

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan Bina Marga

Dalam Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan Pd. T-05-2005-B disebutkan pengertian 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. Tebal Lapis tambah juga dibutuhkan apabila perkerasan harus diperkuat untuk memikul beban yang lebih berat atau pengulangan beban yang lebih banyak dari yang diperhitungkan dalam perencanaan awal.

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan tebal lapis tambah (*overlay*) yaitu:

1. Cukup memadainya dana untuk konstruksi *overlay*.
2. Cukup memadainya konstruksi *overlay*, termasuk beberapa aspek diantaranya:
 - a. Kontrol lalu lintas.
 - b. Material dan kesediaan peralatan.
 - c. Kondisi cuaca.
 - d. Masalah konstruksi, seperti suara kebisingan, polusi, peralatan, permukaan dasar, kejelasan biaya sewa, ketebalan dan penambahan samping.
 - e. Kekacauan lalu lintas dan penundaan biaya pengguna.
3. Umur desain *overlay* pada masa yang akan datang. Banyak faktor akan mempengaruhi umur *overlay* seperti:
 - a. Penurunan perkerasan (jenis regangan spesifik, kekerasan dan kuantitas).
 - b. Desain perkerasan, kondisi atau material perkerasan dan tanah dasar.

- d. Iklim lokal.
- e. Keadaan sub drainase.

1. Prosedur perhitungan metode lendutan Pd. T-05-2005-B

Perhitungan tebal lapis tambah yang disarankan pada pedoman ini adalah berdasarkan data Benkelman Beam. Pengukuran lendutan dengan alat Benkelman Beam pada kedua jejak roda (roda kiri dan roda kanan). Pengukuran lendutan pada perkerasan yang mengalami kerusakan berat dan deformasi plastis disarankan dihindari. Perhitungan tebal lapis tambah perkerasan lentur dapat menggunakan persamaan-persamaan atau gambar-gambar yang terdapat pada pedoman ini. Tahapan perhitungan tebal lapis tambah adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung repetisi beban lalu lintas rencana (CESA) dalam ESA.

1). 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 (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

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan

Tabel 3.2 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah lajur	Kendaraan ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 Lajur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 Lajur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 Lajur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 Lajur	-	0,30	-	0,45
5 Lajur	-	0,25	-	0,425
6 Lajur	-	0,20	-	0,4

Keterangan : *) Mobil Penumpang

***) Truk dan Bus

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

2) Ekuivalen beban sumbu kendaraan (E)

Angka ekuivalen adalah angka yang menunjukkan jumlah lintasan dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton yang akan menyebabkan kerusakan yang sama atau penurunan indeks permukaan dalam satu kali melintas. Angka ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut Persamaan 3.21 sampai dengan 3.24 atau pada Tabel 3.3.

$$\text{Angka Ekuivalen STRT} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,40} \right]_4^4 \dots \dots \dots (\text{Pers.3.1})$$

$$\text{Angka Ekuivalen STRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{8,16} \right]_4^4 \dots \dots \dots (\text{Pers.3.2})$$

$$\text{Angka Ekuivalen SDRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]_4^4 \dots \dots \dots (\text{Pers.3.3})$$

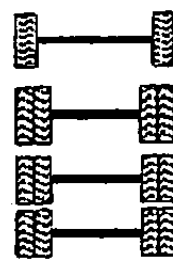
$$\text{Angka Ekuivalen STRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]_4^4 \dots \dots \dots (\text{Pers.3.4})$$

Dimana :

STRT = Sumbu Tunggal Roda Tunggal

STRG = Sumbu Tunggal Roda Ganda

SDRG = Sumbu Dual Roda Ganda



Tabel 3.3 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

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

3) Faktor umur rencana dan perkembangan lalu lintas

Faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas ditentukan menurut Persamaan 3.5 atau Tabel 3.4.

$$N = 0,5 \left[1 + (1+r)^n + 2(1+r) \frac{(1+r)^{n-1} - 1}{r} \right] \dots\dots\dots (\text{Pers.3.5})$$

Tabel 3.4 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

Lanjutan Tabel 3.4

n (tahun)	r (%)					
	2	4	5	6	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 : Badan Litbang DPU, 2005.

4) Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (CESA)

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

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

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 3.3).

C = Koefisien distribusi kendaraan (Tabel 3.2).

N = Faktor hubungan umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas (Tabel 3.4).

- b. Menghitung lendutan balik hasil pengujian dengan alat Benkelman Beam dan koreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim, Ca) dan koreksi temperatur standar (Ft) serta faktor koreksi beban uji (bila beban uji tidak tepat sebesar 8,16 ton). Besarnya lendutan balik adalah sesuai Persamaan 3.7.

dengan pengertian :

d_B = Lendutan balik (mm).

d_1 = Lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran.

d_4 = Lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter dari pengukuran.

F_t = Faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C, sesuai Persamaan 3.8, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih kecil 10 cm atau Persamaan 3.9, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih besar atau sama dengan 10 cm atau menggunakan Tabel 3.5 atau pada Gambar 3.1 (kurva A untuk $H_L < 10$ cm dan kurva B untuk $H_L \geq 10$ cm).

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

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

T_L = Temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat diprediksi dari temperatur udara, yaitu :

$$T_L = 1/3 (T_p + T_t + T_b) \dots \dots \dots \text{ (Pers.3.10)}$$

T_p = Temperatur permukaan lapis beraspal

T_t = Temperatur tengah lapis beraspal atau dari Tabel 3.6

T_b = Temperatur bawah lapis beraspal atau dari Tabel 3.6

C_a = Faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)

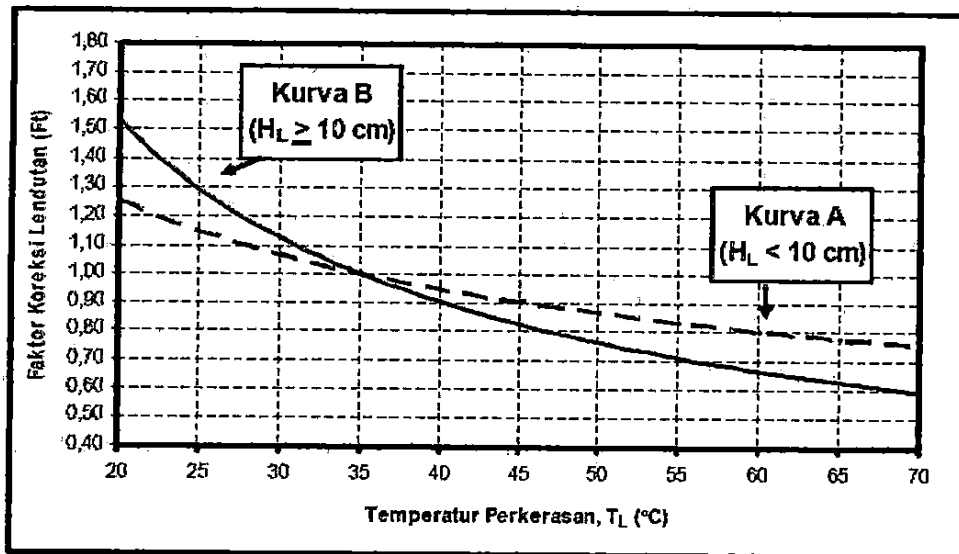
= 1,2 ; bila pemeriksaan dilakukan pada musim kemarau atau muka air tanah rendah

= 0,9 ; bila pemeriksaan dilakukan pada musim hujan atau muka air tanah tinggi

FK_{B-BB} = Faktor koreksi beban uji *Benkelman Beam (BB)*

$$FK_{B-BB} = 1 - 0,00015 \times (T - 20) \dots \dots \dots \text{ (Pers. 3.11)}$$

(Pers. 3.11)



Gambar 3.1 Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar (Ft)

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

Tabel 3.5 Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar (Ft)

TL (°C)	Faktor koreksi (Ft)		TL (°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	0,887	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

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

Tabel 3.6 Temperatur Tengah (Tt) dan Bawah (Tb) Lapis Beraspal Berdasarkan Data Temperatur Udara (Tu) dan Temperatur Permukaan (Tp)

Tu + Tp (°C)	Temperatur lapis beraspal (°C) pada kedalaman					
	2,5 cm	5,0 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 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

Lanjutan Tabel 3.6

Tu + Tp (°C)	Temperatur lapis beraspal (°C) pada kedalaman					
	2,5 cm	5,0 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
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

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

- c. Ditentukan penjang seksi yang memiliki keseragaman (FK) yang sesuai dengan tingkat keseragaman yang diinginkan. Untuk menentukan faktor keseragaman lendutan adalah dengan menggunakan Persamaan 3.12.

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

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.

$$= \frac{\sum_{i=1}^{ns} d}{ns} \dots \dots \dots (\text{Pers.3.13})$$

s = Deviasi standar = simpangan baku.

$$= \sqrt{\frac{ns(\sum_{i=1}^{ns} d^2) - (\sum_{i=1}^{ns} d)^2}{ns(ns-1)}} \dots \dots \dots (\text{Pers.3.14})$$

d = Nilai lendutan balik (dB) atau lendutan langsung (dL) tiap titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan.

n_s = Jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan.

