

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. Perkerasan Lentur**

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1987) yang dimaksud dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir lapisan dibawahnya. Perkerasan ini umumnya terdiri atas 3 (tiga) lapis atau lebih yaitu : lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah yang terletak di atas tanah dasar (Suprpto, 2004). Pada struktur perkerasan jalan, gaya yang bekerja di atasnya yaitu gaya vertikal akibat muatan kendaraan, gaya horizontal akibat gaya rem kendaraan dan getaran-getaran akibat pukulan roda kendaraan (Sukirman, 1999).

Kapasitas dukung perkerasan lentur murni, bergantung pada karakteristik distribusi beban dari sistem lapisan pembentuknya. Perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan dengan material yang berkualitas tinggi diletakkan di dekat permukaan. Jadi, kekuatan perkerasan lentur adalah lebih dihasilkan dari kerjasama lapisan yang tebal dalam menyebarkan beban ke tanah dasar (*subgrade*). Lapis perkerasan lentur terdiri dari:

##### 1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan merupakan lapisan yang berfungsi untuk memberikan kenyamanan dan permukaan yang halus dan rata. Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam lapis permukaan yaitu :

- a. Memiliki kekesatan atau ketahanan terhadap penggelinciran.
- b. Mampu menahan beban kendaraan dan deformasi permanen.
- c. Dapat mencegah masuknya air ke dalam struktur perkerasan.

Hal yang harus dilakukan pada lapisan permukaan yaitu melakukan campuran yang harus memiliki sifat : stabilitas, kelenturan, awet, tahan terhadap penggelinciran, kedap air, mudah dikerjakan dan tahan terhadap kelelahan (*fatigue*). Karakteristik permukaan jalan akan lebih ditentukan

terutama oleh jumlah kendaraan dan kondisi iklim, daripada oleh beban maksimum yang bekerja di permukaan perkerasan (RRL, 1968).

## 2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas terletak di antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah, berfungsi sebagai berikut :

- a. Menambah kekakuan sistem perkerasan dan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*).
- b. Menyebarkan tekanan akibat beban lalu lintas agar tanah dasar (*subgrade*) tidak mengalami tekanan secara berlebihan.
- c. Sebagai dasar perletakan lapis permukaan.

Bahan untuk lapis pondasi atas (*base course*) terdiri dari material pilihan, yaitu batu pecah yang stabil (awet), tahan terhadap abrasi akibat beban yang berulang.

## 3. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan pondasi bawah terdiri dari material pilihan, seperti kerikil alam yang stabil (awet), hanya material ini mungkin tidak sepenuhnya memenuhi syarat karakteristik seperti yang disyaratkan dalam lapisan pondasi atas (*base course*). Adapun maksud penggunaan lapisan pondasi bawah adalah untuk membentuk lapisan perkerasan yang relatif cukup tebal (untuk maksud penyebaran beban), tapi dengan biaya yang relatif lebih murah. Dengan demikian, kualitas lapisan pondasi bawah dapat sangat bervariasi, sejauh persyaratan tebal rancangan terpenuhi. Umumnya, penentuan persyaratan kepadatan dan kadar air ditentukan dari hasil-hasil uji laboratorium atau lapangan. Fungsi dari lapisan pondasi bawah adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan.

- b. Untuk efisiensi penggunaan material, agar lapisan-lapisan yang lain dapat dikurangi tebalnya, sehingga menghemat biaya.
- c. Untuk mencegah material tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi atas.
- d. Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan dan pembangunan berjalan lancar.

Lapisan pondasi bawah yang diletakkan di atas tanah dasar yang lunak, berguna untuk menutup tanah dasar tersebut agar mempunyai kapasitas dukung yang cukup. Dengan cara ini alat berat dapat bekerja dengan baik saat pelaksanaan.

#### 4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar adalah tanah pondasi yang secara langsung mendukung beban akibat beban lalu lintas dari suatu perkerasan. Tanah dasar ini merupakan lapisan tanah yang dipadatkan dan berfungsi sebagai pondasi dari sistem perkerasan (Hardiyatmo, 2015).

Tanah dasar sebagai pondasi jalan, terdiri dari material dalam galian atau pada bagian atas timbunan dengan ketebalan sekitar 60-90 cm di bawah dasar struktur perkerasan. Karena tanah dasar merupakan bagian dari timbunan di mana pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*) atau perkerasan berada, maka integritas dari struktur perkerasan bergantung pada stabilitas struktur tanah dasar. Pada prinsipnya, tanah dasar harus tetap dalam kondisi stabil pada kadar air konstan. Untuk itu, tanah dasar harus dipadatkan dengan baik, agar kemungkinan terjadinya perubahan volume atau terjadinya penurunan tak seragam akibat beban kendaraan dapat diperkecil. Pematatan yang baik dibutuhkan pada pembangunan timbunan untuk badan jalan. Selain itu, drainase yang baik juga dibutuhkan untuk menghindari kadar air yang terlalu tinggi dalam tanah galian.

Dalam perancangan, pemahaman pada sifat-sifat tanah dasar sangat penting, karena mempengaruhi kelakuan perkerasan. Tebal dari suatu perkerasan bergantung pada kekuatan tanah dasar. Perkerasan jalan adalah

permukaan pelindung bagi tanah dasar dan berfungsi untuk mendistribusikan beban roda kendaraan ke tanah dasar. Tanpa dukungan yang cukup dari tanah dasar, perkerasan jalan akan mudah mengalami kerusakan. Dukungan tanah dasar pada perkerasan ini harus terjaga dari perubahan iklim dan kondisi lalu lintas di mana tanah dasar dipengaruhi.

Lapisan-lapisan perkerasan berfungsi sebagai penyebar beban ke tanah dasar. Semakin tebal perkerasan, semakin kecil beban lalu lintas yang harus didukung tanah dasar. Karena itu, bila kapasitas dukung tanah dasar kecil, maka dibutuhkan perkerasan yang lebih tebal.

SPL didesain, dibuat dan selanjutnya digunakan untuk menanggung beban lalu lintas dalam jangka waktu yang direncanakan. Setelah selesai dibuat SPL dapat dianggap baik jika memenuhi semua persyaratan desain. Selanjutnya perkerasan akan mengalami penurunan kualitas, yaitu respon dan performa yang terus berkurang hingga batas akhir waktu pelayanannya (Kosasih, 2003).

## **B. Karakteristik Lapis Permukaan Jalan**

Lapis perkerasan jalan yang baik, nyaman, dan tahan lama untuk melayani lalu lintas kendaraan di atasnya harus memenuhi karakteristik tertentu yang tidak lepas dari sifat bahan penyusun dari perilaku aspal pada campuran lapis perkerasan (Suprpto, 2007). Menurut *Asphalt Institute MS-22 (2001)* perancangan campuran aspal pada lapis perkerasan harus memenuhi sifat – sifat sebagai berikut :

### **1. Stabilitas (*Stability*)**

Stabilitas perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan dalam melawan deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen akibat beban lalu lintas. Pada beban lalu lintas lapisan perkerasan tidak mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*), alur (*rutting*), maupun mengalami *bleeding*.

## 2. Durabilitas (*Durability*)

Durabilitas adalah keawetan atau daya tahan dari lapisan perkerasan terhadap keausan (*disintegrasi*) dari beban lalu lintas dan pengaruh cuaca untuk waktu lama, tanpa mengalami pelepasan aspal atau butiran dalam jumlah banyak. Faktor-faktor yang dapat meningkatkan nilai durabilitas adalah kadar aspal yang tinggi, gradasi agregat yang rapat, pemadatan yang baik, campuran batuan dan aspal yang rapat air, serta kerapatan batuan penyusun lapis perkerasan tersebut.

## 3. Workabilitas (*Workability*)

Workabilitas adalah kemudahan pelaksanaan suatu campuran di dalam pencampuran, penghamparan dan pemadatan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi persyaratan.

## 4. Kekesatan (*Skid Resistance*)

Kekesatan adalah tahanan gesek yang diberikan oleh permukaan jalan agar kendaraan tidak mengalami *skidding* (tergelincir), baik pada kondisi permukaan jalan basah atau permukaan jalan yang kering, sehingga menjamin keselamatan pengguna jalan. Untuk meningkatkan kekesatan, maka kadar aspal harus tepat, serta permukaan agregat harus kasar dan persen agregat kasar cukup.

## 5. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

*Fatigue Resistance* adalah ketahanan campuran beraspal dalam menerima beban berulang dari beban lalu lintas sehingga dapat menahan lendutan dan campuran tidak mudah retak-retak.

## 6. Fleksibilitas (*Flexibility*)

Fleksibilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk mengakomodasi lendutan permanen dalam batas tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk mendapatkan kelenturan yang tinggi, maka agregat yang digunakan bergradasi terbuka atau senjang. Pada aspal yang digunakan harus lunak (penetrasi tinggi), atau digunakan kadar aspal relatif tinggi dalam batas-batas masih belum terjadi kegemukan (*bleeding*).

## 7. Kedap Air (*Impermeability*)

*Impermeability* adalah kemampuan campuran beraspal untuk menahan rembesan air dan udara ke dalam lapis perkerasan. Air dan udara dapat mempercepat proses penuaan aspal. Selain itu, air juga dapat menyebabkan pengelupasan lapis film aspal yang berada di permukaan agregat.

### C. Jenis Kerusakan pada Perkerasan Lentur

Jenis-jenis kerusakan perkerasan lentur umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

#### 1. Deformasi

Deformasi adalah perubahan permukaan jalan dari profil aslinya (sesudah pembangunan). Deformasi merupakan kerusakan penting dari kondisi perkerasan, karena mempengaruhi kualitas kenyamanan lalu lintas (kekasaran, genangan air yang mengurangi kekesatan permukaan), dan dapat mencerminkan kerusakan struktur perkerasan. Mengacu pada AUSTROADS (1987), beberapa tipe deformasi perkerasan lentur adalah :

- a. Bergelombang (*corrugation*) adalah kerusakan akibat terjadinya deformasi yang menghasilkan gelombang-gelombang melintang atau tegak lurus arah perkerasan aspal.
- b. Alur (*rutting*) adalah deformasi permukaan perkerasan aspal dalam bentuk turunnya perkerasan ke arah memanjang jalan pada lintasan roda kendaraan.
- c. Ambles (*depression*) adalah penurunan perkerasan yang terjadi pada area terbatas yang mungkin dapat diikuti dengan retakan.
- d. Sungkur (*shoving*) adalah perpindahan permanen secara lokal dan memanjang dari permukaan perkerasan yang disebabkan oleh beban lalu-lintas.

- e. Mengembang (*swell*) adalah gerakan ke atas lokal dari perkerasan akibat pengembangan (atau pembekuan air) dari tanah dasar atau dari bagian struktur perkerasan.
- f. Benjol dan turun (*bump and sags*) adalah gerakan atau perpindahan ke atas bersifat lokal dan kecil, dari permukaan perkerasan aspal sedangkan penurunan yang juga berukuran kecil, merupakan gerakan ke bawah dari permukaan perkerasan (Shahin, 1994).

## 2. Retak (*Crack*)

Retak dapat terjadi dalam berbagai bentuk. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor dan melibatkan mekanisme yang kompleks. Secara teoritis, retak dapat terjadi bila tegangan tarik yang terjadi pada lapisan aspal melampaui tegangan tarik maksimum yang dapat ditahan oleh perkerasan tersebut. Misalnya, retak oleh kelelahan (*fatigue*) terjadi akibat tegangan tarik berulang-ulang akibat beban lalu lintas. Perkerasan yang kurang kuat tidak mempunyai tahanan terhadap tegangan tarik yang tinggi. Demikian pula, jika campuran aspal menghasilkan material yang kuat, tapi ternyata lapisan yang berada di bawahnya lemah, maka campuran juga akan mengalami retak tarik.

## 3. Kerusakan di Pinggir Perkerasan.

Kerusakan di pinggir perkerasan adalah retak yang terjadi di sepanjang pertemuan antara permukaan perkerasan aspal dan bahu jalan, lebih-lebih bila bahu jalan tidak ditutup (*unsealed*). Kerusakan ini terjadi secara lokal atau bahkan bisa memanjang di sepanjang jalan, dan sering terjadi di salah satu bagian jalan atau sudut.

## 4. Kerusakan Tekstur Permukaan.

Kerusakan tekstur permukaan merupakan kehilangan material perkerasan secara berangsur-angsur dari lapisan permukaan ke arah bawah. Perkerasan seakan-akan pecah menjadi bagian-bagian kecil, seperti pengelupasan akibat terbakar sinar matahari, atau mempunyai garis-garis goresan yang sejajar. Butiran lepas dapat terjadi di atas seluruh permukaan, dengan lokasi terburuk di jalur lalu lintas. Kerusakan aspal

akibat disintegrasi ini tidak menunjukkan penurunan kualitas struktur perkerasan, hanya mempunyai pengaruh terhadap gangguan kenyamanan berkendara. Beberapa kerusakan yang tidak diperbaiki, dapat mengakibatkan berkurangnya kualitas struktur perkerasan.

5. Lubang (*Potholes*)

Lubang adalah lekukan permukaan perkerasan akibat hilangnya lapisan aus dan material lapisan pondasi. Kerusakan berbentuk lubang kecil biasanya berdiameter kurang dari 0,9 m dan berbentuk mangkuk yang dapat berhubungan atau tidak berhubungan dengan kerusakan permukaan lainnya. Lubang bisa terjadi akibat galian utilitas atau tambalan di area perkerasan yang telah ada. Lubang umumnya mempunyai tepi yang tajam dan mendekati vertikal. Lubang ini terjadi ketika beban lalu lintas menggerus bagian-bagian kecil dari permukaan perkerasan, sehingga air bisa masuk. Disintegrasi terjadi karena melemahnya lapis pondasi atau mutu campuran lapisan permukaan yang kurang baik. Air yang masuk ke dalam lubang dan lapisan pondasi atas ini mempercepat kerusakan jalan.

6. Tambalan dan Tambalan Galian Utilitas (*Patching and Utility Cut Patching*)

Tambalan (*patch*) adalah penutupan bagian perkerasan yang mengalami perbaikan. Kerusakan tambalan dapat diikuti oleh hilangnya kenyamanan kendaraan (kegagalan fungsional) atau rusaknya struktur perkerasan. Rusaknya tambalan menimbulkan distorsi, disintegrasi, retak atau terkelupas antara tambalan dan permukaan perkerasan asli. Kerusakan tambalan dapat terjadi karena permukaannya yang menonjol atau ambles terhadap permukaan perkerasan. Jika kerusakan terjadi pada tambalan, maka kerusakan tersebut belum tentu disebabkan oleh lapisan yang masih utuh.

7. Konsolidasi atau Gerakan Tanah Pondasi.

Penurunan konsolidasi tanah di bawah timbunan menyebabkan distorsi perkerasan. Perkerasan lentur yang dibangun di atas tanah gambut, akan memunculkan area yang ambles. Kegagalan urugan juga

menyebabkan retak yang berbentuk setengah lingkaran di permukaan perkerasan. Gerakan ini dapat dikenali, pertama kali dengan terbentuknya retakan di puncak dari massa yang akan longsor. Retak yang biasanya berbentuk setengah lingkaran, atau pola memanjang pada perkerasan yang berada di atas timbunan harus diselidiki kemungkinan adanya ketidakstabilan lereng. Gerakan akibat mampatnya lapisan tanah lunak, tidak dipengaruhi oleh tebal lapisan pondasi atas (*base course*) atau perkerasan. Gerakan ini ditandai dengan gerakan turun perlahan. Kerusakan semacam ini dapat diperbaiki dengan meletakkan lapisan perata, sehingga kualitas kerataan perkerasan dapat dikembalikan ke posisi semula.

#### **D. Klasifikasi Kendaraan dan Jalan**

##### **1. Klasifikasi Kendaraan**

Klasifikasi kendaraan menjadi beberapa golongan menurut Bina Marga antara lain.

###### **a. Menurut golongan kendaraan sebagai berikut :**

- 1) Golongan 1 (Misal : Sepeda motor)
- 2) Golongan 2 (Misal : mobil penumpang)
- 3) Golongan 3 (Misal : mini bus, angkot dan sebagainya)
- 4) Golongan 4 (Misal : mikro truk, *pick up* dan mobil hantaran)
- 5) Golongan 5a (Misal : bus kecil)
- 6) Golongan 5b (Misal : bus besar)
- 7) Golongan 6a (Truk 2 sumbu 4 roda)
- 8) Golongan 6b (Truk 2 sumbu 6 roda)
- 9) Golongan 7a truk 3 sumbu
- 10) Golongan 7b truk gandeng
- 11) Golongan 8 kendaraan tak bermotor.

###### **b. Menurut berat sumbu gandar sebagai berikut :**

- 1) Kendaraan Ringan
- 2) Kendaraan Menengah
- 3) Kendaraan Berat

## 2. Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan dikelompokkan berdasarkan fungsi dan kelas jalan oleh Bina Marga antara lain.

### a. Jalan menurut fungsinya :

- 1) Jalan Arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- 2) Jalan kolektor adalah jalan yang melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- 3) Jalan lokal adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

### b. Jalan menurut kelas jalan :

- 1) Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam Muatan Sumbu Terberat (MST) dalam satuan ton.
- 2) Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Klasifikasi menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat (Ton)
Arteri	I	> 10
	II	10
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	8

Sumber : RSNI Geometrik Jalan Perkotaan, 2004

### E. Metode Analisa Komponen dari Bina Marga 1987

Metode ini yang merupakan modifikasi dari metode AASHTO 1972 revisi 1981. Modifikasi ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi alam, lingkungan, sifat tanah dasar dan jenis lapisan perkerasan yang umum digunakan di Indonesia. Edisi terakhir dari metode ini dikeluarkan tahun 1987, yaitu dapat dibaca pada buku “Tata cara perencanaan perkerasan lentur jalan raya, dengan metode analisa komponen, SKBI-2.3.26.1987”. Parameter perencanaan tebal perkerasan lentur Metode Analisa Komponen antara lain :

1. Jumlah Lajur (n) dan koefisien distribusi kendaraan (C)

Jumlah lajur dan koefisien distribusi kendaraan untuk menghitung lalu lintas ekuivalen sesuai dengan petunjuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen (SKBI – 2.3.26.1987). Nilai koefisien dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berdasarkan jumlah lajur dan arah sesuai jenis kendaraannya.

