

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM

Daftar isi

Daftar isi	i
Daftar gambar	ii
Daftar tabel	iii
Prakata	iv
Pendahuluan	v
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
3.1 angka ekivalen beban sumbu kendaraan (E)	1
3.2 <i>Benkelman Beam</i> (BB)	1
3.3 <i>CESA (Cumulative Equivalent Standard Axle)</i>	1
3.4 <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	1
3.5 Laston	2
3.6 Laston Modifikasi	2
3.7 Lataston	2
3.8 lendutan maksimum (<i>maximum deflection</i>)	2
3.9 lendutan balik (<i>rebound deflection</i>)	2
3.10 lendutan langsung	2
3.11 lendutan rencana/ljin	2
3.12 pusat beban (<i>load center</i>)	2
3.13 perkerasan jalan	2
3.14 perkerasan lentur	3
3.15 tebal lapis tambah (<i>overlay</i>)	3
4 Simbol dan singkatan	3
5 Ketentuan perhitungan	4
5.1 Lalu lintas	4
5.2 Lendutan	6
5.2.1 Lendutan dengan <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	6
5.2.2 Lendutan dengan <i>Benkelman Beam</i> (BB)	7
5.3 Keseragaman lendutan	10
5.4 Lendutan wakil	10
5.5 Faktor koreksi tebal lapis tambah	10
5.6 Jenis lapis tambah	11
6 Prosedur perhitungan	12
Lampiran A Temperatur Perkerasan Rata-Rata Tahunan (TPRT)	15
Lampiran B Contoh Perhitungan Tebal Lapis Tambah	19
Lampiran C Gambar alat pengujian lendutan (informatif)	27
Lampiran D Daftar nama dan lembaga (informatif)	29
Bibliografi	30

Daftar gambar

Gambar 1	Faktor koreksi lendutan terhadap temperatur standar (F_t)	8
Gambar 2	Faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay (F_o)	11
Gambar 3	Faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian ($F_{K_{TBL}}$)	12
Gambar 4	Hubungan antara lendutan rencana dan lalu-lintas	14
Gambar 5	Tebal lapis tambah/overlay (H_o)	14
Gambar B.1	Lendutan FWD terkoreksi (d_L)	22
Gambar B.2	Lendutan BB terkoreksi (d_B)	25
Gambar C.1	Alat <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	27
Gambar C.2	Alat <i>Benkelman Beam</i> (BB)	28

Daftar tabel

Tabel 1	Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan	4
Tabel 2	Koefisien distribusi kendaraan (C)	4
Tabel 3	Ekivalen beban sumbu kendaraan (E)	5
Tabel 4	Faktor hubungan antara umur rencana dengan perkembangan lalu lintas (N)	6
Tabel 5	Faktor koreksi lendutan terhadap temperatur standar (Ft)	8
Tabel 6	Temperatur tengah (T_t) dan bawah (T_b) lapis beraspal berdasarkan data temperatur udara (T_u) dan temperatur permukaan (T_p)	9
Tabel 7	Faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL})	12
Tabel A.1	Temperatur perkerasan rata-rata (RPRT) untuk beberapa daerah/kota di Indonesia	15
Tabel B.1	Data lendutan hasil pengujian dengan alat <i>FWD</i>	19
Tabel B.2	Data lendutan hasil pengujian dengan alat <i>BB</i>	20
Tabel B.3	Nilai lendutan <i>FWD</i> terkoreksi (D_L)	21
Tabel B.4	Nilai lendutan <i>BB</i> terkoreksi (D_B)	24



Prakata

Pedoman perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metode lendutan dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan melalui Gugus Kerja Bidang Perkerasan Jalan pada Sub Panitia Teknik Standarisasi Bidang Prasarana Transportasi. Pedoman ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang ex. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Pedoman ini merupakan revisi Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (01/MN/B/1983) dan selain berlaku untuk data lendutan yang diperoleh berdasarkan alat *Benkelman Beam* juga berlaku untuk data lendutan yang diperoleh dengan alat *Falling Weight Deflectometer*.

Di samping mengacu pada Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (01/MN/B/1983) dan hasil penelitian, pedoman ini mengacu juga pada Metoda Pengujian Lendutan Perkerasan Lentur Dengan Alat Benkelman Beam (SNI 07-2416-1991), dan Perencanaan Tebal Perkerasan dengan Analisa Komponen (SNI 03-1732-1989).

Pedoman ini digunakan sebagai rujukan bagi perencana, pelaksana dan pengawas kegiatan peningkatan jalan.

Tata Cara penulisan ini disusun mengikuti Pedoman BSN No. 8 th. 2000 dan dibahas dalam forum konsensus yang melibatkan narasumber, pakar dan stakeholder Prasarana Transportasi sesuai ketentuan Pedoman BSN No. 9 tahun 2000.

Pendahuluan

Pedoman perencanaan tebal lapis tambah dengan metode lendutan dengan menggunakan alat *Falling Deflectometer (FWD)* belum dibuat NSPM nya sedangkan Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (01/MN/B/1983) dipandang perlu direvisi karena ada beberapa parameter yang perlu penyesuaian. Salah satu penyesuaian yang perlu dilakukan adalah pada grafik atau rumus tebal lapis tambah/overlay. Rumus atau grafik overlay yang terdapat dalam pedoman dan manual tersebut berbentuk asimtot dan lendutan setelah lapis tambah terbatas sebesar 0,5 mm. Hal ini tidak realistis terutama untuk perencanaan perkerasan yang melayani lalu lintas padat dan berat. Berdasarkan perencanaan dengan cara mekanistik (teori elastis linier) yang mengatakan bahwa kebutuhan kekuatan struktur perkerasan yang dicerminkan dengan besaran lendutan sejalan dengan akumulasi beban lalu lintas rencana, maka makin banyak lalu lintas yang akan dilayani, lendutan rencana harus makin kecil.

