

BAB 2

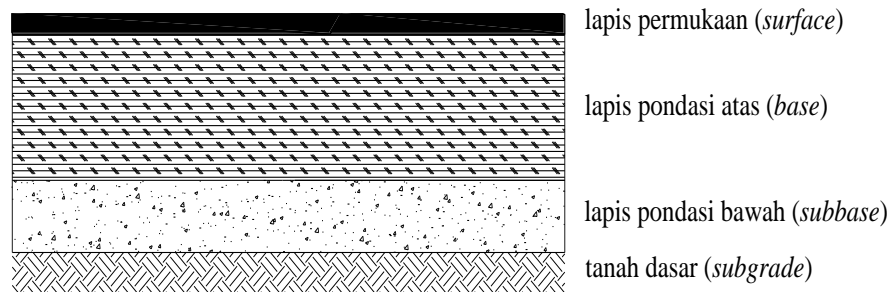
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan (*pavement*) adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi sebagai sarana transportasi. Material utama dari perkerasan jalan adalah agregat. Berdasarkan bahan pengikatnya perkerasan jalan dibagi menjadi dua, yaitu :

a. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

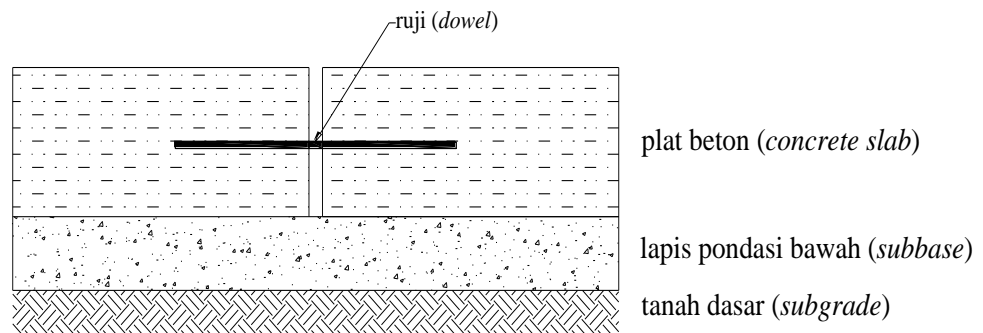
Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Yang terdiri dari lapisan – lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan.



Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Lentur

b. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

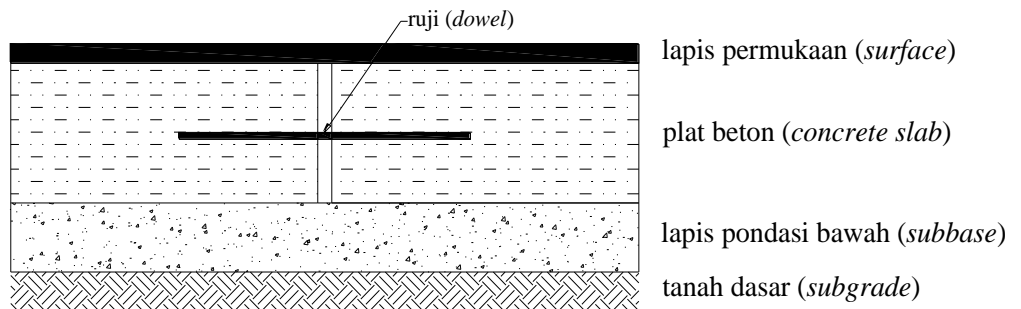
Perkerasan kaku merupakan suatu susunan konstruksi perkerasan dimana sebagai lapisan atasnya digunakan pelat beton, yang terletak di atas pondasi atau langsung di atas tanah dasar. Lapisan – lapisan perkerasan kaku adalah seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Lapisan Perkerasan Kaku

c. Perkerasan komposit (*composite pavement*)

Perkerasan komposit merupakan perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur. Perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau sebaliknya.



Gambar 2.3 Lapisan Perkerasan Komposit

d. Perbedaan antara perkerasan lentur dan pekerasan kaku

Perbedaan antara pekerasan lentur dan perkerasan kaku dapat dilihat pada tabel 2.1.

2.2 Perkerasan Lentur

a. Lapisan Perkerasan Lentur

Lapisan – lapisan pada perkerasan lentur berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Beban lalu lintas melalui bidang kontak roda kendaraan berupa beban merata P_0 dilimpahkan ke lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar.

Lapisan perkerasan lentur pada umumnya terdiri dari lapis permukaan, lapis pondasi dan tanah dasar. Namun bila diperlukan lapis permukaan atau lapis pondasi dapat lebih dari satu lapis.

Seperti pada gambar 2.1 konstruksi perkerasan lentur ini terdiri atas beberapa lapisan, yaitu lapis permukaan, lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah dan tanah dasar. Tiap lapisan mempunyai fungsi masing – masing dalam menerima beban dari lapisan atasnya.

- Lapis Permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan pada umumnya dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. Lapisan ini terletak paling atas, yang berfungsi sebagai berikut:

- Menahan beban roda, oleh karena itu lapisan perkerasan ini harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa layan.

- Lapisan kedap air, sehingga air hujan tidak meresap ke lapisan di bawahnya yang akan mengakibatkan kerusakan pada lapisan tersebut.
- Lapis aus, lapisan yang langsung terkena gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain.

Jenis lapis permukaan yang banyak digunakan di Indonesia adalah sebagai berikut:

- Burtu (laburan aspal satu lapis), yaitu lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi satu lapis agregat bergradasi seragam dengan tebal maksimal 2 cm.
- Burda (laburan aspal dua lapis), yaitu lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi agregat dua kali secara berurutan dengan tebal maksimal 3,5 cm.
- Latasir (lapis tipis aspal pasir), yaitu lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal 1-2 cm.
- Lataston (lapis tipis aspal beton), yaitu lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi dan aspal keras dengan perbandingan tertentu dan tebal antara 2 – 3,5 cm.

Jenis lapisan di atas merupakan jenis lapisan yang bersifat non-struktural yang berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air. Jenis lapisan berikutnya merupakan jenis lapisan yang bersifat struktural yang berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda, antara lain:

- Penetrasi macadam (lapen), yaitu lapis pekerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Tebal lapisan bervariasi antara 4 – 10 cm.
- Lasbutag, yaitu lapisan yang terdiri dari campuran antara agregat, asbuton dan bahan pelunak yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal lapisan padat antara 3 – 5 cm.
- Laston (lapis aspal beton), yaitu lapis pekerasan yang terdiri dari campuran aspal keras dengan agregat yang mempunyai gradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. Laston terdiri dari 3 macam campuran, Laston Lapis Aus (AC-WC), Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19mm, 25mm dan 37,5 mm. Jika campuran aspal yang dihampar lebih dari satu lapis, seluruh campuran aspal tidak boleh kurang dari toleransi masing-masing campuran dan tebal nominal rancangan.

