BAB III
LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Umum

Menurut Sukirman (1999), perencanaan tebal perkerasan lentur jalan baru umumnya dapat dibedakan atas 2 metode yaitu :

1. Metode Empiris

Metode ini dikembangkan berdasarkan pengalaman dan penelitian dari jalan-jalan yang dibuat khusus untuk penelitian atau dari jalan yang sudah ada. Terdapat banyak metode empiris yang telah dikembangkan oleh berbagai Negara, seperti :

a. Metode AASHTO, Amerika Serikat, yang telah mengalami perubahan terus menerus sesuai dengan penelitian yang diperoleh. Perubahan terakhir dilakukan pada edisi 1986 yang dapat dibaca pada buku AASHTO "*Guide For Design of Pavement Structures* 1986".
b. Metode Bina Marga, Indonesia, yang merupakan modifikasi dari metode AASHTO 1972 revisi 1981. Modifikasi ini dilakukan untuk penyesuaian dengan kondisi alam, lingkungan, sifat tanah dasar, dan jenis lapis perkerasan yang umum dipergunakan di Indonesia. Edisi terakhir dari metode Bina Marga dikeluarkan tahun 2013, yaitu "Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013" .
c. Metode NAASRA, Australia, yang dapat dibaca pada "*A Guide to the Structural Design of Road Pavements*".
d. Metode *Road Note* 29, Inggris.
e. Metode *Road Note* 31, Inggris, metode ini dikeluarkan oleh TRRL khusus untuk perencanaan tebal perkerasan lentur di Negara-negara beriklim subtropis dan tropis.
f. Metode *Asphalt Institute*, yang dapat dibaca pada "*Thickness Design Asphalt Pavements for Highways and Streets, MS-1*".

2. Metode Teoritis

Metode ini dikembangkan berdasarkan teori matematis dari sifat tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan akibat beban berulang dari lalu lintas. Metode teoritis yang umum dipergunakan saat ini berdasarkan teori elastik (*elastic layered theory*). Teori ini membutuhkan nilai modulus elastisitas dan *Poisson Ratio* dari setiap lapisan perkerasan.

B. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisa Komponen SKBI 1987 Bina Marga

Di dalam Analisa Komponen SKBI 1987 dijelaskan mengenai perencanaan kontruksi lapisan perkerasan lentur jalan raya. Parameter desain yang digunakan dalam perncanaan tebal perkerasan lentur jalan raya adalah sebagai berikut :

1. Lalu Lintas

a. Jumlah Jalur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jalur rencana merupakan salah satu jalur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas jalur, maka jumlah jalur ditentukan dari lebar perkerasan menurut daftar di bawah ini :

Tabel 3.1 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
L < 5,50 m	1 jalur
5,50 m ≤ L < 8,25 m	2 jalur
8,25 m ≤ L < 11,25 m	3 jalur
11,25 m ≤ L < 15,00 m	4 jalur
15,00 m ≤ L < 18,75	5 jalur
18,75 m ≤ L < 22,00 m	6 jalur

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut daftar di bawah ini :

Tabel 3.2 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 lajur	1,00	1,00	1,00	1,000
2 lajur	0,60	0,50	0,70	0,500
3 lajur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 lajur	-	0,30	-	0,450
5 lajur	-	0,25	-	0,425
6 lajur	-	0,20	-	0,400

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

Catatan :

*) berat total < 5 ton, misalnya mobil penumpang, pick up, mobil hantaran.

**) berat total > 5 ton, misalnya bus, truk, traktor, semi trailer, trailer

a. Angka Ekivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Angka Ekivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus di bawah ini :

1) Untuk sumbu tunggal

$$E = \left(\frac{\text{Beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right)^4$$

2) Untuk sumbu ganda

$$E = 0{,}086 \left(\frac{\text{Beban satu sumbu ganda dalam Kg}}{8160} \right)^4$$

3) Untuk sumbu triple

$$E = 0{,}053 \left(\frac{\text{Beban satu sumbu triple dalam Kg}}{8160} \right)^4$$

Namun dalam perhitungan nanti rumus sumbu triple tidak digunakan, karena sumbu kendaraan yang tercakup dalam pembahasan penelitian ini hanya sampai pada kendaraan sumbu ganda. Angka ekivalen juga bisa dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.3 Angka Ekivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekivalen	
Kg	Lb	Sumbu tunggal	Sumbu ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

b. Lalu Lintas Harian Rata-rata dan Rumus-rumus Lintas Ekivalen

1) Lalu Lintas Harian Rata-rata (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.

2) Lintas Ekivalen Permulaan (LEP) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LEP = \sum_{j=1}^{n} LHR_j \times C_j \times E_j \quad \text{.....(3.1)}$$

Catatan : j = jenis kendaraan

3) Lintas Ekivalen Akhir (LEA) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LEA = \sum_{j=1}^{n} LHR_j\ (1+i)^{UR} \times C_j \times E_j \quad \text{……..…..(3.2)}$$

Catatan : i = perkembangan lalu lintas

j = jenis kendaraan

4) Lintas Ekivalen Tengah (LET) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LET = \tfrac{1}{2} \times (LEP + LEA) \quad \text{…….……..(3.3)}$$

5) Lintas Ekivalen Rencana (LER) dihitung dengan rumus sebgaai berikut :

$$LER = LET \times FP \quad \text{…….(3.4)}$$

Faktor penyesuaian (FP) tersebut di atas ditentukan dengan rumus :

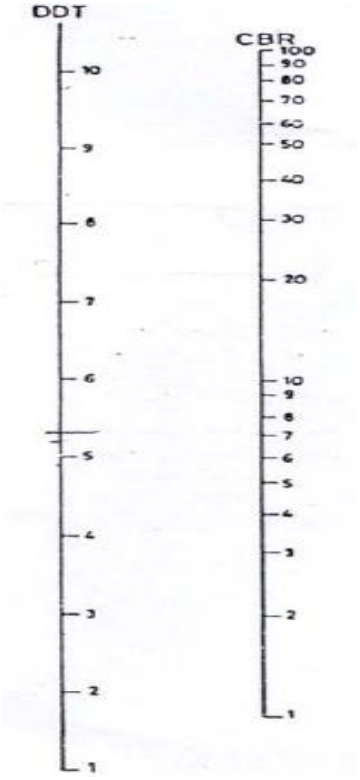
$$FP = UR/10 \quad \text{……..(3.5)}$$

2. Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi (Gambar 3.1). Yang dimaksud dengan harga CBR disini adalah harga CBR lapangan atau CBR laboratorium.

Jika digunakan CBR lapangan maka pengambilan contoh tanah dasar dilakukan dengan tabung (*undisturb*), kemudian direndam dan diperiksa harga CBR-nya. Dapat juga mengukur langsung di lapangan (musim hujan/direndam). CBR lapangan biasanya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (*overlay*). Jika dilakukan menurut Pengujian Kepadatan Ringan (SKBI 3.3. 30.1987/UDC 624.131.43 (02) atau Pengujian Kepadatan Berat (SKBI 3.3. 30.1987/UDC 624.131.53 (02) sesuai dengan kebutuhan. CBR laboratorium biasanya dipakai untuk perencanaan pembangunan jalan baru. Sementara ini dianjurkan untuk mendasarkan daya dukung tanah dasar hanya kepada pengukuran nilai CBR. Cara-cara lain hanya digunakan bila telah disertai data-data yang dapat dipertanggungjawabkan. Cara-cara lain tersebut dapat berupa : *Group Index, Plate Bearing Test atau R-value.* Harga yang mewakili dari sejumlah harga CBR yang dilaporkan, ditentukan sebagai berikut:

a. Tentukan harga CBR terendah.
b. Tentukan berapa banyak harga dari masing-masing nilai CBR yang sama dan lebih besar dari masing-masing nilai CBR.
c. Angka jumlah terbanyak dinyatakan sebagai 100%. Jumlah lainnya merupakan persentase dari 100%.
d. Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan persentase jumlah tadi.
e. Nilai CBR yang mewakili adalah yang didapat dari angka persentase 90%.