Upaya untuk memenuhi tuntutan tersebut perlu disusun pedoman perencanaan tebal lapis tambah dengan metode lendutan yang disesuaikan dengan kondisi lalu lintas dan lingkungan di Indonesia.

Saat ini acuan yang ada adalah Tata Cara Pemeriksaan Lendutan dengan alat Benkelman Beam (SNI 07-2416-1991), Perencanaan Tebal Perkerasan dengan Analisa Komponen (SNI 03-1732-1989) dan Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (01/MN/B/1983).

Dengan telah diberlakukannya pedoman ini maka Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (01/MN/B/1983) tidak berlaku lagi. Pedoman ini diharapkan akan memberikan keterangan yang cukup bagi perencana, pelaksana dan pengawas dalam perencanaan atau perhitungan tebal lapis tambah untuk konstruksi perkerasan lentur.

Pedoman perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metode lendutan

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan kaidah-kaidah dan tata cara perhitungan lapis tambah perkerasan lentur berdasarkan kekuatan struktur perkerasan yang ada yang diilustrasikan dengan nilai lendutan. Pedoman ini memuat deskripsi berbagai faktor dan parameter yang digunakan dalam perhitungan serta memuat contoh perhitungan.

Perhitungan tebal lapis tambah yang diuraikan dalam pedoman ini hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan lentur atau konstruksi perkerasan dengan lapis pondasi agregat dengan lapis permukaan menggunakan bahan pengikat aspal.

Penilaian kekuatan struktur perkerasan yang ada, didasarkan atas lendutan yang dihasilkan dari pengujian lendutan langsung dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan lendutan balik dengan menggunakan alat *Benkelman Beam (BB)*.

2 Acuan normatif

- SNI 03-1732-18-989, *Perencanaan tebal perkerasan dengan analisa komponen*
- SNI 03-2416-1991, *Metoda pengujian lendutan perkerasan lentur dengan alat Benkelman Beam*

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini sebagai berikut :

3.1

angka ekuivalen beban sumbu kendaraan (E)

angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban sumbu standar

3.2

Benkelman Beam (BB)

alat untuk mengukur lendutan balik dan lendutan langsung perkerasan yang menggambarkan kekuatan struktur perkerasan jalan

3.3

CESA (Cummulative Equivalent Standard Axle)

akumulasi ekuivalen beban sumbu standar selama umur rencana

3.4

Falling Weight Deflectometer (FWD)

alat untuk mengukur lendutan langsung perkerasan yang menggambarkan kekuatan struktur perkerasan jalan

3.5

Laston

campuran beraspal dengan gradasi agregat gabungan yang rapat/menerus dengan menggunakan bahan pengikat aspal keras tanpa dimodifikasi (*Straight Bitumen*)

3.6

Laston modifikasi

campuran beraspal dengan gradasi agregat gabungan yang rapat/menerus dengan menggunakan bahan pengikat aspal keras yang dimodifikasi (seperti aspal polimer, aspal multigrade dan aspal keras yang dimodifikasi asbuton)

3.7

Lataston

campuran beraspal dengan gradasi agregat gabungan yang senjang dengan menggunakan bahan pengikat aspal keras tanpa dimodifikasi (*Straight Bitumen*)

3.8

lendutan maksimum (*maximum deflection*)

besar gerakan turun vertikal maksimum suatu permukaan perkerasan akibat beban

3.9

lendutan balik (*rebound deflection*)

besar lendutan balik vertikal suatu permukaan perkerasan akibat beban dipindahkan

3.10

lendutan langsung

besar lendutan vertikal suatu permukaan perkerasan akibat beban langsung

3.11

lendutan rencana/ijin

besar lendutan rencana atau yang diijinkan sesuai dengan akumulasi ekivalen beban sumbu standar selama umur rencana (*Cummulative Equivalent Standard Axle, CESA*)

3.12

pusat beban (*load center*)

letak beban pada permukaan perkerasan yang berada tepat dibawah garis sumbu gandar belakang dan ditengah-tengah ban ganda sebuah truk

3.13

perkerasan jalan

konstruksi jalan yang diperuntukan bagi lalu lintas yang terletak diatas tanah dasar

3.14

perkerasan lentur

konstruksi perkerasan jalan yang dibuat dengan menggunakan lapis pondasi agregat dan lapis permukaan dengan bahan pengikat aspal

3.15

tebal lapis tambah (*overlay*)

lapis perkerasan tambahan yang dipasang di atas konstruksi perkerasan yang ada dengan tujuan meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama kurun waktu yang akan datang

4 Simbol dan singkatan

- C : koefisien distribusi kendaraan
- C_a : faktor pengaruh muka air tanah
- $D_{rencana}$: lendutan rencana
- $D_{sbl\ ov}$: lendutan sebelum overlay
- $D_{stl\ ov}$: lendutan setelah overlay
- D_{wakil} : lendutan wakil
- d : lendutan
- d_1 : lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran
- d_3 : lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter dari titik pengukuran
- d_{ft} : lendutan langsung pada pusat beban
- d_L : lendutan langsung
- d_R : lendutan rencana
- E : ekivalen beban sumbu kendaraan
- FK : faktor keseragaman
- FK_{ijin} : faktor keseragaman yang diijinkan
- F_o : faktor koreksi tebal lapis tambah atau overlay
- F_t : faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C
- FK_{B-BB} : faktor koreksi beban uji *Benkelman Beam (BB)*
- FK_{B-FWD} : faktor koreksi beban uji *Falling Weight Deflectometer (FWD)*
- FK_{TBL} : faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (untuk Laston Modifikasi atau Lataston)
- H_o : tebal lapis tambah sebelum dikoreksi
- H_L : tebal lapis beraspal
- H_t : tebal lapis tambah setelah dikoreksi
- L : lebar perkerasan
- MP : mobil penumpang
- m : jumlah masing-masing jenis kendaraan
- M_R : modulus resilien
- N : faktor hubungan antara umur rencana dengan perkembangan lalu lintas
- n : umur rencana
- n_s : jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan
- r : angka pertumbuhan lalu lintas
- S : deviasi standar atau simpangan baku
- $SDRG$: Sumbu Dual Roda Ganda
- $STRG$: Sumbu Tunggal Roda Ganda
- $STRT$: Sumbu Tunggal Roda Tunggal

