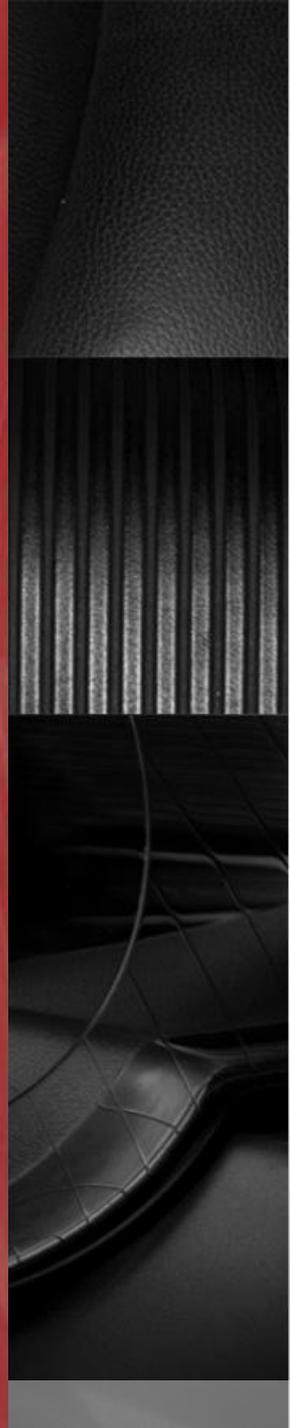


Analisis Data BB dan FWD

Penilaian Perkerasan Jalan

Rabu, 7 Januari 2015





Outline Kuliah

- Benkelman Beam (BB)
- Falling Weight Deflectometer (FWD)
- Tebal Perkerasan Tambahan dengan Data Lendutan BB dan FWD



Tebal Perkerasan Tambahan dengan Lendutan BB dan FWD : **Pd-05-2005-B**

- Prosedur Perhitungan
- Ketentuan Perhitungan
- Contoh Perhitungan

Rekomendasi Masukan Data (Input)

- Data lendutan yang digunakan dalam perhitungan tebal lapis tambahan :
 - Lendutan dari pengukuran FWD disarankan pada jejak roda luar (jejak roda kiri)
 - Lendutan dari pengukuran BB disarankan pada kedua jejak roda (jejak roda kiri dan kanan).
 - Pengukuran lendutan pada perkerasan yang mengalami kerusakan berat dan deformasi plastis disarankan untuk dihindari.



Prosedur Perhitungan:

- Menentukan repitasi beban lalu lintas rencana (CESA) dalam ESA:

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

- 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)

Penentuan C – Koefisien distribusi kendaraan

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

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

Penentuan E – Ekuivalen beban sumbu kendaraan

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

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

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

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

Tabel (E) – Ekuivalen beban sumbu kendaraan

Tabel 3 Ekuivalen beban sumbu kendaraan (E)

Beban sumbu (ton)	Ekuivalen 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

Penentuan N – Faktor hubungan umur rencana dengan perkembangan lalu lintas

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

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

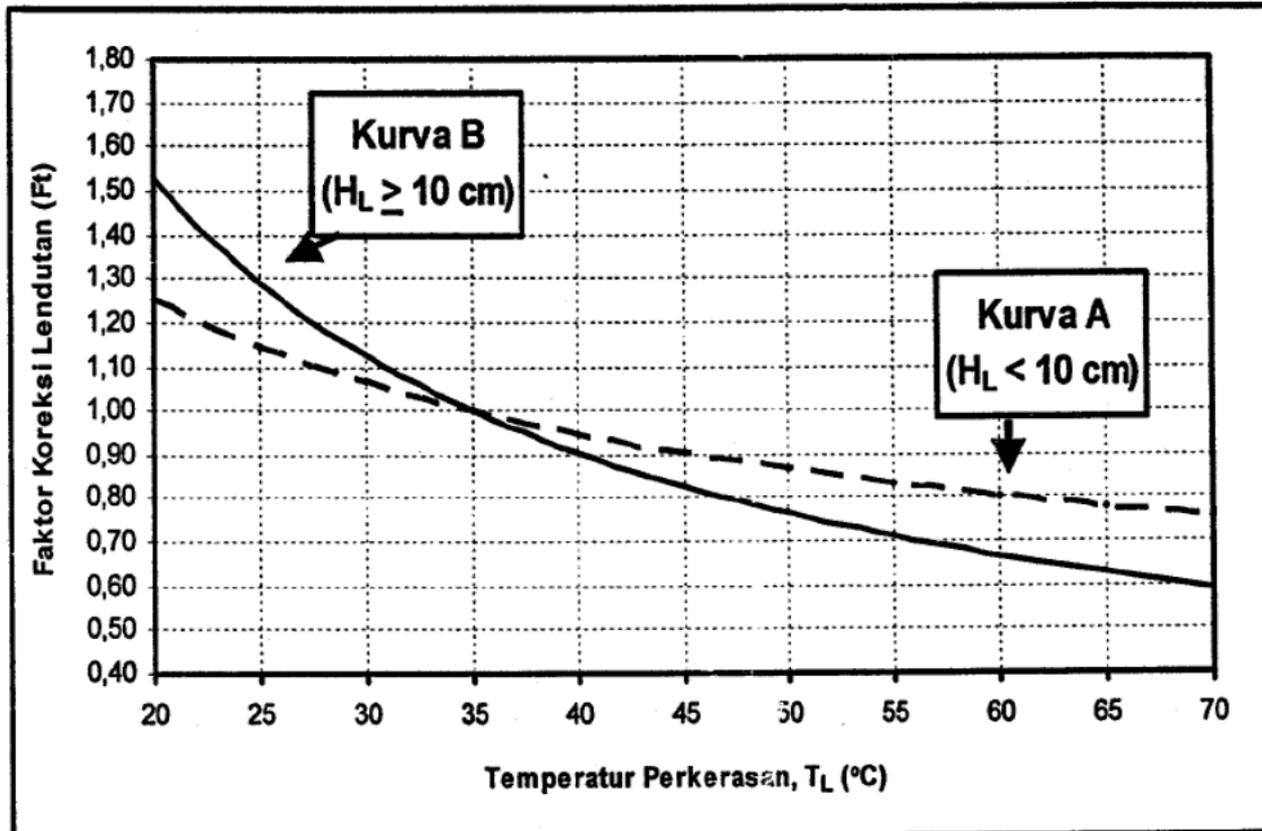
n (tahun)	r (%)					
	2	4	5	6	8	10
1	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05
2	2,04	2,08	2,10	2,12	2,16	2,21
3	3,09	3,18	3,23	3,28	3,38	3,48
4	4,16	4,33	4,42	4,51	4,69	4,87
5	5,26	5,52	5,66	5,81	6,10	6,41
6	6,37	6,77	6,97	7,18	7,63	8,10
7	7,51	8,06	8,35	8,65	9,28	9,96
8	8,67	9,40	9,79	10,19	11,06	12,01
9	9,85	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

