

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan lentur pada jalan hendaknya dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pengguna jalan, maka konstruksi perkerasan jalan haruslah memenuhi syarat-syarat tertentu yang dikelompokkan menjadi 2 kelompok. (Sukirman, 1993).

1. Syarat-syarat Berlalu-lintas

Konstruksi perkerasan lentur dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalu-lintas haruslah memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang,
- b. permukaan cukup kaku, sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya,
- c. permukaan cukup kesat, memberikan gesekan yang baik antara ban dan permukaan jalan sehingga tidak mudah selip, dan
- d. permukaan tidak mengkilap, tidak silau jika terkena sinar matahari.

2. Syarat-syarat Kekuatan / Struktural

Konstruksi perkerasan jalan dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban haruslah memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban / muatan lalu lintas ke tanah dasar,
- b. kedap terhadap air sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya,
- c. permukaan mudah mengalirkan air sehingga air hujan yang jatuh di atasnya cepat dialirkan, dan
- d. kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

3.2 Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

Tebal lapis tambah (*overlay*) merupakan lapis perkerasan tambahan yang dipasang di atas konstruksi perkerasan yang ada dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama kurun waktu yang akan datang. Tebal lapis tambah (*overlay*) dibutuhkan apabila konstruksi perkerasan yang ada tidak dapat lagi memikul beban lalu lintas yang beroperasi baik karena penurunan kemampuan struktural atau karena mutu lapisan perkerasan yang sudah jelek.

Menurut Sukirman (1993), konstruksi jalan yang telah habis masa pelayanannya, telah mencapai indeks permukaan akhir yang diharapkan perlu diberikan lapis tambahan untuk dapat kembali mempunyai nilai kekuatan, tingkat kenyamanan, tingkat keamanan, tingkat kededapan terhadap air dan tingkat kecepatannya mengalirkan air. Sukirman (1993) menambahkan, sebelum melakukan perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) terlebih dahulu perlu dilakukan survei kondisi permukaan dan survei kelayakan struktural konstruksi perkerasan.

1. Survei kondisi permukaan dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kenyamanan (*rideability*) permukaan jalan. Survei ini dapat dilakukan secara visual ataupun dengan bantuan alat mekanis. Survei secara visual meliputi penilaian kondisi lapisan permukaan, penilaian kenyamanan berkendara dan penilaian berat kerusakan yang terjadi baik kualitas maupun kuantitasnya. Sedangkan, survei dengan bantuan alat yaitu dengan menggunakan alat *roughometer* yang ditempelkan pada sumbu belakang roda kendaraan penguji.
2. Survei kelayakan struktural dilakukan untuk meyakinkan kapasitas dukung perkerasan yang cukup tinggi. Hal ini diperlukan, misalnya sebagai akibat dari kenaikan volume lalu lintas atau kenaikan beban gandar kendaraan yang harus dilayani. Survei kelayakan struktural dapat dilakukan dengan dua cara yaitu cara destruktif dan non destruktif. Pemeriksaan destruktif dilakukan dengan cara membuat tes pit pada perkerasan lama kemudian melakukan pengambilan sampel dan pemeriksaan langsung di lapangan. Pemeriksaan ini mengakibatkan kerusakan kondisi perkerasan jalan lama. Sedangkan, pemeriksaan non

destruktif dilakukan dengan menggunakan alat yang diletakkan di atas permukaan jalan sehingga tidak berakibat pada rusaknya konstruksi perkerasan jalan lama. Alat yang umum digunakan di Indonesia untuk pemeriksaan non destruktif adalah *Benkelman Beam*.

Selain alat *Benkelman Beam*, terdapat juga alat yang dapat digunakan pada pemeriksaan non destruktif, yaitu *Falling Weight Deflectometer*. Kedua jenis alat ini dapat melakukan pembacaan nilai lendutan yang mewakili kondisi struktur perkerasan. Pada penelitian ini, analisa tebal lapis tambah (*overlay*) dilakukan dengan cara pendekatan berdasarkan lendutan dengan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) yang terdapat dalam Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 (Bina Marga 2017) dan AASHTO 1993.

3.3 Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) dengan Metode Lendutan Bina Marga 2017

Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 (Bina Marga, 2017) merupakan pelengkap dari pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002-B, Pd T-05-2005 dan Pedoman Interim No.002/P/BM/2011, dimana dalam Bina Marga Tahun 2017, analisis *overlay* menggunakan data lendutan dan lengkung lendutan dengan pendekatan desain mekanistik empiris untuk rehabilitasi jalan dengan lalu lintas berat. Bina Marga Tahun 2017 juga mempertajam pendekatan dalam Pedoman Interim No.002/P/BM/2011 dan perangkat lunaknya karena selain lendutan maksimum, manual ini menggunakan pula analisis kurva atau lengkungan lendutan. Input data lendutan FWD atau *Benkelman Beam* yang dimodifikasi diperlukan untuk analisis kurva tersebut.

Pada Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 (Bina Marga, 2017), pendekatan dalam penentuan *overlay* secara umum meliputi dua kriteria, yaitu:

1. deformasi permanen menggunakan lendutan maksimum, dan
2. retak lelah menggunakan lengkung lendutan.

Jika diperlukan *overlay*, untuk perkerasan dengan beban lalu lintas rencana ≥ 100.000 ESA4 diperlukan pemeriksaan kinerja *fatigue* pada lapisan *overlay*. Pada jalan dengan lalu lintas rendah (< 100.000 ESA4) dan perkerasan dengan

HRS, retak leleh lapisan aspal bukan merupakan model kerusakan yang umum. Oleh sebab itu, untuk perkerasan dengan lalu lintas rendah dan perkerasan HRS, tidak dilakukan pemeriksaan kinerja *fatigue*. Dalam menentukan tebal lapis tambah metode lendutan Bina Marga tahun 2017 dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut ini.

3.3.1 Lalu Lintas

3.3.1.1 Analisa Volume Lalu Lintas

Berdasarkan Manual Perkerasan Jalan Tahun 2017 (Bina Marga, 2017), parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas pada tahun survei yang selanjutnya diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Dalam analisis lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

3.3.1.2 Data Lalu Lintas

Akurasi data lalu lintas penting untuk menghasilkan desain perkerasan yang efektif. Data harus harus meliputi semua jenis kendaraan komersial. Apabila diketahui atau diduga terdapat kesalahan data, harus dilakukan penghitungan lalu lintas khusus sebelum perencanaan akhir dilakukan.

3.3.1.3 Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B). Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis.

3.3.1.4 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data–data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka Tabel 3.1 dapat digunakan (2015 – 2035).

Tabel 3.1 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,7
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber: Bina Marga (2017)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*):

$$R = \frac{(1+(0,01 \times i))^{UR}-1}{0,01 \times i} \quad (3.1)$$

dengan:

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

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

UR = umur rencana (tahun).

3.3.1.5 Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu. Faktor distribusi jalan ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber: Bina Marga (2017)

3.3.1.6 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Nilai VDF regional untuk menghitung ESA masing-masing jenis kendaraan niaga yang diolah dari data studi WIM yang dilakukan Ditjen Bina Marga pada tahun 2012 – 2013 ditunjukkan pada Tabel 3.3. Tetapi, apabila survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga, dapat digunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan menurut Tabel 3.4. Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 3.3 Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua				
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		
	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-	-

Sumber: Bina Marga (2017)

Tabel 3.4 Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga

Jenis kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan-muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal		Faktor ekivalen beban (VDF) (ESAL/kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF pangkat 4	VDF pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/angkot/pickup/station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1	Muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu –ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2	Muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	Muatan umum	2			0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	3,8	5,50	7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	Muatan umum	3			7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	Tanah, pasir, besi, semen	3	3,9	5,60	28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu – trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu – trailer	1.2-22		5			19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu – trailer	1.2-222		5	0,7	1,00	30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu – trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

Sumber: Bina Marga (2017)

Catatan: Data didasarkan pada survei beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa – 2011. Lihat survei WIM 2011 untuk informasi lebih lanjut.

