MODIFIKASI METODA AASHTO'93 DALAM DISAIN TEBAL LAPISAN TAMBAHAN UNTUK MODEL STRUKTUR SISTEM 3-LAPISAN

Djunaedi Kosasih[1]

ABSTRAK

Salah satu metoda analitis dalam disain tebal lapisan tambahan untuk struktur perkerasan lentur yang telah baku adalah metoda AASHTO'93 yang menggunakan modulus perkerasan hasil dari proses *back calculation* terhadap data cekung lendutan. Akan tetapi, model struktur sistem 2-lapisan yang digunakan pada umumnya tidak dapat menghasilkan cekung lendutan teoritis yang cocok dengan target data cekung lendutan. Croney (1977) memberi rekomendasi untuk memodelkan struktur perkerasan minimal sebagai sistem 3-lapisan agar dapat memastikan penerapan metoda analitis yang efektif. Makalah ini mengusulkan metoda AASHTO'93 yang dimodifikasi untuk memperhitungkan modulus perkerasan yang diperoleh dari model struktur sistem 3-lapisan dengan menggunakan program BackCalc dalam disain tebal lapisan tambahan, dan secara khusus meneliti pengaruh dari variasi temperatur perkerasan dalam sehari dan variasi beban survai lendutan FWD terhadap modulus perkerasan dan terhadap disain tebal lapisan tambahan.

Kata kunci**:** disain tebal lapisan tambahan, metoda analitis, modulus perkerasan, proses *back calculation*

ABSTRACT

One of the analytical overlay thickness design methods for flexible pavement structures is the AASHTO'93 standard by employing pavement moduli obtained from back calculation process on deflection bowl data. Yet, the 2-layered system structure model used in general may result in a theoretical deflection bowl that does not closely match the target deflection bowl data. Croney (1977) suggested to model pavement structure at least as a 3-layered system structure for effective application of analytical design methods. This paper outlines a modified AASHTO'93 method for analyzing pavement moduli of 3-layered system structures resulting from program BackCalc in an overlay design process, and specifically investigates the effects of daily variation in pavement temperature and variation in FWD deflection survey load on pavement moduli and on overlay thickness design.

Key words: overlay thickness design, analytical method, pavement modulus, back calculation process

1. Pendahuluan

Berbagai standar disain struktur perkerasan lentur berdasarkan metoda analitis telah tersedia (AASHTO, 1993; the Asphalt Institute, 1983; NAASRA, 1987; Powel, et.al., 1984). Metoda analitis pada dasarnya menjanjikan proses disain struktur perkerasan yang lebih realistis dan obyektif. Sayangnya, lendutan pada permukaan perkerasan tidak dianggap sebagai moda kerusakan utama. Sehingga, aplikasi metoda analitis dalam desain tebal lapisan tambahan yang umumnya didasarkan pada data lendutan belum begitu berkembang.

Salah satu metoda analitis dalam disain tebal lapisan tambahan untuk struktur perkerasan lentur yang telah baku adalah metoda AASHTO'93 yang menggunakan modulus perkerasan hasil dari proses *back calculation* terhadap data cekung lendutan. Akan tetapi, model struktur sistem 2-lapisan yang digunakan pada umumnya tidak dapat menghasilkan cekung lendutan teoritis yang cocok dengan target data cekung lendutan. Croney (1977) memberi rekomendasi untuk memodelkan struktur perkerasan minimal sebagai sistem 3-lapisan agar dapat memastikan penerapan metoda analitis yang efektif. Bahkan, Rada, et.al. (1992) mensyaratkan proses *back calculation* untuk dilakukan dengan minimal model struktur sistem 5-lapisan.

Studi terdahulu (Kosasih, 2007) menunjukkan bahwa model struktur sistem 2-lapisan yang hanya memperhitungkan total tebal lapisan beraspal sebagai lapisan perkerasan dapat menghasilkan disain tebal lapisan tambahan yang konsisten dengan model disain tebal lapisan tambahan menurut NAASRA (1987). Temuan ini mengarah pada usulan untuk melakukan modifikasi pada rumus dasar AASHTO'93 sedemikian rupa sehingga dapat diaplikasikan pada model struktur sistem 3-lapisan.

[1]*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan (FTSL), Institut Teknologi Bandung dan Anggota Kelompok Keahlian (KK) Transportasi FTSL-ITB.*

Makalah ini menguraikan rumus modifikasi metoda AASHTO'93 dalam disain tebal lapisan tambahan untuk model struktur sistem 3-lapisan dan mengaplikasikannya pada data lendutan FWD yang khusus disurvai untuk meneliti pengaruh dari variasi temperatur perkerasan dalam sehari dan variasi beban survai lendutan terhadap modulus perkerasan dan terhadap disain tebal lapisan tambahan.

2. Teori Disain Tebal Lapisan Tambahan

2.1. Modifikasi metoda AASHTO'93

Rumus dasar AASHTO'93 untuk mendisain tebal lapisan tambahan pada struktur perkerasan lentur dengan cara *non-destructive deflection test* (NDT) disediakan khususnya untuk model struktur sistem 2-lapisan. Aplikasi rumus dasar tersebut untuk model struktur sistem 3-lapisan memerlukan modifikasi. Ada empat komponen dari rumus dasar tersebut yang perlu dimodifikasi, yaitu:

(a) Rumus perhitungan modulus lapisan agregat yang disamakan dengan rumus dasar AASHTO'93 untuk perhitungan modulus tanah dasar. Rumus ini merupakan rumus pendekatan yang dapat diselesaikan secara manual dan hanya dapat digunakan untuk model struktur sistem 2-lapisan atau 3-lapisan saja. Sedangkan, untuk model struktur sistem 4-lapisan, proses *back calculation* sudah harus dilakukan dengan bantuan program komputer.

$$M_R = \frac{0.24P}{d_r r} \times 1{,}000{,}000 \qquad \ldots (1)$$

dimana: M_r = modulus tanah dasar = modulus lapisan agregat untuk setiap lendutan *offset* (MPa)
P = beban survai lendutan (kN)
d_r = lendutan pada jarak *offset*, r, dari pusat beban (mikron)
r = jarak *offset* (mm); data lendutan FWD umumnya diukur pada 6 titik *offset*.

