

PROSES DESAIN STRUKTUR PERKERASAN LENTUR YANG MEMPERHITUNGGAN VARIASI MODULUS PERKERASAN AKIBAT PENGARUH TEMPERATUR

Design Procedure of Flexible Pavement Structures by Analyzing Pavement Modulus Variation due to Temperature Effects

Djunaedi Kosasih

Dosen pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

E-mail : kosasih@si.itb.ac.id

ABSTRACT

The effects of pavement temperature on pavement modulus, particularly the asphalt layer modulus, are quite apparent. In the analytical design method, the effects of pavement temperature can be taken into account in term of design temperature factor, as that proposed by the Nottingham method. Alternatively as proposed by the Asphalt Institute method, Miner's theory can also be applied to calculate pavement thickness design directly that satisfies the cumulative effects of pavement modulus variation. For this purpose, traffic loading spectrum across the pavement temperature differences ought to be known. A research had been conducted to determine design temperature factor from FWD deflection data measured four times in the morning, afternoon, evening and in the night within the same day. Pavement modulus values were estimated from back calculation processes on the FWD deflection data. This paper outlines the analytical design procedure based on the Nottingham method by using program PastDean employing the calculated design temperature factor and the Miner's theory, respectively. It was found that the remaining life of the existing pavement structure being analyzed would be dictated by the fatigue cracking criterion, and the resulting design temperature factor was 1.55. Further analysis is then presented to simulate hypothetically the design temperature factor suitable for permanent deformation criterion.

Keywords: pavement structural, analytical design, temperature factor, Miner's theory, program PastDean

PENDAHULUAN

Pengaruh temperatur terhadap modulus perkerasan, khususnya modulus lapisan campuran beraspal, cukup nyata. Model matematis untuk memperkirakan modulus lapisan campuran beraspal sebagai fungsi dari temperatur telah banyak diusulkan, seperti menurut metoda Nottingham (Brown dan Brunton, 1984) dan metoda Asphalt Institute (1982). Di laboratorium, modulus lapisan campuran beraspal pada berbagai temperatur dapat diukur, misalnya dengan alat uji modulus dinamis (SHELL, 1990; AASHTO, 1998); dan, di lapangan, variasi nilai modulus dari masing-masing lapisan perkerasan bahkan dapat diperkirakan secara bersamaan melalui proses *back calculation* terhadap data lendutan yang diukur pada berbagai temperatur (ASTM, 2000).

Ada dua pendekatan yang dapat diikuti untuk memperhitungkan pengaruh temperatur dalam proses desain struktur perkerasan lentur secara analitis, yaitu pendekatan desain praktis yang menggunakan faktor temperatur desain, dan pendekatan desain sistematis berdasarkan teori Miner. Pendekatan desain praktis atau pendekatan desain rata-rata menawarkan kemudahan dalam prosesnya tetapi memerlukan standar desain untuk penentuan faktor temperatur desain yang diperlukan. Sayangnya, standar desain struktur perkerasan lentur secara

analitis belum resmi diberlakukan di Indonesia. Sedangkan, pendekatan desain sistematis memerlukan data yang cenderung lebih rinci dan secara umum memerlukan program aplikasi komputer yang relatif lebih rumit.

Metoda Nottingham mengusulkan faktor temperatur desain (f_t) sebesar 1,92 dan 1,47 yang masing-masing adalah untuk kriteria retak lelah dan kriteria deformasi permanen. Dalam pemakaiannya, faktor temperatur desain dikalikan dengan temperatur udara rata-rata tahunan untuk memperoleh temperatur lapisan campuran beraspal (untuk selanjutnya disebut temperatur perkerasan) rata-rata tahunan yang diperlukan dalam memperkirakan modulus lapisan campuran beraspal. Jadi, secara umum, faktor temperatur desain telah memperhitungkan variasi modulus perkerasan dan spektrum beban lalu lintas dalam setahun.