- d. Hitung lendutan wakil (Dwakil) untuk masing-masing seksi jalan yang tergantung dari kelas jalan dengan Persamaan 3.15 sampai 3.17.

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 2 s ;$$

..... (Pers. 3.15)

$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,64 s$;
 untuk jalan kolektor (tingkat kepercayaan 95%).....(Pers.3.16)

$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,28 s$;
 untuk jalan lokal (tingkat kepercayaan 90%).....(Pers.3.17)

dengan pengertian :

D_{wakil} = Lendutan yang mewakili suatu seksi jalan.

d_R = Lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan sesuai Persamaan 3.13

s = Deviasi standar sesuai Persamaan 3.14

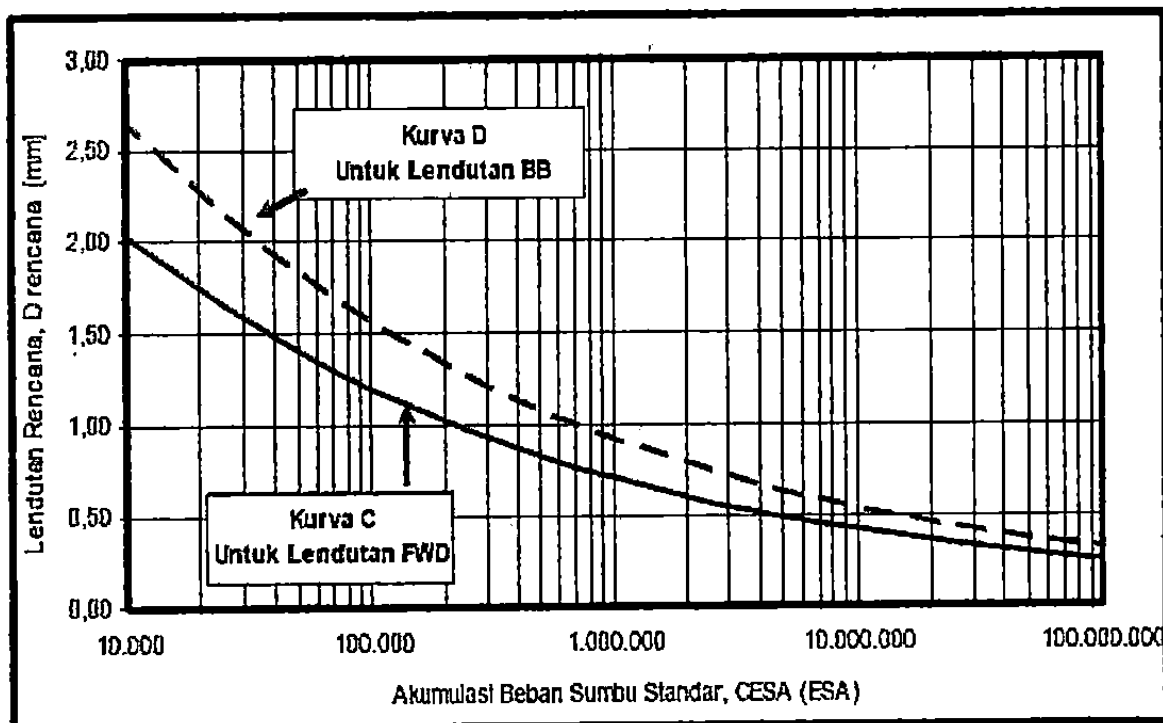
- e. Dihitung lendutan rencana/ijin (D_{rencana}) dengan menggunakan Persamaan 3.18 untuk lendutan dengan Benkelman Beam.

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

dengan pengertian :

D_{rencana} = Lendutan rencana, dalam satuan millimeter.

CESA = Akumulasi ekuivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA atau dengan memplot data lalu lintas rencana (CESA) pada gambar 3.2 Kurva D untuk lendutan balik dengan alat Benkelman Beam.



Gambar 3.2 Hubungan Antara Lendutan Rencana dan Lalu Lintas

f. Dihitung tebal lapis tambahan/*overlay* (H_o) dengan menggunakan Persamaan 3.19 atau dengan memplot pada Gambar 3.3.

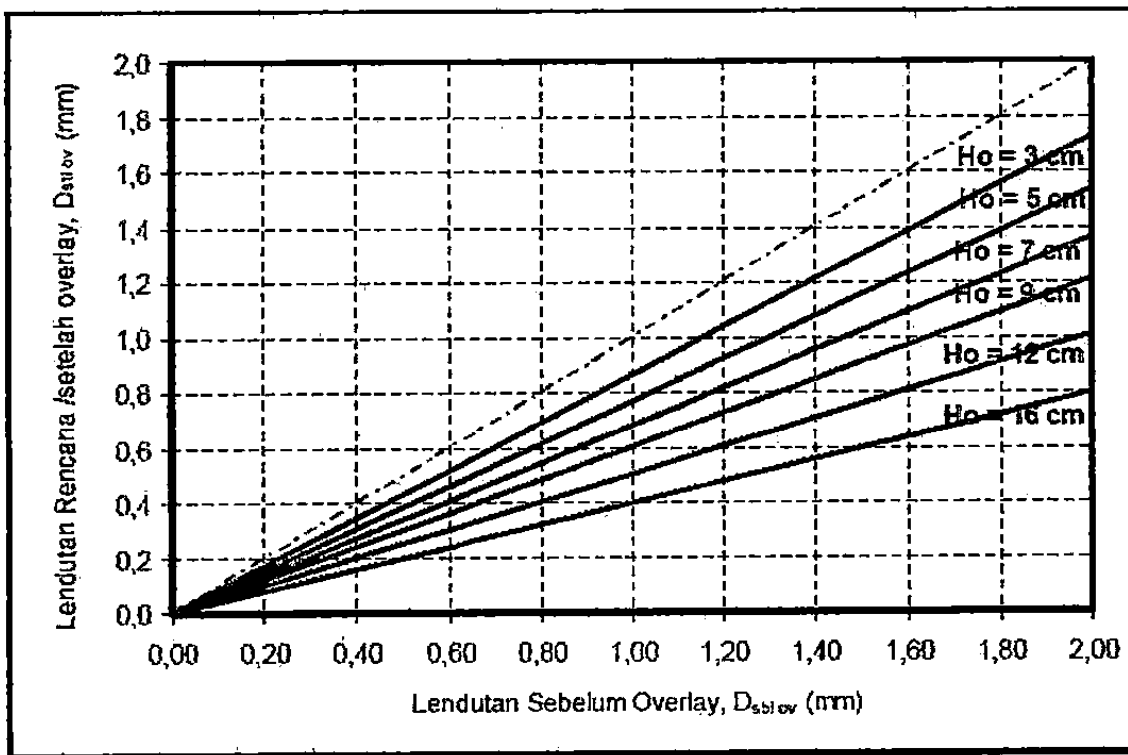
$$H_o = \frac{[\text{Ln}(1,036) + \text{Ln}(D_{sbl\ ov}) - \text{Ln}(D_{stl\ ov})]}{0,0597} \dots\dots\dots(\text{Pers.3.19})$$

Dengan pengertian :

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

$D_{sbl\ ov}$ = Lendutan sebelum lapis tambah/ D_{wakil} , dalam satuan millimeter.

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



Gambar 3.3 Tebal Lapis Tambah/*Overlay* (H_o)

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

g. Dihitung tebal lapis tambah/*overlay* terkoreksi (H_t) dengan mengkalikan H_o dengan faktor koreksi *overlay* (F_o), yaitu sesuai dengan Persamaan 3.20 dan 3.21.

dengan pengertian :

Fo = Faktor koreksi tebal lapis tambah/*overlay*.