(b) Rumus dasar AASHTO'93 untuk perhitungan modulus lapisan perkerasan yang dapat digunakan secara langsung untuk model struktur sistem 3-lapisan, tetapi dengan sedikit modifikasi bahwa hanya total tebal lapisan beraspal saja yang diperhitungkan.

$$d_o = 1.5\,pa\left\{\frac{1}{M_R\sqrt{1+\left(\frac{D}{a}\sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}}\right)^2}} + \frac{\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{D}{a}\right)^2}}\right]}{E_p}\right\} \qquad \ldots (2)$$

dimana: d_o = lendutan maksimum di titik pusat beban (mikron)
p = tekanan yang bekerja pada pelat beban (KPa)
a = jari-jari pelat beban (mm)
D = total tebal lapisan beraspal di atas lapisan agregat (mm)
E_P = modulus lapisan beraspal untuk setiap modulus lapisan agregat dari *pers (1)* (MPa)

(c) Rumus perhitungan koreksi data cekung lendutan pada suhu standar 20^{o}C yang ditetapkan secara proporsional terhadap selisih nilai lendutan ekstrim ($d_o - d_6$) pangkat 3. Rumus ini menghasilkan lendutan maksimum, d_o, yang terkoreksi paling besar, yaitu sebesar ($d_o - f_t * d_o$); dan, menghasilkan lendutan *offset* terjauh, d_6, tak terkoreksi. Dengan demikian, modulus tanah dasar yang kemudian dihasilkan dari proses *back calculation* diharapkan tidak akan terkoreksi secara signifikan.

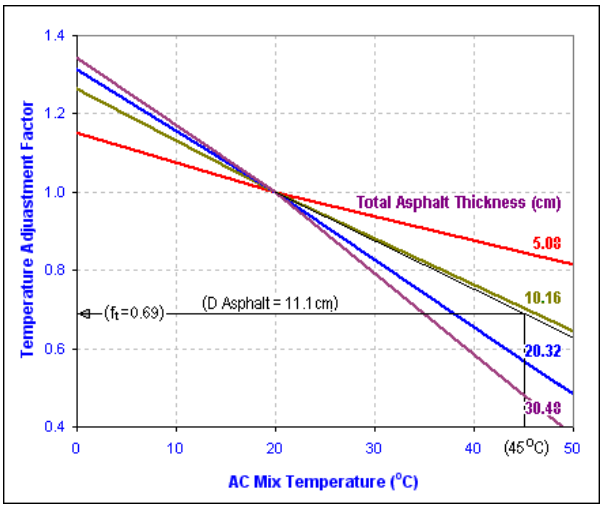
$$d'_i = d_i - (d_o - f_t * d_o) * \left(\frac{(d_i - d_6)}{(d_o - d_6)}\right)^3 \qquad \ldots (3)$$

dimana: i = 0 ÷ 6, tujuh titik pada data cekung lendutan
d'_i = data cekung lendutan terkoreksi (mikron)
d_i = data cekung lendutan (mikron)
si = jarak *offset* (mm)
f_t = faktor koreksi temperatur (dari Gambar 1)

(d) Rumus perhitungan Index Tebal Perkerasan efektif yang dianggap bersifat aditif. Di sini, Nilai E_P dari setiap lapisan beraspal perlu dikoreksi terhadap suhu standar 20°C, melalui *pers (3)* di atas. Setelah analisis diketahui, bahwa rumus ini berlaku hanya untuk beban survai lendutan, P = 40 KN.

$$ITP_{eff} = 0.023633 * \sum_i \left(D \sqrt[3]{E_p} \right)_i \quad \ldots (4)$$

dimana: i = masing-masing lapisan perkerasan di atas tanah dasar
ITP_{eff} = Index Tebal Perkerasan efektif (cm)
D = tebal masing-masing lapisan perkerasan (cm)
E_P = modulus masing-masing lapisan perkerasan (MPa)

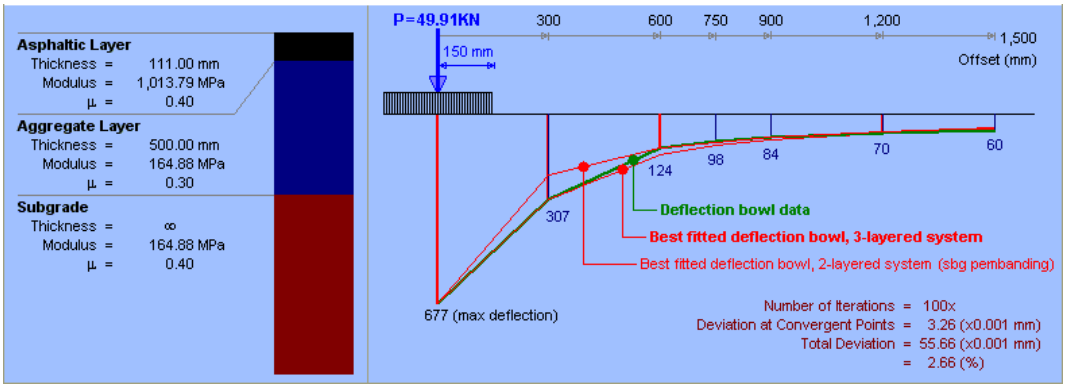


Gambar 1:

Faktor koreksi temperatur untuk struktur perkerasan dengan lapisan pondasi agregat, menurut AASHTO (1993)