Gambar 3.1 Korelasi DDT dan CBR

Catatan : Hubungan nilai CBR dengan garis mendatar kesebelah kiri diperoleh nilai DDT

Selain menggunakan grafik tersebut, nilai DDT dari suatu harga CBR juga dapat ditentukan dengan rumus :

DDT = (4,3 log CBR + 1,7) ……..…….(3.6)

3. Faktor Regional (FR)

Keadaan lapangan mencakup permeabilitas tanah, perlengkapan drainase, bentuk alinyemen serta persentase kendaraan dengan berat 13 ton, dan kendaraan yang berhenti sedangkan keadaan iklim mencakup curah hujan rata-rata per tahun.

Mengingat persyaratan penggunaan disesuaikan dengan "Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya" edisi terakhir, maka pengaruh keadaan lapangan yang menyangkut permeabilitas tanah dan perlengkapan drainase dapat dianggap sama. Dengan demikian dalam penentuan tebal perkerasan ini, Faktor Regional hanya dipengaruhi oleh bentuk alinyemen (kelandaian dan tikungan), persentase kendaraan berat dan yang berhenti serta iklim (curah hujan) sebagai berikut:

Tabel 3.4 Faktor Regional (FR)

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

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

4. Indeks Permukaan (IP)

Indeks Permukaan ini menyatakan nilai daripada kerataan / kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu-lintas yang lewat. Adapun beberapa nilai IP beserta artinya adalah seperti yang tersebut di bawah ini:

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

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

IP = 2,0 : adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap

IP = 2,5 : adalah menyatakan permukaan jalan yang masih cukup stabil dan baik.

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan dan jumlah lintas ekivalen rencana (LER), menurut daftar di bawah ini:

Tabel 3.5 Indeks Permukaan Pada Akhir Rencana (IPt)

LER = Lintas Ekivalen Rencana *)	Klasifikasi Jalan			
	lokal	kolektor	arteri	tol
< 10	1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
10 – 100	1,5	1,5 – 2,0	2,0	-
100 – 1000	1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	-
> 1000	-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

*) LER dalam satuan angka ekivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal

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

Dalam menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana.

Tabel 3.6 Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo)

Jenis Permukaan	IPo	Roughness *) (mm/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	

Tabel 3.7 Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo) (lanjutan)

BURAS	2,9 – 2,5	
LATASIR	2,9 – 2,5	
JALAN TANAH	≤ 2,4	
JALAN KERIKIL	≤ 2,4	

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

5. Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif (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).

Jika alat *Marshall Test* tidak tersedia, maka kekuatan (stabilitas) bahan beraspal bisa diukur dengan cara lain seperti *Hveem Test, Hubbard Field, dan Smith Triaxial.*

Tabel 3.8 Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,40			744			
0,35			590			
						Laston
0,35			454			
0,3			340			
0,35			744			
0,31			590			
						Lasbutag
0,28			454			
0,26			340			

Tabel 3.9 Koefisien Kekuatan Relatif (a) (lanjutan)

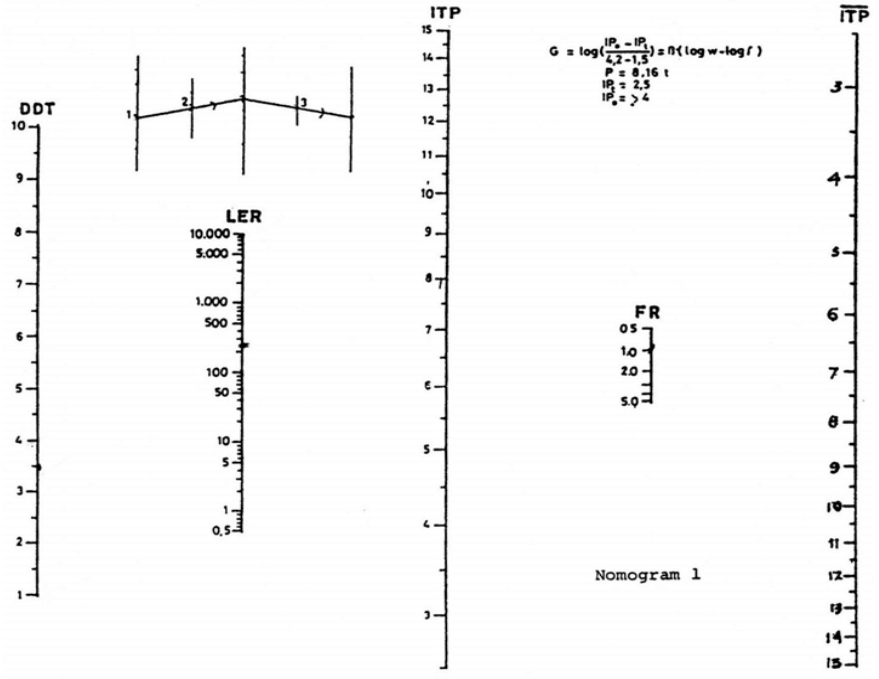
0,30			340			HRA
0,26			340			Aspal macadam
0,25						Lapen (mekanis)
0,20						Lapen (manual)
	0,28		590			
	0,26		454			Laston Atas
	0,24		340			
	0,23					Lapen (mekanis)
	0,19					Lapen (manual)
	0,15			22		Stab. Tanah dengan semen
	0,13			18		
	0,15			22		Stab. Tanah dengan kapur
	0,13			18		
	0,14				100	Batu pecah (kelas A)
	0,13				80	Batu pecah (kelas B)
	0,12				60	Batu pecah (kelas C)
		0,13			70	Sirtu/pitrun (kelas A)
		0,12			50	Sirtu/pitrun (kelas B)
		0,11			30	Sirtu/pitrun (kelas C)
		0,10			20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

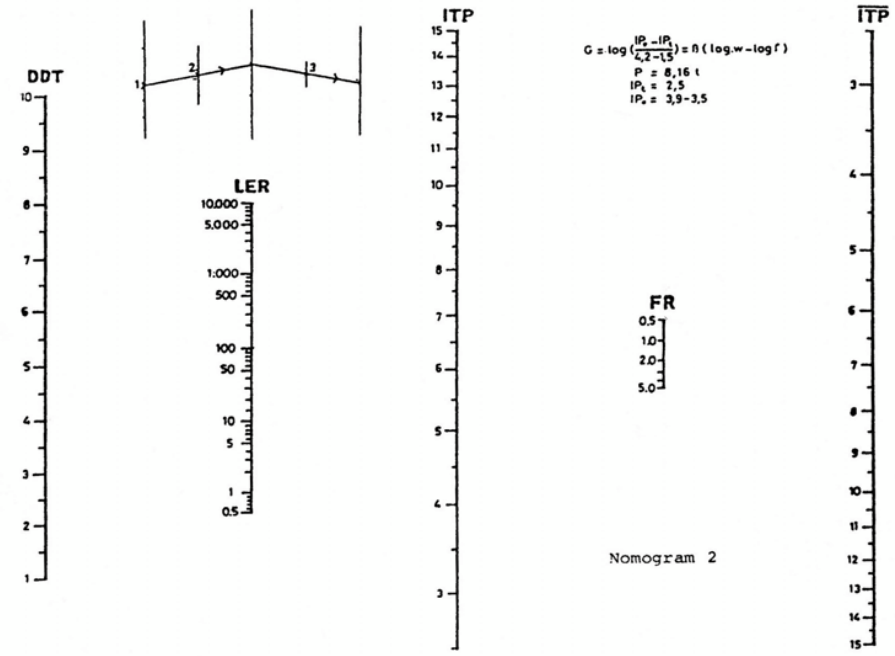
Catatan: Kuat tekan stabilitas tanah dengan semen diperiksa pada hari ke-7. Kuat tekan stabilitas tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke-21.

6. Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

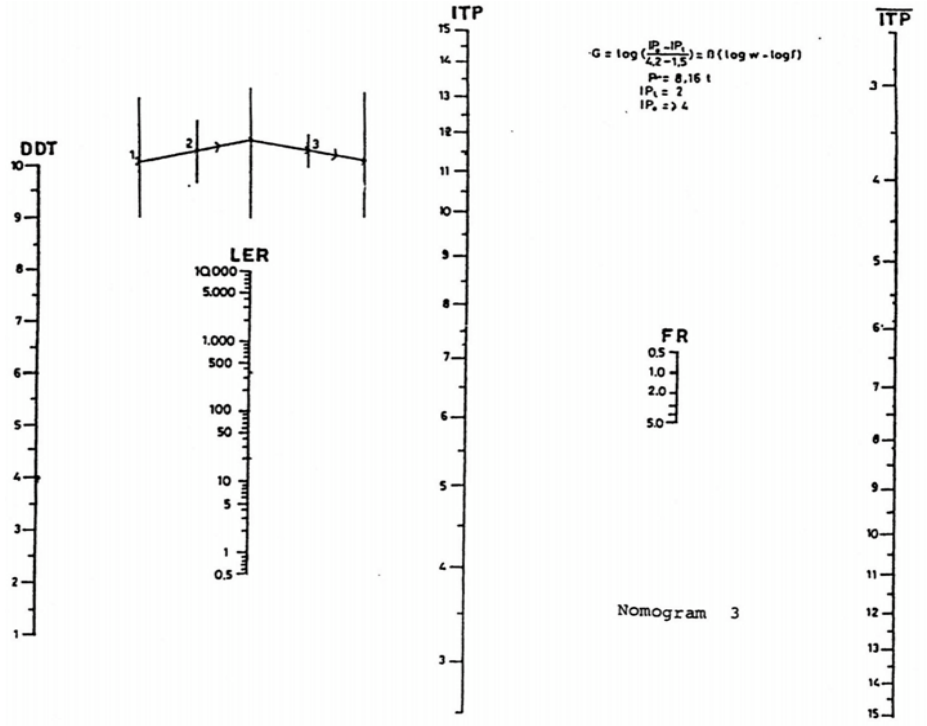
Nilai indeks tebal perkerasan diperoleh dari nomogram dengan memergunakan nilai-nilai yang telah diketahui sebelumnya, yaitu : LER selama umur rencana, nilai DDT, dan FR yang diperoleh. Berikut ini adalah gambar grafik nomogram untuk masing-masing nilai IPt dan IPo.



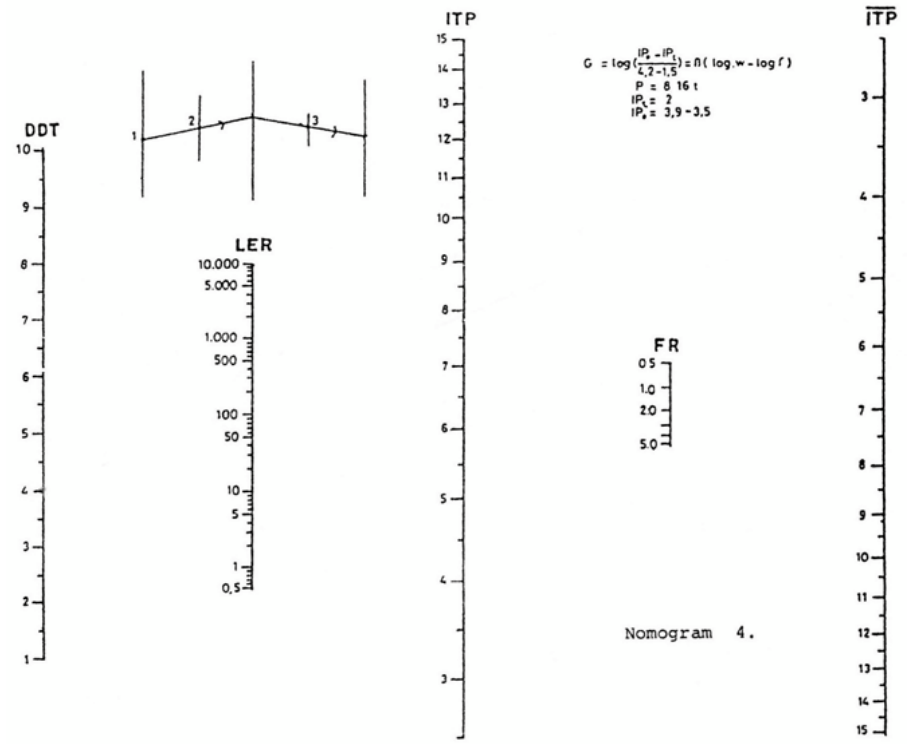
Gambar 3.2 Nomogram 1 untuk IPt = 2,5 dan IPo ≥ 4



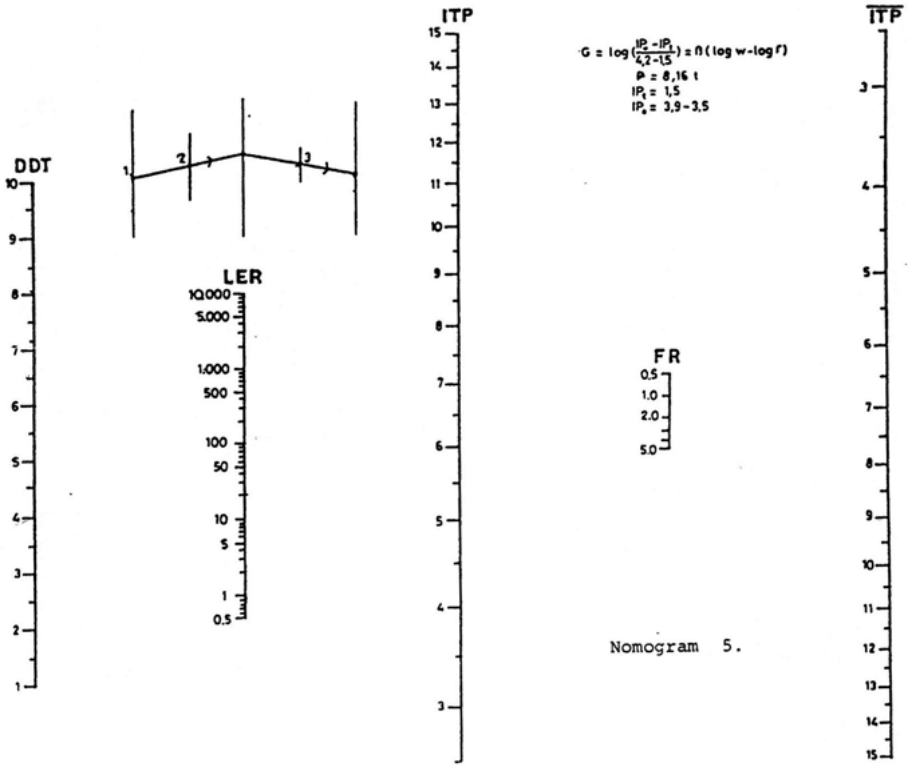
Gambar 3.3 Nomogram 2 untuk IPt = 2,5 dan IPo = 3,9 – 3,5