3.3.1.7 Beban Sumbu Standar Kumulatif

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

Menggunakan VDF masing-masing kendaraan niaga

$$ESATH-1 = (\sum LHRJK \times VDFJK) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.2)$$

dengan:

ESATH-1 = kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama,

LHRJK = lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),

VDFJK = Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga Tabel 3.3 dan Tabel 3.4,

DD = Faktor distribusi arah,

DL = Faktor distribusi lajur (Tabel 3.2),

CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana, dan

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3.3.1.8 Umur Rencana

Umur rencana untuk berbagai jenis penanganan ditunjukkan pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Umur Rencana Jenis Penanganan

Kriteria beban lalu lintas (juta ESA4)	< 0,5	0,5 - < 30	≥ 30
Umur rencana perkerasan lentur	Seluruh penanganan: 10 tahun	<ul style="list-style-type: none"> - Rekonstruksi – 20 tahun - <i>Overlay</i> struktural – 10 tahun - <i>Overlay</i> non struktural – 10 tahun - Penanganan sementara – sesuai kebutuhan 	

Sumber: Bina Marga (2017)

Desain tebal perkerasan didasarkan pada nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 tergantung pada model kerusakan (*deterioration model*) dan pendekatan desain yang digunakan. Gunakan nilai ESA yang sesuai sebagai input dalam proses perencanaan.

1. Pangkat 4 digunakan pada desain perkerasan lentur berdasarkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993 (pendekatan statistik empirik).
2. Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (seperti Burtu atau Burda), perkerasan tanpa penutup (*Unsealed granular pavement*) dan perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur (*rutting*).
3. Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan aspal beton dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak lelah (*fatigue*).

3.3.2 Desain Tebal *Overlay* dengan Lendutan Bina Marga 2017

Terdapat tiga prosedur tebal overlay berdasarkan beban lalu lintas.

1. Lalu lintas lebih kecil atau sama dengan 100.000 ESA4
Retak lelah bukan merupakan kerusakan yang umum terjadi pada jalan dengan lalu lintas ringan dan perkerasan dengan HRS. Berdasarkan pertimbangan itu, desain jalan, dengan beban lalu lintas rencana lebih kecil dari 100.000 ESA4 dan perkerasan dengan HRS kinerja *fatigue overlay* tidak diperlukan. Desain tebal *overlay* cukup dengan pendekatan lendutan maksimum (D_0).
2. Lalu Lintas lebih besar dari 100.000 ESA4
Pada jalan dengan lalu lintas lebih besar dari 100.000 ESA4 terdapat potensi retak lelah lapisan aspal. Dengan demikian, kriteria deformasi permanen (pendekatan lendutan maksimum D_0) dan kriteria retak lelah (pendekatan lengkung lendutan, D_0 – D_{200}) harus diperhitungkan.

3. Lalu Lintas lebih besar 10×10^6 ESA4 atau 20×10^6 ESA5

Untuk pekerjaan rehabilitasi dengan beban lalu lintas lebih besar daripada 10×10^6 ESA4 atau lebih besar daripada 20×10^6 ESA5 harus digunakan prosedur mekanistik empiris atau metode metode Pt T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993. Pada prosedur mekanistik empiris, data lendutan permukaan dan tebal perkerasan eksisting digunakan untuk perhitungan-balik (*back calculation*) nilai modulus lapisan perkerasan. Selanjutnya nilai modulus ini digunakan untuk menentukan solusi desain rekonstruksi atau *overlay* dengan program analisis perkerasan *multi-layer*.

3.3.2.1 Tebal *Overlay* Non-struktural

Lapisan *overlay* harus lebih besar atau sama dengan tebal minimum. Permukaan yang tidak rata memerlukan lapis aspal yang lebih tebal untuk mencapai level kerataan yang dikehendaki. Apabila *overlay* didesain hanya untuk memperbaiki kerataan saja (non-struktural), gunakan tebal *overlay* dari tabel 3.6 di bawah ini:

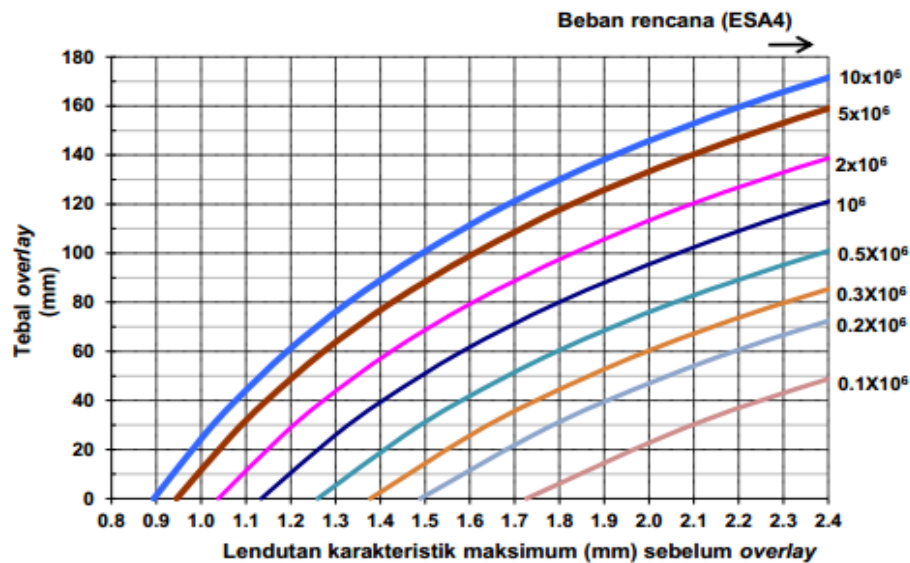
Tabel 3.6 Tebal *Overlay* untuk Menurunkan IRI (non-struktural)

IRI rata-rata perkerasan eksisting	Tebal <i>overlay</i> minimum non-struktural untuk mencapai IRI = 3 setelah <i>overlay</i> (mm)
4	40
5	45
6	50
7	55
8	60

Sumber: Bina Marga (2017)

3.3.2.2 Tebal *Overlay* Berdasarkan Lendutan Maksimum

Untuk menentukan kebutuhan tebal *overlay* guna mengantisipasi deformasi permanen, maka gunakan Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Solusi *Overlay* Berdasarkan Lendutan Balik *Benkelman Beam* untuk WMAPT 41°C

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Desain berdasarkan Gambar 3.1 di atas menghasilkan desain dengan biaya lebih rendah daripada desain menggunakan Pd T-05-2005 yang telah dimodifikasi menjadi pedoman interim No.002/P/BM/2011 dan perangkat-lunaknya SDPJL. Desain berdasarkan Gambar 3.1 di atas berlaku untuk lendutan yang diukur menggunakan alat *Benkelman beam*. Apabila pengukuran lendutan dilakukan dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD), maka sebelum menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 di atas, gunakan faktor penyesuaian lendutan yang akan dijelaskan lebih rinci pada sub-subab berikutnya.

3.3.2.3 Tebal *Overlay* Berdasarkan Lengkung Lendutan

Lengkung lendutan digunakan untuk perkerasan dengan beban lalu lintas desain lebih besar dari 100.000 ESA4. Apabila hasil pengujian lendutan menunjukkan bahwa hanya diperlukan lapis HRS yang tipis, maka pengecekan persyaratan lengkungan lendutan tidak diperlukan karena ketahanan terhadap *fatigue* lapis HRS-WC cukup tinggi.