2.2. Program BackCalc

Penggunaan program komputer pada dasarnya diperlukan untuk melakukan proses *back calculation*. Program BackCalc (Kosasih, 2006) yang merupakan pengembangan lanjut dari program *DAMA* (the Asphalt Institute, 1983[1]) mampu melakukan proses *back calculation* untuk menghasilkan modulus perkerasan dari data cekung lendutan pada struktur perkerasan yang dimodelkan sampai dengan sistem 4-lapisan. Proses *back calculation* dilakukan dengan kriteria *best fit*, dimana cekung lendutan teoritis yang dihitung menghasilkan total deviasi yang terkecil terhadap data cekung lendutan yang dianalisis. Sedangkan, nilai lendutan maksimum selalu dijadikan target dalam menghitung cekung lendutan teoritis (Kosasih, et.al., 2003).



Gambar 2: Nilai modulus perkerasan dan kurva cekung lendutan teoritis tipikal hasil dari program BackCalc untuk model struktur sistem 3-lapisan

Gambar 2 memperlihatkan nilai modulus perkerasan dan kurva cekung lendutan teoritis tipikal yang dihasilkan dari proses *back calculation* untuk struktur perkerasan yang dimodelkan sebagai sistem 3-

lapisan; dan sebagai pembanding, diperlihatkan juga kurva cekung lendutan teoritis untuk model struktur sistem 2-lapisan. Nilai total deviasi yang dihasilkan antara cekung lendutan teoritis dan data cekung lendutan adalah 2.66%. Sedangkan, nilai total deviasi yang dihasilkan untuk model struktur sistem 2-lapisan adalah 5.49%

Jelaslah terlihat pada gambar, bahwa model struktur sistem 3-lapisan menghasilkan kurva cekung lendutan teoritis yang lebih dekat pada target data cekung lendutan daripada yang dihasilkan dari model struktur sistem 2-lapisan. Sehingga dapat diharapkan, bahwa model struktur sistem 4-lapisan akan dapat menghasilkan kurva cekung lendutan teoritis yang lebih dekat lagi.

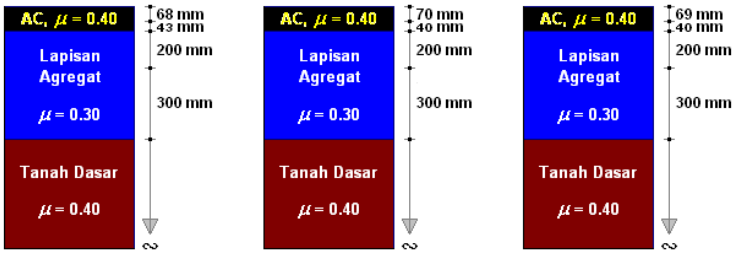
Yang juga menarik pada contoh kasus ini, adalah nilai modulus lapisan agregat yang sama besarnya dengan nilai modulus tanah dasar, yaitu sebesar 164.88 MPa. Informasi ini dapat mendukung ketentuan yang diusulkan pada *pers (1)*; dan, juga mendukung *pers (2)*, dimana model struktur sistem 3-lapisan dapat didekati dengan model struktur sistem 2-lapisan dengan hanya memperhitungkan total tebal lapisan beraspal saja. Namun demikian tetap perlu dicatat, bahwa nilai modulus lapisan agregat umumnya tidak harus selalu sama dengan nilai modulus tanah dasar.

Untuk model struktur sistem 3-lapisan, program BackCalc menyediakan pilihan "*Best Mr*" yang dapat membuat nilai modulus lapisan agregat selalu sama atau lebih besar daripada nilai modulus tanah dasar. Jika pilihan ini diabaikan, maka nilai modulus lapisan agregat dapat lebih kecil daripada nilai modulus tanah dasar. Nilai modulus perkerasan yang tidak logis ini ternyata juga diamati oleh Rauhut, et.al. (1992). Oleh karena itu, sebelum ada penelitian lanjutan yang dapat membuktikan sebaliknya, maka untuk sementara waktu, program BackCalc sebaiknya dioperasikan dengan pilihan "*Best Mr*".

3. Presentasi Data

3.1. Data struktur perkerasan

Data struktur perkerasan di tiga titik survai lendutan FWD, yang masing-masing berjarak sekitar 500 m dan terdiri dari 5-lapisan, diperoleh dari hasil uji *coring* dan dari data disain (Sianipar, 2004). Gambar 3 berikut memperlihatkan model struktur sistem 3-lapisan untuk ketiga lokasi survai di jalan Sukarno-Hatta, Bandung, yang akan dianalisis. Lapisan beraspal yang merupakan lapisan gabungan antara lapisan AC dan ATB di ketiga lokasi survai pada dasarnya memiliki tebal yang cukup seragam.



(a) Lokasi A (b) Lokasi B (c) Lokasi C

Gambar 3: Model struktur sistem 3-lapisan dari masing-masing lokasi survai yang akan dianalisis