- Menghitung lendutan hasil pengujian dengan alat FWD dan BB dan dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim, Ca) dan faktor temperatur standar (Ft) serta faktor beban uji (FK_{B-FWD} untuk pengujian FWD dan FK_{B-BB} untuk pengujian BB) jika beban uji tidak tepat sebesar 8,16 ton.

Lendutan dengan FWD

$$d_L = d_{r1} \times Ft \times Ca \times FK_{B-FWD}$$

- d_L = lendutan langsung (mm)
 d_{r1} = lendutan langsung pada pusat beban (mm)
 Ft = 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)



Gambar 1 Faktor koreksi lendutan terhadap temperatur standar (Ft)

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

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

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

Lendutan dengan BB

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

- 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, 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:
- $$T_L = 1/3 (T_p + T_t + T_b) \dots\dots\dots (13)$$
- 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} = faktor koreksi beban uji *Benkelman Beam* (BB)
- $$= 77,343 \times (\text{Beban Uji dalam ton})^{(-2,0715)} \dots\dots\dots (14)$$

Cara menentukan lendutan balik mengacu pada **SNI 03-2416-1991**

- Menentukan panjang seksi (segmen) yang memiliki keseragaman (FK) sesuai dengan tingkat keseragaman ijin yang diinginkan sesuai pedoman.

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:

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

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

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

s = deviasi standar = simpangan baku

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

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

- Menentukan lendutan wakil (D_{wakil}) untuk masing-masing seksi (segmen) jalan yang tergantung dari kelas jalan.

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

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

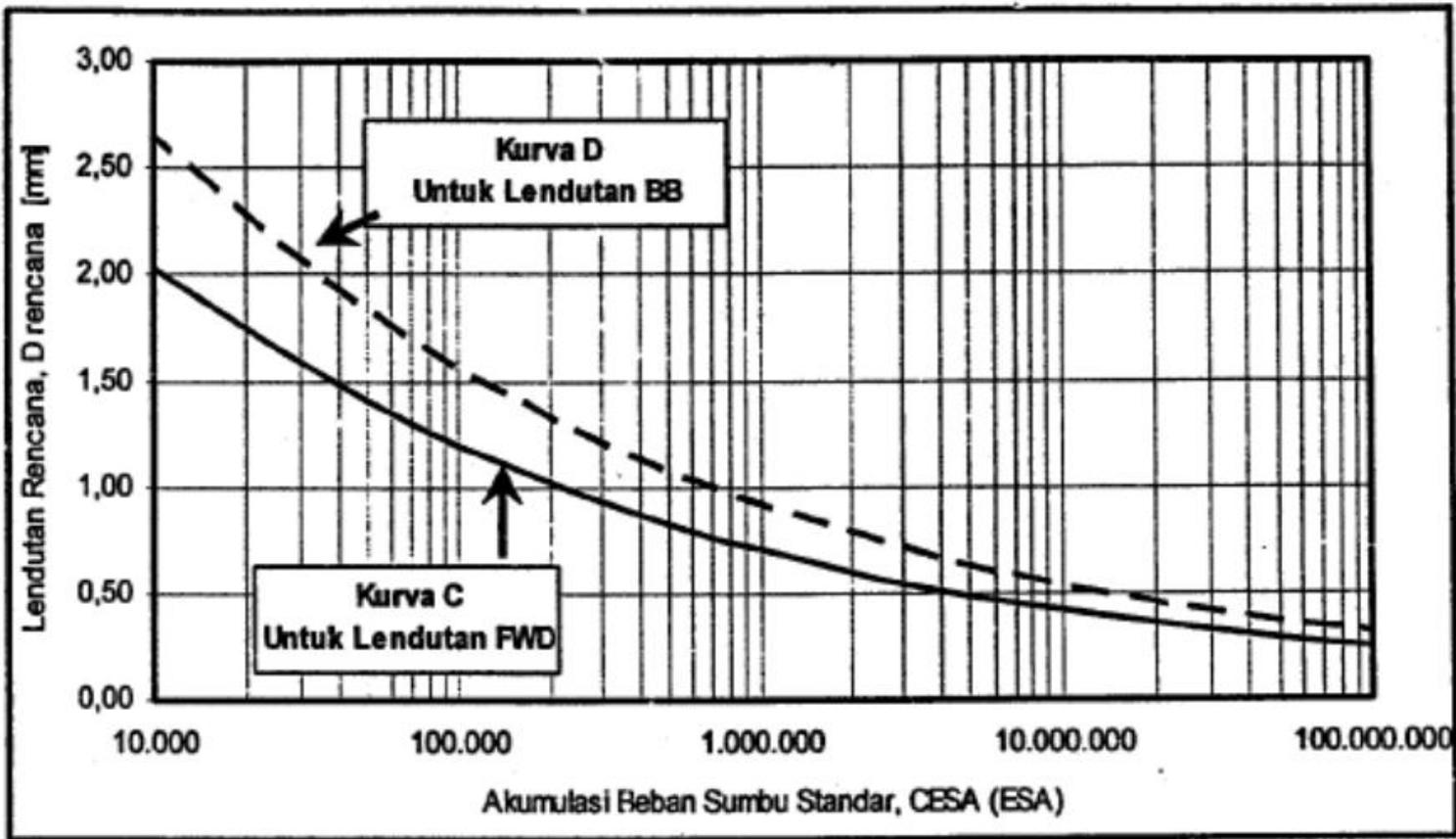
- Menentukan lendutan rencana/ijin (D_{rencana}) dengan menggunakan persamaan berikut ni untuk lendutan FWD (rumus 23) dan lendutan BB (rumus 24):

