

KAJIAN METODA PERENCANAAN TEBAL LAPIS TAMBAH PERKERASAN LENTUR

Nyoman Suaryana, Yohanes Ronny Priyo Anggodo
Puslitbang Jalan dan Jembatan, Jl. A.H. Nasution 264 Bandung

RINGKASAN

Perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metoda lendutan yang umum dipakai saat ini oleh Perencanaan dan Pengawasan Jalan dan Jembatan (P2JJ) di seluruh Indonesia adalah program RDS (Roadworks Design System). Metoda yang digunakan berdasarkan metoda perencanaan yang pertama dikembangkan oleh DR Ray Millard, 1983 dan DR Paterson, 1985. Sesuai dengan perkembangan teknologi yang ada, metoda perencanaan lapis tambah perkerasan lentur dengan metoda lendutan juga berkembang, antara lain adalah metoda yang dikembangkan oleh AUSTROADS, 1992 atau Asphalt Institute MS-17, 2000. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan pada tahun 2005 juga telah menyelesaikan pembuatan Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Landutan, No.: Pd T-05-2005-B.

Dari beberapa metoda yang disebutkan di atas, terlihat adanya perbedaan hasil tebal lapis tambah rencana yang sangat berarti. Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil tersebut antara lain, perbedaan metoda perhitungan beban lalu-lintas, metoda pengelompokan lendutan yang seragam dan faktor lingkungan.

Disamping hal tersebut, mengingat secara prinsip tebal lapis tambah harus memenuhi dua kriteria keruntuhan yaitu kriteria deformasi dan kriteria lelah (fatig) maka kedua kriteria ini harus menjadi dasar dari perhitungan tebal lapis tambah, seperti yang ditunjukkan pada prosedur perencanaan Austroads.

Kata kunci : Perbedaan yang significant, Volume lalu-lintas, Keseragaman lendutan, Faktor lingkungan.

SUMMARY

RDS (Roadworks Design System) is a method to Design overlay flexible pavement and currently used by the Design and Supervision of Road and Bridge Construction (P2JJ). The method adopt the design method which was firstly developed by DR Ray Millard, 1983 and DR Paterson, 1985. In recent years, many methods have been developed, such as AUSTROADS, 1992, Asphalt Institute MS-17, 2000 and Pusat Litbang Jalan dan Jembatan in 2005 also has released a guide to the structural design of road pavement based on deflection, Pd T-05-2005-B, 2005.

From some methods mentioned above, it was found that a significant difference in the result of the overlay thickness designed. Some factors influencing are deferences in the traffic loading calculation, method in obtaining a representative deflection (grouping an uniform deflection) and environmental factors.

Principally, overlay thickness should meet two fatigue criteria i.e. permanent deformation and fatigue performance. Both criteria should be taken into account in calculating overlay thickness as shown in Austroads design procedure.

Key words : Significant differences, Traffic volume, Deflection uniformity, Environmental factors.

PENDAHULUAN

Perencanaan tebal perkerasan merupakan salah satu tahapan dalam pekerjaan jalan dengan sasaran utama adalah memberikan pelayanan yang optimal kepada para masyarakat pengguna jalan (*stake holders*). Perencanaan yang tidak tepat dapat menyebabkan jalan cepat rusak (*under design*) atau dapat menyebabkan pelaksanaan konstruksi tidak ekonomis (*over design*). Akurasi perencanaan juga sangat berpengaruh pada 'manajemen pemeliharaan jalan', terutama berkaitan dengan rencana konstruksi bertahap (*staging construction*) sebagai konsekuensi dari ketersediaan dana untuk jalan yang terbatas.

Mengingat pentingnya akurasi perencanaan tersebut maka sudah sepatutnya kajian mengenai metoda perencanaan dilakukan dengan seksama. Seperti telah diketahui saat ini perencanaan tebal perkerasan dengan metoda lendutan yang banyak digunakan adalah RDS (*Roadworks Design System*). Metoda yang digunakan berdasarkan metoda perencanaan yang pertama kali

dikembangkan oleh DR. Ray Millard, 1983 dan DR. Paterson, 1985.