**Tabel 3.2** Koefisien Distribusi Arah Kendaraan

Jumlah Lajur	Kendaraan ringan *)		Kendaraan berat **)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,60	0,50	0,70	0,50
3	0,40	0,40	0,50	0,475
4	-	0,30	-	0,5
5	-	0,25	-	0,425
6	-	0,20	-	0,4

Sumber : SKBI – 2.3.26. 1987

\* berat total < 5 Ton, misalnya : mobil penumpang, pick up, mobil hantaran

\*\* berat total  $\geq$  5 Ton, misalnya : bus, truck, traktor, semi triler, trailer

## 2. Angka ekuivalen (E) beban sumbu kendaraan

Angka ekuivalen dari suatu beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban standar sumbu tunggal 8,16 ton (18000 lb). Angka ekuivalen masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut **Persamaan 3.1** sampai **3.3** dan **Tabel 3.3**.

$$\text{Angka Ekuivalen sumbu Tunggal} = \left( \frac{\text{Beban Sumbu Tunggal (kg)}}{8160} \right)^4 \dots\dots(3.1)$$

$$\text{Angka Ekuivalen sumbu Double} = 0,086 \times \left( \frac{\text{Beban Sumbu Ganda (kg)}}{8160} \right)^4 \dots(3.2)$$

$$\text{Angka Ekuivalen sumbu Triple} = 0,053 \times \left( \frac{\text{Beban Sumbu Triple (kg)}}{8160} \right)^4 \dots(3.3)$$

**Tabel 3.3** Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Golongan Kendaraan		Angka Ekuivalen	
Kg	Lbs	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	3,3022	0,2840

Sumber : SKBI – 2.3.26.1987/SNI 03-1732-1989

**Tabel 3.3** Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan (Lanjutan)

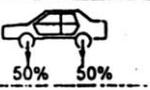
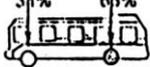
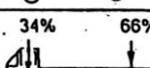
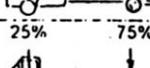
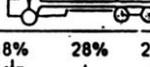
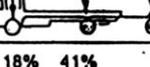
Golongan Kendaraan		Angka Ekivalen	
Kg	Lbs	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4148	0,9820
16000	35276	14,2712	1,2712

Sumber : SKBI – 2.3.26.1987/SNI 03-1732-1989

### 3. Konfigurasi beban sumbu kendaraan

Dalam menentukan konfigurasi beban sumbu kendaraan dapat dilihat **Tabel 3.4**.

**Tabel 3.4** Konfigurasi beban sumbu kendaraan

Tipe dan Konfigurasi Sumbu	Berat Kosong (ton)	Muatan Maksimum (ton)	Berat Total Maksimum (ton)	U 18 ESAL Kosong	U 18 ESAL Maksimum	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Roda Tunggal pada ujung sumbu</li> <li>● Roda ganda pada ujung sumbu</li> </ul>
1,1 HP	1,5	0,5	2	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2 L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,22 H 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

#### 4. Umur Rencana (UR)

Umur rencana perkerasan jalan adalah jumlah tahun dari saat jalan tersebut dibuka untuk lalu lintas kendaraan sampai diperlukan suatu perbaikan yang bersifat struktural (sampai diperlukan lapis tambahan atau *overlay*). Dalam menetapkan umur rencana suatu perkerasan jalan sangat ditentukan atas pertimbangan dari klasifikasi fungsi jalan, pola lalu lintas, dan perkembangan sosial ekonomi daerah tersebut. Pada perkerasan lentur jalan baru biasanya umur rencana diambil selama 20 tahun, sedangkan untuk peningkatan jalan diambil umur rencana 10 tahun.

#### 5. Faktor pertumbuhan lalu lintas (i)

Faktor pertumbuhan lalu lintas yang dinyatakan dalam persen per tahun menunjukkan pertambahan jumlah kendaraan yang memakai jalan dari tahun ke tahun. Adanya pertambahan jumlah lalu lintas disebabkan oleh beberapa faktor yaitu perkembangan daerah, kesejahteraan masyarakat dan kemampuan membeli kendaraan.

#### 6. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

- a. LHR setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana, yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing-masing arah pada jalan dengan median pada

**Persamaan 3.4.**

$$LHR_n = LHR_0 \times (1 + i)^{UR} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

i = Perkembangan Lalu Lintas

- b. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP), yang dihitung pada
- Persamaan 3.5.**

$$LEP = \sum LHR_j \times C_j \times E_j \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana :

C<sub>j</sub> = koefisien distribusi arah

$j$  = masing-masing jenis kendaraan

- c. Lintas ekuivalen akhir (LEA), yang dihitung pada **Persamaan 3.6.**

$$LEA = \sum LHR_j (1+i)^{UR} \times C_j \times E_j \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana :

$i$  = tingkat pertumbuhan lalu lintas

$j$  = masing-masing jenis kendaraan

UR = umur rencana

- d. Lintas ekuivalen tengah, yang dihitung pada **Persamaan 3.7.**

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2} \dots\dots\dots(3.7)$$

- e. Lintas ekuivalen rencana, yang dihitung pada **Persamaan 3.8.**

$$LER = LET \times FP \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana :

FP = Faktor Penyesuaian

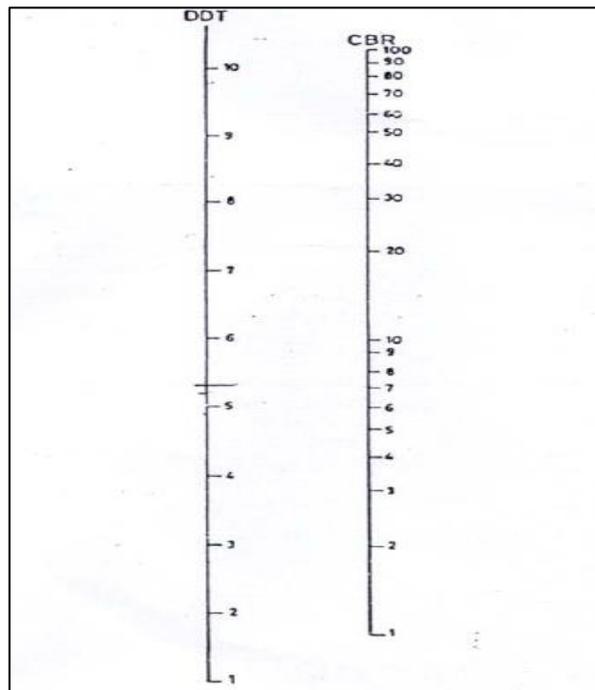
$$FP = \frac{UR}{10}$$

## 7. Daya dukung tanah dasar (DDT) dan *California Bearing Ratio* (CBR)

CBR merupakan perbandingan beban penetrasi pada suatu bahan dengan beban standar pada penetrasi dan kecepatan pembebanan yang sama.

Data CBR yang digunakan adalah harga-harga CBR dari pemeriksaan lapangan dan uji laboratorium. Dari data CBR ditentukan nilai CBR terendah, kemudian ditentukan harga CBR yang mewakili atau CBR segmen. Dalam menentukan CBR segmen dapat menggunakan secara grafis yaitu dengan cara sebagai berikut:

Dari nilai CBR segmen yang telah ditentukan dapat diperoleh nilai DDT dari grafik kolerasi DDT dan CBR, dimana grafik DDT dalam skala linier dan grafik CBR dalam skala logaritma. Hubungan tersebut digambarkan pada **Gambar 3.1** sebagai berikut :



Sumber : SKBI – 2.3.26. 1987

**Gambar 3.1** Korelasi antara DDT dan CBR

- a) Selain menggunakan grafik tersebut, nilai DDT dari suatu Harga CBR juga dapat ditentukan menggunakan **Persamaan 3.9**.

$$DDT = 1,6649 + 4,3592 \log (CBR) \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana hasil yang diperoleh dengan kedua cara tersebut relatif sama. Pada perencanaan tebal perkerasan ini untuk menentukan nilai CBR segmen dan nilai DDT digunakan cara grafis sesuai dengan Metode Analisa Komponen SKBI - 2.3.26.1987/SNI NO : 1732–1989-F.

#### 8. Faktor Regional (FR)

FR adalah keadaan lapangan yang mencakup permeabilitas tanah, perlengkapan drainase, bentuk alinemen, presentase kendaraan berat dengan  $\geq 5$  ton dan kendaraan yang berhenti, serta iklim. Peraturan pelaksanaan pembangunan jalan raya menentukan bahwa faktor yang

menyangkut permeabilitas tanah hanya dipengaruhi oleh alinemen, presentase kendaraan berat dan kendaraan yang berhenti.

FR digunakan sebagai koreksi sehubungan dengan adanya perbedaan kondisi dengan yang ada di Indonesia. Kondisi-kondisi tersebut antara lain keadaan lapangan dan iklim yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan yang terjadi pada perkerasan. Dengan demikian faktor dalam penentuan tebal lapis perkerasan dipengaruhi oleh bentuk kelandaian (alinemen), presentase kendaraan berat, dan iklim atau curah hujan.

Bina Marga memberikan angka yang bervariasi antara 0,5 dan 1,0 seperti pada Tabel 3,5 di bawah ini. Nilai pada tabel ini perlu dikoreksi yaitu : pada bagian jalan tertentu seperti persimpangan atau tikungan tajam (jari-jari 30 m) nilai FR ditambah 0,5 sedang untuk daerah rawa nilai FR ditambah dengan 1,0. Nilai FR yang dapat dilihat pada **Tabel 3.5**.

**Tabel 3.5** Faktor Regional (FR)

Curah Hujan	Kelandaian I ( < 6 % )		Kelandaian II ( 6 - 10 % )		Kelandaian III ( > 10 % )	
	% 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

Sumber : SKBI – 2.3.26. 1987

#### 9. Indeks Permukaan (IP)

Indeks permukaan menyatakan nilai dari kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat. Berikut nilai IP beserta artinya :

IP = 1,0 : adalah menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

IP = 1,5 : adalah tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).

IP = 2,0 : adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan.

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan dan jumlah lintas ekuivalen rencana (LER), menurut daftar **Tabel 3.6**.

**Tabel 3.6** Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER = Lintas Ekivalen Rencana *)	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
<10	1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	2,0
10 – 100	1,5	1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5
100 – 1000	1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	3,0
> 1000	2,0	2,0 – 2,5	3,0	3,0 – 3,5

Sumber : SKBI – 2.3.23.1987

\*) LER dalam satuan angka ekuivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal.

Catatan: Pada proyek-proyek penunjang jalan, JAPAT atau jalan murah atau jalan darurat maka IP dapat diambil 1,0.

Nilai indeks permukaan awal (IPo) ditentukan dari jenis lapis permukaan dan nilai indeks permukaan akhir (IPt) ditentukan dari nilai LER. Adapun nilai IPo dari masing-masing jenis lapis permukaan disajikan dalam **Tabel 3.7**.

**Tabel 3.7** IPo terhadap jenis lapis permukaan

Jenis Lapis Permukaan	IPo	Roughness *) ( mm/km )
Laston	$\geq 4$	$\leq 1000$
	3,9 – 3,5	<1000

Sumber : SKBI – 2.3.23.1987

**Tabel 3.7** IPo Terhadap Jenis Lapis Permukaan (Lanjutan)

Jenis Lapis Permukaan	IPo	Roughness *) ( mm/km )
	3,9 – 3,5	$\leq 2000$
	3,4 – 3,0	$>2000$
HRA	3,9 – 3,5	$\leq 2000$
	3,4 – 3,0	$>2000$
Burda	3,9 – 3,5	$\leq 2000$
Burtu	3,4 – 3,0	$\leq 2000$
Lapen	3,4 – 3,0	$\leq 3000$
	2,9 – 2,5	$>3000$
Latasbum	2,9 – 2,5	
Buras	2,9 – 2,5	
Latasir	2,9 – 2,5	
Jalan Tanah	$\leq 2,4$	
Jalan Kerikil	$\leq 2,4$	

Sumber : SKBI – 2.3.23.1987

\*) Alat pengukur roughness yang dipakai adalah roughometer NAASRA, yang dipasang pada kendaraan standar Datsun 1500 station wagon, dengan kecepatan kendaraan  $\pm 32$  km per jam. Gerakan sumbu belakang dalam arah vertikal dipindahkan pada alat roughometer melalui kabel yang dipasang ditengah-tengah sumbu belakang kendaraan, yang selanjutnya dipindahkan kepada counter melalui "*flexible drive*". Setiap putaran counter adalah sama dengan 15,2 mm gerakan vertikal antara sumbu belakang dan *body* kendaraan. Alat pengukur roughness *type* lain dapat digunakan dengan mengkalibrasikan hasil yang diperoleh terhadap roughometer NAASRA.

#### 10. Koefisien kekuatan relatif (a)

Nilai a masing-masing bahan dan kegunaannya sebagai lapis permukaan, pondasi, pondasi bawah, ditentukan secara korelasi sesuai

nilai *Marshall Test* (untuk bahan dengan aspal), kuat tekan (untuk bahan yang distabilisasi dengan semen atau kapur), atau CBR (untuk bahan lapis pondasi bawah). Daftar koefisien kekuatan relatif ditentukan menurut **Tabel 3.8.**

**Tabel 3.8** Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (Kg)	Kt (kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,35	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	
0,31	-	-	590	-	-	Lasbutag
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	Laston Atas
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stabilitas tanah
-	0,13	-	-	18	-	dengan semen
-	0,15	-	-	22	-	Stabilitas tanah
-	0,13	-	-	18	-	dengan kapur

**Tabel 3.8** Koefisien Kekuatan Relatif (a) (Lanjutan)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (Kg)	Kt (kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	
-	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 kelas A
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu kelas B
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu kelas C
-	-	0,10	-	-	20	Tanah lempung kepasiran

Sumber : SKBI – 2.3.23.1987

Catatan : Kuat tekan stabilitas tanah dengan semen diperiksa pada hari ke-7. Kuat tekan stabilitas tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke-21.

#### 11. Batas-batas minimum tebal lapisan perkerasan

Untuk menentukan tebal lapis permukaan (D1) digunakan **Tabel 3.9** yang merupakan hubungan antara nilai Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dan bahan yang digunakan pada lapisan permukaan.

**Tabel 3.9** Tebal Minimum pada Lapis Permukaan Perkerasan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
<3,00	5	Lapis Pelindung ( Buras/ Burtu/ Burda )
3,00 – 6,70	5	Laston/ Aspal Macadam/ HRA/ Lasbutag/
6,71 – 7,49	7,5	Laston
7,50 – 9,99	7,5	Lapen/ Aspal Macadam/ HRA/ Lasbutag/
>10,00	10	Laston Lasbutag/ Laston

Sumber : SKBI – 2.3.23.1987

Untuk menentukan tebal lapis pondasi (D2) digunakan **Tabel 3.10** yang merupakan hubungan antara nilai ITP dan bahan yang digunakan pada lapis permukaan.

**Tabel 3.10** Tebal Minimum pada Lapis Pondasi Atas Perkerasan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
<3,00	15	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam
10,00 – 12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas
>12,25	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas

Sumber : SKBI – 2.3.23.1987

## 12. Menghitung tebal perkerasan

Untuk menghitung tebal perkerasan menggunakan **Persamaan 3.10**.

$$ITP = a1.D1 + a2.D2 + a3.D3. \dots\dots\dots(3.10)$$

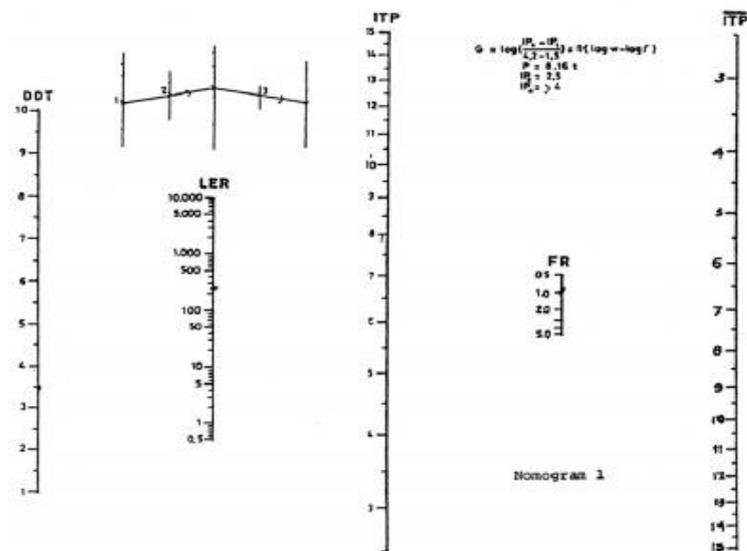
Dimana : a1, a2, a3 = Koefisien kekuatan relative bahan perkerasan

D1, D2, D3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan (cm)

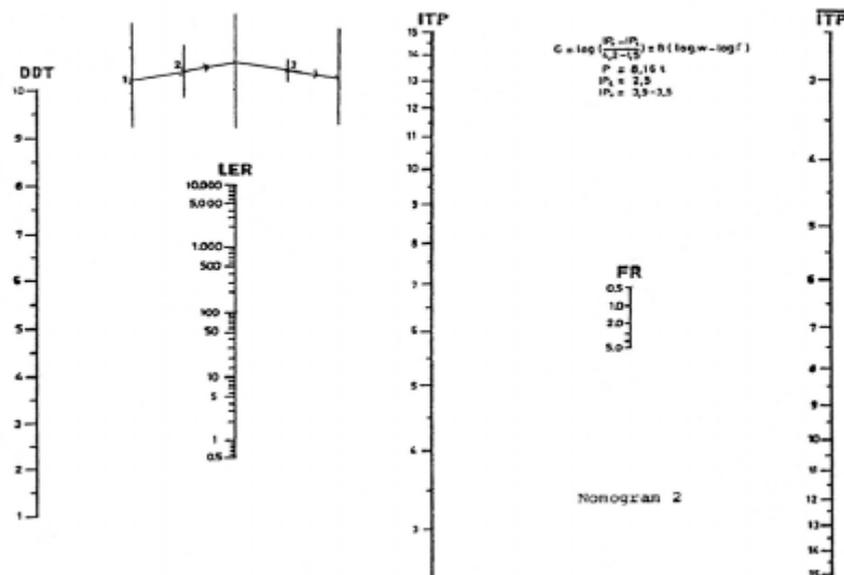
Dengan nilai-nilai a1, a2, a3 didapatkan mengacu pada **Tabel 3.8**, sementara nilai ITP dari nomogram korelasi LER, DDT, dan FR pada **Gambar 3.2** sampai dengan **Gambar 3.10**.