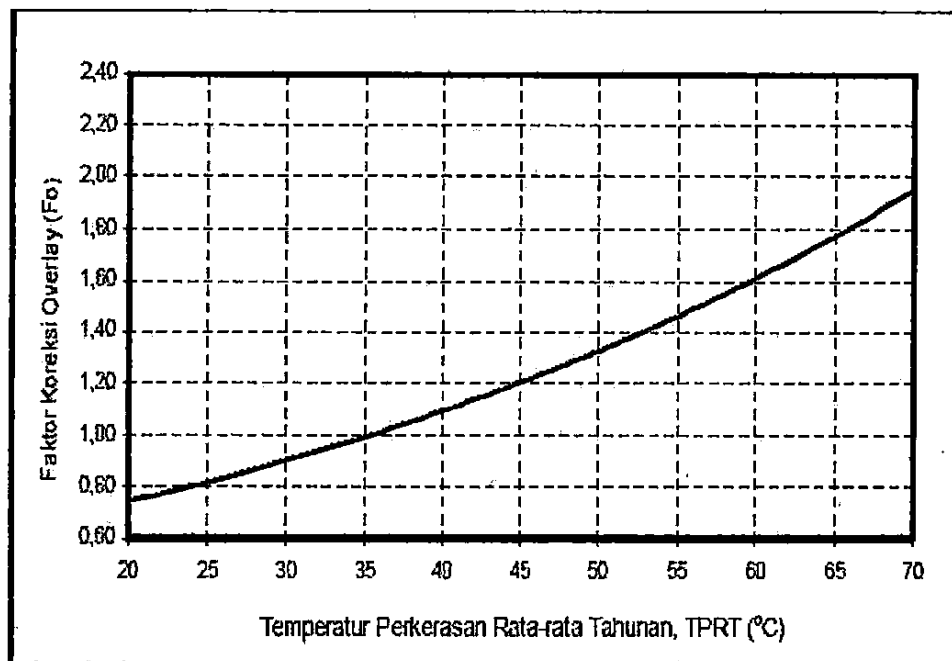
TPRT = Temperatur rata-rata perkerasan tahunan untuk daerah/kota tertentu.

$$H_t = H_o \times F_o \dots \dots \dots \text{(Pers.3.21)}$$

Ht = Tebal lapis tambah/*overlay* laston setelah dikoreksi dengan temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

Ho = Tebal lapis tambah laston sebelum dikoreksi temperature rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

Fo = Faktor koreksi tebal lapis tambah/*overlay* (sesuai Persamaan 3.20 atau Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah/Overlay (Fo).

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

- 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 Persamaan 3.22 atau Gambar 3.5 atau Tabel 3.7.

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

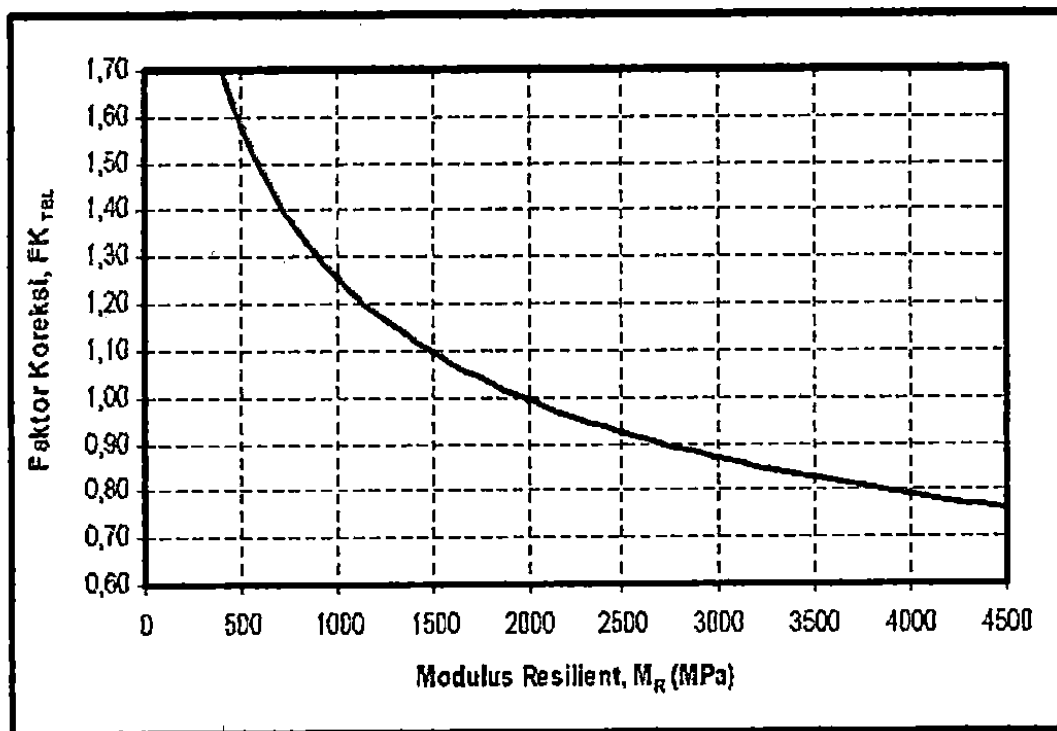
dengan pengertian :

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

M_R = Modulus resilien (MPa).

Tabel 3.7 Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Perencanaan (FK_{TBL})

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



Gambar 3.5 Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Penyesuaian (FK_{TBL})

Sumber : Badan Litbang DPU, 2005.

B. Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan

Metode Lendutan Asphalt Institute MS-17

Metode Asphalt Institute dikembangkan oleh Amerika Serikat melalui Federal Highway Administration (FHWA). Badan ini menghitung analisa lalu lintas dengan menggunakan berat truk faktor sebagai dasar perhitungan dengan satuan ESAL (*Equivalent Standart Axle Load*), sedangkan desain ketebalannya

1. Volume Lalu Lintas

Kebanyakan negara-negara di Amerika bekerjasama dengan U.S. Federal Highway Administration (FHWA), mengumpulkan data jumlah dan berat truk setiap 1 atau 2 tahun. Data berat truk dan jumlah kendaraan didapat dari departemen lalu lintas. Banyak Negara Negara lain juga mengumpulkan tipe informasi ini. Ketika data jumlah dan klasifikasi lalu lintas tidak dipakai, analisis dapat memakai data yang disajikan dalam Tabel 3.8. persentase

Tabel 3.8. Persentase Truk Berdasarkan Kelas Jalan

Truck Class	Percent Truck											
	Rural System					Urban System						
	Inter-State	Other Principal	Minor Arterial	Collector		Range	Inter-state	Other Freeways	Other Principal	Minor arterial	Collector	Range
Major				Minor								
Truk tunggal												
2 sumbu, 4 roda	43	60	71	73	80	43-80	52	66	67	84	86	52-86
2 sumbu, 6 roda	8	10	11	10	10	8-11	12	12	15	9	11	9-15
3 sumbu atau lebih	2	3	4	4	2	2-4	2	4	3	2	<1	<1 - 4
Semua truk tunggal	53	73	86	87	92	53-92	66	82	85	95	97	66-97
Traktor semi - trailer												
4 sumbu atau lebih	5	3	3	2	2	2-5	5	5	3	2	1	1-5
5 sumbu atau lebih	41	23	11	10	6	6-41	28	13	12	3	2	2-28
6 sumbu atau lebih	1	3	<1	1	<1	<1-1	1	<1	<1	<1	<1	<1-1
Semua Truk Gandeng	47	27	14	12	8	8-47	34	18	15	5	3	3-34
Semua Truk	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	

Sumber : Asphalt Institute, MS-17, 2000

Tabel ini disusun dari data jumlah truk di amerika bekerja sama dengan FHWA. Jarak presentase pada Tabel 3.8. mengindikasikan selisih yang mungkin untuk Negara Amerika. Data statistik USA menunjukkan bahwa volume truk berat pada semua kelas lalu lintas amerika rata-rata sekitar 11% dari total volume lalu lintas. Secara regional selisih 2-25% truk berat dapat diharapkan. 10% truk berat tidak umum pada lalu lintas perkotaan dan variasi jumlah lebih sedikit 5-15%. Selama periode puncak lalu lintas persentase truk biasanya lebih sedikit dari harian rata rata. Lalu lintas truk besar selama jam puncak sekitar 1,5 dari rata rata harian persentase truk pada jalan arteri kota, dan 1,5-2/3 pada lalu lintas desa. Kegunaan data lalu lintas lokal direkomendasikan namun lalu lintas lokal tersubjek pada variasi dan harus dipakai dalam mengumpulkan dan menggunakan data data ini.

Untuk jalan dua lajur, lajur rencana dapat digunakan untuk menghitung tebal perkerasan. Untuk jalan-jalan berjalur banyak biasanya terdapat pada lintas luar kota. Dalam beberapa kondisi, truk lebih mungkin berjalan dalam satu arah daripada yang lain. Dengan tidak adanya data tertentu, Tabel 3.9 dapat digunakan untuk menentukan proporsi relatif dari truk untuk lajur desain.