Sejalan dengan perkembangan teknologi yang ada, metoda perencanaan lapis tambah perkerasan lentur dengan metoda lendutan juga berkembang, antara lain adalah metoda yang dikembangkan oleh AUSTROADS, 1992 atau Asphalt Institute MS-17, 2000. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan pada tahun 2005 juga telah menyelesaikan pembuatan Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Landutan, No.: Pd T-05-2005-B.

Dengan banyaknya metoda perencanaan tebal perkerasan tersebut maka perlu dilakukan kajian yang seksama mengenai keuntungan dan kerugian atau akurasi dari masing-masing metoda tersebut sesuai dengan kondisi Indonesia. Dalam kasus ini sebagai ilustrasi hasil perhitungan dari masing-masing metoda perencanaan tersebut digunakan data lendutan pada ruas jalan Kampung Baru- Pomalaa, Kendari Sulawesi Tenggara.

STUDI PUSTAKA

Metoda RDS (Roadworks Design System)

Metoda ini dikembangkan pertama kali oleh DR. Ray Millard, Deputy Director dari TRRL sebagai bagian dari misi Bank Dunia di Indonesia pada tahun 1983. Selanjutnya dikembangkan dengan lebih rinci oleh DR. Paterson (Bank Dunia) pada tahun 1985. Hasil pengembangan ini hasilnya mendekati hasil dari persamaan The Highway Development Management III yang dikembangkan berdasar kajian di Brazil. Rumus umum yang digunakan untuk campuran beraspal dengan kadar aspal efektif 6,8 % adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{2.303 \log D - 0,408(1 - \log L)}{0,08 - 0,013 \log L}$$

Dimana :

- t = tebal lapisan tambah (cm)
- D = lendutan rencana (mm)
- L = Total lalu lintas selama umur rencana (juta, equivalent 8,2 t)

Dalam perkembangan lebih lanjut, rumus tersebut di atas telah mengalami beberapa penyesuaian, sampai pada versi terakhir, yaitu RDS 5.01.

Metoda Asphalt Institute MS-17, 2000

ESAL (*Equivalent Standard Axle Load*) yang digunakan dalam analisa lalu lintas didasarkan pada ekivalensi terhadap beban standar 8,2 ton (80 kN), dan dihitung dengan rumus :

ESAL = jumlah kendaraan pada masing-masing golongan x *truck factor*

di mana :

Truck factor : ditentukan berdasarkan data yang dikumpulkan dari 600 lokasi di Amerika Serikat tahun 1985 dan dikelompokkan sesuai dengan nilai SN (*Structural Number*) dan Pt (*terminal serviceability*).

Untuk menentukan besarnya lendutan yang mewakili suatu sub ruas/seksi jalan, digunakan Rumus sebagai berikut :

$$RRD = (d_R + 2 s)$$

dimana :

RRD = lendutan yang mewakili suatu seksi jalan

d_R = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan yang telah dikoreksi dengan faktor temperatur = $d \times f$

s = deviasi standar

Selanjutnya tebal pelapisan ulang didasarkan dari data lanjutan yang mewakili (RRD).

Metoda Pd T-05-2005-B

Analisis lalu lintas yang digunakan mengacu pada AUSTROADS, 1992, yaitu angka ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus :

$$\text{Angkaekivalen}(E) = \left[\frac{\text{beban sumbu(ton)}}{ES(\text{ton})} \right]^4$$

dimana :

- ES = Standar Ekuivalen
- nilai ES = 5,40 untuk beban sumbu STRT (Sumbu Tunggal Roda Tunggal)
- nilai ES = 8,16 untuk beban sumbu STRG (Sumbu Tunggal Roda Ganda)
- nilai ES = 13,76 untuk beban sumbu SDRG (Sumbu Dual Roda Ganda)
- nilai ES = 18,45 untuk beban sumbu STRRG (Sumbu Triple Roda Ganda)

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 berikut.

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

dimana :

$$d_B = \text{lendutan balik (mm)}$$

- d_1 = lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran
- d_3 = lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter
- Ft = faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C
- Ca = faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)
- FK_{B-BB} = faktor koreksi beban uji *Benkelman Beam (BB)*

Cara pengukuran lendutan balik mengacu pada SNI 03-2416-1991 (Metoda Pengujian Lendutan Perkerasan Lentur Dengan Alat Benkelmen Beam).