- Lapis Pondasi Atas (*base course*)

Lapisan pondasi atas terletak tepat di bawah lapisan perkerasan, maka lapisan ini bertugas menerima beban yang berat. Oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas tinggi dan pelaksanaan di lapangan harus benar. Fungsi dari *base course* adalah sebagai berikut:

- Menyebarkan gaya dari beban roda ke lapisan bawahnya.
- Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
- Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Jenis lapis pondasi atas yang biasa digunakan di Indonesia adalah sebagai berikut:

- Agregat bergradasi baik yang dibedakan atas: batu pecah kelas A, batu pecah kelas B, batu pecah kelas C. Batu pecah kelas A bergradasi lebih baik dari batu pecah kelas B dan batu pecah kelas B lebih baik dari batu pecah kelas C. Kriteria dari masing – masing jenis lapisan di atas dapat diperoleh dari spesifikasi yang diberikan.
- Pondasi macadam
- Pondasi tellford
- Penetrasi macadam (Lapen)
- Aspal beton pondasi

- Lapis Pondasi Bawah (*subbase course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapis perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi dari lapisan pondasi bawah adalah:

- Menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- Mengurangi ketebalan lapis di atasnya yang materialnya lebih mahal.
- Mencegah partikel – partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
- Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.

Jenis pondasi bawah yang biasa digunakan di Indonesia adalah sebagai berikut:

- Agregat bergradasi baik, dibedakan atas: Sirtu/pitrun kelas A, Sirtu/pitrun kelas B, Sirtu/pitrun kelas C.
 - Stabilisasi: a. Stabilisasi agregat dengan semen, b. Stabilisasi agregat dengan kapur, c. Stabilisasi tanah dengan semen, d. Stabilisasi tanah dengan kapur.
- Tanah Dasar (*subgrade course*)

Lapisan paling bawah adalah permukaan tanah asli, tanah galian atau tanah timbunan yang menjadi dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Perkerasan lain diletakkan di atas tanah dasar, sehingga secara keseluruhan mutu dan daya tahan seluruh konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar harus dipadatkan hingga mencapai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik.

2.3 Metode Perencanaan Perkerasan Lentur

Metode perencanaan tebal perkerasan lentur umumnya dapat dibedakan atas dua metode yaitu:

a. Metode empiris

Metode empiris dikembangkan berdasarkan pengalaman penelitian dari jalan-jalan yang dibuat khusus untuk penelitian atau dari jalan yang sudah ada. Setiap negara mempunyai metode empiris untuk menentukan tebal perkerasan lentur sesuai dengan kondisinya.

Indonesia menggunakan metode Bina Marga yang dikeluarkan pada tahun 1987. Metode Bina Marga ini merupakan modifikasi dari metode AASHTO 1972. Modifikasi dilakukan sesuai dengan kondisi alam, lingkungan sifat tanah dan jenis lapis perkerasan.

b. Metode analitis atau teoritis

Metode analitis atau teoritis yang umum digunakan berdasarkan teori elastik atau yang lebih dikenal metode *sistem lapis banyak*. Teori ini membutuhkan nilai modulus elastisitas, poisson ratio, tebal perkerasan dari setiap lapis perkerasan dan beban.

Prinsip utama dari Metode Analitis adalah mengasumsikan perkerasan jalan menjadi suatu struktur *multi-layer (elastic) structure* (untuk perkerasan lentur) dan suatu struktur *beam on elastic foundation* (untuk perkerasan kaku). Akibat beban kendaraan yang bekerja di atasnya sebagai beban merata, maka akan timbul tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada

struktur tersebut. Dari nilai tegangan dan regangan itulah akan menjadi kriteria perancangan tebal struktur perkerasan.

2.4 Metode Analisa Komponen, Bina Marga (1987)

Dalam perancangan jalan menggunakan perkerasan lentur, Indonesia menggunakan Metode Analisa Komponen, Bina Marga. Penentuan tebal perkerasan dengan metode ini hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan yang menggunakan material berbutir seperti granular material, batu pecah, dll.

Dalam metode Bina Marga ini ada beberapa istilah dan parameter yang digunakan untuk merencanakan tebal tiap lapis perkerasan lentur. Istilah dan parameter yang dipakai antara lain:

a. Jumlah Jalur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Salah satu jalur yang menampung lalu lintas tersebut. Jika tidak memiliki tanda batas jalur, maka jumlah jalur ditentukan dari lebar perkerasan menurut tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Jumlah Jalur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Jalur (n)
$L < 5,50 \text{ m}$	1 jalur
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25 \text{ m}$	2 jalur
$8,25 \text{ m} \leq L < 11,25 \text{ m}$	3 jalur
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4 jalur
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5 jalur
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00 \text{ m}$	6 jalur

Sumber : SNI 1732-1989-F

Sedangkan untuk koefisien distribusi kendaraan (C) kendaraan ringan dan berat dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Jalur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 Arah	2 Arah	1 Arah	2 Arah
1 Jalur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 Jalur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 Jalur	0,40	0,40	0,50	0,48
4 Jalur	-	0,30	-	0,45
5 Jalur	-	0,25	-	0,43
6 Jalur	-	0,20	-	0,40

*) Berat Total < 5 ton, misalnya : bus penumpang, pick up, mobil hantaran

***) Berat Total ≥ 5 ton, misalnya : bus, truk, traktor, semi trailer, trailer

Sumber : SNI 1732-1989-F

b. Umur Rencana (UR)

Jumlah waktu dalam tahun yang dihitung dari mulai jalan tersebut digunakan sampai diperlukan perbaikan jalan atau pelapisan ulang.

c. Indeks Permukaan (IP)

Suatu angka yang menunjukkan tingkat pelayanan berdasarkan kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan jalan.

d. Angka Ekuivalen (E)

Beban sumbu kendaraan, angka perbandingan tingkat kerusakan akibat beban sumbu tunggal terhadap beban standar sumbu tunggal 8,16 ton.

Perhitungan Angka Ekuivalen (E) masing masing golongan beban sumbu (tiap kendaraan) ditentukan menurut rumus di bawah ini:

- Angka Ekuivalen Sumbu Tunggal

$$\left(\frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right)^4 \dots\dots\dots(2.1)$$

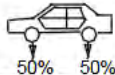
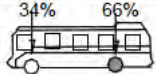
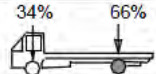
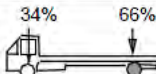

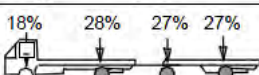

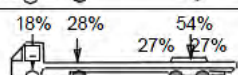
- Angka Ekuivalen Sumbu Ganda

$$0,086 \times \left(\frac{\text{beban sumbu ganda (kg)}}{8160} \right)^4 \dots\dots\dots (2. 2)$$

Tabel 2.4 Angka Ekuivalen Beban Sumbu

Beban sumbu		Angka Ekuivalen	
Kg	Lb	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3023	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820

Sumber : SNI 1732-1989-F

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUJATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	

Sumber: Manual Perkerasan Jalan dengan Alat Benkelman beam No.01/MN/BM/83

Gambar 2.5 Distribusi Pembebanan Masing-Masing Kendaraan

e. Lalu Lintas Harian Rerata (LHR)

Jumlah rata - rata lalu lintas kendaraan bermotor roda 4 atau lebih selama 24 jam.

f. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)

Jumlah lintas ekuivalen harian rata – rata sumbu tunggal 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada awal tahun umur rencana.

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j \dots\dots\dots (2. 3)$$

Catatan : j = jenis kendaraan

g. Lintas Ekivalen Akhir (LEA)

Jumlah lintas ekivalen harian rata- rata sumbu tunggal pada jalur rencana yang diduga terjadi pada akhir tahun umur rencana.

