

Analisis Metoda AASHTO'93 dalam Disain Tebal Lapisan Tambahan pada Struktur Perkerasan Lentur yang Dimodelkan Hanya Berdasarkan Lapisan Campuran Beraspal

Djunaedi Kosasih¹⁾

Abstrak

Penerapan metoda analitis dalam disain struktur perkerasan lentur di Indonesia masih belum dibakukan. Sementara itu, metoda AASHTO'93, yang edisi sebelumnya menjadi referensi utama dari SNI'98 mengenai Metoda Analisis Komponen, telah membakukan alternatif prosedur disain tebal lapisan tambahan secara analitis berdasarkan modulus perkerasan yang dihasilkan dari proses back calculation terhadap data cekung lendutan. Salah satu ketentuan yang penting dalam prosedur disain ini adalah ketentuan tentang pemodelan struktur sistem 2-lapisan yang digunakan. Lapisan pertama adalah lapisan perkerasan yang merupakan gabungan dari semua lapisan campuran beraspal dan lapisan agregat; dan, lapisan perkerasan tersebut bertumpu pada tanah dasar sebagai lapisan kedua. Metoda AASHTO'93 menganggap nilai Poisson ratio yang sama untuk kedua lapisan, yaitu 0.50. Makalah ini menganalisis pengaruh dari variasi Poisson ratio pada modulus perkerasan dan pada disain tebal lapisan tambahan yang dihasilkan, dan juga menganalisis alternatif model sistem 2-lapisan yang memodelkan hanya lapisan campuran beraspal sebagai lapisan perkerasan yang bertumpu pada gabungan antara lapisan agregat dan tanah dasar sebagai lapisan kedua.

Kata-kata Kunci : *Disain tebal lapisan tambahan, metoda analitis, modulus perkerasan, proses back calculation.*

Abstract

The application of an analytical overlay thickness design method for flexible pavement structures in Indonesia has not been issued as standard yet. Nonetheless, the AASHTO'93 method of which its previous edition was adopted as the main reference for the SNI'98 on Metoda Analisis Komponen has included an alternative overlay design procedure based on analytical principles by using pavement moduli resulting from back calculation process on deflection data. One important element of this design procedure is to modelling a 2-layered system structure. The first layer is to represent all pavement layers above the subgrade; and, the second layer is to represent the subgrade itself. The AASHTO'93 method assumes Poisson ratio of 0.50 for both layers. This paper analyses the effect of varying Poisson ratio on the resulting back calculated pavement moduli and on the overlay thickness design, and it also analyses an alternative 2-layered system model based only on asphalt layers as the first layer on top of granular layers and the subgrade as the second layer.

Keywords : *Overlay thickness design, analytical method, pavement modulus, back calculation process.*

1. Pendahuluan

Metoda analitis dalam disain struktur perkerasan lentur telah cukup berkembang. Berbagai model karakteristik bahan perkerasan yang adaptif terhadap variasi faktor lingkungan dan variasi beban roda kendaraan, dan berbagai teori analisis struktur perkerasan, telah banyak tersedia (AASHTO, 1993; the Asphalt Institute, 1983; NAASRA, 1987; Powel, et.al., 1984). Di satu sisi, beberapa kendala masih sering dijumpai dalam mengaplikasikan metoda

analitis untuk keperluan praktis, seperti validasi model kerusakan struktur perkerasan di lapangan yang dianggap belum konsisten dengan yang diamati di laboratorium, kebutuhan data yang cenderung lebih rinci dan khusus, karakteristik bahan lapisan aspal yang visco-elastis non-linear, proses disain iteratif yang memerlukan aplikasi program komputer, dan sebagainya. Di sisi lainnya, metoda analitis menjanjikan proses disain struktur perkerasan yang lebih realistis dan obyektif.

1. Anggota KK Rekayasa Transportasi, FTSL-ITB, Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132.

Dalam disain tebal lapisan tambahan khususnya paling tidak telah ada metoda AASHTO'93 yang membakukan prosedur disain secara analitis berdasarkan modulus perkerasan yang dihasilkan dari proses *back calculation* terhadap data cekung lendutan. Untuk kemudahan, proses *back calculation* yang dilakukan hanya dibatasi pada model struktur sistem 2-lapisan saja. Sedangkan kenyataannya, struktur perkerasan lentur yang umum dibangun

setidaknya memiliki tiga lapisan dengan tiga jenis bahan yang jelas berbeda, yaitu lapisan campuran beraspal, lapisan agregat dan tanah dasar. Rada, et.al. (1992) bahkan mensyaratkan proses *back calculation* untuk dilakukan minimal dengan model struktur sistem 5-lapisan.