Lengkung lendutan dinyatakan pada titik belok lengkungan atau CF (*curvature function*) berdasarkan bentuk lengkung lendutan sebagai berikut:

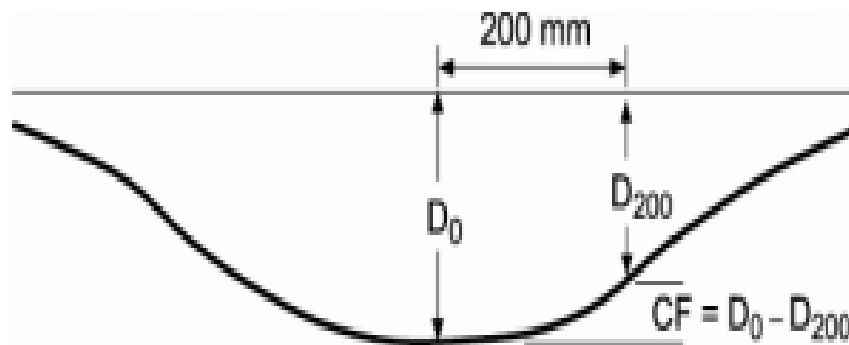
$$CF = D_0 - D_{200} \quad (3.3)$$

dengan:

D_0 = lendutan maksimum pada suatu titik uji (mm), dan

D_{200} = lendutan yang terjadi pada titik yang berjarak 200 mm dari titik uji tersebut (mm).

Skema dimensi fungsi lengkung lendutan (*curvature function* atau titik belok) ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut ini.



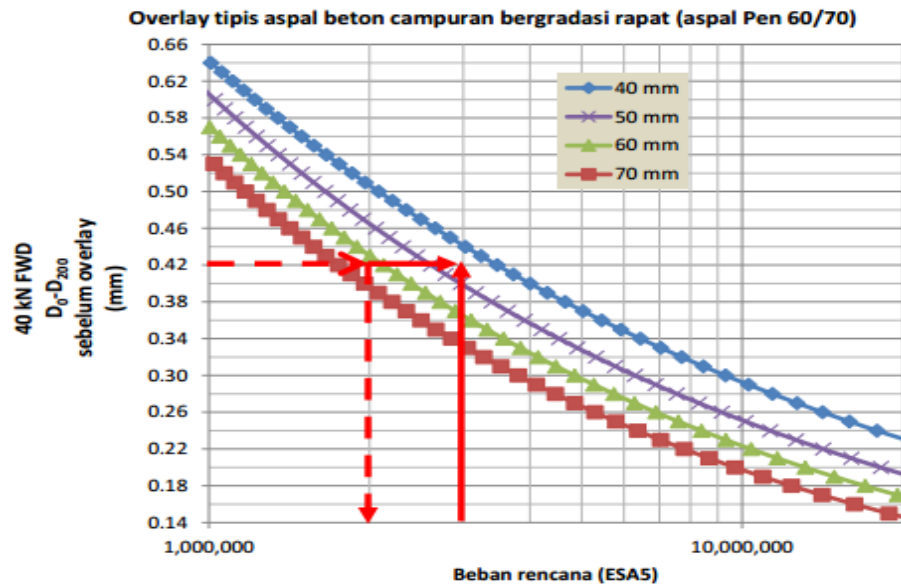
Gambar 3.2 Fungsi Lengkung Lendutan

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Dalam mendesain kebutuhan *overlay* berdasarkan lengkung lendutan, ada beberapa faktor penyesuaian yang perlu diperhitungkan yaitu diantaranya sebagai berikut ini.

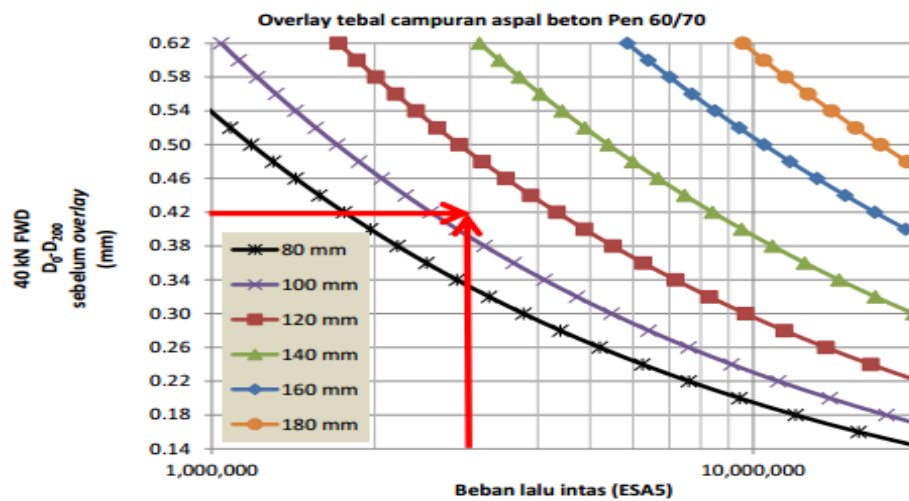
1. Grafik desain lengkung lendutan pada WMAPT 41°C

Tebal *overlay* berdasarkan lengkung lendutan dapat ditentukan berdasarkan *overlay* tipis yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 atau *overlay* tebal seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.3 Tebal *overlay* aspal konvensional untuk mencegah retak akibat leleh pada MAPT > 35 (*overlay* tipis)

(Sumber: Bina Marga, 2017)



Gambar 3.4 Tebal *overlay* aspal konvensional untuk mencegah retak akibat leleh pada MAPT > 35 (*overlay* tebal)

(Sumber: Bina Marga, 2017)

2. Penyesuaian Nilai Pengukuran Lentutan Terhadap Musim

Besar lentutan permukaan perkerasan aspal dipengaruhi oleh jenis tanah dan kelembaban tanah dasar. Selain dari ketinggian muka air tanah, kelembaban tanah dasar dipengaruhi oleh iklim. Atas pertimbangan tersebut maka

pengukuran sebaiknya dilakukan pada waktu perkerasan dalam keadaan terlemah yaitu pada musim penghujan. Apabila suvei lendutan dilaksanakan pada musim kemarau maka nilai lendutan harus dikoreksi. Faktor koreksi terhadap musim adalah angka perbandingan antara lendutan maksimum pada musim penghujan dan lendutan pada musim kemarau:

- a. faktor koreksi musim kemarau = 1,2, dan
- b. faktor koreksi musim penghujan = 1,0 (berlaku untuk pengujian lendutan pada musim penghujan atau jika muka air tanah lebih dalam dari 3 m di bawah level tanah dasar).

3. Penyesuaian Nilai Pengukuran Lendutan Terhadap Temperatur Pengujian

Untuk *overlay* di atas perkerasan berbutir, hasil pengukuran lendutan perlu dikoreksi. Hal ini dikarenakan temperatur perkerasan mempengaruhi kekakuan dan kinerja perkerasan beraspal dalam merespon beban. Untuk itu, diperlukan faktor koreksi temperatur. Temperatur perkerasan harian pada suatu lokasi dipengaruhi oleh temperatur perkerasan tahunan rata-rata (*Weighted Mean Annual Pavement Temperature* = WMAPT). Temperatur perkerasan rata-rata tahunan dapat diperkirakan berdasarkan temperatur rata-rata tahunan (*Weighted Mean Annual Air Temperature*, WMAAT). Pada Bina Marga 2017 menggunakan temperatur perkerasan rata-rata 41°C sebagai acuan. Faktor koreksi temperatur untuk pengukuran lendutan dihitung mengikuti prosedur berikut:

- a. langkah 1, tentukan faktor koreksi temperatur, f_T , sebagai berikut:

$$f_t = \frac{\text{MAPT}}{\text{Temperatur perkerasan saat pengukuran lendutan}} \quad (3.4)$$

- b. langkah 2, tentukan faktor koreksi temperatur menggunakan Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 di bawah ini untuk pengujian menggunakan FWD. Pengujian lendutan perkerasan dengan tebal permukaan beraspal kurang dari 25 mm tidak memerlukan faktor koreksi temperatur.