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR(1+i)^{UR} \times C_j \times E_j \dots \dots \dots (2.4)$$

Catatan : j = jenis kendaraan

 i = perkembangan lalu lintas

h. Lintas Ekivalen Tengah (LET)

Jumlah lintas ekivalen harian rata- rata sumbu tunggal pada jalur rencana yang diduga terjadi pada tengah tahun umur rencana.

$$LET = \frac{LEP+LEA}{2} \dots \dots \dots (2.5)$$

i. Lintas Ekivalen Tengah (LET)

Besaran dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekivalen sumbu tunggal.

$$LER = LET \times FP \dots \dots \dots (2.6)$$

FP (Faktor Penyesuaian) ditentukan dengan rumus:

$$FP = \frac{UR}{10} \dots \dots \dots (2.7)$$

j. Tanah Dasar

Sebagai dasar perletakan bagian perkerasan, bisa merupakan tanah asli, tanah galian atau tanah timbunan.

k. Lapis Pondasi Bawah

Lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

l. Lapis Pondasi

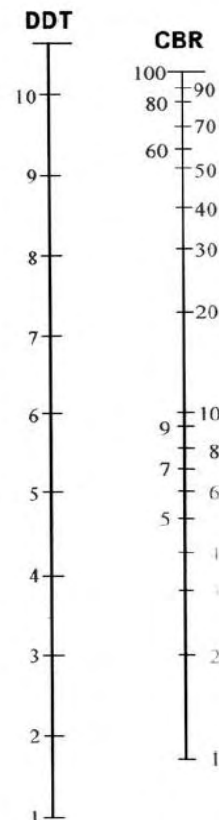
Lapis perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau tanah dasar jika tidak ada lapis pondasi bawah.

m. Lapis Permukaan

Lapisan teratas dalam perkerasan.

n. Daya Dukung Tanah (DDT)

Skala untuk menyatakan kekuatan tanah dasar, yang didapat dari nomogram penetapan tebal perkerasan. Berikut ini adalah nomogram korelasi antara CBR dan DDT.



Gambar 2.6 Korelasi CBR – DDT
(Sumber SNI 1732-1989-F)

o. Faktor Regional (FR)

Faktor setempat yang berhubungan dengan iklim, keadaan lapangan, daya dukung tanah dasar, dll.

Tabel 2.5 Faktor Regional

Iklim	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (6 - 10%)		Kelandaian III (>10%)	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30
Iklim I ≤ 900 mm/th	0,5	1,0 - 1,5	1,0	1,5 - 2,0	1,5	2,0 - 2,5
Iklim II > 900 mm/th	1,5	2,0 - 2,5	2,0	2,5 - 3,0	2,5	3,0 - 3,5

Catatan: Pada bagian-bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian, atau tikungan tajam (jari-jari 30m) FR ditambah dengan 0,4. Pada daerah rawa-rawa FR ditambah dengan 1,0.

Sumber : SNI -1732-1989-F

p. Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

ITP diperoleh dengan menggunakan LER selama umur rencana. Selanjutnya menentukan jenis lapis perkerasan yang akan dipakai dan menentukan nilai ITP dengan menggunakan nomogram.

Tabel 2.6 Indeks Permukaan Awal Umur Rencana (IPo)

Jenis Lapis Permukaan	IPo	Roughness (mm/km)
Laston	>4	<1000
	3,9 – 3,5	>1000
Lasbutag	3,9 – 3,5	<2000
	3,4 – 3,0	>2000
HRA	3,9 – 3,5	<2000
	3,4 – 3,0	>2000
Burda	3,9 – 3,5	<2000
Burtu	3,4 – 3,0	<2000
Lapen	3,4 – 3,0	<3000
	2,9 – 2,5	>3000
Latasbun	2,9 – 2,5	-
Buras	2,9 – 2,5	-
Latasir	2,9 – 2,5	-
Jenis tanah	< 2,4	-
Jalan kerikil	< 2,4	-

Sumber : Rekayasa Jalan Raya

Tabel 2.7 Indeks Permukaan Akhir Umur Rencana (IPt)

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 -1,5	1,5	1,5 – 2	-
10 – 100	1,5	1,5 – 2	2	-
100 – 1000	1,5 – 2	2	2 – 2,5	-
>1000	-	2 – 2,5	2,5	2,5

Sumber : Rekayasa Jalan Raya

Menentukan tebal masing – masing lapisan dengan menggunakan rumus

ITP adalah sebagai berikut:

$$ITP = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan: a = koefisien relatif bahan

D = tebal lapisan (cm)

Tabel 2.8 Tebal Minimum Lapisan Permukaan

ITP	Tebal minimal (cm)	Bahan
<3		Lapisan pelindung, buras, burtu/burda
3 – 6,7	5	Lapen / lapisan macadam, HRA, Asbuton, Laston
6,71 – 7,49	7,5	Lapen / lapisan macadam, HRA, Asbuton, Laston
7,5 – 9,99	7,5	Asbuton, Laston
>>10	10	Laston

Sumber : Rekayasa Jalan Raya

Tabel 2.9 Tebal Minimum Lapisan Pondasi

ITP	Tebal minimal (cm)	Bahan
<3	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3 – 7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
	10	Laston Atas
7,9 – 9,99	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laston Atas
10 – 12,24	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas
>>12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas

Sumber : Rekayasa Jalan Raya

Tabel 2.10 Koefisien Relatif Bahan

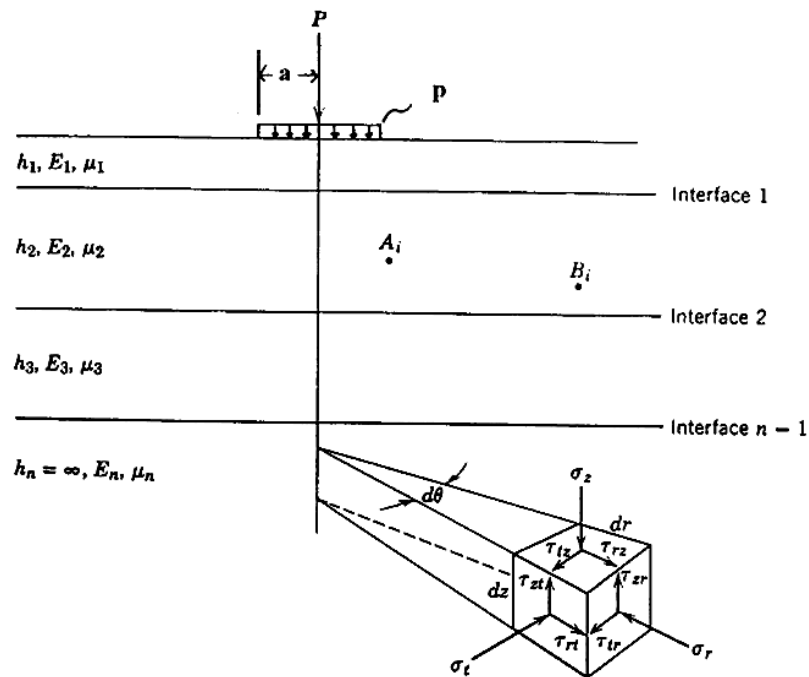
Koefisien Relatif Bahan			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a ₁	a ₂	a ₃	MS (kg)	KT (kg/cm ³)	CBR (%)	
0,4			744			
0,35			590			
0,32			454			
0,30			340			
0,35			744			
0,31			590			
0,28			454			Asbuton
0,26			340			
0,30			340			Hot Rolled Asphalt
0,26			340			Aspal Makadam
0,25						Lapen
0,2						Lapen
	0,28		590			
	0,26		454			Laston Atas
	0,24		340			
	0,23					Lapen
	0,19					Lapen
	0,15			22		Stabilitas tanah semen
	0,13			18		
	0,15			22		Stabilitas tanah kapur
	0,13			18		
	0,14				100	
	0,12				60	Pondasi makadam
	0,14				100	Pondasi macadam
	0,13				80	Batu pecah kelas A
	0,12				60	Batu pecah kelas B
		0,13			70	Batu pecah kelas C
		0,12			50	Sirtu / pitrun kelas A
		0,11			30	Sirtu / pitrun kelas B
		0,1			20	Sirtu / pitrun kelas C
						Tanah lempung