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

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

dengan pengertian :

- D_{rencana} = lendutan rencana, dalam satuan milimeter.
- CESA = akumulasi ekivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA



Gambar 4 Hubungan antara lendutan rencana dan lalu-lintas

- Menghitung tebal lapis tambah (overlay) (H_o) dengan menggunakan persamaan berikut ini:

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

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_{waki} , dalam satuan milimeter.

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

- Menghitung tebal lapis tambah (overlay) (H_t) dengan cara mengkalikan H_o dengan faktor koreksi overlay (F_o):

$$H_t = H_o \times F_o$$

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)

Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah (Overlay)

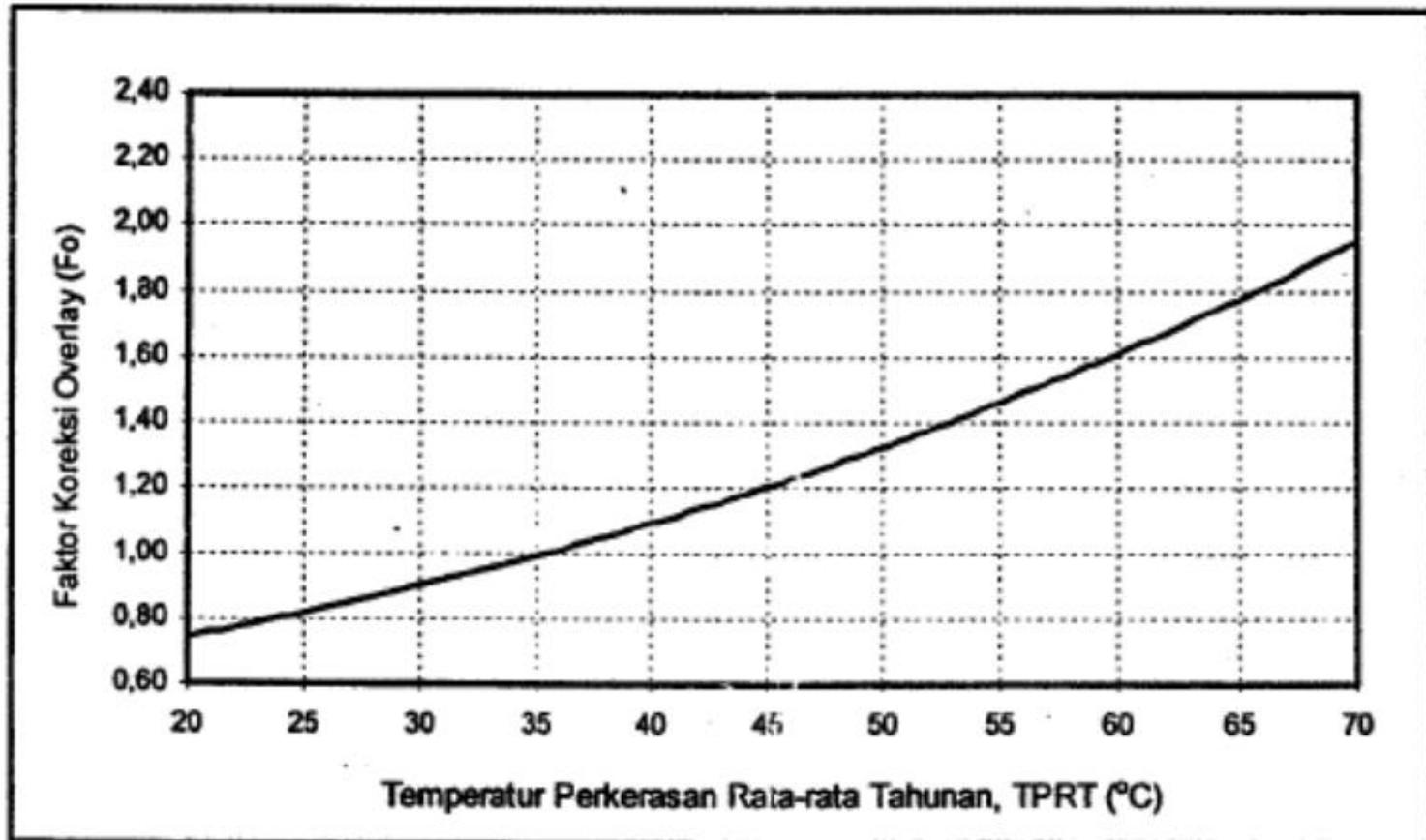
Tebal lapis tambah/overlay yang diperoleh adalah berdasarkan temperatur standar 35°C, maka untuk masing-masing daerah perlu dikoreksi karena memiliki temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) yang berbeda. Data temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk setiap daerah atau kota ditunjukkan pada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

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

dengan pengertian :

F_o = faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay

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



- Jika jenis atau sifat campuran (bahan perkerasan jalan) yang digunakan tidak sesuai dengan ketentuan, maka tebal lapis tambahan harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal lapis tambahn penyesuaian (FK_{TBL}).