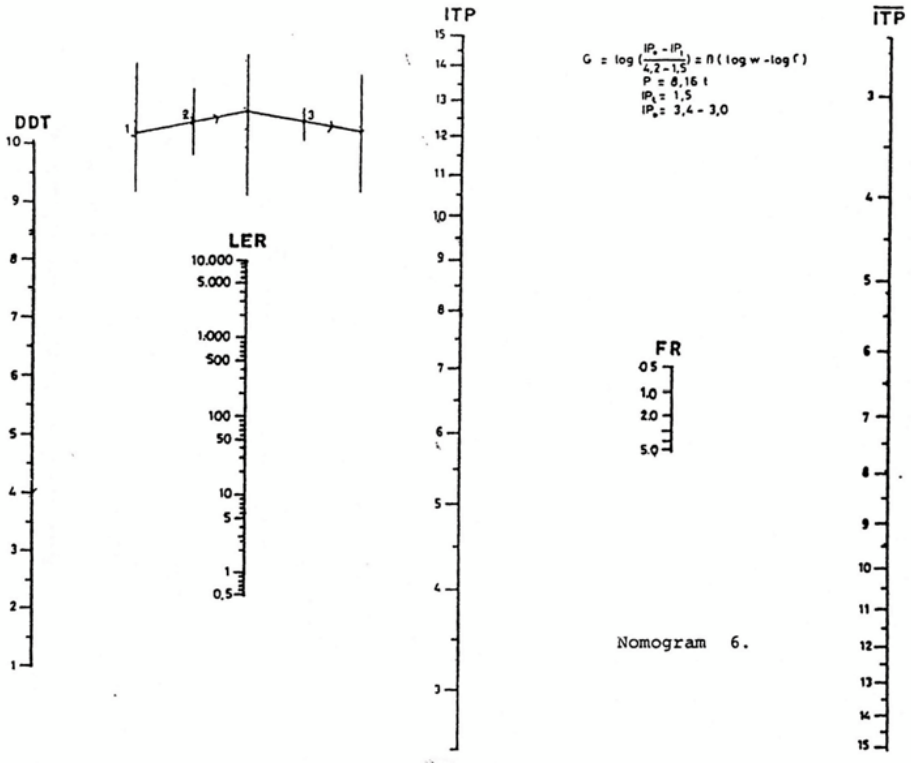
Gambar 3.4 Nomogram 3 untuk IPt = 2 dan IPo ≥ 4



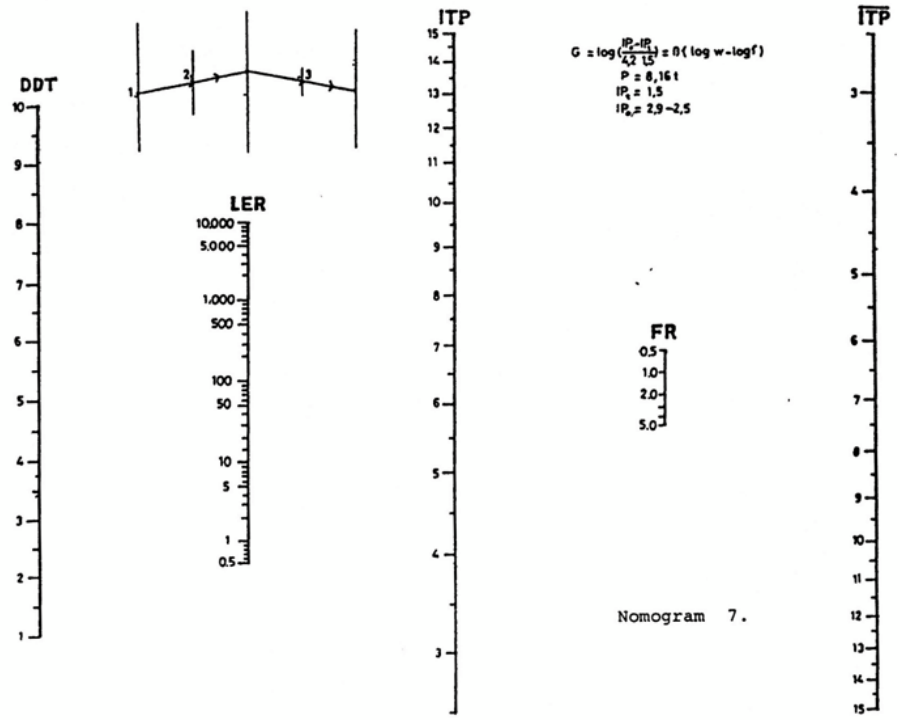
Gambar 3.5 Nomogram 4 untuk IPt = 2 dan IPo = 3,9 – 3,5



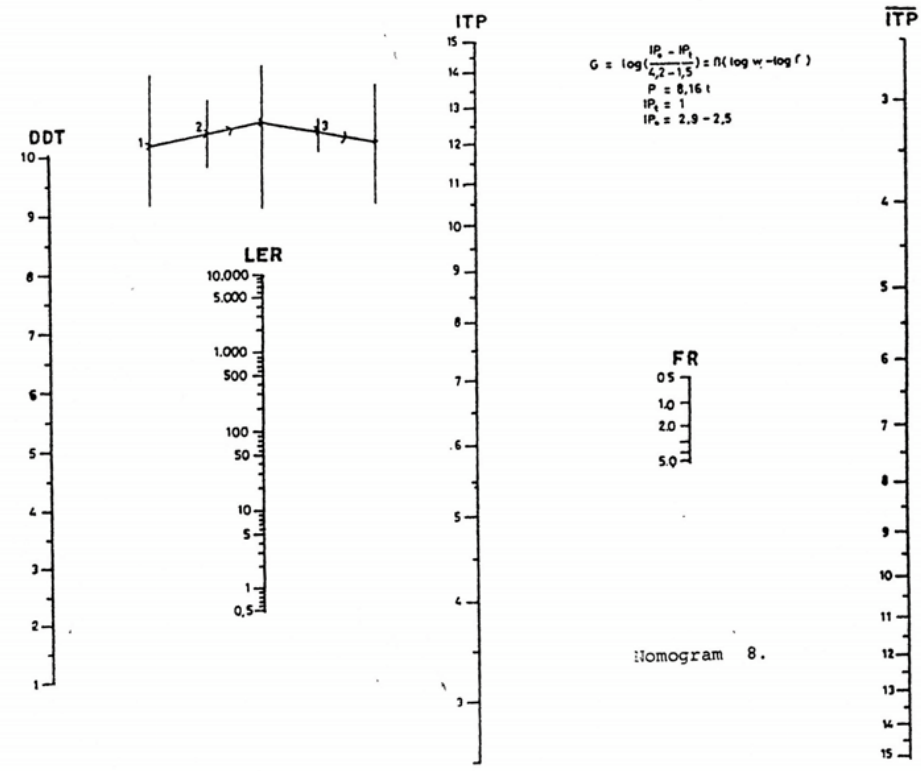
Gambar 3.6 Nomogram 5 untuk IPt = 1,5 dan IPo = 3,9 – 3,5



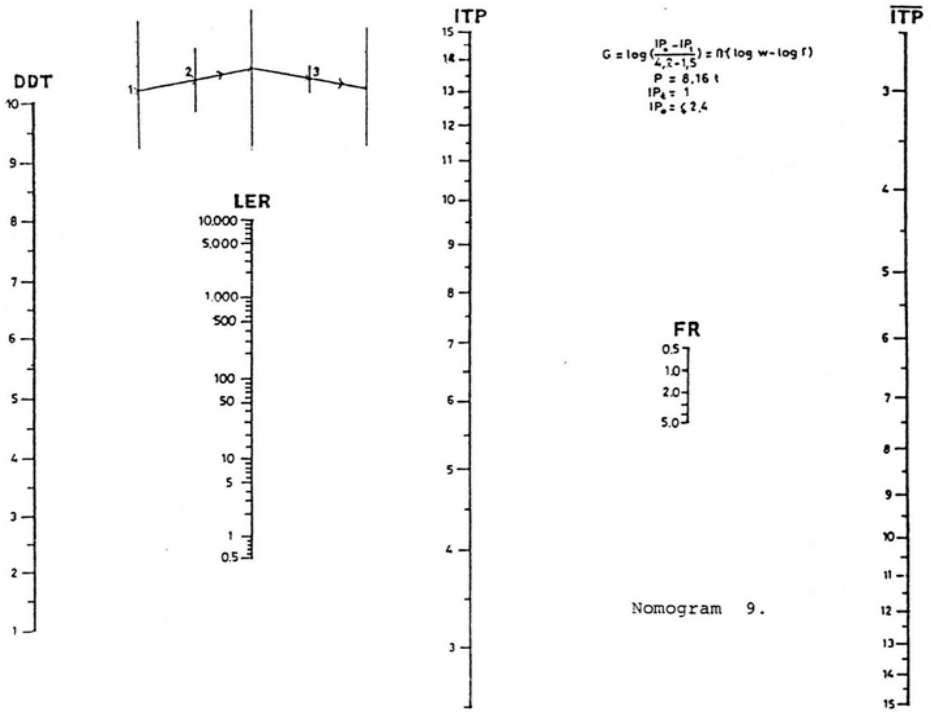
Gambar 3.7 Nomogram 6 untuk IPt = 1,5 dan IPo = 3,4 – 3,0