Tabel 3.7 Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D_0) untuk FWD

AMPT Temp _{lapangan}	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
	25	50	100	150	200	300
0,50	0,93	0,87	0,81	0,75	0,69	0,59
0,60	0,95	0,91	0,86	0,81	0,76	0,68
0,70	0,96	0,94	0,90	0,87	0,83	0,77
0,80	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,85
0,90	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
1,20	1,01	1,02	1,04	1,05	1,08	1,10
1,30	1,02	1,04	1,05	1,08	1,12	1,15
1,40	1,02	1,04	1,07	1,10	1,15	1,19
1,50	1,02	1,05	1,09	1,12	1,18	1,22
1,60	1,03	1,06	1,10	1,14	1,21	1,25
1,70	1,03	1,07	1,12	1,16	1,23	1,27
1,80	1,04	1,09	1,13	1,18	1,25	1,28

Sumber: Bina Marga (2017)

Tabel 3.8 Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) untuk FWD

AMPT Temp _{lapangan}	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
	25	50	100	150	200	300
0,50	0,91	0,76	0,63	0,54	0,41	0,31
0,60	0,93	0,81	0,71	0,64	0,53	0,46
0,70	0,95	0,86	0,78	0,73	0,65	0,60
0,80	0,97	0,91	0,86	0,82	0,77	0,73
0,90	0,98	0,95	0,92	0,91	0,88	0,86
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11
1,20	1,02	1,06	1,10	1,14	1,18	1,23
1,30	1,03	1,10	1,15	1,20	1,27	1,35
1,40	1,04	1,13	1,20	1,26	1,36	1,46
1,50	1,05	1,15	1,24	1,32	1,44	1,57
1,60	1,05	1,15	1,24	1,32	1,44	1,57
1,70	1,06	1,15	1,28	1,37	1,52	1,67
1,80	1,06	1,18	1,32	1,41	1,59	1,77

Sumber: Bina Marga (2017)

4. Penyesuaian Nilai Lendutan dan Lengkung Lendutan

Lendutan dan lengkung lendutan yang diuji menggunakan *Benkelman Beam* dan FWD akan menghasilkan nilai yang berbeda, oleh karena itu diperlukan

penyesuaian atau standarisasi hasil pengukuran. Bagan desain *overlay* dengan kriteria kelelahan (*fatigue*) perkerasan aspal (Gambar 6.3) didasarkan pada lengkung lendutan FWD (Austroads, 2008). Oleh sebab itu, apabila pengukuran dilakukan dengan BB maka nilai yang diperoleh harus dikonversi ke nilai setara FWD dengan mengalikan nilai tersebut dengan Faktor Standarisasi. Faktor tersebut bervariasi sesuai komposisi perkerasan dan kekuatan tanah dasar. Faktor yang paling akurat adalah yang diperoleh dari pengukuran lapangan yang disejajarkan. Namun demikian untuk memudahkan, Bina Marga 2017 memberikan asumsi awal faktor penyesuaian yang disajikan pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 dapat digunakan.

Tabel 3.9 Faktor Penyesuaian Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) BB ke FWD

Tebal Aspal Eksisting (mm)	Faktor	Tebal Aspal Eksisting (mm)	Faktor
0	1,00	160	0,69
20	0,95	180	0,67
40	0,91	200	0,65
60	0,86	220	0,63
80	0,82	240	0,61
100	0,79	260	0,60
120	0,75	280	0,59
140	0,72	300	0,59

Sumber: Bina Marga (2017)

Bagan desain *overlay* untuk kriteria lendutan maksimum (Gambar 3.1) adalah berdasarkan lendutan yang diukur dengan *Benkelman Beam*. Apabila data lendutan diperoleh dari FWD maka data yang diperoleh harus dikonversi ke data lendutan *Benkelman Beam* dengan mengalikan nilai yang diperoleh dengan faktor penyesuaian seperti ditunjukkan pada Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3.10 Faktor Penyesuaian Lendutan (D_0) FWD ke BB

Tebal Aspal Eksisting (mm)	Faktor	Tebal Aspal Eksisting (mm)	Faktor
0	1,00	160	1,26
20	1,12	180	1,28
40	1,14	200	1,29
60	1,16	220	1,31
80	1,18	240	1,33
100	1,20	260	1,34
120	1,22	280	1,35
140	1,24	300	1,36

Sumber: Bina Marga (2017)

5. Lengkung Lendutan Karakteristik (*Characteristic Curvature*)

Untuk tujuan evaluasi desain overlay pada perkerasan lentur, lengkung lendutan karakteristik harus digunakan untuk lalu lintas lebih besar dari 1×10^5 ESA5. Nilai ini ditentukan sesudah dilakukan koreksi terhadap musim, temperatur dan standarisasi terhadap masing-masing pengukuran. Nilai lengkung lendutan karakteristik (CC) untuk sub-segmen perkerasan yang homogen sama dengan nilai lengkung lendutan rata-rata yang diperoleh dari data survei lendutan.

6. *Overlay* Menggunakan Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi, khususnya aspal modifikasi SBS dapat memperpanjang umur *fatigue* dari *overlay* aspal tipis sampai 3 kali lipat, dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut ini.

Tabel 3.11 Umur Lelah (*Fatigue*) Aspal Modifikasi

Deskripsi Bahan Pengikat Aspal Modifikasi	Penyesuaian Modulus Relatif terhadap Aspal pen 60/70	Faktor Penyesuaian <i>Fatigue</i> (pendekatan toleransi <i>fatigue</i> untuk campuran beraspal vs aspal standar)
Modifikasi asbuton menjadi Pen 40	1,35	1,00
6% SBS	0,70	3,00
5% SBS	0,75	2,50
3% SBS	0,80	1,50
Multi grade	1,00	1,00
% EVA	1,50	1,00
6% EVA	1,50	1,00

Sumber: Bina Marga (2017)

Jika digunakan aspal modifikasi maka masa layan dikalikan dengan faktor yang terdapat dalam Tabel 3.11 di atas. Jika diperoleh masa layan yang sama atau lebih besar daripada umur rencana maka solusi *overlay* tipis dapat diambil sebagai solusi desain. Jika sumber daya untuk aspal modifikasi tersedia dan biaya penggunannya lebih murah maka aspal modifikasi dapat digunakan.

3.4 Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) dengan Metode Lendutan AASHTO 1993

NDT (*Non Destructive Test*) atau uji tidak merusak merupakan jenis pengujian yang direkomendasikan oleh AASHTO (*American Assosiation of State Highway and Transportation Official*) untuk memperoleh data yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktural dari sistem perkerasan yang ada. Dari pengujian NDT menggunakan alat FWD diperoleh data defleksi yang digunakan untuk perhitungan balik (*back calculation*) dengan tujuan menentukan sifat setiap lapis perkerasan. FWD merupakan salah satu alat pengukur defleksi yang sering digunakan dalam mengevaluasi struktur perkerasan. Defleksi permukaan merepresentasikan respon menyeluruh dari sistem perkerasan. Proses evaluasi dan operasi alat uji FWD sepenuhnya dikendalikan dengan program komputer. Perencanaan lapis tambahan (*overlay*) metode AASHTO 1993 harus memperhatikan parameter-parameter berikut ini.