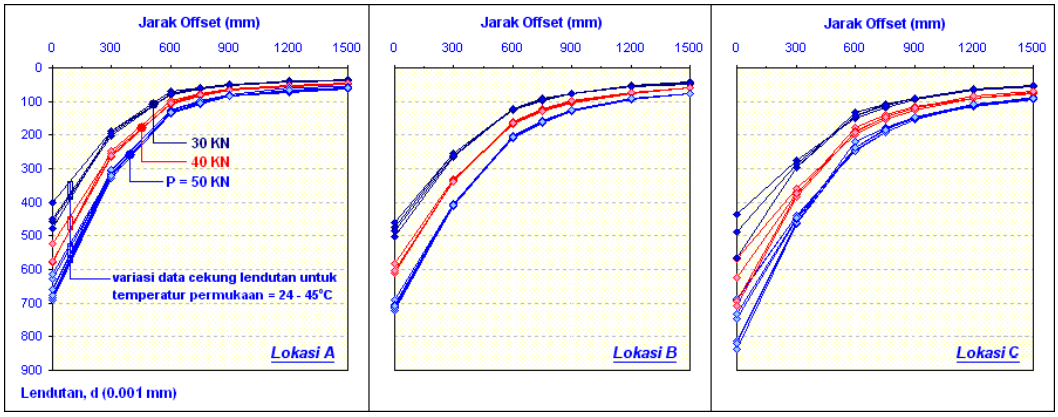
3.2. Data lendutan

Data lendutan FWD di tiga lokasi survai diukur 4 kali dalam sehari mulai dari jam 06:00 pagi dengan selang waktu 6 jam. Pada setiap pengukuran dilakukan sekali bacaan data lendutan untuk beban survai 30 dan 40 KN, dan dua kali bacaan untuk beban survai 50 KN untuk meneliti faktor repetisi data (Sianipar, 2004). Salah satu kurva cekung lendutan tipikal telah diperlihatkan secara rinci pada Gambar 2 di atas.

Gambar 4 memperlihatkan hasil plot dari keseluruhan data cekung lendutan untuk masing-masing lokasi survai A, B dan C. Pengaruh dari variasi temperatur permukaan perkerasan terhadap data cekung lendutan ternyata signifikan hanya di sekitar lendutan maksimum. Informasi ini tentunya dapat mendukung usulan rumus perhitungan koreksi data cekung lendutan yang diberikan pada *pers (3)*.

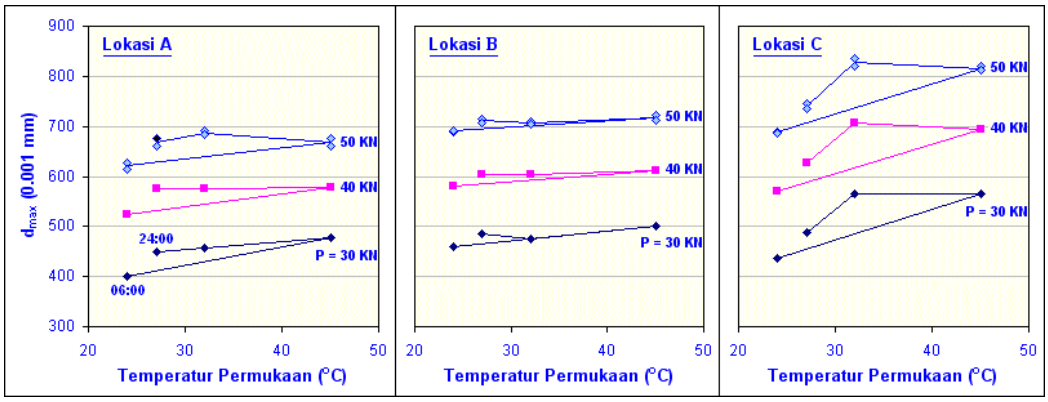
Pengaruh terbesar dari variasi temperatur permukaan perkerasan terhadap data cekung lendutan terlihat terjadi di lokasi C. Sedangkan di lokasi B, pengaruh tersebut sepertinya tidak begitu besar. Pentingnya mengukur data temperatur secara teliti akan dijelaskan lebih lanjut di bawah.

Pengaruh dari beban survai terhadap data lendutan juga diperlihatkan pada gambar. Seperti yang diharapkan, makin besar beban survai, maka akan makin besar pula lendutan yang terjadi. Namun, berbeda dengan pengaruh dari temperatur perkerasan, beban survai mempengaruhi data lendutan tidak hanya pada lendutan maksimum tetapi juga pada lendutan *offset* secara keseluruhan.



Gambar 4: Data cekung lendutan di tiga lokasi survai pada temperatur dan beban yang bervariasi

Gambar 5 memperlihatkan hasil plot dari keseluruhan data lendutan maksimum untuk masing-masing lokasi survai. Secara umum, data lendutan maksimum di lokasi A lebih kecil daripada yang di lokasi B; dan, data lendutan maksimum di lokasi B lebih kecil daripada yang di lokasi C. Hal ini mengindikasikan bahwa lokasi A memiliki kondisi struktur perkerasan yang relatif lebih baik. Variasi data lendutan maksimum pada satu ruas jalan tertentu seperti ini sudah umum diketahui, dan biasanya dalam proses disain tebal lapisan tambahan, variasi data lendutan maksimum tersebut diwakili oleh satu nilai lendutan wakil. Sebaliknya, dengan pendekatan analitis, setiap data lendutan dianalisis untuk menghitung tebal lapisan tambahan, yang selanjutnya dari hasil perhitungan tebal lapisan tambahan tersebut dan dengan pendekatan statistik ditentukan disain tebal lapisan tambahan yang mewakili.



Gambar 5: Data lendutan maksimum di tiga lokasi survai pada temperatur dan beban yang bervariasi

Juga terlihat pada gambar, bahwa pengaruh dari temperatur permukaan perkerasan terhadap data lendutan maksimum membentuk *loop*. Pada temperatur permukaan perkerasan yang sama, nilai lendutan maksimum yang diukur di pagi hari umumnya lebih kecil daripada yang diukur di sore hari. Ini sangat mungkin terjadi karena gradasi temperatur yang ada di dalam lapisan beraspal (Irwin, 1992).

Anomali sepertinya terjadi pada data lendutan maksimum di lokasi B yang diukur pada suhu 32^{o}C. Sayangnya, anomali ini belum dapat dijelaskan, kecuali diketahui bahwa pada saat survai, temperatur

permukaan perkerasan hanya diukur di lokasi A. Data temperatur permukaan perkerasan di lokasi B dan C dianggap sama dengan yang diukur di lokasi A. Oleh karena itu, pentingnya data temperatur perkerasan dalam proses analisis data lendutan mengharuskan pengukur untuk selalu melakukan pengukuran temperatur secara teliti di setiap titik pengukuran lendutan (SNI 03-2416-1991).