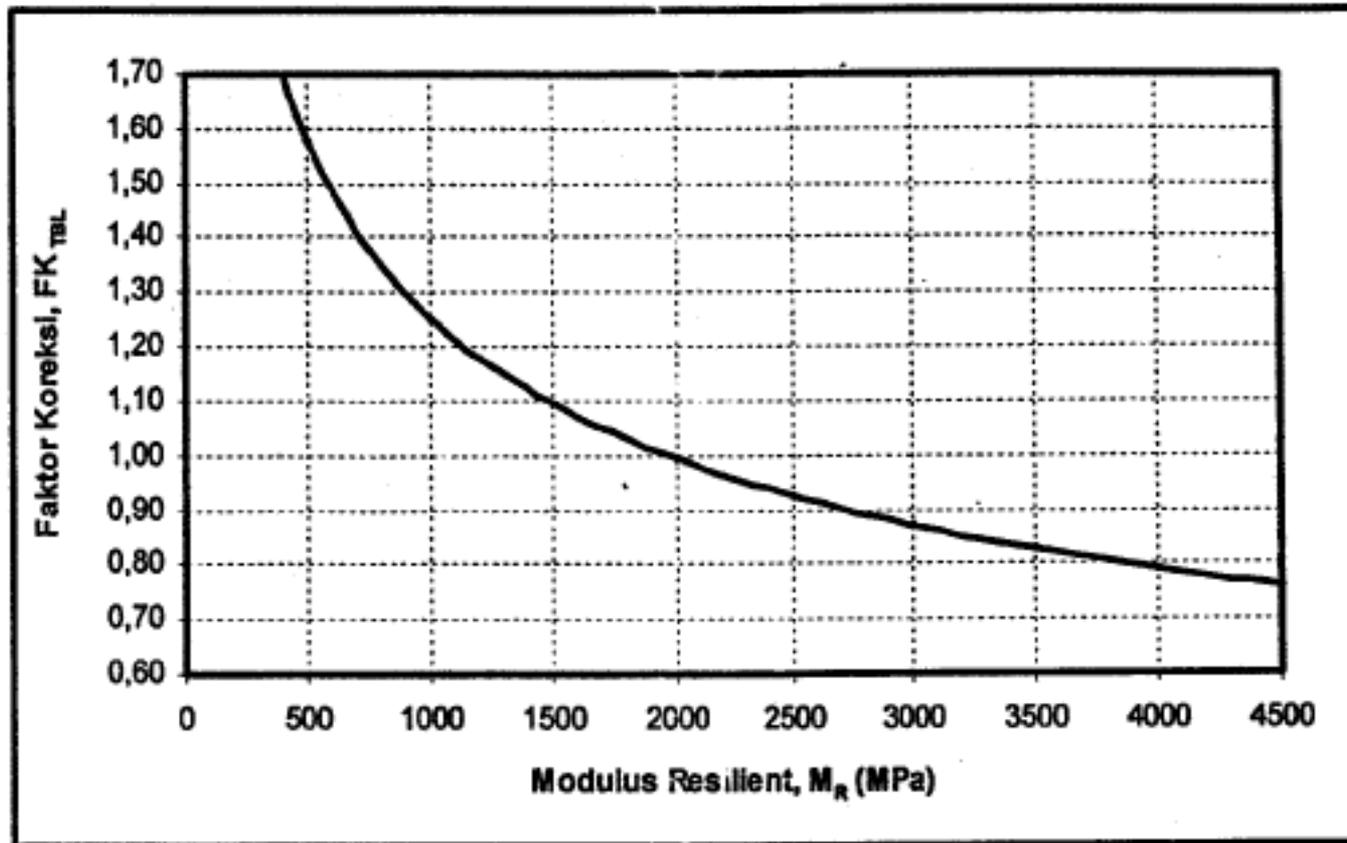
Jenis Lapis Tambah

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)



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
Lastaston	1000	min. 800	1,23

Contoh Perhitungan

B.1 Diketahui:

- a) Lokasi Jalan : Ruas Purwakarta-Plered (Jalan Arteri)
- b) Lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 5 tahun (CESA) = 30.000.000 ESA
- c) Tebal lapis beraspal (AC) = 20 cm
- d) Pengujian lendutan dilakukan pada arah Plered dengan alat *FWD* dan *BB*
- e) Pelaksanaan pengujian pada musim kemarau
- f) Lendutan hasil pengujian dengan *FWD* dan *BB* berturut-turut ditunjukkan pada Tabel B.1 dan B.2 di bawah ini.

Berapa tebal lapis tambah yang diperlukan untuk umur rencana 5 tahun dengan jumlah repetisi beban lalu lintas 30.000.000 ESA menggunakan data lendutan *FWD* dan *BB* ?

Data FWD

Tabel B.1 Data lendutan hasil pengujian dengan alat FWD

Km	Teg (Kpa)	Lendutan langsung/FWD (mm)							Temperatur (°C)	
		d ₁₁	d _{r1}	d _{r2}	d _{r4}	d _{r5}	d _{r6}	d _{r7}	T _a	T _p
82,000	578	0,237	0,181	0,163	0,148	0,119	0,089	0,052	31,0	48,1
82,100	579	0,271	0,208	0,181	0,160	0,124	0,086	0,053	31,0	46,0
82,200	578	0,278	0,197	0,175	0,153	0,124	0,086	0,053	32,0	47,1
82,300	575	0,338	0,238	0,210	0,190	0,147	0,104	0,060	32,0	44,6
82,400	575	0,257	0,228	0,215	0,202	0,168	0,128	0,070	32,0	39,3
82,500	578	0,223	0,175	0,166	0,156	0,131	0,100	0,058	32,0	44,7
82,600	577	0,422	0,280	0,238	0,207	0,156	0,112	0,069	33,0	48,9
82,700	584	0,219	0,168	0,156	0,140	0,118	0,087	0,061	33,0	47,2
82,800	579	0,352	0,235	0,201	0,173	0,130	0,093	0,057	33,0	47,6
82,900	583	0,220	0,170	0,154	0,137	0,114	0,082	0,052	33,0	37,5
83,000	585	0,264	0,180	0,157	0,141	0,114	0,081	0,055	33,0	45,7
83,100	583	0,189	0,154	0,136	0,123	0,100	0,079	0,049	33,0	43,8
83,200	581	0,185	0,150	0,135	0,119	0,095	0,071	0,049	34,0	47,5
83,300	579	0,278	0,196	0,165	0,142	0,108	0,077	0,048	34,0	46,6
83,400	580	0,252	0,186	0,164	0,146	0,120	0,091	0,056	34,0	45,3
83,500	578	0,290	0,215	0,179	0,155	0,118	0,084	0,053	34,0	44,2
83,600	576	0,334	0,275	0,235	0,204	0,142	0,096	0,058	34,0	44,5
83,700	579	0,401	0,323	0,286	0,251	0,182	0,116	0,064	34,0	44,0
83,800	579	0,433	0,378	0,335	0,301	0,227	0,150	0,075	34,0	39,4
83,900	579	0,334	0,284	0,251	0,221	0,170	0,115	0,066	34,0	41,5
84,000	580	0,277	0,195	0,170	0,149	0,122	0,088	0,055	34,0	45,4