Tabel 3.9 Persentase Total Lalu Lintas Truk Dalam Lajur Rencana

Jumlah Lajur (2 arah)	Persentase truk dalam lajur rencana
2	50
4	45 (35-48)
6 atau lebih	40 (25-48)

Sumber : Asphalt Institute, MS-17, 2000

Pertumbuhan lalu lintas dalam beberapa hal tidak berkembang atau menurun dan harus diantisipasi ketika menentukan kebutuhan struktural dari *overlay*. Pertumbuhan lalu lintas normal di Amerika Serikat berkisar antara 3 – 5% per tahunnya, akan tetapi dengan banyaknya perkembangan lalu lintas maka pertumbuhan lalu lintas berkisar antara 4 – 9% untuk jalan pedesaan, dan 8 – 10 % untuk lalu lintas antar Negara. Pertumbuhan lalu lintas dapat dihitung dengan

dengan menggunakan Persamaan 3.23.

$$GF = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \dots\dots\dots(3.23)$$

dengan :

r = tingkat pertumbuhan lalu lintas

n = periode rencana

Tabel 3.10. Faktor Pertumbuhan

Periode rencana, n (tahun)	Laju pertumbuhan, r (%)						
	2	4	5	6	7	8	10
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,10
3	3,06	3,19	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5,20	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6	6,31	6,63	6,80	6,98	7,15	7,34	7,72
7	7,43	7,90	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8	8,58	9,21	9,55	9,90	10,26	10,64	11,44
9	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11	12,17	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12	13,41	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38
13	14,68	16,63	17,71	18,88	20,14	21,50	24,52
14	15,97	18,29	19,60	21,02	22,55	24,21	27,97
15	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17	20,01	23,70	25,84	28,21	30,84	33,75	40,54
18	21,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	45,60
19	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	24,30	29,78	33,07	36,79	41,00	45,76	57,27
25	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30	40,57	56,08	66,44	79,06	94,46	113,28	164,49
35	49,99	73,65	90,32	111,43	138,24	172,32	271,02

Asphalt Institute merekomendasikan prosedur analisis lalu lintas dengan memperhitungkan angka ekivalen 80-kN (18.000-lb) beban roda as tunggal (*single axle load*) untuk digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan. Besarnya nilai estimasi ESAL ini dipengaruhi oleh :

1. Faktor truk/*Truck Factor*, merupakan penerapan angka ekivalen 80-kN beban roda as tunggal (*single axle load*) yang diberikan oleh satu alur kendaraan.
2. Faktor ekivalensi beban/*Load Equivalency Factor*, merupakan penerapan angka ekivalen 80-kN beban roda as tunggal (*single axle load*) yang diberikan oleh satu alur as roda.
3. Jumlah kendaraan/*Number of vehicles*.

Dengan demikian ESAL dihitung dengan mengkalikan jumlah kendaraan dalam masing-masing kelas dengan faktor truk seperti yang diperlihatkan pada Persamaan 3.24.

$$ESAL = \sum (\text{jumlah kendaraan masing-masing golongan} \times \text{faktor truk}) \dots (3.24)$$

Dengan,

$$\text{Faktor truk} = \frac{\sum (\text{jumlah sumbu} \times \text{faktor ekivalensi beban})}{\text{jumlah kendaraan}}$$

Faktor Truk dapat ditentukan dari setiap jenis atau kombinasi tipe truk. Jenis faktor truk (*Truck Factor*) diberikan dalam Tabel 3.11 untuk berbagai truk AS dan klasifikasi jalan raya. Dalam survei lalu lintas, klasifikasi truk dan khususnya untuk truk-truk berat multi gandar sangat perlu diperhatikan. Hal ini karena truk-truk berat tersebut akan memberikan kontribusi pada hasil hitungan total ESAL dalam jumlah yang besar. Faktor ini dihitung dari data yang dikumpulkan secara individual oleh AS dinyatakan dan diringkas oleh Administrasi Jalan Raya Federal AS. Pengambilan data dilakukan pada lebih dari 600 lokasi di Amerika Serikat selama tahun 1985. Sedangkan untuk ekivalensi beban mengacu pada ekivalensi

Tabel 3.11. Distribusi Faktor Truk (TF) Berdasarkan Kelas Jalan

Vehicle Type	Truck Factor											
	Rural System						Urban System					
	Inter-state	Other Principal	Minor arterial	Collector		Range	Inter-state	Other Freeways	Other Principal	Minor arterial	Collector	Range
Major				Minor								
Truk tunggal												
2 sumbu, 4 roda	0,003	0,003	0,003	0,017	0,003	0,003-0,017	0,002	0,015	0,002	0,006	---	0,006-0,015
2 sumbu, 6 roda	0,21	0,25	0,28	0,41	0,19	0,19-0,41	0,17	0,13	0,24	0,23	0,13	0,13-0,24
3 sumbu atau lebih	0,61	0,86	1,06	1,26	0,45	0,45-1,26	0,61	0,74	1,02	0,76	0,72	0,61-1,02
Semua truk tunggal	0,06	0,08	0,08	0,12	0,03	0,03-0,12	0,05	0,06	0,09	0,04	0,16	0,04-0,16
Traktor semi-trailer												
4 sumbu atau lebih	0,62	0,92	0,62	0,37	0,91	0,37-0,91	0,98	0,48	0,71	0,46	0,40	0,40-0,98
5 sumbu atau lebih	1,09	1,25	1,05	1,67	1,11	1,05-1,67	1,07	1,17	0,97	0,77	0,63	0,63-1,17
6 sumbu atau lebih	1,23	2,54	1,04	2,21	1,35	1,04-2,21	1,05	1,19	0,90	0,64	---	0,64-1,19
Semua Truk Gandeng	1,04	1,21	0,97	1,52	1,08	0,97-1,52	1,05	0,96	0,91	0,67	0,53	0,53-1,05
Semua Truk	0,52	0,38	0,21	0,30	0,12	0,12-0,52	0,39	0,23	0,21	0,07	0,24	0,07-0,39

Sumber : Asphalt Institute, MS-17, 2000

Tabel 3.12. Faktor Ekivalensi Beban Untuk Perkerasan Lentur

		SN = 3 ; Pt = 2,0		SN = 5 ; Pt = 2,5	
kN	kips	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
8,9	2	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000
17,8	4	0,0023	0,0003	0,0021	0,0003
26,7	6	0,0114	0,0011	0,0104	0,0010
35,6	8	0,0364	0,0032	0,0343	0,0029
44,5	10	0,0901	0,0076	0,0877	0,0069
53,4	12	0,1890	0,0156	0,1891	0,0143
62,3	14	0,3540	0,0238	0,3600	0,0264
71,2	16	0,6126	0,0500	0,6229	0,0472
80,1	18	1,0000	0,0807	1,0000	0,0773
89	20	1,5607	0,1239	1,5125	0,1206
97,9	22	2,3490	0,1826	2,1819	0,1803
106,8	24	3,4295	0,2600	3,0317	0,2601
115,7	26	4,8782	0,3600	4,0896	0,3638
124,6	28	6,7825	0,4870	5,3891	0,4952
133,5	30	9,2426	0,6460	6,9707	0,6583
142,4	32	12,3717	0,8426	8,8828	0,8569
151,3	34	16,2968	1,0834	11,1813	1,0947
160,2	36	21,1597	1,3755	13,9303	1,3755
169,1	38	27,1171	1,7270	17,2020	1,7029
178	40	34,3421	2,1468	21,0764	2,0805
186,9	42	43,0238	2,6446	25,6419	2,5120
195,8	44	53,3691	3,2311	30,9952	3,0013
204,7	46	65,6027	3,9179	37,2415	3,5525
213,6	48	79,9677	4,7175	44,4950	4,1703
222,5	50	96,7267	5,6434	52,8788	4,8594
231,4	52		6,7101		5,6254
240,3	54		7,9333		6,4744
249,2	56		9,3296		7,4129
258,1	58		10,9167		8,4483
267	60		12,7136		9,5885
275,9	62		14,7402		10,8422
284,8	64		17,0177		12,2186
293,7	66		19,5688		13,7278
302,6	68		22,4169		15,3803

Lanjutan Tabel 3.12

		SN = 3 ; Pt = 2,0		SN = 5 ; Pt = 2,5	
kN	kips	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
311,5	70		25,5873		17,1876
320,4	72		29,1060		19,1618
329,3	74		33,0009		21,3154
338,2	76		37,3008		23,6620
347,1	78		42,0362		26,2158
356	80		47,2389		28,9914
364,9	82		52,9423		32,0046
373,8	84		59,1811		35,2715
382,7	86		65,9915		38,8091
391,6	88		73,4115		42,6352
400,5	90		81,4804		46,7681

Sumber : Lampiran D, AASHTO 1993

Langkah langkah dalam menentukan desain ESAL :

- 1) Menentukan rata rata jumlah tiap tipe kendaraan
- 2) Menentukan faktor truk (TF) pada tiap tipe kendaraan dari Tabel 3.11.
- 3) Menentukan faktor pertumbuhan dari Tabel 3.10 atau Persamaan 3.23.
- 4) Hitung jumlah kendaraan dari setiap kelas dengan truk faktor dan faktor pertumbuhan sesuai dengan langkah 2 dan 3 (Huang, 1993).

2. Lendutan

Prosedur lendutan pada perkerasan lentur merupakan metode empiris yang menggunakan lendutan perwakilan / *Representative Rebound Deflection (RRD)* dari alat Benkelman Beam. Besarnya defleksi merupakan indikator kapasitas struktural dari perkerasan yang ada dan kemampuannya untuk menampung beban lalu lintas di masa depan. Data lendutan digunakan untuk mengevaluasi apakah peningkatan lapis tambah (*overlay*) memang diperlukan, dan jika demikian maka data tersebut bisa digunakan untuk menghitung tebal lapis tambah.

a. Prosedur Menghitung Lendutan dengan Metode Asphalt Institute.