Oleh karena itu, salah satu ketentuan yang penting dalam metoda AASHTO'93 adalah ketentuan tentang pemodelan struktur sistem 2-lapisan yang digunakan. Lapisan pertama adalah lapisan perkerasan yang merupakan gabungan dari semua lapisan campuran beraspal dan lapisan agregat; dan, lapisan perkerasan tersebut bertumpu pada tanah dasar sebagai lapisan kedua. Keandalan dari definisi model struktur sistem 2-lapisan ini merupakan sasaran umum dari makalah.

Secara khusus, makalah ini mendiskusikan tiga lingkup bahasan, yaitu:

- Membandingkan modulus perkerasan yang diperoleh dari proses *back calculation* menurut metoda AASHTO'93 dan program BackCalc.
- Menganalisis pengaruh dari variasi nilai *Poisson ratio* pada disain tebal lapisan tambahan.
- Menganalisis pengaruh dari variasi model struktur sistem 2-lapisan terhadap disain tebal lapisan tambahan, terutama untuk struktur perkerasan lentur yang dimodelkan hanya berdasarkan lapisan campuran beraspal sebagai lapisan perkerasan yang bertumpu pada gabungan antara lapisan agregat dan tanah dasar sebagai lapisan kedua.

Sebagai kelengkapan dari makalah, pada bagian berikut diuraikan terlebih dahulu teori disain tebal lapisan tambahan menurut metoda AASHTO'93 dan proses *back calculation* yang dilakukan dengan menggunakan program BackCalc.

2. Teori Disain Tebal Lapisan Tambahan

2.1 Metoda AASHTO'93

Metoda AASHTO'93 menyediakan tiga cara untuk melakukan disain tebal lapisan tambahan pada struktur perkerasan lentur, yaitu cara survai visual dan uji material, cara *Nondestructive Deflection Test* (NDT) dan cara umur sisa. Cara kedua yang menjadi topik

kajian dari makalah ini menggunakan nilai modulus perkerasan yang diperkirakan dari proses *back calculation* terhadap data cekung lendutan. Berikut adalah tahapan disain yang dilakukan:

- Menghitung modulus tanah dasar, M_R (MPa), untuk masing-masing lendutan *offset*. Data cekung lendutan FWD pada umumnya dibentuk dari 6 lendutan *offset*.

$$M_R = \frac{0.24P}{d_{r}} \times 1,000,000 \quad (1)$$

dimana: P = beban survai (kN)
 d_r = lendutan pada jarak *offset* r dari pusat beban (mikron)
 r = jarak *offset* (mm)

- Menghitung modulus lapisan perkerasan, E_p (MPa), untuk setiap nilai M_R yang diperoleh. Terlihat dari **Persamaan (2)** bahwa ada keterkaitan antara nilai E_p dan nilai D . Makin tebal lapisan perkerasan akan menghasilkan nilai E_p yang makin kecil; dan sebaliknya, makin tipis lapisan perkerasan, maka akan makin besar nilai E_p . Di sini, Nilai d_o perlu dikoreksi terhadap suhu standar 20°C.

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

dimana: d_o = lendutan maksimum di titik pusat beban (mikron)
 p = tekanan pada pelat beban (KPa)
 a = jari-jari pelat beban (mm)
 D = total tebal lapisan perkerasan di atas tanah dasar (mm)

Nilai M_R dan nilai E_p di atas berlaku jika memenuhi persyaratan berikut:

$$a_c = \sqrt{a^2 + \left(D \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2} \quad \text{dan} \quad r \geq 0.7 a_c \quad (2a)$$

- Menghitung Index Tebal Perkerasan efektif, ITP_{eff} (cm), yang merupakan fungsi dari nilai E_p dan nilai D .

$$ITP_{eff} = 0.023633 D \sqrt[3]{E_p} \quad (3)$$

- Menghitung Index Tebal Perkerasan disain, ITP (cm), yang diperlukan untuk memikul total pengulangan beban sumbu standar yang diperkirakan akan lewat selama masa layan rencana lapisan tambahan.

$$\log_{10}(N) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(ITP + 2.54) - 3.9892 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{138071.5853}{(ITP + 2.54)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(0.33 M_R) - 3.0566 \quad (4)$$

dimana:

