

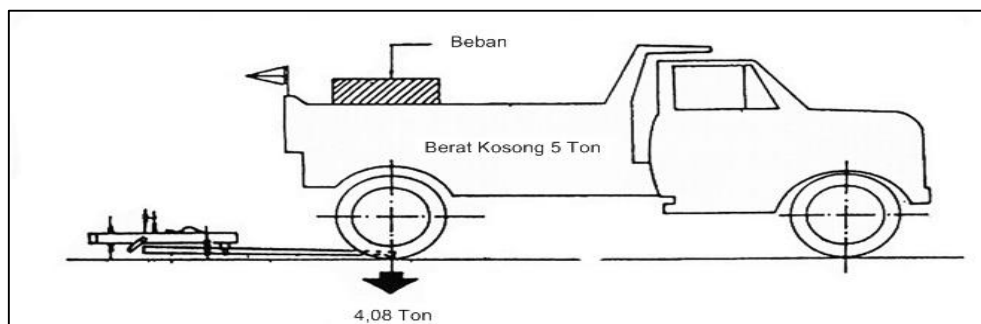
### BAB III

## LANDASAN TEORI

### A. *Benkelman Beam* (BB)

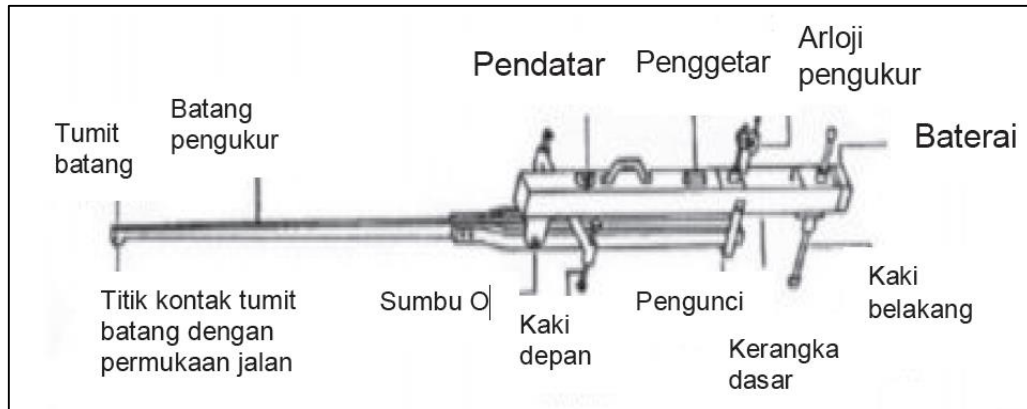
Menurut Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lentutan Pd. T-05-2005-B, *Benkelmen Beam* merupakan alat untuk mengukur lendutan balik dan lendutan langsung perkerasan yang menggambarkan kekuatan struktur perkerasan jalan. Tebal lapis tambah (*Overlay*) merupakan lapis perkerasan tambahan yang dipasang diatas 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. 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.

Menurut Metode Pengujian Lentutan Perkerasan Lentur dengan Alat *Benkelman Beam* SNI 03-2416-1991, Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian perkerasan jalan dengan alat *Benkelman Beam* (BB) yaitu mengukur gerakan vertikal pada permukaan lapis jalan dengan cara mengatur pemberian beban roda yang diakibatkan oleh beban tertentu dengan tujuan untuk memperoleh data lapangan yang akan bermanfaat bagi penilaian struktur peramalan *performance* perkerasan dan perencanaan *Overlay*. Dibawah ini adalah Gambar dari alat *Benkelman Beam* dan Rangkaian pengambilan datanya.



