017 ini juga diperkuat oleh faktor-faktor seperti pertumbuhan lalu lintas yang sebelumnya telah dilakukan survey oleh Bina Marga itu sendiri dan dapat dilihat di dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2017. Daya dukung tanah juga dipergunakan dengan pemeriksaan nilai CBR tanah dasar. Penentuan daya dukung tanah dasar secara akurat dan desain pondasi perkerasan merupakan syarat penting untuk menghasilkan perkerasan berkinerja baik. Sebagai contoh perkerasan dengan lapis perkerasan tipis dapat mengurangi masa pelayanan secara signifikan jika terdapat kesalahan pada evaluasi tanah dasar.

Berbeda dari metode Bina Marga 2017 yang lebih banyak menggunakan hasil survey, Program *Kenpave* lebih menganut sistem multilapis elastis dan multilapis vikoelastis yang berkenaan dengan tegangan, regangan dan lendutan. Lalu pada sistem ini juga didasarkan pada mekanika bahan dimana dibutuhkan beberapa bahan *input* berupa tekanan ban roda, jarak antar ban, luas kontak area ban, nilai modulus elastisitas dan nilai *poisson ratio*. Jadi intinya pada program *Kenpave* ini mengolah asumsi tebal perkerasan dengan menggunakan parameter-parameter tertentu yang menghasilkan tegangan dan regangan yang terjadi pada jalan.

## 2. Parameter desain

Terdapat beberapa perbedaan parameter yang digunakan antara metode Bina Marga 2017 dan Program *Kenpave*. Dalam Bina marga 2017 menggunakan metode *fixed vehicle* yakni menghitung tebal perkerasan berdasarkan jumlah pengulangan beban kendaraan standar yang sudah ditentukan yakni 18 kip. Jadi beban pada kendaraan yang terdiri dari tandem/tridem harus diubah agar sesuai dengan pengulangan beban standar menggunakan faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*). Sedangkan pada Program *Kenpave* lebih menggunakan parameter berupa bahan yang mengalami kontak langsung dengan jalan seperti tekanan ban, luas kontak area, jarak antar ban dan jarak antar sumbu yang diperhitungkan.

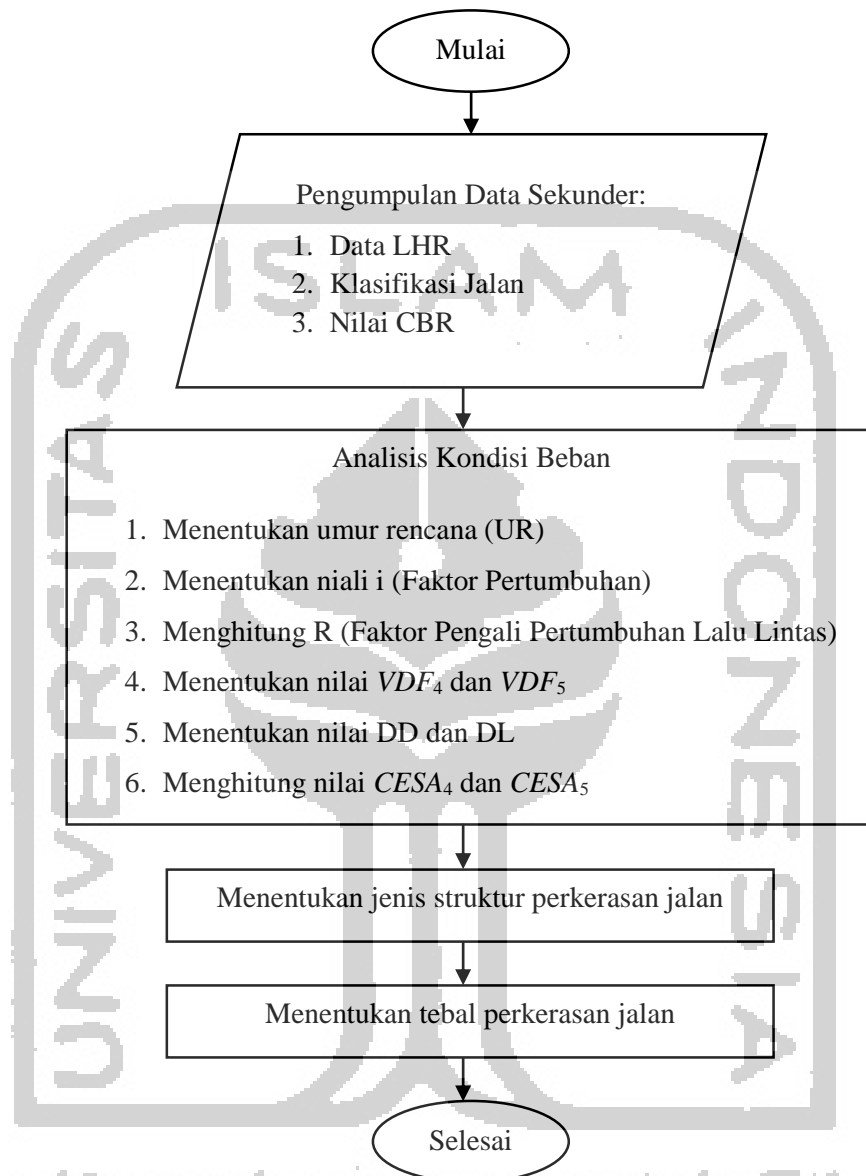
Parameter lain yang juga berpengaruh adalah parameter dari tiap lapisan yang digunakan pada tiap metode. Dalam Bina marga 2017 pada lapisan pondasi dan tanah dasar hanya berdasarkan dari angka *CBR* dan untuk lapisan permukaan berdasarkan hasil laboratorium dan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada setiap lajur (*CESA*). Berbeda pada Program *Kenpave*, dalam metode ini menghitung tegangan dan regangan dengan menggunakan parameter dari tiap lapisan berupa modulus elastisitas (*E*) dan *poisson's ratio*. Pada Program *Kenpave* juga memiliki dua pemodelan yakni viskoelastik dan elastik linier. Jika pada pemodelan viskoelastik, lapisan perkerasan diasumsikan memiliki sifat karakteristik material viskoelastik dan pondasi memiliki sifat elastik sehingga pada lapisan perkerasa dibutuhkan perhitungan *creep compliances*.