3.3. Data beban lalu lintas

Data beban lalu lintas di lokasi survai yang akan digunakan dalam analisis juga merupakan data sekunder yang besarnya 6.558 juta sumbu standar untuk masa layan rencana selama 5 tahun (Puslitbang Prasarana Transportasi, 2003).

4. Analisis Data Dan Diskusi

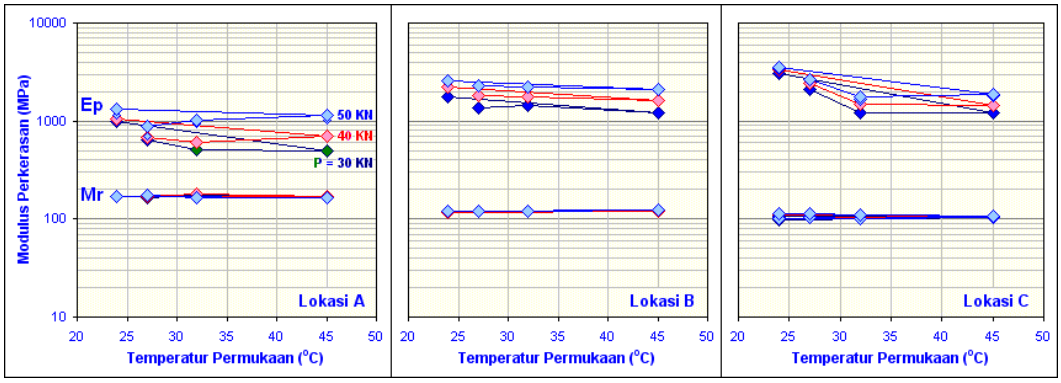
4.1. Analisis modulus perkerasan

Modulus perkerasan yang dihitung balik dari data lendutan dengan menggunakan model struktur sistem 3-lapisan diperlihatkan pada Tabel 1. Modulus tanah dasar (M_r) dan modulus lapisan beraspal (E_P) diplotkan pada Gambar 6. Dari tabel terlihat, bahwa modulus lapisan agregat (E_2) umumnya sama dengan modulus tanah dasar, kecuali di lokasi C dan pada beban survai lendutan (P) yang berat. Informasi ini sejalan dengan hasil uji laboratorium (Yoder, 1975) bahwa karakteristik lapisan agregat dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi.

Tabel 1: Modulus perkerasan hasil dari program BackCalc untuk model struktur sistem 3-lapisan

	LOKASI A				*LOKASI B*				*LOKASI C*			
Tp	M_r (MPa), untuk variasi beban survai:				M_r (MPa), untuk variasi beban survai:				M_r (MPa), untuk variasi beban survai:			
(°C)	P= 30 KN	P= 40 KN	P= 50 KN		P= 30 KN	P= 40 KN	P= 50 KN		P= 30 KN	P= 40 KN	P= 50 KN	
24	167.90	171.30	173.23	170.35	118.40	118.09	119.20	118.74	98.62	100.08	102.90	101.97
45	167.33	169.13	164.88	164.54	120.00	121.35	121.58	121.94	103.04	107.17	106.18	105.25
32	175.27	179.01	165.68	162.91	120.16	120.77	121.88	121.63	103.28	103.08	102.01	101.95
27	166.17	172.33	183.98	176.94	118.94	119.68	119.80	119.43	104.67	105.41	105.67	103.18
	E_2 (MPa), untuk variasi beban survai:				E_2 (MPa), untuk variasi beban survai:				E_2 (MPa), untuk variasi beban survai:			
24	167.90	171.30	173.23	170.35	118.40	118.09	119.20	118.74	**108.42**	**110.68**	**112.19**	**112.41**
45	167.33	169.13	164.88	164.54	120.00	121.35	121.58	121.94	103.04	107.17	**107.48**	**108.05**
32	175.27	179.01	165.68	162.91	120.16	120.77	121.88	121.63	103.28	**104.28**	**110.42**	**111.38**
27	166.17	172.33	183.98	176.94	118.94	119.68	119.80	119.43	104.67	105.41	**107.77**	**112.22**
	E_P (MPa), untuk variasi beban survai:				E_P (MPa), untuk variasi beban survai:				E_P (MPa), untuk variasi beban survai:			
24	993.26	1,046.71	1,146.08	1,322.62	1,777.10	2,206.93	2,525.38	2,542.74	3,073.34	3,299.41	3,474.10	3,580.40
45	500.20	709.90	1,013.79	1,144.90	1,218.15	1,624.39	2,034.47	2,106.96	1,211.18	1,440.50	1,837.42	1,890.36
32	515.90	597.39	924.53	1,027.84	1,426.97	1,761.59	2,168.49	2,256.26	1,211.41	1,501.43	1,678.95	1,777.79
27	643.64	687.33	691.46	873.36	1,364.26	1,796.69	2,170.05	2,274.28	2,093.55	2,394.98	2,637.13	2,676.97

Seperti yang diharapkan, Gambar 6 memperlihatkan modulus tanah dasar yang relatif konstan yang tidak terpengaruh baik oleh temperatur permukaan perkerasan maupun oleh beban survai lendutan. Modulus