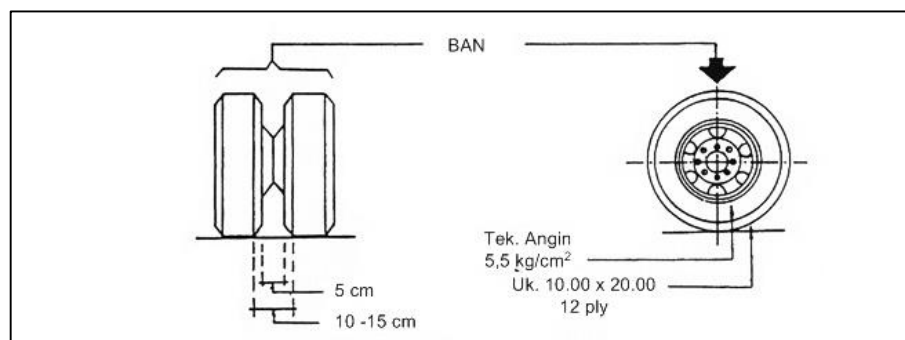
Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Gambar 3.1. Alat *Benkelman Beam* dan Truk yang di berikan beban



Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Gambar 3.2. Bagian Alat Benkelman Beam (BB)



Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Gambar 3.3. Ban Roda Belakang Truk Standar.

## B. Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Berdasarkan Metode Pd T-05-2005-B

### 1. Analisa 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 3.1.

Tabel 3.1. Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

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

Sumber: Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana ditentukan sesuai Tabel 3.2 .

Tabel 3.2. Koefisien Distribusi Kendaraan

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan*		Kendaraan Berat**	
	Satu Arah	Dua Arah	Satu Arah	Dua 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

Sumber: Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

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 3.1, 3.2, 3.3 dan 3.4 atau pada Tabel 3.3 .

$$\text{Angka EkuivalenSTRT} = \left[ \frac{\text{Beban Sumbu}}{5,40 \text{ (ton)}} \right]^4 \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{Angka EkuivalenSTRG} = \left[ \frac{\text{Beban Sumbu}}{8,16 \text{ (ton)}} \right]^4 \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{Angka EkuivalenSDRG} = \left[ \frac{\text{Beban Sumbu}}{13,76 \text{ (ton)}} \right]^4 \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\text{Angka EkuivalenSTrRG} = \left[ \frac{\text{Beban Sumbu}}{18,45 \text{ (ton)}} \right]^4 \dots\dots\dots(3.4)$$

Tabel 3.3 Angka Ekuivalen Golongan Beban Sumbu Kendaraan

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

Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

### c. Faktor umur rencana dan perkembangan lalu lintas

Faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas ditentukan menurut Rumus 3.5 atau Table 3.4 dibawah ini.

$$N = \frac{1}{2} \left[ 1 + (1 + r)^n + 2(1 + r) \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] \dots \dots \dots (3.5)$$

Tabel 3.4. Faktor Hubungan Umur Rencana dan Perkembangan Lalu Lintas (N)

<b>i (%)</b> <b>n (tahun)</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
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	5,51	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

Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

#### d. Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (CESA)

Dalam menentukan akumulasi beban sumbu lalu lintas (CESA) selama umur rencana ditentukan dengan Rumus 3.6.

$$CESA = \sum_{\text{Trailer-Trailor}}^{MP} m \times 365 \times E \times C \times N \dots\dots\dots(3.6)$$

Dengan pengertian :

- CESA = Akumulasi ekivalen beban sumbu standar  
M = Jumlah masing-masing jenis kendaraan  
365 = Jumlah hari dalam satu tahun

- E = Ekvivalen beban sumbu (Tabel 3.3)  
 C = Koefisien distribusi kendaraan (Tabel 3.2)  
 N = Faktor hubungan umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas.

## 2. Analisa lendutan

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

### a. 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 3.7.

$$d_B = 2 \times (d_3 - d_1) \times Ft \times Ca \times FK_{B-BB} \dots\dots\dots(3.7)$$

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.