- N = perkiraan total pengulangan beban sumbu standar selama masa layan (ESA)
- Z_R = konstanta normal pada tingkat probabilitas yang diinginkan
- S_o = kombinasi deviasi standar dari perkiraan beban lalu lintas dan kerusakan struktur perkerasan
- ΔPSI = penurunan nilai kondisi struktur perkerasan yang diijinkan

e. Menghitung tebal lapisan tambahan, D_{ol} (cm)

$$D_{ol} = \frac{(ITP - ITP_{eff})}{a_{ol}} \quad (5)$$

dimana: a_{ol} = koefisien tebal lapisan perkerasan relatif, sebagai fungsi dari nilai E_p pada suhu standar 20°C

2.2 Program BackCalc

Program BackCalc (Kosasih, 2006) yang merupakan pengembangan lanjut dari program DAMA (the Asphalt Institute, 1983) mampu melakukan proses *back calculation* untuk menghasilkan modulus perkerasan dari data cekung lendutan pada struktur perkerasan yang dimodelkan sampai dengan sistem 4-lapisan. *Poisson ratio* dari masing-masing lapisan dapat ditentukan secara bebas sebagai data input. Proses

back calculation dilakukan dengan menggunakan kriteria *best fit*, dimana cekung lendutan teoritis

yang dihitung menghasilkan total deviasi yang terkecil terhadap data cekung lendutan yang dianalisis. Sedangkan, data lendutan maksimum selalu dijadikan target dalam menghitung cekung lendutan teoritis (Kosasih, et.al., 2003).

Gambar 1 memperlihatkan nilai modulus perkerasan dan kurva cekung lendutan teoritis yang dihasilkan dari proses *back calculation* untuk struktur perkerasan yang dimodelkan sebagai sistem 2-lapisan, dan nilai *Poisson ratio* dari lapisan perkerasan dan tanah dasar keduanya adalah 0.50, sesuai dengan metoda AASHTO'93. Nilai total deviasi yang dihasilkan antara cekung lendutan teoritis dan data cekung lendutan adalah 5.67%.

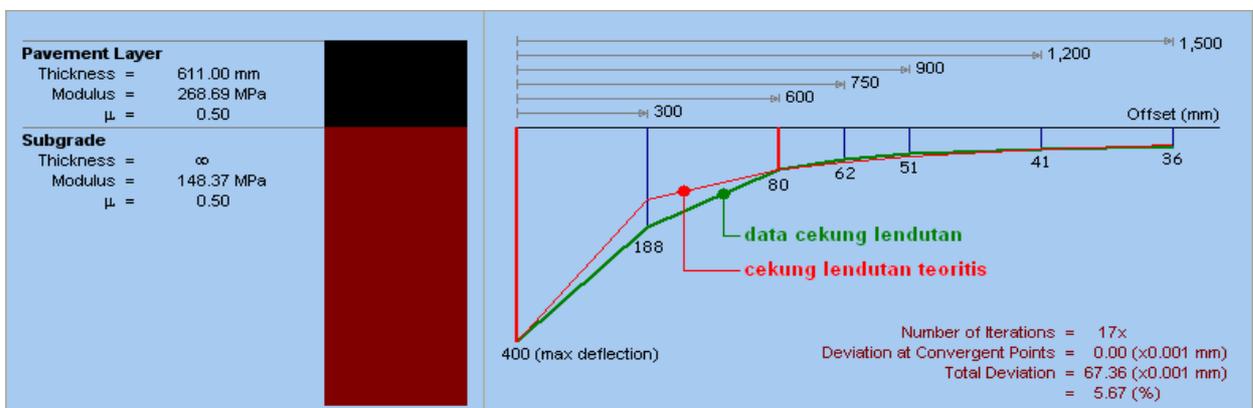
Jelaslah terlihat pada gambar, bahwa total deviasi yang dihasilkan masih cukup signifikan. Nilai total deviasi merupakan salah satu indikator yang akan digunakan dalam analisis berikut untuk menetapkan model struktur sistem 2-lapisan yang relatif lebih baik.

3. Presentasi Data

3.1 Data lendutan

Data lendutan tipikal yang digunakan dalam analisis merupakan salah satu dari 48 data lendutan FWD di tiga lokasi yang disurvei (Sianipar, 2004), seperti terlihat pada **Gambar 1**. Analisis terhadap keseluruhan data lendutan untuk meneliti pengaruh dari variasi suhu perkerasan dan variasi beban survai pada disain tebal lapisan tambahan disajikan dalam makalah lain (Kosasih, 2007).

Data pendukung lain yang diperoleh dari survai lendutan FWD adalah data beban survai = 29.76 kN, dia-meter pelat = 300 mm, waktu survai = 06:00, suhu udara = 23°C dan suhu permukaan perkerasan = 24°C.