Prosedur umum dalam penggunaan lendutan perkerasan untuk mengevaluasi

1. Langkah-langkah adalah sebagai berikut:

1) Evaluasi Panjang Struktur Perkerasan

Kondisi perkerasan, kekuatan tanah dasar dan kondisi drainase biasanya akan mempengaruhi panjang pekerasan untuk *overlay*. Sebagai konsekuensinya mungkin mengurangi biaya dalam kontrak yang sama dengan mendesain ketebalan yang berbeda dari *overlay* untuk seksi perkerasan yang berbeda. Dimana pemeriksaan visual atau tes data dengan jelas mengindikasikan perbedaan - perbedaan, hal tersebut menjelaskan bahwa perkerasan terbagi dalam pemisahan bagian desain, maka sebaiknya ketebalan *overlay* didesain terpisah untuk setiap bagian.

2) Survei Lendutan

Besaran dari lendutan perkerasan adalah sebuah indikasi dari kekuatan perkerasan untuk muatan lalu lintas. Penelitian di beberapa tempat yang berbeda di Amerika Utara telah menetapkan korelasi antara muatan roda, pantulan lendutan perkerasan dan pengurangan beban. Korelasi ini, dibawah pengukuran standard pembebanan, berguna untuk evaluasi kecukupan struktur dari perkerasan.

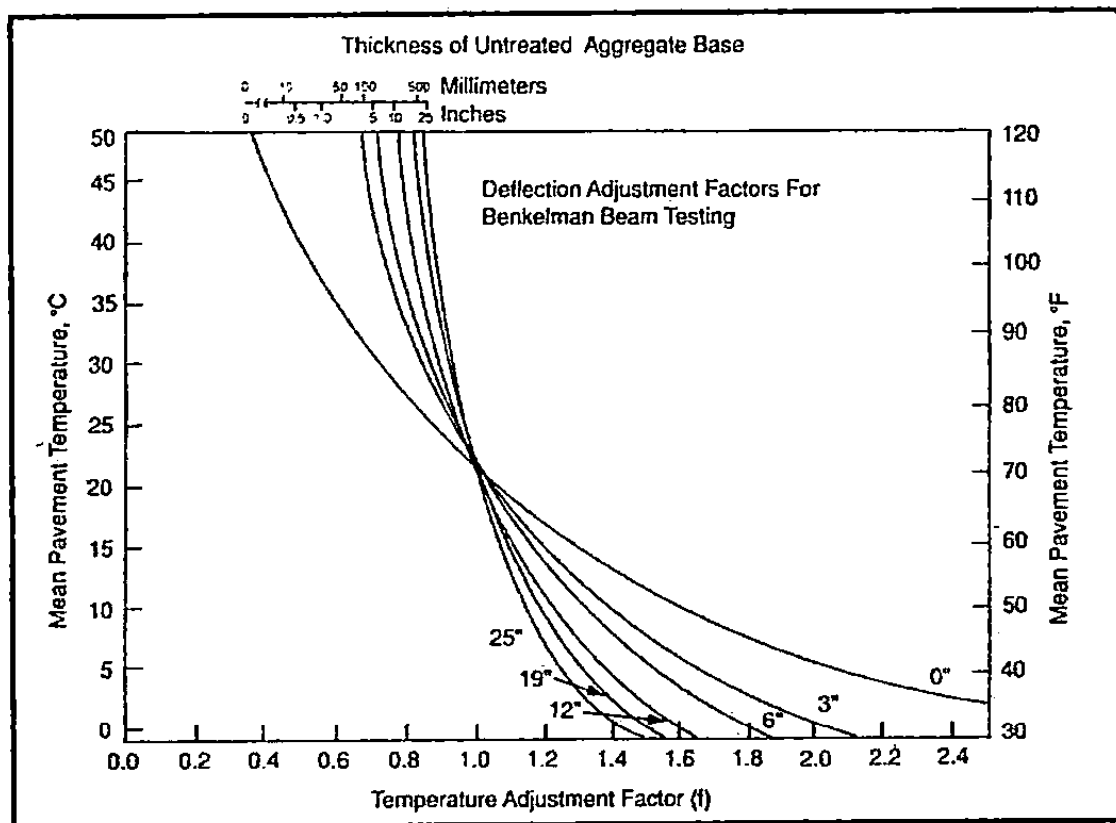
Penggunaan Benkelman beam diperoleh dari studi dengan menguji bagian roda luar minimal 10 lokasi yang dipilih setiap bagian yang sama, atau hampir sama, berdasarkan dari hasil survei. Nilai pantulan lendutan wakil diartikan dari pengukuran pantulan lendutan, yang mana telah disesuaikan pada suhu dan periode kritis dalam setahun.

3) Faktor suhu

Prosedur menentukan suhu lapisan aspal dapat dilihat pada Gambar 3.6 memberikan kelengkungan faktor temperatur untuk berbagai jenis ketebalan berat jenis gradasi agregat dasar (tebalnya 0 mm [0 inci] mewakili terhadap ketebalan perkerasan beton aspal).

Jika semua lendutan yang ditentukan dibuat pada suhu yang sama, maka penentuannya dapat disesuaikan pada nilai lendutan yang dimaksudkan.

perubahan waktu yang penting dapat diperoleh dalam temperatur perkerasan. Dalam hal ini penentuan suhu dapat dibuat sebelum menghitung lendutan dan standard deviasi.



Gambar 3.6. Grafik Faktor Penyesuaian Temperatur

4) Lendutan Yang Mewakili

Ketika pengujian pantulan dalam bagian perkerasan telah selesai, hasil pencatatan pantulan lendutan wakil bermanfaat untuk menentukan sebuah lendutan wakil untuk mendesain sebuah bagian jalan. Nilai ini dimaksudkan untuk pantulan lendutan yang memiliki faktor temperatur ganda pada suhu standar 21°C (70°F) dan, jika perlu faktor periode kritis yang telah ditentukan ditambah dua standard deviasi (Huang, 1993).

Pantulan lendutan wakil kemudian dihasilkan persamaan:

$$P = \frac{1}{1 + 0.00015 \cdot L^2}$$

(3.25)

dengan :

RRD = Lendutan yang mewakili suatu seksi jalan.

\bar{x} = Lendutan rata – rata

s = Standar deviasi

F = Faktor koreksi temperatur

C = Faktor koreksi periode kritis

C = 1, jika test dilakukan pada musim semi.

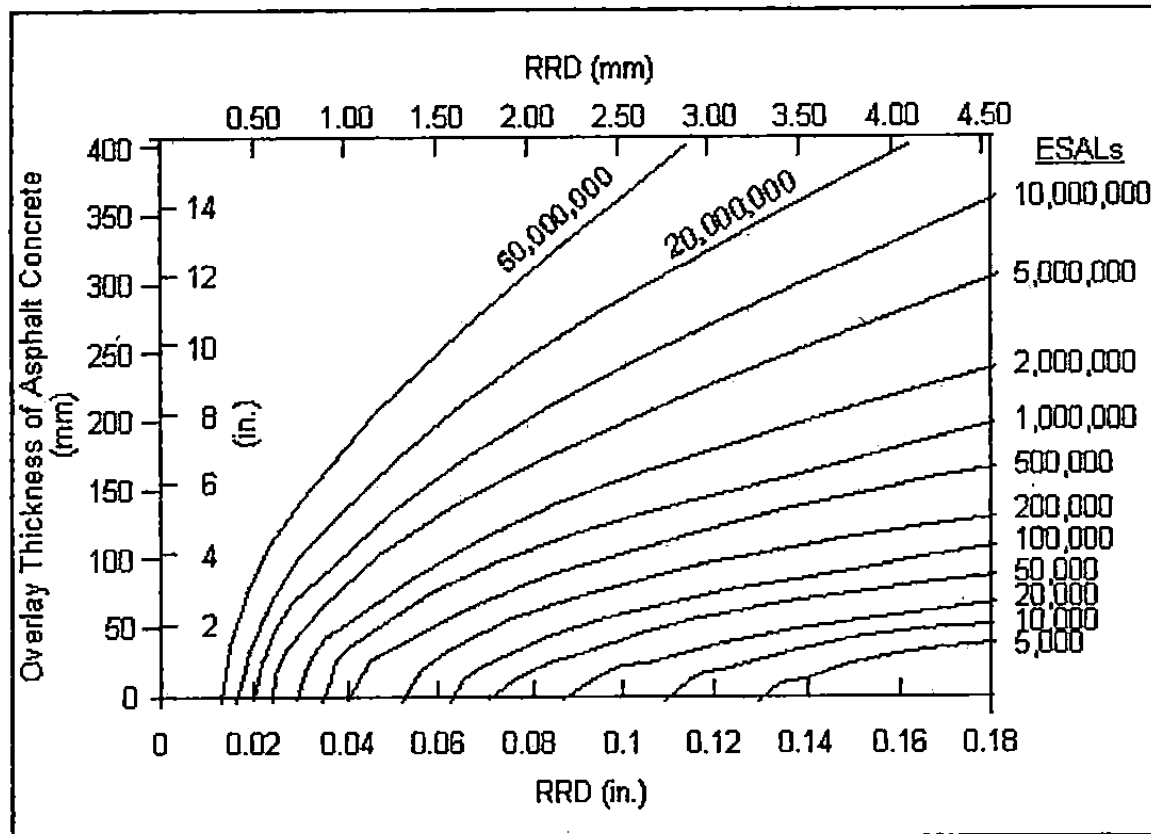
C > 1, jika test dilakukan pada musim panas/kemarau.

