

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 DESAIN PERKERASAN LENTUR BINA MARGA 2017

Metode Bina Marga 2017 dalam mendesain perkerasan lentur berpedoman pada Pt T-01-2002-B, dengan beberapa perubahan: penentuan umur rencana, *discounted lifecycle cost* yang terendah, pelaksanaan konstruksi yang praktis, efisiensi penggunaan material. Berikut adalah alur desain perkerasan lentur dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 dijelaskan sebagai berikut.

3.1.1 Menghitung Lalu Lintas Harian

Lalu lintas harian rata-rata merupakan jumlah data lalu lintas yang melewati sebuah jalan setiap harinya. Data Lalu lintas harian rata-rata dapat diambil dari survei perhitungan lalu lintas kendaraan dan juga dapat menggunakan data sekunder yang ada. Untuk mendapatkan data lalu lintas harian secara langsung, dilakukan dengan melakukan survei selama 7x24 jam pada ruas jalan yang telah diteliti.

Survei kendaraan lalu lintas kendaraan tidak dapat dilakukan, maka dapat menggunakan data sekunder yang sudah ada pada tahun-tahun sebelumnya. Data tersebut kemudian diinterpolasikan agar mendapatkan data lalu lintas tahun selanjutnya. Rumus menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

$$LHR_{n+1} = LHR_n + (LHR_n \times i) \quad (3.1)$$

dengan :

LHR_{n+1} = lalu lintas harian tahun yang di cari,

LHR_n = lalu lintas tahun yang di cari, dan

I = pertumbuhan lalu lintas.

Dalam perencanaan tebal lapisan perkerasan perlu adanya umur rencana jalan. Umur rencana adalah perhitungan jalann yang dihitung sejak jalan dibuka samapai ada perbaikan berat atau diberi lapis permukaan yang baru. Umur rencana perkerasan jalan baru dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan perkerasan aspal dan lapisan berbutir	20
	Pondasi jalan	40
	Semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan untuk ditinggalkan akibat pelapisan ulang, missal : jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
Perkerasan Kaku	Cement Treated Base	40
	Lapis Pondasi Atas, Lapis Pondasi Bawah, Lapis Beton Semen dan Pondasi Jalan	
Jalan Tanpa Penutup	Semua Elemen	Min 10

Sumber : Bina Marga 2017

Dalam mendesain suatu Tabel lapis perkerasan lentur maka dibutuhkan data-data dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 dijelaskan sebagai berikut.

Data lalu lintas seperti volume lalu lintas, lalu lintas harian rata-rata (LHRT), jenis kendaraan.

1. Faktor pertumbuhan lalu lintas, didasarkan pada data-data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid. Pada Bina Marga 2013 tidak ada pengelompokan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas hanya ada tahun saja, sehingga setiap daerah nilainya sama. Bila tidak ada maka Tabel 3.2 digunakan sebagai nilai minimum.

Tabel 3.2 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain

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

Sumber: Bina Marga (2017)

3.1.2 Pengaruh Alihan Lalu Lintas (*Traffic Diversion*)

Untuk analisa lalu lintas pada ruas jalan yang didesain harus diperhatikan beberapa faktor alihan lalu lintas berdasarkan analisis secara jaringan dan dengan memperhitungkan proyeksi peningkatan kapasitas ruas jalan yang ada atau pembangunan ruas jalan baru dalam jaringan, dan pengaruhnya terhadap volume lalu lintas dan beban terhadap ruas jalan yang di desain.

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}}{0,01 i} \quad (3.2)$$

dengan :

R = factor pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

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

UR = umur Rencana (tahun).

3.1.3 Faktor Distribusi Lajur dan Kapasitas Lajur

Faktor distribusi lajur untuk kendaraan niaga (truk dan bus) ditetapkan dalam Tabel 3.3. Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur pada setiap tahun selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu kepada Permen PU No.19/PRT/M/2011 Mengenai persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan Rasio Volume Kapasitas (RVK) yang harus

dipenuhi. Kapasitas lajur maksimum agar mengacu pada MKJI. Yaitu RVK (V/C) arteri dan kolektor tidak lebih dari 0,85 & RVK (V/C) jalan local tidak lebih dari 0,9. Pada Bina Marga 2013 tidak ada pembahasan mengenai faktor distribusi arah. Faktor distribusi Lajur dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur

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

Sumber : Bina Marga (2017)

3.1.4 Faktor Ekuivalen Beban *VDF* (*Vehicle Damage Factor*)

Pada Bina Marga 2013 tidak terdapat data pengelompokan nilai *VDF* dari beberapa daerah di Indonesia. Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (*ESA*) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban *VDF* (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif *ESA* pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Survei beban gandar harus dilakukan apabila memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang akurat. Namun jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai *VDF* pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 dapat digunakan untuk menghitung *ESA*. Adapun nilai *VDF* dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.4 Nilai VDF Standar

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5
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	0,50	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	9,20	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	7,0	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 : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Tabel 3.5 Nilai VDF Masing-Masing Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan - muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi Tipikal		Faktor ekivalen beban (VDF) (ESAL/kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF pangkat 4	VDF pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/angkot/pickup/station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	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

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Tabel 3.5 Lanjutan Nilai VDF Masing-Masing Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan - muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi Tipikal		Faktor ekivalen beban (VDF) (ESAL/kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF pangkat 4	VDF pangkat 5
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 : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Catatan : Data didasarkan pada survei beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa - 2011

3.1.5 Beban Sumbu Standar

Beban sumbu 100 kN diijinkan di beberapa ruas yaitu untuk ruas jalan kelas I. Namun demikian nilai CESA selalu ditentukan berdasarkan beban sumbu standar 80 kN.

3.1.6 Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana. Pada Bina Marga 2013 yang ditentukan pada Persamaan 3.3 dan 3.4, Sedangkan pada Bina Marga 2017 ditentukan pada persamaan 3.5 sebagai Berikut.

$$ESA = (\sum \text{jenis kendaraan LHRT} \times VDF) \quad (3.3)$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R \quad (3.4)$$

$$ESA_{TH-1} = (\sum \text{jenis kendaraan LHRT} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.5)$$

dengan:

ESA = lintasan sumbu standar ekivalen (equivalent standard axle untuk 1 hari),

LHRT = lintasan harian rata-rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu,

CESA = kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana,

DD = Faktor distribusi arah,

DL = Faktor distribusi lajur, dan

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas.

3.1.7 Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan bervariasi sesuai dengan estimasi lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Pada Bina Marga 2013 adalah tidak ada batasan ESA untuk jenis perkerasannya. Solusi alternatif pemilihan jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 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 (di atas tanah dengan CBR $\geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga (2017)

3.1.8 Desain Tebal Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan untuk perkerasan lentur dihitung berdasarkan nilai *CESAL* umur rencana, kemudian tebal struktur perkerasan menggunakan Bagan desain pada Bina Marga 2017. Pada Bina Marga 2013 perkerasan lentur beban lalu lintas minimum awalnya $0,5 \times 10^6$ ESA5 diubah menjadi 10×10^6 CESAL. Pada Tabel 3.7 dapat dilihat desain tebal perkerasan lentur dan Tabel 3.7 adalah Rujuk bagan Desain untuk perkerasan lentur aspal dengan fondasi berbutir dengan beban lalu lintas <10 juta ESA₅ berikut. Prosedur desain Metode Bina Marga 2017 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Desain Tebal Perkerasan Lentur

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
Untuk lalu lintas bawah 10 juta ESA 5 lihat bagan desain 3A-3B dan 3C	Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku				
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA ₅)	> 10 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 500
Jenis permukaan berpegikat	AC	AC			
Jenis Lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC ⁴	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