Gambar 3.8 Nomogram 7 untuk IPt = 1,5 dan IPo = 2,9 – 2,5



Gambar 3.9 Nomogram 8 untuk IPt = 1 dan IPo = 2,9 – 2,5



Gambar 3.10 Nomogram 9 untuk IPt = 1 dan IPo $\leq$ 2,4

7. Tebal Minimum Lapis Perkerasan (D)

Tebal minimum lapis perkerasan ditentukan dengan tabel batas minimum lapis permukaan dan lapis pondasi dibawah ini. Sedangkan tabel minimum lapis pondasi bawah untuk setiap nilai ITP ditentukan sebesar 10 cm.

a. Lapis Permukaan

Tabel 3.10 Tebal Minimum Lapis Permukaan

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

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

b. Lapis Pondasi

Tabel 3.11 Tebal Minimum Lapis Pondasi

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00 - 7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
	10	Laston Atas
7,50 - 9,99	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laston Atas
10 - 12,14	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam
		Lapen, Laston Atas
12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam
		Lapen, Laston Atas

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI Tahun 1987

Dari parameter-parameter tersebut kemudian diperoleh nilai ITP dan nilai koefisien kekuatan relatif untuk masing-masing bahan perkerasan. Tebal masing-masing bahan perkerasan untuk masing-masing lapis permukaan, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah dapat dihitung dengan rumus :

$ITP = a_1 . D_1 + a_2 . D_2 + a_3 . D_3$ …….……..(3.7)

Dimana :

a_1,a_2,a_3 = koefisien kekuatan relatif bahan untuk masing-masing lapisan perkerasan

D_1,D_2,D_3 = tebal masing-masing lapis perkerasan

C. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993

Menurut Siegfried dan Rosyidi (2007), salah satu metode perencanaan tebal perkerasan jalan yang sering digunakan adalah metode AASHTO 1993 dari Amerika. Metode ini sudah dipakai secara umum di seluruh dunia untuk perencanaan serta diadopsi sebagai standar perencanaan yang didasarkan pada metode empiris. Parameter yang dibutuhkan pada perencanaan menggunakan metode AASHTO 1993 ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Metode AASHTO 1993

a. *Structural Number* (SN)

Structural Number (SN) merupakan fungsi dari ketebalan lapisan, koefisien relatif lapisan, dan koefisien drainase. Persamaan untuk *Structural Number* adalah sebagai berikut :

$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$ ……..(3.8)

Dimana :

SN = nilai *Structural Number*

a_1,a_2,a_3 = koefisien relatif masing-masing lapisan

D_1,D_2,D_3 = tebal masing-masing lapisan perkerasan

m_1,m_2,m_3 = koefisien drainase masing-masing lapisan

1) Koefisien Kekuatan Relatif

Berdasarkan jenis dan fungsi material lapis perkerasan, estimasi Koefisien Kekuatan Relatif dikelompokkan ke dalam 5 kategori, yaitu:

a) Lapis Permukaan Beton Aspal

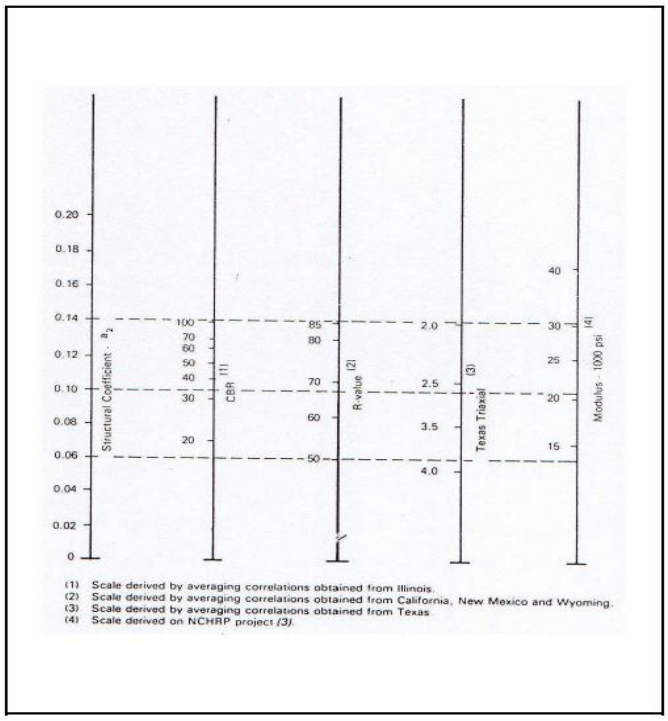
Gambar 3.11 merupakan grafik yang digunakan untuk memperkirakan Koefisien Kekuatan Relatif lapis permukaan beton aspal bergradasi rapat berdasarkan modulus elastisitas (E_{AC}) pada suhu 68°F .

Gambar 3.11 Grafik untuk Memperkirakan Koefisien Kekuatanrelatif Lapis Permukaan Beton Aspal (a_1)

b) Lapis Pondasi Granular

Koefisien Kekuatan Relatif (a_2) pada lapis pondasi granular dapat diperkirakan dengan menggunakan Gambar 3.12 atau dapat juga dihitung menggunakan rumus berikut ini :

$A_2 = 0{,}249 (\log_{10} E_{BS}) - 0{,}977$ …….(3.9)

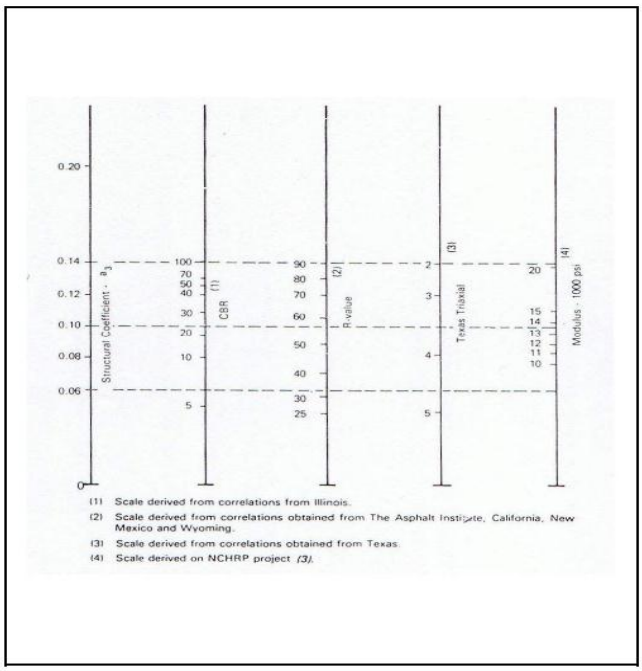


Gambar 3.12 Grafik Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Granular (a_2)

c) Lapis Pondasi Bawah Granular

Koefisien Kekuatan Relatif (a_3) pada lapis pondasi bawah granular dapat diperkirakan dengan menggunakan Gambar 3.13 atau dapat juga dihitung menggunakan rumus berikut ini :