### 13. Indeks tebal perkerasan (ITP)

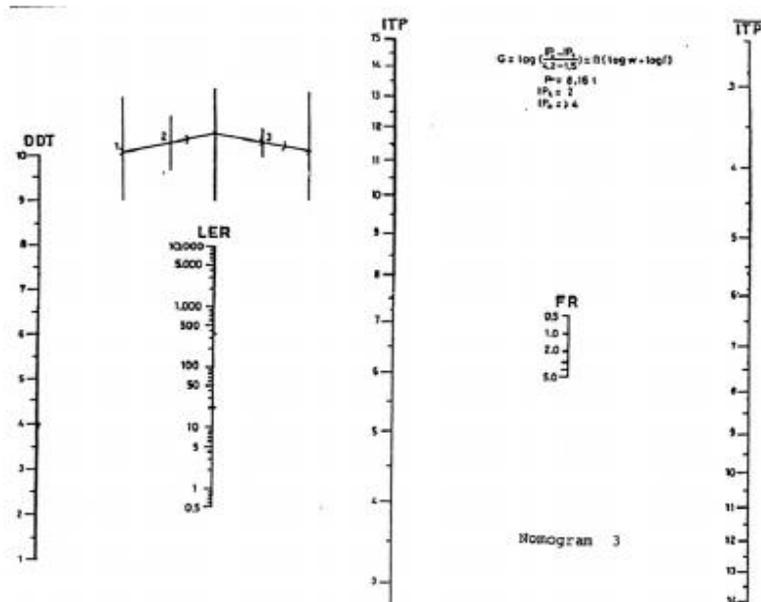
Setelah didapatkan nilai-nilai DDT, LER rencana, FR, maka nilai-nilai itu dapat diplotkan dan dihubungkan dengan garis lurus yang mana di ujung garis lurus tersebut akan menunjukkan nilai ITP nya. Adapun nomogramnya disajikan pada **Gambar 3.2.** sampai dengan **Gambar 3.10.**



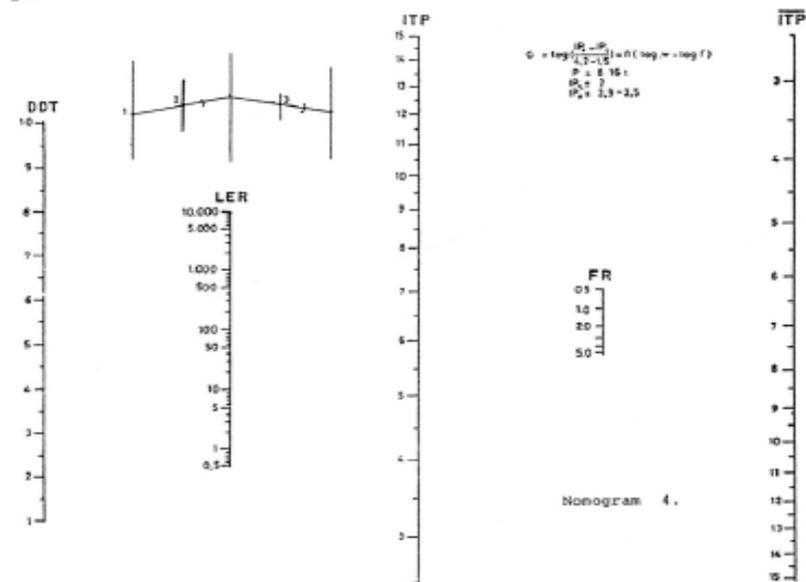
**Gambar 3.2** Nomogram 1 untuk  $IP_t = 2,5$  dan  $IP_o \geq 4$



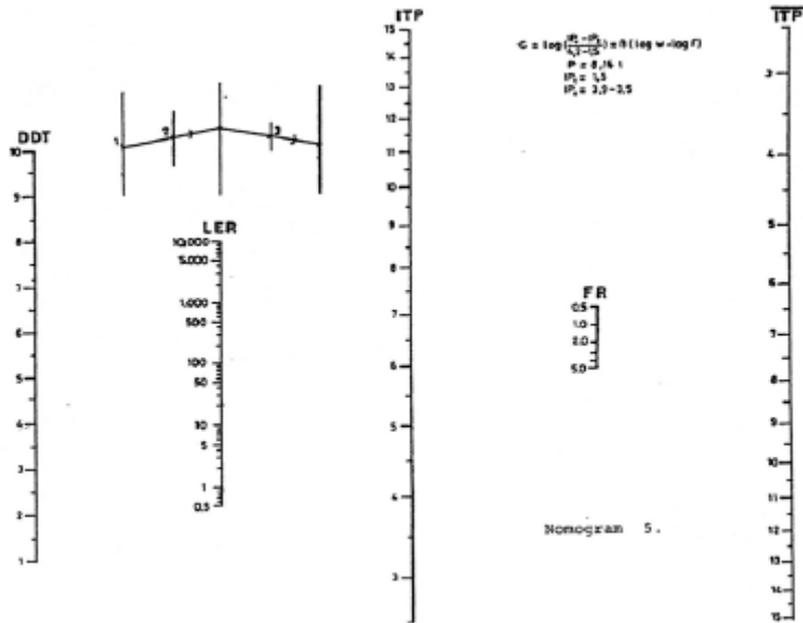
**Gambar 3.3** Nomogram 2 untuk  $IP_t = 2,5$  dan  $IP_o = 3,9 - 3,5$



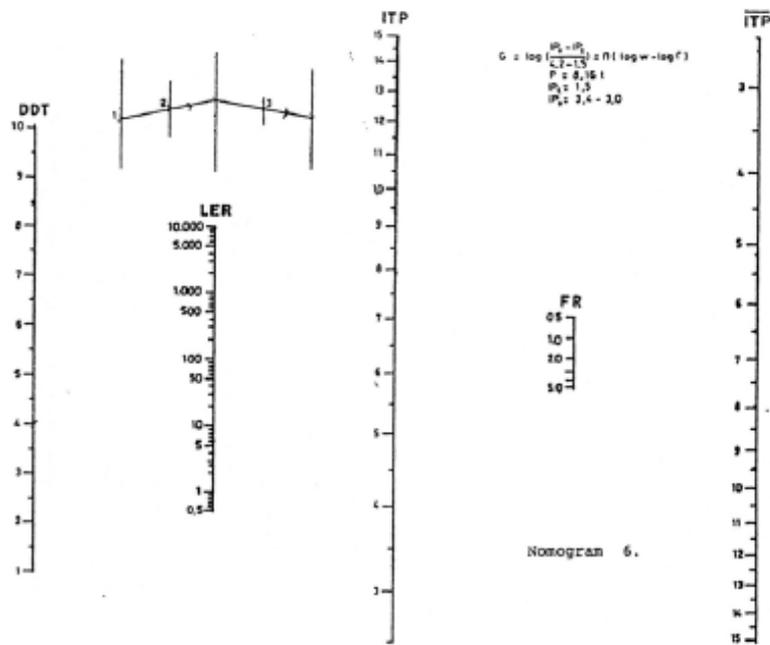
Gambar 3.4 Nomogram 3 untuk  $IP_t = 2$  dan  $IPO \geq 4$



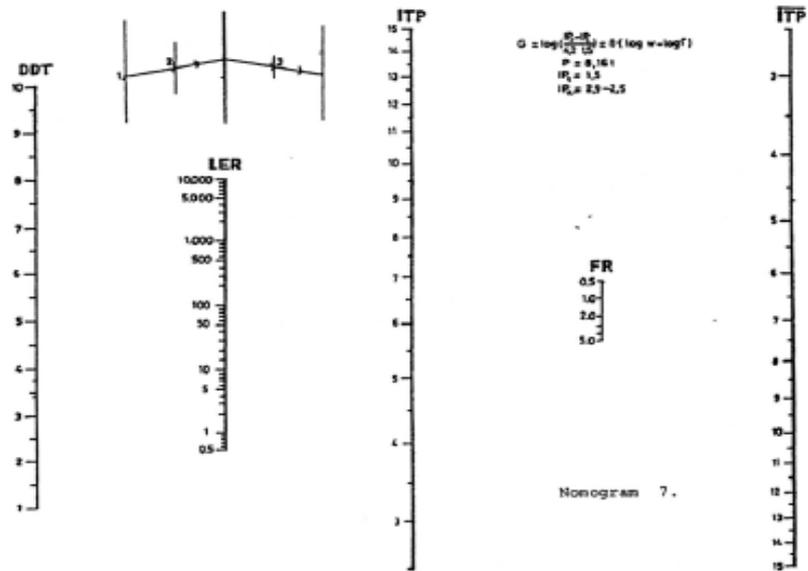
Gambar 3.5 Nomogram 4 untuk  $IP_t = 2$  dan  $IPO = 3.9 - 3.5$



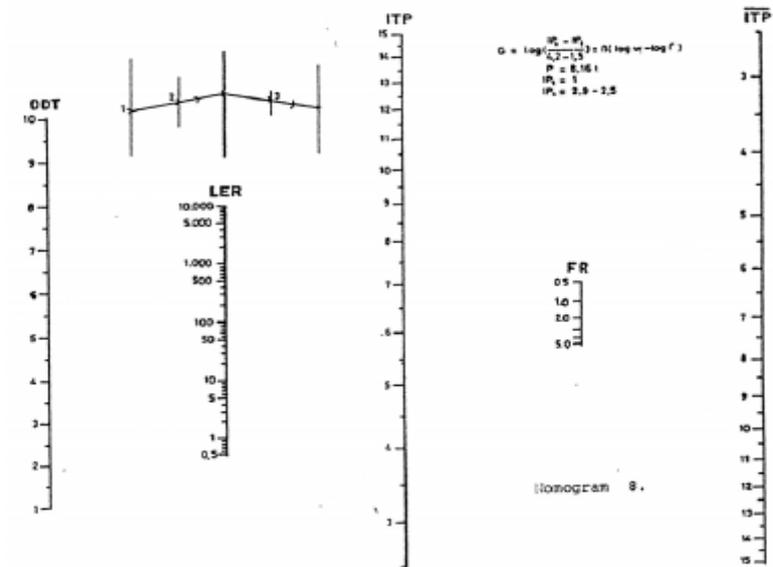
Gambar 3.6 Nomogram 5 untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_o = 3,9 - 3,5$



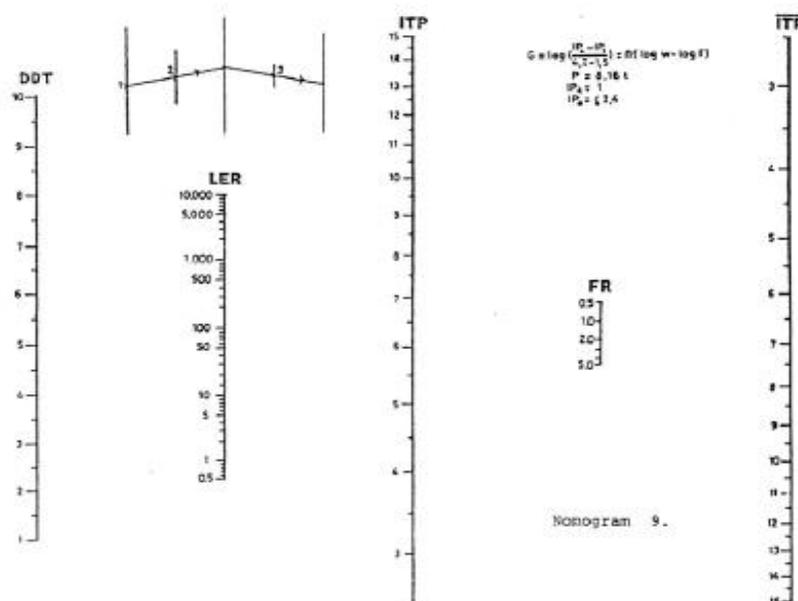
Gambar 3.7 Nomogram 6 untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_o = 3,4 - 3,0$



Gambar 3.8 Nomogram 7 untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_o = 2,9 - 2,5$



Gambar 3.9 Nomogram 8 untuk  $IP_t = 1$  dan  $IP_o = 2,9 - 2,5$



**Gambar 3.10** Nomogram 9 untuk  $IP_t = 1$  dan  $IP_o \leq 2,4$

### F. Metode AASHTO 1993

Metode AASHTO 1972 merupakan salah satu metode yang digunakan untuk perancangan tebal perkerasan lentur yang berkembang di Amerika Serikat (negara bagian Illinois). Sejak tahun 1958 hingga 1960 metode ini digunakan di negara tersebut dan hingga sekarang mengalami perubahan yang cukup banyak karena menyesuaikan kondisi alam dan regional lingkungan. Adanya perkembangan dan beberapa perubahan pada metode AASHTO waktu demi waktu terus mengalami modifikasi menjadi AASHTO 1986 dan seterusnya sekarang menjadi metode AASHTO 1993. Beberapa perbedaan antara AASHTO 1972 dan 1993 dapat dilihat pada **Tabel 3.11**.

**Tabel 3.11** Perbedaan AASHTO 1972 dengan AASHTO 1993

No	Parameter	AASHTO 1972	AASHTO 1993
1	Daya Dukung Tanah	DDT dikonversikan terhadap CBR	Dinyatakan dalam Modulus Resilien (Mr) diperoleh dari tes AASHTO-T274 atau korelasi terhadap CBR tanah dasar
2	Faktor Regional (FR)	FR untuk mengakomodir perbedaan kondisi lokasi jalan	FR tidak digunakan lagi
3	Reliabilitas	Tidak ada	Parameter baru (Zr)
4	Simpangan baku keseluruhan (So)	Tidak ada	Ada simpangan baku (So)
5	Koefisien drainase (m)	Tidak ada	Ada koefisien drainase
6	Rumus ITP atau SN	$ITP = a_1.D_1 + a_2.D_2 + a_3.D_3$	$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$

Sumber : AASHTO 1993

Dengan :  $a_i$  = koefisien kekuatan relatif bahan lapis perkerasan ke  $i$

$D_i$  = tebal lapis perkerasan ke  $i$

$m_i$  = koefisien drainasi lapis ke  $i$

ITP = indeks tebal perkerasan

SN = *structural number*

#### 1. Periode analisa (*Analysis Period*)

Batasan waktu meliputi pemeliharaan umur rencana dan kinerja jalan. Umur Rencana (UR) dapat sama atau lebih dari umur kinerja jalan tersebut. Untuk jalan baru umumnya diambil UR 20 tahun. Besarnya periode analisa didasarkan pada klasifikasi fungsi jalan dan dapat dilihat pada **Tabel 3.12**.

**Tabel 3.12** Umur Rencana Berdasarkan Kondisi Jalan

<i>Highway Condition</i>	<i>Analysis Period</i>
<i>High Volume Urban</i>	30 – 50
<i>High Volume Rural</i>	20 – 50
<i>Low Volume Paved</i>	15 – 25
<i>Low Volume Agregate Surface</i>	10 – 20

Sumber : AASHTO 1993

## 2. Lalu lintas (*Traffic*)

Prosedur perencanaan didasarkan pada nilai kumulatif 18 – kips beban sumbu tunggal ekivalen (*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 diperlukan lalu lintas secara keseluruhan selama masa analisa. Tetapi jika dipertimbangkan untuk konstruksi bertahap seperti peningkatan dan pelapisan ulang, maka harus diantisipasi pula pengaruh dari pengembangan tanah, pembekuan dan dana yang tersedia.

Selain itu digunakan **Persamaan 3.11** untuk memprediksi beban lalu lintas 18 – kips ESAL selama periode analisa.

$$w_{18} = D_D \times D_L \times w_{18}^{\wedge} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan :  $D_D$  = Faktor distribusi berdasarkan arah

$D_L$  = Faktor distribusi berdasarkan jumlah lajur  $w_{18}^{\wedge}$ =

Nilai kumulatif prediksi ESAL 18 – kips

Pada umumnya  $D_D$  diambil 0,5. Pada beberapa kasus khusus terdapat pengecualian dimana kendaraan berat cenderung menuju satu arah tertentu. Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa  $D_D$  bervariasi dari 0,3 – 0,7 tergantung arah mana yang ‘berat’ dan ‘kosong’, sedangkan faktor  $D_L$  nilainya dapat diambil dari **Tabel 3.13**.