Ft = Faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35° C, yang nilainya ditentukan menggunakan Rumus 3.8 dan 3.9 atau melalui pembacaan grafik pada Gambar 3.4 serta dapat pula ditentukan melalui Tabel 3.5 sebagai berikut:

$$Ft = 4,184 \times T_L^{-0,4025} \text{ untuk } H_L < 10 \text{ cm} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$Ft = 14,785 \times T_L^{-0,7573} \text{ untuk } H_L \geq 10 \text{ cm} \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan:

$T_L$  = Temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat ditentukan melalui prediksi berdasarkan temperatur udara dilapangan dengan menggunakan Rumus 3.10 berikut:

$$T_L = \frac{1}{3} (T_p + T_t + T_b) \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan:

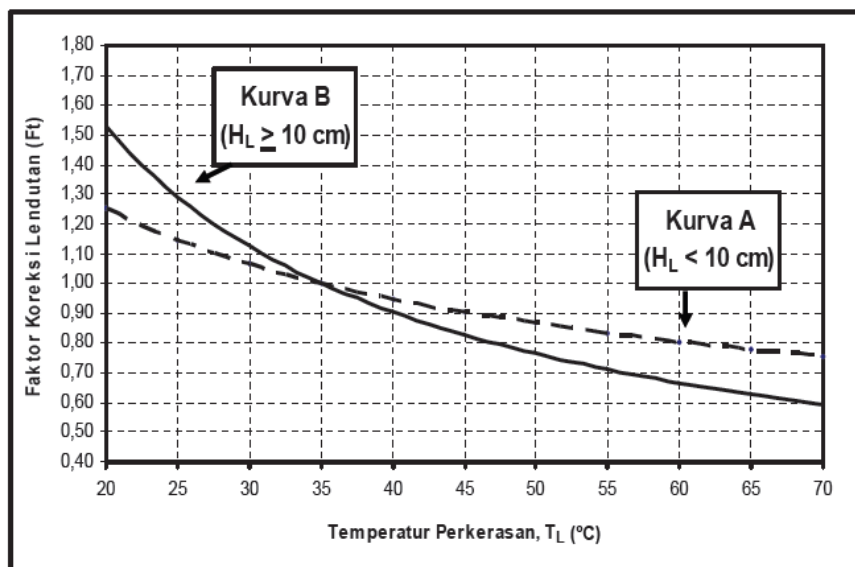
$T_p$  = Temperatur permukaan lapis beraspal

$T_t$  = Temperatur tengah lapis beraspal (Tabel 3.6)

$T_b$  = Temperatur bawah lapis beraspal (Tabel 3.6)

Ca = faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)  
 = 1,20 ; musim kemarau atau muka air tanah rendah  
 = 0,9 ; musim hujan atau muka air tinggi

FK<sub>B-BB</sub> = Faktor koreksi beban uji *Benkelman Beam* (BB)  
 =  $77,343 \times (\text{beban uji dalam ton})^{(-2,0715)} \dots\dots\dots(3.11)$



Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Gambar 3.4. Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar (Ft)

Tabel 3.5. Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar

$T_L$ (°C)	Faktor Koreksi (Ft)		$T_L$ (°C)	Faktor Koreksi (Ft)	
	Kurva A ( $H_L < 10$ cm)	Kurva B ( $H_L \geq 10$ cm)		Kurva A ( $H_L < 10$ cm)	Kurva B ( $H_L \geq 10$ 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

Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

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 3.6. Temperatur Tengah ( $T_t$ ) dan Temperatur 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



T <sub>u</sub> + T <sub>p</sub> (°C)	Temperatur Lapis Beraspal (°C) pada Kedalaman					
	2,5 cm	5,0 cm	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
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

Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

#### b. Keseragaman lendutan

Perhitungan tebal lapis tambahan dapat dilakukan pada setiap titik pengujian atau berdasarkan panjang segmen (seksi). Untuk menentukan faktor keseragaman lendutan adalah dengan menggunakan Rumus 3.12 berikut ini:

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% < FK_{ijin} \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan:

FK = Faktor keseragaman (%)