- **STrRG** : Sumbu Triple Roda Ganda
- **TPRT** : Temperatur Perkerasan Rata-rata Tahunan
- **T_b** : temperatur bawah lapis beraspal
- **T_L** : temperatur lapis beraspal
- **T_p** : temperatur permukaan perkerasan beraspal
- **T_t** : temperatur tengah lapisan beraspal
- **T_u** : temperatur udara

5 Ketentuan perhitungan

5.1 Lalu lintas

a) Jumlah Lajur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C).

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan, yang menampung lalu-lintas terbesar.

Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 1.

Tabel 1 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan

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

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana ditentukan sesuai Tabel 2.

Tabel 2 Koefisien distribusi kendaraan (C)

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	-	0,45
5	-	0,25	-	0,425
6	-	0,20	-	0,40

Keterangan : *) Mobil Penumpang

**) Truk dan Bus

b) Ekuivalen beban sumbu kendaraan (E).

Angka ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut Rumus 1, 2, 3 dan 4 atau pada Tabel 3.

$$\text{Angka ekuivalen STRT} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,40} \right]^4 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Angka ekivalen STRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{8,16} \right]^4 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Angka ekivalen SDRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Angka ekivalen STrRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 \dots\dots\dots (4)$$

Tabel 3 Ekivalen beban sumbu kendaraan (E)

Beban sumbu (ton)	Ekivalen beban sumbu kendaraan (E)			
	STRT	STRG	SDRG	STrRG
1	0,00118	0,00023	0,00003	0,00001
2	0,01882	0,00361	0,00045	0,00014
3	0,09526	0,01827	0,00226	0,00070
4	0,30107	0,05774	0,00714	0,00221
5	0,73503	0,14097	0,01743	0,00539
6	1,52416	0,29231	0,03615	0,01118
7	2,82369	0,54154	0,06698	0,02072
8	4,81709	0,92385	0,11426	0,03535
9	7,71605	1,47982	0,18302	0,05662
10	11,76048	2,25548	0,27895	0,08630
11	17,21852	3,30225	0,40841	0,12635
12	24,38653	4,67697	0,57843	0,17895
13	33,58910	6,44188	0,79671	0,24648
14	45,17905	8,66466	1,07161	0,33153
15	59,53742	11,41838	1,41218	0,43690
16	77,07347	14,78153	1,82813	0,56558
17	98,22469	18,83801	2,32982	0,72079
18	123,45679	23,67715	2,92830	0,90595
19	153,26372	29,39367	3,63530	1,12468
20	188,16764	36,08771	4,46320	1,38081

c) Faktor umur rencana dan perkembangan lalu lintas

Faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas ditentukan menurut Rumus 5 atau Tabel 4 dibawah ini.

$$N = \frac{1}{2} \left[1 + (1+r)^n + 2(1+r) \frac{(1+r)^{n-1} - 1}{r} \right] \dots\dots\dots (5)$$

Tabel 4 Faktor hubungan antara umur rencana dengan perkembangan lalu lintas (N)

n (tahun) \ r (%)	2	4	5	6	8	10
1	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05
2	2,04	2,08	2,10	2,12	2,16	2,21
3	3,09	3,18	3,23	3,28	3,38	3,48
4	4,16	4,33	4,42	4,51	4,69	4,87
5	5,26	5,52	5,66	5,81	6,10	6,41
6	6,37	6,77	6,97	7,18	7,63	8,10
7	7,51	8,06	8,35	8,65	9,28	9,96
8	8,67	9,40	9,79	10,19	11,06	12,01
9	9,85	10,79	11,30	11,84	12,99	14,26
10	11,06	12,25	12,89	13,58	15,07	16,73
11	12,29	13,76	14,56	15,42	17,31	19,46
12	13,55	15,33	16,32	17,38	19,74	22,45
13	14,83	16,96	18,16	19,45	22,36	25,75
14	16,13	18,66	20,09	21,65	25,18	29,37
15	17,47	20,42	22,12	23,97	28,24	33,36
20	24,54	30,37	33,89	37,89	47,59	60,14
25	32,35	42,48	48,92	56,51	76,03	103,26
30	40,97	57,21	68,10	81,43	117,81	172,72

d) Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (CESA)

Dalam menentukan akumulasi beban sumbu lalu lintas (CESA) selama umur rencana ditentukan dengan Rumus 6.

$$CESA = \sum_{\text{Traktor - Trailer}}^{MP} m \times 365 \times E \times C \times N \dots\dots\dots (6)$$

dengan pengertian :

- CESA = akumulasi ekivalen beban sumbu standar
- m = jumlah masing-masing jenis kendaraan
- 365 = jumlah hari dalam satu tahun
- E = ekivalen beban sumbu (Tabel 3)
- C = koefisien distribusi kendaraan (Tabel 2)
- N = Faktor hubungan umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas (Tabel 4)

5.2 Lendutan

Lendutan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah lendutan hasil pengujian dengan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* atau *Benkelman Beam (BB)*. Apabila pada waktu pengujian lendutan ditemukan data yang meragukan maka pada lokasi atau titik tersebut dianjurkan untuk dilakukan pengujian ulang atau titik pengujian dipindah pada lokasi atau titik disekitarnya.