**Tabel 3.13** Faktor Distribusi Arah ( $D_L$ )

Jumlah lajur tiap arah	% 18 – kips ESAL <i>design</i>
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
≥ 4	50 – 75

Sumber : AASHTO 1993

3. Angka ekivalen (E)

AASHTO menghitung angka ekivalen (E) sebagai perbandingan umur perkerasan akibat beban lalu lintas standar (18 kips) terhadap umur perkerasan akibat beban lalu lintas tidak standar (x kips). Angka ekivalen dapat dihitung dengan **Persamaan 3.12** sampai dengan **Persamaan 3.14**.

$$\frac{W_x}{W_{18}} = \left[ \frac{L_{18} + L_{2S}}{L_x + L_{2S}} \right]^{4,79} \left[ \frac{10^{G/\beta X}}{10^{G/\beta 18}} \right] [L_{2X}]^{4,33} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dengan : W = ekivalen beban sumbu standar (w = 18000 lbs = 80 kN)

Lx = beban sumbu yang akan dievaluasi

L18 = beban sumbu standar 18 kips

L2 = notasi konfigurasi sumbu (1 = sumbu tunggal, 2 = sumbu ganda, 3 = sumbu triple dan seterusnya)

$$G = \text{Log} \left[ \frac{4,2 - Pt}{4,2 - 1,5} \right] \dots\dots\dots (3.13)$$

$$\beta = 0,4 \left[ \frac{0,081(Lx + L2x)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} (L2x)^{3,23}} \right] \dots\dots\dots (3.14)$$

4. Kinerja jalan (*Pavement Performance*)

Yang menjadi dasar perencanaan perkerasan lentur jalan raya dengan metode AASHTO 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 (*Serviceability Index*) pada awal (Po) dan akhir (Pt) umur rencana meliputi :

- a. Keamanan yang ditentukan oleh besarnya gesekan akibat adanya kontak antara roda dengan permukaan jalan.
- b. Struktur perkerasan, sehubungan dengan kondisi fisik dari jalan tersebut seperti adanya retak-retak, amblas, alur, gelombang, dan tipe kerusakan jalan yang lain.
- c. Fungsi pelayanan (*Function of Performance*), berhubungan dengan kinerja perkerasan tersebut untuk memberikan pelayanan pada pengendara yang digambarkan dengan tingkat kualitas berkendara (*Riding Quality*). Angka PSI diperoleh dari pengukuran kekasaran (*Roughness*), dan pengukuran kerusakan (*Distress*) seperti retak-retak, amblas, alur dan tipe kerusakan lain selama masa pelayanan. Nilai IP beserta artinya ditunjukkan pada **Tabel 3.14**.

**Tabel 3.14** Indeks Permukaan Jalan

<b>Indeks Permukaan</b>	<b>Fungsi Pelayanan</b>
4 – 5	Sangat Baik
3 – 4	Baik
2 – 3	Cukup
1 – 2	Kurang
0 – 1	Sangat Kurang

Sumber : AASHTO 1993

Untuk perencanaan diberikan 2 (dua) angka PSI yaitu PSI pada awal (Po) dan Akhir (Pt) umur rencana. Nilai yang direkomendasikan oleh AASHTO *Road Test* adalah 4,2 atau disarankan dipilih sesuai dengan kondisi setempat. Angka PSI pada umur rencana adalah angka yang masih dapat diterima sebelum dilakukannya pelapisan ulang (*overlay*).

Angka antara 2,5 – 3,0 adalah yang disarankan untuk digunakan pada perencanaan jalan kelas tinggi, sedangkan 2,0 untuk jalan kelas rendah. Tetapi apabila pertimbangan ekonomi menjadi faktor yang berpengaruh, maka nilai Pt 1,5 dapat dipakai. Salah satu kriteria untuk menentukan tingkat pelayanan terendah pada akhir umur rencana (Pt) dapat didasarkan dari penerimaan pengguna jalan. Nilai Pt berdasarkan penerimaan pengguna jalan ditunjukkan pada **Tabel 3.15**.

**Tabel 3.15** Kondisi pelayanan yang masih diterima pengguna jalan

Indeks Pelayanan Akhir (Pt)	% Masyarakat yang menerima
3,0	12
2,0	55
1,0	85

Sumber : AASHTO 1993

Faktor yang menyebabkan penurunan angka PSI adalah : lalu lintas, umur perkerasan, dan faktor lingkungan. Tetapi faktor perkerasan bila tidak disertai faktor lain di atas tidak terlalu dipastikan dapat menyebabkan penurunan angka PSI. Beberapa usaha telah dilakukan untuk menghitung penurunan angka PSI ( $\Delta$ PSI) terhadap pengaruh lingkungan yaitu : pengembangan tanah akibat air dan salju. Sehingga, total  $\Delta$ PSI adalah jumlah antara pengaruh yang diakibatkan lalulintas dan pengembangan tanah dan salju. Nilai total  $\Delta$ PSI ditunjukkan pada **Persamaan 3.15**.

$$\Delta\text{PSI} = \Delta\text{PSI traffic} + \Delta\text{PSI swell frostheave} \dots\dots\dots(3.15)$$

Dengan:  $\Delta$ PSI = total penurunan pelayanan

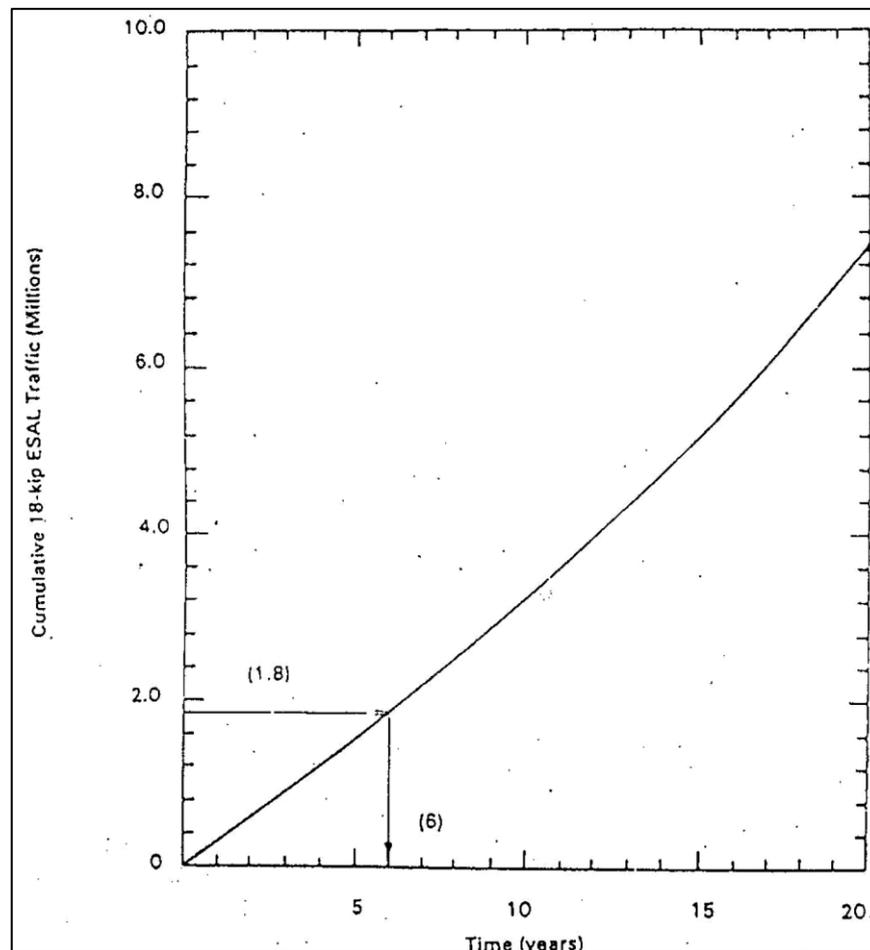
$\Delta$ PSI *traffic* = penurunan akibat lalulintas

$\Delta$ PSI *swell frostheave*=penurunan akibat pengembangan *subgrade*

Nilai kumulatif ekivalen lalu lintas (w18) memberikan pengaruh terhadap kinerja jalan sehingga masa pelayanan perkerasan biasanya tidak akan mampu memberikan pelayanan sesuai umur rencananya, artinya dalam beberapa tahun sebelum umur rencana habis perkerasan perlu

dilakukan peningkatan jalan. Oleh karena itu harus dipersiapkan grafik kumulatif lalu lintas 18-kips ESAL terhadap waktu seperti disajikan pada

**Gambar 3.11.**



Sumber : AASHTO 1993

**Gambar 3.11** Kumulatif lalu lintas 18-kips ESAL terhadap waktu

5. Modulus *resilient* tanah dasar ( $M_R$ )

Nilai modulus *resilient* tanah dasar ( $M_R$ ) dapat diperoleh dari pemeriksaan AASHTO T274 atau korelasi dengan nilai CBR. Pemeriksaan  $M_R$  sebaiknya dilakukan selama 1 tahun penuh sehingga dapat diperoleh nilai  $M_R$  sepanjang musim dalam setahun. Besarnya kerusakan relatif dari setiap kondisi tanah dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3.16**.

$$u = 1,18 \times 108 \times M_R - 2,32 \dots\dots\dots (3.16)$$

Dengan :  $u$  = kerusakan relatif

$M_R$  = modulus resilien dinyatakan dalam Psi

Modulus resilien efektif untuk tanah dasar yang dipergunakan dalam perencanaan tebal perkerasan adalah harga korelasi yang diperoleh dari kerusakan relatif rata-rata dalam setahun. Modulus resilien tanah dasar juga sering dikorelasikan dengan nilai CBR dengan **Persamaan 3.17**.

$$MR (Psi) = 1500 \times CBR \dots\dots\dots (3.17)$$

Persamaan ini sering digunakan untuk tanah berbutir halus yang menggunakan CBR rendaman  $\leq 10$ .

#### 6. Koefisien distribusi kendaraan ( $C$ )

Dalam AASHTO 1993 nilai koefisien distribusi kendaraan ( $C$ ) dinyatakan dalam faktor distribusi arah ( $D_D$ ) dan faktor distribusi lajur ( $D_L$ ) dengan **Persamaan 3.18**.

$$C = D_D \times D_L \dots\dots\dots (3.18)$$

Dimana :  $D_D$  = faktor distribusi arah.

$D_L$  = faktor distribusi lajur.

Pada umumnya  $D_D$  diambil 0,5. Pada beberapa kasus khusus terdapat pengecualian dimana kendaraan berat cenderung menuju satu arah tertentu. Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa  $D_D$  bervariasi dari 0,3 – 0,7 tergantung arah mana yang ‘berat’ dan ‘kosong’, sedangkan faktor  $D_L$  nilainya dapat diambil dari **Tabel 3.13**.

#### 7. Reliabilitas ( $R$ ) dan simpang baku keseluruhan ( $S_o$ )

Reliabilitas adalah nilai probabilitas dari kemungkinan tingkat pelayanan yang dapat dipertahankan selama masa pelayanan dipandang dari pengunjalan. Reliabilitas adalah nilai jaminan bahwa perkiraan beban lalu lintas yang akan memakai jalan tersebut dapat dipenuhi. Nilai realibilitas dalam AASHTO 1993 dapat dilihat dalam **Tabel 3.16**.

**Tabel 3.16** Tingkat Reliabilitas

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 Reliabilitas AASHTO 1993 memberikan nilai simpang baku normal ( $Z_R$ ) yang sering dipakai dalam perancangan. Nilai simpang baku normal dapat dilihat pada **Tabel 3.17**.

**Tabel 3.17** Nilai Simpang Baku Normal ( $Z_R$ )

Reliabilitas, R (%)	Simpangan Baku Normal, $Z_R$	Reliabilitas, R (%)	Simpangan Baku Normal, $Z_R$
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	-3,090
92	-1,405	99,99	-3,750

Sumber : AASHTO 1993

Simpangan baku keseluruhan ( $S_o$ ) merupakan gabungan simpangan baku dari perkiraan lalulintas dan perkiraan kinerja lalu lintas. Ada beberapa kriteria yang disarankan oleh AASHTO 1993 sehubungan dengan variasi prediksi kinerja jalan, yaitu :

- a. Perkiraan simpangan baku keseluruhan untuk keadaan dimana variasi lalu lintas akan diperhitungkan adalah 0,44 untuk perkerasan lentur.
- b. Perkiraan simpangan baku keseluruhan untuk keadaan dimana variasi lalulintas akan diperhitungkan adalah 0,49 untuk perkerasan kaku (*Rigid Pavement*).
- c. Nilai  $S_o$  yang disarankan berkisar antara 0,40 – 0,50 untuk perkerasan lentur.

#### 8. Lintas Ekivalen Permulaan (LEP)

Lintas ekivalen pada saat jalan mulai dibuka dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3.19**.

$$LEP = LHR_0 \times E \times D_D \times D_L \dots \dots \dots (3.19)$$

- Dengan :
- $LHR_0$  = Lalu lintas harian di awal umur rencana
  - $E$  = Angka ekivalen untuk satu jenis kendaraan
  - $D_D$  = Faktor distribusi arah
  - $D_L$  = Faktor distribusi jalur

#### 9. Lintas ekivalen selama umur rencana (w18)

Nilai lintas ekivalen selama umur rencana (w18) diperoleh dengan menggunakan **Persamaan 3.20**.

$$W18 = LEP \times 365 \times N \dots \dots \dots (3.20)$$

- Dengan :
- 365 = Jumlah hari dalam setahun
  - $N$  = Faktor umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalulintas.

Besarnya nilai  $N$  diperoleh dari **Persamaan 3.21**

$$N = \frac{(1 + i)^{UR} - 1}{i} \dots \dots \dots (3.21)$$

- Dengan :
- $i$  = Faktor pertumbuhan lalulintas selama UR
  - UR = Umur Rencana

#### 10. Kondisi lingkungan

Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi masa pelayanan jalan. Faktor kadar air berbutir halus memungkinkan tanah tersebut akan

mengalami pengembangan (*swelling*) yang mengakibatkan kondisi daya dukung tanah dasar menurun. Besarnya pengembangan dapat diperkirakan dari nilai indeks plastis tanah tersebut. Pengaruh perubahan musim, perubahan temperatur, kerusakan-kerusakan akibat lelahnya bahan, sifat material bahan yang dipergunakan dapat pula mempengaruhi umur pelayanan jalan.

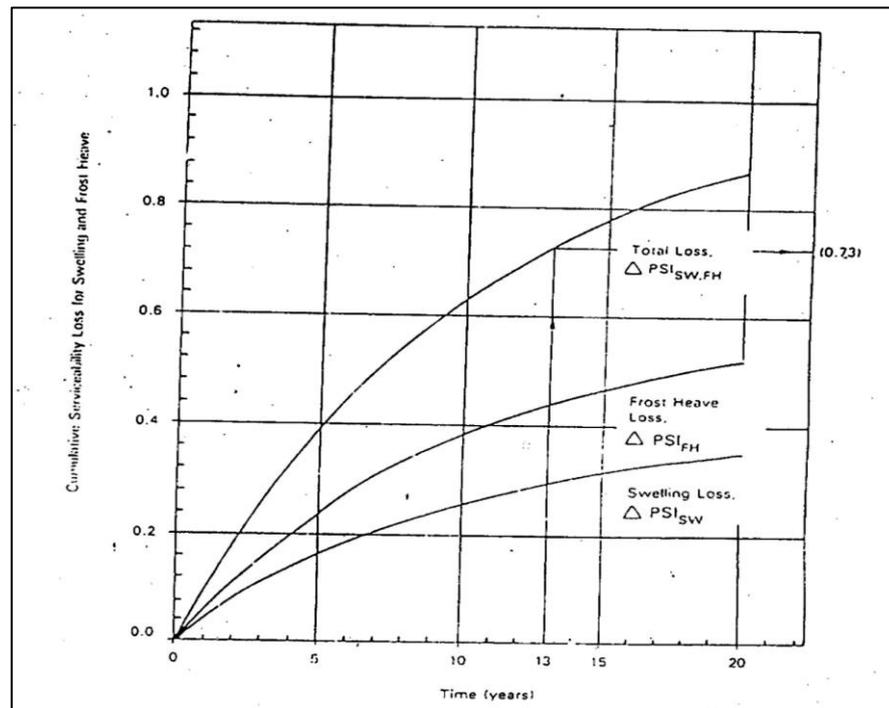
Oleh karena itu terdapat pengurangan nilai indeks permukaan akibat kondisi lingkungan saja. Besarnya penurunan indeks permukaan akibat pengembangan merupakan fungsi dari tingkat pengembangan (*Swell rate contant*), kemungkinan pengembangan (*swell probability*), dan besarnya potensi merembes ke atas (*potensial vertical rise*). Untuk rumus perhitungan IP *swell* dapat dilihat pada **Persamaan 3.22**.

$$IP_{swell} = 0,00335 \times V_r \times P_s \times (1 - e^{-\emptyset t}) \dots\dots\dots (3.22)$$

Dengan :

- IP *swell* = Perubahan indeks permukaan akibat pengembangan tanah dasar
- V<sub>r</sub> = Besarnya potensi merembes ke atas (*inch*)
- P<sub>s</sub> = Probabilitas pengembangan (%)
- ∅ = Tingkat pengembangan tetap
- T = Jumlah tahun yang ditinjau, dihitung dari saat jalan tersebut dibuka untuk umum.

Apabila diperoleh data atau pengujian yang kurang memadai, maka untuk menentukan nilai penurunan pelayanan perkerasan akibat pengembangan tanah ditentukan melalui grafik pada **Gambar 3.12**.



Sumber : AASHTO, 1993

**Gambar 3.12** Hubungan antara  $\Delta$ PSI dan waktu pelayanan kinerja jalan

#### 11. Faktor Drainase (m)

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 pada AASHTO 1993 disajikan dalam **Tabel 3.18**.

**Tabel 3.18** 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 tak mungkin dikeringkan

Sumber : AASHTO, 1993

Berdasarkan kualitas dari drainase pada lokasi jalan tersebut, maka dapat ditentukan koefisien drainase dari lapisan perkerasan lentur. AASHTO 1993 memberikan daftar koefisien drainase pada **Tabel 3.19**.