Gambar 1. Nilai modulus perkerasan dan kurva cekung lendutan teoritis hasil dari program *BackCalc*

3.2 Data struktur perkerasan

Data struktur perkerasan di lokasi survai, yang diperoleh dari hasil uji *coring* dan dari data disain, terdiri dari 5-lapisan (Sianipar, 2004). **Gambar 2** memperlihatkan komposisi dari masing-masing lapisan perkerasan, beserta dua alternatif model struktur sistem 2-lapisan yang dianalisis.

3.3 Data beban lalu lintas

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

4. Analisis dan Diskusi

4.1 Konsistensi antara metoda AASHTO'93 dan program *BackCalc*

Melalui analisis yang intensif diketahui, bahwa jika dua kondisi perhitungan berikut terpenuhi, maka modulus perkerasan yang dihitung berdasarkan metoda AASHTO'93 adalah serupa dengan yang dihitung dari program *BackCalc*.

- Total tebal lapisan perkerasan diukur dari muka tanah dasar.
- Nilai *Poisson ratio* untuk tanah dasar dan lapisan perkerasan keduanya adalah 0.50.

Gambar 3 memperlihatkan nilai modulus perkerasan yang dihasilkan dari kedua metoda. Rentang nilai M_R dan nilai E_p yang dihitung dengan menggunakan metoda AASHTO'93 berturut-turut adalah $132.27 \div 155.61$ MPa dan $260.67 \div 272.88$ MPa. Sedangkan, nilai M_R dan nilai E_p yang dihitung dari program *BackCalc* masing-masing adalah 148.37 MPa dan 268.69 MPa. Konsistensi nilai modulus perkerasan yang dihasilkan dari kedua metoda dapat lebih terlihat melalui kurva cekung lendutan teoritis yang dihasilkan yang hampir saling berimpitan, termasuk kurva cekung lendutan teoritis untuk nilai M_R dan nilai E_p yang tidak memenuhi persyaratan pada **Persamaan (2a)**, yaitu pada jarak *offset*, $r = 300$ mm.

Hasil ini membuktikan bahwa modulus perkerasan yang dihasilkan dari proses *back calculation* pada dasarnya tidak unik. Namun demikian, program *BackCalc* yang menggunakan algoritma *best fit* pasti memberikan total deviasi antara cekung lendutan teoritis dan data cekung lendutan yang terkecil. Untuk contoh kasus ini, nilai total deviasi yang dihasilkan dari program *BackCalc* adalah 67.36 mikron (= 5.67%).

Program *BackCalc* juga menghitung modulus perkerasan berdasarkan kriteria *matching* pada setiap lendutan *offset*. Akan tetapi, modulus perkerasan ini hanya digunakan sebagai pembandingan saja, karena total deviasi yang dihasilkan umumnya selalu lebih besar.



Gambar 2. Data dan alternatif pemodelan struktur perkerasan



Gambar 3. Perbandingan antara hasil proses *back calculation* menurut metoda AASHTO'93 dan program *BackCalc*

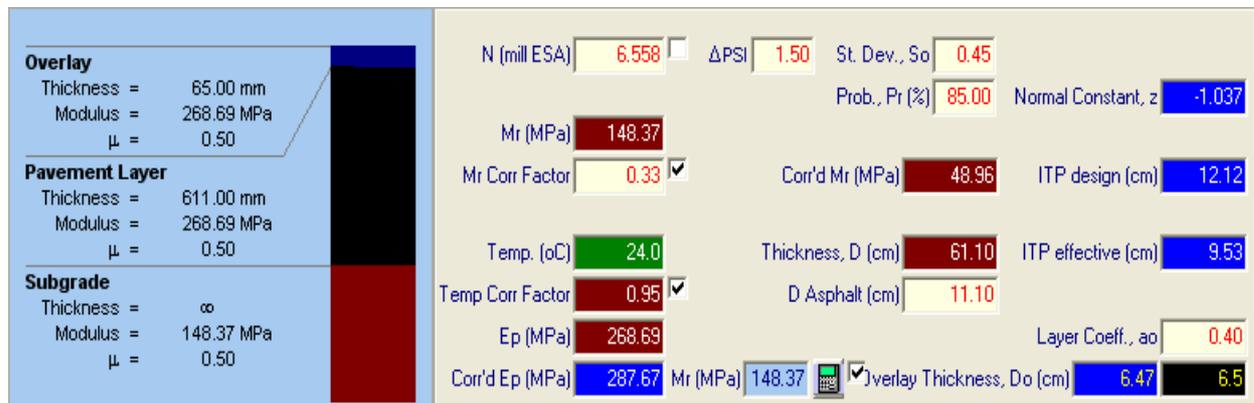
Variasi modulus perkerasan yang dihasilkan kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menghitung disain tebal lapisan tambahan. Data disain yang digunakan diperlihatkan pada **Gambar 4**. Penurunan nilai kondisi struktur perkerasan (ΔPSI) ditetapkan 1.50 sesuai dengan lokasi studi yang diklasifikasikan sebagai jalan arteri primer. Nilai deviasi standar, $S_o = 0.45$ dan nilai probabilitas, $Pr = 85\%$ merupakan asumsi disain. Sedangkan, nilai koefisien tebal lapisan perkerasan relatif (a_{ol}), yang menurut metoda AASHTO'93 merupakan fungsi dari nilai modulus lapisan perkerasan, untuk sementara masih diasumsikan konstan sebesar 0.40 sesuai dengan pendekatan empiris yang berlaku (SNI, 2002).