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. Untuk menentukan faktor keseragaman lendutan adalah dengan menggunakan Rumus sebagai berikut:

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% < FK \text{ ijin}$$

dimana :

- FK = faktor keseragaman
- $FK \text{ ijin}$ = 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
- s = deviasi standar / simpangan baku
- d = nilai lendutan balik (d_B) atau lendutan langsung (d_L) tiap titik uji
- n_s = jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

Untuk menentukan besarnya lendutan yang mewakili suatu sub ruas/seksi jalan, digunakan Rumus sebagai berikut :

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

di mana :

D_{wakil} = lendutan yang mewakili suatu seksi jalan

d_R = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan, dengan F_k yang diijinkan.

s = deviasi standar

Selanjutnya untuk menghitung tebal perkerasan yang diperlukan, terlebih dahulu dihitung D rencana, dengan rumus sebagai berikut :

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

dimana :

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

CESA = akumulasi ekivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA

Tebal lapis tambah/overlay (H_o) dihitung dengan rumus :

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

di mana :

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

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

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

METODOLOGI

Dalam kajian ini, terlebih dahulu dikumpulkan data aktual mengenai kondisi perkerasan pada ruas jalan Kp. Baru-Pomalaa, Kendari Sulawesi Tenggara dan volume lalu-lintas yang menggunakan ruas jalan tersebut. Kondisi struktural jalan disurvei dengan menggunakan alat BB (*Benkelmen Beam*) tiap 100 meter, sementara data lalu-lintas

yang digunakan adalah data survei selama 3 hari.

Selanjutnya data aktual tersebut dihitung dan diolah dengan metoda yang berbeda, seperti diuraikan sebelumnya. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan. Selain itu dilakukan juga variasi metoda penentuan lendutan wakil untuk suatu seksi jalan.