FK<sub>ijin</sub> = Faktor keseragaman yang diijinkan  
 = 0% – 10% ; Keseragaman sangat baik  
 = 11% – 20% ; Keseragaman baik  
 = 21% – 30% ; Keseragaman cukup baik

d<sub>R</sub> = Lendutan rata-rata suatu seksi jalan

$$= \sum_{\frac{1}{ns}}^{ns} d \dots\dots\dots(3.13)$$

s = Standar deviasi (simpangan baku)

$$= \sqrt{\frac{ns [\sum_1^{ns} d^2] - [\sum_1^{ns} d]^2}{ns [ns - 1]}} \dots\dots\dots(3.14)$$

Keterangan:

d = Nilai lendutan balik (d<sub>B</sub>) atau lendutan langsung (d<sub>L</sub>) tiap titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

ns = Jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

**c. Lendutan wakil (D<sub>wakil</sub>)**

Besarnya nilai lendutan yang mewakili suatu sub-ruas atau seksi jalan disesuaikan dengan fungsi atau kelas jalan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

1) Jalan Arteri (Kepercayaan 98%)

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 2s \dots\dots\dots(3.15)$$

2) Jalan Kolektor (Kepercayaan 95%)

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,64s \dots\dots\dots(3.16)$$

3) Jalan Lokal (Kepercayaan 90%)

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,28s \dots\dots\dots(3.17)$$

Keterangan:

- $D_{\text{wakil}}$  = Lendutan yang mewakili suatu seksi jalan
- $d_R$  = Lendutan rata-rata suatu seksi jalan (Rumus 3.13)
- $s$  = Standar deviasi atau simpangan baku (Rumus 3.14)

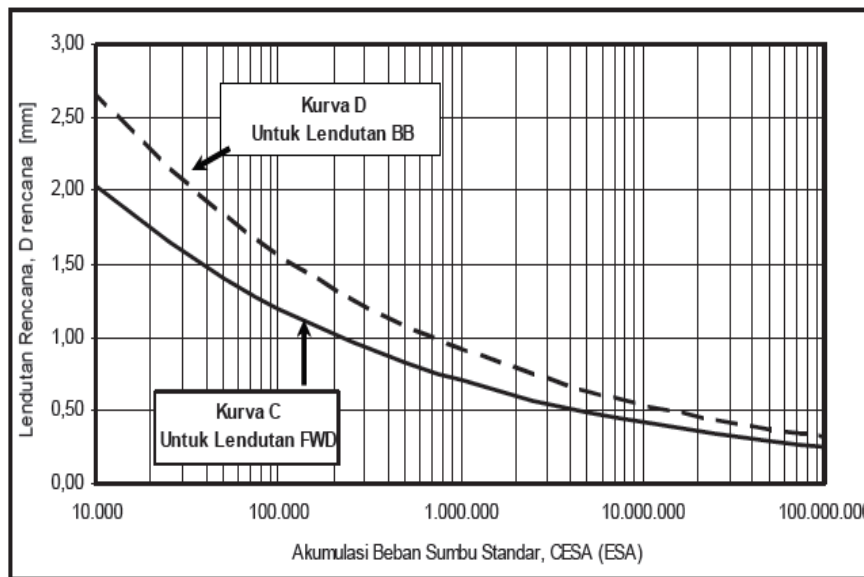
**d. Lendutan Rencana/Ijin ( $D_{\text{rencana}}$ )**

Untuk lendutan BB menggunakan Rumus 3.18 sebagai berikut :

$$D_{\text{rencana}} = 22,208 \times \text{CESA}^{(-0,2307)} \dots\dots\dots(3.18)$$

Dengan pengertian :

- $D_{\text{rencana}}$  = Lendutan rencana, dalam satu milimeter
- CESA = Akumulasi ekivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA



Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Gambar 3.5. Hubungan Antara Lendutan Rencana dan Lalu-Lintas

**3. Menghitung Tebal Lapis Tambah (*Overlay*), ( $H_o$ )**

Untuk menghitung tebal lapis tambah ( $H_o$ ), kita dapat menggunakan Rumus 3.19 dibawah ini :