Berdasarkan modulus perkerasan yang dihasilkan dari program BackCalc diperoleh nilai ITP_{eff} dari **Persamaan (3)** dan nilai ITP dari **Persamaan (4)** masing-masing sebesar 9.53 cm dan 12.12 cm. Untuk perhitungan kedua nilai ITP ini digunakan faktor koreksi modulus tanah dasar dan faktor koreksi temperatur sesuai dengan metoda AASHTO'93. Akhirnya, dari **Persamaan (5)** diperoleh disain tebal lapis tambahan, $D_{ol} = 6.5$ cm.

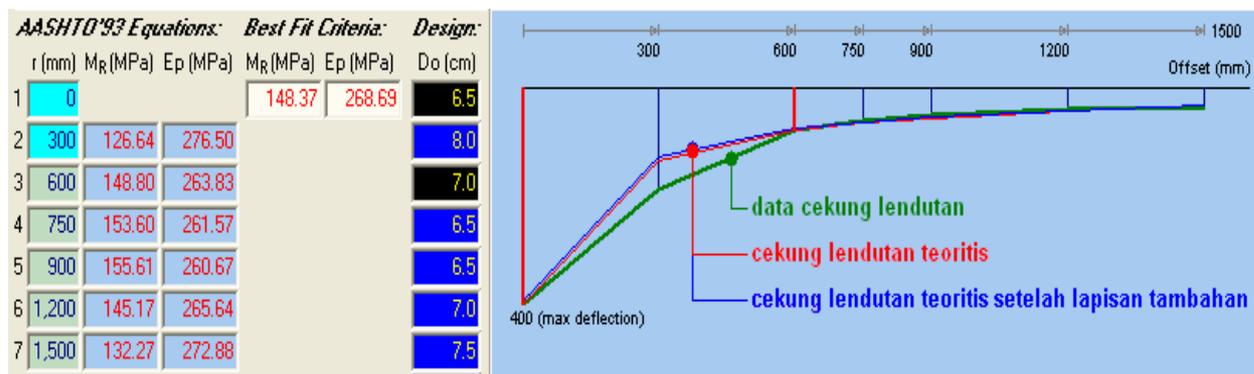
Disain tebal lapisan tambahan untuk rentang nilai modulus perkerasan yang dihasilkan dari metoda

AASHTO'93 diperlihatkan pada **Gambar 5**, yang ternyata juga cukup bervariasi, yaitu antara 6.5 cm ÷ 8.0 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa kemiripan kurva cekung lendutan teoritis yang dihasilkan dari proses *back calculation* tidak menjamin keseragaman hasil disain tebal lapisan tambahan. Oleh karena itu dapat disimpulkan, bahwa proses *back calculation* dengan algoritma *best fit* tetap lebih baik.

Hal lain yang kurang cocok dari metoda AASHTO'93 untuk menganalisis model sistem 2-lapisan dari struktur perkerasan lentur dengan tebal lapisan campuran beraspal yang relatif tipis dan tebal lapisan agregat yang cukup tebal (**Gambar 2b**) adalah tidak sensitifnya kurva cekung lendutan teoritis setelah lapisan tambahan. Kurva cekung lendutan teoritis setelah lapisan tambahan yang dihasilkan tidak begitu berbeda dengan kurva data cekung lendutan. Hal ini dapat berarti bahwa lapisan tambahan yang diberikan seakan-akan tidak berpengaruh pada kekuatan struktur perkerasan *existing*. Sedangkan, dari model disain tebal lapisan tambahan yang telah dikenal dapat diperkirakan, bahwa dengan disain tebal lapisan tambahan sebesar 6.5 cm, nilai lendutan maksimum seharusnya akan mengecil dari 0.400 mm menjadi sekitar 0.290 mm (Puslitbang Prasarana Transportasi, 2003).