Sebaliknya, teori Miner (Haas dan Hudson, 1978) menganalisis derajat kerusakan yang diperkirakan terjadi pada struktur perkerasan akibat dari setiap perubahan modulus perkerasan dan/atau beban lalu lintas. Dalam hal ini, modulus lapisan campuran beraspal dapat bervariasi mengikuti perubahan temperatur perkerasan dalam sehari, dan modulus tanah dasar dapat bervariasi mengikuti perubahan musim dalam setahun. Sedangkan, variasi beban lalu lintas dalam sehari umumnya dapat dianggap tipikal sepanjang tahun.

Penelitian telah dilakukan untuk menentukan faktor temperatur desain dari data lendutan FWD yang diukur empat kali dalam sehari, yaitu di pagi, siang, sore dan malam hari. Variasi nilai modulus perkerasan diperkirakan dari proses *back calculation* terhadap data lendutan FWD tersebut.

Variasi nilai modulus perkerasan yang dihasilkan digunakan dalam makalah ini untuk menguraikan prosedur desain struktur perkerasan lentur secara analitis menurut metoda Nottingham dengan mengaplikasikan program PastDean (Kosasih, 2004), baik yang berdasarkan faktor temperatur desain, maupun yang berdasarkan teori Miner. Dengan membandingkan kedua hasil desain dapat diperoleh faktor temperatur desain yang cocok untuk kondisi struktur perkerasan dan beban lalu lintas yang sedang dianalisis.