Sumber : Rekayasa Jalan Raya

2.5 Metode Analitis

Pada umumnya, konsep analitis sistem lapis banyak ini dalam penggunaannya mempunyai beberapa asumsi, yaitu:

- Lapisan homogen, maksudnya bahan / material pada setiap lapis mempunyai sifat yang sama. Misalnya sifat bahan di titik A sama dengan sifat bahan di titik B.
- Tiap lapis mempunyai ketebalan tertentu, kecuali lapis terbawah.
- Setiap lapis bersifat isotropik, maksudnya sifat – sifat bahan di setiap titik tertentu dalam setiap arah dianggap sama.
- Parameter yang digunakan E modulus elastisitas dan μ poisson ratio.

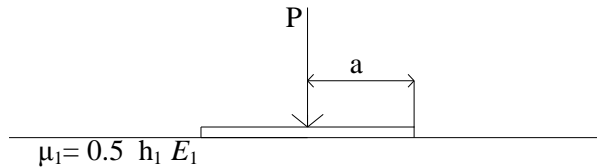


Gambar 2.7 Sistem lapis banyak

2.5.1 Sistem Lapis Banyak

Terdapat tiga sistem dalam metode sistem lapis banyak.

a. Sistem Satu Lapis



Gambar 2.8 Sistem Satu Lapis

Disajikan pada tabel 2.11 persamaan – persamaan dalam menentukan tegangan dan regangan pada *one – layer*.

Tabel 2.11 Sistem Satu Lapis

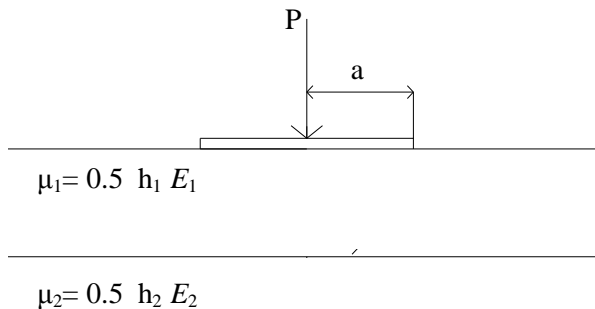
Parameter	General Case	Special Case ($\mu = 0.5$)
Vertical stress	$\sigma_z = \rho[A + B]$	(same)
Radial horizontal stress	$\sigma_r = \rho[2\mu A + C + (1 - 2\mu)F]$	$\sigma_r = \rho[A + C]$
Tangential horizontal stress	$\sigma_t = \rho[2\mu A - D + (1 - 2\mu)E]$	$\sigma_t = \rho[A - D]$
Vertical radial shear stress	$\tau_{rz} = \tau_{rz} = \rho G$	(same)
Vertical strain	$\epsilon_z = \frac{\rho(1 + \mu)}{E_1} [(1 - 2\mu)A + B]$	$\epsilon_z = \frac{1.5\rho}{E_1} B$
Radial horizontal strain	$\epsilon_r = \frac{\rho(1 + \mu)}{E_1} [(1 - 2\mu)F + C]$	$\epsilon_r = \frac{1.5\rho}{E_1} C$
Tangential horizontal strain	$\epsilon_t = \frac{\rho(1 + \mu)}{E_1} [(1 - 2\mu)E - D]$	$\epsilon_t = -\frac{1.5\rho}{E_1} D$
Vertical deflection	$\Delta_z = \frac{\rho(1 + \mu)a}{E_1} \left[\frac{z}{a} A + (1 - \mu)H \right]$	$\Delta_z = \frac{1.5\rho a}{E_1} \left(\frac{z}{a} A + \frac{H}{2} \right)$
Bulk stress	$\theta = \sigma_z + \sigma_r + \sigma_t$	
Bulk strain	$\epsilon_\theta = \epsilon_z + \epsilon_r + \epsilon_t$	
Vertical tangential shear stress	$\tau_{zt} = \tau_{tz} = 0 \therefore \{\sigma_r, \epsilon_t\}$ is principal stress (strain)	
Principal stresses	$\sigma_{1,2} = \frac{(\sigma_z + \sigma_r) \pm \sqrt{(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (2\tau_{rz})^2}}{2}$	
Maximum shear stress	$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	

Untuk menganalisa tegangan (*stress*), regangan (*strain*) dan defleksi digunakan persamaan Boussinesq dengan asumsi lapisan bersifat homogen, isotropik.

$$\sigma_z = k \frac{P}{z^2} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$k = \frac{3}{2\pi} \frac{1}{[1+(r/z)^2]^{5/2}} \dots \dots \dots (2.10)$$

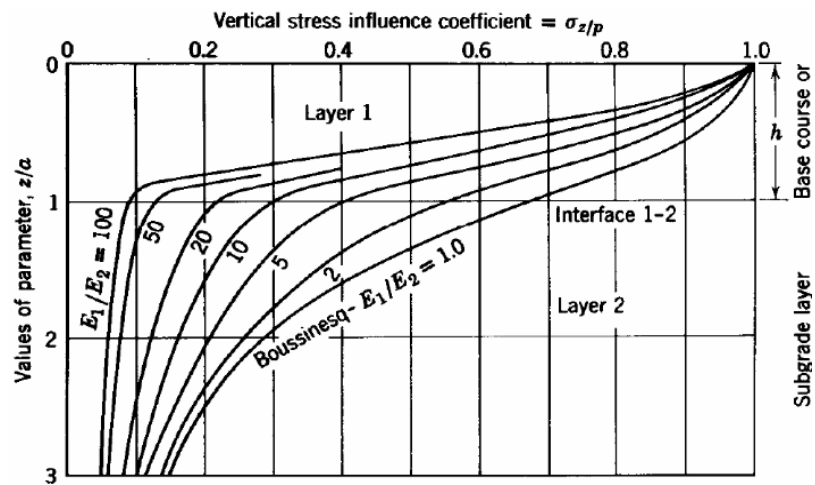
b. Sistem Dua Lapis



Gambar 2.9 Sistem Dua Lapis

Dalam pemecahan masalah dua lapis, beberapa asumsi dibuat batas dan kondisi sifat bahan, yaitu homogen, isotropik dan elastik. Lapisan permukaan diasumsikan tidak terbatas tetapi kedalaman lapisan terbatas. Sedangkan lapisan bawahnya tidak terbatas baik arah horisontal maupun vertikal.

Nilai tegangan dan defleksi didapat dari perbandingan modulus elastisitas setiap lapisan E_1 / E_2 .