C.2 Penyelesaian :

a) Perencanaan tebal lapis tambah berdasarkan pengujian lendutan dengan alat *FWD*.

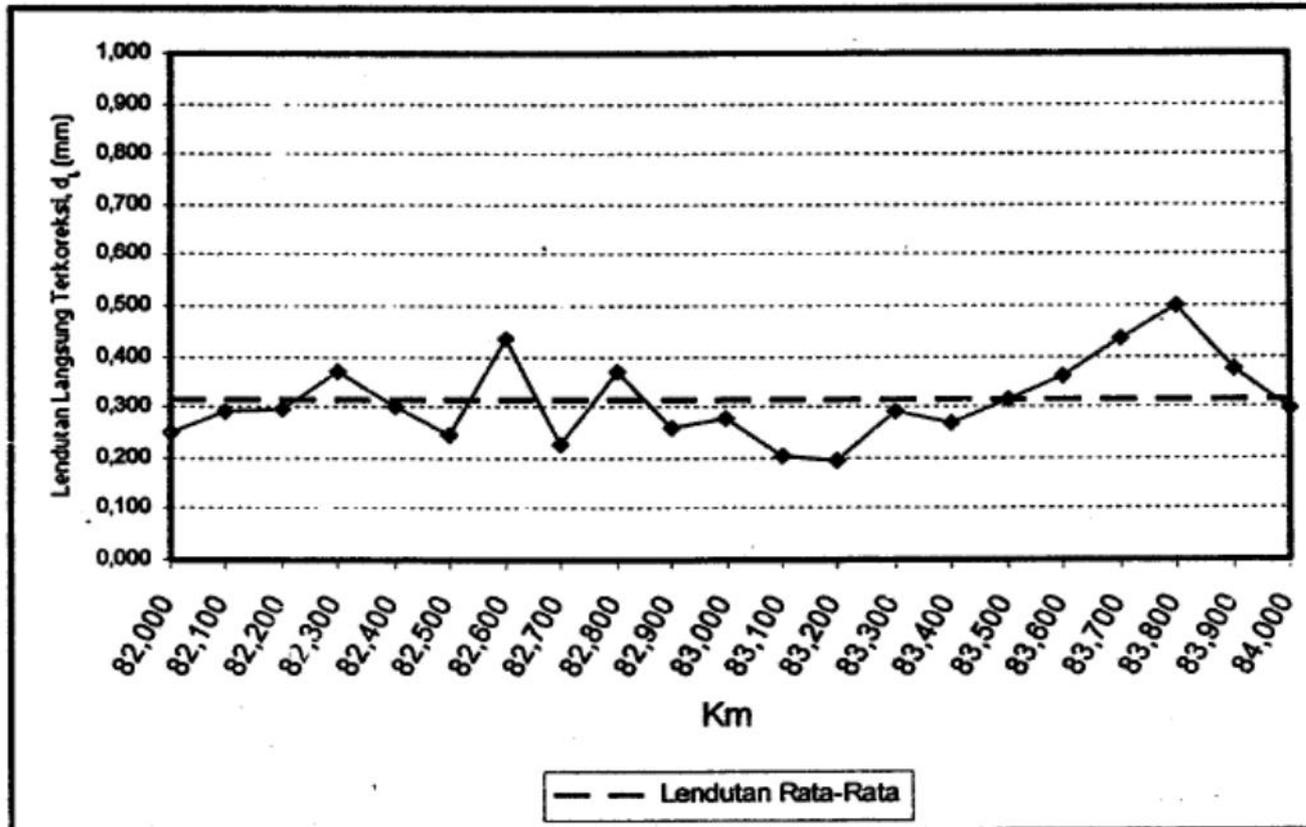
- 1) Untuk mengkoreksi nilai lendutan lapangan dapat menggunakan Rumus 7, sedangkan hasil lendutan yang telah dikoreksi disajikan pada Tabel B.3.

Tabel B.3 Nilai lendutan *FWD* terkoreksi (d_L)

