

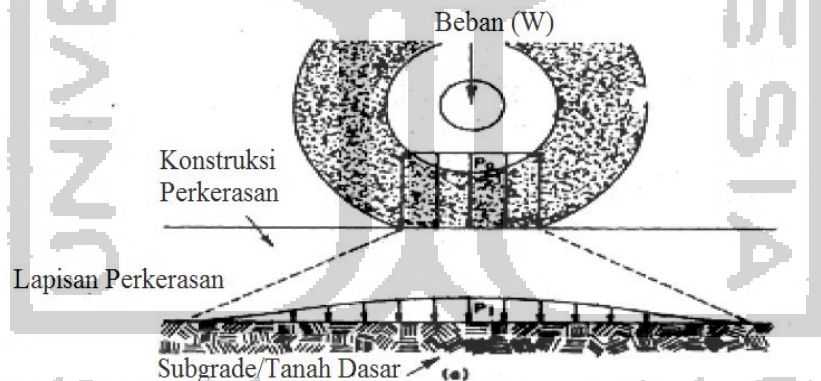
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan bahan campuran aspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir untuk lapisan bawahnya. Pada umumnya komponen penyusun suatu perkerasan terdiri dari lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Sukirman (1992) memberikan susunan setiap lapisan sebagai berikut.

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



Gambar 3.1 Penyebaran beban roda melalui lapisan perkerasan jalan

(Sumber: Sukirman, 1992)

Berdasarkan Gambar 3.1 beban lalu lintas yang bekerja pada konstruksi perkerasan seperti muatan kendaraan berupa gaya vertikal, gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal dan pukulan roda kendaraan berupa getaran-getaran. Muatan yang diterima masing masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil karena sifat penyebaran gaya. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya

yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima beban gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat yang harus dipenuhi oleh tiap lapisan.

3.1.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan merupakan lapisan yang terletak paling atas dari suatu perkerasan lentur. Lapis permukaan memiliki beberapa fungsi sebagai berikut.

1. Lapis perkerasan penahan beban roda kendaraan, selama masa pelayanan lapisan memiliki stabilitas yang tinggi guna menahan beban roda.
2. Lapis kedap air, berguna agar air hujan yang jatuh ke perkerasan tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
3. Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang mengalami konflik langsung terhadap gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih jelek.

Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut umumnya lapisan permukaan dibuat menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas tinggi dan daya tahan lama. Jenis permukaan yang umum digunakan di Indonesia antara lain sebagai berikut.

1. Lapisan bersifat non-struktural, berfungsi sebagai lapis aus dan kedap air yang dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu antara lain:
 - a. burtu (laburan aspal satu lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal bertabur satu lapis agregat seragam,
 - b. burda (laburan aspal dua lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal bertabur dua lapis agregat seragam,
 - c. latasbum (lapis tipis asbuton murni), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak,

- d. laston (lapis tipis aspal beton), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras.
2. Lapisan bersifat struktural, berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda antara lain:
 - a. penetrasi macadam (lapen), merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal,
 - b. laston (lapis aspal beton), merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan diadatkan pada suhu tertentu.

3.1.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Adapun fungsi lapis pondasi atas antara lain sebagai berikut.

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya.
2. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Material yang cukup kuat adalah material yang cocok digunakan untuk lapis pondasi atas. Bahan-bahan alam yang biasa digunakan adalah seperti batu pecah, kerikil pecah, stabilisasi tanah dengan semen dan kapur.