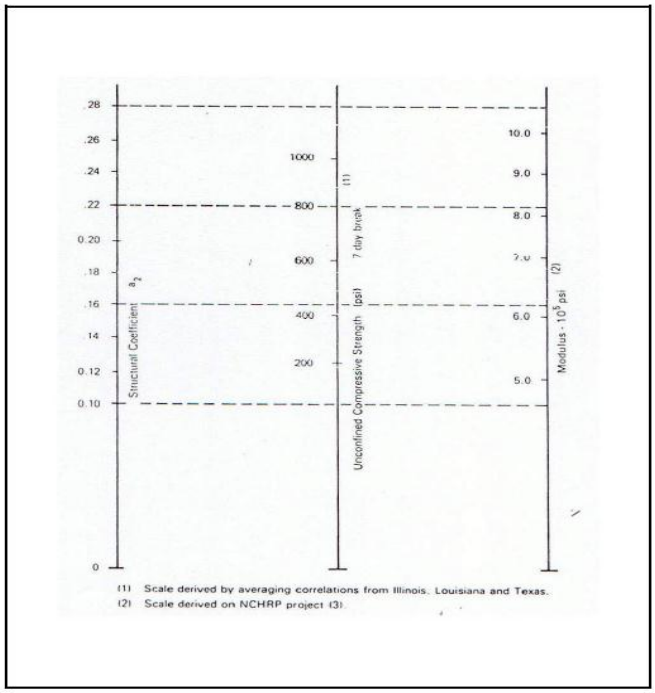
$A_3 = 0{,}227 (\log_{10} E_{SB}) - 0{,}839$ …….....(3.10)



Gambar 3.13 Grafik Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Bawah Granular (a_3)

d) Lapis Pondasi Bersemen

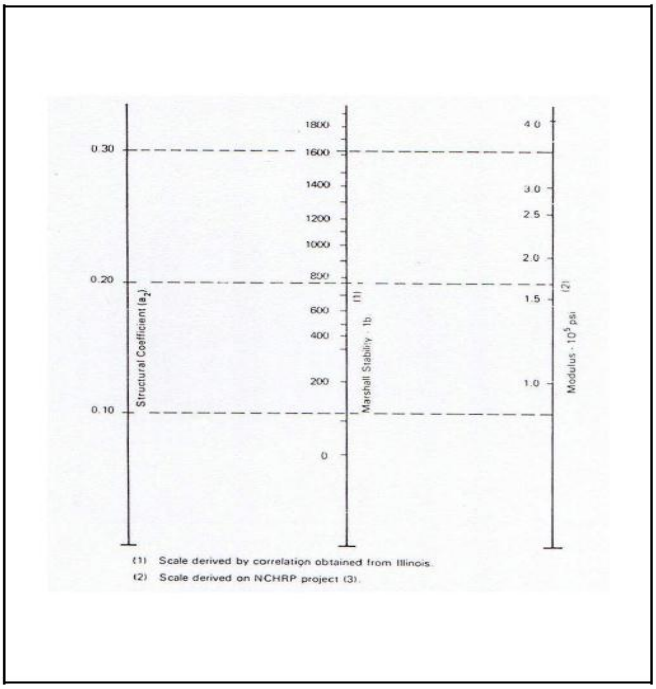
Koefisien Kekuatan Relatif (a_2) pada lapis pondasi bersemen dapat diperkirakan dengan menggunakan gambar dibawah ini :



Gambar 3.14 Grafik Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Bersemen (a_2)

e) Lapis Pondasi Beraspal

Koefisien Kekuatan Relatif (a_2) pada lapis pondasi beraspal dapat diperkirakan dengan menggunakan gambar dibawah ini :



Gambar 3.15 Grafik Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Beraspal (a_2)

2) Koefisien Drainase

Kualitas drainase pada perkerasan lentur diperhitungkan dalam perencanaan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang dimodifikasi. Faktor untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif ini adalah koefisien drainase (m) dan disertakan ke dalam persamaan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) bersama dengan koefisien kekuatan relatif (a) dan ketebalan (D). Kualitas drainase diberikan pada Tabel 3.12

Tabel 3.12 Kualitas Drainase

Kualitas drainase	Air hilang dalam
Baik sekali	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Jelek	1 bulan
Jelek sekali	air tidak akan mengalir

Sumber : AASHTO 1993

Tabel 3.13 memperlihatkan nilai koefisien drainase (m) yang merupakan fungsi dari kualitas drainase dan persen waktu selama setahun struktur perkerasan akan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh.

Tabel 3.13 Koefisien Drainase (m) untuk Memodifikasi Koefisien Kekuatan Relatif Material *Untreated Base* dan *Subbase* pada Perkerasan Lentur

Kualitas drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	< 1 %	1-5 %	5-25 %	> 25 %
Baik sekali	1,40 - 1,30	1,35 - 1,30	1,3 - 1,20	1,2
Baik	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1
Sedang	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,8
Jelek	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,6
Jelek sekali	1,05 - 0,95	0,80 - 0,75	0,60 - 0,40	0,4

Sumber : AASHTO 1993

b. Lalu Lintas pada Lajur Rencana (W_{18})

Menurut Siegfried dan Rosyidi (2007), prosedur perencanaan untuk parameter lalu lintas didasarkan pada kumulatif beban gandar standar ekivalen (*Cumulative Equivalent Standard Axle*, CESA). Perhitungan untuk CESA ini didasarkan pada konversi lalu lintas yang lewat terhadap beban gandar standar 8.16 T dan mempertimbangkan umur rencana, volume lalu lintas, faktor distribusi lajur, serta faktor bangkitan lalu lintas (*growth factor*). Distribusi arah (D_D) biasanya ditentukan pada masing-masing arah sebesar 0.5 (50%), tetapi bisa juga berkisar 0,3 – 0,7 untuk distribusi jalur (D_L), harga-harga yang berbeda diberikan tergantung pada total jalur yang ada pada suatu arah. Sehingga menurut AASHTO 1993, volume lalu lintas pada tahun pertama adalah :

$W_{18} = D_D \times D_L \times \hat{W}_{18}$ ……..(3.11)

Dimana :

D_D = faktor distribusi arah

D_L = faktor distribusi jalur

$\hat{W}_{18}$ = beban gandar standar kumulatif untuk dua arah

Tabel 3.14 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Jumlah lajur per arah	% beban gandar standar dalam lajur rencana
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Sumber: AASHTO 1993

Lalu lintas yang akan digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan lentur adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini didapatkan dengan mengalikan beban gandar standar kumulatif pada lajur rencana selama setahun (w_{18}) dengan besaran kenaikan lalu lintas

(*traffic growth*). Secara numeric rumusan lalu lintas kumulatif adalah sebagai berikut :

$$Wt = W_{18} \times \frac{(1+g)^n - 1}{g} \quad \text{.....(3.12)}$$

Dimana :

Wt = jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif

W_{18} = beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

n = umur pelayanan (tahun)

g = perkembangan lalu lintas (%)

c. *Reliability*

Konsep *reliability* untuk perencanaan perkerasan didasarkan pada beberapa ketidaktentuan (*uncertainties*) dalam proses perencanaan untuk menyakinkan alternatif-alternatif berbagai perencanaan. Tingkatan *reliability* ini yang digunakan tergantung pada volume lalu lintas, klasifikasi jalan yang akan direncanakan maupun ekspetasi dari pengguna jalan.

Menurut Siegfried dan Rosyidi (2007), *reliability* didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa tingkat pelayanan dapat tercapai pada tingkatan tertentu dari sisi pandangan para pengguna jalan sepanjang umur yang direncanakan. Hal ini memberikan implikasi bahwa repetisi beban yang yang direncanakan dapat tercapai hingga mencapai tingkatan pelayanan tertentu.