Gambar 4. Data dan hasil disain tebal lapisan tambahan dari program BackCalc



Gambar 5. Perbandingan antara hasil disain tebal lapisan tambahan menurut metoda AASHTO'93 dan program BackCalc

4.2 Pengaruh dari variasi Poisson ratio

Pada bagian ini, model struktur sistem 2-lapisan yang sama seperti di atas dianalisis dengan menggunakan nilai *Poisson ratio* yang lebih realistis, yaitu 0.35 untuk lapisan perkerasan dan 0.40 untuk tanah dasar.

Gambar 6 memperlihatkan nilai modulus perkerasan dan kurva cekung lendutan teoritis yang dihasilkan.

Dengan menggunakan algoritma *best fit* dari program BackCalc, nilai M_R meningkat dari hasil terdahulu, yaitu dari 148.37 MPa menjadi 162.34 MPa, dan nilai E_P dari 268.69 MPa menjadi 314.07 MPa. Akan tetapi, kurva cekung lendutan teoritis yang dihasilkan tetap serupa dengan hasil terdahulu dengan nilai total deviasi yang juga masih tetap signifikan, yaitu sebesar 67.75 mikron (= 5.72%). Dalam hal ini, disain tebal lapisan tambahan yang diperlukan sedikit lebih tipis menjadi 6.0 cm.

Sebaliknya dengan menggunakan metoda AASHTO'93, nilai M_R dan nilai E_P keduanya tetap sama dengan hasil terdahulu, karena **Persamaan (1)** dan **Persamaan (2)** yang digunakan dalam perhitungan sudah tidak menyertakan variabel *Poisson ratio* lagi. Oleh karena itu, kurva cekung lendutan teoritis yang dihasilkan dari metoda AASHTO'93 ini

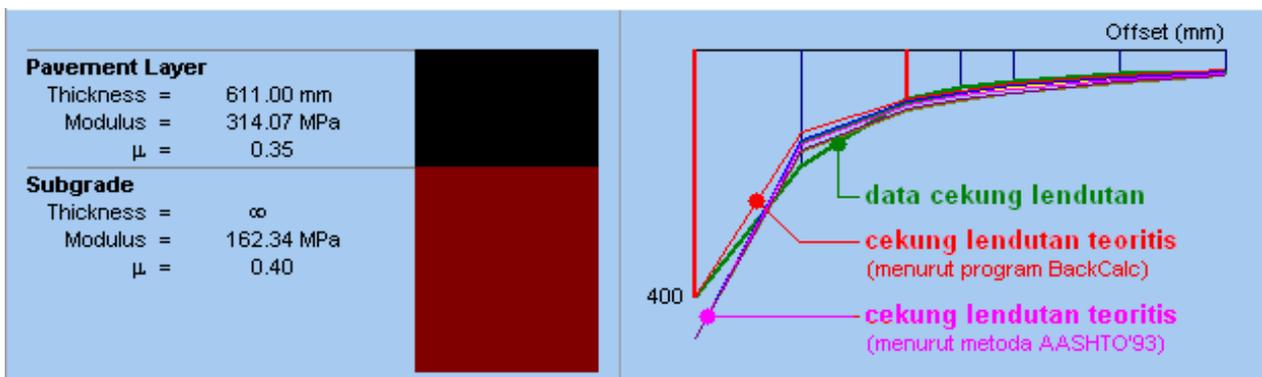
menjadi cukup jauh menyimpang dari target data cekung lendutan, khususnya pada nilai lendutan maksimum.