Hal ini dapat ditentukan karena perubahan dalam suhu dan kelembaban lendutan terhadap perkerasan biasanya berbeda beda tiap jam, dari hari kehari dan dari satu musim setahun, dan juga mungkin berbeda beda dari satu tahun ketahun berikutnya. Untuk perkerasan lentur yang sesuai dengan tingkat beku, mungkin ada kehilangan tegangan yang signifikan dalam agregat dasar perkerasan atau tanah dasar selama periode cairan dingin sampai lapisan menjadi jenuh. Kehilangan tegangan ini akan mempengaruhi total tegangan atau ketebalan perkerasan. Lokasi perkerasan dalam suatu wilayah dengan iklim yang dingin memiliki curah hujan yang signifikan akan berpengaruh terhadap perubahan kekuatan melalui pengaruh suhu yang rendah dan penetrasi yang dingin.

3. Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

Tebal lapis tambah didasarkan pada dari data lendutan yang mewakili/ RRD. Dimana nilai tebal lapis tambah didapat dengan menggunakan grafik hubungan antara RRD dan tebal lapis tambah (*overlay thickness*). Prosedur menentukan tebal lapis tambah yang dibutuhkan adalah :

- a. Menentukan lendutan wakil rencana (RRD).
- b. Menetapkan ESAL rencana.
- c. Menentukan tebal lapis tambah yang dibutuhkan dengan melihat hubungan antara RRD dan ESAL pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Grafik Hubungan Antara RRD dan ESAL

C. Perbedaan Faktor Ekuivalensi Beban Metode Bina Marga Dengan Metode AASHTO

Mengingat metode SNI mengacu pada AASHTO 1972, faktor ekuivalensi beban berdasarkan AASHTO dianggap benar. Berdasarkan hasil analisis yang dibuat oleh DR. Aloysius Tjan dalam jurnal "Perbedaan Faktor ekuivalensi Beban Metode Bina Marga Dengan Metode AASHTO", perhitungan faktor ekuivalensi beban berdasarkan SNI yang telah disederhanakan tidak didukung oleh keselarasan persamaan-persamaan yang ada pada AASHTO 1972. Dalam perencanaan tebal perkerasan lentur SNI (DPU,1987) yang banyak mengacu pada desain tebal perkerasan lentur AASHTO 1972, memberikan besarnya faktor ekuivalensi beban hanya sebagai fungsi dari beban bukan standar, dan beban standar seperti Persamaan 2.26 untuk sumbu tunggal dan Persamaan 2.27 untuk sumbu ganda

Untuk sumbu tunggal :

$$E_x = \left(\frac{\text{beban non-standar, } x \text{ ton}}{8,16 \text{ ton}} \right)^4 \dots\dots\dots(3.26)$$

Untuk sumbu ganda :

$$E_x = 0,086 \left(\frac{\text{beban non-standar, } x \text{ ton}}{8,16 \text{ ton}} \right)^4 \dots\dots\dots(3.27)$$

1. Faktor Ekivalensi Beban AASHTO

Walaupun AASHTO memberikan besarnya faktor ekivalensi beban dalam bentuk tabel agar pengguna dapat memakainya dengan mudah. Besarnya faktor ekivalensi beban itu sendiri dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan apabila turunkan berdasarkan semua persamaan dasar dari AASHTO 1972. Untuk itu perlu diperkenalkan persamaan persamaan dasar yang dimaksud

$$G_t = \beta (\log W_t - \log \rho) \dots\dots\dots (3.28)$$

Dengan :

$$G_t = \log \frac{4,2 - Pt}{4,2 - 1,5} \dots\dots\dots(3.29)$$

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081 (L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19} L_2^{3,23}} \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\log \rho = 5,93 + 9,36 \log (SN+1) - 4,79 \log (L_1 + L_2) + 4,33 \log L_2 \dots\dots\dots(3.31)$$

Dengan menggantikan notasi G_t , β , ρ dipersamaan 3.28 dengan Persamaan 3.29, 3.30, dan 3.31, maka Persamaan 3.28 dapat ditulis lagi sebagai Persamaan 3.33.

$$\log W_t = \frac{G_t}{\beta} + \log \rho \dots\dots\dots(3.32)$$

$$\log W_t = \frac{\log \frac{4,2 - Pt}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{0,081 (L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19} L_2^{3,23}}} + 5,93 + 9,36 \log (SN+1) - 4,79 \log (L_1 + L_2) +$$

Dengan :

W_t = Jumlah pengulangan beban dengan beban L_1 (kips) dan jenis sumbu tertentu
 SN = Indeks tebal perkerasan untuk satuan tebal tiap lapisnya dalam inci. Jika akan disetarakan dengan ITP nya SNI, maka nilai SN ini harus dikalikan 2,54.

P_t = Indeks permukaan diakhir periode perencanaan

L_1 = Besarnya beban sumbu dalam satuan kips (= ribu pound)

L_2 = Notasi untuk membedakan jenis sumbu, besarnya adalah 1 untuk sumbu tunggal dan 2 untuk sumbu tandem

2. Faktor Ekivalensi Beban Tunggal

Jika beban lalu lintas merupakan beban standar sumbu tunggal roda ganda, maka $L_1 = 18$, dan $L_2 = 1$. Sehingga jumlah total lalu lintasnya adalah $W_t = W_{18}$. Untuk beban non-standar sumbu tunggal roda ganda sebesar x kips, maka $L_1 = x$, dan $L_2 = 1$. Total beban lalu lintasnya adalah $W_t = W_x$. Faktor ekivalensi beban, E_x , dapat ditulis sebagai berikut

$$E_x = \frac{W_{18}}{W_x} \dots \dots \dots (3.34)$$

Atau jika dinyatakan dalam nilai logaritma nya adalah seperti Persamaan 3.35.

$$\text{Log } E_x = \text{log } W_{18} - \text{log } W_x \dots \dots \dots (3.35)$$

Sehingga besarnya faktor ekivalensi beban dapat dihitung dengan persamaan

$$E_x = (10)^{\left[4,79 [\text{log}(x+1) - \text{log}(18+1)] + \frac{\log_{4,2-1,5} \frac{4,2-P_t}{4,2-1,5}}{0,4 + \frac{0,081 (18+1)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19}}} - \frac{\log_{4,2-1,5} \frac{4,2-P_t}{4,2-1,5}}{0,4 + \frac{0,081 (x+1)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19}}} \right]} \dots (3.36)$$

3. Faktor Ekivalensi Beban Sumbu Ganda

Dengan prosedur yang sama seperti untuk sumbu tunggal, perhitungan faktor ekivalensi beban sumbu ganda dapat dilakukan. Perbedaan dengan prosedur

sumbu ganda, sehingga setiap variable L_2 pada persamaan 3.30 menjadi $L_2=2$.
Sehingga faktor ekivalensi bebann sumbu ganda dapat dihitung sebagai berikut :

$$E_x = (10)^{\left[4,79 [\log(x+1) - \log(18+1)] - 4,33 \log 2 + \frac{\log_{4,2-1,5} \frac{4,2-Pt}{4,2-1,5}}{0,4 + \frac{0,081 (18+1)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19}}} \cdot \frac{\log_{4,2-1,5} \frac{4,2-Pt}{4,2-1,5}}{0,4 + \frac{0,081 (x+2)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19}}} \right]} \dots\dots\dots(3.37)$$

Hal ini mengakibatkan adanya distorsi faktor ekivalensi beban yang dihitung. Besarnya kesalahan yang terjadi tergantung pada nilai Pt dan besarnya persen kesalahan tergantung dari besarnya beban sumbu.