AASHTO merekomendasikan nilai Reliabilitas (R) menurut klasifikasi fungsional jalan yang direncanakan sesuai tabel di bawah ini :

Tabel 3.15 Rekomendasi Tingkat *Reliability* untuk Bermacam-macam Klasifikasi Jalan

Klasifikasi Jalan	Rekomendasi Tingkat Reliabilitas	
	Perkotaan	Antar Kota
Bebas hambatan	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteri	80 - 99	75 - 95
Kolektor	80 - 95	75 - 95
Lokal	50 -80	50 - 80

Sumber : AASHTO 1993

Pengaplikasian dari konsep *reliability* ini diberikan juga dalam parameter standar deviasi yang mempresentasikan kondisi-kondisi lokal dari luas jalan yang direncanakan serta tipe perkerasan antara lain perkerasan lentur ataupun perkerasan kaku. Secara garis besar pengaplikasian dari konsep *reliability* adalah sebagai berikut :

1) Hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan klasifikasi dari ruas jalan yang akan direncanakan. Klasifikasi ini mencakup apakah jalan tersebut adalah jalan dalam kota (*urban*) atau jalan antar kota (*rural*).
2) Tentukan tingkat *reliability* yang dibutuhkan dengan menggunakan tabel yang ada pada metode perencanaan AASHTO 1993. Semakin tinggi tingkat *reliability* yang dipilih, maka akan semakin tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan.
3) Satu nilai standar deviasi (So) harus dipilih. Nilai ini mewakili dari kondisi-kondisi lokal yang ada. Berdasarkan data dari jalan percobaan AASHTO ditentukan nilai So sebesar 0.25 untuk *rigid pavement* dan 0.35 untuk *flexible pavement*. Hal ini berhubungan dengan total standar deviasi sebesar 0.35 dan 0.45 untuk lalu lintas untuk jenis perkerasan *rigid* dan *flexible*.

Untuk suatu tingkat *Reliability* (R) yang diberikan, *factor reliability* (FR) merupakan fungsi dari standar deviasi (So). Sedangkan nilai

penyimpangan normal standar (Z_R) ditentukan berdasarkan *Realibility* (R) yang dipilih seperti tabel di bawah ini :

Tabel 3.16 Nilai Penyimpangan Normal Standar (*Standard Normal Deviate*) untuk Tingkat Reliabilitas Tertentu

Reliability (%)	*Standard Normal Deviate* (Z_R)
50	0
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,09
99,99	-3,75

Sumber : AASHTO 1993

d. Faktor Lingkungan

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk perencanaan AASHTO didasarkan atas hasil pengujian dan pengamatan pada jalan percobaan selama lebih kurang 2 tahun. Pengaruh jangka panjang dari temperatur dan kelembaban pada penurunan *serviceability* belum dipertimbangkan. Satu hal yang menarik dari faktor lingkungan ini adalah pengaruh dari kondisi *swell* dan *frost heave* dipertimbangkan, maka penurunan *serviceability* diperhitungkan selama masa analisis yang kemudian berpengaruh pada umur rencana perkerasan.

e. *Serviceability*

Menurut Siegfried dan Rosyidi (2007), *serviceability* merupakan tingkat pelayanan yang diberikan oleh sistem perkerasan yang kemudian dirasakan oleh pengguna jalan. Untuk *serviceability* ini parameter utama yang dipertimbangkan adalah nilai *Present Serviceability Index* (PSI). Nilai *serviceability* ini merupakan nilai yang menjadi penentu tingkat pelayanan fungsional dari suatu sistem perkerasan jalan. Secara numerik *serviceability* ini merupakan fungsi dari beberapa parameter antara lain ketidakrataan, jumlah lubang, luas tambalan, dll.

Beberapa tingkatan nilai *serviceability* :

1) Untuk perkerasan yang baru dibuka (*open traffic*) nilai *serviceability* ini diberikan sebesar 4.0 – 4.2. Nilai ini dalam terminologi perkerasan diberikan sebagai nilai *initial serviceability* (Po).
2) Untuk perkerasan yang harus dilakukan perbaikan pelayanannya, nilai *serviceability* ini diberikan sebesar 2.0. Nilai ini dalam terminologi perkerasan diberikan sebagai nilai *terminal serviceability* (Pt).
3) Untuk perkerasan yang sudah rusak dan tidak bisa dilewati, maka nilai *serviceability* ini akan diberikan sebesar 1.5. Nilai ini diberikan dalam terminologi *failure serviceability* (Pf).

Design Serviceability Loss (ΔPsi) dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$\Delta Psi = (Po - Pt) \quad \text{.....(3.13)}$$

2. Persamaan AASHTO 1993

a. Persamaan AASHTO untuk menentukan tebal perkerasan

Dari hasil percobaan jalan AASHO untuk berbagai macam variasi kondisi dan jenis perkerasan, maka disusunlah metode perencanaan AASHO yang kemudian berubah menjadi AASHTO. Dasar perencanaan dari metode AASHTO baik AASHTO 1972, AASHTO

1986, maupun metode terbaru saat sekarang yaitu AASHTO 1993 adalah persamaan seperti yang diberikan di bawah ini :

$$\log_{10} W_{18} = Z_R\,So + 9.36\log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{Po-Pt}{Po-Pf}\right]}{0.40+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32\log_{10} Mr - 8.07 \quad \ldots\ldots(3.14)$$

Dimana :

W_{18} = Kumulatif beban gandar standar selama umur perencanaan (CESA)