3.1.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

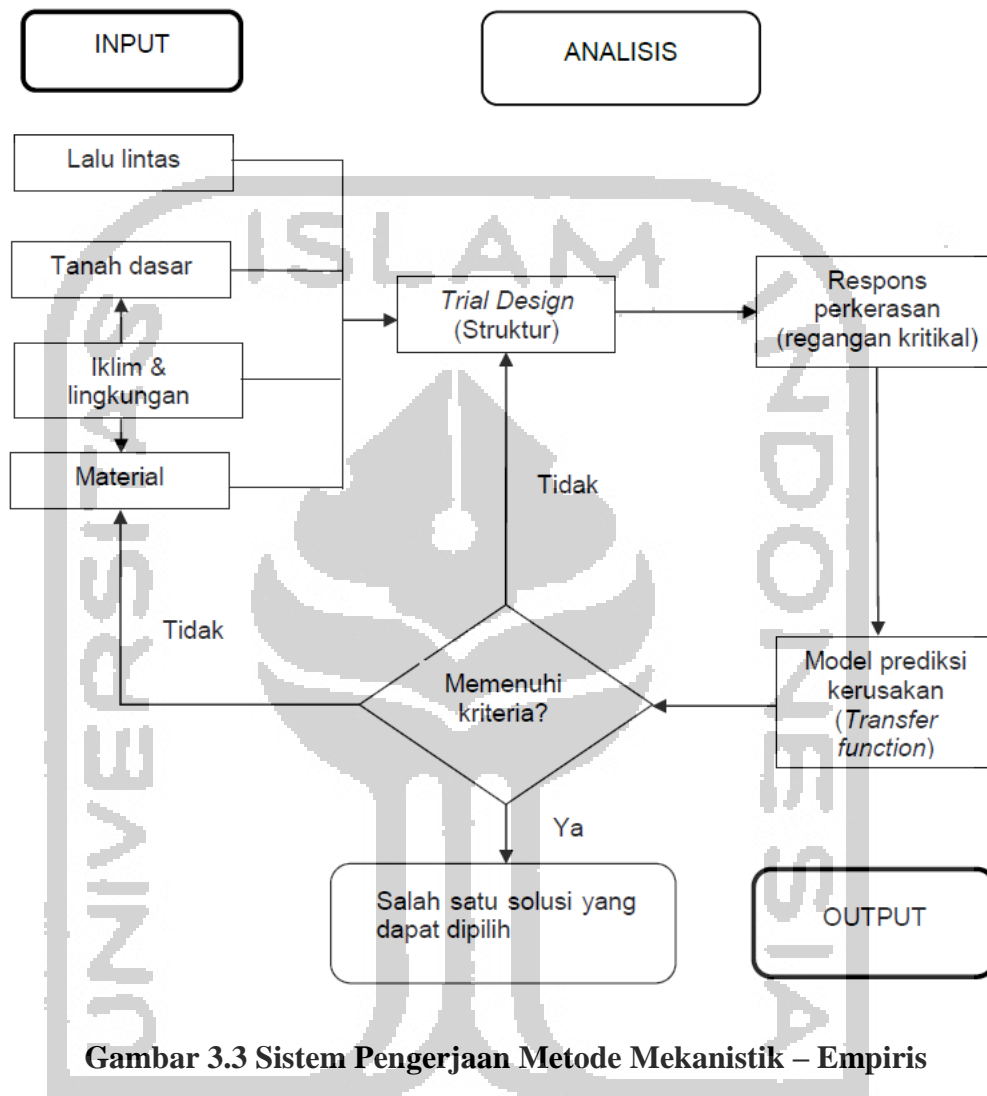
Lapisan pondasi bawah merupakan lapisan perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Adapun fungsi lapis pondasi bawah antara lain sebagai berikut.

1. Bagian dari konstruksi perkerasan yang menyebarkan beban roda ke tanah dasar.

2. Efisiensi penggunaan material, dimana material pondasi bawah relatif lebih murah dibandingkan lapisan di atasnya.
3. Sebagai lapis peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
4. Sebagai lapisan pertama agar pekerjaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda alat besar.
5. Sebagai lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

3.2 Desain Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik Empiris

Metode desain mekanistik empiris didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai respon ini digunakan untuk memprediksi tekanan dari data kinerja lapangan dan tes laboratorium. Pengamatan pada kinerja perkerasan sangat perlu dilakukan karena teori dianggap belum cukup terbukti untuk desain perkerasan secara realistik (Huang, 2014).



Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa dalam melakukan desain perkerasan lentur menggunakan metode mekanistik-empiris, perkerasan tersebut dipengaruhi oleh beberapa aspek input seperti lalu lintas, tanah dasar, lingkungan dan material. Sehingga awalnya perkerasan tersebut diasumsikan mampu untuk menahan beban rencana dalam waktu yang ditetapkan dimana setelah itu dilakukan trial desain perkerasan (iteratif). Selanjutnya dilakukan analisis untuk membuktikan apakah perkerasan tersebut mampu atau tidak menahan beban rencana dalam waktu yang ditetapkan tersebut. Jika

perkerasan tersebut terbukti mampu menahan beban dalam waktu yang ditetapkan maka perkerasan tersebut dianggap layak untuk digunakan. Sedangkan jika hasil analisis menunjukkan adanya satu saja regangan kritis yang membuktikan bahwa perkerasan tidak mampu menahan beban, maka diperlukan adanya perbaikan atau perubahan struktur (dapat dilakukan perubahan material atau dimensi, atau bahkan keduanya).