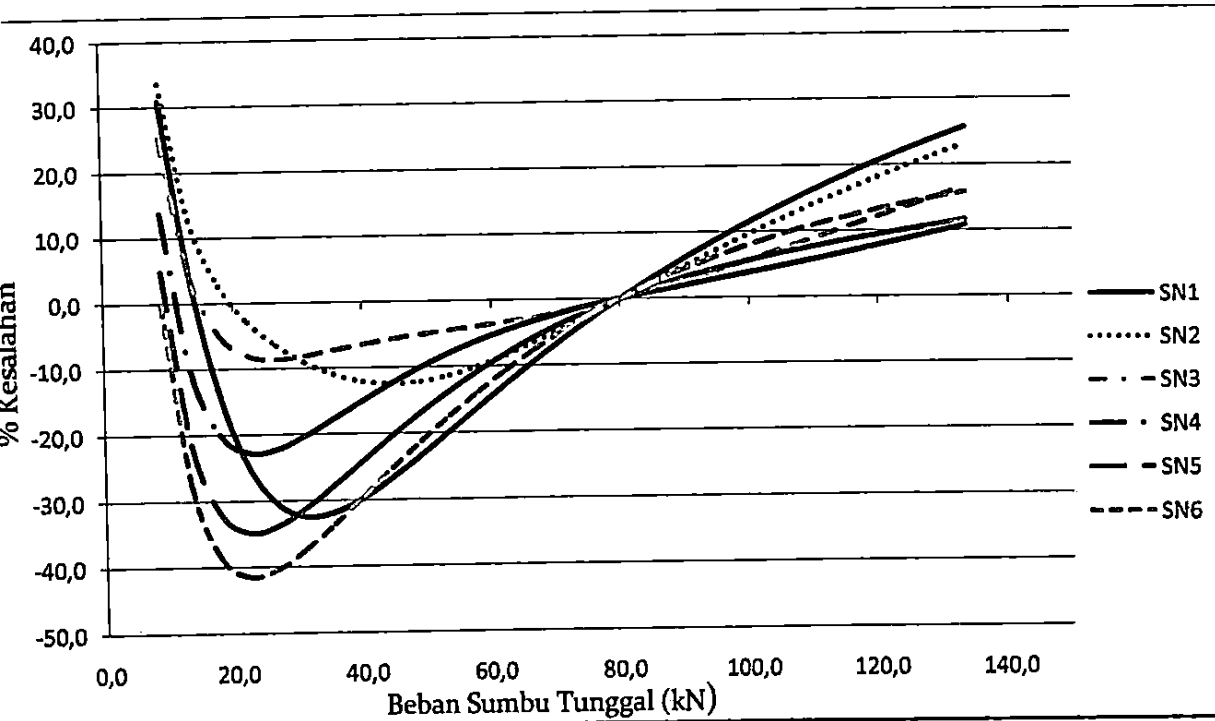
Untuk beban yang lebih kecil dari 17 kN untuk sumbu tunggal, perhitungan berdasarkan SNI menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan AASHTO, sedangkan untuk beban yang lebih dari 19 kN perhitungan AASHTO lebih besar dibanding dengan SNI. Pada sumbu ganda, beban yang kurang dari 35 kN mengasilkan nilai yang lebih besar pada perhitungan SNI, sedangkan untuk beban yang lebih dari 36 kN menghasilkan nilai yang lebih besar pada perhitungan AASHTO. Hal tersebut merupakan suatu kejanggalan sebagai parameter perhitungan dalam menentukan tebal perkerasan suatu jalan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.13 untuk sumbu tunggal dan Tabel 3.14 untuk sumbu ganda.

Berdasarkan komentar Aloysius Tjan maka analisis untuk faktor ekivalensi beban AASHTO akan digunakan sebagai koreksi terhadap metode lendutan Bina

Tabel 3.13. Faktor Ekuivalensi Beban Sumbu Tunggal dengan $P_t = 2$

kip	KN	SN						SNI	Kesalahan (%)					
		1	2	3	4	5	6		SN=1	SN=2	SN=3	SN=4	SN=5	SN=6
8,9	2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	30,9	33,5	25,3	13,8	4,9	-0,1
13,4	3	0,0008	0,0009	0,0008	0,0007	0,0006	0,0006	0,0008	4,0	12,7	4,0	-10,3	-21,5	-27,8
17,8	4	0,0021	0,0025	0,0023	0,0020	0,0018	0,0018	0,0024	-13,8	2,7	-4,9	-20,0	-32,0	-38,7
22,3	5	0,0048	0,0058	0,0055	0,0049	0,0044	0,0042	0,0060	-24,9	-2,9	-8,1	-22,7	-34,7	-41,5
26,7	6	0,0095	0,0116	0,0114	0,0101	0,0092	0,0088	0,0123	-30,5	-6,5	-8,6	-22,2	-33,8	-40,4
31,2	7	0,0173	0,0210	0,0211	0,0190	0,0174	0,0167	0,0229	-32,4	-9,1	-8,2	-20,2	-31,1	-37,3
35,6	8	0,0296	0,0352	0,0364	0,0332	0,0306	0,0292	0,0390	-31,7	-11,0	-7,3	-17,7	-27,7	-33,5
40,1	9	0,0482	0,0558	0,0587	0,0544	0,0504	0,0483	0,0625	-29,6	-12,1	-6,5	-15,0	-24,0	-29,3
44,5	10	0,0752	0,0847	0,0901	0,0847	0,0791	0,0761	0,0953	-26,7	-12,5	-5,7	-12,4	-20,4	-25,2
49,0	11	0,1131	0,1243	0,1327	0,1267	0,1193	0,1151	0,1395	-23,3	-12,2	-5,1	-10,1	-16,9	-21,2
53,4	12	0,1649	0,1774	0,1890	0,1829	0,1737	0,1682	0,1975	-19,8	-11,3	-4,5	-8,0	-13,7	-17,4
57,9	13	0,2341	0,2473	0,2617	0,2563	0,2456	0,2389	0,2721	-16,2	-10,0	-4,0	-6,1	-10,8	-13,9
62,3	14	0,3247	0,3378	0,3540	0,3500	0,3385	0,3309	0,3660	-12,7	-8,3	-3,4	-4,6	-8,1	-10,6
66,8	15	0,4412	0,4531	0,4696	0,4673	0,4561	0,4482	0,4823	-9,3	-6,4	-2,7	-3,2	-5,7	-7,6
71,2	16	0,5887	0,5982	0,6126	0,6120	0,6026	0,5955	0,6243	-6,1	-4,4	-1,9	-2,0	-3,6	-4,8
75,7	17	0,7728	0,7784	0,7876	0,7881	0,7824	0,7777	0,7956	-3,0	-2,2	-1,0	-1,0	-1,7	-2,3
80,1	18	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
84,6	19	1,2772	1,2695	1,2555	1,2525	1,2604	1,2680	1,2414	2,8	2,2	1,1	0,9	1,5	2,1
89,0	20	1,6121	1,5944	1,5607	1,5510	1,5689	1,5877	1,5242	5,5	4,4	2,3	1,7	2,8	4,0
93,5	21	2,0132	1,9826	1,9226	1,9012	1,9309	1,9654	1,8526	8,0	6,6	3,6	2,6	4,1	5,7
97,9	22	2,4895	2,4429	2,3490	2,3097	2,3523	2,4076	2,2315	10,4	8,7	5,0	3,4	5,1	7,3
102,4	23	3,0510	2,9849	2,8482	2,7833	2,8396	2,9211	2,6658	12,6	10,7	6,4	4,2	6,1	8,7
106,8	24	3,7084	3,6187	3,4295	3,3298	3,3995	3,5134	3,1605	14,8	12,7	7,8	5,1	7,0	10,0
111,3	25	4,4734	4,3556	4,1026	3,9574	4,0391	4,1918	3,7211	16,8	14,6	9,3	6,0	7,9	11,2

83	5,2073	4,8782	4,6750	4,7663	4,9643	4,3531	18,8	16,4	10,8	6,9	8,7	12,3
64	6,1867	5,7674	5,4923	5,5894	5,8393	5,0625	20,6	18,2	12,2	7,8	9,4	13,3
19	7,3073	6,7825	6,4196	6,5174	6,8255	5,8552	22,4	19,9	13,7	8,8	10,2	14,2
01	8,5836	7,9363	7,4680	7,5599	7,9320	6,7375	24,0	21,5	15,1	9,8	10,9	15,1
770	10,0310	9,2426	8,6493	8,7272	9,1685	7,7160	25,6	23,1	16,5	10,8	11,6	15,8