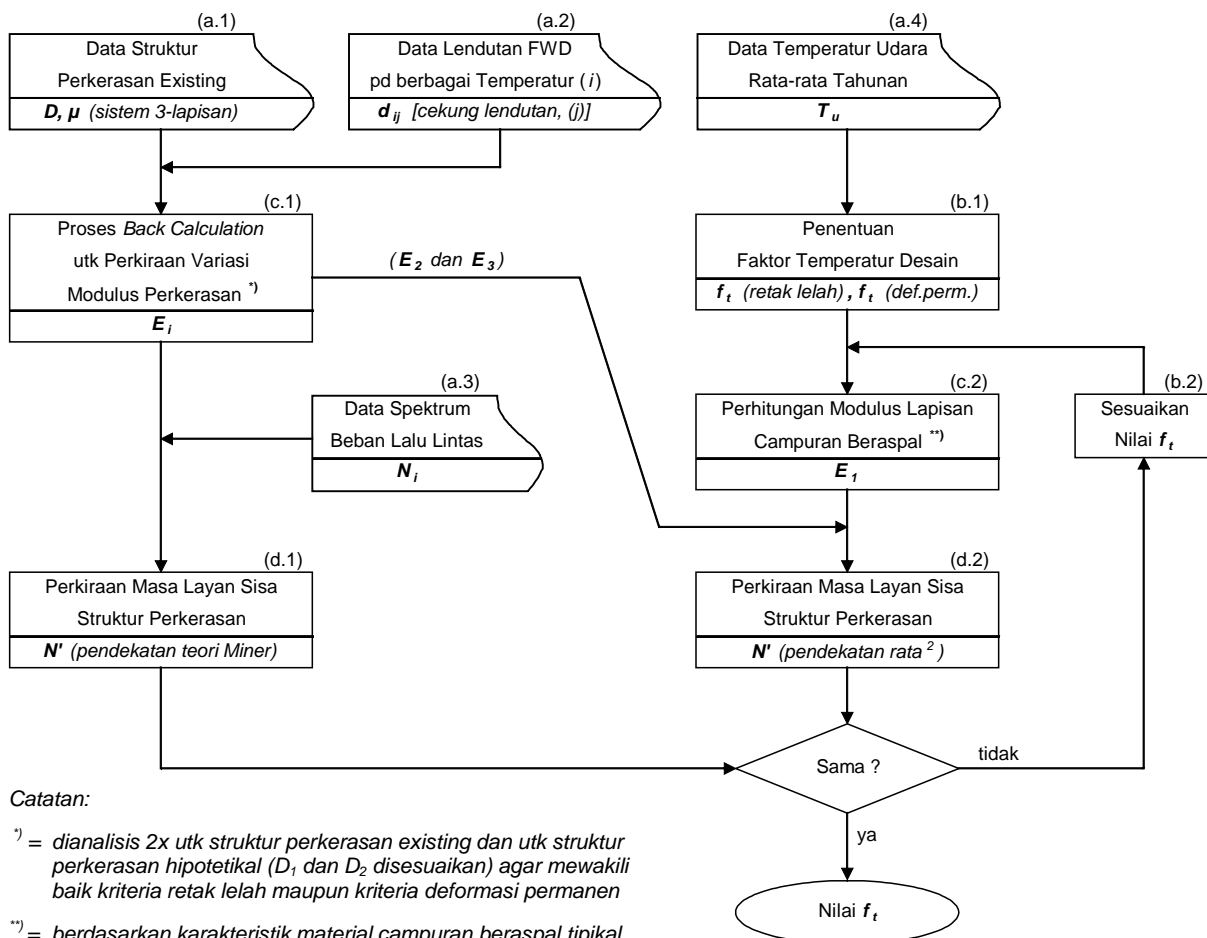
METODE PENELITIAN

Penelitian ini pada dasarnya merupakan penerapan dari teori yang telah dikenal untuk kondisi struktur perkerasan dan beban lalu lintas yang berlaku di Indonesia. Secara khusus, satu modul telah ditambahkan dalam program PastDean untuk

keperluan penelitian. Namun demikian, cakupan penelitian yang dilakukan secara umum masih terbatas. Salah satunya adalah pengaruh musim pada modulus perkerasan yang masih belum dianalisis secara rinci.

Gambar 1 memperlihatkan prosedur desain struktur perkerasan secara analitis yang dilakukan dalam penelitian. Ada empat komponen utama dari proses desain ini, yaitu:

- (a) Pendataan empat kategori data yang diperlukan, yaitu data struktur perkerasan *existing*, data lendutan FWD, data spektrum beban lalu lintas dan data temperatur udara rata-rata tahunan. Tiga data pertama merupakan data primer. Sedangkan, data yang terakhir merupakan data sekunder. Menurut metoda Nottingham, struktur perkerasan dimodelkan sebagai sistem struktur 3-lapisan, yang terdiri dari lapisan campuran beraspal, lapisan agregat dan tanah dasar.
- (b) Penentuan faktor temperatur desain yang dilakukan secara iteratif, baik untuk desain struktur perkerasan yang didasarkan pada



Gambar 1. Prosedur desain struktur perkerasan secara analitis yang dilakukan dalam penelitian

kriteria retak leleh, maupun kriteria deformasi permanen. Agar kedua kriteria desain dapat dianalisis di sini, struktur perkerasan hipotetikal perlu disertakan dalam analisis dengan mengatur tebal lapisan campuran beraspal (D_1) dan tebal lapisan agregat (D_2) sedemikian rupa sehingga masa layan rencana dari kedua struktur perkerasan hipotetikal adalah sama. Secara umum, desain struktur perkerasan dengan lapisan agregat yang tebal akan ditentukan oleh kerusakan retak leleh. Sebaliknya, desain struktur perkerasan dengan lapisan agregat yang tipis akan ditentukan oleh kerusakan deformasi permanen.