3.4.1 Analisis Lalu Lintas

Perkerasan dalam perancangannya membutuhkan hitungan perancangan volume lalu-lintas dalam periode waktu tertentu. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan lalu-lintas mencakup besar beban gandar, konfigurasi beban gandar, pengulangan beban dan jumlah beban gandar total. Dalam menentukan lalu-lintas rancangan perlu diestimasi volume dan komposisi lalu-lintas tahun pertama, laju pertumbuhan lalu-lintas, distribusi arah dan distribusi lajur rencana, besar nilai *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) selama umur rencana.

3.4.1.1 *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*

Dalam perencanaan perkerasan jalan menggunakan metode AASHTO semua lintasan lalu-lintas harus dikonversikan ke dalam jumlah ekuivalen beban gandar tunggal. Gandar tunggal adalah gandar standar dengan ban dobel yang menghasilkan beban 18 kip (8,16 ton atau 80 KN). Lalu-lintas rencana dihitung dengan persamaan 3.5 berikut ini.

$$LHR_n = \sum_{j=1}^n LHR_j \times (1+i) \quad (3.5)$$

dengan:

i = pertumbuhan lalu-lintas,

n = tahun rencana, dan

LHR = lalu-lintas harian rata-rata.

Perhitungan jumlah beban sumbu standar untuk lalu-lintas rencana pada tahun ke- n diselesaikan dengan persamaan 3.6 berikut ini.

$$ESAL_n = \sum_{\text{traktor-trailer}}^{MP} m_n \times 365 \times E \times R \times D_D \times D_L \quad (3.6)$$

dengan:

$ESAL_n$ = Kumulatif ekuivalen beban sumbu standar sampai tahun ke- n ,

m_n = Jumlah masing-masing jenis kendaraan sampai tahun ke- n ,

365 = jumlah hari dalam satu tahun,

E = faktor ekuivalen beban sumbu,

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas,

D_D = koefisien distribusi arah, dan





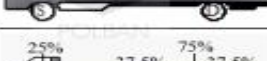




D_L = koefisien distribusi lajur.

3.4.1.2 Faktor Truk / Faktor Ekivalensi Beban Sumbu Kendaraan (E)

Perhitungan ESAL untuk perencanaan perkerasan sering didasarkan pada faktor truk. Faktor truk didefinisikan sebagai jumlah ESAL yang dihasilkan dari satu lintasan kendaraan. Faktor ekivalensi beban sumbu kendaraan berdasarkan metode AASHTO 1993 menggunakan interpolasi dengan tabel faktor ekivalensi

beban gandar untuk perkerasan lentur yang bisa dilihat pada Lampiran 1 dengan menghitung nilai SN yang akan digunakan terlebih dahulu.

Sedangkan untuk konfigurasi beban standar setiap kendaraan yang disarankan oleh AASHTO 1993 yaitu menggunakan beban setara dengan 18-kips ESAL. Nilai berat total kendaraan dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (Ton)	Beban Muatan Maksimum (Ton)	Berat Total Maksimum (Ton)	
1.1 Mobil Penumpang	1,5	0,5	2	
1.2 Bus	3	6	9	
1.2L Truk	2,3	6	8,3	 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> (S) Roda Tunggal Pada Ujung Sumbu (D) Roda Ganda Pada Ujung Sumbu </div>
1.2H Truk	4,2	14	18,2	 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> L = Truk Ringan H = Truk Berat </div>
1.22 Truk	5	20	25	
1.2+2.2 Trailer	6,4	25	31,4	
1.2+2 Trailer	6,2	20	26,2	
1.2+2.2 Trailer	10	32	42	
1.2+2.2.2 Trailer	11	34	45	

Gambar 3.5 Distribusi Beban Sumbu dan Beban Kendaraan

(Sumber: Bina Marga, 1983 dan Pemenuh No 14, 2007)

3.4.1.3 Faktor Distribusi Arah dan Faktor Distribusi Lajur

Jumlah beban gandar tersebut harus didistribusikan menurut arah dan lajunya. AASHTO (1993) menyarankan besar nilai faktor distribusi arah (DD) berkisar antara 0,3 sampai 0,7. Pada umumnya faktor distribusi arah nilainya 0,5 kecuali dalam kondisi satu arah dilewati dengan truk penuh muatan dan arah yang lain dengan truk kosong. Besar nilai faktor distribusi lajur (DL) ditentukan berdasarkan jumlah lajur yang tersedia dalam ruas jalan tersebut. AASHTO

(1993) merekomendasikan nilai distribusi lajur (DL) sesuai dengan Tabel 3.12 dan nilai distribusi arah (DD) sesuai dengan Tabel 3.13 berikut ini.

Tabel 3.12 Faktor Distribusi Lajur (D_L) untuk Perancangan Perkerasan

Jumlah lajur per arah	Faktor distribusi lajur / D_L (%)
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-70

Sumber: AASHTO (1993)

Tabel 3.13 Faktor Distribusi Arah (D_D) untuk Perancangan Perkerasan

Lebar Perkerasan, L_p (m)	Jumlah Lajur (n_1)	Koefisien distribusi arah (D_D)	
		1 arah	2 arah
$L_p < 5,50$	1	1	1
$5,50 \leq L_p < 8,25$	2	0,70	0,50
$8,25 \leq L_p < 11,25$	3	0,50	0,475
$11,25 \leq L_p < 15,00$	4	-	0,450
$15,00 \leq L_p < 18,75$	5	-	0,425
$18,75 \leq L_p < 22,00$	6	-	0,400

Sumber: Ditjen Bina Marga (2003)

3.4.2 Koefisien Lapisan (a_i)

Koefisien lapisan material (a_i) menyatakan hubungan empiris antara *Structural Number* (SN) untuk suatu struktur perkerasan dengan tebal lapisan yang menyatakan kemampuan relatif dari suatu material agar berfungsi sebagai satu komponen struktural dari perkerasannya (Yoder dan Witczack, 1975). Koefisien lapisan menurut AASHTO 1993 berdasarkan bahan perkerasan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut ini.

Tabel 3.14 Koefisien Lapisan (a_i)

Tipe Material	a_i
Lapis permukaan (<i>Surface Course</i>), a_1 :	
1. Campuran aspal panas gradasi rapat	0,44
2. Aspal panas	0,40
3. Campuran dipakai ulang (<i>recycled</i>) di tempat	0,20
4. Campuran dipakai ulang oleh pabrik	0,40 (0,40 – 0,44)
Lapis pondasi atas (<i>Base Course</i>), a_2 :	
1. Batu pecah	0,14 (0,08 – 0,14)
2. Kerikil berpasir	0,07
3. Pondasi pozolanik	0,28 (0,25 -0,30)
4. Pondasi dirawat kapur	0,22 (0,15 -0,30)
5. Pondasi dirawat semen	0,27
6. Tanah – semen (<i>soil – cement</i>)	0,20
7. Pondasi dirawat aspal, gradasi kasar	0,34
8. Pondasi dirawat aspal, gradasi pasir	0,30
9. Campuran dipakai ulang (<i>recycled</i>) diolah di tempat	0,20
10. Campuran dipakai ulang (<i>recycled</i>) diolah di pabrik	0,40 (0,40 – 0,44)
11. Campuran aspal panas gradasi padat	0,44
Lapis pondasi bawah (<i>Subbase Course</i>), a_3 :	
1. Kerikil berpasir	0,11
2. Lempung berpasir	0,08 (0,05 – 0,10)
3. Tanah dirawat kapur	0,11
4. Lempung dirawat kapur	0,16 (0,14 – 0,18)
5. Batu pecah	0,14 (0,08 – 0,14)

Sumber: AASHTO dalam Lavin (2003)

3.4.3 Koefisien Drainase

Penentuan koefisien drainase (m) didasarkan pada kondisi dari hari efektif hujan dalam setahun yang akan mempengaruhi perkerasan. Koefisien drainase (m), menurut AASHTO ada dua variabel berikut ini.