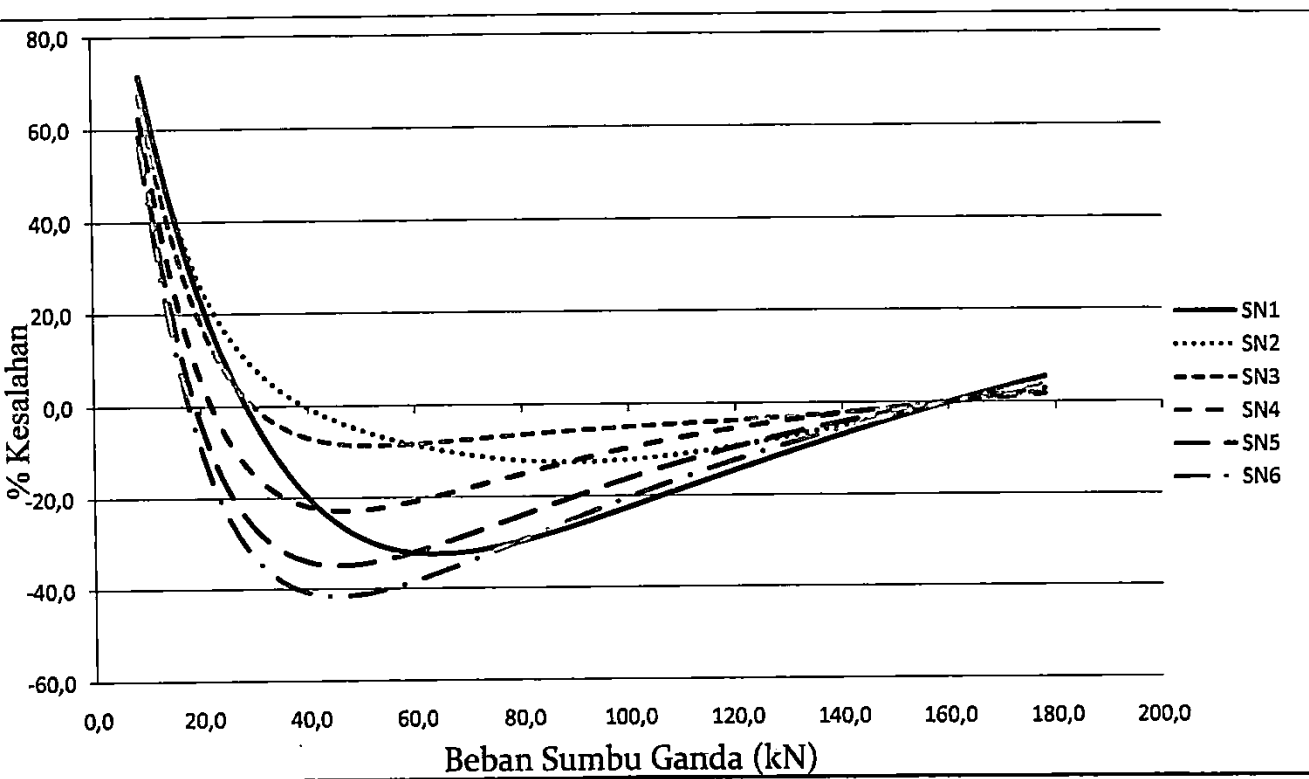
3.8. Kesalahan Faktor Ekivalensi Beban Sumbu Tunggal Metode SNI dibandingkan AASHTO Untuk $Pt = 2,0$

Tabel 3.14. Faktor Ekuivalensi Beban Sumbu Ganda dengan $Pt = 2$

kip	KN	SN						SNI	Kesalahan (%)					
		1	2	3	4	5	6		SN=1	SN=2	SN=3	SN=4	SN=5	SN=6
8,9	2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	71,56	70,94	67,40	62,39	58,51	56,36
13,4	3	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	49,35	49,30	43,29	34,60	27,87	24,13
17,8	4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	30,89	32,75	25,07	13,66	4,80	-0,14
22,3	5	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	16,04	20,96	12,42	-0,79	-11,10	-16,84
26,7	6	0,0011	0,0012	0,0011	0,0010	0,0009	0,0008	0,0011	3,96	12,70	3,98	-10,33	-21,55	-27,82
31,2	7	0,0019	0,0021	0,0019	0,0017	0,0015	0,0015	0,0020	-5,90	6,87	-1,50	-16,38	-28,15	-34,72
35,6	8	0,0029	0,0034	0,0032	0,0028	0,0025	0,0024	0,0034	-13,88	2,66	-4,93	-20,01	-32,04	-38,78
40,1	9	0,0045	0,0053	0,0050	0,0044	0,0040	0,0038	0,0054	-20,16	-0,49	-6,99	-21,97	-34,07	-40,86
44,5	10	0,0066	0,0080	0,0076	0,0067	0,0061	0,0058	0,0082	-24,91	-2,94	-8,10	-22,77	-34,79	-41,57
49,0	11	0,0093	0,0114	0,0110	0,0098	0,0089	0,0085	0,0120	-28,32	-4,93	-8,59	-22,78	-34,62	-41,32
53,4	12	0,0130	0,0159	0,0156	0,0139	0,0127	0,0121	0,0170	-30,58	-6,58	-8,68	-22,26	-33,83	-40,41
57,9	13	0,0177	0,0217	0,0216	0,0193	0,0176	0,0168	0,0234	-31,89	-7,99	-8,51	-21,38	-32,63	-39,05
62,3	14	0,0238	0,0288	0,0291	0,0262	0,0240	0,0229	0,0315	-32,43	-9,19	-8,19	-20,28	-31,14	-37,38
66,8	15	0,0313	0,0376	0,0385	0,0348	0,0320	0,0306	0,0415	-32,35	-10,20	-7,79	-19,03	-29,47	-35,52
71,2	16	0,0407	0,0484	0,0500	0,0456	0,0420	0,0402	0,0537	-31,79	-11,02	-7,36	-17,71	-27,70	-33,53
75,7	17	0,0523	0,0613	0,0640	0,0588	0,0544	0,0520	0,0684	-30,87	-11,67	-6,92	-16,36	-25,88	-31,47
80,1	18	0,0663	0,0767	0,0807	0,0748	0,0693	0,0665	0,0860	-29,67	-12,13	-6,51	-15,03	-24,04	-29,39
84,6	19	0,0832	0,0950	0,1006	0,0939	0,0874	0,0839	0,1068	-28,27	-12,41	-6,12	-13,72	-22,21	-27,30
89,0	20	0,1034	0,1165	0,1239	0,1166	0,1089	0,1047	0,1311	-26,72	-12,51	-5,76	-12,45	-20,41	-25,24
93,5	21	0,1274	0,1417	0,1511	0,1432	0,1343	0,1293	0,1593	-25,07	-12,45	-5,42	-11,24	-18,65	-23,21
97,9	22	0,1556	0,1710	0,1826	0,1743	0,1641	0,1583	0,1919	-23,35	-12,23	-5,12	-10,10	-16,95	-21,24

lanjutan Tabel 3.14

102,4	23	0,1886	0,2049	0,2187	0,2103	0,1988	0,1921	0,2293	-21,59	-11,86	-4,83	-9,02	-15,32	-19,31
106,8	24	0,2269	0,2441	0,2600	0,2517	0,2390	0,2314	0,2718	-19,81	-11,37	-4,55	-8,01	-13,75	-17,45
111,3	25	0,2712	0,2889	0,3069	0,2989	0,2851	0,2767	0,3200	-18,02	-10,76	-4,27	-7,06	-12,24	-15,65
115,7	26	0,3221	0,3402	0,3600	0,3526	0,3378	0,3286	0,3744	-16,24	-10,05	-3,99	-6,18	-10,81	-13,92
120,2	27	0,3803	0,3985	0,4198	0,4132	0,3978	0,3879	0,4354	-14,47	-9,25	-3,70	-5,36	-9,45	-12,25
124,6	28	0,4467	0,4646	0,4870	0,4814	0,4656	0,4551	0,5035	-12,73	-8,38	-3,40	-4,60	-8,15	-10,64
129,1	29	0,5219	0,5392	0,5622	0,5577	0,5419	0,5311	0,5794	-11,02	-7,45	-3,07	-3,89	-6,93	-9,10
133,5	30	0,6069	0,6232	0,6460	0,6428	0,6274	0,6166	0,6636	-9,34	-6,47	-2,72	-3,23	-5,77	-7,63
138,0	31	0,7025	0,7175	0,7392	0,7373	0,7228	0,7123	0,7566	-7,70	-5,45	-2,35	-2,62	-4,67	-6,22
142,4	32	0,8097	0,8228	0,8426	0,8418	0,8289	0,8192	0,8590	-6,09	-4,40	-1,95	-2,04	-3,63	-4,86
146,9	33	0,9295	0,9402	0,9571	0,9572	0,9465	0,9380	0,9715	-4,52	-3,33	-1,51	-1,50	-2,65	-3,57
151,3	34	1,0630	1,0708	1,0834	1,0841	1,0762	1,0698	1,0948	-2,99	-2,24	-1,05	-0,99	-1,73	-2,34
155,8	35	1,2113	1,2155	1,2226	1,2233	1,2189	1,2153	1,2294	-1,49	-1,14	-0,55	-0,50	-0,85	-1,16
160,2	36	1,3755	1,3755	1,3755	1,3755	1,3755	1,3755	1,3760	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
164,7	37	1,5570	1,5520	1,5433	1,5418	1,5469	1,5515	1,5354	1,39	1,07	0,52	0,42	0,74	1,04
169,1	38	1,7569	1,7463	1,7270	1,7229	1,7338	1,7442	1,7082	2,77	2,18	1,09	0,85	1,47	2,06
173,6	39	1,9766	1,9595	1,9278	1,9198	1,9372	1,9547	1,8953	4,11	3,28	1,69	1,28	2,16	3,04
178,0	40	2,2175	2,1931	2,1468	2,1335	2,1580	2,1840	2,0972	5,43	4,37	2,31	1,70	2,82	3,97



Gambar 3.9. Kesalahan Faktor Ekivalensi Beban Sumbu Ganda Metode SNI dibandingkan AASHTO Untuk $P_t = 2,0$