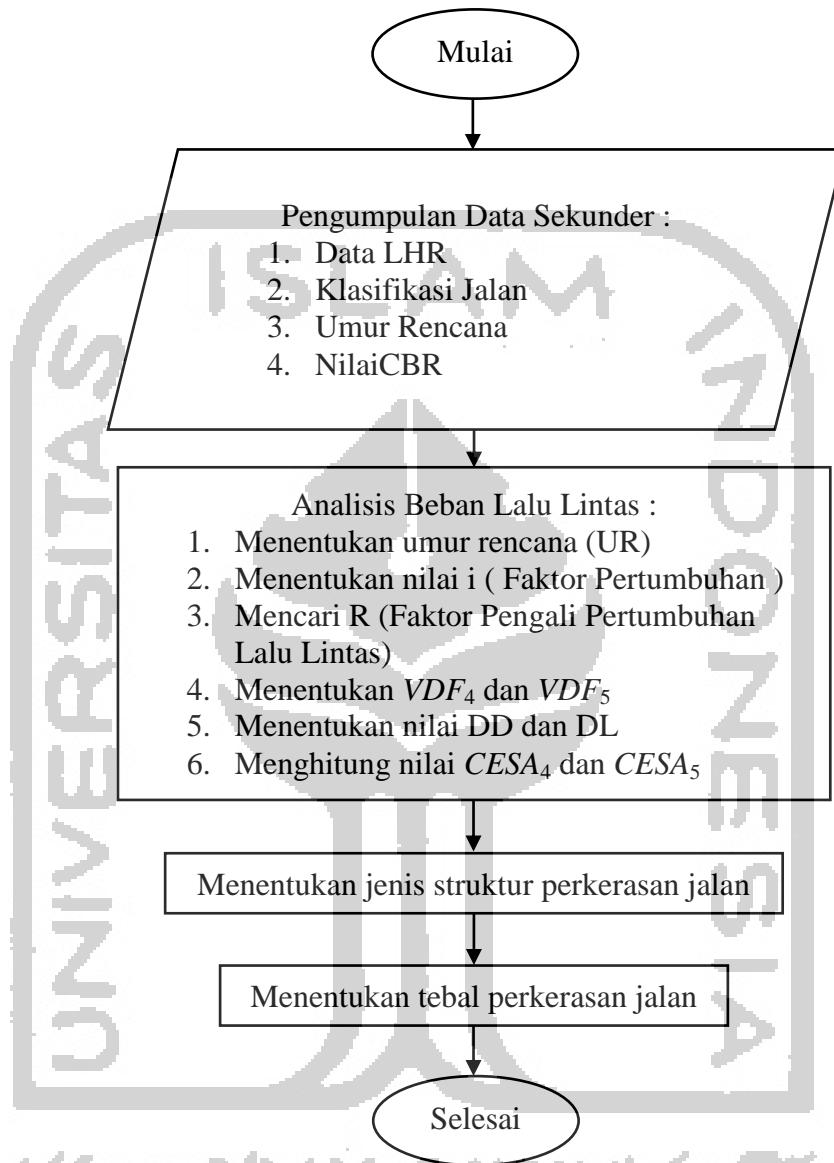
(Bina Marga : 2017)

Tabel 3.8 Desain Tebal Perkerasan Lentur dengan Fondasi Berbutir

STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 1				Lihat Catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA ₅)	< 2	≥ 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan									
	1		2		3				

Sumber : Bina Marga (2017)

Prosedur desain metode Bina Marga 2017 dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.1 Bagan Alur Desain Metode Bina Marga 2017

3.2 METODE MEKANISTIK EMPIRIK

Metode mekanistik empirik adalah metode dengan pendekatan *hybrid* atau campuran. Model empirik yang digunakan untuk mengisi kesenjangan yang ada antara teori mekanik dan performa struktur perkerasan. Respon mekanistik sederhana yang mudah untuk dihitung dengan asumsi dan penyederhanaan (yaitu, materi *homogeny*, analisis regangan kecil, pembebanan statis seperti biasanya

diasumsikan dalam teori elastis linier), tetapi ini tidak dapat digunakan untuk memprediksi performa secara langsung, beberapa jenis model empirik dibutuhkan untuk membuat korelasi yang tepat. Metode mekanistik-empiris dianggap sebagai langkah penengah antara metode empirik dan metode mekanistik.

Metode desain mekanistik-empirik didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan, tegangan dan regangan. Nilai respon digunakan untuk memprediksi tekanan dari tes laboratorium dan data kinerja lapangan. Saran penggunaan regangan tekan vertical pada permukaan tanah dasar sebagai kriteria kegagalan untuk mengurangi deformasi permanen (*Kerkhoven dan Dormon*).

3.2.1 Penentuan Umur Perkerasan

Model penentuan umur perkerasan dan asumsi yang di pakai adalah :

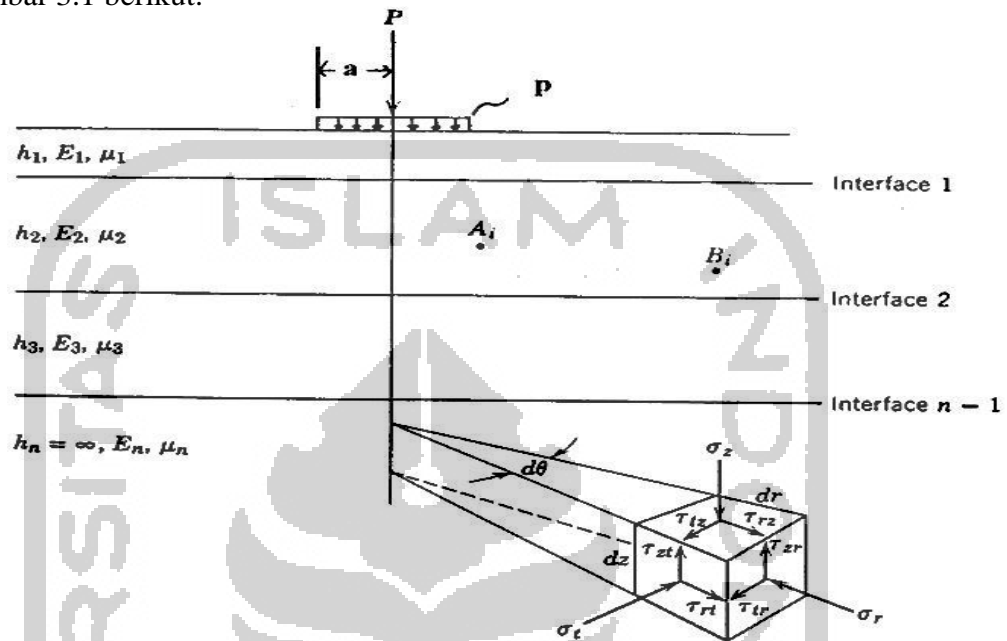
1. Perkerasan lentur 3 lapis, dengan lapis permukaan merupakan lapis berbitumen, lapis ke dua berupa lapis batu pecah dan lapis 3 lapis tanah dasar
2. Tebal lapis pertama dan ke dua tertentu tebalnya, dan lapis ke tiga mempunyai ketebalan yang tak terhingga.
3. Beban lalu lintas berupa sumbu tunggal roda ganda 80 kN (18 kip), tekanan pada bidang kontak 483 kPa (70 psi) dengan jarak bidang kontak (pusat ke pusat) 345 mm (13,57 in) atau beban lalu lintas berupa beban sumbu tunggal roda tunggal 40 Kn (9kip), tekanan pada bidang kontak 483 kPa (70 psi).
4. Umur perkerasan ditentukan berdasarkan umur yang terkecil dari umur lelah.
5. Perhitungan berbagai kondisi yang berbeda pada perkerasan selama umur perkerasan dianggap hipotesa Miner berlaku.

3.2.2 Desain Perkerasan

Prosedur desain perkerasan lentur dengan karakteristik perkerasan secara mekanistik. Respon structural digunakan untuk memprediksi kinerja struktur perkerasan didasarkan pada kinerja material di laboratorium dan pengamatan di lapangan, pendekatan dengan metode mekanistik empirik.

Sistem Lapis Banyak

Sistem lapis banyak menghasilkan tegangan-tegangan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.2 Multi Layered Elastic System

(Sumber: Yoder dan Witczak, 1959)

1. Tegangan normal (σ_z , σ_r , σ_t) yang bekerja tegak lurus pada bagian permukaan.
2. Tegangan geser (τ_{rt} , τ_{tr} , τ_{rz} , τ_{zr} , τ_{tz} , τ_{zt}) yang bekerja sejajar permukaan.

Dalam kondisi keseimbangan statis diperlihatkan bahwa tegangan geser yang bekerja pada tiap permukaan sama besar yaitu, τ_{rt} , τ_{tr} , τ_{rz} , τ_{zr} , τ_{tz} , τ_{zt} .