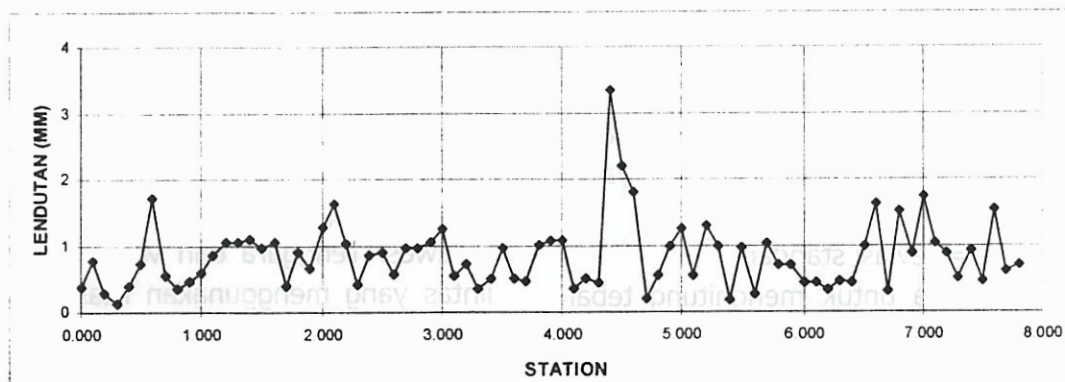
HASIL KAJIAN

Data Lalu-lintas dan Data lendutan BB

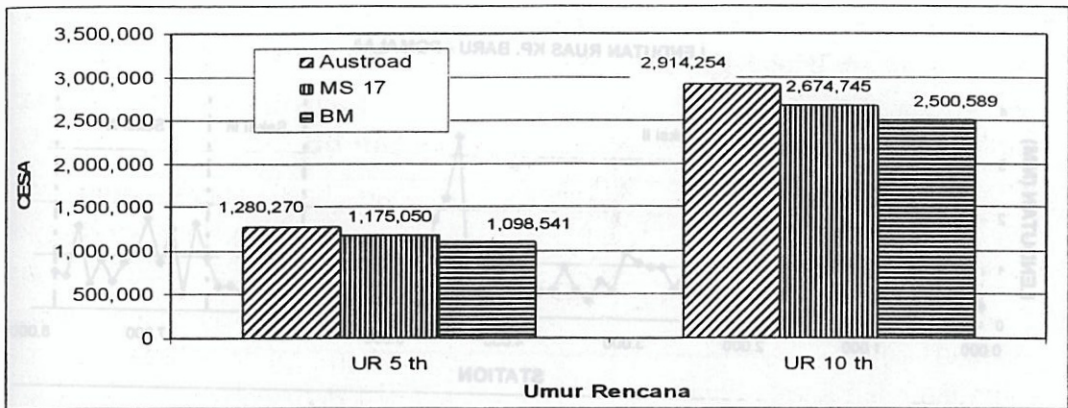
Dari hasil survei yang telah dilakukan, berikut ini diperlihatkan data lalu-lintas dan data yang lendutan yang diperoleh seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1 di bawah ini.

Tabel 1.
Data Lalu-lintas Ruas Kampung Baru – Pomalaa (Sultra)

No.	Jenis Kendaraan	ARAH (Hari Ke-1)		ARAH (Hari Ke-2)		ARAH (Hari Ke-3)		LHR
		Kp. Baru	Pomalaa	Kp. Baru	Pomalaa	Kp. Baru	Pomalaa	
1	Sepeda Motor	4,488	3,854	4,634	3,445	3,587	4,353	8,120
2	Sedan, Jeep, Station Wagon	394	434	474	448	424	351	842
3	Oplet, Pick up, Combi, Mini Bus	439	413	437	440	416	430	858
4	Pick up, Mikro Truk, Mob. Hantaran	267	334	358	329	325	306	640
5	Bus Kecil	16	11	14	7	10	15	24
6	Bus Besar	3	2	4	3	3	3	6
7	Truk Berat 2 Sumbu	120	115	124	108	109	116	231



Gambar 1. Data Lendutan BB



Gambar 2. Lalu Lintas Rencana

Analisis Lalu-lintas

Pada prinsipnya analisis lalu-lintas dilakukan untuk menganalisis beban yang harus didukung oleh struktur perkerasan selama umur layan jalan. Ketiga metoda perhitungan tebal lapis tambah diatas menggunakan beban standar yang sama yaitu 8,2 ton, namun demikian dari perhitungan ternyata ada perbedaan jumlah kumulatif beban lalu lintas. Asumsi yang digunakan dalam simulasi ini adalah pertumbuhan lalu lintas 5%, serta umur rencana 5 tahun dan 10 tahun. Perbandingan hasil perhitungan kumulatif beban lalu lintas (CESA) disajikan pada Gambar 2 diatas.

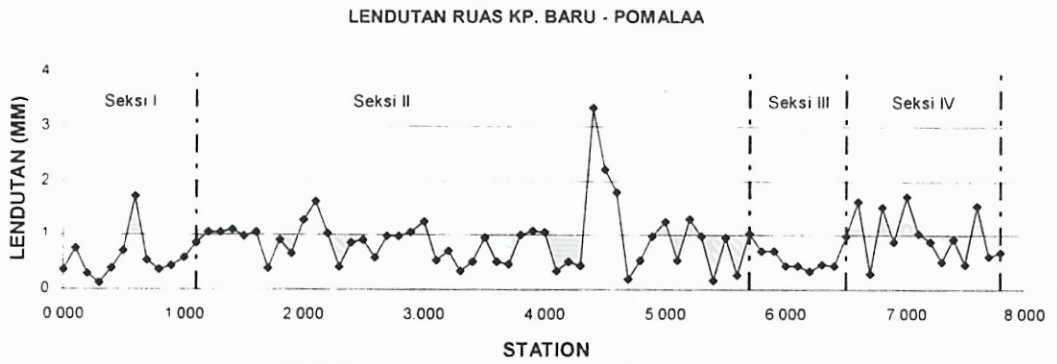
Dari Gambar 2 terlihat bahwa metoda Austroad memberikan hasil yang paling besar dan Metoda Bina Marga memberikan hasil yang terendah. Perbedaan antara Metoda Austroad dan Bina Marga adalah sekitar 17% sedangkan perbedaan antara metoda MS 17 dan Bina Marga sekitar 7%

baik untuk umur rencana 5 tahun maupun 10 tahun.