Gambar 2.10 Distribusi Tegangan Vertikal Sistem Dua Lapis

c. Sistem Tiga Lapis

Tegangan – tegangan yang terjadi di setiap lapis pada axis simetri system tiga lapis dapat dilihat pada gambar 2.11. Tegangan – tegangan yang terjadi meliputi:

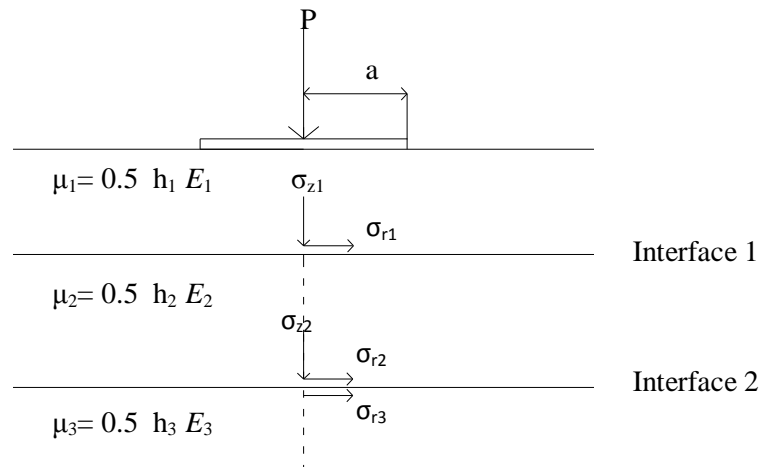
σ_{z1} : tegangan vertikal interface 1

σ_{z2} : tegangan vertikal interface 2

σ_{r1} : tegangan horisontal pada lapisan 1 bagian bawah

σ_{r2} : tegangan horisontal pada lapisan 2 bagian bawah

σ_{r3} : tegangan horisontal pada lapisan 3 bagian atas



Gambar 2.11 Tegangan pada Sistem Tiga Lapis

Untuk menghitung besarnya nilai tegangan vertikal diperlukan grafik yang terdapat pada lampiran sedangkan untuk menghitung besarnya nilai tegangan horisontal diperlukan tabel tegangan faktor terdapat pada lampiran. Grafik dan tabel yang ada khusus dipakai untuk lapisan yang mempunyai nilai $\mu = 0.5$.

Dalam menghitung nilai tegangan, baik vertikal maupun horisontal pada grafik dan tabel di atas diperlukan nilai di bawah:

$$K_1 = \frac{E_1}{E_2} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$K_2 = \frac{E_2}{E_3} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$A = \frac{a}{h_2} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$H = \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dalam menentukan σ_{z1} dan σ_{z2} diperlukan grafik pada lampiran. Dari grafik tersebut didapat nilai faktor tegangan ($ZZ1$ atau $ZZ2$) yang didapatkan

dengan memasukan parameter di atas. Untuk perhitungan tegangan vertikal itu sendiri adalah:

$$\sigma_{z1} = p(ZZ1) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\sigma_{z2} = p(ZZ2) \dots\dots\dots (2.16)$$

Sedangkan untuk tegangan horisontal σ_{r1} , σ_{r2} , dan σ_{r3} dapat diperoleh dari lampiran. Pada lampiran tersebut didapatkan nilai $(ZZ1 - RR1)$, $(ZZ2 - RR2)$, $(ZZ3 - RR3)$, maka diperlukan rumus :

$$\sigma_{z1} - \sigma_{r1} = p(ZZ1 - RR1) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\sigma_{z2} - \sigma_{r2} = p(ZZ2 - RR2) \dots\dots\dots (2.18)$$

Untuk menghitung regangan tarik horizontal dai bawah lapis permukaan menggunakan rumus:

$$\epsilon_{r1} = \frac{1}{2E_1} (\sigma_{r1} - \sigma_{z1}) \dots\dots\dots (2.19)$$

2.6 Permodelan Lapis Perkerasan Jalan

Sistem lapis banyak atau model lapisan elastis dapat menghitung tekanan dan regangan pada suatu titik dalam suatu struktur perkerasan. Model ini berasumsi bahwa setiap lapis perkerasan memiliki sifat-sifat seperti homogen, isotropis dan linear elastik yang berarti akan kembali ke bentuk aslinya ketika beban dipindahkan.

Dalam permodelan lapis perkerasan jalan dengan model lapisan elastis ini diperlukan data input untuk mengetahui tegangan dan regangan pada struktur perkerasan dan respon terhadap beban. Parameter – parameter yang digunakan adalah:

a. Parameter setiap lapis

- Modulus Elastisitas

Hampir semua bahan adalah elastis, artinya dapat kembali ke bentuk aslinya setelah diregangkan atau ditekan. Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda. Modulus elastisitas biasa disebut juga Modulus Young dan dilambangkan dengan E.

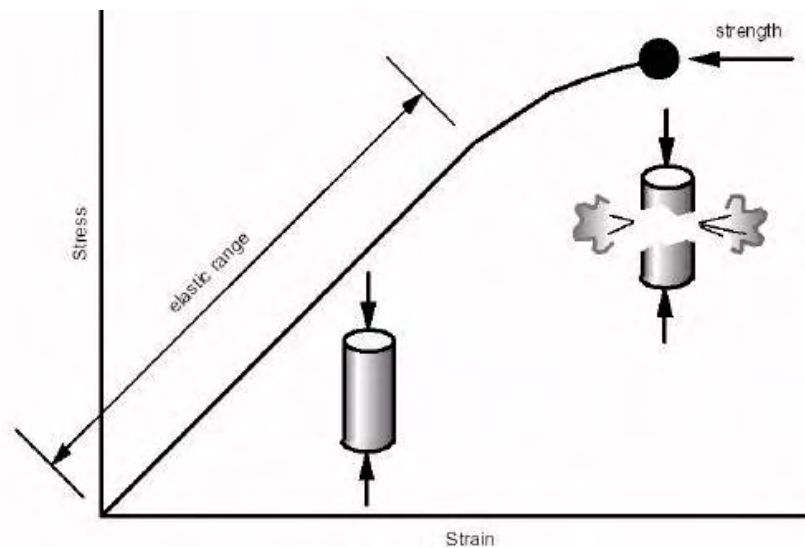
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2. 20)$$

E = Modulus Elastisitas ; Psi atau kPa

σ = Tegangan ; kPa

ε = Regangan

Modulus elastisitas untuk suatu benda mempunyai batas regangan dan tegangan elastisitasnya. Grafik tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 2.12 batas elastisitas suatu bahan bukan sama dengan kekuatan bahan tersebut menanggung tegangan atau regangan, melainkan suatu ukuran dari seberapa baik suatu bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya.



Gambar 2.12 Modulus Elastisitas

Tabel 2.12 Nilai – Nilai Elastisitas

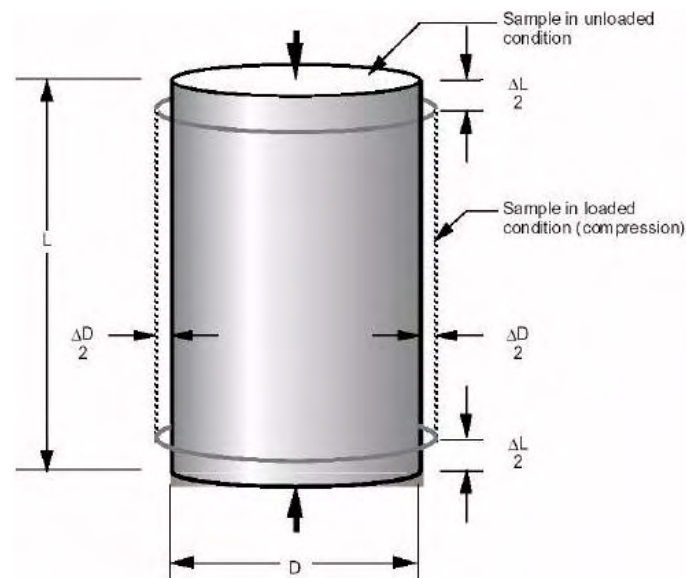
Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	kPa
Permata	170000000	120000000
Baja	3000000	21000000
Aluminium	1000000	700000
Kayu	100000 – 200000	700000 – 1400000
Batu	2000 – 4000	14000 – 28000
Tanah	5000 – 20000	35000 – 140000
Karet	1000	7000