Maka dapat resultan tegangan geser sama dengan nol. Regangan dirumuskan pada Persamaan 3.5, 3.6 dan 3.7 sebagai berikut :

$$\epsilon_s = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu (\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.5)$$

$$\epsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu (\sigma_t + \sigma_z)] \quad (3.6)$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma_t - \mu (\sigma_z + \sigma_r)] \quad (3.7)$$

dengan:

P = beban terpusat roda,

- H_n = kedalaman masing-masing lapisan,
 E = Modulus elastisitas bahan tiap lapisan,
 μ = nilai banding poisson tiap lapis,
 A_i, B_i = titik pada lapisan yang ditinjau,
 σ = tegangan normal, dan
 T = tegangan geser.

3.3 Desain Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993

Metode (*American Association of State Highway and Transportation*) AASHTO 1993 merupakan salah satu metode untuk tebal perkerasan jalan. Metode ini sudah di pakai secara umum untuk perencanaan jalan. Dalam *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993* dijelaskan sebagai berikut.

3.3.1 Structural Number (SN)

Structural Number (SN) fungsi dari ketebalan lapisan, koefisien relative lapisan, dan koefisien drainage. Structural number dihitung menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$SN = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 m_2 + \alpha_3 D_3 m_3 \quad (3.8)$$

dengan :

- SN = nilai *Structural Number*,
 α = koefisien relative masing-masing lapisan,
 D = Tebal masing-masing lapisan perkerasan, dan
 M = koefisien drainase masing-masing lapisan.

3.3.2 Lalu lintas (*Traffic*)

Prosedur perencanaan didasarkan pada nilai kumulatif 18 kips ekuivalen beban sumbu tunggal (18 – kips *Equivalen single Axle Load*) selama periode analisa. Untuk beberapa kondisi perencanaan dengan konstruksi perkerasan yang diharapkan hingga akhir masa layanan tanpa peningkatan dan pelapisan ulang. Lalu

lintas dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$W18 = DD \times DL \times w18 \quad (3.9)$$

dengan:

DD = factor distribusi berdasarkan arah,

DL = factor distribusi berdasarkan jumlah lajur, dan

W18 = nilai kumulatif prediksi ESAL 18 – kips.

Pada umumnya DD diambil 0,5. Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa DD dari 0,3 – 0,7 tergantung arah dan berat. Faktor DL nilainya dilihat pada Tabel 3.9 sebagai berikut.

Tabel 3.9 Faktor Distribusi Arah (DL)

Jumlah Lajur Tiap Arah	%18 – Kips <i>ESAL Design</i>
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Sumber: *AASHTO* 1993

3.3.3 Kinerja Jalan (*Pavement Performance*)

Hal dasar perencanaan perkerasan jalan lentur dengan metode *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993* adalah kinerja jalan yang memberikan pengertian bahwa perencanaan perkerasan didasarkan pada total volume lalu lintas yang spesifik dengan tingkat pelayanan minimum yang terjadi pada akhir umur rencana. Kinerja perkerasan jalan dinyatakan dengan Indeks Pelayanan (*Service Ability Index*) pada awal (P_o) dan akhir (P_t) berikut:

1. Indeks kemampuan pelayanan awal (P_o), untuk perkerasan lentur menggunakan nilai P_o 4,2.
2. Indeks kemampuan pelayanan akhir (P_t) dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Indeks Kemampuan Pelayanan Akhir (P_t)

Jenis jalan	Pt
Jalan raya utama	2,5
Jalan raya dengan lalu lintas rendah	2,0
Jalan raya relatif minor	1,5

Sumber: AASHTO 1993

Faktor yang menyebabkan penurunan angka PSI adalah : lalu lintas, umur perkerasan, dan factor lingkungan. Beberapa usaha yang dilakukan untuk menghitung penurunan angka PSI (Δ PSI) terhadap pengaruh lingkungan yaitu : pengembangan tanah akibat air. Δ PSI menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t \quad (3.10)$$

dengan:

Δ PSI = total penurunan pelayanan,

P_o = Indeks kemampuan pelayanan awal, dan

P_t = Indeks kemampuan pelayanan akhir.

3.3.4 Reliabilitas (R) dan Simpang Baku Keseluruhan (SO)

Reliabilitas adalah nilai probabilitas dari kemungkinan tingkat pelayanan yang dapat dipertahankan selama masa pelayanan dirasakan si pemakai jalan. Reliabilitas adalah nilai jaminan bahwa perkiraan beban lalu lintas yang akan memakai jalan tersebut dapat dipenuhi. Nilai Reliabilitas dalam *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993* dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Tingkat Realibilitas

Fungsi Jalan	Tingkat Kendaraan	
	Urban	Rural
Jalan Tol	85 – 99,9	85 -99,9
Arteri	80 - 99	75 – 99
Kolektor	80 - 95	75 – 95
Lokal	50 - 80	50 – 80

Sumber : AASHTO 1993

Berdasarkan tingkat Realibilitas *AASHTO* 1993 memberikan nilai simpang baku normal (ZR) yang sering dipakai dalam perancangan. Nilai simpang baku normal dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Nilai Simpang Baku Normal (ZR)

Reliabilitas, R (%)	Simpangan Baku Normal, ZR	Realibilitas R (%)	Simpangan Baku Normal, ZR
50	-0,000	93	-1,476
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327
91	-1,340	99,9	-2,090
92	-1,405	99,99	-3,750

Sumber : *AASHTO* 1993

Simpangan baku keseluruhan (So) merupakan gabungan simpangan baku dari perkiraan lalu lintas dan perkiraan kinerja lalu lintas. Ada beberapa kriteria yang disarankan dalam *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993* sehubungan dengan kinerja jalan, yaitu

1. perkiraan simpangan baku keseluruhan dimana variasi lalu lintas yang akan diperhitungkan adalah 0,44 untuk perkerasan lentur.
2. perkiraan simpangan baku keseluruhan dimana variasi lalu lintas akan diperhitungkan adalah 0,49 untuk perkerasan kaku.
3. nilai So yang disarankan berkisar antara 0,40 – 0,50 untuk perkerasan

lentur.

3.3.5 Lintas Ekivalen Permulaan (LEP)

Lintas ekivalen pada saat jalan mulai dibuka dirumuskan pada Persamaan 3.11 berikut.

$$LEP = LHR_0 \times E \times DD \times DL \quad (3.11)$$

dengan :

LHR₀ = Lalu lintas harian di awal umur rencana,

E = Angka ekivalen untuk satu jenis kendaraan,

DD = Faktor distribusi arah, dan

DL = Faktor distribusi jalur.

3.3.6 Lintas Ekivalen Selama Umur Rencana (W18)

Nilai lintas ekivalen selama umur rencana (W18) dirumuskan pada Persamaan 3.12 berikut.

$$W18 = LEP \times 365 \times N \quad (3.12)$$

dengan:

365 = jumlah hari dalam 1 tahun, dan

N = factor umur rencana yang disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas.

Besarnya nilai N diperoleh dari Persamaan 3.13 berikut.

$$N = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \quad (3.13)$$

dengan:

i = factor pertumbuhan lalu lintas selama UR, dan

UR = umur rencana

3.3.7 Faktor Drainase

Sistem drainasi pada jalan sangat mempengaruhi kinerja jalan tersebut. Tingkat kecepatan pengeringan air yang terdapat pada konstruksi jalan raya bersama-sama dengan beban lalu lintas dan kondisi permukaan jalan sangat mempengaruhi umur pelayanan jalan. Kualitas drainase dapat dilihat pada Tabel 3.13 berikut.