Analisis Data Lendutan

Untuk menentukan desain lendutan, pertama-tama harus dilakukan pembagian seksi berdasarkan keseragaman data lendutan. Secara sederhana pembagian seksi dapat dilakukan dengan menggambarkan grafik lendutan terhadap jarak kemudian menarik garis untuk pembagian seksi berdasarkan pengamatan visual.

Dari grafik tersebut selanjutnya dihitung tingkat keseragaman data. Pada Metode Pd T-5-2005-B tingkat keseragaman data lendutan dalam satu ruas dinyatakan dalam Faktor Keseragaman (FK) dimana nilainya merupakan hasil bagi antara deviasi standar dan nilai rata-rata. Pada Tabel 2 dilakukan perhitungan tebal lapis tambah berdasarkan pembagian seksi diatas.



Gambar 3. Pembagian Seksi

Tabel 2.
Perhitungan Tebal Lapis Tambah Masing-masing Seksi

PARAMETER	SEKSI I	SEKSI II	SEKSI III	SEKSI IV
Lendutan rata-rata (mm)	0,600	0,917	0,589	0,980
Deviasi Standar	0,409	0,546	0,219	0,459
Tingkat Keseragaman (%)	68	60	37	47
Dwakil (mm)	1,419	2,010	1,026	1,898
CESA (ESA)	2.914.254	2.914.254	2.914.254	2.914.254
Drencana (mm)	0,716	0,716	0,716	0,716
Ho (Cm)	12,044	17,876	6,620	16,92
Fo	0,994	0,994	0,994	0,994
Ht (Cm)	12,0	17,8	6,6	16,8
FK TBL	0,85	0,85	0,85	0,85
Ht koreksi tebal (Cm)	10,2	15,1	5,6	14,3

Dari Tabel 2 diatas terlihat bahwa nilai tingkat keseragaman masih lebih besar dari 30%, hal ini kemungkinan karena pada titik-titik tertentu nilai lendutan melonjak tinggi akibat adanya kerusakan setempat, untuk itu data-data yang melonjak tersebut

dikeluarkan dari perhitungan, namun di lapangan lokasi dimana data melonjak harus mendapat perhatian khusus dengan melakukan perbaikan setempat sebelum melakukan pelapisan tambah.

Tabel 3.
Perhitungan Tebal Lapis Tambah Masing-masing Seksi

PARAMETER	SEKSI I	SEKSI II	SEKSI III	SEKSI IV
Lendutan rata-rata (mm)	0,527	0,693	0,534	0,714
Deviasi Standar	0,155	0,207	0,152	0,190
Tingkat Keseragaman (%)	30	30	29	27
Dwakil (mm)	0,837	1,107	0,838	1,095
CESA (ESA)	2.914.254	2.914.254	2.914.254	2.914.254
Drencana (mm)	0,716	0,716	0,716	0,716
Ho (Cm)	3,213	7,886	3,222	7,70
Fo	0,994	0,994	0,994	0,994
Ht (Cm)	3,2	7,8	3,2	7,7
FK TBL	0,85	0,85	0,85	0,85
Ht koreksi tebal (Cm)	2,7	6,7	2,7	6,5

Pada Tabel 3 terlihat bahwa tingkat keseragaman menjadi lebih baik yaitu lebih kecil dari 30%.