Dalam metode mekanistik empiris terdapat penyelesaian secara analisis yang disebut *Multilayer Elastic System* (Sistem Multilapis Elastis). Sistem ini menggunakan asumsi-asumsi untuk menghitung respon struktur seperti tegangan, regangan dan lendutan akibat respon dari beban roda kendaraan. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan menurut Yodder dan Witczak (1975) adalah sebagai berikut.

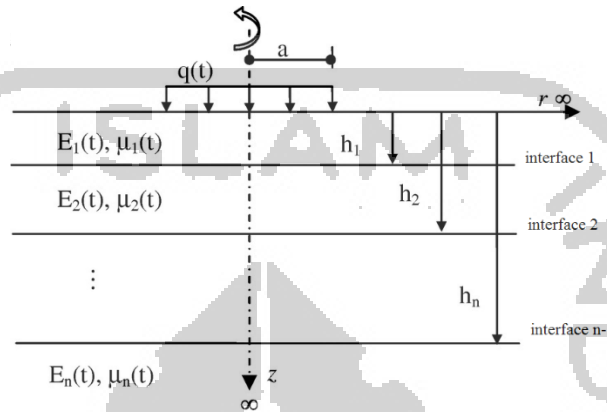
1. Sifat-sifat bahan dari setiap lapisan perkerasan dianggap homogen.
2. Tiap lapisan memiliki batas ketebalan.
3. Antara tiap lapisan menggunakan friksi *Interface*.
4. Pada permukaan tidak terjadi gaya geser.

3.3 Konsep *Multi-Layered System*

Perkerasan lentur merupakan sistem berlapis dengan material yang semakin ke atas semakin baik dan tidak dapat diwakili oleh massa yang homogen. Solusi sistem berlapis ini pertama kali dikembangkan oleh Burnister (1943) dengan sistem dua lapis dan diperpanjang oleh Burnister (1945) menjadi sistem tiga lapis. Dengan adanya kemampuan komputer, teori tersebut dapat di aplikasikan menjadi *multi-layered system* dengan berapapun jumlah lapisannya (Huang, 1967). Berikut adalah beberapa asumsi yang digunakan untuk menghitung respon struktur pada *multi-layered system* (Huang, 2004).

1. Setiap masing-masing lapis perkerasan bersifat homogen dan isotropik.
2. Bahan perkerasan tiap lapisan memiliki batas bobot dan ketebalan serta lebar tiap lapisan dianggap tidak terbatas.

3. Tekanan seragam diterapkan pada lapis permukaan yang terkena luasan penampang beban (*interface*)



Gambar 3.2 Multi-layered Viscoelastic System

(Sumber : Huang, 2004)

Berdasarkan Gambar 3.2 tiap lapisan dari perkerasan memiliki kedalaman yang berbeda serta memiliki nilai modulus elastisitas dan *poisson* ratio yang berbeda pula. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jenis material yang digunakan. Tegangan normal (σ) bekerja tegak lurus terhadap permukaan, sedangkan tegangan geser (τ) bekerja sejajar permukaan. Dalam kondisi keseimbangan statis diperlihatkan bahwa tegangan geser yang bekerja pada tiap permukaan adalah sama besar sehingga dapat dikatakan bahwa resultan tegangan geser sama dengan nol. Regangan yang terjadi dirumuskan pada Persamaan 3.1 s/d 3.3 berikut.

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

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

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

Dengan:

ε = regangan

$q(t)$ = beban merata,

h_n = kedalaman tiap lapisan,

- E = modulus elastisitas tiap lapisan,
 μ = nilai *poisson ratio* tiap lapisan,
 σ = tegangan normal,
 τ = tegangan geser.

3.4 Karakteristik Material

Dalam perkerasan dapat menggunakan beberapa karakteristik material. Berikut adalah karakteristik material tersebut.