Tabel 3.13 Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan air
Baik Sekali	2 jam
Baik	1 hari
Cukup	1 minggu
Buruk	1 bulan
Buruk Sekali	Air tidak mungkin dikeringkan

Sumber ; AASHTO 1993

Berdasarkan kualitas dari drainasi dan persen perkerasan air dapat ditentukan koefisien drainase dari lapisan perkerasan lentur. Koefisien drainase dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.14 Nilai Koefisien Drainase

Kualitas Drainase	% Waktu Perkerasan Dalam Keadaan Lembab Basah			
	<1%	1% – 5%	5% - 25%	>25%
Baik Sekali	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Cukup	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,05 – 0,8	0,80

Kualitas Drainase	% Waktu Perkerasan Dalam Keadaan Lembab Basah			
	<1%	1% – 5%	5% - 25%	>25%
Buruk	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Buruk Sekali	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Sumber : AASHTO 1993

3.3.8 Koefisien Relatif Lapisan (a)

Angka koefisien relatif lapisan (a) diperoleh dari korelasi modulus elastik (*resilient*), *CBR* atau *R-value*. Koefisien kekuatan relatif dikelompokkan menjadi 5 yaitu : beton aspal (*aphalt concrete*), lapis pondasi granular (*granular base*), lapis pondasi bawah granular (*granular subbase*), *cement-treated base (CTB)*, dan *aphalt-treated base (ATB)*. Untuk koefisien lapisan yang diusulkan oleh AASHTO 1993 dapat dilihat pada Tabel 3.15 Sedangkan untuk memperkirakan nilai koefisien lapisan beton aspal a₁ dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:

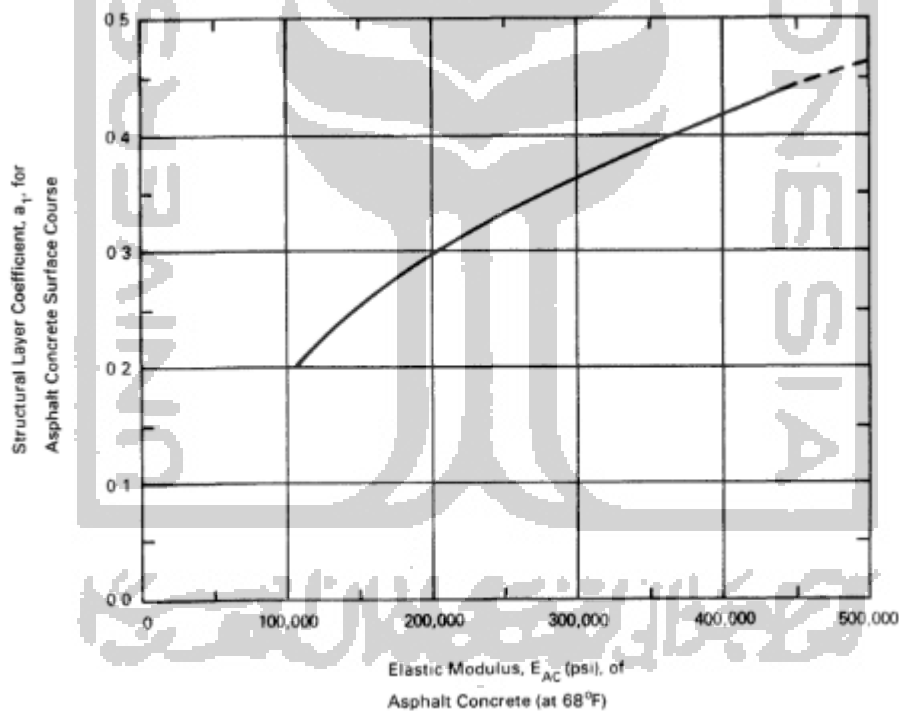
Tabel 3.15 Koefisien Lapisan (a_j)

Koefisien lapisan			Kekuatan bahan			Jenis bahan
a ₁	a ₂	a ₃	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	733	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	
-	0,26	-	454	-	-	Laston atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stabilisasi tanah-

-	0,13	-	-	18	-	semen
-	0,15	-	-	22	-	Stabilisasi tanah-kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (kelas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (kelas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (kelas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,10	-	-	20	Tanah/ lempung berpasir

Catatan : kuat tekan stabilisasi tanah-semen diuji pada hari ke - 7. Kuat tekan tanah kapur pada hari ke - 21.

Sumber : AASHTO 1993



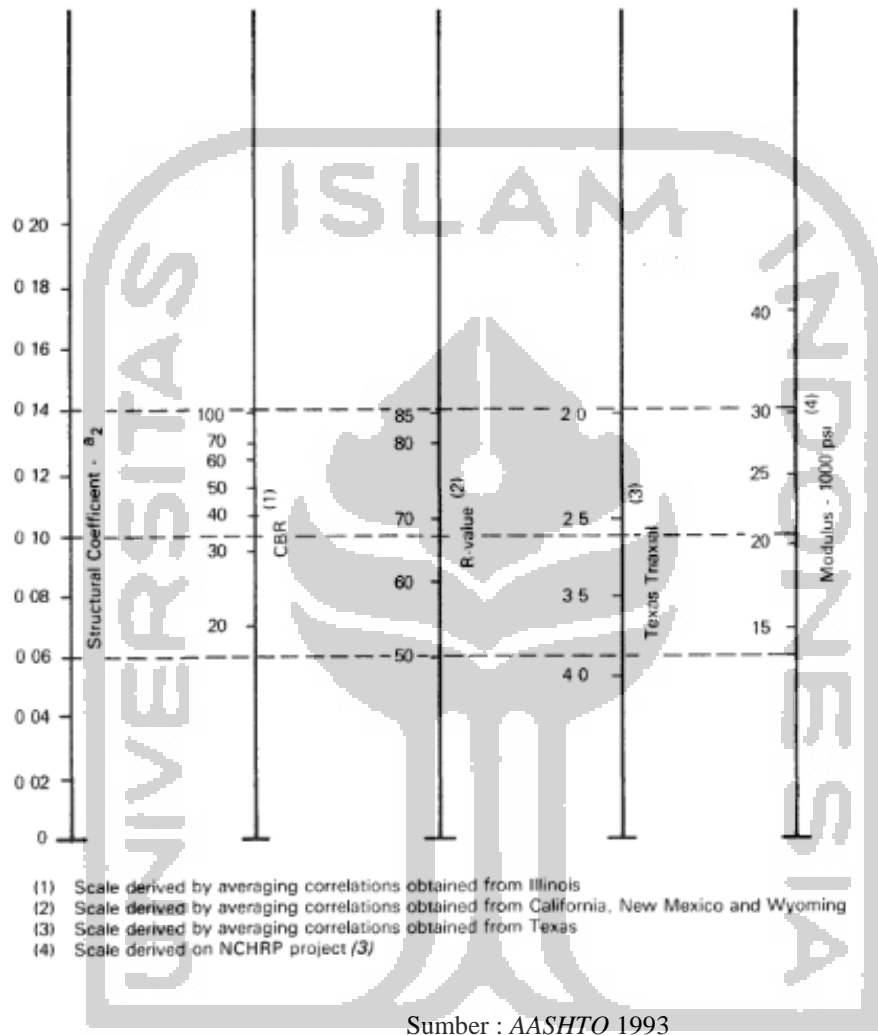
Sumber : AASHTO 1993

Gambar 3.3 Grafik Perkiraan Kekuatan Lapis Permukaan Beton Aspal a_1

Memperkirakan nilai koefisien lapisannbeton aspal a_1 dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini. Pada a_2 ,koefisiennkekuatan relatif dapat diperoleh dari Persamaan 3.14 berikut.

$$a_2 = 0,249(\log_{10} E_{SB}) - 0,977$$

(3.14)



Gambar 3.4 Variasi Koefisien Lapisan Pondasi Atas Dengan Material Berbutir a_2 Untuk Berbagai-macam Parameter Kekuatan Pondasi

Menurut AASHTO, nilai modulus (ESB dalam PSI) untuk pondasi dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

Tabel 3.16 Nilai Modulus (ESB dalam PSI) untuk pondasi

Tingkat Kelembaban	Persamaan	Tegangan (N/m)			
		$\Theta = 5$	$\Theta = 10$	$\Theta = 20$	$\Theta = 30$

Kering	8000 x θ 0,6	21,012	31,848	48,273	61,569
Lembab	4000 x θ 0,6	10,506	15,924	24,136	30,784