Perhitungan Tebal Lapis Tambah

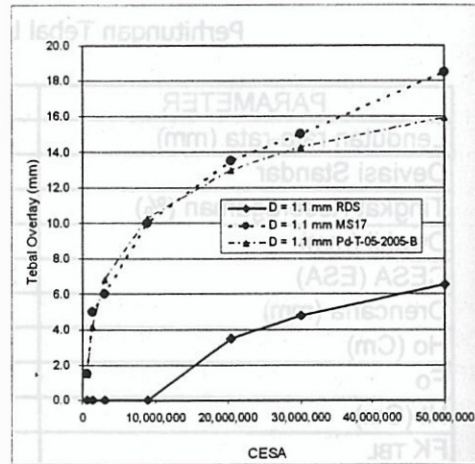
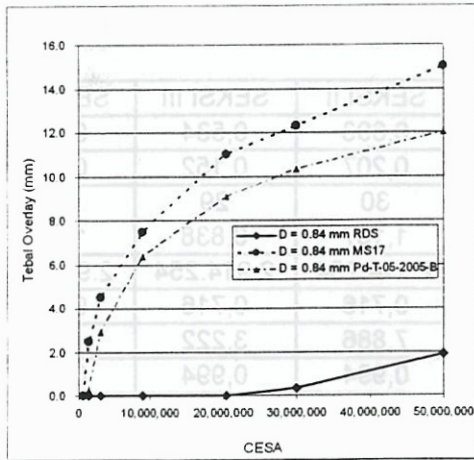
Pada Tabel 4 disajikan tebal lapis tambah hasil perhitungan dari ketiga metoda yaitu RDS, MS 17 dan Pd T-5-2005-B. Perhitungan tebal pelapisan ulang dilakukan hanya untuk sub ruas 1 dan sub ruas 2 dengan nilai lendutan wakil berturut-

turut 0,84 mm dan 1,10 mm. Sub ruas 3 dan 4 tidak dihitung tebal lapis tambah karena nilai lendutan wakil relatif sama dengan sub ruas 1 dan 2 yaitu 0,84 untuk sub ruas 3 dan 1,09 untuk sub ruas 4.

Untuk melihat hubungan antara beban lalu lintas (CESA) dan tebal lapis tambah, nilai beban lalu lintas disimulasikan dari sekitar 600.000 hingga 50.000.000 sehingga *trendline*-nya terlihat.

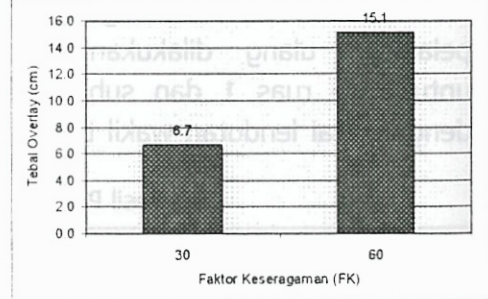
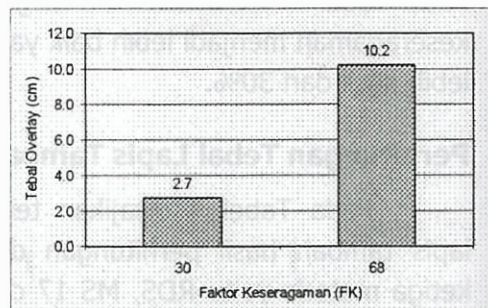
Tabel 4.
Hasil Perhitungan Tebal Lapis Tambah

CESA	Tebal Lapis Tambah dengan Metoda					
	RDS		MS 17		Pd T-05-2005-B	
	Desain Lendutan					
	0,84 mm	1,1 mm	0,84 mm	1,1 mm	0,84 mm	1,1 mm
605.057	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,5
1.364.694	0,0	0,0	2,5	5,0	0,2	4,1
1.377.279	0,0	0,0	2,5	5,0	0,3	4,2
3.106.429	0,0	0,0	4,5	6,0	2,9	6,8
6.943.661	0,0	0,0	7,5	10,0	6,4	10,3
20.358.290	0,0	3,5	11,0	13,5	9,1	13,0
30.000.000	0,3	4,8	12,3	15,0	10,3	14,2
50.000.000	1,9	6,6	15,0	18,5	12,0	15,9



Gambar 4. Kurva Hubungan Tebal Lapisan Tambah dan Beban Lalu-Lintas

Dari Tabel 4 dan Gambar 4 terlihat bahwa tebal lapisan tambah dengan menggunakan RDS nilainya cenderung lebih kecil dibandingkan dengan Metoda MS-17 atau Pd T-5-2005-B. Sedangkan Metoda Pd T-5-2005-B menunjukkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan MS-17 karena pada metoda ini koreksi tebal perkerasan dilakukan lebih komprehensif, yaitu meliputi koreksi terhadap temperatur, faktor musim, beban uji dan jenis material. Sedangkan pada MS - 17 koreksi hanya dilakukan terhadap temperatur dan faktor musim.