5.2.1 Lendutan dengan *Falling Weight Deflectometr (FWD)*

Lendutan yang digunakan adalah lendutan pada pusat beban (d_{r1}). Nilai lendutan ini harus dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim) dan koreksi temperatur serta faktor koreksi beban uji (bila beban uji tidak tepat sebesar 4,08 ton). Besarnya lendutan langsung adalah sesuai Rumus 7.

$$d_L = d_{r1} \times Ft \times Ca \times FK_{B-FWD} \dots\dots\dots (7)$$

dengan pengertian :

- d_L = lendutan langsung (mm)
 d_{f1} = lendutan langsung pada pusat beban (mm)
 F_t = faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C, yaitu sesuai Rumus 8, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih kecil 10 cm atau Rumus 9, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih besar atau sama dengan 10 cm atau menggunakan Tabel 5 atau pada Gambar 1 (Kurva A untuk $H_L < 10$ cm dan Kurva B untuk $H_L \geq 10$ cm).
 $= 4,184 \times T_L^{-0,4025}$, untuk $H_L < 10$ cm (8)
 $= 14,785 \times T_L^{-0,7573}$, untuk $H_L \geq 10$ cm (9)
 T_L = temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat diprediksi dari temperatur udara, yaitu:
 $T_L = 1/3 (T_p + T_t + T_b)$ (10)
 T_p = temperatur permukaan lapis beraspal
 T_t = temperatur tengah lapis beraspal atau dari Tabel 6
 T_b = temperatur bawah lapis beraspal atau dari Tabel 6
 Ca = faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)
 $= 1,2$; bila pemeriksaan dilakukan pada musim kemarau atau muka air tanah rendah
 $= 0,9$; bila pemeriksaan dilakukan pada musim hujan atau muka air tanah tinggi
 FK_{B-FWD} = faktor koreksi beban uji *Falling Weight Deflectometer (FWD)*
 $= 4,08 \times (\text{Beban Uji dalam ton})^{(-1)}$ (11)

Cara pengukuran lendutan dengan alat FWD mengacu pada Petunjuk Pengujian Lendutan Perkerasan Lentur Dengan Alat *Falling Weight Deflectometer* (Dadang AS-Pustran, 2003) dan gambar alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* ditunjukkan pada Gambar C1 pada Lampiran C.

5.2.2 Lendutan dengan *Benkelman Beam (BB)*

Lendutan yang digunakan untuk perencanaan adalah lendutan balik. Nilai lendutan tersebut harus dikoreksi dengan, faktor muka air tanah (faktor musim) dan koreksi temperatur serta faktor koreksi beban uji (bila beban uji tidak tepat sebesar 8.16 ton). Besarnya lendutan balik adalah sesuai Rumus 12.

$$d_B = 2 \times (d_3 - d_1) \times F_t \times Ca \times FK_{B-BB} \dots \dots \dots (12)$$

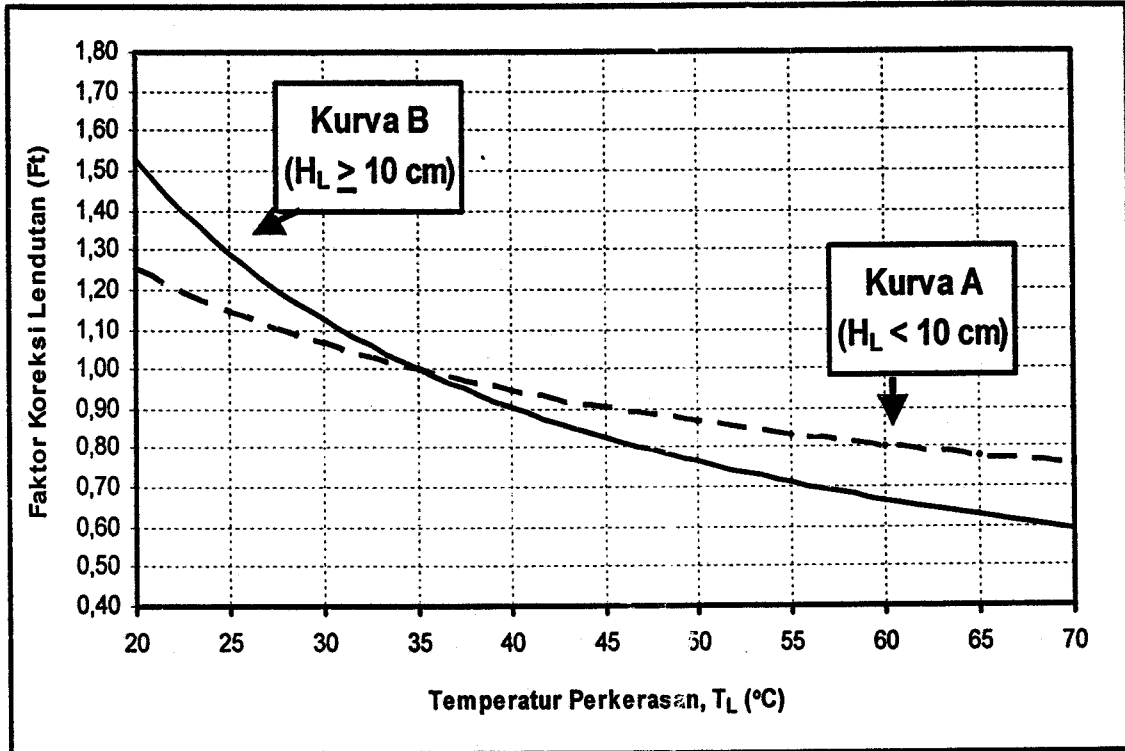
dengan pengertian :