3.4.1 Viscoelastic Layer

Untuk menganalisis layer aspal menerapkan sifat viscoelastis dimana waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Solusi dari layer viscoelastic ini diperoleh melalui prinsip koresponden elastis – viscoelastis dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu (Huang, 2004). Adapun metode untuk mengkarakterkan bahan viscoelastis adalah melalui spesifikasi *creep compliances*. Temperatur yang disarankan untuk *creep compliances* digunakan untuk *input* pada *Layerrip*. Temperatur standar pada perkerasan lentur dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$D(t) = \frac{1}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_i} \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{T_i}\right) \right] \quad (3.1)$$

Untuk mengukur *creep compliance* dihitung menggunakan 11 durasi waktu yang berbeda antara lain 0,001 ; 0,003 ; 0,01 ; 0,03 ; 0,1 ; 0,3 ; 1 ; 3 ; 10 ; 30 ; dan 100 detik.

3.4.2 Layer Linear Elastis

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

3.5 Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 merupakan draft yang dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 ini berisikan ketentuan teknis pelaksanaan pekerjaan desain perkerasan jalan yang meliputi perkerasan baru dan rehabilitasi perkerasan. Beberapa parameter yang digunakan sebagai acuan perhitungannya ada seperti umur rencana, faktor lajur, beban lalu lintas dan tingkat pertumbuhan lalu lintas.

3.5.1 Umur Rencana

Umur rencana suatu jalan raya merupakan jumlah waktu yang dihitung tepat sejak jalan tersebut dibuka sampai dianggap dibutuhkan rehabilitasi atau perbaikan pada jalan tersebut. Berdasarkan Bina Marga 2017 umur rencana diambil dengan mempertimbangkan analisis *discounted lifecycle cost terendah* yang digunakan untuk menentukan jenis lapis perkerasan. Ketentuan umur rencana yang disajikan didalam Bina Marga 2017 akan ditampilkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru

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

(Sumber : Bina Marga, 2017)

Dari Tabel 3.1 dapat dilihat hubungan tiap umur rencana dengan jenis perkerasan yang digunakan. Untuk umur rencana 10 tahun menggunakan jenis perkerasan jalan tanpa penutup, sedangkan untuk umur rencana 20 tahun lebih dianjurkan untuk menggunakan perkerasan lentur dimana jenis perkerasan ini lebih sering digunakan untuk jalan perkotaan. Untuk umur rencana 40 tahun menggunakan perkerasan kaku dikarenakan perkerasan kaku memang jenis perkerasan yang tahan namun memiliki tingkat kenyamanan yang rendah.

3.5.2 Lalu Lintas

Data lalu lintas memegang peranan terpenting pada perencanaan tebal perkerasan karena data lalu lintas ini dibutuhkan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang akan dipikul oleh jalan tersebut. Beban lalu lintas yang dihitung ini akan diproyeksikan sesuai dengan umur rencana. Berikut ini merupakan beberapa aspek dari lalu lintas yang akan digunakan untuk melaksanakan desain perkerasan jalan.

1. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas dapat didefinisikan sebagai banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik pengamatan pada jalan selama satu satuan waktu (menit, jam atau hari). Data volume lalu lintas yang digunakan dalam desain perkerasan ini dapat berupa lalu lintas harian (LHR) yang diamati selama 30 hari dan lalu lintas rata-rata tahunan (LHRT) yang diamati selama setahun penuh.

2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas ini dipengaruhi langsung oleh data-data pertumbuhan (*historical growth*) atau formula korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Faktor pertumbuhan lalu lintas yang dapat digunakan pada tahun 2015-2035 tersedia pada Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017, dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

	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)

Untuk menghitung pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 menyediakan rumus sebagai berikut.

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

dengan:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

i = Tingkat pertumbuhan lalu lintas tahun, dan

UR = Umur rencana (tahun)

3.5.3 Faktor Distribusi Lajur

Lajur rencana adalah suatu ruas jalan yang salah satu lajurnya menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) terbesar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Pada umumnya faktor distribusi arah (DD) diambil 0,50 pada jalan untuk dua arah kecuali pada lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Untuk faktor distribusi lajur (DL), Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 telah menetapkan berdasarkan jumlah lajur setiap arah. Faktur distribusi lajur (DL) dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

(Sumber : Bina Marga, 2017)

3.5.4 Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Faktor ekivalen beban (*Vehicle damage factor*) digunakan untuk mengkonversi beban lalu lintas menjadi beban standar (*ESA*) didalam desain perkerasan. Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 perhitungan beban lalu lintas dapat dilakukan dengan menggunakan studi jembatan timbang statis (survei langsung) atau data *WIM* regional yang dikeluarkan langsung oleh Ditjen Bina Marga.