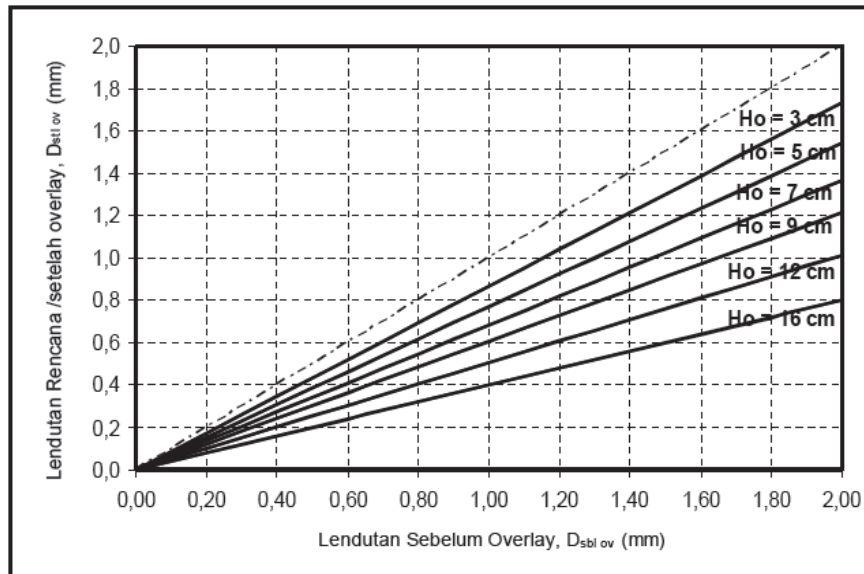
$$H_o = \frac{[\text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{\text{sbl ov}}) - \text{Ln}(D_{\text{stl ov}})]}{0,0597} \dots\dots\dots(3.19)$$

Keterangan:

$H_o$  = Tebal lapis tambah, sebelum dikoreksi dengan temperatur perkerasan rata-rata tahunan daerah tertentu (cm)

$D_{sbl\ ov}$  = Lendutan sebelum lapis tambah atau  $D_{wakil}$  (mm)

$D_{stl\ ov}$  = Lendutan setelah lapis tambah atau  $D_{rencana}$  (mm)



Sumber: Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Gambar 3.6. Tebal Lapis Tambah ( $H_o$ )

**a. Faktor koreksi Tebal Lapis Tambah (Overlay)**

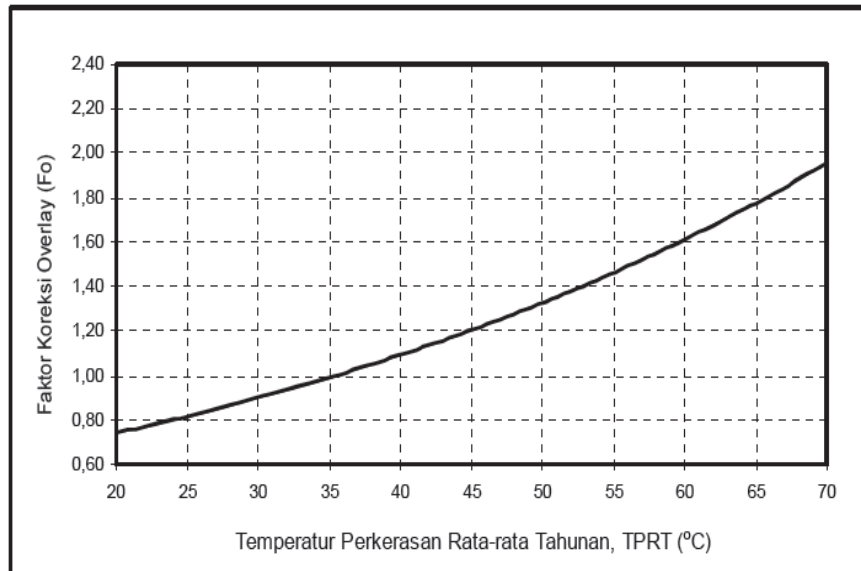
Tebal Lapis Tambahan (Overlay) yang diperoleh berdasarkan temperatur standar 35°C, maka untuk masing-masing daerah perlu dikoreksi karena memiliki temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) yang berbeda.