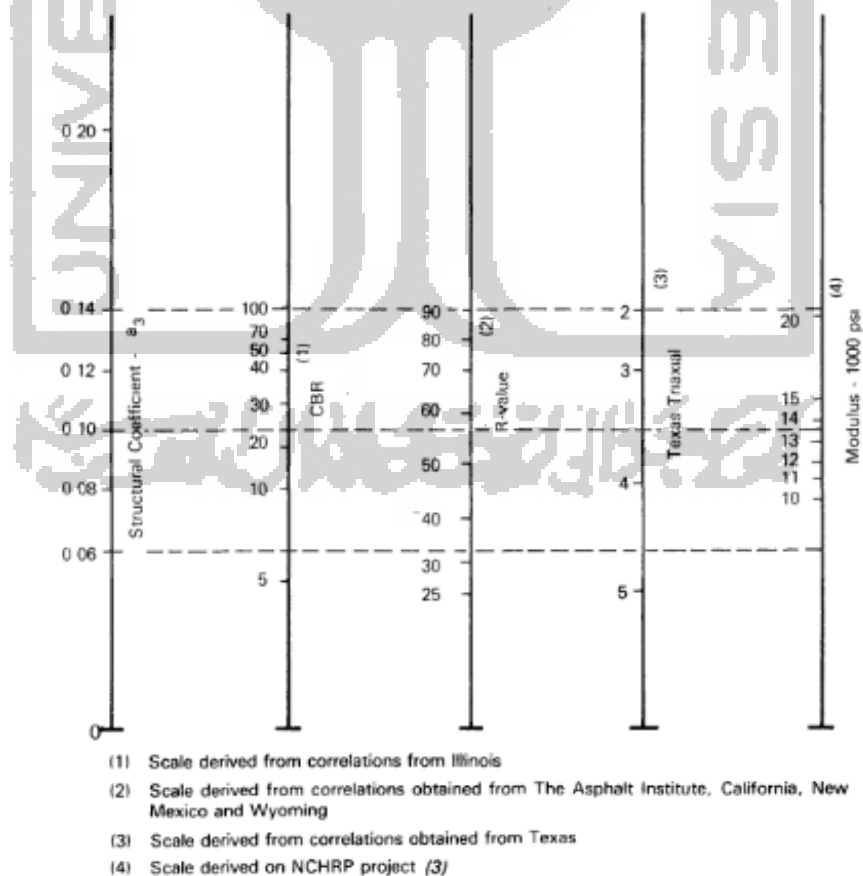
Tabel Lajutan 3.16 Nilai Modulus (ESB dalam PSI) untuk pondasi

Tingkat Kelembaban	Persamaan	Tegangan (N/m)			
		$\theta = 5$	$\theta = 10$	$\theta = 20$	$\theta = 30$
Basah	3200 x θ 0,6	8,404	12,739	19,309	24,627

Sumber : AASHTO 1993

Untuk memperkirakan nilai koefisien lapisan (a_3) dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini. Pada a_3 dapat diperoleh dari Persamaan 3.15 berikut.

$$A_3 = 0,227(\log E_{SB}) - 0,839 \quad (3.15)$$



Sumber : AASHTO 1993

Gambar 3.5 Grafik Variasi Koefisien Relatif Lapis Pondasi Bawah a3

Menurut AASHTO, nilai modulud (ESB dalam PSI) untuk pondasi bawah dapat dilihat pada Tabel 3.17 berikut.

Tabel 3.17 Nilai ESB Untuk Pondasi Bawah

Kondisi	Persamaan	Nilai		
		$\Theta = 5$	$\Theta = 7,5$	$\Theta = 10$
Lembab				
Lembab	$Mr = 5400 \times \theta 0,6$	14,183	18,090	21,497
Basah	$Mr = 4600 \times \theta 0,6$	12,082	15,410	18,312

Sumber : AASHTO 1993

Adapun langkah – langkah penentuan tebal perkerasan dirumuskan pada Persamaan 3.16, 3.17, dan 3.18 dapat dilihat sebagai berikut.

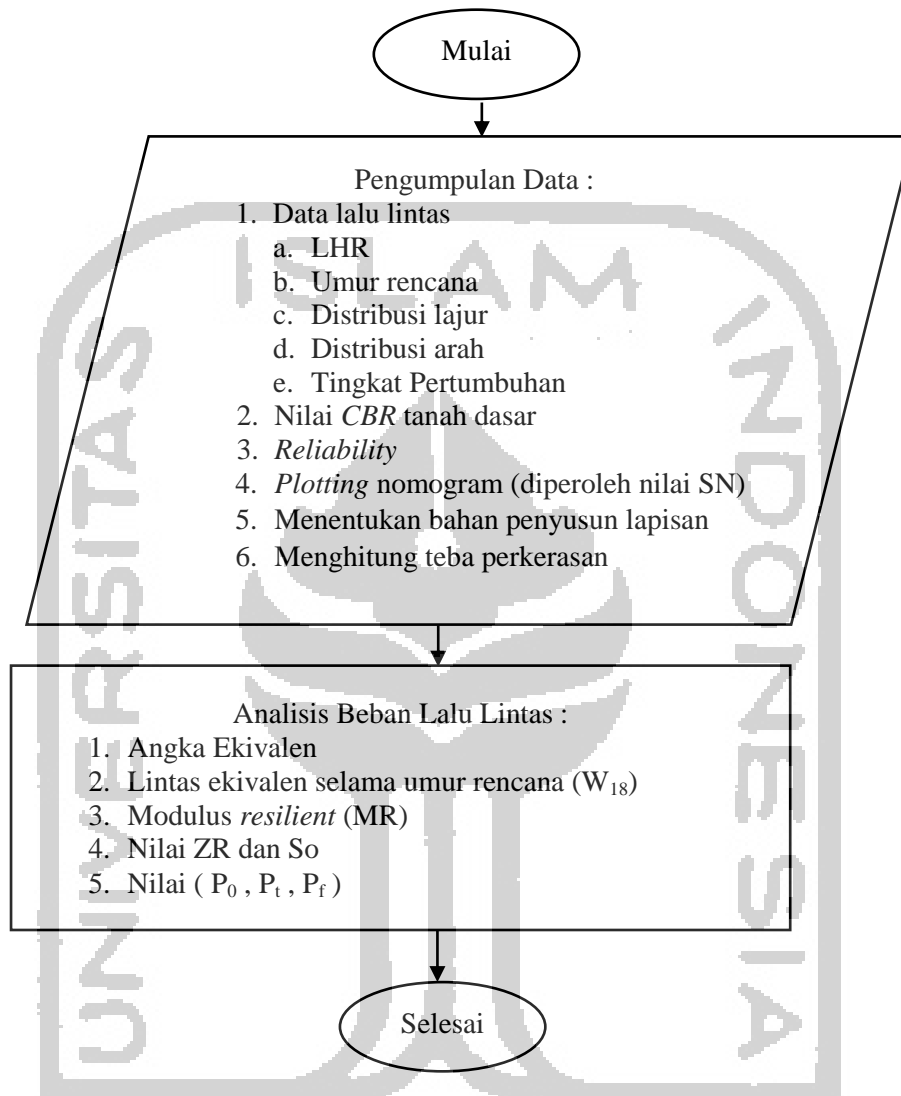
$$D_1 \geq \frac{SN_1}{D_1 \cdot a_1} \quad (3.16)$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - (D_1 \cdot a_1)}{a_2 \cdot m_2}$$

(3.17)

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 \cdot m_2)}{a_3 \cdot m_3} \quad (3.18)$$

Prosedur desain Metode AASHTO 1993 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Prosedur Desain Metode AASHTO 1993

3.4 Metode Program *Kenpave*

Program *Kenpave* merupakan software yang menganalisa jalan dari tanah dasar, lapis pondasi, hingga lapis permukaan jalan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E. *Profesor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. Program *Kenpave* dapat digunakan untuk menganalisis perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Untuk input data pada program *Kenpave* dibutuhkan data karakteristik dan material seperti modulus

elastisitas, poisson ratio, beban roda, tekanan ban, dan koordinat di mana tegangan dan regangan dibutuhkan.

Software Kenpave terdapat empat program, yaitu *LAYERINP*, *KENLAYER*, *SLABINP*, dan *KENSLAB*. *LAYERINP* dan *KENLAYER* adalah program analisis perkerasan lentur teori lapis banyak, *SLABINP* dan *KENSLAB* adalah program analisis perkerasan kaku metode elemen hingga.

3.4.1 Menu Program *Kenpave*

Program *Kenpave* memiliki banyak menu untuk keperluan desain



perkerasan. Menu pada program *Kenpave* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

Gambar 3.7 Tampilan Awal *Kenpave*

1. *Data Path* merupakan tempat penyimpanan data, pada program *Kenpave* pada *Data Path* sudah terisi dengan *C:/KENPAVE* dikarenakan lokasi pada saat prosesi instalasi.
2. *Filename*

Pada menu *filename* akan ditunjukkan file baru yang dibuat untuk menganalisa menggunakan *Layerinp* dan *Slabinp*. Pada *filename* file yang dibuat otomatis muncul, jadi tidak perlu mengisi nama. Semua file memiliki

eksistensi DAT. Nama file yang ditampilkan dalam kotak akan digunakan dalam file lain yang dihasilkan pada pelaksanaan *Kenlayer* dan *Kenslab*.