4.3 Pengaruh dari variasi model struktur sistem 2-lapisan

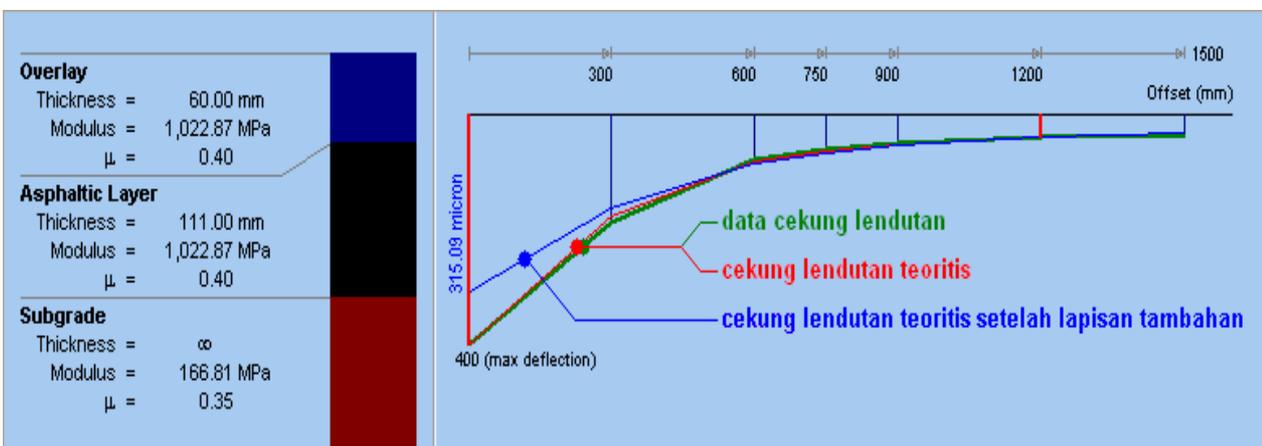
Hasil analisis yang lebih baik diperoleh jika model struktur sistem 2-lapisan yang dianalisis hanya menggabungkan semua lapisan campuran beraspal sebagai lapisan perkerasan ($D_f = 111$ mm) dan lapisan agregat sebagai tanah dasar, seperti diperlihatkan pada **Gambar 2c** dan **Gambar 7**. Untuk itu, nilai *Poisson ratio* yang digunakan adalah 0.40 untuk lapisan perkerasan dan 0.35 untuk tanah dasar.

Nilai M_R yang dihasilkan hanya meningkat secara marjinal menjadi 166.81 MPa. Sedangkan, nilai E_P meningkat cukup tajam menjadi 1022.87 MPa yang lebih realistis. Kurva cekung lendutan teoritis yang dihasilkan juga menjadi lebih cocok (*matching*) terhadap data cekung lendutan, dengan nilai total deviasi hanya sebesar 25.29 mikron (= 1.81 %).

Disain tebal lapisan tambahan yang diperlukan juga lebih ekonomis, yaitu 6.0 cm. Untuk perhitungan disain tebal lapisan tambahan ini, nilai ITP_{eff} perlu dikoreksi terhadap kontribusi nilai ITP yang diberikan



Gambar 6. Pengaruh Poisson ratio terhadap kurva cekung lendutan teoritis



Gambar 7. Perbandingan antara hasil disain tebal lapisan tambahan menurut metoda AASHTO'93

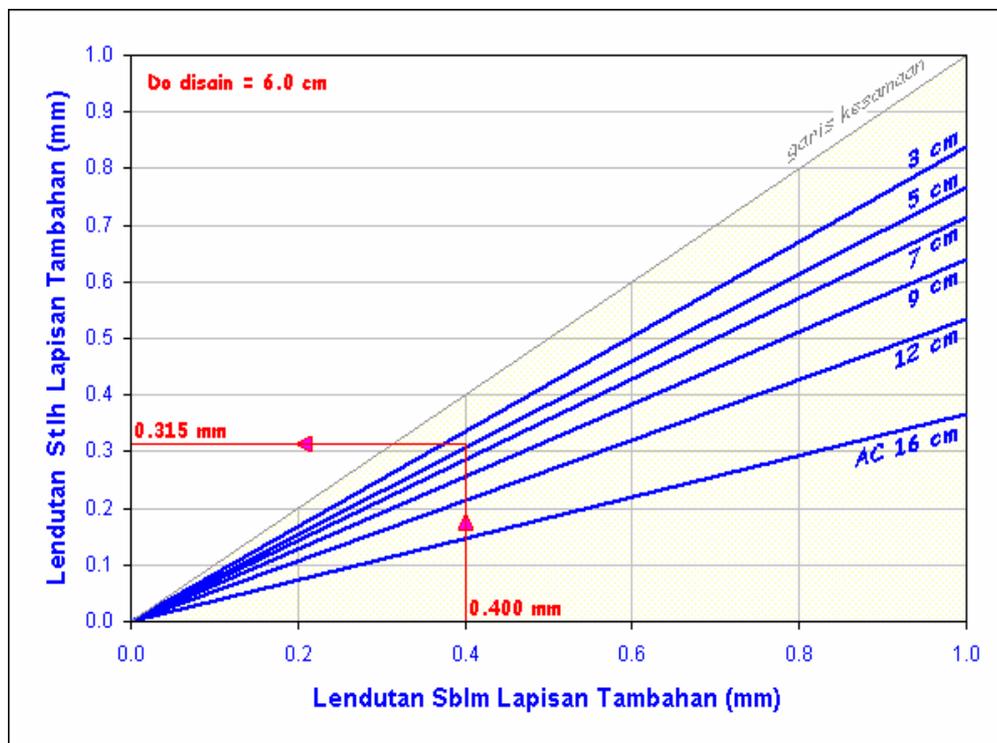
oleh lapisan agregat yang dalam analisis dianggap sebagai tanah dasar.