Km	Tegangan (KPa)	Beban Uji (Ton)	Lendutan <i>FWD</i> (mm) d_n (mm)	Temperatur ($^{\circ}$ C)					Koreksi Pada Temperatur Standar (Ft)	Koreksi Musim (Ca)	Koreksi Beban (FK_{e-FWD})	Lendutan Terkoreksi (mm), $d_L =$ $d_n \times Ft \times Ca \times FK_{e-FWD}$	d_L^2
				T_u	T_p	T_l	T_b	T_L					
82,000	578	4,10	0,237	31,0	48,1	39,3	36,5	41,3	0,9	1,2	0,995	0,250	0,063
82,100	579	4,11	0,271	31,0	46,0	38,3	35,5	39,9	0,9	1,2	0,994	0,293	0,086
82,200	578	4,10	0,278	32,0	47,1	39,3	36,5	40,9	0,9	1,2	0,995	0,295	0,087
82,300	575	4,08	0,336	32,0	44,6	38,1	35,3	39,3	0,9	1,2	1,000	0,372	0,138
82,400	575	4,08	0,257	32,0	39,3	35,5	32,9	35,9	1,0	1,2	1,000	0,303	0,092
82,500	578	4,10	0,223	32,0	44,7	38,1	35,4	39,4	0,9	1,2	0,995	0,244	0,059
82,600	577	4,09	0,422	33,0	48,9	40,8	37,8	42,4	0,9	1,2	0,997	0,437	0,191
82,700	584	4,14	0,219	33,0	47,2	39,8	37,0	41,3	0,9	1,2	0,985	0,229	0,052
82,800	579	4,11	0,352	33,0	47,6	40,0	37,2	41,6	0,9	1,2	0,994	0,369	0,136
82,900	583	4,13	0,220	33,0	37,5	35,1	32,5	35,0	1,0	1,2	0,987	0,261	0,068
83,000	585	4,15	0,264	33,0	45,7	39,1	36,3	40,4	0,9	1,2	0,983	0,280	0,078
83,100	583	4,13	0,189	33,0	43,8	38,2	35,4	39,1	0,9	1,2	0,987	0,206	0,042
83,200	581	4,12	0,185	34,0	47,5	40,4	37,6	41,8	0,9	1,2	0,990	0,192	0,037
83,300	579	4,11	0,278	34,0	46,6	40,0	37,2	41,3	0,9	1,2	0,994	0,293	0,086
83,400	580	4,11	0,252	34,0	45,3	39,4	36,6	40,4	0,9	1,2	0,992	0,269	0,073
83,500	578	4,10	0,290	34,0	44,2	38,8	36,1	39,7	0,9	1,2	0,995	0,315	0,099
83,600	576	4,09	0,334	34,0	44,5	39,0	36,2	39,9	0,9	1,2	0,999	0,363	0,132
83,700	579	4,11	0,401	34,0	44,0	38,7	36,0	39,6	0,9	1,2	0,994	0,436	0,190
83,800	579	4,11	0,433	34,0	39,4	36,5	33,9	36,6	1,0	1,2	0,994	0,500	0,250
83,900	579	4,11	0,334	34,0	41,5	37,5	34,8	38,0	0,9	1,2	0,994	0,375	0,141
84,000	580	4,11	0,277	34,0	45,4	39,4	36,6	40,5	0,9	1,2	0,992	0,296	0,087
Jumlah											8,577	2,187	
Lendutan Rata-rata (d_n)											0,313		
Jumlah Titik (n_s)											21		
Deviasi Standar (s)											0,0798		

2) Keseragaman lendutan

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel B.3 maka sebagai gambaran tentang tingkat keseragaman lendutan yang sudah dikoreksi dapat dilihat pada Gambar B1.



Gambar B.1. Lendutan FWD terkoreksi (d_L)

Untuk menentukan tingkat keseragaman lendutan menggunakan Rumus 15, yaitu:

$$\begin{aligned}FK &= (s/d_R) \times 100\% \\ &= (0,0798/0,313) \times 100\% \\ &= 25,5\end{aligned}$$

Jadi; $20 < FK < 30 \rightarrow$ Keseragaman lendutan cukup baik

- 3) Lendutan wakil (D_{wakil} atau $D_{\text{sbl ov}}$) dengan menggunakan Rumus 18 (untuk jalan Arteri), yaitu:

$$\begin{aligned}D_{\text{wakil}} \text{ atau } D_{\text{sbl ov}} &= d_R + 2 S \\ &= 0,313 + 2 \times 0,0798 \\ &= 0,473 \text{ mm}\end{aligned}$$

- 4) Menghitung lendutan rencana/ljin/ (D_{rencana} atau $D_{\text{slt ov}}$) dapat menggunakan Gambar 4 Kurva C atau dengan Rumus 23 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}D_{\text{rencana}} \text{ atau } D_{\text{slt ov}} &= 17,004 \times \text{CESA}^{-0,2307} \\ &= 17,004 \times 30.000.000^{-0,2307} \\ &= 0,320 \text{ mm}\end{aligned}$$

- 5) Menghitung tebal lapis tambah (H_o) sesuai Gambar 5 atau dengan Rumus 25 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}H_o &= \{\text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{\text{sbl ov}}) - \text{Ln}(D_{\text{slt ov}})\}/0,0597 \\ &= \{\text{LN}(1,0364)+\text{LN}(0,473)-\text{LN}(0,320)\}/0,0597 \\ &= 7,10 \text{ cm}\end{aligned}$$

- 6) Menentukan koreksi tebal lapis tambah (F_o)
Lokasi ruas jalan Purwakarta-Plered pada Tabel A1 (Lampiran A), diperoleh temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) = 35,4 °C.
Dengan menggunakan Gambar 2 atau menggunakan Rumus 21 maka faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o) diperoleh:

$$\begin{aligned} F_o &= 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})} \\ &= 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times 35,4)} \\ &= 1,00 \end{aligned}$$

- 7) Menghitung tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) dengan menggunakan Rumus 26, yaitu:

$$\begin{aligned} H_t &= H_o \times F_o \\ &= 7,10 \times 1,00 \\ &= 7,10 \text{ cm (Laston dengan Modulus Resilien 2000 MPa dengan Stabilitas Marshall minimum sebesar 800 kg)} \end{aligned}$$

- 8) Bila jenis campuran beraspal yang akan digunakan sebagai bahan lapis tambah adalah Laston Modifikasi dengan Modulus Resilien 3000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum sebesar 1000 kg maka faktor penyesuaian tebal lapis tambah (FK_{TBL}) dapat diperoleh dengan menggunakan Rumus 22 atau Gambar 3 atau Tabel 7. Berdasarkan Rumus 22 atau Gambar 3 atau Tabel 7, diperoleh FK_{TBL} sebesar 0,87. Jadi tebal lapis tambah yang diperlukan untuk Laston Modifikasi dengan Modulus Resilien 3000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum sebesar 1000 kg adalah:

$$\begin{aligned} H_t &= 7,10 \text{ cm} \times FK_{\text{TBL}} \\ &= 7,10 \text{ cm} \times 0,87 \\ &= 6,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

- 9) Kesimpulan

Tebal lapis tambah yang diperlukan untuk ruas jalan Purwakarta-Plered agar dapat melayani lalu-lintas sebanyak 30.000.000 ESA selama umur rencana 5 tahun adalah 7,1 cm Laston dengan Modulus Resilien 2000 MPa dengan Stabilitas Marshall minimum sebesar 800 kg atau setebal 6,2 cm untuk Laston Modifikasi dengan Modulus Resilien 3000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum sebesar 1000 kg.

b) Perencanaan tebal lapis tambah berdasarkan pengujian lendutan dengan alat *BB*.