Z_R = *Standard Normal Deviate*

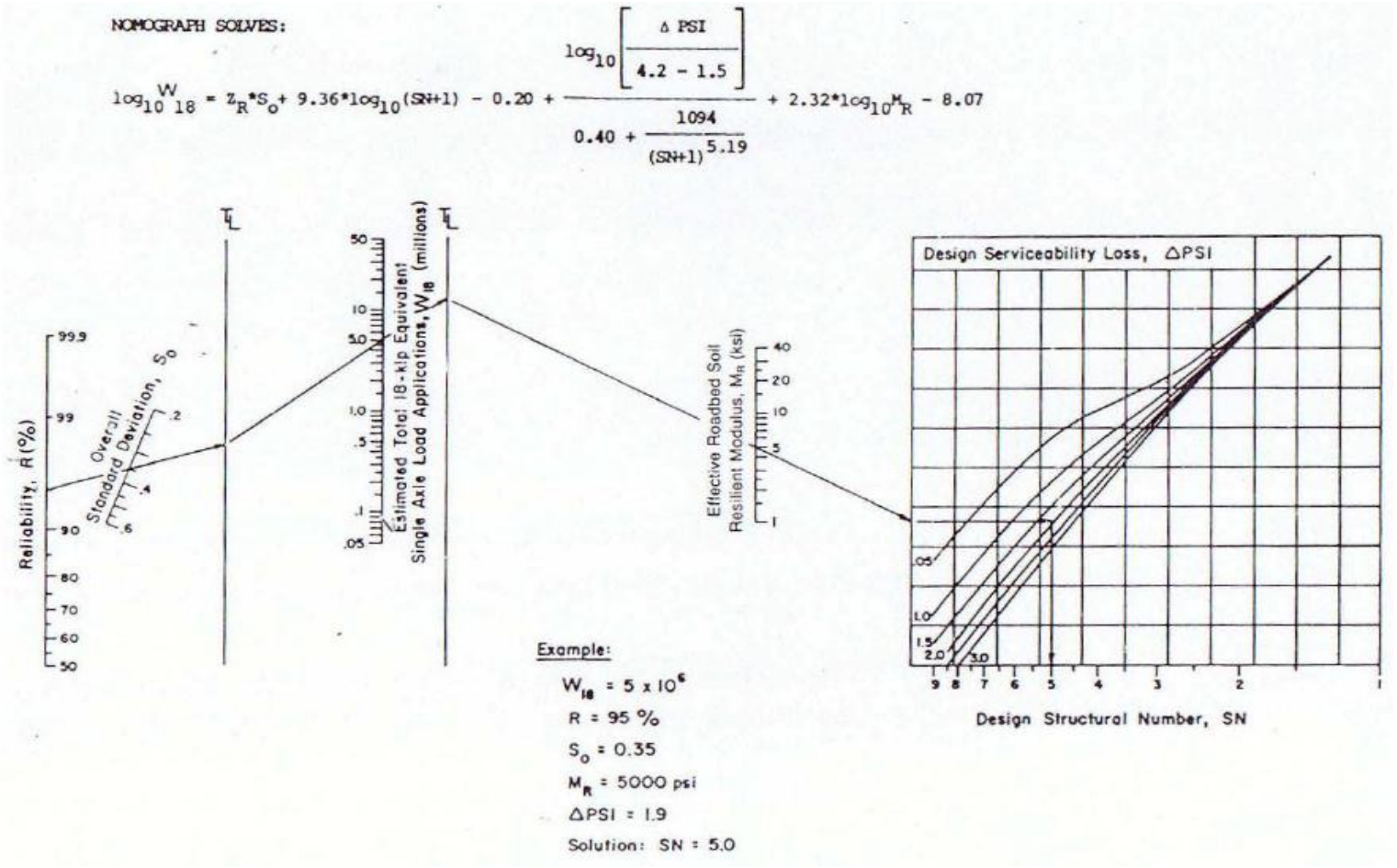
SN = *Structural Number*

Po = *Initial serviceability*

Pt = *Terminal serviceability*

Pf = *Failure serviceability*

Mr = Modulus resilien (psi)



Gambar 3.16 Nomogram Untuk Desain Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993

b. Pemilihan tebal lapis perkerasan

Banyak pemilihan tebal lapis perkerasan yang dapat digunakan, sehingga batas-batas yang berlaku pada tebal lapis perkerasan harus dipertimbangkan. Adapun batas-batas minimum tebal lapis perkerasan diberikan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.17 Batas-Batas Minimum Tebal Lapis Perkerasan

Lalu lintas (ESAL)	Beton aspal		LAPEN		LASBUTAG		Lapis pondasi agregat	
	inci	cm	inci	cm	inci	cm	inci	cm
< 50.000	1.0	2.5	2	5	2	5	4	10
50.001 - 150.000	2.0	5.0	-	-	-	-	4	10
150.001 - 500.000	2.5	6.25	-	-	-	-	4	10
500.001 - 2.000.000	3.0	7.5	-	-	-	-	6	15
2.000.001 - 7.000.000	3.5	8.75	-	-	-	-	6	15
> 7.000.000	4.0	10.0	-	-	-	-	6	15

Sumber : AASHTO 1993

3. Langkah-langkah Perencanaan dengan Metode AASHTO 1993

Langkah-langkah perencanaan dengan metode AASHTO 1993 adalah sebagai berikut :

a. Tentukan lalu lintas rencana yang akan diakomodasi di dalam perencanaan tebal perkerasan. Lalu lintas rencana ini jumlahnya tergantung dari komposisi lalu lintas, volume lalu lintas yang lewat, beban aktual yang lewat, serta faktor bangkitan lalu lintas serta jumlah lajur yang direncanakan. Semua parameter tersebut akan dikonversikan menjadi kumulatif beban gandar standar ekivalen (*Cumulative Equivalent Standard Axle*, CESA).

b. Hitung CBR dari tanah dasar yang mewakili untuk ruas jalan ini. CBR representatf dari ruas jalan yang direncanakan ini tergantung dari klasifikasi jalan yang direncanakan. Pengambilan dari data CBR untuk

perencanaan jalan biasanya diambil pada jarak 100 meter. Untuk satu ruas jalan yang panjang biasanya dibagi atas segmen-segmen yang mempunyai nilai CBR yang relatif sama. Dari nilai CBR representatif ini kemudian diprediksi modulus elastisitas tanah dasar dengan mengambil persamaan sebagai berikut :

$E = 1500 \times CBR$ ……...(3.15)

Dimana :

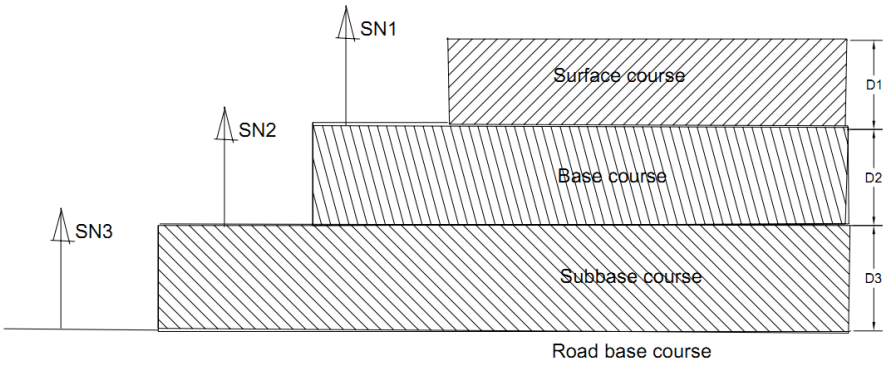
CBR = nilai CBR representatif (%)

E = modulus elastisitas tanah dasar (psi)

c. Kemudian tentukan besaran-besaran fungsional dari sistem perkerasan jalan yang ada seperti *Initial Present Serviceability Index* (Po), *Terminal Serviceability Index* (Pt), dan *Failure Serviceability Index* (Pf). Masing-masing besaran ini nilainya tergantung dari klasifikasi jalan yang akan direncanakan antara lain *urban road*, *country road*, dll.
d. Setelah itu tentukan *reliability* dan *standard normal deviate*. Kedua besaran ini ditentukan berdasarkan beberapa asumsi antara lain tipe perkerasan dan juga klasifikasi jalan.
e. Menggunakan data lalu lintas, modulus elastisitas tanah dasar serta besaran-besaran fungsional Po,Pt, dan Pf serta *reliability* dan *standard normal deviate* kemudian bisa dihitung *Structural Number* (SN) yang dibutuhkan untuk mengakomodasi lalu lintas rencana. Perhitungan ini bisa menggunakan grafik-grafik yang tersedia atau juga menggunakan rumus AASHTO 1993 seperti yang diberikan pada Persamaan 3.14 di atas.
f. Langkah selanjutnya adalah menemukan bahan pembentuk lapisan perkerasan. Masing-masing tipe bahan perkerasan mempunyai koefisien layer yang berbeda. Penentuan koefisien layer ini didasarkan pada beberapa hubungan yang telah diberikan oleh AASHTO 1993.
g. Menggunakan koefisien layer yang ada kemudian dihitung tebal lapisan masing-masing dengan menggunakan hubungan yang

diberikan pada Persamaan 3.8 di atas dengan mengambil koefisien drainase tertentu yang didasarkan pada tipe pengaliran yang ada.

h. Kemudian didapat tebal masing-masing lapisan. Metode AASHTO 1993 memberikan rekomendasi untuk memeriksa kemampuan masing-masing lapisan untuk menahan beban yang lewat menggunakan prosedur seperti yang diberikan pada langkah berikut ini :



Gambar 3.17 Ketentuan Perencanaan Menurut AASHTO 1993

$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3}$$

Dimana :

a_1 = Koefisien layer masing-masing lapisan

D_1 = Tebal masing-masing lapisan

SN_1 = *Structural Number* masing-masing lapisan

Keterangan : D dan SN yang mempunyai asterisk (*) menunjukkan nilai aktual yang digunakan dan nilainya besar atau sama dengan nilai yang dibutuhkan.