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 3.5 dapat digunakan untuk menghitung *ESA*. Tabel 3.4 menunjukkan nilai *VDF* regional masing-masing jenis kendaraan niaga yang diolah dari data studi *WIM* yang dilakukan Ditjen Bina Marga pada tahun 2012-2013. Data tersebut perlu diperbarui secara berkala sekurang-kurangnya 5 tahun. Untuk *VDF* pada Tabel 3.5 dapat digunakan apabila survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga. Untuk periode beban faktual (sampai tahun 2020), digunakan *VDF* beban nyata sedangkan untuk periode beban normal (terkendali) digunakan *VDF* dengan muatan sumbu terberat 12 ton.

Tabel 3.4 Nilai VDF masing-masing Kendaraan Niaga

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		
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	
5B	1,0	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	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0	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	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	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-	-

(Sumber : Bina Marga, 2017)

Tabel 3.5 Nilai VDF Standar

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

(Sumber: Bina Marga, 2017)

3.5.5 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban kendaraan yang diteruskan ke perkerasan jalan melalui pertemuan ban dengan lapis permukaan yang terjadi secara berulang-ulang. Pemahaman tentang beban kendaraan pada perkerasan jalan ini sangat mempengaruhi hasil dari perencanaan konstruksi struktur perkerasan jalan dan kekokohan struktur jalan selama masa pelayanan.

1. Beban Sumbu Standar

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

2. Pengendalian Beban Sumbu

Tingkat pembebanan saat ini (aktual) diasumsikan berlangsung hanya hingga tahun 2020. Setelah tahun 2020, diasumsikan sebagai beban berlebih terkendali dengan beban sumbu nominal 120 kN.

3. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan sebagai berikut :

$$ESA = (\sum LHR_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.3)$$

Keterangan:

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

LHR : lintasan harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),

R : faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (pers 3.2),

VDF : Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga Tabel 3.4 dan Tabel 3.5,

DD : Faktor distribusi arah, dan

DL : Faktor distribusi lajur (Tabel 3.3).

3.5.6 Desain Perkerasan

Dalam desain perkerasan jalan terdapat beberapa variasi jenis perkerasan yang ditentukan berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana dan kondisi fondasi jalan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah dan tentunya dengan melihat nilai $CESA_4$ yang dihasilkan. Ketentuan pemilihan jenis desain perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Ketentuan Jenis Desain 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 $CBR > 2,5\%$)	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_5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA_5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal > 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA_5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

(Sumber: Bina Marga, 2017)