- (c) Perhitungan modulus perkerasan; untuk pendekatan teori Miner, modulus perkerasan diperkirakan melalui proses *back calculation* terhadap data lendutan FWD dengan menggunakan program BackCalc (Kosasih, 2006). Sedangkan, untuk pendekatan desain rata-rata, modulus lapisan campuran beraspal (E_1) dihitung melalui rumus, sbb.:

$$E_1 = S'_b * 2.718^{-PI_r} \left[1 + \frac{257.5 - 2.5 * VMA}{n * (VMA - 3)} \right]^n \dots\dots\dots(1)$$

$$S'_b = \left(\frac{7.07355 * 10^{18}}{2\pi LF} \right)^{-0.368} * (SP_r - T_u * f_t)^5 \dots\dots\dots(2)$$

$$SP_r = 98.4 - 26.35 * \log(0.65 * P_i) \dots\dots\dots(3)$$

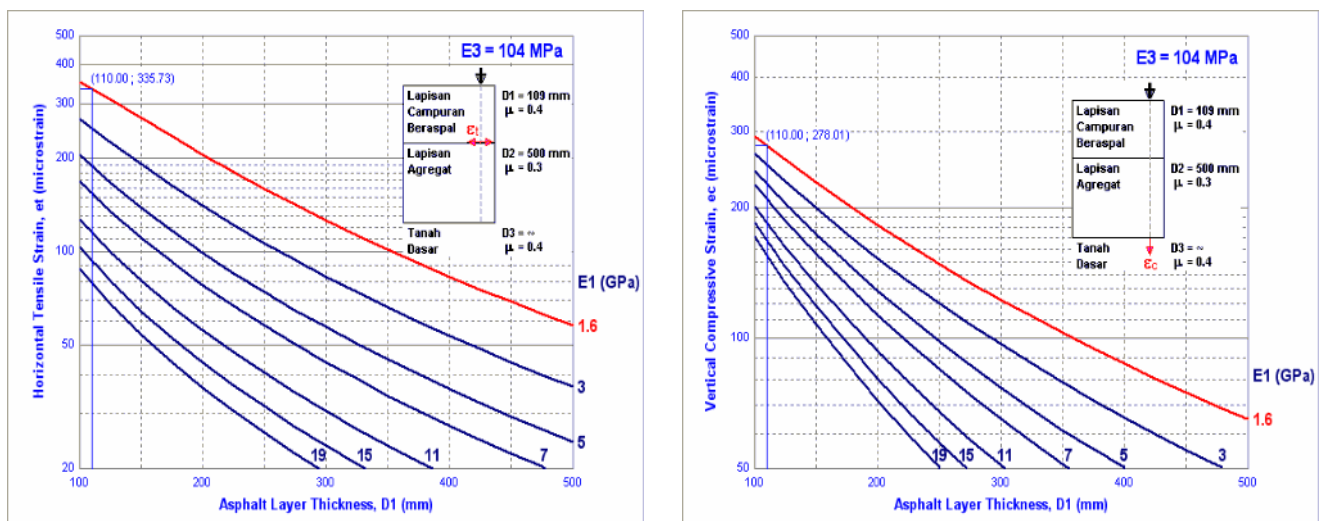
$$PI_r = \frac{27.00 * \log P_i - 21.65}{76.35 * \log P_i - 232.82} \dots\dots\dots(4)$$

$$n = 0.83 * \log \left(\frac{4 * 10^4}{S'_b * 2.718^{-PI_r}} \right) \dots\dots\dots(5)$$