$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})} \dots\dots\dots(3.20)$$

Keterangan:

$F_o$  = Faktor koreksi tebal perkerasan (*overlay*).

TPRT = Temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk daerah atau kota tertentu.



Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).

Gambar 3.7. Faktor Korelasi Tebal Lapis Tambah (Fo)

#### b. Menghitung Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) terkoreksi (Ht)

Menghitung Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Terkoreksi (Ht) dengan mengkalikan Ho dengan faktor koreksi Overlay (Fo), yaitu seperti Rumus 3.21 dibawah ini :

$$H_t = H_o \times F_o \dots\dots\dots(3.21)$$

Keterangan:

Ht = Tebal lapis tambah, setelah dikoreksi dengan temperatur perkerasan rata-rata tahunan daerah tertentu (cm)

Ho = Tebal lapis tambah, sebelum dikoreksi dengan temperatur perkerasan rata-rata tahunan daerah tertentu (cm)

Fo = Faktor koreksi tebal lapis tambah

#### c. Jenis lapis tambahan

Pedoman ini hanya berlaku untuk lapis tambah dengan menggunakan Laston (*Asphalt Concrete*) yaitu modulus resilien ( $M_R$ ) sebesar 2000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum 800 kg. Nilai modulus resilien (MR) mengacu pada hasil pengujian UMATTA atau alat lain dengan temperatur 25° C.

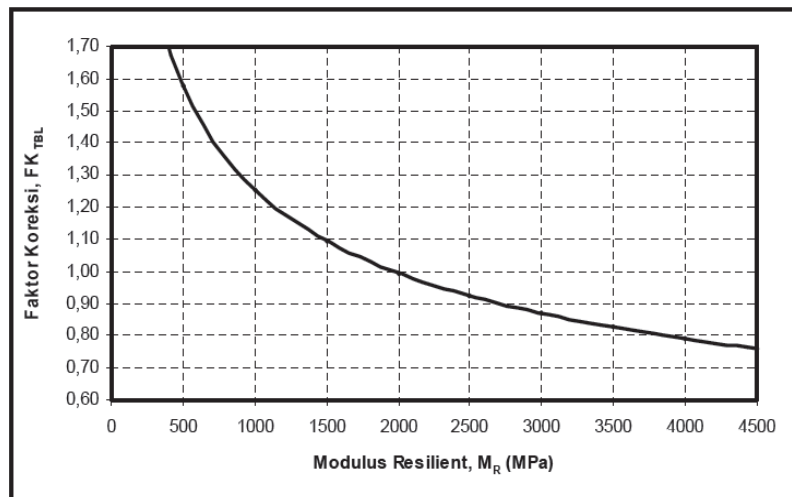
Apabila jenis campuran beraspal untuk lapis tambah menggunakan Laston Modifikasi dan Lataston atau campuran beraspal lain yang mempunyai sifat berbeda, maka harus dikoreksi menggunakan nilai faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian ( $FK_{TBL}$ ) yang mana dapat ditentukan dengan menggunakan Rumus 3.22 atau melalui pembacaan grafik pada Gambar 3.7 serta dapat pula ditentukan melalui Tabel 3.7 sebagai berikut:

$$FK_{TBL} = 12,51 \times M_R^{(-0,333)} \dots\dots\dots(3.22)$$

Keterangan:

$FK_{TBL}$  = Faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian

$M_R$  = Modulus resilien (MPa)



Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005)

Gambar 3.8. Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Penyesuaian ( $FK_{TBL}$ )

Tabel 3.7. 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
Lataston	1000	Min. 800	1,23

Sumber : Bina marga Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum (2005).