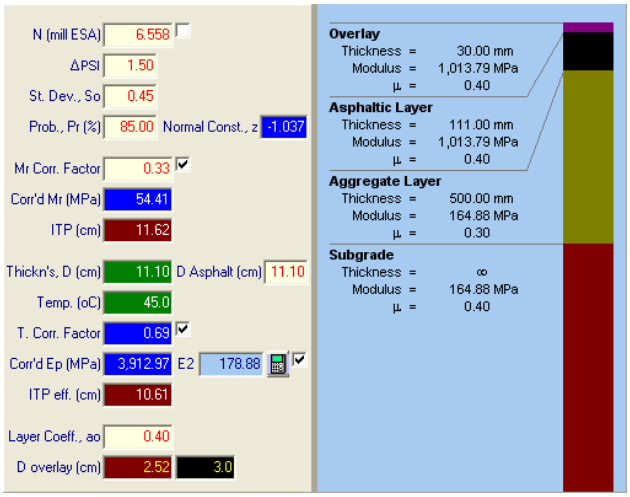
Gambar 6: Modulus tanah dasar dan modulus lapisan beraspal hasil dari program BackCalc untuk model struktur sistem 3-lapisan

tanah dasar mungkin hanya akan terpengaruh oleh musim khususnya jika kadar air tanah dasar berubah. Berdasarkan hasil temuan ini, koreksi temperatur perkerasan selayaknya hanya diaplikasikan terhadap modulus lapisan beraspal dan modulus lapisan agregat saja, dan tidak terhadap modulus tanah dasar.

Sebaliknya, modulus lapisan beraspal dipengaruhi baik oleh temperatur permukaan perkerasan maupun oleh beban survai lendutan. Modulus lapisan beraspal yang dipengaruhi oleh tegangan merupakan temuan yang cukup penting karena bertentangan dengan metoda analitis yang umum digunakan (the Asphalt Institute, 1983[1]; Brown, et.al., 1984) yang masih mengasumsikan sifat bahan lapisan beraspal yang elastis linear.

4.2. Penerapan rumus modifikasi metoda AASHTO'93

Modulus perkerasan yang diperoleh dari proses *back calculation* untuk model struktur sistem 3-lapisan kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan disain tebal lapisan tambahan berdasarkan rumus modifikasi metoda AASHTO'93. Untuk jelasnya, proses disain akan diperlihatkan dengan menggunakan data modulus perkerasan yang disajikan pada Gambar 2 dan data disain pada Gambar 7. Penurunan nilai kondisi struktur perkerasan (*ΔPSI*) ditetapkan 1.50 sesuai dengan lokasi studi yang diklasifikasikan sebagai jalan arteri primer. Nilai deviasi standar, S_o = 0.45, nilai probabilitas, *Pr* = 85% dan faktor koreksi nilai M_r, *c* = 0.33 merupakan asumsi disain. Sedangkan, nilai koefisien tebal lapisan perkerasan relatif (a_o), yang menurut metoda AASHTO'93 merupakan fungsi dari nilai modulus lapisan beraspal, untuk sementara masih diasumsikan konstan sebesar 0.40 sesuai dengan pendekatan empiris yang berlaku (SNI 03-1732-1989).



Gambar 7:

Data dan hasil disain tebal lapisan tambahan dari program BackCalc

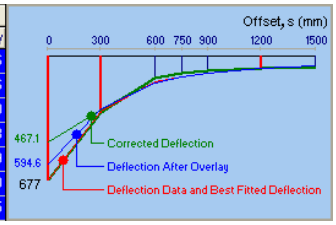
Faktor koreksi temperatur, f_t = 0.69 dapat diperoleh dari Gambar 1 untuk temperatur permukaan perkerasan sebesar 45°C. Faktor koreksi temperatur sebenarnya harus ditentukan berdasarkan temperatur perkerasan rata-rata. Pengaruh dari temperatur permukaan perkerasan terhadap data lendutan sebagai fungsi *loop* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5 masih perlu studi lanjutan.

Nilai f_t kemudian digunakan untuk mengoreksi data cekung lendutan melalui *pers (3)*, yang dilanjutkan dengan proses *back calculation* untuk menghitung modulus lapisan beraspal dan modulus lapisan agregat terkoreksi. Kurva cekung lendutan terkoreksi diperlihatkan pada Gambar 8. Nilai modulus lapisan beraspal terkoreksi meningkat menjadi 3912.97 MPa dan nilai modulus lapisan agregat terkoreksi juga meningkat menjadi 178.88 MPa. Sedangkan, nilai modulus tanah dasar tetap, yaitu 164.88 MPa.

Gambar 8:

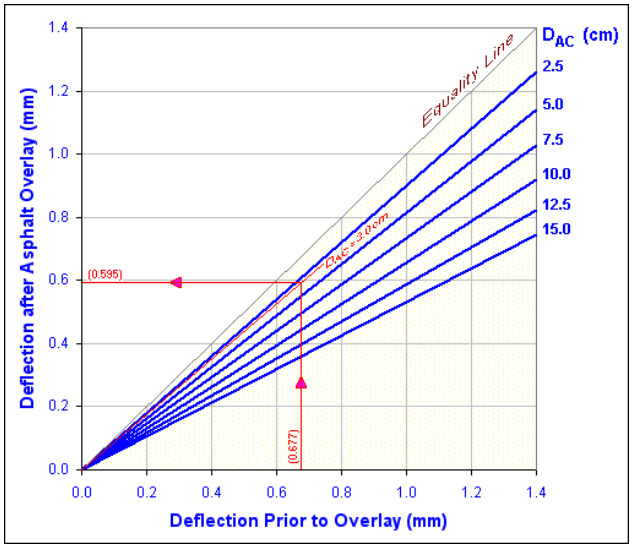
Perkiraan kurva cekung lendutan terkoreksi dan setelah konstruksi lapisan tambahan

	Deflection (x0.001 mm)			
s (mm)	Data	Corrected	Best Fitted	After Overlay
0	677.0	467.1	677.0	594.6
300	307.0	293.5	303.8	294.6
600	124.0	123.8	145.4	148.0
750	98.0	98.0	114.3	115.8
900	84.0	84.0	94.2	94.9
1200	70.0	70.0	70.0	70.0
1500	60.0	60.0	55.5	55.5



Akhirnya, dengan menggunakan nilai modulus lapisan perkerasan terkoreksi dan melalui *pers (4)* dapat diperoleh nilai ITP_{eff} sebesar 10.61 cm. Dengan rumus dasar AASHTO lainnya kemudian diperoleh nilai *ITP* disain = 11.62 cm dan disain tebal lapisan tambahan, D_{AC} = 3.0 cm.