Yang menarik di sini adalah perkiraan kurva cekung lendutan teoritis setelah lapisan tambahan yang menjadi lebih konsisten dengan model disain tebal lapisan tambahan yang dihasilkan dari riset lain, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8** (Puslitbang Prasarana Transportasi, 2003). Bahkan untuk disain tebal lapisan tambahan sebesar **6.0 cm**, nilai lendutan maksimum yang mengecil dari 0.400 mm menjadi **0.315 mm** sangat konsisten dengan model disain tebal lapisan tambahan yang diusulkan dalam standar NAASRA (1987).

Seperti telah disebutkan di atas, bahwa lapisan agregat yang digabungkan sebagai tanah dasar tetap harus diperhitungkan dalam disain tebal lapisan tambahan. Hal ini sebenarnya memberi pengertian yang sama saja dengan proses *back calculation* yang dilakukan dengan menggunakan model struktur sistem 3-lapisan, dimana nilai modulus lapisan agregat disamakan dengan nilai modulus tanah dasar. Temuan ini sejalan dengan usulan Croney (1977) untuk melakukan analisis struktur perkerasan minimal sebagai model struktur sistem 3-lapisan, dan akan lebih baik lagi jika model struktur sistem 4-lapisan dapat digunakan. Ini merupakan peluang untuk studi selanjutnya.

5. Kesimpulan

1. Metoda AASHTO'93, yang mengasumsikan nilai *Poisson ratio* 0.50 baik untuk lapisan perkerasan maupun untuk tanah dasar dan tebal lapisan perkerasan yang diukur dari muka tanah dasar, dapat menghasilkan modulus perkerasan yang konsisten dengan yang diperoleh dari program BackCalc. Namun dengan asumsi ini, cekung lendutan teoritis yang dihasilkan masih memberikan total deviasi terhadap data cekung lendutan yang cukup signifikan.
2. Untuk nilai *Poisson ratio* yang lebih realistis, yaitu 0.35 untuk lapisan perkerasan dan 0.40 untuk tanah dasar, tebal lapisan tambahan yang diperlukan menjadi lebih ekonomis.
3. Model struktur sistem 2-lapisan yang hanya menggabungkan semua lapisan campuran beraspal sebagai lapisan perkerasan dan lapisan agregat sebagai tanah dasar dapat menghasilkan cekung lendutan teoritis yang lebih cocok (*matching*) terhadap data cekung lendutan. Tebal lapisan tambahan yang dihasilkan juga lebih ekonomis jika dibandingkan dengan yang diperoleh dari metoda AASHTO'93. Demikian pula, yang terpenting, perkiraan kurva cekung lendutan teoritis setelah lapisan tambahan menjadi lebih konsisten dengan model disain tebal lapisan tambahan.



Gambar 8. Konsistensi hasil disain dengan model disain tebal lapisan tambahan tipikal

4. Perlu studi lanjutan untuk mengaplikasikan metoda AASHTO'93 dengan model struktur sistem 3-lapisan atau bahkan 4-lapisan yang tentunya akan lebih mewakili kondisi riil di lapangan. Untuk itu, program komputer seperti halnya program BackCalc diperlukan.

Daftar Pustaka

AASHTO, 1993, "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", Washington DC.

The Asphalt Institute, 1983, "Computer Program DAMA – User's Manual", CP-1, Maryland.

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

Kosasih, D., Sudiarto, M.R., 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, "Modifikasi Metoda AASHTO'93 dalam Disain Tebal Lapisan Tambahan untuk Model Struktur Sistem 3-Lapisan", sedang dipublikasikan, Bandung.

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

Powell, W.D., Potter, J.F., Mayhew, H.C., and Nunn, M.E., 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, G.R., Richter, C.A., and Stephanos, P.J., 1992, "Layer Moduli from Deflection Measurements: Software Selection and Development of SHRP's Procedure for Flexible Pavements", 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.

SNI, 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.