3. *Help*

Pada setiap layar menu help yaitu bantuan yang menjelaskan parameter input dan penggunaan yang tepat dari program. Beberapa menu memiliki bantuan menu atau tombol yang harus diklik jika ingin membacanya.

4. *Editor*

Editor merupakan menu yang dapat digunakan untuk mengedit, memeriksa dan mencetak data file. Pada penggunaan *Layerinp* dan *Slabinp* sangat direkomendasikan menggunakan menu editor. Setelah nalisis yang dikerjakan selesai klik *exit* untuk menutup program *Kenpave*.

5. *Layerinp* dan *Slabinp*

Layerinp dan *Slabinp* digunakan untuk membuat data file sebelum *Kenlayer* dan *Kenslab* dapat dijalankan.

6. *Kenlayer* dan *Kenslab*

Kenlayer dan *Kenslab* merupakan program utama yang digunakan untuk menganalisis perkerasan dan dapat digunakan setelah file data telah diisi. Program ini akan membaca file data yang telah diisi.

7. *Lgraph* dan *Sgraph*

Lgraph dan *Sgraph* digunakan untuk menampilkan grafik rencana dan penampang perkerasan dengan beberapa informasi tentang *input* dan *output*.

8. *Contour*

Contour berfungsi untuk plot kontur tekanan atau momen dalam arah x atau y. Plot *contour* adalah untuk perkerasan kaku.

Dalam permodelan lapis perkerasan jalan dengan model lapisan diperlukan data *input* untuk tegangan dan regangan. Parameter-parameter yang digunakan sebagai berikut.

1. Parameter setiap lapisan

Parameter lapisan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

a. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda. Modulus elastisitas biasa disebut juga Modulus Young dan dilambangkan dengan E. Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas dapat menggunakan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \quad (3.19)$$

dengan:

E = Modulus elastisitas (kPa atau Psi),

τ = Tegangan (kPa), dan

ε = Regangan.

Modulus elastisitasnya untuk suatu benda mempunyai batas regangan dan tegangan elastisitasnya. Batas elastisitasnya suatu bahan sama dengan kekuatan bahan tersebut menanggung tegangan atau regangan, melainkan suatu ukuran dari seberapa baik suatu bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya. Untuk nilai modulus elastisitas beberapa jenis bahan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3. sebagai berikut.

Tabel 3.18 Nilai Modulus Elastis Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
<i>Cement Treated Granular Base</i>	$1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$	$7 \times 10^6 - 14 \times 10^6$
Campuran agregat semen	$5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	$35 \times 10^5 - 7 \times 10^6$
<i>Asphalt Treated Base</i>	$7 \times 10^4 - 45 \times 10^4$	$49 \times 10^4 - 3 \times 10^6$
Aspal beton	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$	$14 \times 10^4 - 14 \times 10^6$
Campuran distabilisasi bitumen	$4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	$28 \times 10^4 - 21 \times 10^5$
Campuran distabilisasi kapur	$2 \times 10^4 - 7 \times 10^4$	$14 \times 10^4 - 49 \times 10^4$
Material berbutir tidak terikat	$15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$	$105 \times 10^3 - 315 \times 10^3$
Berbutir halus/Material tanah dasar	$3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	$21 \times 10^3 - 28 \times 10^4$

Sumber : Huang (2004)

b. *Poisson's ratio*

Salah satu parameter penting yang digunakan dalam analisa elastis dari sistem perkerasan jalan adalah *poisson's ratio* yang merupakan angka

perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Nilai *poisson ratio* disajikan pada Tabel 3.19 sebagai berikut.

Tabel 3.19 Nilai *Poisson's Ratio*

Materials	Nilai ν	ν tipikal
<i>Hot mix asphalt</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Portland cement concrete</i>	0,15 – 0,20	0,15
<i>Untreated granular material</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Cement-treated fine-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 material</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)

2. Ketebalan setiap lapisan

Ketebalan setiap lapis perkerasan diperlukan dalam teori elastis lapis banyak sebagai *input* dalam penyelesaian menggunakan program. Ketebalan setiap lapis dalam satuan mm atau *inch*.

3. Kondisi beban

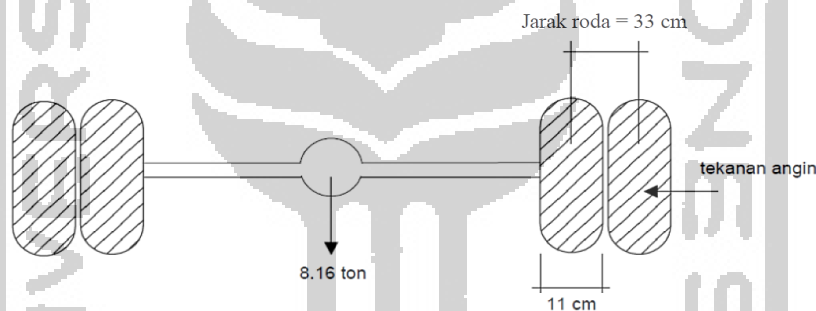
Data ini terdiri dari data beban roda, P (kN/Lbs), tekanan ban, I (kPa/Psi) dan khusus untuk sumbu roda belakang, jarak antara roda ganda, d (mm/*inch*). Nilai q dan d pada prinsipnya dapat ditentukan sesuai dengan data spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan. Adapun nilai P dipengaruhi oleh barang yang diangkut oleh kendaraan sehingga pada sumbu roda belakang dan sumbu roda depan berbeda. Analisa struktural perkerasan yang akan dilakukan pada langkah selanjutnya juga memerlukan jari-jari bidang kontak, a (mm/*inch*) antara roda bus dan permukaan perkerasan yang dianggap berbentuk lingkaran.

3.4.2 Program Kenlayer

Program *Kenlayer* adalah program yang digunakan untuk jenis perkerasan lentur. Program *Kenlayer* berfungsi menentukan rasio kerusakan menggunakan model tekanan (*distress models*).

Model tekanan atau *distress models* dalam *kenlayer* adalah retak dan deformasi. Model tekanan ini digunakan memprediksi umur perkerasan baru dengan mengansumsi konfigurasi perkerasan. Apabila reliabilitas atau kemampuan untuk distress tertentu lebih kecil dari tingkat minimum yang dibutuhkan, konfigurasi perkerasan yang diasumsi harus diubah.

Dalam kondisi terdiri dari data beban roda P (kN/lbs), data tekan ban q (kPa/psi), data jarak antara roda ganda d (cm/*inch*), dan data jari-jari bidang kontak a (cm/*inch*) dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai Berikut.

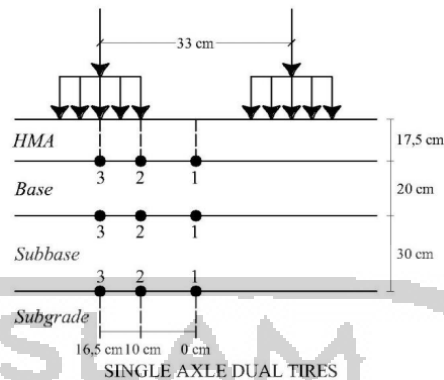


Gambar 3.8 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia

Sumber : Sukirman (1999)

Pada penelitian ini digunakan data kondisi beban berdasarkan data yang digunakan di Indonesia menurut Sukirman (1993) sebagai berikut.

1. Beban kendaraan sumbu standar 18.000 pon (8,16 ton),
2. Tekanan roda satu ban 0,55 Mpa = 5,5 kg/cm²,
3. Jari – jari bidang kontak 110 mm atau 11 cm, dan
4. Jarak antara masing – masing roda ganda = 33 cm.



Gambar 3.9 Koordinat Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda

Setelah *input* data selesai, maka dilakukan *running* program *KENLAYER*. *Output* dari program ini berupa *vertical displacement*, *vertical stress*, *major principal stress*, *minor principal stress*, *intermediate principal stress*, *vertical strain*, *major principal strain*, *minor principal strain*, dan *horizontal principal strain*. Pada penelitian ini *output* yang digunakan adalah *vertical strain* dan *horizontal principal strain* untuk selanjutnya digunakan dalam menghitung jumlah repetisi beban berdasarkan analisis kerusakan *fatigue* dan *rutting*. Program *Kenlayer* dimulai dari input data melalui menu *Layerinp* pada program *Kenpave* seperti pada Gambar 3.8 *Layerinp* memiliki 11 menu. Setiap menu diisi



dengan data yang tersedia.