Kurva cekung lendutan setelah konstruksi lapisan tambahan juga diperlihatkan pada Gambar 8. Penurunan nilai lendutan maksimum (d_{max}) dari 0.677 mm menjadi 0.595 mm untuk disain tebal lapisan tambahan, D_{AC} = 3.0 cm ternyata konsisten dengan model disain tebal lapisan tambahan yang disyaratkan dalam standar NAASRA (1987), berikut ini:



Gambar 9:

Konsistensi hasil disain dengan model disain lapisan tambahan menurut NAASRA (1987)

4.3. Analisis disain tebal lapisan tambahan

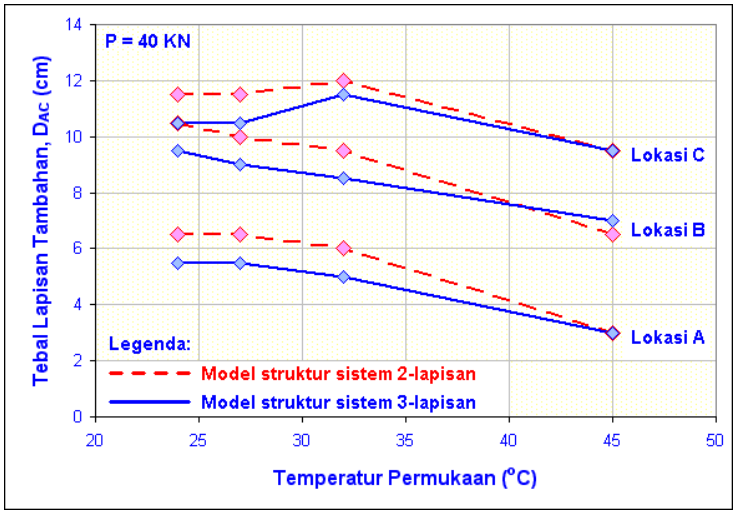
Disain tebal lapisan tambahan pada struktur perkerasan yang dimodelkan sebagai sistem 3-lapisan yang dihitung pada berbagai temperatur permukaan perkerasan dan beban survai lendutan untuk masing-masing lokasi survai diperlihatkan pada Tabel 2. Secara umum, disain tebal lapisan tambahan yang dihasilkan sebanding dengan data lendutan maksimum. Lokasi A yang memiliki nilai lendutan maksimum terkecil memerlukan disain tebal lapisan tambahan yang paling tipis; dan, lokasi C yang memiliki nilai lendutan maksimum terbesar memerlukan disain tebal lapisan tambahan yang paling tebal.

Disain tebal lapisan tambahan terlihat cenderung mengecil dengan beban survai lendutan yang makin besar. Hal ini sejalan dengan sifat bahan lapisan beraspal yang visco-elastis non-linear. Studi lanjutan di lapangan untuk memverifikasi hasil disain tebal lapisan tambahan ini sangat diperlukan. Untuk sementara, rumus perhitungan nilai ITP_{eff} pada *pers (4)* mungkin dapat dianggap berlaku hanya untuk nilai *P* = 40 KN yang sebanding dengan beban sumbu standar 8 ton. Jika survai lendutan FWD dilakukan

Tabel 2: Hasil disain tebal lapisan tambahan untuk model struktur sistem 3-lapisan

Lokasi	Waktu Survai	Temperatur Permukaan (°C)	Tebal Lapisan Tambahan, D_o (cm), untuk variasi beban survai:		
			P ≅ 30 KN	P ≅ 40 KN	P ≅ 50 KN
A	06:00	24	5.5	5.5	5.0
	12:00	45	4.0	3.0	**3.0**
	18:00	32	5.5	5.0	5.0
	24:00	27	6.5	5.5	5.0
B	06:00	24	10.0	9.5	9.0
	12:00	45	8.0	7.0	6.0
	18:00	32	9.0	8.5	8.0
	24:00	27	10.5	9.0	9.0
C	06:00	24	11.0	10.5	9.5
	12:00	45	11.0	9.5	9.0
	18:00	32	12.0	11.5	11.0
	24:00	27	11.0	10.5	10.0

dengan beban survai yang lebih besar, maka konstanta 0.023633 pada *pers (4)* perlu diperbesar untuk dapat menghasilkan disain tebal lapisan tambahan yang sama. Sebaliknya, jika survai dilakukan dengan beban yang lebih kecil, maka konstanta tersebut perlu diperkecil. Akan tetapi, survai lendutan FWD dengan beban survai selain P = 40 KN seharusnya hanya dilakukan untuk maksud khusus, seperti misalnya untuk mempelajari sifat bahan lapisan beraspal yang visco-elastis non-linear, dsb.



Gambar 10: Hasil disain tebal lapisan tambahan untuk masing-masing lokasi survai

Hasil perhitungan disain tebal lapisan tambahan untuk model struktur sistem 3-lapisan pada beban survai lendutan, P = 40 KN diplotkan pada Gambar 10. Sebagai pembanding, pada gambar juga diperlihatkan hasil perhitungan disain tebal lapisan tambahan untuk model struktur sistem 2-lapisan. Secara umum, di sekitar suhu standar 20°C, disain tebal lapisan tambahan yang diperoleh dari model struktur sistem 3-lapisan lebih tipis daripada yang diperoleh dari model struktur sistem 2-lapisan. Verifikasi lapangan dan/atau kajian lanjutan untuk membandingkannya dengan standar disain lain, seperti misalnya metoda Asphalt Institute (1983[2]), masih perlu dilakukan untuk menguji keandalan dari hasil disain ini..