**Tabel 3.19** 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	1,00 – 0,80	0,80
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

## 12. Structural Number (SN)

SN untuk struktur perkerasan awal perlu ditentukan terlebih dahulu, agar tebal lapisan perkerasan dapat direncanakan AASHTO 1993 memberikan persamaan dasar untuk menentukan tebal lapisan perkerasan berdasarkan nilai SN dapat dilihat pada **Persamaan 3.23**.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \dots\dots\dots (3.23)$$

Dengan :  $a_i$  = koefisien relatif lapis ke  $i$

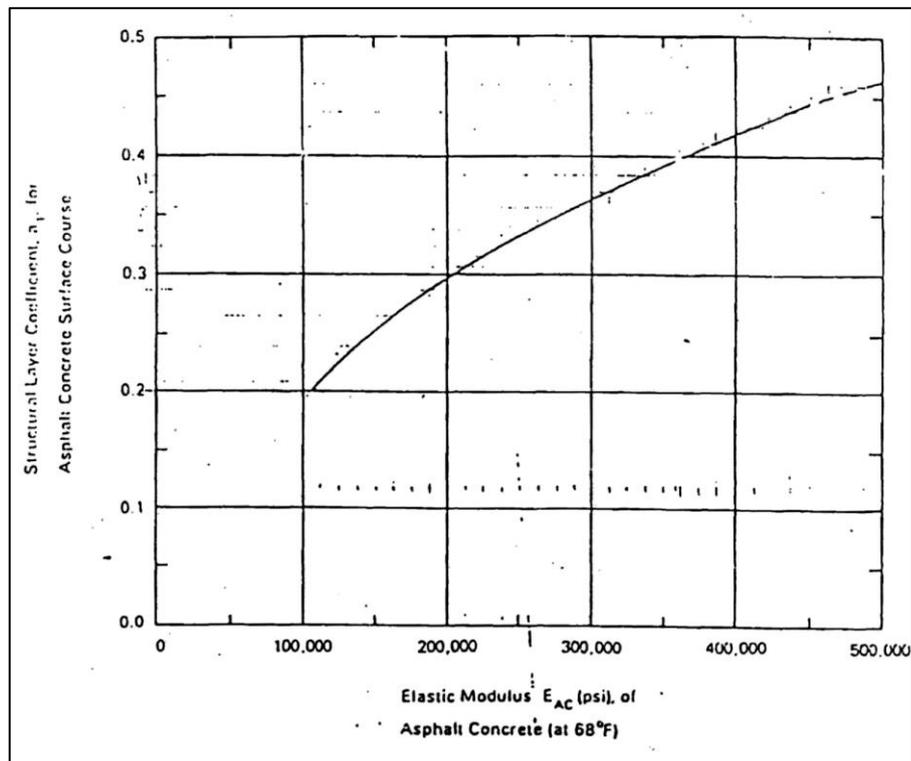
$D_i$  = tebal lapis ke  $i$

$m_i$  = koefisien drainase lapis ke  $i$

### a. Koefisien relatif lapisan (a)

Koefisien relatif lapisan (a) merupakan kekuatan masing–masing jenis bahan pada metode AASHTO 1993. Angka koefisien relatif lapisan (a) diperoleh dari korelasi modulus elastik (*resilien*), CBR atau *R–value*. Untuk mendapatkan nilai modulus material AASHTO 1993 menganjurkan pengujian dengan metode AASHTO T274 (untuk lapisan pondasi bawah dan material tanpa bahan perekat) dan ASTM D4123 (untuk beton aspal dan material yang distabilisasi). Untuk memperkirakan nilai koefisien lapisan beton

aspal (a1) dapat digunakan **Gambar 3.13** untuk lapisan permukaan berdasarkan modulus elastis (*Resilien*),  $E_{AC}$  pada suhu 68° F. Dianjurkan untuk berhati-hati dalam mengambil nilai di atas 450.000 psi. Meskipun modulus beton aspal lebih tinggi dan memiliki perlawanan terhadap lentur, namun rentan terhadap pengaruh panas dan retak karena kelelahan.



Sumber : AASHTO 1993

**Gambar 3.13** Grafik untuk memperkirakan koefisien lapisan dari tingkat kepadatan beton aspal (a1) berdasarkan modulus elastis

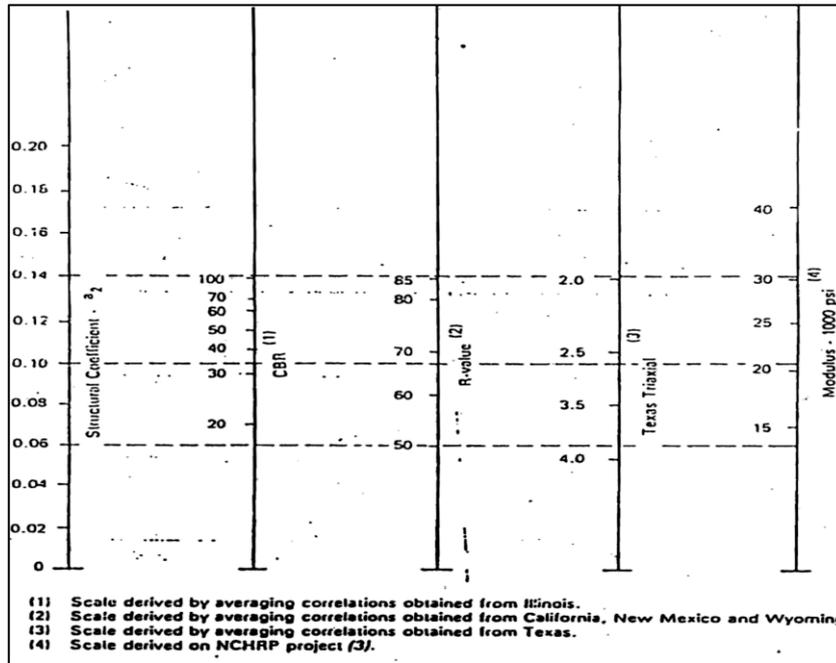
Untuk memperkirakan nilai koefisien lapisan (a2) dapat dilihat pada **Gambar 3.14** dan berdasarkan salah satu dari empat tes laboratorium yang tidak sama terhadap material pondasi berbutir dengan memasukan *Resilien* dasar ( $E_{BS}$ ). Selain itu (a2) juga dapat diperkirakan dari **Persamaan 3.24**.

$$a_2 = 0,249 ( \log E_{BS} ) - 0,977 \dots\dots\dots(3.24)$$

Untuk lapisan pondasi berbutir,  $E_{BS}$  merupakan fungsi tegangan ( $\theta$ ) yang dapat dituliskan dengan **Persamaan 3.25**.

$$E_{BS} = K_1 \times \theta^{k_2} \dots\dots\dots (3.25)$$

Dengan :  $\theta$  = Jumlah tegangan pokok,  $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$  (Psi)  
 $k_1, k_2$  = Regresi konstan (tipe material)



Sumber : AASHTO 1993

**Gambar 3.14** Variasi koefisien lapisan pondasi dengan material berbutir ( $a_2$ ) untuk bermacam-macam parameter kekuatan pondasi

Menurut AASHTO *road test*, nilai modulus ( $E_{BS}$  dalam psi) untuk pondasi mengikuti **Tabel 3.20**.

**Tabel 3.20** Nilai Modulus ( $E_{BS}$  dalam psi) untuk pondasi

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

Sumber : AASHTO, 1993

$E_{BS}$  merupakan fungsi dari kelembaban dan tegangan ( $\theta$ ). Nilai untuk tegangan dalam lapisan pondasi bervariasi untuk modulus tanah dasar dan tebal lapisan permukaan. Nilai yang dapat digunakan dalam perencanaan dapat dilihat dalam **Tabel 3.21**.

**Tabel 3.21** Nilai Tegangan ( $\theta$ ) berdasarkan tebal beton aspal dan  $M_R$  tanah dasar

Tebal Aspal Beton (inch)	Modulus resilien tanah dasar (psi)		
	3000	7000	15000
< 2	20	25	30
2 – 4	10	15	20
4 – 6	5	10	15
> 6	5	5	5

Sumber : AASHTO,1993

Sedangkan untuk nilai  $k_1$  dan  $k_2$  dapat ditentukan berdasarkan nilai dari AASHTO *Method T274* seperti pada **Tabel 3.22**.

**Tabel 3.22** Nilai  $K_1$  dan  $K_2$  untuk material pondasi atas dan pondasi bawah tanpa bahan pengikat

Lapisan	Kondisi Kelembaban	Fungsi Kualitas Material	
		$K_1$	$K_2$
Pondasi atas	Kering	6000 – 10000	0,5 – 0,7
	Lembab	4000 – 6000	0,5 – 0,7
	Basah	2000 – 4000	0,5 – 0,7
Pondasi Bawah	Kering	6000 – 8000	0,4 – 0,6
	Lembab	4000 – 6000	0,4 – 0,6
	Basah	1500 – 4000	0,4 – 0,6

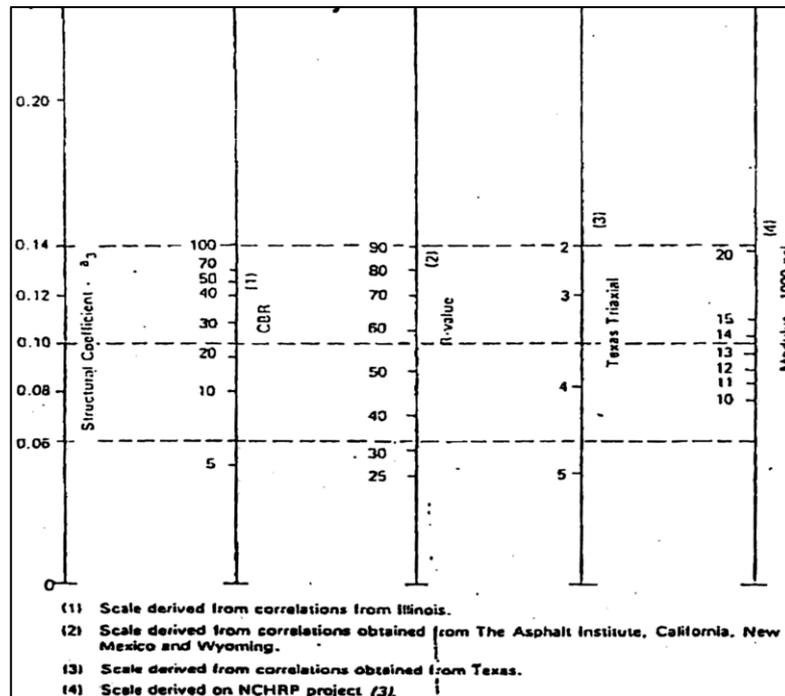
Sumber : AASHTO, 1993

Untuk memperkirakan nilai koefisien lapisan ( $a_3$ ) dapat dilihat pada **Gambar 3.15** dan berdasarkan salah satu dari empat tes laboratorium yang tidak sama terhadap material pondasi berbutir

dengan memasukan *resilien* dasar ( $E_{BS}$ ). Selain itu  $a_3$  juga diperkirakan dari **Persamaan 3.26**.

$$a_3 = 0,227 ( \log E_{BS} ) - 0,839 \dots\dots\dots (3.26)$$

Untuk lapisan pondasi bawah,  $E_{BS}$  dipengaruhi oleh tegangan, adapun caranya sama dengan lapisan pondasi atas. Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  dapat dilihat pada **Tabel 3.23**. Menurut AASHTO *road test*, nilai material pondasi bawah sesuai dengan grafik **Gambar 3.14**.



Sumber : AASHTO, 1993

**Gambar 3.15** Variasi koefisien lapisan pondasi bawah dengan material berbutir (a3) untuk bermacam-macam parameter pondasi

**Tabel 3.23** Nilai  $E_{BS}$  untuk pondasi bawah

Kondisi Lembab	Persamaan	Tegangan		
		$\theta = 5$	$\theta = 7,5$	$\theta = 10$
Lembab	$Mr = 5400x \theta^{0,6}$	14,183	18,090	21,497
Basah	$Mr = 4600x \theta^{0,6}$	12,082	15,410	18,312

Sumber : AASHTO, 1993

b. Batas-batas minimum tebal lapisan perkerasan (Di)

AASHTO 1993 memberikan batasan minimum untuk tebal perkerasan sesuai **Tabel 3.24**.

**Tabel 3.24** Nilai tebal perkerasan minimum (*inch*)

Volume Lalu Lintas ESAL's	Beton Aspal	Pondasi Agregat
< 50.000	1,0	4
50.000 – 150.000	2,0	4
150.000 – 500.000	2,5	4
500.001 – 2.000.000	3,0	6
2.000.001 – 7.000.000	3,5	6
> 7.000.000	4,0	6

Sumber : AASHTO, 1993

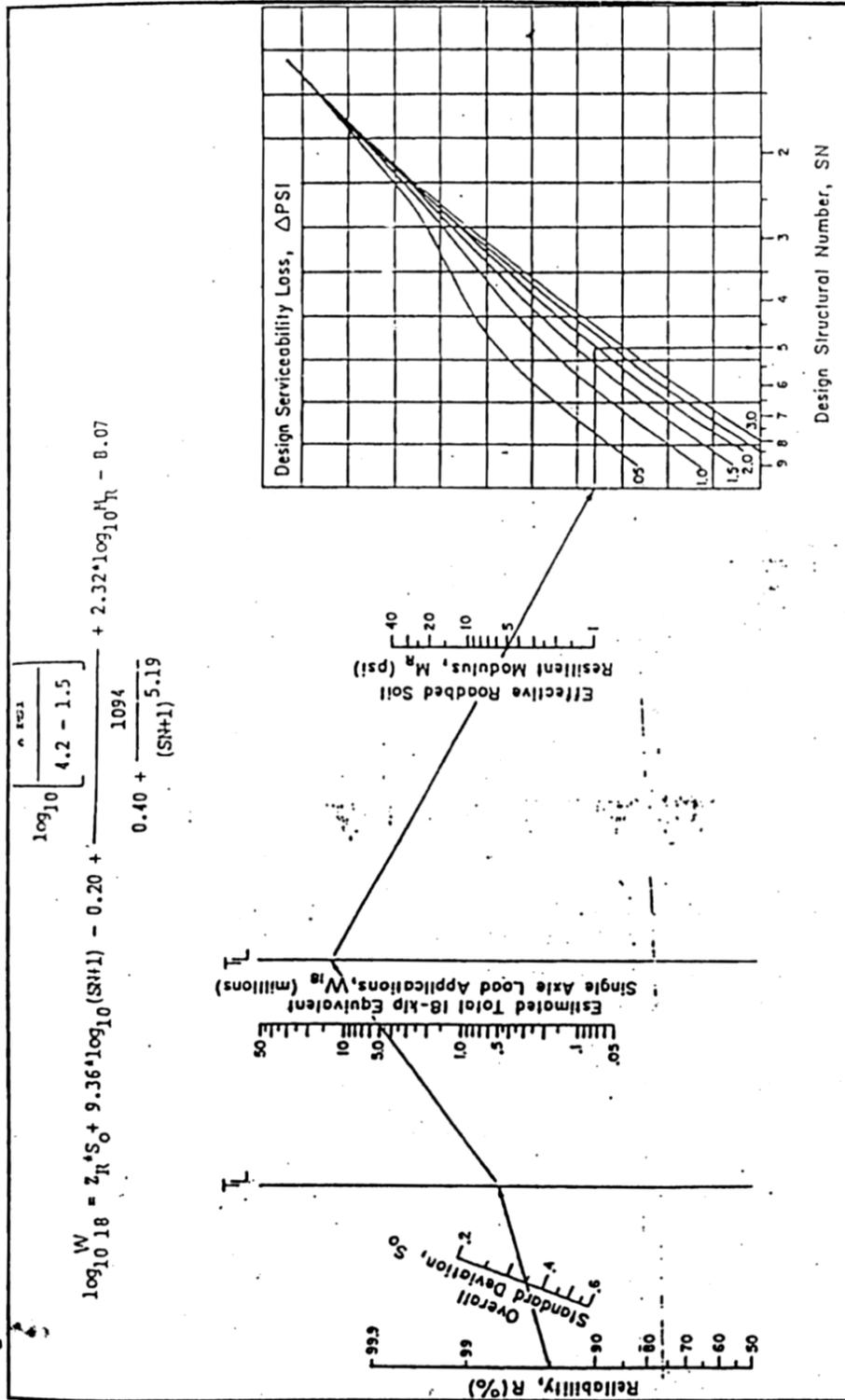
Adapun langkah–langkah penentuan tebal perkerasan adalah berdasarkan **Persamaan 3.27** sampai dengan **3.29**.

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{D_1 \cdot a_1} \dots\dots\dots (3.27)$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - (D_1 \cdot a_1)}{a_2 \cdot m_2} \dots\dots\dots (3.28)$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 \cdot m_2)}{a_3 \cdot m_3} \dots\dots\dots (3.29)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai SN (*Structural Number*) yaitu dengan nomogram yang ada pada **Gambar 3.16**.



Sumber : AASHTO, 1993

Gambar 3.16 Nomogram menentukan SN

### G. Tegangan dan Regangan pada Perkerasan Lentur

#### 1. Konsep Sistem Lapisan

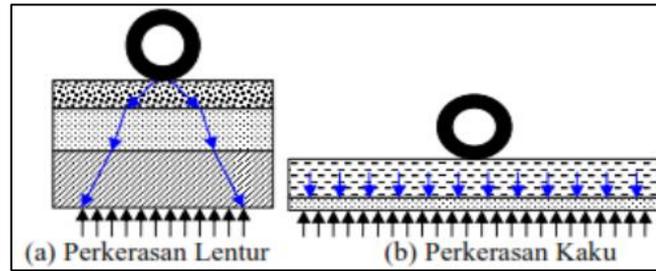
Anggapan yang digunakan dalam menggambarkan konsep umum dari sistem elastis lapis banyak adalah sebagai berikut (Setyaningsih, 2010) :

- a. Masing masing lapisan mempunyai sifat bahan yang homogen, sifat bahan pada titik A sama dengan sifat bahan pada titik B.
- b. Masing masing lapisan mempunyai ketebalan tertentu kecuali pada lapisan paling bawah dan lapisan lateral mempunyai ketebalan dan arah yang tidak terbatas.
- c. Setiap lapisan bersifat isotropik, yaitu sifat bahan di setiap titik tertentu dalam setiap arah dianggap sama.
- d. Tegangan dipengaruhi oleh sifat bahan yang dimiliki tiap lapisan, yaitu nilai banding *poisson ratio* dan modulus elastisitas bahan.
- e. Pada tiap bidang *interface* antar lapisan mempunyai ikatan yang kuat.
- f. Gaya-gaya lintang tidak terjadi pada lapisan permukaan.

Dari konsep sistem lapis banyak tersebut, akan menghasilkan respon berupa tegangan sebagai berikut :

- a. Tegangan normal, yaitu yang bekerja tegak lurus pada bagian permukaan.
- b. Tegangan geser, yaitu yang bekerja sejajar permukaan.