Gambar 3.8 Tampilan Layar Layerinp

1. *File*

Menu ini digunakan untuk memulai *file* yang baru (*New*) dan membuka file yang sudah ada (*Old*).

2. General

Gambaran menu general dapat dilihat pada Gambar 3.9 Menu *general* memiliki beberapa menu untuk menginput data berikut.

- a) *Title* : Memasukan judul dari analisa.
- b) MATL : Memilih tipe dari material. (1) Jika lapisan merupakan Linear elastis, (2) jika lapisan merupakan nonlinear elastis, (3) jika lapisan merupakan viskoelastis, (4) jika lapisan merupakan campuran dari ketiga lapisan di atas.
- c) NDAMA : Memilih analisa kerusakan (0) jika tidak ada kerusakan analisis, (1) terdapat kerusakan analisis dan ada hasil printout, (2) terdapat kerusakan analisis dan ada hasil print out yang lebih detail.
- d) DEL : Nilai alurasi hasil analisa. Standar akurasi 0,001
- e) NL : Jumlah layer/lapis, maksimal 19 lapis
- f) NZ : Letak koordinat z yang akan dianalisa jika NDAMA=1 atau 2, maka NZ=0 karena program akan menganalisa di koordinat yang mengalami analisa kerusakan.
- g) NSTD : (1) Untuk vertical *displacement*, untuk vertikal *displacement* dan nilai tegangan, (2) untuk vertikal *displacement*, nilai tegangan dan regangan.
- h) NBOND : (1) Jika antar semua lapis saling terikat, (2) jika tiap antar lapisan tidak terikat atau gaya geser diabaikan.

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE		
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	10
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0,001
Number of layers	(NL)	4
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	5
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0-if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	0
Number of layers for top compression	(NLTC)	0
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	1

OK

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

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

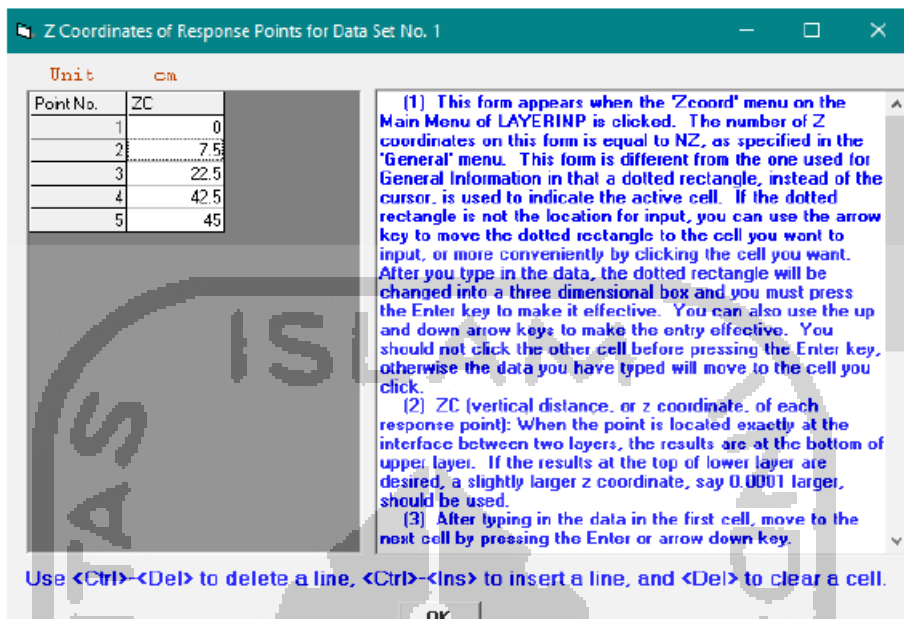
(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

i.) NUNIT : Satuan yang digunakan (0) satuan *English* (1) Satuan SI

Gambar 3.9 Tampilan Layar General

3. *Zcoord*

Zcoord adalah menu yang berfungsi untuk menganalisis lapisan perkerasan pada koordinat Z. Jumlah poin yang terdapat dalam menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu *General*. ZC adalah jarak vertikal atau jarak dalam arah Z yang akan dianalisis oleh program. Program menu *Zcoord* dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



Point No.	ZC
1	0
2	7.5
3	22.5
4	42.5
5	45

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

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

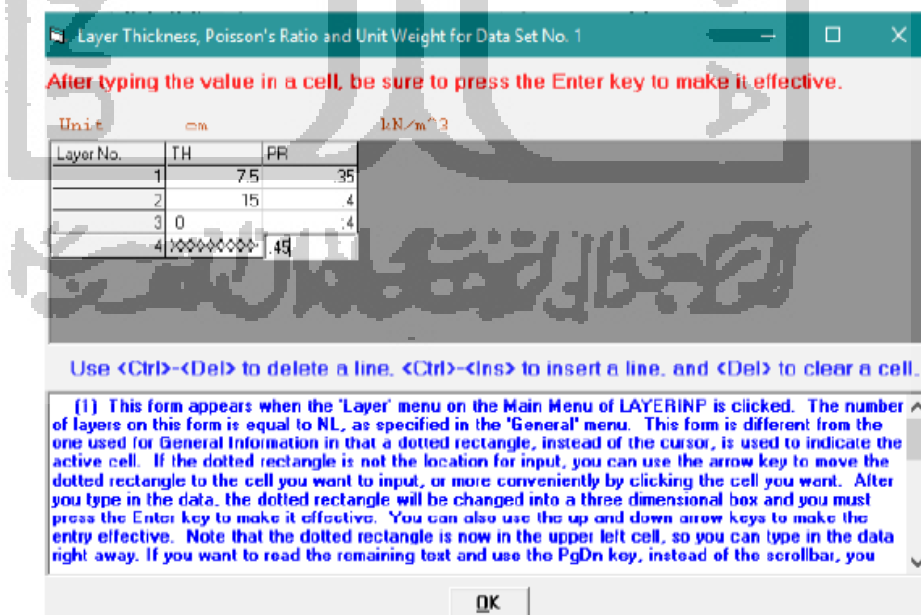
(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

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

Gambar 3.10 Tampilan Layar Zcoord

4. Layer

Layer adalah menu yang digunakan memasukkan data berupa jumlah lapisan perkerasan. TH adalah tebal tiap layer ataulapis. PR adalah Poisson's Ratio tiap layer. Menu layer dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Layer No.	TH	PR	kN/m ³
1	7.5	.35	
2	15	4	
3	0	.4	
4	XXXXXX	.45	

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

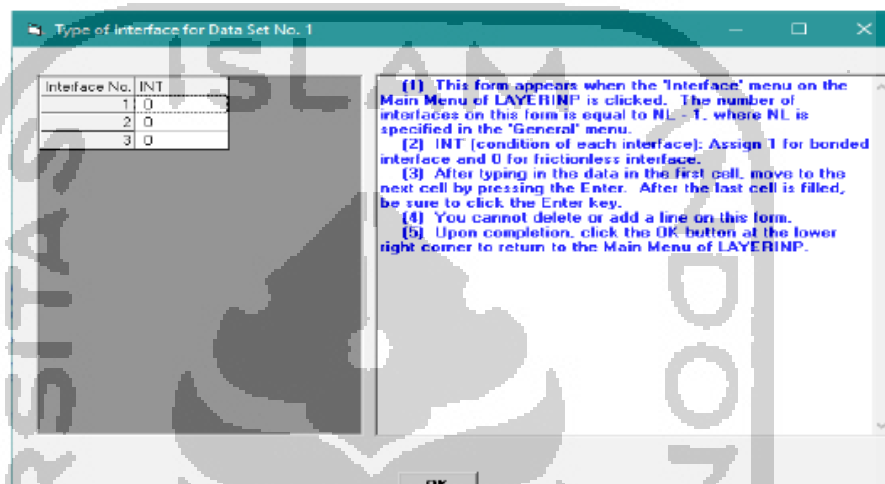
(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. Note that the dotted rectangle is now in the upper left cell, so you can type in the data right away. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you

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

Gambar 3.11 Tampilan Layar Layer

5. *Interface*

Interface merupakan menu yang berkaitan dengan NBIND yang terdapat dalam menu *general*. Apabila NBOND=1, maka menu *interface* akan mendefault dan tidak dapat dibuka. Jika NBOND=2, maka menu