Temperatur perkerasan seharusnya tidak berpengaruh pada disain tebal lapisan tambahan. Namun untuk kedua model struktur yang dianalisis, pada temperatur permukaan perkerasan yang tinggi, disain tebal lapisan tambahan yang dihasilkan cenderung lebih tipis. Hal ini sekali lagi mengindikasikan perlunya dilakukan proses konversi temperatur permukaan perkerasan ke dalam temperatur perkerasan rata-rata yang memperhitungkan fungsi *loop* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

5. Kesimpulan dan Saran

1. Proses disain tebal lapisan tambahan menurut metoda AASHTO'93 dengan cara *non-destructive deflection test* dapat diaplikasikan untuk struktur perkerasan yang dimodelkan sebagai sistem 3-lapisan setelah diadakan beberapa modifikasi pada rumus dasar yang digunakan. Hasil disain tebal lapisan tambahan yang diperoleh cenderung lebih tipis. Namun demikian, verifikasi lapangan dan/atau kajian lanjutan untuk membandingkannya dengan standar disain lain disarankan untuk dilakukan.

2. Temperatur perkerasan sangat mempengaruhi modulus lapisan perkerasan yang dihasilkan dari proses *back calculation*. Faktor koreksi temperatur menurut metoda AASHTO'93 terhadap suhu standar 20°C pada dasarnya dapat digunakan untuk kondisi data lendutan di Indonesia. Yang terpenting adalah pengukuran temperatur udara dan temperatur permukaan perkerasan harus selalu diusahakan untuk dilakukan secara teliti di setiap titik survai lendutan FWD. Selain itu, penelitian lanjutan masih diperlukan untuk menurunkan rumus konversi dari temperatur permukaan perkerasan ke temperatur perkerasan rata-rata yang memperhitungkan fungsi *loop* antara data lendutan dan data temperatur permukaan perkerasan.

3. Beban survai lendutan yang makin besar akan menghasilkan modulus lapisan beraspal yang juga makin besar, tetapi cenderung akan mempertipis disain tebal lapisan tambahan. Hasil ini berkaitan dengan

sifat bahan lapisan beraspal yang visco-elastis non-linear. Oleh karena itu, untuk keperluan proses disain praktis, beban survai lendutan harus selalu ditetapkan sebesar 40 KN yang sebanding dengan beban sumbu standar.

Daftar Pustaka

AASHTO (1993), *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, Washington DC.

The Asphalt Institute (1983[1]), *Computer Program DAMA – User's Manual, CP-1*, Maryland.

The Asphalt Institute (1983[2]), *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, MS-17*, Maryland.

Brown SF dan Brunton JM, 1984. *An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavements*, Second Edition, University of Nottingham, UK.

Croney, D (1977), *The Design and Performance of Road Pavement*, halaman 345-346, HMSO, London.

Irwin, LH (1992), Report of the Discussion Group on Practical Limitations and What Can Be Done To Overcome Them, *TRR 1377*, Washington DC.

Kosasih, D dan Sudiarto, MR (2003), The Effect of Pavement Structure Modeling and Deflection Bowl Analysis on Calculated Layer Moduli", *5th Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Fukuoka.

Kosasih, D (2006), *Program BackCalc Help*, Department of Civil Engineering, ITB, Bandung.

Kosasih, D (2007), Analisis Metoda AASHTO'93 dalam Disain Tebal Lapisan Tambahan pada Struktur Perkerasan Lentur yang Tipis, sedang dipublikasikan, Bandung.

NAASRA (1987), *Pavement Design – A Guide to the Structural Design of Road Pavements*, halaman 105, New South Wales.

NSPM KIMPRASWIL (2002), Metoda Pengujian Lendutan Perkerasan Lentur dengan Alat Benkelman Beam, No. SNI 03-2416-1991, *Metoda, Spesifikasi dan Tata Cara – Bagian 4: Aspal, Asbuton dan Perkerasan Jalan*, Jakarta.

NSPM KIMPRASWIL (2002), Tata Cara Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metoda Analisis Komponen, No. SNI 03-1732-1989, *Metoda, Spesifikasi dan Tata Cara – Bagian 4: Aspal, Asbuton dan Perkerasan Jalan*, Jakarta.

Powell, WD; Potter, JF; Mayhew HC and Nunn, ME (1984), The Structural Design of Bituminous Roads, *TRRL LR-1132*, Department of Transport, Berkshire.

Puslitbang Prasarana Transportasi (2003), Pengkajian Metoda Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur Dengan Falling Weight Deflectometer (FWD) – *Laporan Akhir*, Bandung.

Rada, GR; Richter, CA and Stephanos, PJ (1992), Layer Moduli from Deflection Measurements: Software Selection and Development of SHRP's Procedure for Flexible Pavements, *TRR 1377*, Washington DC.

Rauhut, JB and Jordahl, PR (1992), Variability in Measured Deflections and Backcalculated Moduli for the Strategic Highway Research Program Southern Region, *TRR 1377*, Washington DC.

Sianipar, S (2004), Analisis Modulus Perkerasan Dengan Menggunakan FWD Akibat Pengaruh Temperatur dan Beban (Studi Kasus Jalan Soekarno-Hatta Bandung), *Tesis S2 – Transportasi*, Universitas Tarumanagara, Jakarta.

Yoder, EJ and Witczak, MW (1975), *Principles of Pavement Design*, Second Edition, Halaman 263-264, John Wiley & Sons, Inc., New York.