Gambar 5. Kurva Hubungan Tebal Lapisan Tambah dan Faktor Keseragaman

Pada Tabel 3, dilakukan simulasi perhitungan tebal lapis tambah dengan variasi nilai FK, simulasi dilakukan pada seksi I dan II. Variasi nilai FK dilakukan dengan mengeliminir beberapa data lendutan. Dari Gambar 5 terlihat bahwa pengaruh faktor keseragaman sangat besar terhadap hasil perhitungan tebal lapis tambah. Pada seksi I tebal lapis tambah bervariasi antara 2,7 – 10,2 cm untuk variasi FK 30% - 68% sedangkan pada Seksi II tebal lapis tambah bervariasi antara 6,7 – 15,1 cm untuk variasi FK antara 30% - 60%. Hal ini menunjukkan bahwa penentuan seksi yang seragam untuk desain sangat berpengaruh terhadap perhitungan tebal lapis tambah.

Kriteria deformasi dan kriteria lelah

Tebal lapis tambah secara prinsip harus memenuhi dua kriteria keruntuhan yaitu kriteria deformasi dan kriteria fatig. Sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi seperti *stiffness* campuran beraspal, beban dan waktu pembebanan, perubahan temperatur dan sifat campuran harus mendapat perhatian. Austroad 1992 menggunakan lendutan maksimum pada pusat beban (D_0) untuk memprediksi ketahanan terhadap deformasi sedangkan untuk memprediksi ketahanan terhadap fatig digunakan kurva lendutan pada pusat beban dan lendutan sejarak 200 mm dari pusat beban ($D_0 - D_{200}$).

Untuk itu pada saat pengujian lendutan informasi yang diperoleh akan lebih banyak jika lendutan yang diuji tidak hanya lendutan maksimum pada pusat beban saja tetapi juga lendutan pada titik belok kurva cekung lendutan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- a) Perhitungan beban kumulatif lalu lintas (CESA) dengan menggunakan metoda Road Design System (RDS), MS-17 dan Pd T-05-2005-B memberikan perbedaan sekitar 7% dan 17% untuk spektrum beban seperti pada Tabel 1 diatas dengan asumsi pertumbuhan lalu lintas 5%.
- b) Variasi Faktor Keseragaman 30% - 68% memberikan perbedaan tebal lapis tambah antara 2,7 – 10,2 cm pada seksi I dan variasi Faktor Keseragaman antara 30% - 60% memberikan variasi tebal lapis tambah antara 6,7 – 15,1 cm pada seksi II. Hal ini menunjukkan bahwa Faktor Keseragaman mempunyai pengaruh yang signifikan pada perhitungan tebal lapis tambah.
- c) Perhitungan tebal lapis tambah dari hasil pengujian lendutan perlu dilakukan koreksi terhadap temperatur, musim dan jenis perkerasan supaya tebal lapis tambah lebih efisien sesuai kondisi material dan lapangan.

Saran

- a) Pengujian lendutan untuk perhitungan tebal lapis tambah sebaiknya tidak hanya dilakukan pada pusat beban saja tetapi juga pada titik belok kurva cekung lendutan sehingga informasi mengenai kekuatan struktur perkerasan yang diperoleh dapat lebih banyak.
- b) Mengingat secara prinsip tebal lapis tambah harus memenuhi dua kriteria keruntuhan yaitu kriteria deformasi dan kriteria lelah maka kedua kriteria ini harus menjadi dasar dari perhitungan tebal lapis tambah.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1993, *Guide for Design of Pavement Structures*, AASHTO, Washington DC, USA.
- AUSTROADS, 1992, *Pavement Design: A Guide to the Structural Design of Road Pavement*. Austroads, Sydney, Australia
- ASPHALT INSTITUTE, 1990, *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation. Manual Series No. 17 (MS-17)*. The Asphalt Institute, Kentucky, USA
- DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM, 2005, *Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Landutan*, No.: Pd T-05-2005-B, Dep. Pu, Jakarta