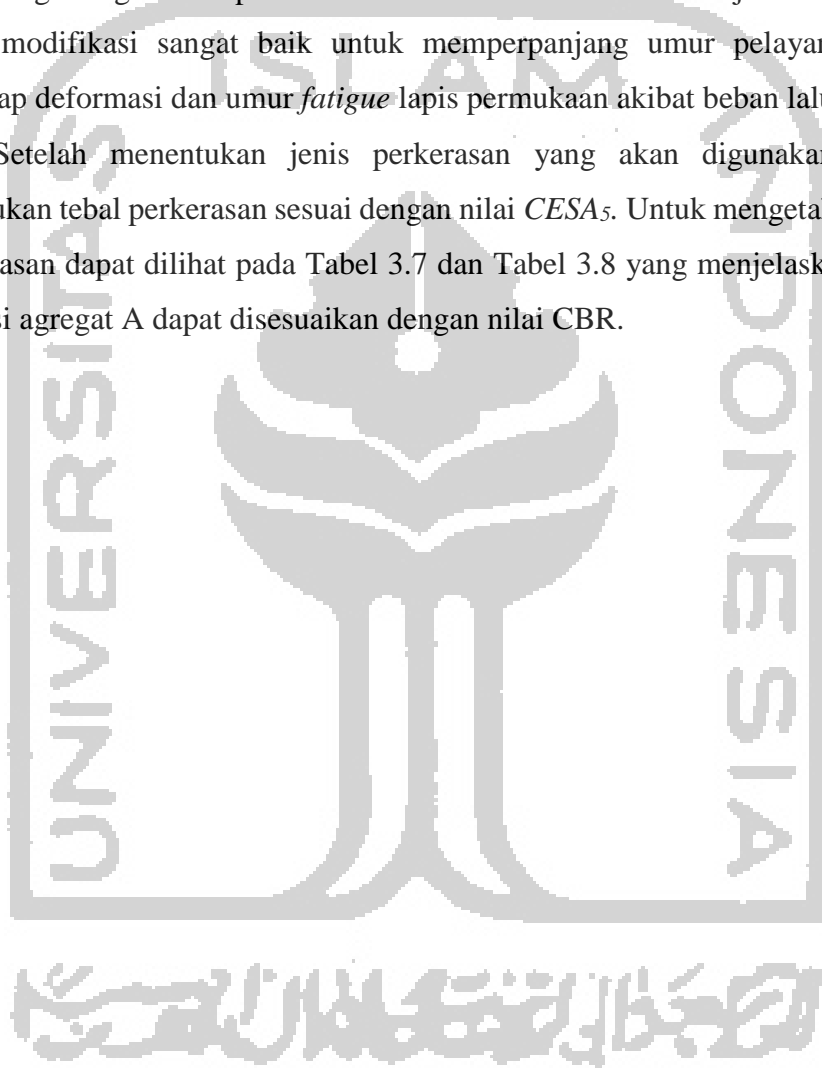
Catatan :

Tingkat Kesulitan:

1. kontraktor kecil – medium
2. kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai
3. membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus – dibutuhkan kontraktor spesialis Burda

Batasan pada Tabel 3.6 tidaklah mutlak, perencana tetap harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Namun aspal modifikasi lebih direkomendasikan untuk digunakan pada jalan yang mengalami repetisi lalu lintas selama 20 tahun > 10 juta *ESA*. Penggunaan aspal modifikasi sangat baik untuk memperpanjang umur pelayanan, ketahanan terhadap deformasi dan umur *fatigue* lapis permukaan akibat beban lalu lintas berat.

Setelah menentukan jenis perkerasan yang akan digunakan maka dapat ditentukan tebal perkerasan sesuai dengan nilai *CESA₅*. Untuk mengetahui desain tebal perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 yang menjelaskan bahwa lapis fondasi agregat A dapat disesuaikan dengan nilai CBR.



Tabel 3.7 Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

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

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Tabel 3.8 Penyesuaian Tebal Lapis Fondasi Agregat A Untuk Tanah Dasar $CBR > 7\%$

	Struktur Perkerasan								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 CESA)	>2	>2 - 4	>4 - 7	>7 -10	>10 - 20	>20 - 30	>30 - 50	>50 - 100	>100 - 200
Tebal LFA A (mm) Penyesuaian Terhadap Bagan Desain 3B									
<i>Subgrade CBR > 5,5 - 7</i>	400	300	300	300	300	300	300	300	300
<i>Subgrade CBR > 7 - 10</i>	330	220	215	210	205	200	200	200	200
<i>Subgrade CBR > 10</i>	260	150	150	150	150	150	150	150	150
<i>Subgrade CBR > 15</i>	200	150	150	150	150	150	150	150	150

(Sumber: Bina Marga, 2017)

3.6 Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Program *Kenpave*

Program *Kenpave* adalah *software* yang berbasis desain perencanaan perkerasan dengan fungsi untuk menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan lebih mudah dan fleksibel yang dikembangkan oleh Dr. Yang Huang, P.E. *Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. Untuk menjalankan program *Kenpave* dibutuhkan data-data seperti sifat karakteristik perkerasan dan material seperti modulus, *poisson ratio* setiap lapisan, beban roda, tekanan ban dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang diperlukan. *Software* ini dibagi menjadi empat program yang terpisah seperti *Layernip*, *Kenlayer*, *Slabinp*, dan *Ken slab*. Pada penelitian ini yang akan digunakan adalah program *Layernip* dan *Kenlayer* yang berfokus kepada perkerasan lentur.