- d_B = lendutan balik (mm)
 d_1 = lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran
 d_3 = lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter dari titik pengukuran
 F_t = faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C, sesuai Rumus 8, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih kecil 10 cm atau Rumus 9, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih besar atau sama dengan 10 cm atau menggunakan Tabel 5 atau pada Gambar 1 (Kurva A untuk $H_L < 10$ cm dan Kurva B untuk $H_L \geq 10$ cm).
 T_L = temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat diprediksi dari temperatur udara, yaitu:
 $T_L = 1/3 (T_p + T_t + T_b)$ (13)
 T_p = temperatur permukaan lapis beraspal
 T_t = temperatur tengah lapis beraspal atau dari Tabel 6
 T_b = temperatur bawah lapis beraspal atau dari Tabel 6
 Ca = faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)
 $= 1,2$; bila pemeriksaan dilakukan pada musim kemarau atau muka air tanah rendah
 $= 0,9$; bila pemeriksaan dilakukan pada musim hujan atau muka air tanah tinggi

$$FK_{B-BB} = \text{faktor koreksi beban uji Benkelman Beam (BB)}$$

$$= 77,343 \times (\text{Beban Uji dalam ton})^{(-2,0715)} \dots\dots\dots (14)$$

Cara pengukuran lendutan balik mengacu pada SNI 03-2416-1991 (Metoda Pengujian Lendutan Perkerasan Lentur Dengan Alat Benkelman Beam) dan gambar alat *Benkelman Beam (BB)* ditunjukkan pada Gambar C2 pada Lampiran C.



Gambar 1 Faktor koreksi lendutan terhadap temperatur standar (Ft)

Tabel 5 Faktor koreksi lendutan terhadap temperatur standar (Ft)

T _L (°C)	Faktor Koreksi (Ft)		T _L (°C)	Faktor Koreksi (Ft)	
	Kurva A (H _L < 10 cm)	Kurva B (H _L ≥ 10 cm)		Kurva A (H _L < 10 cm)	Kurva B (H _L ≥ 10 cm)
20	1,25	1,53	46	0,90	0,81
22	1,21	1,42	48	0,88	0,79
24	1,16	1,33	50	0,87	0,76
26	1,13	1,25	52	0,85	0,74
28	1,09	1,19	54	0,84	0,72
30	1,06	1,13	56	0,83	0,70
32	1,04	1,07	58	0,82	0,68
34	1,01	1,02	60	0,81	0,67
36	0,99	0,98	62	0,79	0,65
38	0,97	0,94	64	0,78	0,63
40	0,95	0,90	66	0,77	0,62
42	0,93	0,87	68	0,77	0,61
44	0,91	0,84	70	0,76	0,59

Catatan :

- Kurva A adalah faktor koreksi (Ft) untuk tebal lapis beraspal (H_L) kurang dari 10 cm.
- Kurva B adalah faktor koreksi (Ft) untuk tebal lapis beraspal (H_L) minimum 10 cm

Tabel 6 Temperatur tengah (T_t) dan bawah (T_b) lapis beraspal berdasarkan data temperatur udara (T_u) dan temperatur permukaan (T_p)

$T_u + T_p$ (°C)	Temperatur lapis beraspal (°C) pada kedalaman					
	2,5 cm	5,0 cm	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
45	26,8	25,6	22,8	21,9	20,8	20,1
46	27,4	26,2	23,3	22,4	21,3	20,6
47	28,0	26,7	23,8	22,9	21,7	21,0
48	28,6	27,3	24,3	23,4	22,2	21,5
49	29,2	27,8	24,7	23,8	22,7	21,9
50	29,8	28,4	25,2	24,3	23,1	22,4
51	30,4	28,9	25,7	24,8	23,6	22,8
52	30,9	29,5	26,2	25,3	24,0	23,3
53	31,5	30,0	26,7	25,7	24,5	23,7
54	32,1	30,6	27,1	26,2	25,0	24,2
55	32,7	31,2	27,6	26,7	25,4	24,6
56	33,3	31,7	28,1	27,2	25,9	25,1
57	33,9	32,3	28,6	27,6	26,3	25,5
58	34,5	32,8	29,1	28,1	26,8	26,0
59	35,1	33,4	29,6	28,6	27,2	26,4
60	35,7	33,9	30,0	29,1	27,7	26,9
61	36,3	34,5	30,5	29,5	28,2	27,3
62	36,9	35,1	31,0	30,0	28,6	27,8
63	37,5	35,6	31,5	30,5	29,1	28,2
64	38,1	36,2	32,0	31,0	29,5	28,7
65	38,7	36,7	32,5	31,4	30,0	29,1
66	39,3	37,3	32,9	31,9	30,5	29,6
67	39,9	37,8	33,4	32,4	30,9	30,0
68	40,5	38,4	33,9	32,9	31,4	30,5
69	41,1	39,0	34,4	33,3	31,8	30,9
70	41,7	39,5	34,9	33,8	32,3	31,4
71	42,2	40,1	35,4	34,3	32,8	31,8
72	42,8	40,6	35,8	34,8	33,2	32,3
73	43,4	41,2	36,3	35,2	33,7	32,8
74	44,0	41,7	36,8	35,7	34,1	33,2
75	44,6	42,3	37,3	36,2	34,6	33,7
76	45,2	42,9	37,8	36,7	35,0	34,1
77	45,8	43,4	38,3	37,1	35,5	34,6
78	46,4	44,0	38,7	37,6	36,0	35,0
79	47,0	44,5	39,2	38,1	36,4	35,5
80	47,6	45,1	39,7	38,6	36,9	35,9
81	48,2	45,6	40,2	39,0	37,3	36,4
82	48,8	46,2	40,7	39,5	37,8	36,8
83	49,4	46,8	41,2	40,0	38,3	37,3
84	50,0	47,3	41,6	40,5	38,7	37,7
85	50,6	47,9	42,1	40,9	39,2	38,2