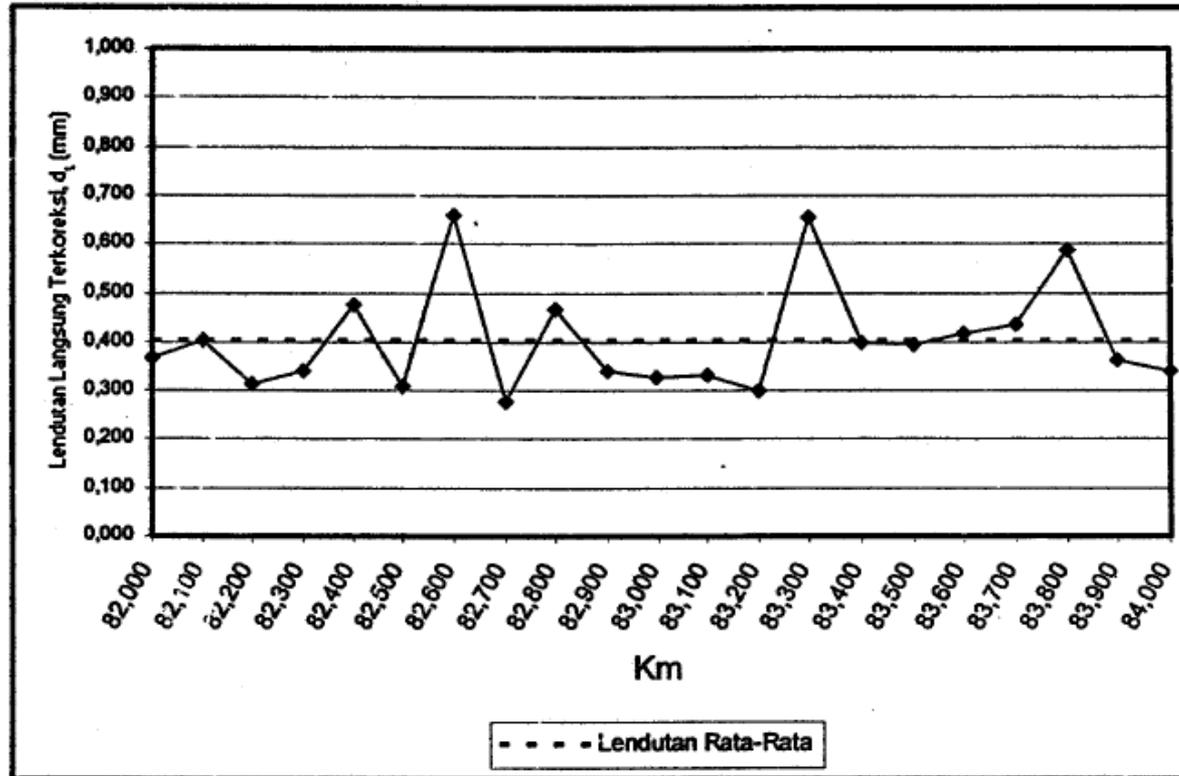
- 1) Untuk mengkoreksi nilai lendutan lapangan dapat menggunakan Rumus 7, sedangkan hasil lendutan yang telah dikoreksi ditunjukkan pada Tabel B.4.

Tabel B.4 Nilai lendutan *BB* terkoreksi (d_B)