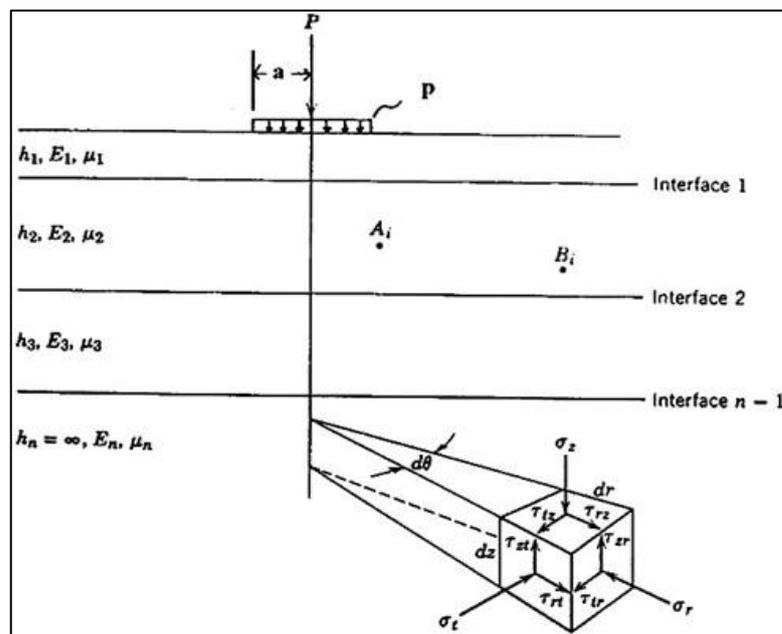
Secara umum penyebaran tegangan, regangan dan pembagian beban yang terjadi pada perkerasan lentur terlihat pada **Gambar 3.17**.



Sumber : Nathasya, 2012

**Gambar 3.17** Pembagian Beban pada Perkerasan

Dari teori yang ada pada gambar tersebut, diketahui pada setiap lapisan akan memberikan sebanyak 9 buah regangan seperti terlihat pada **Gambar 3.18**.



Sumber : E.J Yoder and W. Witczak, 1975

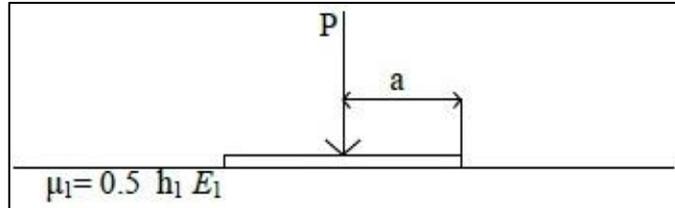
**Gambar 3.18** Konsep Sistem Elastis Lapis Banyak

Dalam teori sistem lapis banyak terdapat tiga sistem yaitu sebagai berikut :

a. Sistem Satu Lapis

Dalam sistem satu lapisan, struktur perkerasan dan tanah dasar dianggap sebagai satu kesatuan struktur dengan bahan yang

homogen. Konsep sistem satu lapis dapat dilihat pada **Gambar 3.19**.



Sumber : Nathasya, 2012

**Gambar 3.19** Sistem Satu Lapis

Ringkasan rumus-rumus tegangan, regangan dan lendutan untuk struktur yang homogen akibat beban merata ( $p$ ) pada bidang kontak lingkaran berjari-jari ( $a$ ) dapat dilihat pada **Tabel 3.24**.

**Tabel 3.24** Tabel persamaan tegangan dan regangan untuk sistem satu lapis

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

Sumber : Rekayasa Struktur dan Bahan Perkerasan (Modul II) oleh Dr. Ir Djunaedi Kosasih, M.Sc.

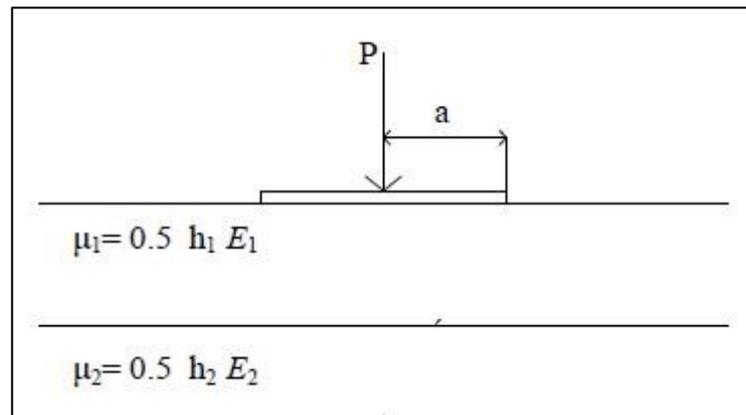
Dalam menganalisa tegangan (*stress*), regangan (*strain*) dan defleksi digunakan persamaan Boussinesq dengan asumsi lapisan bersifat homogen isotropik dan dapat dicari dengan **Persamaan 3.30**.

$$\sigma_z = k \frac{P}{z^2} \dots\dots\dots(3.30)$$

$$k = \frac{\varepsilon}{2\pi} \frac{1}{[1 + (r/z)^2]^{5/2}} \dots\dots\dots(3.31)$$

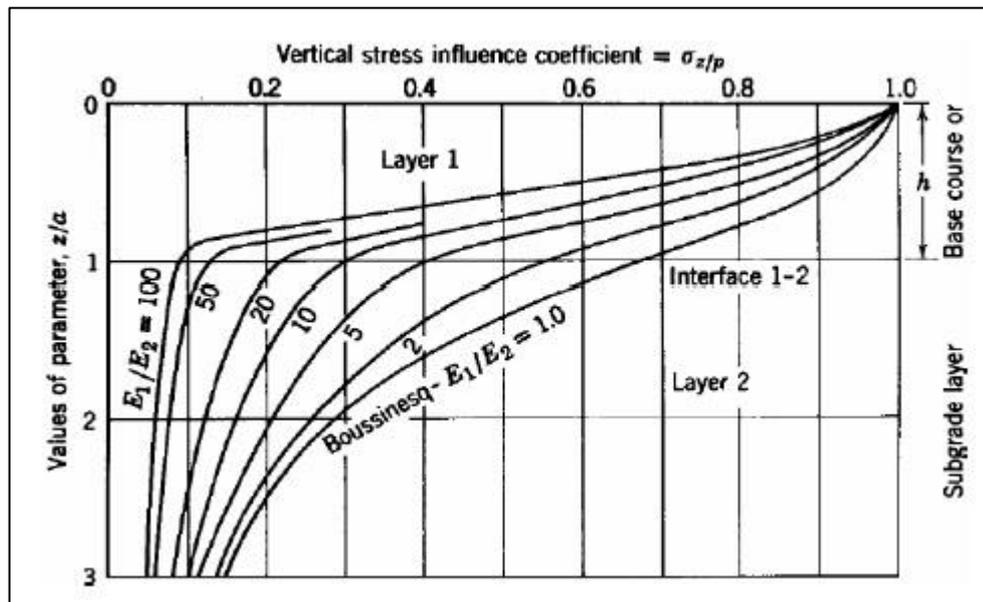
b. Sistem Dua Lapis

Sistem dua lapisan dapat dimodelkan struktur perkerasan dengan membedakan tanah dasar dari lapisan-lapisan perkerasan di atasnya atau dengan membedakan lapisan aspal dari agregat (termasuk tanah dasar). 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 horizontal maupun vertikal. Nilai tegangan dan defleksi didapat dari perbandingan modulus elastisitas setiap lapisan  $E_1/E_2$ . Konsep sistem dua lapis dapat dilihat pada **Gambar 3.20** dan distribusi tegangan vertikal sistem dua lapis dapat dilihat **Gambar 3.21**.



Sumber : Nathasya, 2012

**Gambar 3.20** Sistem Dua Lapis



Sumber : Nathasya, 2012

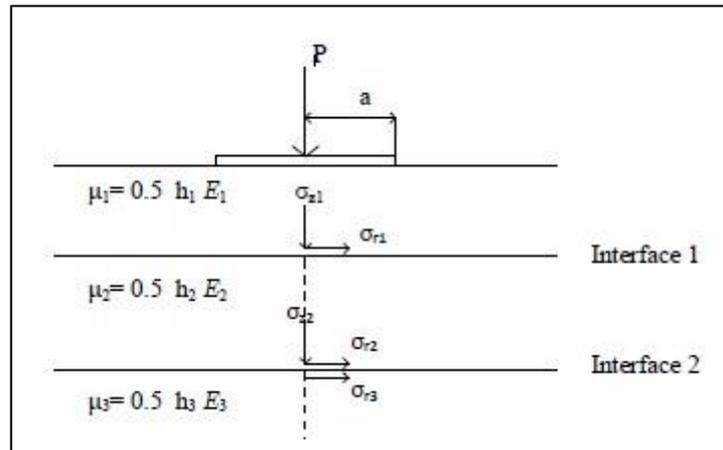
**Gambar 3.21** Distribusi Tegangan Vertikal Sistem Dua Lapis

c. Sistem Tiga Lapis

Tegangan-tegangan yang terjadi disetiap lapis pada axis simetri sistem tiga lapis dapat dilihat pada **Gambar 3.22**. Tegangan yang terjadi antara lain:

$\sigma_{z1}$  : tegangan vertikal *interface* 1

- $\sigma_{z2}$  : tegangan vertikal *interface 2*
- $\sigma_{r1}$  : tegangan horisontal pada lapisan 1 bagian bawah
- $\sigma_{r2}$  : tegangan horisontal pada lapisan 2 bagian bawah
- $\sigma_{r3}$  : tegangan horisontal pada lapisan 3 bagian atas



Sumber : Nathasya, 2012

**Gambar 3.22** Tegangan pada Sistem Tiga Lapis

Untuk menghitung besarnya nilai tegangan vertikal diperlukan grafik. Sedangkan untuk menghitung besarnya nilai tegangan horisontal diperlukan tabel tegangan faktor. Dalam menghitung nilai tegangan, baik vertikal maupun horisontal pada grafik dan diperlukan nilai yang didapatkan dari **Persamaan 3.32** sampai dengan **3.35**.

$$K_1 = \frac{E_1}{E_2} \dots\dots\dots (3.32)$$

$$K_2 = \frac{E_2}{E_3} \dots\dots\dots (3.33)$$

$$A = \frac{\alpha}{b_2} \dots\dots\dots (3.34)$$

$$H = \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots (3.35)$$

Dalam menentukan  $\sigma_{z1}$  dan  $\sigma_{z2}$  diperlukan grafik. Dari grafik tersebut didapat nilai faktor tegangan (ZZ1 atau ZZ2) yang didapatkan dengan memasukkan beberapa parameter. Untuk perhitungan tegangan vertikal digunakan rumus **Persamaan 3.36** sampai dengan **Persamaan 3.37**.

$$\sigma_{z1} = p(ZZ1) \dots \dots \dots (3.36)$$

$$\sigma_{z2} = p(ZZ2) \dots \dots \dots (3.37)$$

Sedangkan untuk tegangan horizontal  $\sigma_{z1}$ ,  $\sigma_{z2}$  dan  $\sigma_{z3}$  dapat diperoleh juga dari tabel. Pada tabel tersebut didapatkan nilai (ZZ1 – RR1), (ZZ2 – RR2) dan (ZZ3 – RR3) maka diperlukan rumus pada **Persamaan 3.39** dan **3.40**.

$$\sigma_{z1} - \sigma_{r1} = p(ZZ1) \dots \dots \dots (3.38)$$

$$\sigma_{z2} - \sigma_{r1} = p(ZZ2) \dots \dots \dots (3.39)$$

Untuk menghitung regangan tarik horizontal di bawah lapisan permukaan menggunakan **Persamaan 3.40**.

$$E_{r1} = \frac{1}{2E_1} (\sigma_{r1} - \sigma_{z1}) \dots \dots \dots (3.40)$$

## 2. 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 permukaan 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 ialah:

a. Parameter Setiap Lapisan

Parameter setiap lapisan yang dimaksud antara lain sebagai berikut :

1) Modulus Elastisitas

Elastis adalah dapat kembalinya suatu bahan ke bentuk aslinya setelah diregangkan atau ditekan. Modulus elastisitas adalah perbandingan antar tegangan dan regangan suatu benda. Modulus elastisitas dapat juga disebut dengan Modulus Young dan dilambangkan dengan E. Untuk mengetahui nilai Modulus elastisitas dapat menggunakan **Persamaan 3.41**.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3.41)$$

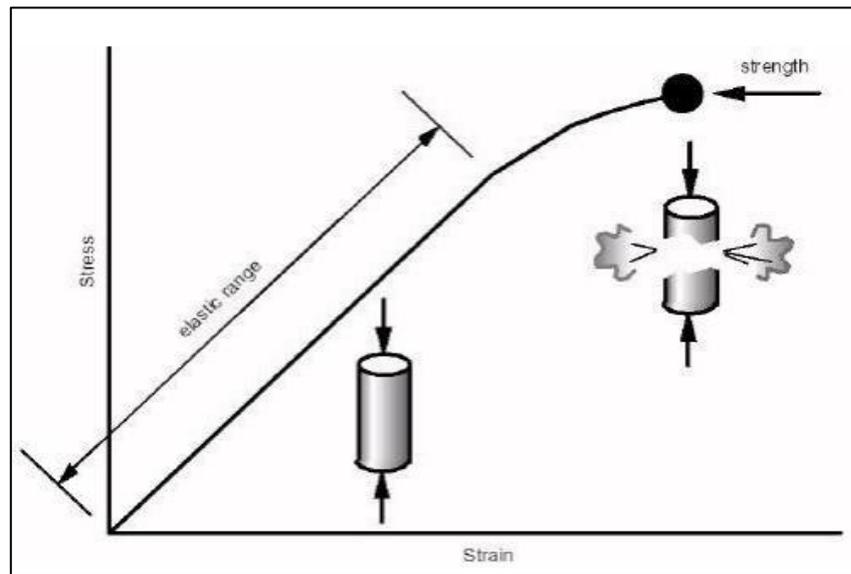
Dimana :

E = Modulus Elastisitas, Kpa atau Psi

$\tau$  = Tegangan, Kpa

$\varepsilon$  = Regangan

Modulus elastisitas suatu bahan memiliki batas tegangan dan regangan elastisitasnya yang dapat dilihat pada **Gambar 3.23**.



Sumber : Siegfried, 2012

**Gambar 3.23** Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan

Pada gambar tersebut terlihat batas elastisitas ialah suatu ukuran dari seberapa baik suatu bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya. Untuk nilai modulus elastisitas untuk beberapa jenis bahan perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 3.25**.

**Tabel 3.25** Nilai Modulus Elastisitas berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
<i>Cement Treated Granular Base</i>	$1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$	$7 \times 10^6 - 14 \times 10^6$
<i>Cement Aggregate Mixtures</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>	$15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$	$105 \times 10^3 - 315 \times 10^3$
<i>Fine Grained or Natural Subgrade Material</i>	$3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	$21 \times 10^3 - 28 \times 10^4$

Sumber : Huang, 2004

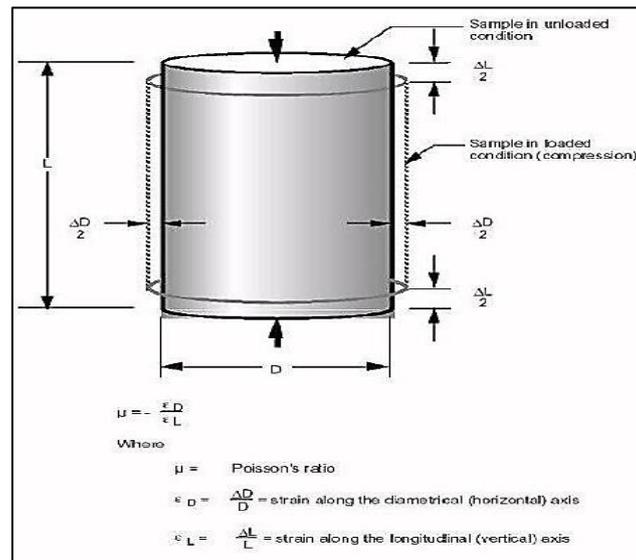
## 2) Poisson Ratio

Poisson ratio merupakan salah satu parameter penting dalam menganalisa elastis dari sistem perkerasan jalan. Perbandingan poisson digambarkan sebagai rasio garis melintang sampai regangan bujur dari satu spesimen yang dibebani. Konsep ini digambarkan di pada **Gambar 3.24**. Perbandingan nilai poisson ratio dapat berubah-ubah dari 0 sampai sekitar 0,5 (artinya tidak ada volume berubah setelah dibebani). Untuk nilai *poisson ratio* dapat dilihat pada **Tabel 3.26** berdasarkan jenis bahan perkerasannya.

**Tabel 3.26** Nilai *Poisson Ratio* berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

<b>Material</b>	<b><i>Poisson Ratio</i></b>
<i>Portland Cement Concrete</i>	0,15 – 0,20
<i>Hot Mix Asphalt</i>	0,30 – 0,40
<i>Untreated Granular Materials</i>	0,30 – 0,40
<i>Cement Treated Granular Materials</i>	0,10 – 0,20
<i>Cement Treated Fine Grained Soils</i>	0,15 – 0,35
<i>Lime Stabilized Materials</i>	0,10 – 0,25
<i>Lime Flyash Mixture</i>	0,10 – 0,15
<i>Loose Sand or Silty Sand</i>	0,20 – 0,40
<i>Dense Sand</i>	0,30 – 0,45
<i>Fine Grained Soils</i>	0,30 – 0,50
<i>Saturated Soft Clays</i>	0,40 – 0,50

Sumber : Huang, 2004

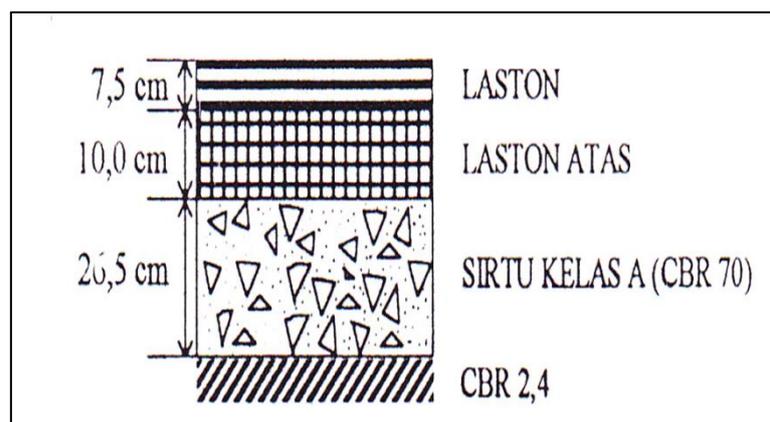


Sumber : Siegfried, 2012

**Gambar 3.24** Konsep *Poisson Ratio*

b. Ketebalan Setiap Lapisan

Ketebalan setiap lapisan diperlukan dalam teori sistem lapis banyak sebagai input dalam penyelesaian menggunakan program. Ketebalan setiap lapis dinyatakan dalam satuan cm atau *inch*. Untuk lapisan perkerasan lentur dapat dilihat pada **Gambar 3.21**.