5.3 Keseragaman lendutan

Perhitungan tebal lapis tambah dapat dilakukan pada setiap titik pengujian atau berdasarkan panjang segmen (seksi). Apabila berdasarkan panjang seksi maka cara menentukan panjang seksi jalan harus dipertimbangkan terhadap keseragaman lendutan. Keseragaman yang dipandang sangat baik mempunyai rentang faktor keseragaman antara 0 sampai dengan 10, antara 11 sampai dengan 20 keseragaman baik dan antara 21 sampai dengan 30 keseragaman cukup baik. Untuk menentukan faktor keseragaman lendutan adalah dengan menggunakan Rumus 15 sebagai berikut:

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% < FK \text{ ijin} \dots\dots\dots (15)$$

dengan pengertian :

- FK = faktor keseragaman
- FK ijin = faktor keseragaman yang diijinkan
 - = 0 % - 10%; keseragaman sangat baik
 - = 11% - 20%; keseragaman baik
 - = 21% - 30%; keseragaman cukup baik
- d_R = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan

$$= \frac{\sum_1^{n_s} d}{n_s} \dots\dots\dots (16)$$

- s = deviasi standar = simpangan baku

$$= \sqrt{\frac{n_s \left(\sum_1^{n_s} d^2 \right) - \left(\sum_1^{n_s} d \right)^2}{n_s(n_s - 1)}} \dots\dots\dots (17)$$

- d = nilai lendutan balik (d_B) atau lendutan langsung (d_L) tiap titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan
- n_s = jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

5.4 Lendutan wakil

Untuk menentukan besarnya lendutan yang mewakili suatu sub ruas/seksi jalan, digunakan Rumus 18, 19 dan 20 yang disesuaikan dengan fungsi/kelas jalan, yaitu:

- D_{wakil} = d_R + 2 s ; untuk jalan arteri / tol (tingkat kepercayaan 98%) (18)
- D_{wakil} = d_R + 1,64 s ; untuk jalan kolektor (tingkat kepercayaan 95%) (19)
- D_{wakil} = d_R + 1,28 s ; untuk jalan lokal (tingkat kepercayaan 90%) (20)

dengan pengertian :

- D_{wakil} = lendutan yang mewakili suatu seksi jalan
- d_R = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan sesuai Rumus 16
- s = deviasi standar sesuai Rumus 17

5.5 Faktor koreksi tebal lapis tambah

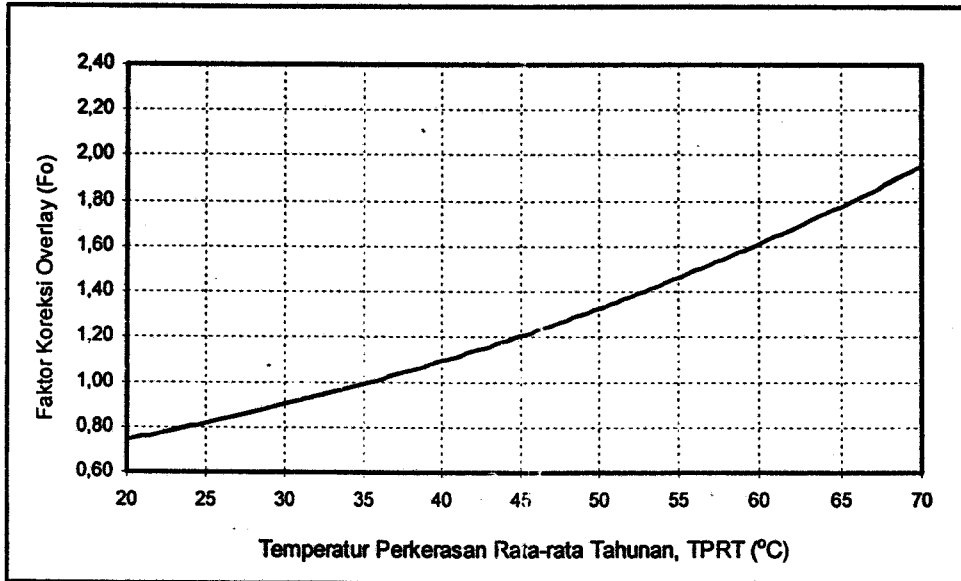
Tebal lapis tambah/overlay yang diperoleh adalah berdasarkan temperatur standar 35°C, maka untuk masing-masing daerah perlu dikoreksi karena memiliki temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) yang berbeda. Data temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk setiap daerah atau kota ditunjukkan pada Lampiran A, sedangkan faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay (Fo) dapat diperoleh dengan Rumus 21 atau menggunakan Gambar 2.

$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})} \dots\dots\dots (21)$$

dengan pengertian :

F_o = faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay

TPRT = temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk daerah/kota tertentu (Tabel A1 pada Lampirn A)



Gambar 2 Faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay (Fo)