Tabel 2.13 Nilai Elastisitas Tipikal

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	kPa
Cement treated granular base	1000000 – 2000000	7000000 – 14000000
Cement aggregate mixtures	500000 – 1000000	3500000 – 7000000
Asphalt treated base	70000 – 450000	490000 – 3000000
Asphalt concrete	20000 – 2000000	140000 – 14000000
Bituminous stabilized mixtures	40000 – 300000	280000 – 2100000
Lime stabilized	20000 – 70000	140000 – 490000
Unbound granular materials	15000 – 45000	105000 – 315000
Fine grained or natural subgrade material	3000 – 40000	21000 - 280000

1 Psi = 6.8948 kPa

- Poisson Ratio



Gambar 2.13 Poisson Ratio

Salah satu parameter penting yang digunakan dalam analisa elastis dari sistem perkerasan jalan adalah poisson ratio. Poisson ratio merupakan perbandingan poisson yang digambarkan sebagai rasio garis melintang sampai regangan bujur dari satu spesimen yang dibebani. Perbandingan

rasio dapat berubah – ubah pada awalnya 0 sampai sekitar 0,5 (artinya tidak ada volume yang berubah setelah dibebani).

Tabel 2.14 Nilai Poisson Ratio

Material	Poisson ratio
Baja	0.25 – 0.3
Alumunium	0.33
PCC	0.1 – 0.2
HMA / ATB	0.15 – 0.45
Cement stab. base	0.15 – 0.3
Granular base / subbase	0.3 – 0.4
Subgrade soil	0.4 – 0.5

b. Ketebalan setiap lapis perkerasan

Ketebalan setiap lapis perkerasan diperlukan dalam teori sistem lapis banyak. Ketebalan setiap lapis dalam satuan mm atau inch.

c. Kondisi Beban

Data ini terdiri dari data beban roda, P (KN/Lbs), tekanan ban, q (Kpa/Psi). Nilai P dipengaruhi oleh barang yang diangkut oleh kendaraan. Selanjutnya ada nilai jari-jari bidang kontak, a (mm/inch) antara roda bus dan permukaan perkerasan yang dianggap berbentuk lingkaran.

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi \times q}} \dots\dots\dots (2. 21)$$

a = jari-jari bidang kontak

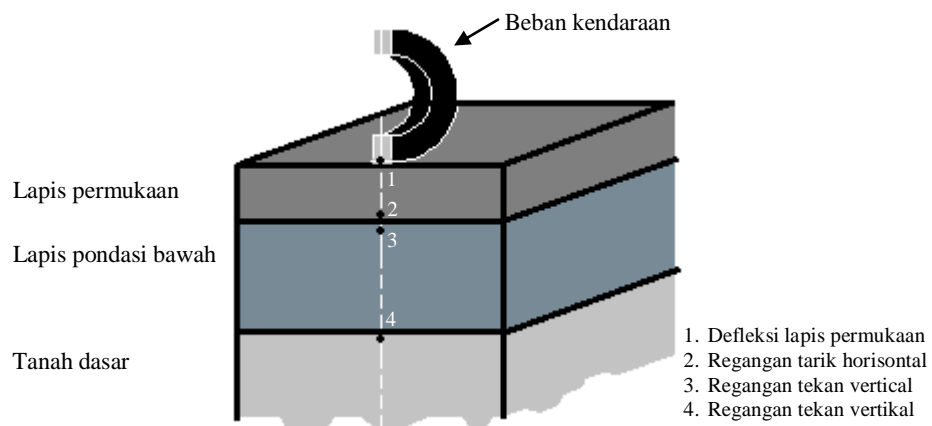
P = beban kendaraan

q = tekanan beban

Nilai yang akan dihasilkan dari permodelan lapis perkerasan dengan sistem lapis banyak adalah nilai tegangan, regangan dan lendutan. Dengan menggunakan program KENPAVE akan mempermudah perhitungan nilai tegangan, regangan dan lendutan di berbagai titik pada struktur perkerasan. Namun ada beberapa titik atau lokasi penting yang biasa digunakan dalam analisa perkerasan.

Tabel 2.15 Lokasi Analisa Struktur Perkerasan

Lokasi	Respon	Analisa Struktur Perkerasan
Permukaan perkerasan	Defleksi	Digunakan dalam desain lapis tambah
Bawah lapis permukaan	Regangan tarik horisontal	Digunakan untuk memprediksi retak fatik pada lapis permukaan
Bagian atas tanah dasar / bawah lapis pondasi bawah	Regangan tekan vertikal	Digunakan untuk memprediksi kegagalan rutting yang terjadi



Gambar 2.14 Lokasi Analisa Struktur Perkerasan

2.7 Analisa Kerusakan Perkerasan

Analisa kerusakan perkerasan yang akan dijelaskan disini adalah retak fatik (*fatigue cracking*) dan rutting. Kerusakan perkerasan disebabkan oleh beban kendaraan. Jenis kerusakan retak fatik dilihat berdasarkan nilai regangan tarik 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 di bawah lapis pondasi bawah.

Dari nilai kedua jenis kerusakan struktur tersebut dapat diketahui jumlah repetisi beban (N_f) dapat diprediksi berdasarkan nilai regangan tarik horizontal bagian bawah lapis permukaan aspal dan nilai regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah atau di atas tanah dasar. Ada beberapa persamaan yang telah dikembangkan untuk memprediksi jumlah repetisi beban ini, antara lain persamaan dari The Asphalt Institute (Asphalt Institute, 1982) dan persamaan yang dirumuskan oleh Finn et al (1977).

a. The Asphalt Institute (1982)

- Retak fatik

Persamaan untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan adalah sebagai berikut:

$$N_f = 0.0796(\epsilon_t)^{-3.291}(E)^{-0.854} \dots\dots\dots (2. 22)$$

N_f = jumlah repetisi beban

ϵ_t = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan

E_{AC} = modulus elastis lapis permukaan

- Rutting

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

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4.477} \dots\dots\dots (2.23)$$

N_d = jumlah repetisi beban

ϵ_c = regangan tekan pada bagian bawah lapis pondasi bawah

b. Finn et al (1977)

- Retak fatik

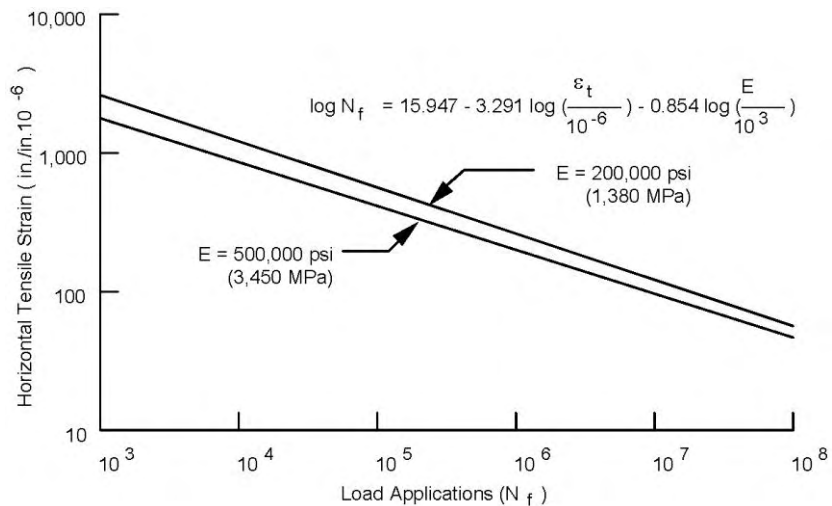
Persamaan untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan adalah sebagai berikut:

$$\log N_f = 15.947 - 3.291 \log \left(\frac{\epsilon_t}{10^{-6}} \right) - 0.854 \log \left(\frac{E}{10^3} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