Parameter selanjutnya ialah penentuan tebal perkerasan. Pada metode Bina Marga 2017 tebal perkerasan ditentukan dengan nilai  $CESA_4$  dan  $CESA_5$ . Nilai  $CESA_4$  digunakan untuk menentukan jenis perkerasan yang digunakan sedangkan nilai  $CESA_5$  digunakan untuk penentuan tebal perkerasan yang digunakan. Sedangkan pada Program *Kenpave*, tebal perkerasan diasumsikan terlebih dahulu dan dilakukan analisis sehingga didapatkan nilai tegangan dan regangan. Nilai tegangan dan regangan diolah sehingga didapatkan nilai jumlah repetisi beban yang terjadi pada tiap kerusakan ( $N_f$ ,  $N_r$  dan  $N_d$ ) untuk membuktikan asumsi tebal perkerasan yang dipakai aman.

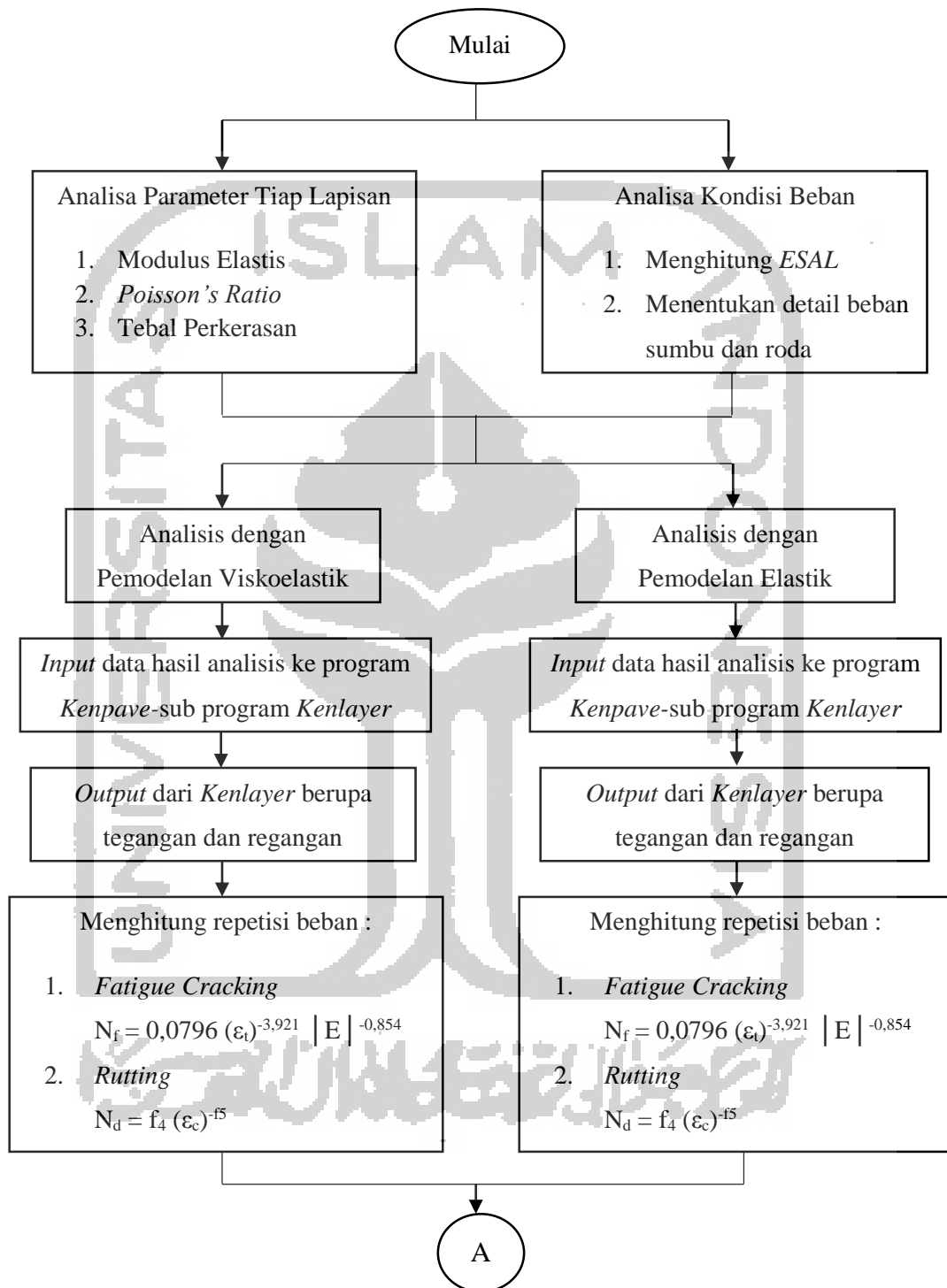
### 3. Prosedur desain

Perbandingan prosedur desain perkerasan lentur metode Bina marga 2017 dan Program *Kenpave* pendekatan viskoelastik dan linier elastik dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 berikut ini.

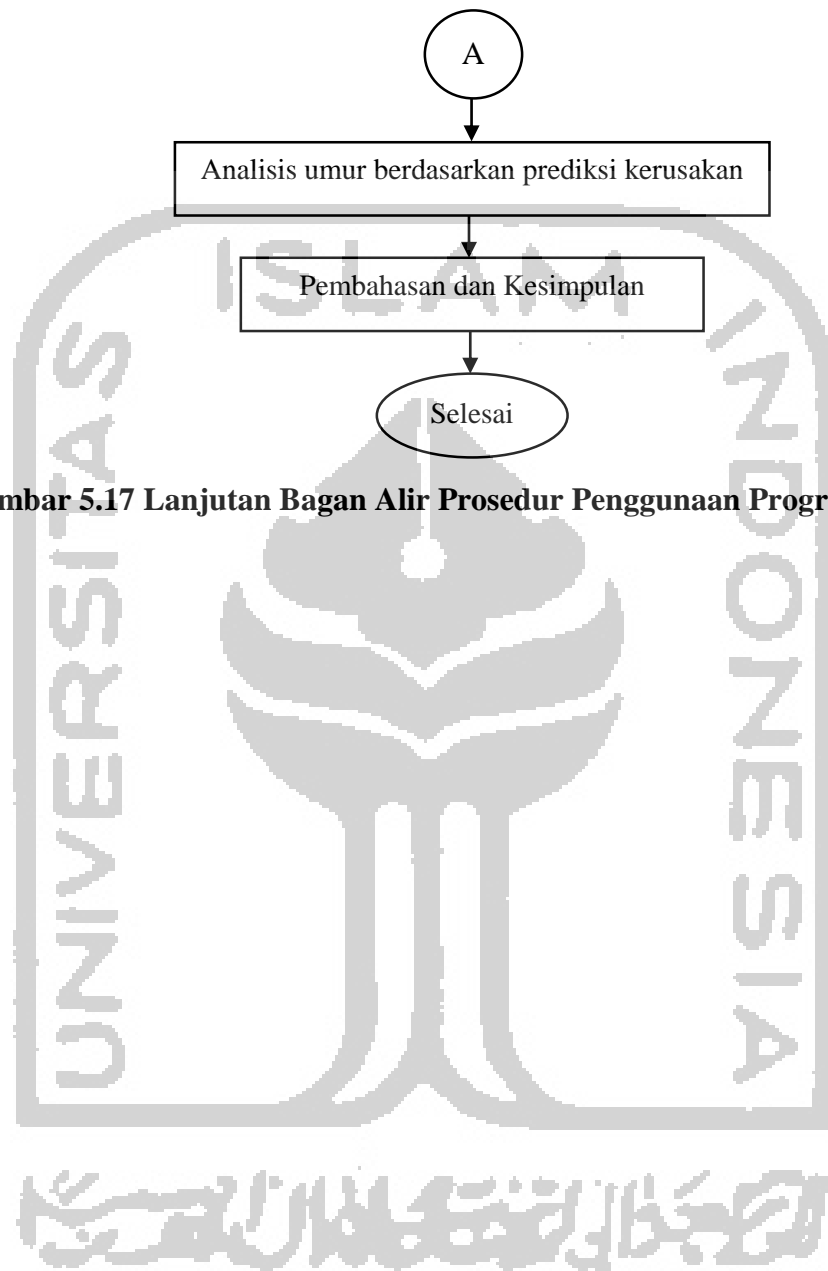




Gambar 5.15 Bagan Alir Prosedur Desain Perkerasan Dengan Bina Marga 2017



**Gambar 5.16 Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program Kenpave**



**Gambar 5.17** Lanjutan Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program *Kenpave*