5.6 Jenis lapis tambah

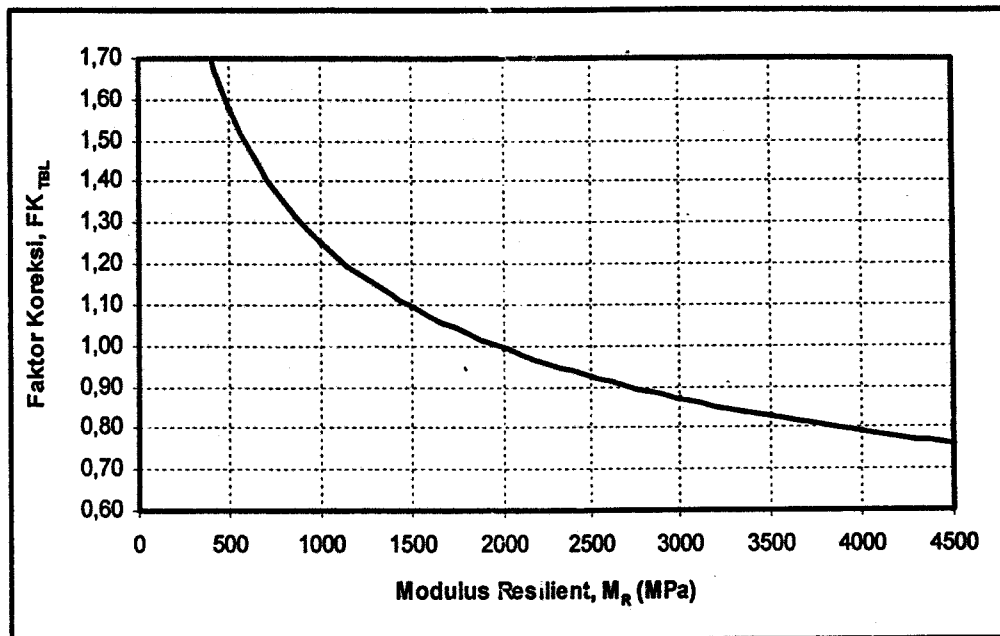
Pedoman ini berlaku untuk lapis tambah dengan Laston, yaitu modulus resilien (M_R) sebesar 2000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum 800 kg. Nilai modulus resilien (M_R) diperoleh berdasarkan pengujian UMATTA atau alat lain dengan temperatur pengujian 25°C. Apabila jenis campuran beraspal untuk lapis tambah menggunakan Laston Modifikasi dan Lataston atau campuran beraspal yang mempunyai sifat berbeda (termasuk untuk Laston) dapat menggunakan faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL}) sesuai Rumus 22 atau Gambar 3 dan Tabel 7.

$$FK_{TBL} = 12,51 \times M_R^{-0,333} \dots\dots\dots (22)$$

dengan pengertian :

FK_{TBL} = faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian

M_R = Modulus Resilien (MPa)



Gambar 3 Faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL})

Tabel 7 Faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL})

Jenis Lapisan	Modulus Resilien, M_R (MPa)	Stabilitas Marshall (kg)	FK_{TBL}
Laston Modifikasi	3000	min. 1000	0,85
Laston	2000	min. 800	1,00
Laston	1000	min. 800	1,23

6 Prosedur perhitungan

Perhitungan tebal lapis tambah yang disarankan pada pedoman ini adalah berdasarkan data lendutan yang diukur dengan alat FWD atau BB. Pengukuran lendutan dengan alat FWD disarankan dilakukan pada jejak roda luar (jejak roda kiri) dan untuk alat BB pada kedua jejak roda (jejak roda kiri dan jejak roda kanan). Pengukuran lendutan pada perkerasan yang mengalami kerusakan berat dan deformasi plastis disarankan dihindari.

Perhitungan tebal lapis tambah perkerasan lentur dapat menggunakan rumus-rumus atau gambar-gambar yang terdapat pada pedoman ini. Tahapan perhitungan tebal lapis tambah adalah sebagai berikut:

- hitung repetisi beban lalu-lintas rencana (CESA) dalam ESA;
- hitung lendutan hasil pengujian dengan alat FWD atau BB dan koreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim, C_a) dan faktor temperatur standar (F_t) serta faktor beban uji (FK_{B-FWD} untuk pengujian dengan FWD dan FK_{B-BB} untuk pengujian dengan BB) bila beban uji tidak tepat sebesar 8,16 ton) atau sesuai Pasal 5.2;
- tentukan panjang seksi yang memiliki keseragaman (FK) yang sesuai dengan tingkat keseragaman yang diinginkan sesuai Butir 5.3;
- hitung Lendutan wakil (D_{wakil}) untuk masing-masing seksi jalan yang tergantung dari kelas jalan sesuai Butir 5.4;

- e) hitung lendutan rencana/ijin ($D_{rencana}$) dengan menggunakan Rumus 23 untuk lendutan dengan alat FWD dan Rumus 24 untuk lendutan dengan alat BB;

$$D_{rencana} = 17,004 \times CESA^{(-0,2307)} \dots\dots\dots (23)$$

$$D_{rencana} = 22,208 \times CESA^{(-0,2307)} \dots\dots\dots (24)$$

dengan pengertian :

$D_{rencana}$ = lendutan rencana, dalam satuan milimeter.

CESA = akumulasi ekuivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA

atau dengan memplot data lalu-lintas rencana (CESA) pada Gambar 3 Kurva C untuk lendutan dengan alat FWD dan Gambar 4 Kurva D untuk lendutan balik dengan alat BB.

- f) hitung tebal lapis tambah/overlay (H_o) dengan menggunakan Rumus 25 atau dengan memplot pada Gambar 5.

$$H_o = \frac{[\text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{sbl\ ov}) - \text{Ln}(D_{stl\ ov})]}{0,0597} \dots\dots\dots (25)$$

dengan pengertian :

H_o = tebal lapis tambah sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

$D_{sbl\ ov}$ = lendutan sebelum lapis tambah/ D_{wakti} , dalam satuan milimeter.

$D_{stl\ ov}$ = lendutan setelah lapis tambah atau lendutan rencana, dalam satuan milimeter.