N_f = jumlah repetisi beban

ϵ_t = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan

E = modulus elastis lapis permukaan



Gambar 2.15 Kurva Retak Fatik, Finn et al (1977)

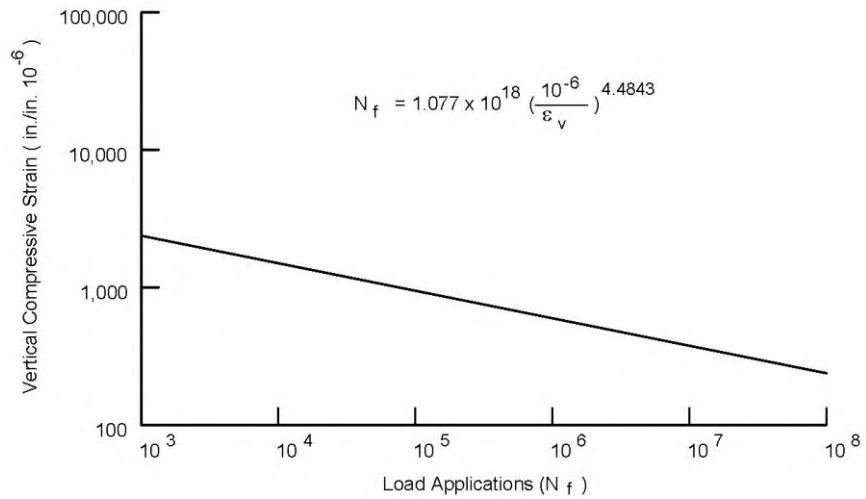
- Rutting

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

$$N_d = 1.077 \times 10^{18} \left(\frac{10^{-6}}{\epsilon_c} \right)^{4.4843} \dots\dots\dots (2.23)$$

N_d = jumlah repetisi beban

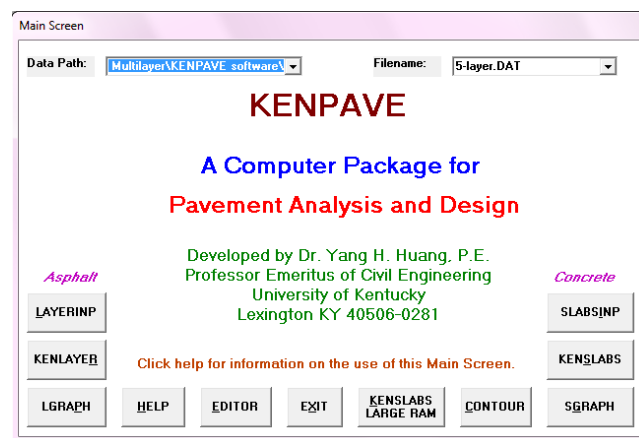
ϵ_c = regangan tekan pada bagian bawah lapis pondasi bawah



Gambar 2.16 Kurva Rutting, Finn et al (1977)

2.8 Program KENPAVE

Program KENPAVE merupakan software desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E. Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky. Software ini ditulis dalam bahasa pemrograman Visual Basic dan dapat dijalankan dengan versi Windows 95 atau di atasnya.



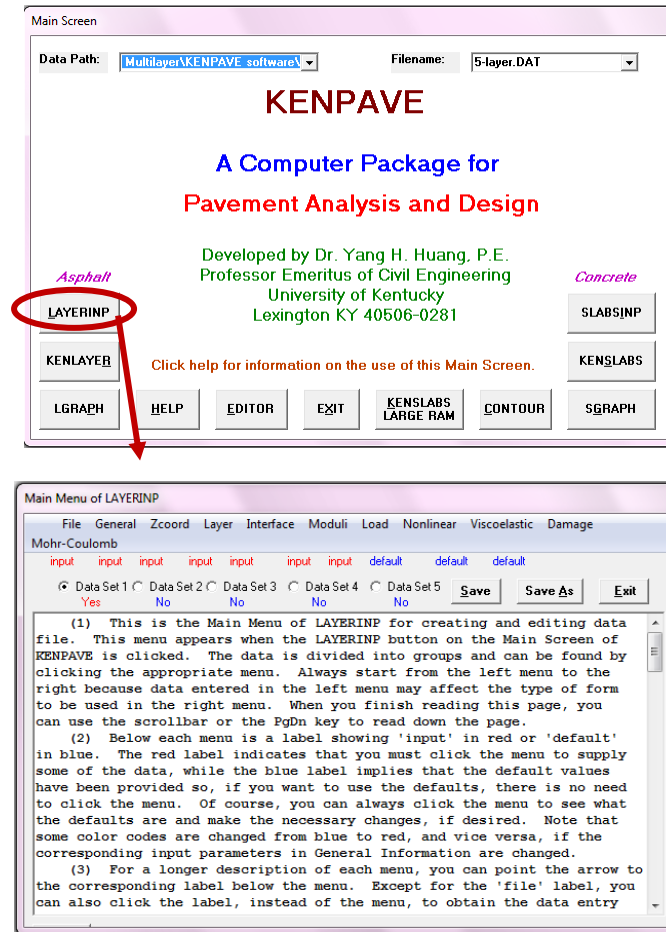
Gambar 2.17 Tampilan Awal KENPAVE

Software ini terbagi dalam empat program, yaitu LAYERINP, KENLAYER, SLABINP, KENSLAB. LAYERINP dan KENLAYER merupakan program analisis untuk perkerasan lentur yang berdasarkan pada teori sistem lapis banyak, sedangkan SLABINP dan KENSLAB merupakan program analisis untuk perkerasan kaku yang berdasarkan metode elemen hingga.

2.8.1 Program KENLAYER

Program komputer KENLAYER ini hanya dapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur tanpa sambungan dan lapisan kaku. Dasar dari program KENLAYER ini adalah teori sistem lapis banyak. KENLAYER dapat diaplikasikan pada perilaku tiap lapis yang berbeda, seperti linear, non linear

atau viskoelastis. Dan juga empat jenis sumbu roda, yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu triple.



Gambar 2.18 Tampilan Layar LAYERINP

Dari menu – menu yang ada dalam LAYERINP, ada beberapa menu yang *default* (tidak perlu diinput). Berikut ini adalah penjelasan dari menu – menu yang ada di dalam LAYERINP, yaitu:

a. File

Menu ini untuk memilih file yang akan diinput. New untuk file baru dan Old untuk file yang sudah ada.

b. General

General Information of LAYERINP

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)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0.001
Number of layers	(NL)	3
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	0
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0-if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	1
Number of layers for top compression	(NLTC)	1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	0

(1) This form appears when the 'General' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. To read this textbox more easily with more lines in sight, you may want to resize this form by moving it up and dragging the bottom boundary down. If you want to use the PgDn key to scroll down the page, you must click this textbox first to make it active, as indicated by the blinking cursor. When creating a new file, this form must be entered first because some default values to be used in the other forms vary with the system of units, so they are generated after NUNIT is specified and this form activated. These default values are generated only once, i.e.