1. Variabel Pertama

Mutu drainase dengan variasi *excellent, good, fair, poor, very poor*. Mutu ini ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan.

2. Variabel Kedua

Persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air (*saturated*) dengan variasi $<1\%$, $1 - 5\%$, $5 - 25\%$, $> 25\%$.

Penetapan variabel pertama mengacu pada Tabel 3.16 dan dengan pendekatan sebagai berikut:

1. air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk ke dalam pondasi jalan,
2. air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan, inipun relatif kecil terjadi, juga muka air yang tinggi di bawah tanah dasar, dan
3. pendekatan dengan lama dan frekuensi hujan, yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per hari dan jarang sekali terjadi hujan terus-menerus selama satu minggu.

Penetapan variabel persen perkerasan terkena air, yaitu persen struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat jenuh. Persen struktur terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut.

$$P_{\text{heff}} = \frac{T_{\text{jam}}}{24} \times \frac{T_{\text{hari}}}{365} \times W_L \times 100 \quad (3.7)$$

dengan:

P_{heff} = Persen Harian Efektif Hujan dalam Setahun yang Akan Berpengaruh terkenanya perkerasan (%),

T_{jam} = Rata-rata Hujan per Hari (jam),

T_{hari} = Rata-rata hujan per tahun,

W_L = Faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%)
= 100 – C, dan

C = Koefisien Pengaliran.

Koefisien Pengaliran (C) diambil berdasarkan Bina Marga yang dapat dilihat dalam Tabel 3.15 berikut ini.

Tabel 3.15 Koefisien Pengaliran (C)

No	Kondisi permukaan tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 – 0,95
2	Bahu Jalan:	
	a. Tanah berbutir halus	0,40 – 0,65
	b. Tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20
	c. Batuan masif keras	0,70 – 0,85
	d. Batuan masif lunak	0,60 – 0,75

Sumber: Bina Marga (1990)

Nilai-nilai koefisien drainase (m) yang direkomendasikan AASHTO 1993 ditunjukkan dalam Tabel 3.16 berikut ini.

Tabel 3.16 Koefisien Drainase (m)

Kualitas drainase	Waktu air hilang	Persen waktu struktur perkerasan terbuka terhadap kelembaban yang menuju ke kondisi yang jenuh			
		< 1%	1 – 5 %	4 – 25 %	> 25 %
Baik sekali	2 jam	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 -1,20	1,20
Baik	24 jam	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,10	1,00
Sedang	1 minggu	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Buruk	4 minggu	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Sangat buruk	Tidak mengalir	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Sumber: AASHTO (1993)

3.4.4 *Structural Number* (SN)

Structural Number (SN) merupakan fungsi dari ketebalan lapisan, koefisien relatif lapisan (*layer coefficient*) dan koefisien drainase (*drainase coefficient*). Perencanaan untuk *stuctural number* adalah sebagai berikut:

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

dengan :

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, dan

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

3.4.5 Desain Tebal *Overlay* dengan Metode Lendutan AASHTO 1993

3.4.5.1 Modulus *Resilient* (M_R) Tanah Dasar

Modulus *resilient* (M_R) didefinisikan sebagai kemampuan tanah atau lapis pondasi granuler pada suatu lapis perkerasan dalam menahan deformasi akibat beban yang berulang-ulang. Dalam perencanaan perkerasan jalan, daya dukung tanah dasar diwakili oleh modulus *resilient* (M_R). Hubungan Nilai M_R dan CBR yang disarankan oleh *Asphalt Institute* (MS-23) dinyatakan dalam persamaan 3.9 berikut ini.

$$M_R = 1500 \times CBR \quad (3.9)$$

dengan:

M_R = modulus *resilient* (Psi), dan

CBR = *california bearing ratio* (%).

Lendutan yang diukur pada jarak yang cukup jauh dari pusat beban mencerminkan nilai modulus resilien tanah dasar. Pernyataan ini merupakan dasar dari perhitungan balik (*back calculation*). Modulus Resilien (M_R) tanah dasar dihitung dengan menggunakan persamaan 3.10 berikut ini.

$$M_R = \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \quad (3.10)$$

dengan:

M_R = modulus resilien tanah dasar hasil dari perhitungan balik (psi),

P = beban yang digunakan (lbs),

d_r = lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan (inci), dan

r = jarak dari pusat pembebanan (inci).

Pada perhitungan modulus resilien tanah dasar ini tidak diperhitungkan koreksi temperatur karena lendutan yang digunakan hanya akibat deformasi tanah dasar. Lendutan yang digunakan untuk perhitungan balik harus diukur cukup jauh dari pusat pembebanan sehingga memberikan estimasi yang cukup akurat untuk perhitungan modulus resilien tanah dasar. Jarak minimum pengukuran lendutan untuk estimasi modulus resilien tanah dasar adalah:

$$r > 0.7 a_e \quad (3.11)$$

$$a_e = \sqrt{\left(a^2 + \left\{ D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right\}^2 \right)} \quad (3.12)$$

dengan:

a_e = jari-jari gelembung tegangan pada permukaan batas antara tanah dasar dan struktur perkerasan (inci),

a = jari-jari pelat beban (inci),

D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar (inci),

M_R = modulus resilien tanah dasar (psi), dan

E_p = modulus efektif seluruh lapisan struktur perkerasan di atas tanah dasar (psi).

3.4.5.2 Modulus Efektif Perkerasan (E_p)

Besar lendutan pada pusat beban (d_0) perlu dikoreksi dengan temperatur standar 68°F. Faktor penyesuaian nilai d_0 terhadap temperatur ditentukan dengan Gambar 3.6.

$$d_0 = 1.5 \times p \times a \times \left(\frac{1}{M_R \times \sqrt{1 + \left(\frac{D^3 \sqrt{E_p}}{a \sqrt{M_R}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right) \quad (3.13)$$

dengan:

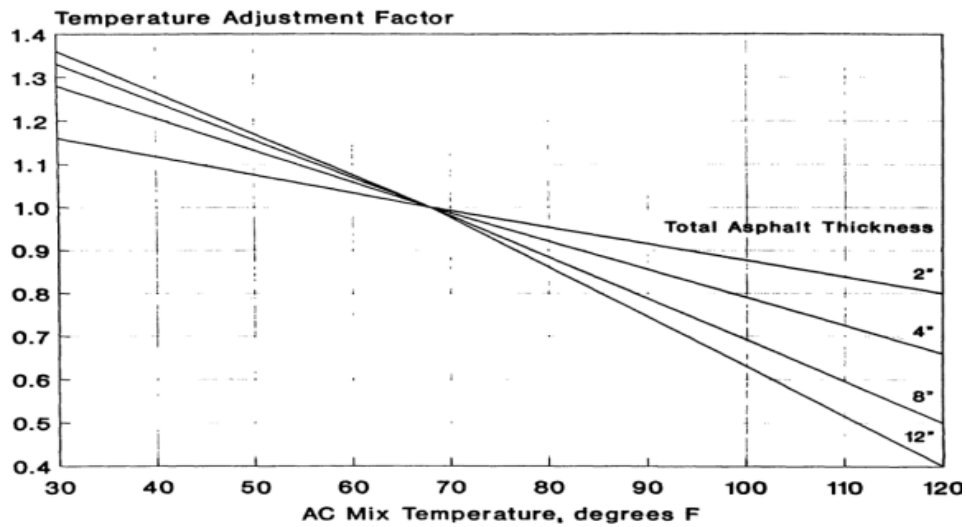
d_0 = lendutan yang diukur pada pusat pembebanan dan untuk temperatur standar 68°F (inci),

p = tekanan akibat beban pada pelat FWD (psi),

a = jari-jari pelat pembebanan (inci),

D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar (inci), dan

E_p = modulus efektif seluruh lapisan perkerasan di atas tanah dasar (psi).