- g) hitung tebal lapis tambah/overlay terkoreksi (H_t) dengan mengkalikan H_o dengan faktor koreksi overlay (F_o), yaitu sesuai dengan Rumus 26;

$$H_t = H_o \times F_o \dots\dots\dots (26)$$

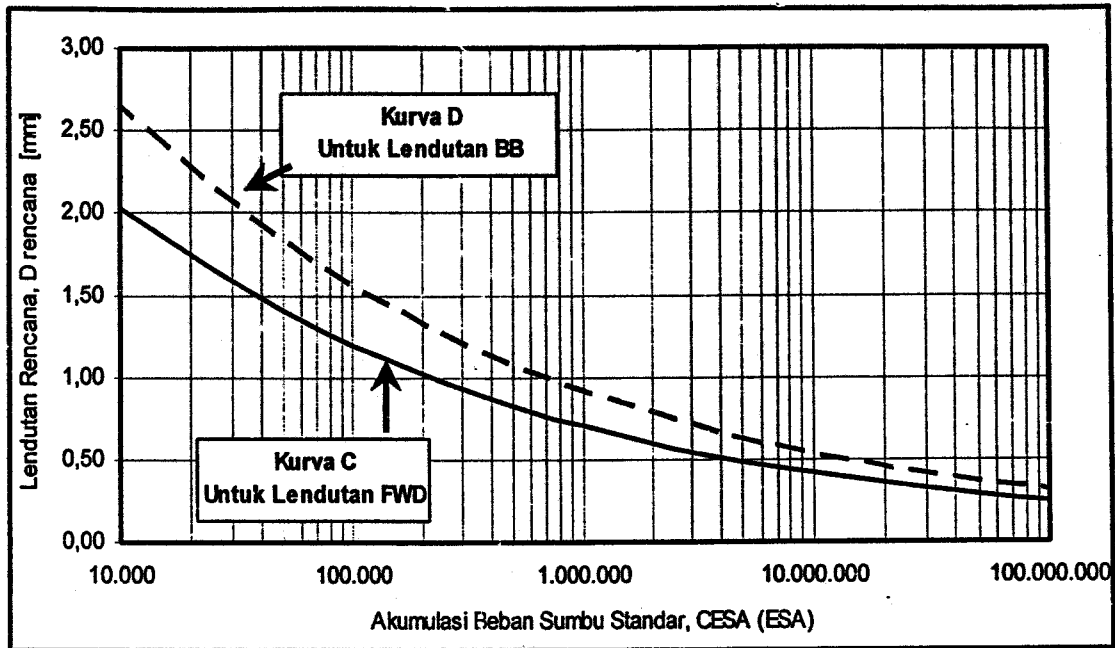
dengan pengertian :

H_t = tebal lapis tambah/overlay Laston setelah dikoreksi dengan temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

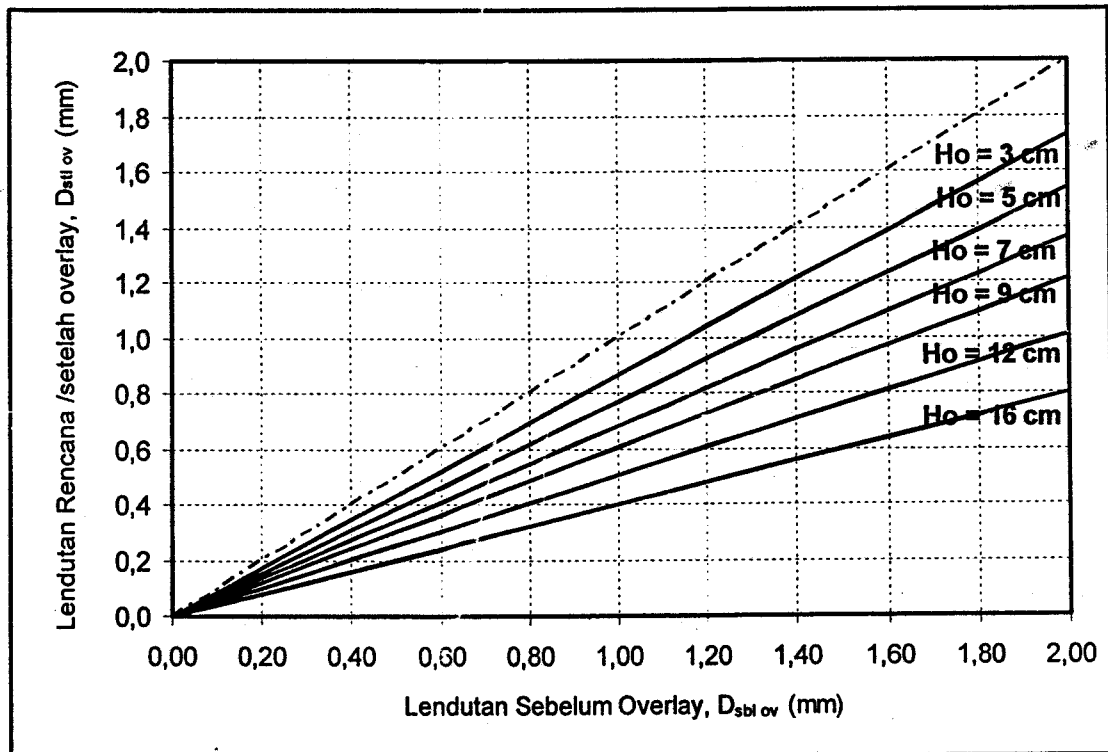
H_o = tebal lapis tambah Laston sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

F_o = faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay (sesuai Rumus 21 atau Gambar 2)

- h) bila jenis atau sifat campuran beraspal yang akan digunakan tidak sesuai dengan ketentuan di atas maka tebal lapis tambah harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL}) sesuai Rumus 22 atau Gambar 3 atau Tabel 7.



Gambar 4 Hubungan antara lendutan rencana dan lalu-lintas



Gambar 5 Tebal lapis tambah/overlay (Ho)