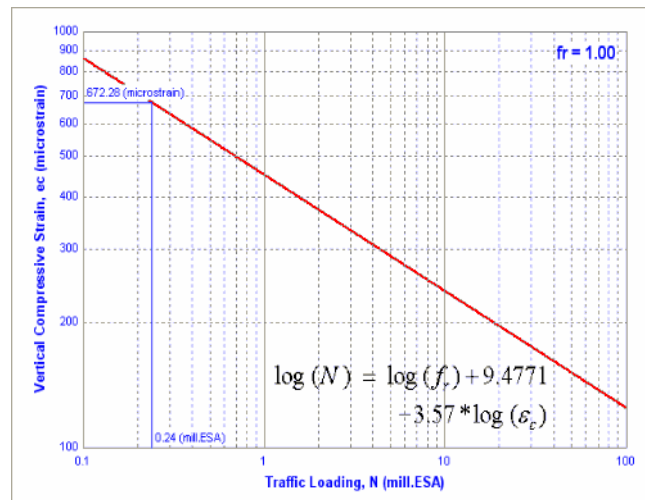
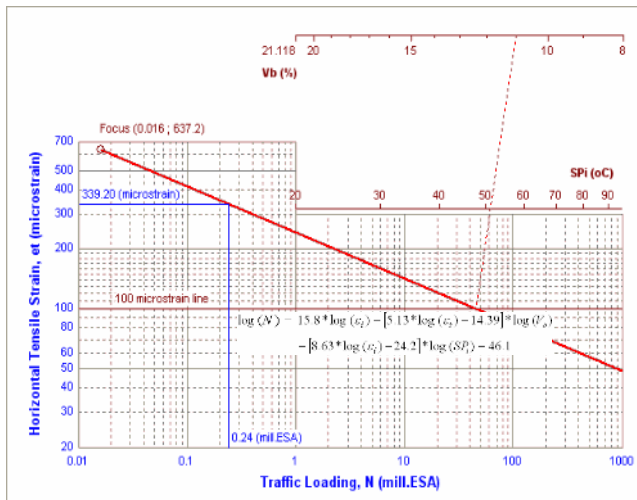
- dimana: E_1 = modulus (MPa)
 VMA = rongga dalam mineral agregat (%)
 LF = frekwensi pembebanan (Hz)
 T_u = temperatur udara (°C)
 f_t = faktor temperatur desain
 P_i = penetrasi aspal awal (0.1 mm)
 V_b = volume aspal (%)
 SP_i = titik lembek aspal awal (°C)
 f_r = faktor model deformasi permukaan

Dalam pendekatan desain rata-rata, modulus lapisan agregat dan modulus tanah dasar ditetapkan sama dengan nilai modulus yang dihasilkan dari proses *back calculation*.

- (d) Perkiraan masa layan sisa struktur perkerasan yang didasarkan pada dua regangan kritis yang terjadi di dalam struktur perkerasan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Regangan tarik horizontal (ϵ_r) di bawah lapisan campuran beraspal akan menentukan kerusakan retak leleh; dan, regangan tekan vertikal di atas tanah dasar (ϵ_c) akan menentukan kerusakan deformasi permanen. Kemudian, masa layan sisa ditentukan dari model desain struktur perkerasan, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Regangan kritis tipikal di dalam struktur perkerasan; regangan tarik horizontal di bawah lapisan campuran beraspal (kiri) dan regangan tekan vertikal di atas tanah dasar (kanan)



Gambar 3. Model desain struktur perkerasan lentur berdasarkan kriteria retak lelah (kiri) dan berdasarkan kriteria deformasi permanen (kanan)

Grafik regangan yang disediakan metoda Nottingham sebenarnya hanya untuk tebal lapisan agregat, $D_2 = 200$ mm dan modulus lapisan agregat, $E_2 = 100$ MPa. Batasan ini menjadikan metoda Nottingham tidak begitu praktis. Oleh karena itu, modul program PastDean yang dikembangkan telah dirancang secara khusus agar dapat menganalisis kedua variabel tersebut dengan nilai sembarang yang sesuai dengan yang diukur di lapangan.

DATA DAN HASIL ANALISIS

Data Struktur Perkerasan Existing

Data struktur perkerasan existing di lokasi survai diperoleh dari hasil uji coring dan dari data disain (Sianipar, 2004). Sesuai dengan metoda Nottingham, struktur perkerasan dimodelkan sebagai sistem 3-lapisan, seperti terlihat pada Gambar 6. Tebal lapisan campuran beraspal (D_1) dan lapisan agregat (D_2) masing-masing adalah 109 mm dan 500 mm. Kedalaman tanah dasar dianggap tak terhingga. Sedangkan, nilai konstanta Poisson, $\mu = 0,4$ untuk lapisan campuran beraspal dan tanah dasar, dan 0,3 untuk lapisan agregat.