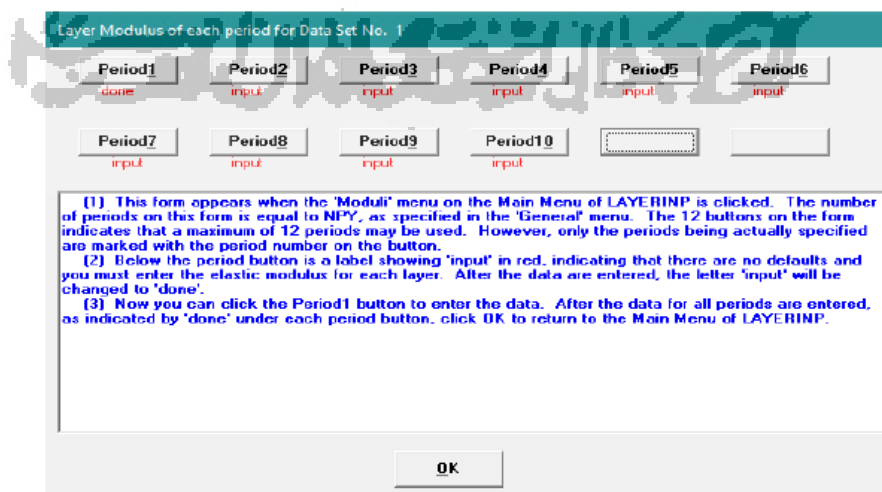


interface akan keluar seperti pada gambar 3.12 berikut.

Gambar 3.12 Tampilan Layar Interface

6. *Moduli*

Moduli adalah jumlah periode dalam menu ini sama dengan jumlah NPY dalam menu *general*. Maksimal periode dalam menu ini adalah 12. E adalah modulus elastisitas tiap *layer*. Untuk tampilan layar *moduli* dapat dilihat pada



Gambar 3.13 dan tampilan layar *moduli* for period pada Gambar 3.14 berikut.

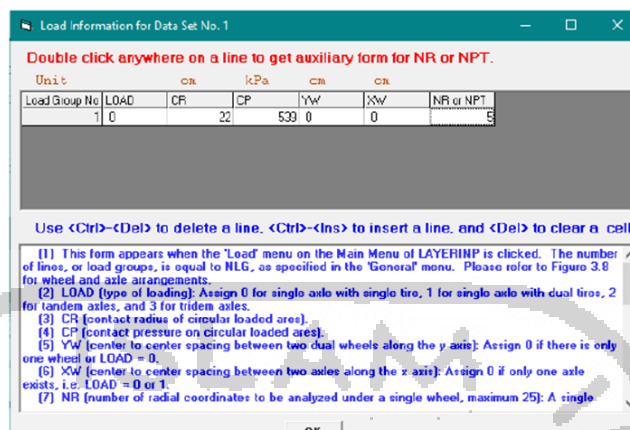
Gambar 3.13 Tampilan Layar Moduli



Gambar 3.14 Tampilan Layar Moduli for Period

7. Load

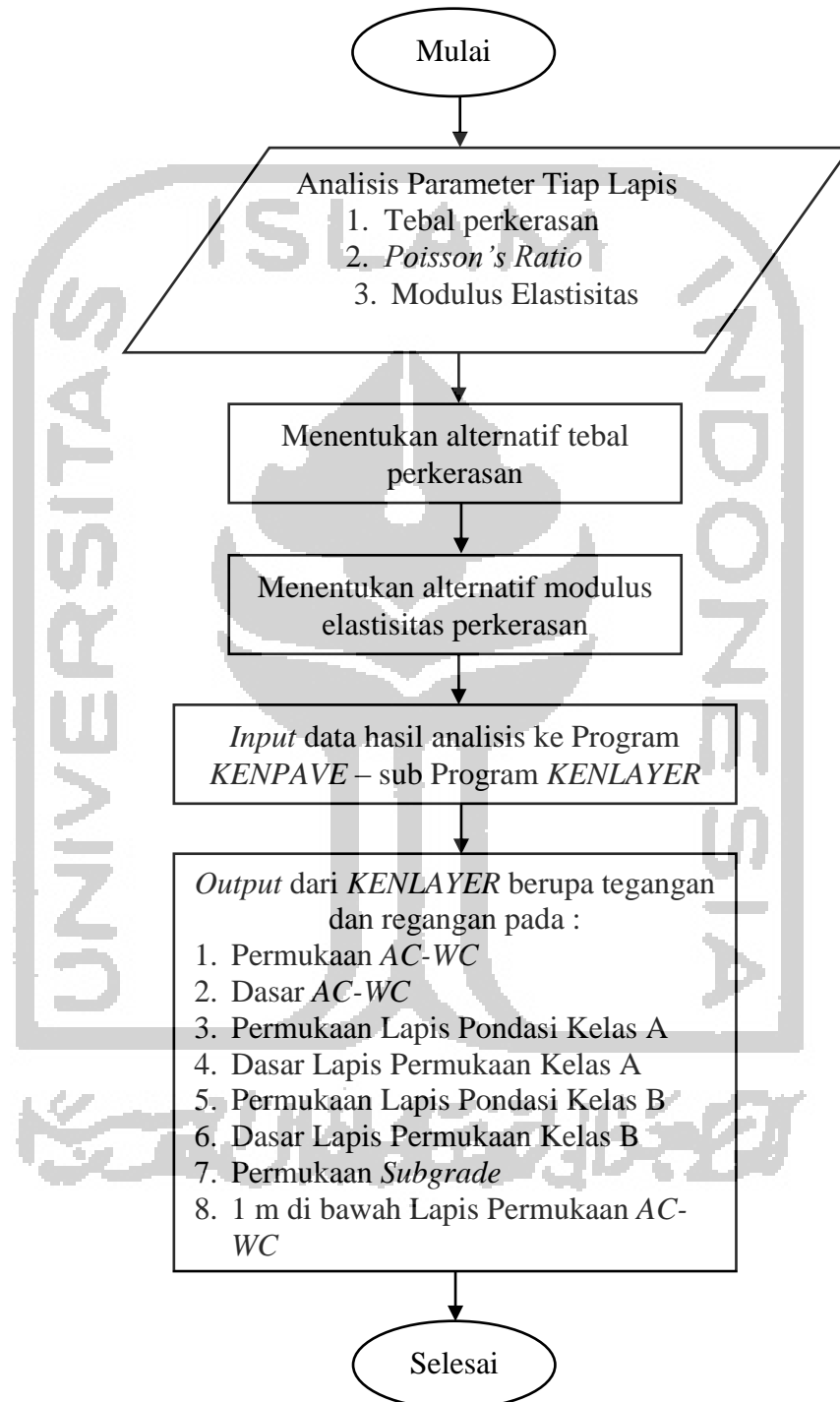
Dalam menu ini jumlah unit yang ada sama dengan jumlah NPY dalam menu general. Untuk kolom Load (0) untuk sumbu tunggal roda tunggal, (1) untuk sumbu tunggal roda ganda, (2) untuk sumbu tandem, (3) untuk sumbu triple. Kolom CR adalah radius kontak pembebanan. Kolom CP adalah nilai beban. Kolom YW dan XW merupakan jarak antar roda arah y dan arah x. Jika kolom load=0, maka kolom YW dan XW = 0. Nr adalah jumlah koordinat radial yang dianalisis berdasarkan pada satu roda. NPT adalah jumlah titik koordinat x dan y yang dianalisis berdasarkan pada beberapa roda. Tampilan layar pada menu load dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15 Tampilan Layar Load

3.4.3 Pemodelan kerusakan

Analisa kerusakan perkerasan yang akan dibahas adalah retak fatik (*fatigue cracking*) dan alur (*rutting*). Kerusakan perkerasan disebabkan oleh beban kendaraan dan pengaruh cuaca. Jenis kerusakan retak *fatigue* dilihat berdasarkan nilai regangan *horizontal* pada lapis permukaan aspal bagian bawah akibat beban pada permukaan perkerasan dan jenis kerusakan *rutting* dilihat berdasarkan nilai regangan tekan di bagian atas lapis tanah dasar atau lapis pondasi bawah. Prosedur desain Program *Kenpave* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.16 sebagai berikut.



Gambar 3.16 Bagan Desain Menggunakan Program *Kenpave*