**Gambar 3.21** Contoh Lapisan pada Perkerasan Lentur

c. Kondisi Beban

Kondisi beban terdiri dari 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  $q$  dan nilai  $d$  dapat ditentukan berdasarkan data spesifikasi teknis dari kendaraan yang digunakan. Nilai  $P$  dipengaruhi oleh muatan yang diangkut oleh kendaraan, sehingga pada sumbu roda belakang dan sumbu depan berbeda. Dengan metode analitis kedua beban sumbu roda depan dan belakang dapat dianalisis bersamaan. Analisis struktural perkerasan dilakukan pada langkah selanjutnya memerlukan bidang kontak,  $a$  (mm, *inch*) antara roda bus dan permukaan perkerasan yang dianggap berbentuk lingkaran yang dapat dihitung berdasarkan **Persamaan 3.42**.

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi x q}} \dots\dots\dots (3.42)$$

Dimana :

- $a$  = Jari-jari bidang kontak, mm
- $P$  = Beban kendaraan, KN/Lbs
- $q$  = Tekanan ban, Kpa/Psi

Nilai yang dihasilkan pada permodelan lapis perkerasan dengan sistem lapis banyak sebagai berikut :

- a. Tegangan  
Yaitu intensitas internal di dalam struktur perkerasan pada berbagai titik. Tegangan satuan gaya per daerah satuan ( $N/m^2$ , Pa atau Psi).
- b. Regangan  
Yaitu menyatakan rasio perubahan bentuk dari bentuk asli (mm/mm atau *inch/inch*). Hal ini, dikarenakan di dalam perkerasan adalah sangat kecil dan dinyatakan dalam *microstrain* ( $10^{-6}$ ).
- c. Defleksi atau Lendutan  
Yaitu perubahan linear dalam suatu bentuk yang dinyatakan dalam satuan (*inch* atau mm).

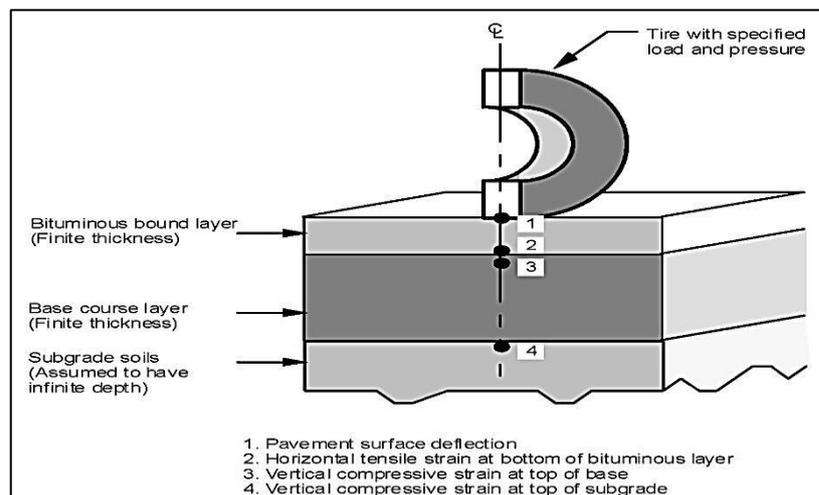
Penggunaan program komputar dalam analisis lapisan elastis akan memudahkan untuk menghitung tegangan, regangan dan defleksi pada beberapa titik dalam suatu struktur perkerasan.

Beberapa titik penting yang biasa digunakan dalam analisa perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 3.27** dan **Gambar 3.25**.

**Tabel 3.27** Analisa Struktur Lapisan Perkerasan

Lokasi	Respon	Analisa Struktur Perkerasan
Lapisan Permukaan Perkerasan	Defleksi	Digunakan dalam desain lapis tambah ( <i>overlay</i> )
Bagian Bawah Lapisan Perkerasan	Regangan Tarik Horizontal	Digunakan untuk memprediksi retak fatigue pada lapis permukaan
Bagian Atas Tanah Dasar atau Bagian Bawah Lapis Pondasi Bawah	Regangan Tekan Vertikal	Digunakan untuk memprediksi kegagalan <i>rutting</i> yang terjadi.

Sumber : Fadhlán, 2013



Sumber : National Cooperative Highway Research Program, 2004

**Gambar 3.25** Lokasi Analisa Struktur Perkerasan

## H. Analisa Kerusakan Perkerasan

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 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 ( $N_f$ ) 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 dan persamaan yang dirumuskan oleh Finn et al.

### 1. Retak Lelah (*Fatigue Cracking*)

Kerusakan retak lelah diakibatkan oleh beban yang berulang yang dialami oleh lapis permukaan perkerasan jalan. Pembebanan ulang yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan dapat menimbulkan *cracking* walaupun tegangan yang terjadi masih di bawah batas *ultimate*-nya. Untuk material perkerasan, beban berulang berasal dari lintasan beban ( $\sigma$ ) kendaraan yang terjadi secara terus menerus, dengan intensitas yang berbeda-beda dan bergantung kepada jenis kendaraan dan terjadi secara random.

#### a. Model Retak *The Asphalt Institute* (1982)

Persamaan retak fatik perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan dihitung dengan **Persamaan 3.43**.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon t)^{-3,291} (E_{AC})^{-0,854} \dots\dots\dots (3.43)$$

$N_f$  = jumlah repetisi beban

$\epsilon t$  = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan

$E_{AC}$  = modulus elastis lapis permukaan

b. Model Retak *Finn et al*

Persamaan untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan pada **Persamaan 3.44**.

$$\text{Log } N_f = 15,947 - 3,291 \log \frac{\epsilon t}{10^{-6}} - 0,854 \log \frac{E}{10^3} \dots \dots \dots (3.44)$$

$N_f$  = jumlah repetisi beban

$\epsilon t$  = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan

$E$  = modulus elastisitas lapis permukaan

2. Alur (*Rutting*)

Alur yang terjadi pada lapis permukaan jalan, merupakan akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapis beraspal, lapis agregat (pondasi) dan lapis tanah dasar. Kriteria alur merupakan kriteria kedua yang digunakan dalam Metoda Analitis-Mekanistik, untuk menyatakan keruntuhan struktur perkerasan akibat beban berulang. Nilai alur maksimum harus dibatasi, agar tidak membahayakan bagi pengendara saat melalui lokasi *rutting* tersebut, terutama pada kecepatan tinggi.

Deformasi plastis pada campuran beraspal, akibat pembebanan berulang, dapat diukur di laboratorium menggunakan beberapa macam alat. Sedangkan "*total rutting*" harus dihitung untuk seluruh struktur perkerasan, mulai dari lapis permukaan, lapis pondasi sampai lapis tanah dasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 65% dari "*total rutting*" diakibatkan oleh penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tanah dasar, sehingga *critical value* kedua dalam Metoda Analitis Mekanistik adalah "*compression strain*" yang terjadi pada titik teratas dari lapis tanah dasar. Deformasi permanen dapat diketahui setiap lapisan dari struktur, membuat lebih sulit untuk memprediksi dibanding retak lelah. Ukuran-ukuran kegagalan yang ada dimaksudkan untuk alur bahwa dapat ditunjukkan kebanyakan pada suatu struktur perkerasan yang lemah. Ini adalah pada umumnya dinyatakan dalam kaitannya dengan menggunakan istilah

regangan vertikal ( $\epsilon_v$ ) yang berada di atas dari lapisan tanah dasar (Fadhlan, 2013).

a. Model *Rutting The Asphalt Institute* (1982)

Persamaan untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah dengan **Persamaan 3.45**.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} \dots\dots\dots (3.45)$$

$N_d$  = jumlah repetisi beban

$\epsilon_c$  = regangan tekan pada bagian bawah lapis pondasi bawah

b. Model *Rutting Finn et al*

Finn et al mengembangkan model *rutting* ini untuk perkerasan lentur dengan menggunakan jumlah repetisi beban 18-Kip ESAL, tegangan tekan vertikal, dan defleksi permukaan dihitung dengan **Persamaan 3.46**.

$$N_d = 1,077 \times 10^{18} \frac{10^{-64,4843}}{\epsilon_c} \dots\dots\dots (3.46)$$

$N_d$  = jumlah repetisi beban

$\epsilon_c$  = regangan tekan pada bagian bawah lapis pondasi bawah

## I. Program KENPAVE

Program Kenpave merupakan program yang menganalisa tebal perkerasan jalan dari tanah dasar, lapis pondasi hingga lapis permukaan jalan. Program ini sendiri dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E. *Professor Emeritus* dari *Civil Engineering University of Kentucky*. Program KENPAVE ini hanya dapat dijalankan dalam *Operating System* versi Windows 95 sampai Windows XP Professional *Service Park 2*. Untuk *Operating System* di atasnya seperti Windows Vista dan Windows 7 program KENPAVE dapat diinstall dan dijalankan akan tetapi tidak akan berjalan dengan baik karena program ini dibuat untuk *Operating System* versi lama.

Program KENPAVE memiliki 4 (empat) pilihan utama yaitu LAYERINP, KENLAYER, SLABSINP dan KENSLABS, selain itu ada beberapa menu

tambahan untuk *running* program. Untuk menganalisa perkerasan lentur menu yang digunakan ialah LAYERINP dan KENLAYER sedangkan untuk menganalisa perkerasan kaku menggunakan menu SLABSINP dan KENSLABS. Untuk menganalisa perkerasan lentur dan perkerasan kaku Program KENPAVE jauh lebih mudah dari program lainnya. Hal ini dikarenakan Program KENPAVE membutuhkan data karakteristik dan material dari suatu perkerasan jalan, seperti modulus elastisitas, *poisson ratio*, beban roda, tekanan ban dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang dibutuhkan.

Adapun langkah-langkah mengoperasikan program kenpave sebagai berikut.

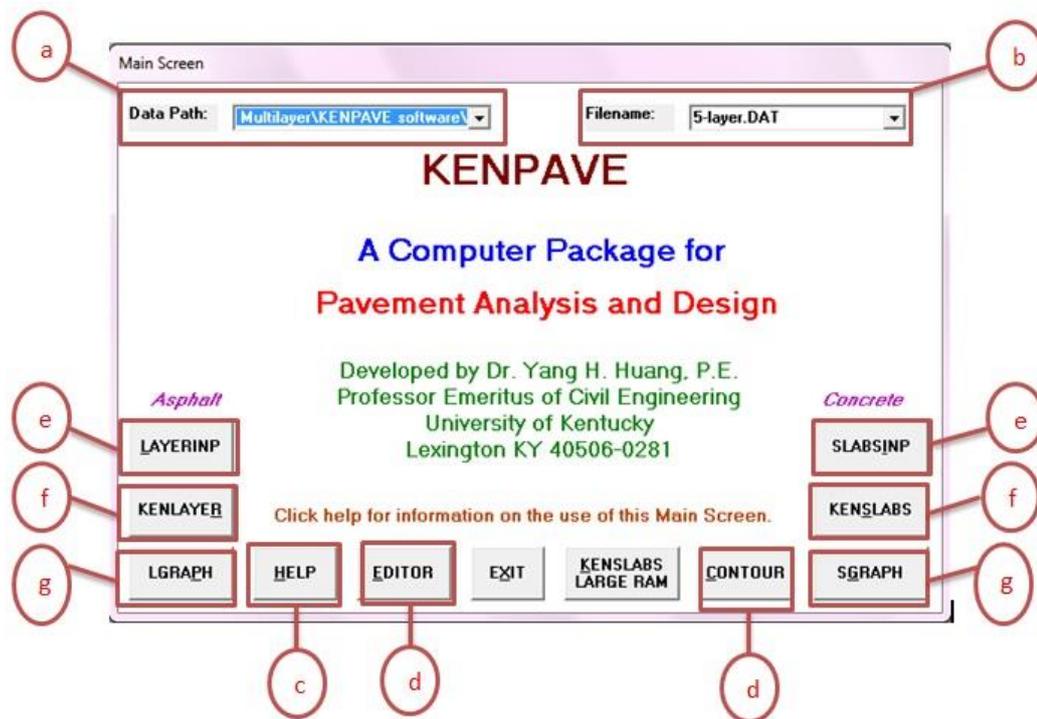
1. Membuka Program KENPAVE

Untuk langkah – langkah membuka program dapat dilihat pada **Gambar 3.16** dengan keterangan sebagai berikut.

- a. Klik *Start*.
- b. Klik *All Programs*
- c. Klik KENPAVE
- d. Klik KENPAVE
- e. Tampilan utama Program KENPAVE akan muncul.

2. Tampilan Utama Program KENPAVE

Pada tampilan utama Program KENPAVE terdiri dari beberapa menu, 2 (dua) dibagian atas dan 11 (sebelas) dibagian bawah terlihat pada **Gambar 3.26** dengan keterangan sebagai berikut.



**Gambar 3.26** Menu Utama Program KENPAVE

a. Data Path

Merupakan direktori tempat penyimpanan data, biasanya *Data Path default* berisikan C:\KENPAVE\ dikarenakan lokasi penginstalan.

b. Filename

Merupakan nama *file* yang akan dibuat dalam menganalisa menggunakan LAYERINP atau SLABSINP. Pada *Filename* tidak wajib mengisi nama di kotak *Filename* karena *file* yang dibuat akan otomatis ada pada menu *Filename*. Semua *file* data harus memiliki ekstensi DAT. Nama *file* yang ditampilkan dalam kotak juga akan digunakan dalam *file* lain yang dihasilkan selama pelaksanaan KENLAYER atau KENSLABS. Untuk *file* yang ada untuk di *edit*, dapat mengetikkan nama file atau menggunakan daftar *drop-down box* untuk menemukan nama *file*.

c. Help

Pada menu *help* yaitu bantuan yang menjelaskan parameter *input* dan penggunaan yang tepat dari program. *Textbox* dan bentuk data yang kebanyakan berada pada layar yang sama. Beberapa menu memiliki menu *help* atau tombol yang harus diklik jika ingin membacanya. Menu *help* sangat membantu dalam menjalankan program ini, karena pada setiap menu yang baru akan ada penjelasan sehingga lebih memudahkan pengguna dalam menggunakan program.

d. Editor

Menu editor dapat digunakan untuk memeriksa, mengedit, dan cetak data *file*. Untuk pengguna pemula dengan pengaturan *file* data, penggunaan LAYERINP atau SLABINP sebagai *editor* sangat dianjurkan. Jika pengguna yang berpengalaman, mungkin ingin membuat beberapa perubahan sederhana dalam *file* data dengan EDITOR karena dapat memasukkan *file* lebih cepat dan melihat isi dari seluruh *file*, bukan melalui serangkaian layar dengan menggunakan LAYERINP atau SLABSINPExit. Setelah semua analisis yang diinginkan telah selesai, klik 'EXIT' untuk menutup KENPAVE.

e. Layerinp dan Slabsinp

LAYERINP atau SLABSINP digunakan untuk membuat data *file* sebelum KENLAYER atau KENSLABS dapat dijalankan.

f. Kenlayer dan Kenslabs

KENLAYER atau KENSLABS merupakan program utama untuk analisis perkerasan dan dapat dijalankan hanya setelah *file* data telah diisi. Program ini akan membaca dari *file* data dan memulai eksekusi. Selama eksekusi, beberapa hasil akan muncul di layar untuk memberi tahu bahwa program ini berjalan.

g. LGRAPH atau SGRAPH

LGRAPH atau SGRAPH dapat digunakan untuk menampilkan grafik rencana dan penampang perkerasan dengan beberapa informasi tentang *input* dan *output*.

h. Contour

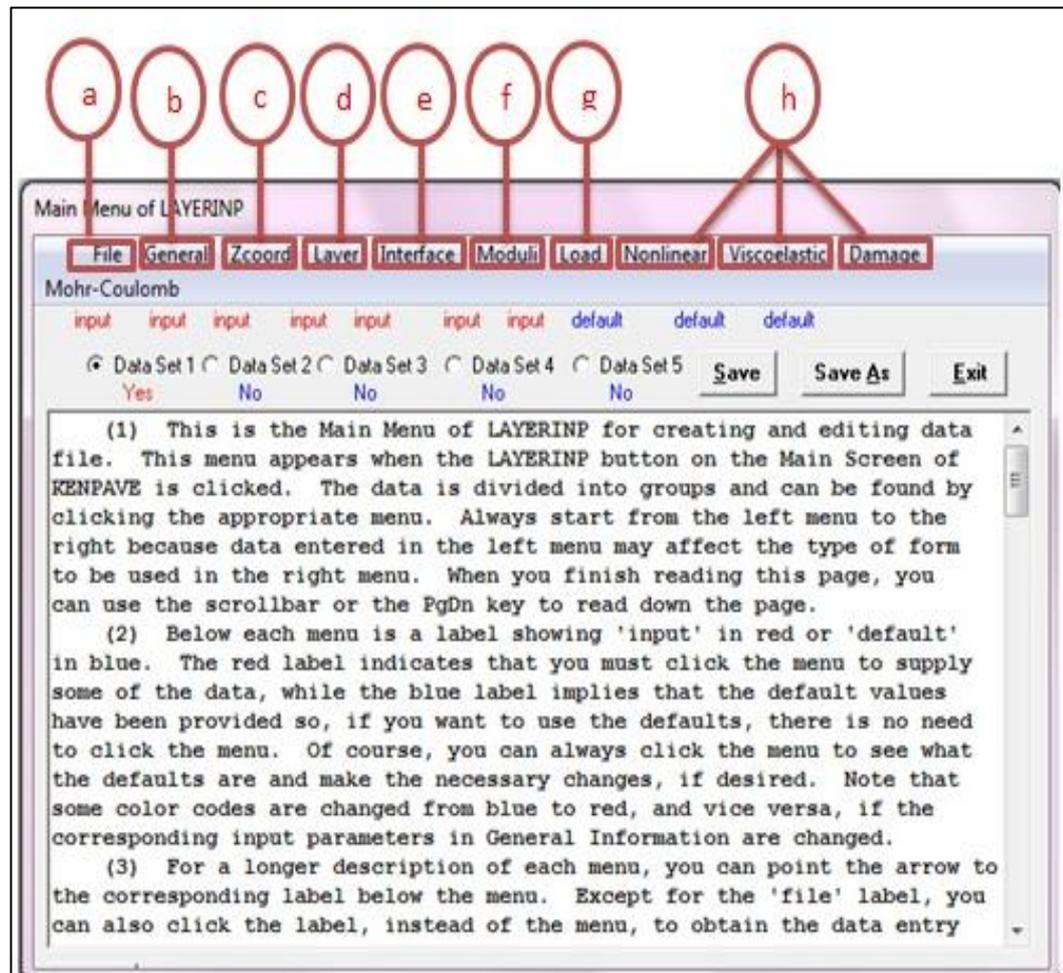
Menu ini berguna untuk plot kontur tekanan atau momen dalam arah x atau y, plot contour adalah untuk perkerasan kaku.