Gambar 3.6 Faktor Penyesuaian Nilai d_0 Terhadap Temperatur untuk Aspal Semen dengan Lapis Pondasi Granuler atau Distabilisasi dengan Aspal

(Sumber: AASHTO, 1993)

3.4.5.3 Modulus Resilien Tanah Dasar Perencanaan (M_R desain)

Modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan (M_R desain) ditentukan dengan persamaan 3.14 berikut ini.

$$M_R = C \times \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \quad (3.14)$$

dengan:

M_R = Modulus Resilien tanah dasar hasil dari perhitungan balik (psi),

P = Beban yang digunakan (lbs),

d_r = lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan (inci),

r = jarak dari pusat beban (inci), dan

C = faktor koreksi = 0,33.

3.4.5.4 Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

Serviceability berhubungan dengan kerataan dan kemampuan pelayanan perkerasan yang dinyatakan dalam *Present Serviceability Service* (PSI). Kemampuan pelayanan suatu ruas jalan akan menurun seiring berjalannya waktu dan tingkat penurunannya sangat tergantung dari pemeliharaan jalan, lingkungan

dan lalu-lintas yang melaluinya. AASHTO (1993) menyatakan hubungan kategori kondisi jalan dengan nilai PSI dalam Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Hubungan Kondisi Jalan dan PSI

Skala PSI	Kategori Kondisi
0-1	Sangat buruk
1-2	Buruk
2-3	Sedang
3-4	Baik
4-5	Sangat baik

Sumber: AASHTO (1993)

Dalam perancangan dibutuhkan pemilihan indeks kemampuan pelayanan awal dan akhir, AASHTO (1993) menyarankan nilai-nilai P_t berikut:

1. jalan raya utama, $P_t = 2,5$,
2. jalan raya dengan lalu lintas rendah, $P_t = 2,0$, dan
3. jalan raya relatif minor, $P_t = 1,5$.

Kehilangan kemampuan pelayanan total (*total loss of serviceability*) dinyatakan oleh persamaan:

$$\Delta\text{PSI} = P_0 - P_t \quad (3.15)$$

dengan:

ΔPSI = Jumlah total kehilangan kemampuan pelayanan,

P_t = Kemampuan pelayanan akhir, dan

P_0 = Kemampuan layanan awal dengan nilai 4,2.

3.4.5.5 Reliabilitas (R)

Reliabilitas (R) merupakan kemungkinan atau probabilitas bahwa suatu jenis kerusakan ataupun kombinasi kerusakan pada suatu perkerasan jalan akan lebih rendah / dalam batasan yang diizinkan selama umur rencana. *Reliability* (R) menyatakan kemungkinan kondisi perkerasan yang dirancang masih tetap memuaskan selama masa layan. Semakin tinggi nilai Reliabilitas maka semakin tinggi kemungkinan terjadinya selisih antara hasil rancangan dan kenyataan. Hal ini berarti semakin tinggi Reliabilitas maka hasil rancangan akan menghasilkan

desain yang lebih besar (tebal). Tabel 3.18 menunjukkan nilai Reliabilitas untuk tipe jalan dan berdasarkan lingkungannya.

Tabel 3.18 Nilai Reliability (R)

Tipe Jalan	Nilai R (%)	
	Perkotaan (<i>urban</i>)	Pedesaan (<i>rural</i>)
Jalan bebas hambatan	90-99,9	85-99,9
Utama	85-99	80-95
Arteri	80-99	75-95
Kolektor	80-95	75-95
Lokal	50-80	50-80

Sumber: AASHTO (1993)

3.4.5.6 Deviasi Standar Normal (Z_R)

Nilai simpang baku normal (Z_R) ditentukan berdasarkan nilai tingkat Reliabilitas (R) yang didapat dari Tabel kurva normal standar. Hubungan nilai Deviasi Standar Normal (Z_R) dan nilai Deviasi Standar Keseluruhan (S_o) akan menghasilkan Faktor Reliabilitas desain (FR). Hubungan antara tingkat Reliabilitas (R) dan simpang baku normal (Z_R) disajikan dalam Tabel 3.19 berikut ini.

Tabel 3.19 Hubungan antara R dan Z_R

R (%)	Z_R
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,404
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber: AASHTO (1993)

3.4.5.7 Deviasi Standar Keseluruhan (S_0)

Pengaplikasian dari konsep *Reliability* ini diberikan juga dalam parameter standar deviasi yang mempresentasikan kondisi kondisi lokal dari ruas jalan yang direncanakan serta tipe perkerasan yang digunakan. Deviasi standar keseluruhan (*overall standar deviation*) merupakan parameter yang digunakan guna memperhitungkan adanya variasi dari input data. Deviasi standar keseluruhan dipilih sesuai dengan kondisi lokal. AASHTO (1993) menyarankan sebagai berikut:

1. untuk perkerasan lentur : S_0 diantara 0,4 – 0,5 , dan
2. untuk perkerasan kaku : S_0 diantara 0,3 – 0,4.

Disarankan dalam AASHTO (1993) untuk perkerasan lentur nilai S_0 sebesar 0,45 dan untuk perkerasan kaku nilai S_0 sebesar 0,35.

3.4.5.8 Koefisien Lapisan (a_{OL})

Untuk mengidentifikasi angka struktural perkerasan lentur eksisting, AASHTO 1993 memberikan tabel penentuan nilai koefisien lapisan yang telah dipengaruhi oleh penurunan mutu bahan dan akibat kerusakan yang lain. Koefisien lapisan untuk perkerasan lentur yang telah dipengaruhi oleh kerusakan disajikan dalam Tabel 3.20. Penentuan koefisien lapisan untuk lapis pondasi atas (*granuler base layer*) dapat dilihat pada Gambar 3.7 atau dengan menggunakan persamaan 3.16 berikut ini.

$$a_1 = 0,249 (\log_{10} M_R) - 0,97 \quad (3.16)$$

dengan:

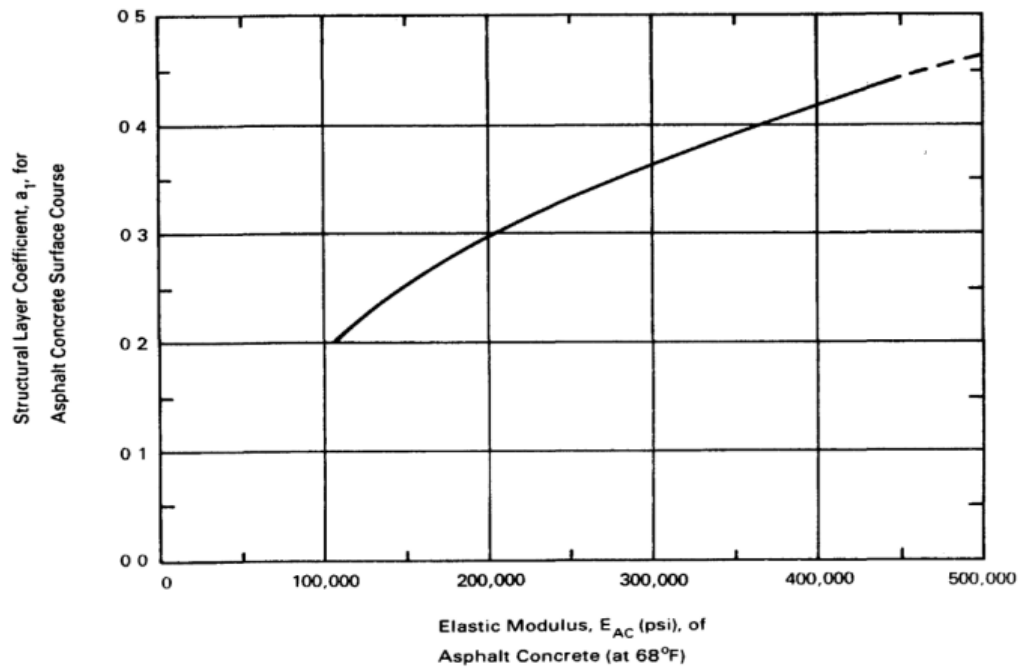
a_1 = koefisien lapisan pondasi atas, dan

M_R = Modulus Resilien (Psi).