3.6.1 Program *Kenpave*

Dalam penggunaannya, program *Kenpave* memiliki menu-menu utama untuk mendesain dan menganalisis perkerasan. Tampilan Menu yang disediakan oleh Program *Kenpave* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.3 Tampilan Menu Program *Kenpave*

Dalam pemodelan lapis perkerasan jalan dengan model lapisan elastis ini diperlukan data untuk *input* untuk tegangan dan regangan pada struktur perkerasan dan respon terhadap beban. Parameter-parameter yang digunakan sebagai berikut.

1. Parameter tiap lapisan seperti Modulus elastisitas dan *Poisson Ratio*.

- a. Modulus Elastisitas, merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda. Modulus elastisitas dapat juga disebut *Modulus Young* yang dilambangkan dengan E. Adapun rumus Modulus Elastisitas adalah:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

dengan :

E = Modulus Elastisitas (Psi atau kPa)

σ = Tegangan (kPa), dan

ε = Regangan.

Nilai modulus elastisitas untuk beberapa jenis bahan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
<i>Cement-treated granular base</i>	$1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$	$7 \times 10^6 - 14 \times 10^6$
<i>Cement aggregate mixture</i>	$5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	$35 \times 10^5 - 7 \times 10^6$
<i>Asphalt treated base</i>	$7 \times 10^4 - 45 \times 10^4$	$49 \times 10^5 - 3 \times 10^6$
<i>Asphalt concrete</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$	$14 \times 10^4 - 14 \times 10^6$
<i>Bituminous stabilized mixture</i>	$4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	$28 \times 10^4 - 21 \times 10^5$
<i>Lime stabilized</i>	$2 \times 10^4 - 7 \times 10^4$	$14 \times 10^4 - 49 \times 10^4$
<i>Unbound granular materials</i>	$15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$	$105 \times 10^3 - 31 \times 10^3$
<i>Fine grained or natural subgrade materials</i>	$3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	$21 \times 10^3 - 28 \times 10^4$

(Sumber : Huang, 2004)

- b. *Poisson Ratio*, 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* dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Nilai *Poisson Ratio*

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

Dalam teori elastis lapis banyak diperlukan ketebalan setiap lapis perkerasan sebagai input dalam penyelesaian menggunakan program. Satuan yang digunakan pada ketebalan setiap lapis adalah mm atau *inch*.

3. Kondisi beban.

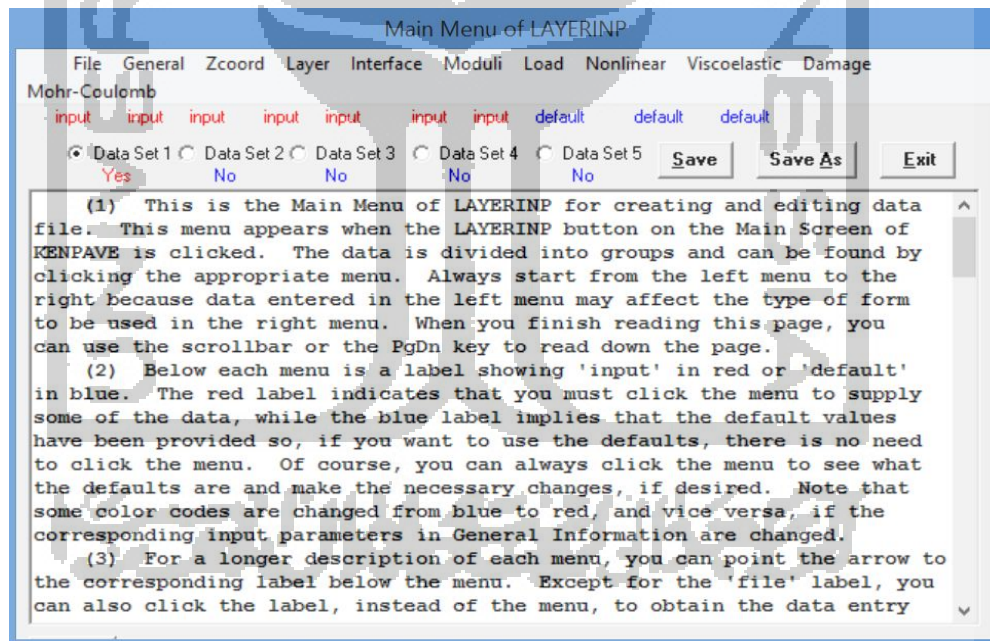
Data ini terdiri atas data beban roda, P (kN/Lbs), tekanan ban, q (Kpa/Psi) dan khusus untuk sumbu roda belakang jarak antara roda ganda, d (mm/*inch*). Nilai P dipengaruhi oleh barang yang diangkut oleh kendaraan sehingga beban pada sumbu

roda depan dan sumbu roda belakang berbeda. Sedangkan untuk nilai q dan d itu ditentukan sesuai data spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan.