### 3. Program KENLAYER

Program KENLAYER adalah program yang digunakan untuk perkerasan lentur yang menentukan rasio kerusakan menggunakan model tekanan (*distress model*). *Distress model* dalam KENLAYER adalah retak dan deformasi, maksudnya ialah *output* regangan yang dianalisa menggunakan Kenlayer sehingga menghasilkan retak dan deformasi dalam suatu perancangan perkerasan jalan. Salah satunya adalah regangan tarik horisontal pada bawah lapisan perkerasan yang menyebabkan kelelahan retak dan regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar yang menyebabkan deformasi permanen atau *rutting*.

Program KENLAYER menganalisa perkerasan jalan dengan tipe perkerasan berbeda seperti *linear*, *non linear*, *viscoelastis* dan kombinasi dari ketiganya. Selain itu program ini juga bisa menganalisa beban sumbu kendaraan yaitu, sumbu tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu triple. Untuk menginput data pada KENLAYER melalui menu LAYERINP.

Pada menu LAYERINP terdapat 11 (sebelas) menu seperti **Gambar 3.27** untuk menginput data dengan keterangan sebagai berikut.



**Gambar 3.27** Menu Utama pada LAYENRIP

a. File

Berfungsi sebagai memilih *file* yang akan diinput, *new* untuk *file* yang baru dan *old* untuk *file* yang lama.

b. General

Untuk menu General terdapat beberapa menu terlihat pada **Gambar 3.28** dengan keterangan sebagai berikut.

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 detatiled 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

OK

Data Set .

Print

(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 3.28** Data Input pada Menu General

- 1) Title : Judul dari analisa perkerasan
- 2) MATL : Tipe dari material (1) jika seluruh material lapisan linear elastis, (2) jika material lapisan non linear elastis, (3) jika material lapisan viscoelastis, dan (4) jika material lapisan kombinasi dari ketiga lapisan.
- 3) NDAMA : Menganalisa kerusakan. (0) jika tidak ada analisis kerusakan, (1) terdapat kerusakan pada analisis, dan (2) tidak terdapat kerusakan pada analisis.

- 4) DEL : Akurasi hasil analisa. Standar akurasi 0,001.
- 5) NL : Jumlah lapisan, maksimum 19 lapisan.
- 6) NZ : Letak koordinat arah Z yang ingin dianalisa. Jika NDAMA = 1 atau 2, maka NZ = 0, hal ini dikarenakan program akan menganalisa di koordinat yang mengalami kerusakan.
- 7) NSTD : (1) untuk vertikal *displacement*, (5) untuk *vertical displacement* dan nilai tegangan, dan (9) untuk vertikal displacement, nilai tegangan dan regangan.
- 8) NBOUND : (1) jika antar semua lapisan saling terhubung / terikat, (2) jika tiap antar lapisan tidak terikat atau gaya geser diabaikan.
- 9) NUNIT : Satuan yang digunakan. (0) Satuan English, dan (1) Satuan International. Dengan keterangan satuan terlihat pada **Tabel 3.28**.

**Tabel 3.28** Keterangan Satuan yang digunakan

Satuan	Satuan English	Satuan Internasional
Panjang	Inch	cm
Tekanan	Psi	kPa
Modulus	Psi	kPa

c. Zcoord

Jumlah poin yang ada dalam menu Zcoord sama dengan jumlah NZ pada menu General. Menu Zcoord dapat dilihat pada **Gambar 3.29**, dengan keterangan sebagai berikut.

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

OK

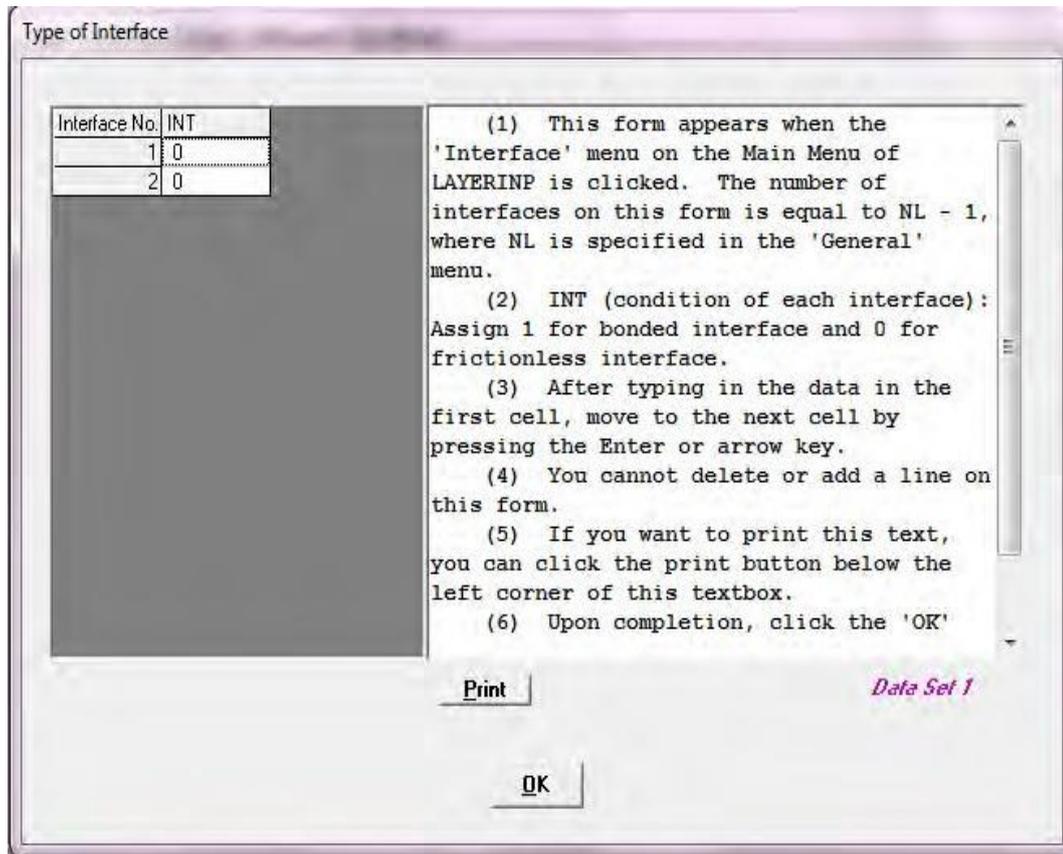
**Gambar 3.29** Data *Input* pada Menu Zcoord

- 1) Unit : Nomor titik sesuai dengan jumlah titik yang ingin dianalisa.
- 2) ZC : Jarak vertikal atau jarak dalam arah Z dimana jarak tersebut yang akan dianalisa oleh program.

d. Layer

Jumlah layer yang ada dalam menu Layer sama dengan jumlah NL pada menu General. Menu Layer dapat dilihat pada **Gambar 3.30**, dengan keterangan sebagai berikut.

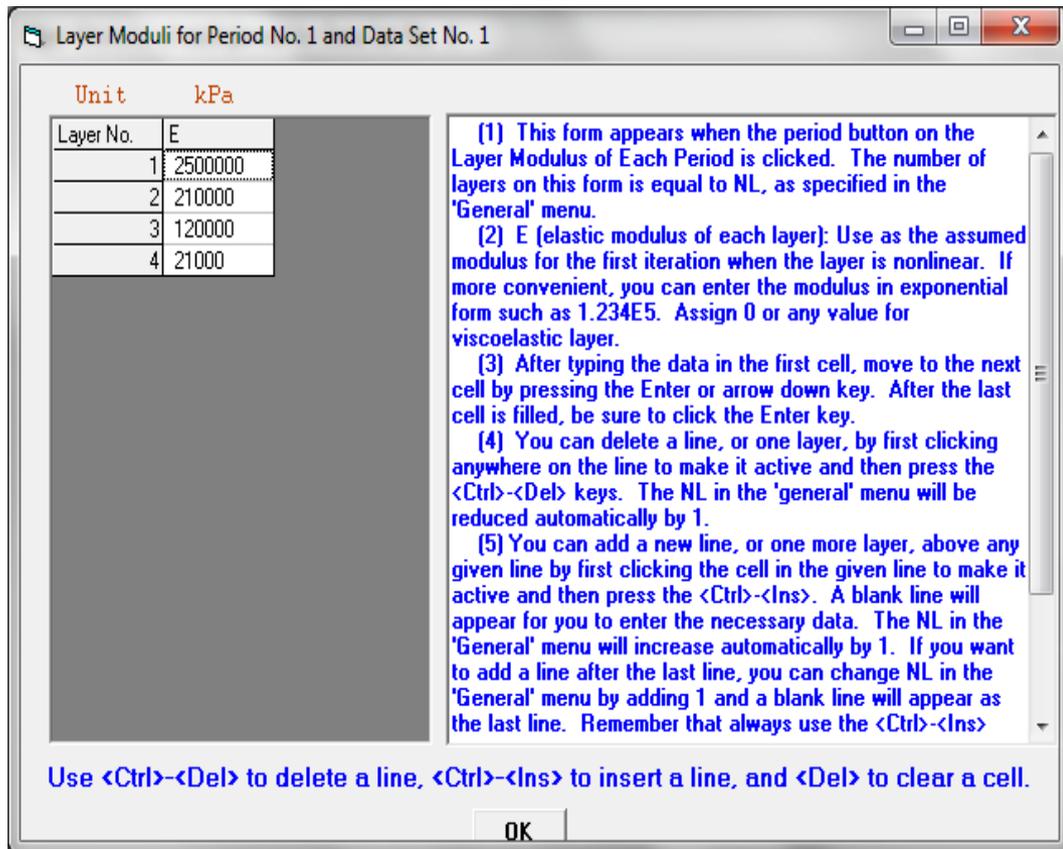




**Gambar 3.31** Data *Input* pada Menu *Interface*

f. Moduli

Jumlah period dalam menu Moduli sama dengan jumlah NPY dalam menu General. Maksimal period pada menu ini adalah 12. Menu Moduli dapat dilihat pada **Gambar 3.32**, dengan keterangan sebagai berikut.



**Gambar 3.32** Data *Input* pada Menu *Moduli*

- 1) Unit : Nomor titik sesuai dengan jumlah lapisan.
- 2) E : Modulus elastisitas tiap layer.

g. Load

Jumlah unit yang ada dalam menu Load sama dengan jumlah NLG dalam menu General. Menu Load dapat dilihat pada **Gambar 3.33**, dengan keterangan sebagai berikut.

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>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> 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 3.33** Data Input pada Menu Load

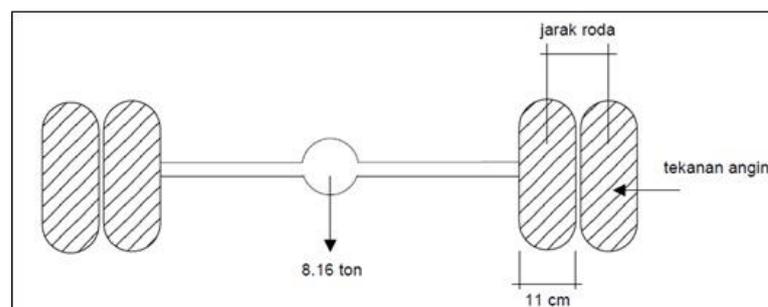
- 1) Load : Jika nilai 0 (nol) untuk sumbu tunggal roda tunggal, 1 (satu) untuk sumbu tunggal roda ganda, 2 (dua) untuk sumbu tandem, 3 (tiga) untuk sumbu triple.
  - 2) CR : Radius kontak pembebanan.
  - 3) CP : Nilai beban.
  - 4) YW : Jarak antar roda arah y.
  - 5) XW : jarak antar roda arah x.
- Jika kolom Load = 0, maka kolom YW dan XW = 0. Kolom.
- 6) NR atau NPT : Jumlah pengulangan beban berdasarkan jumlah *Tire Spacing*.
  - 7) Tire Spacing : Jarak tinjauan ban.

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

#### 4. Input Data ke Program KENLAYER

Untuk program KENLAYER data yang dimasukkan ialah 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 dengan perhitungan tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga 1987 dan Metode AASHTO 1993. Modulus elastisitas didapatkan dengan menggunakan **Persamaan 3.24** untuk lapis pondasi. Untuk nilai *poisson ratio* didapat **Tabel 3.27**, sedangkan untuk nilai kondisi beban terdiri dari data beban roda (P), data tekanan ban (q), data jarak antar roda ganda (d) dan data jari-jari bidang kontak (a) yang dapat dilihat pada **Gambar 3.34**.



Sumber : Fadhlán, 2013

**Gambar 3.34** Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia

Penelitian ini digunakan data kondisi beban terberat yang melewati jalan yaitu kendaraan semi trailer roda ganda tinjauan berdasarkan data penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang disajikan pada **Tabel 3.30**.

Tabel 3.29 Data *Input* pada menu Load

Jenis Kendaraan	Beban 1 Roda (Pd)	Loa d	CR (a)																			CP	YW	XW (Sd)	NR or NPT	
	kg		cm	Tire Spacing																						kPa
				1	2	3	4	5	6	7	8	9														
Sedan	500	0	7,67	0	0	0	3,83	0	7,67														265,65	0	0	3
Pick up	1.310	0	12,41	0	0	0	6,21	0	12,41														265,65	0	0	3
Pick up	2.545	0	10,45	0	0	0	5,22	0	10,45														728,64	0	0	3
Mini Bus	1.410	0	6,96	0	0	0	3,48	0	6,96														910,80	0	0	3
Bus Kecil	1.370	1	7,67	0	0	0	7,67	0	15,24														728,64	30,48	0	3
Bus Besar	1.530	0	7,25	0	0	0	3,62	0	7,25														728,64	0	0	3
Bus Besar	1.485	1	7,98	0	0	0	7,98	0	15,24														728,64	30,48	0	3
Truk 2 sumbu 4 Roda	2.740	0	10,84	0	0	0	5,42	0	10,84														728,64	0	0	3
Truk 2 Sumbu 6 Roda	2.575	0	10,51	0	0	0	5,25	0	10,51														728,64	0	0	3
Truk 2 Sumbu 6 Roda	2.500	1	10,36	0	0	0	10,36	0	15,24														728,64	30,48	0	3
Truk 3 Sumbu Roda Tunggal	3.125	0	11,58	0	0	0	5,79	0	11,58														728,64	0	0	3
Truk 3 Sumbu Roda Ganda	2.345	2	8,97	0	0	0	8,97	0	65,53	0	32,77	32,77	8,97	32,77	65,53	0	65,53	65,53	8,97	65,53	65,53	910,80	30,48	131,0 64	9	
Truk Gandeng Roda Tunggal	2.823	0	9,84	0	0	0	4,92	0	9,84														910,80	0	0	3
Truk Gandeng Roda Ganda	2.198	1	8,68	0	0	0	8,68	0	15,24														910,80	30,48	0	3
Truk Gandeng Roda Ganda	2.120	1	8,53	0	0	0	8,53	0	15,24														910,80	30,48	0	3
Truk Semi Trailer Roda Tunggal	1.505	0	7,19	0	0	0	3,59	0	7,19														910,80	0	0	3
Truk Semi Trailer Roda Ganda	2.500	2	9,26	0	0	0	9,26	0	65,53	0	32,77	32,77	9,26	32,77	65,53	0	65,53	65,53	9,26	65,53	65,53	910,80	30,48	131,0 64	9	
Truk Semi Trailer Roda Ganda	1.805	2	7,87	0	0	0	7,87	0	65,53	0	32,77	32,77	7,87	32,77	65,53	0	65,53	65,53	7,87	65,53	65,53	910,80	30,48	131,0 64	9	

#### 5. *Output* Data dari Program KENLAYER

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*.

Dalam penelitian ini *output* data yang digunakan yaitu *horizontal principal strain* dan *vertical strain* untuk menghitung jumlah repetisi beban berdasarkan analisa kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*.

#### 6. Analisa Repetisi Beban berdasarkan Hasil *Output* Program KENLAYER

Setelah didapatkan hasil *output running* program KENLAYER diperoleh hasil tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur perkerasan. Hasil nilai regangan tarik horizontal di bawah lapisan permukaan perkerasan jalan digunakan untuk menentukan jumlah repetisi beban  $N_f$  dan hasil nilai regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah atau permukaan tanah dasar dapat digunakan untuk menentukan  $N_d$ .

Nilai  $N_f$  dan  $N_d$  diperiksa dengan nilai  $N_{rencana}$  yang telah direncanakan, jika  $N_f$  atau  $N_d$  lebih besar dari  $N_{rencana}$  maka tebal perkerasan dapat menahan beban lalu lintas yang direncanakan, jika nilai  $N_f$  atau  $N_d$  lebih kecil dari  $N_{rencana}$  maka tebal perkerasan tidak mampu menahan beban lalu lintas yang direncanakan.