Gambar 2.19 Tampilan Menu *General*

Dalam menu General terdapat beberapa menu yang harus diinput:

- Title :Judul dari analisa.
- MATL :Tipe dari material. (1) jika seluruh lapis merupakan linear elastis, (2) jika lapisan merupakan non linear elastis, (3) jika lapisan merupakan viskoelastis, (4) jika lapisan merupakan campuran dari ketiga lapisan di atas.
- NDAMA :Analisa kerusakan. (0) jika tidak ada kerusakan analisis, (1) terdapat kerusakan analisis, ada hasil printout, (2) terdapat kerusakan analisis, ada hasil printout lebih detail.
- DEL :Akurasi hasil analisa. Standar akurasi 0.001.
- NL :Jumlah layer / lapis, maksimum 19 lapisan

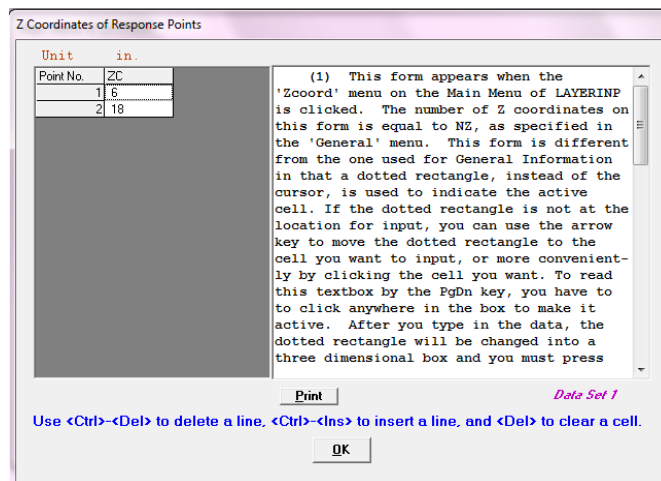
- NZ :Letak koordinat arah Z yang akan dianalisa. Jika NDAMA = 1 atau 2, maka NZ = 0 karena program akan menganalisa di koordinat yang mengalami analisa kerusakan.
- NSTD : (1) untuk vertikal *displacement*, (5) untuk vertikal displacement dan nilai tegangan, (9) untuk vertikal displacement, nilai tegangan dan nilai regangan.
- NBOND : (1) jika antar semua lapis saling berhubungan / terikat, (2) jika tiap antar lapisan tidak terikat atau gaya geser diabaikan.
- NUNIT :Satuan yang digunakan. (0) satuan English, (1) satuan SI.

Tabel 2.16 Satuan English dan SI

Satuan	Satuan English	Satuan SI
Panjang	inch	cm
Tekanan	Psi	kPa
Modulus	Psi	kPa

c. Zcoord

Jumlah poin yang ada dalam menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu General. ZC adalah jarak vertikal atau jarak dalam arah Z dimana jarak tersebut yang akan dianalisa oleh program. Contoh seperti dalam gambar, hal itu berarti yang akan dianalisa oleh program adalah pada kedalaman 6 inch dan 18 inch.



Z Coordinates of Response Points

Unit in.

Point No.	ZC
1	6
2	18

(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 at 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. To read this textbox by the PgDn key, you have to click anywhere in the box to make it active. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press

Print Data Set 1

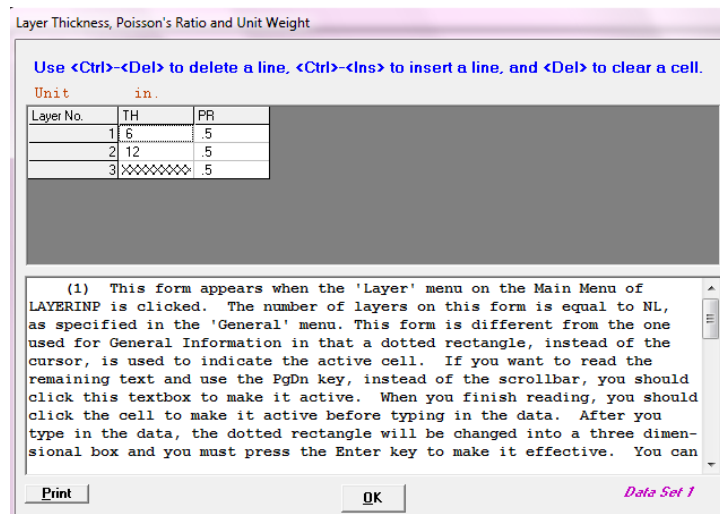
Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Gambar 2.20 Tampilan Layar *Zcoord*

d. Layer

Jumlah layer yang ada dalam menu ini sama dengan jumlah NL pada menu General. TH adalah tebal tiap layer / lapis. PR adalah Poisson's Ratio tiap layer.



Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight

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

Unit in.

Layer No.	TH	PR
1	6	.5
2	12	.5
3	XXXXXXXXXX	.5

(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 you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you should click this textbox to make it active. When you finish reading, you should click the cell to make it active before typing in the data. 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

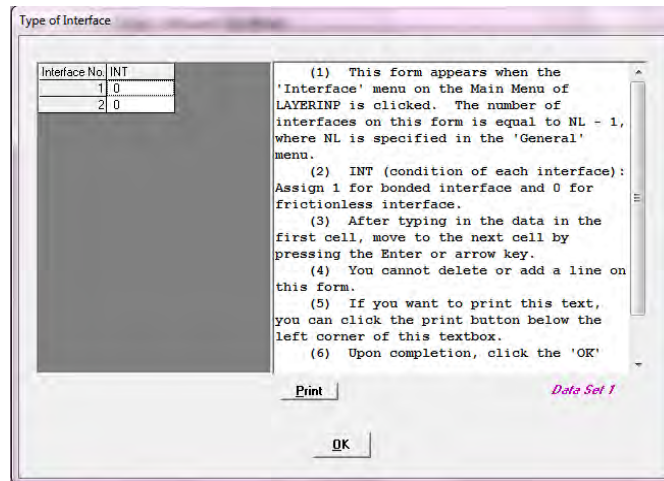
Print Data Set 1

OK

Gambar 2.21 Tampilan Layar *Layer*

e. Interface

Menu interface ini berkaitan dengan NBOND yang ada dalam menu General. Jika NBOND = 1, maka menu interface akan default. Jika NBOND = 2, maka menu interface akan keluar seperti pada gambar 2.20



Gambar 2.22 Tampilan Layar *Interface*

f. Moduli

Jumlah period dalam menu ini sama dengan jumlah NPY dalam menu General. Maksimal period dalam menu ini adalah 12. E adalah modulus elastisitas tiap layer.

g. Load

Jumlah unit yang ada dalam menu ini sama dengan jumlah NLG 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. Kolom NR dan NPT

Load Information

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit	in.	psi	in.	in.		
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	0	4.8	120			1

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

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8, p. 104, for axle arrangements.

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

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

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

(5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y

Print OK Data Set 1

Gambar 2.23 Tampilan Layar Load

- h. Parameter lain seperti Nonlinear, Viscoelastic, Damage, Mohr-Coulomb akan mengikuti nilai dengan sendirinya sesuai dengan input nilai yang dimasukkan sebelum data ini.