Tabel 3.20 Koefisien Lapisan (a_i) Untuk Perkerasan Lentur Eksisting Setelah Dipengaruhi oleh Kerusakan

Bahan	Kondisi Permukaan	Koefisien Lapisan (a)
Permukaan aspal semen (ac)	Sedikit atau tidak ada rusak retak kulit buaya dan atau retak melintang tingkat rendah	0,35 – 0,40
	< 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 5 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,25 – 0,35
	> 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau > 5-10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,20 – 0,30
	> 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau < 10% retak buaya tingkat tinggi dan atau > 10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,14 – 0,20
	> 10 % retak buaya tingkat tinggi > 10 % retak melintang tingkat tinggi	0,88 – 0,15
Lapis pondasi distabilisasi (<i>stabilized base</i>)	Sedikit atau tidak ada rusak retak kulit buaya dan atau retak melintang tingkat rendah	0,20 – 0,35
	< 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 5 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,15 – 0,25
	> 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau > 5-10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,15 – 0,20
	> 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau < 10% retak buaya tingkat tinggi dan atau > 10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,10 – 0,20
	> 10 % retak buaya tingkat tinggi > 10 % retak melintang tingkat tinggi	0,08 – 0,15
Lapis pondasi granuler atau lapis pondasi bawah	Tidak ada kenampakan pemompaan (<i>pumping</i>), atau terkontaminasi butiran halus	0,10 – 0,14
	Ada kenampakan pemompaan (<i>pumping</i>), degradasi, atau terkontaminasi butiran halus	0,00 – 0,10

(Sumber: AASHTO, 1993)



Gambar 3.7 Grafik Penentuan Nilai Koefisien Lapisan (a_i)

(Sumber: AASHTO, 1993)

3.4.5.9 Angka Struktural Efektif Perkerasan (SN_{eff})

Angka struktural efektif perkerasan (SN_{eff}) merupakan nilai yang menunjukkan kapasitas struktural perkerasan. AASHTO (1993) menyatakan bahwa kapasitas struktural perkerasan merupakan fungsi dari tebal total dan kekakuan keseluruhan dari perkerasan. Nilai SN_{eff} ditentukan dengan persamaan 3.17 berikut ini.

$$SN_{eff} = 0,0045 \times D \times \sqrt[3]{E_p} \quad (3.17)$$

dengan:

SN_{eff} = Angka Struktural Efektif perkerasan eksisting yang akan diberi lapis tambahan,

D = Tebal lapis perkerasan total di atas tanah dasar (inci), dan

E_p = Modulus Efektif Perkerasan di atas tanah dasar (psi).

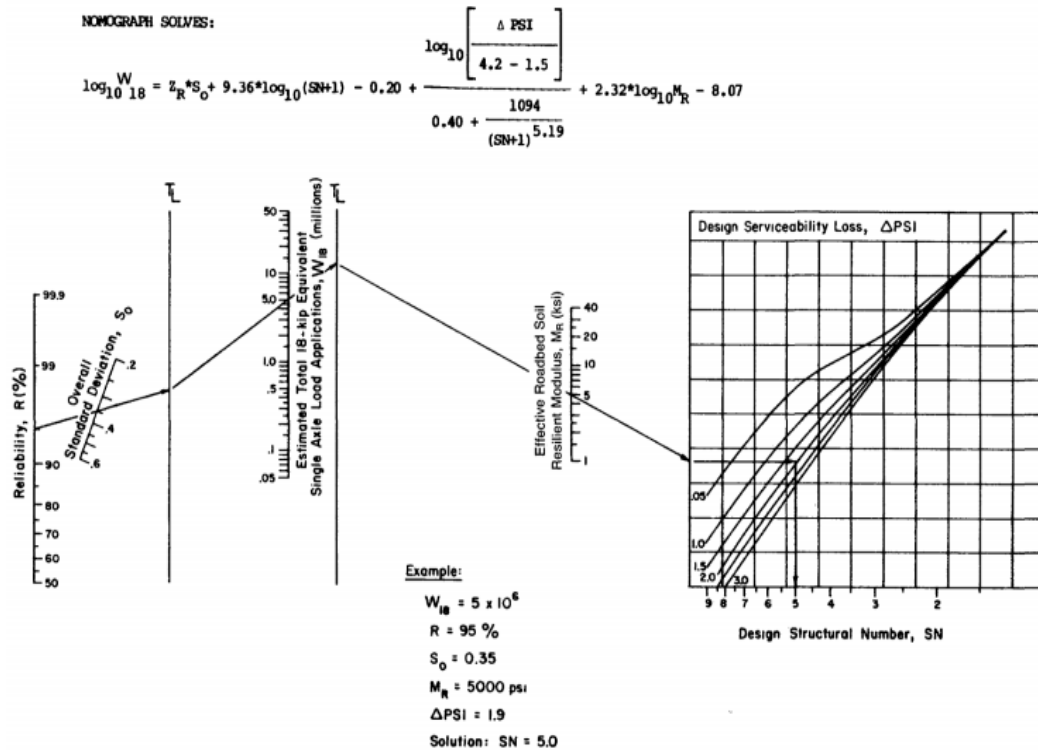
3.4.5.10 Penentuan Angka Struktural Rencana (SN_f)

Penentuan angka struktural rencana (SN_f) pada kondisi lalu-lintas yang akan datang sama dengan cara perhitungan SN untuk kondisi perkerasan baru. Data yang dibutuhkan untuk perhitungan nilai SN_f adalah volume lalu-lintas rencana, modulus resilient efektif (M_R), kemampuan pelayanan yang hilang (ΔPSI), reliabilitas (R) dan deviasi standar keseluruhan (S_0). SN_f dapat ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 3.8 ataupun dengan persamaan sebagai berikut.

$$\log_{10} W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10} (SN_f + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{IP_0 - IP_f} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} M_R - 8,07 \quad (3.18)$$

dengan:

- M_R = modulus resilien tanah dasar hasil dari perhitungan balik (psi),
- W_{18} = perkiraan jumlah beban sumbu standar ekivalen 18-kip (ESAL),
- Z_R = deviasi normal standar,
- S_0 = deviasi standar keseluruhan (perkiraan lalu-lintas dan kinerja),
- ΔPSI = selisih *initial design serviceability index* (IP_0) dengan *design terminal serviceability index* (IP_t),
- SN_f = angka struktural di masa datang (rencana), dan
- IP_f = indeks permukaan jalan hancur (minimum 1,5).



Gambar 3.8 Nomogram Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur

(Sumber: AASHTO, 1993)

3.4.5.11 Tebal Lapis Tambahan Perkerasan

Tebal lapis tambahan perkerasan dapat dihitung setelah nilai SN_{eff} dan SN_f diketahui. Perhitungan kebutuhan tebal lapis tambahan perkerasan menggunakan persamaan 3.19 berikut ini.

$$H_{OL} = \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{OL}} \tag{3.19}$$

dengan:

SN_{eff} = Angka Struktural Efektif perkerasan eksisting yang akan diberi lapis tambahan,

SN_f = Angka Struktural dimasa datang / perencanaan,

H_{OL} = Tebal lapis tambahan yang diperlukan (inci), dan

a_{OL} = Koefisien lapisan *overlay*.