Sta	Beban Uji (ton)	Lendutan balik/BB (mm)			Temperatur (°C)					Koreksi Pada Temperatur Standar (Ft)	Koreksi Musim (Ca)	Koreksi Beban (FK _{BB})	Lendutan Terkoreksi (mm), $d_B = \frac{2(d_3-d_1) \times Ft \times Ca \times FK_{BB}}$	d_B^2
		d1	d2	d3	T _u	T _p	T _t	T _b	T _L					
82,000	8,20	0,00	0,07	0,17	29	46,1	37,3	34,6	39,4	0,9	1,2	0,990	0,370	0,137
82,100	8,20	0,00	0,09	0,18	29	44,0	36,3	33,7	38,0	0,9	1,2	0,990	0,402	0,162
82,200	8,20	0,00	0,07	0,14	29	44,1	36,4	33,7	38,1	0,9	1,2	0,990	0,312	0,098
82,300	8,20	0,00	0,05	0,15	30	42,6	36,1	33,5	37,4	1,0	1,2	0,990	0,339	0,115
82,400	8,20	0,00	0,07	0,20	31	38,3	34,5	32,0	34,9	1,0	1,2	0,990	0,476	0,227
82,500	8,20	0,00	0,07	0,14	31	43,7	37,1	34,5	38,4	0,9	1,2	0,990	0,310	0,096
82,600	8,20	0,00	0,17	0,31	31	46,9	38,7	35,9	40,5	0,9	1,2	0,990	0,660	0,435
82,700	8,20	0,00	0,07	0,13	32	46,2	38,8	36,1	40,4	0,9	1,2	0,990	0,277	0,077
82,800	8,20	0,00	0,08	0,22	32	46,6	39,0	36,2	40,6	0,9	1,2	0,990	0,467	0,218
82,900	8,20	0,00	0,07	0,14	32	36,5	34,2	31,6	34,1	1,0	1,2	0,990	0,340	0,115
83,000	8,20	0,00	0,08	0,15	32	44,7	38,1	35,4	39,4	0,9	1,2	0,990	0,326	0,106
83,100	8,20	0,00	0,09	0,15	32	42,8	37,2	34,5	38,2	0,9	1,2	0,990	0,334	0,112
83,200	8,20	0,00	0,07	0,14	32	45,5	38,5	35,7	39,9	0,9	1,2	0,990	0,301	0,091
83,300	8,20	0,00	0,20	0,30	32	44,6	38,1	35,3	39,3	0,9	1,2	0,990	0,653	0,426
83,400	8,20	0,00	0,09	0,18	32	43,3	37,4	34,7	38,5	0,9	1,2	0,990	0,398	0,159
83,500	8,20	0,00	0,07	0,18	33	43,2	37,9	35,1	38,7	0,9	1,2	0,990	0,398	0,157
83,600	8,20	0,00	0,09	0,19	33	43,5	38,0	35,3	38,9	0,9	1,2	0,990	0,417	0,174
83,700	8,20	0,00	0,09	0,20	34	44,0	38,7	36,0	39,6	0,9	1,2	0,990	0,433	0,188
83,800	8,20	0,00	0,07	0,25	33	38,4	35,6	32,9	35,6	1,0	1,2	0,990	0,586	0,344
83,900	8,20	0,00	0,10	0,16	33	40,5	36,6	33,9	37,0	1,0	1,2	0,990	0,365	0,133
84,000	8,20	0,00	0,09	0,16	34	45,4	39,4	36,6	40,5	0,9	1,2	0,990	0,341	0,116
Jumlah												8,505	3,686	
Lendutan Rata-rata (d_B)												0,405		
Jumlah Titik (n_B)												21		
Deviasi Standar (s)												0,1097		

2) Keseragaman lendutan

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel B.4 maka sebagai gambaran tentang tingkat keseragaman lendutan yang sudah dikoreksi dapat dilihat pada Gambar B2.



Gambar B.2. Lendutan BB terkoreksi (d_B)

Untuk memastikan tingkat keseragaman lendutan dengan menggunakan Rumus 15, yaitu:

$$\begin{aligned} FK &= (s/d_R) \times 100\% = (0,1097/0,405) \times 100\% \\ &= 27,1 \end{aligned}$$

Jadi; $20 < FK < 30 \rightarrow$ Keseragaman lendutan cukup baik

- 3) Lendutan wakil (D_{wakil} atau $D_{\text{sbl ov}}$) dengan menggunakan Rumus 18 (untuk Jalan Arteri), yaitu:

$$\begin{aligned} D_{\text{wakil}} \text{ atau } D_{\text{sbl ov}} &= d_R + 2 S \\ &= 0,405 + 2 \times 0,1097 \\ &= 0,624 \text{ mm} \end{aligned}$$

- 4) Menghitung lendutan rencana/ljin/ (D_{rencana} atau $D_{\text{stl ov}}$) dapat menggunakan Gambar 4 Kurva D atau dengan Rumus 24 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D_{\text{rencana}} \text{ atau } D_{\text{stl ov}} &= 22,208 \times \text{CESA}^{-0,2307} \\ &= 22,208 \times 30.000.000^{-0,2307} \\ &= 0,408 \text{ mm} \end{aligned}$$

- 5) Menghitung tebal lapis tambah (H_o) sesuai Gambar 5 atau dengan Rumus 25 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_o &= \{ \text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{\text{sbl ov}}) - \text{Ln}(D_{\text{stl ov}}) \} / 0,0597 \\ &= \{ \text{LN}(1,0364) + \text{LN}(0,624) - \text{LN}(0,408) \} / 0,0597 \end{aligned}$$

- 6) Menentukan koreksi tebal lapis tambah (F_o)

Lokasi ruas jalan Purwakarta-Plered pada Tabel A1 (Lampiran A), diperoleh temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) = 35,4 °C.

Dengan menggunakan Gambar 2 atau menggunakan Rumus 21 maka faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o) diperoleh:

$$\begin{aligned} F_o &= 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})} \\ &= 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times 35,4)} \\ &= 1,00 \end{aligned}$$

- 7) Menghitung tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) dengan menggunakan Rumus 26, yaitu:

$$\begin{aligned} H_t &= H_o \times F_o \\ &= 7,30 \times 1,00 \\ &= 7,30 \text{ cm (Laston dengan Modulus Resilien 2000 MPa dengan Stabilitas Marshall minimum sebesar 800 kg)} \end{aligned}$$

- 8) Bila jenis campuran beraspal yang akan digunakan sebagai bahan lapis tambah adalah Laston Modifikasi dengan Modulus Resilien 3000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum sebesar 1000 kg maka faktor penyesuaian tebal lapis tambah (FK_{TBL}) dapat diperoleh dengan menggunakan Rumus 22 atau Gambar 3 atau Tabel 7. Berdasarkan Rumus 22 atau Gambar 3 atau Tabel 7, diperoleh FK_{TBL} sebesar 0,87. Jadi tebal lapis tambah yang diperlukan untuk Laston Modifikasi dengan Modulus Resilien 3000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum sebesar 1000 kg adalah:

$$\begin{aligned} H_t &= 7,30 \text{ cm} \times FK_{TBL} \\ &= 7,30 \text{ cm} \times 0,87 \\ &= 6,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

- 9) Kesimpulan:

Tebal lapis tambah yang diperlukan untuk ruas jalan Purwakarta-Plered agar dapat melayani lalu-lintas sebanyak 30.000.000 ESA selama umur rencana 10 tahun adalah 7,3 cm Laston dengan Modulus Resilien 2000 MPa dengan Stabilitas Marshall minimum sebesar 800 kg atau setebal 6,4 cm untuk Laston Modifikasi dengan Modulus Resilien 3000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum sebesar 1000 kg.