3.6.2 Program *Kenlayer*

Program *Kenlayer* ini merupakan program yang hanya dapat digunakan pada perkerasan lentur. Program *Kenlayer* memiliki kegunaan untuk menentukan rasio kerusakan perkerasan lentur menggunakan model tekanan (*distress models*). *Distress model* ini merupakan deformasi dan retak yang dapat digunakan untuk memprediksi umur perkerasan dengan mengasumsi konfigurasi perkerasan.

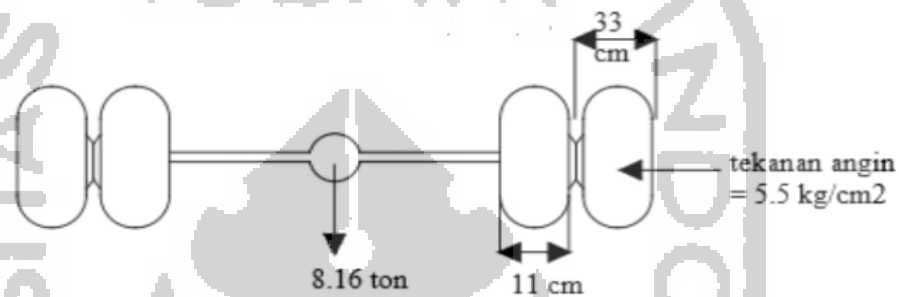
Program *Kenlayer* diawali dengan menginput data melalui menu *Layerinp* pada program *Kenpave* seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4. *Layerinp* memiliki 11 menu yang harus diisi dengan data yang ada. Berikut ini adalah penjelasan dari menu-menu tersebut.



Gambar 3.4 Tampilan Menu *Layerinp*

Data yang diperlukan untuk program *Kenlayer* adalah data struktur perkerasan jalan untuk menganalisa perencanaan tebal perkerasan jalan. Data tersebut antara lain tebal perkerasan jalan, modulus elastisitas, *poisson ratio*, dan kondisi beban.

Nilai tebal perkerasan didapatkan melalui perhitungan tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017. Nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 3.9, untuk nilai *poisson ratio* didapat pada Tabel 3.10 sedangkan nilai kondisi beban terdiri dari data beban roda (P), data tekanan ban (q), dan data jarak antar roda ganda (d) yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Sumbu Standar Ekivalen
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.7 Analisis Kerusakan Perkerasan

Kerusakan perkerasan yang terjadi biasanya disebabkan oleh beban kendaraan. Pada perhitungan menggunakan Program *Kenpave* akan dihasilkan nilai tegangan dan regangan perkerasan lentur, dimana nilai tegangan dan regangan ini akan digunakan untuk memprediksi kerusakan pada perkerasan tersebut. Adapun analisa kerusakan perkerasan jalan yang akan dibahas yakni *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*.

3.7.1 Fatigue Cracking

Persamaan retak lelah perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan adalah sebagai berikut.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} | E |^{-0,854} \quad (3.3)$$

dengan:

- N_f = Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*
- ϵ_t = Tensile strain di lokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan
- E = Modulus Elastis pada lapis permukaan atau lapis *HMA*

3.7.2 Rutting

Persamaan retak alur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah adalah sebagai berikut.

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3.4)$$

dengan:

- N_d = jumlah nilai repetisi beban yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*,
- ϵ_c = regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar,
- f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan
- f_4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

3.7.3 Permanent Deformation

Persamaan deformasi permanen untuk mengetahui jumlah repetisi beban pada perkerasan lentur adalah sebagai berikut.

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3.5)$$

dengan:

- N_d = jumlah nilai repetisi beban yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*,
- ϵ_c = regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar,
- f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan
- f_4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

Untuk nilai f_4 dan f_5 mengikuti rekomendasi dari Asphalt Institute 1970 dengan nilai $f_4 = 1,365 \times 10^{-9}$ dan $f_5 = 4,477$.