Data Lendutan FWD

Data survai cekung lendutan FWD di Jalan arteri primer Soekarno-Hatta, Bandung yang diukur empat kali dalam sehari dipresentasikan secara ringkas pada Tabel 1 dan diplotkan pada Gambar 4 (Sianipar, 2004). Seperti terlihat, temperatur perkerasan mempengaruhi data lendutan secara signifikan hanya di sekitar nilai d_{max} .

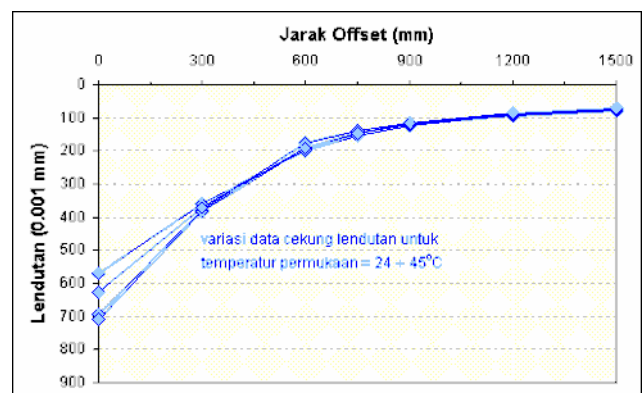
Tabel 1. Data lendutan FWD di satu titik survai

No	Waktu	T_u °C	T_s °C	P (kN)	d_{max} (mikron)	$d_{300}^{(*)}$ (mikron)	$d_{1500}^{(*)}$ (mikron)
1	06.00	23	24	40,08	570	361	73
2	12.00	33	45	39,66	694	377	77
3	18.00	28	32	39,87	707	382	74
4	24.00	25	27	40,22	626	372	71

Catatan : *) = empat data lendutan offset lainnya tidak tersajikan

Data temperatur udara (T_u) dan temperatur permukaan perkerasan (T_s) umumnya diukur saat survai untuk memperkirakan temperatur perkerasan. Melihat rentang nilai T_s yang cukup lebar, khususnya di siang hari, pengukuran lendutan FWD sebenarnya akan lebih representatif lagi jika dilakukan pada selang waktu yang lebih rapat.

Data beban survai lendutan FWD (P) yang sedikit bervariasi di sekitar target 40 KN pada prinsipnya tidak dapat dihindari. Koreksi data lendutan FWD akibat variasi beban survai perlu diperhitungkan (Kosasih, 2007).



Gambar 4. Data survai cekung lendutan FWD

Salah satu dari keempat data survai cekung lendutan FWD digambarkan secara rinci dan lengkap pada Gambar 6. Jarak *offset* yang digunakan adalah 300, 600, 750, 900, 1200 dan 1500 mm. Jari-jari pelat beban survai (r) adalah 150 mm.

Data Spektrum Beban Lalu Lintas

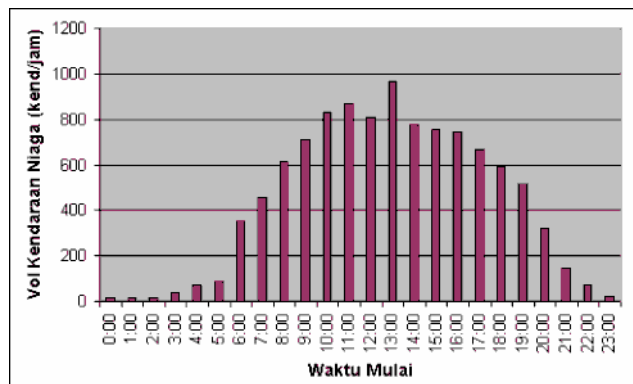
Data spektrum volume lalu lintas di lokasi survai yang merupakan jalan 2-jalur 4-lajur diperlihatkan pada Gambar 5 dan diringkaskan pada Tabel 2. Segmentasi beban lalu lintas ditentukan dengan memperhatikan rentang data temperatur permukaan perkerasan (T_s) di atas.

Tabel 2. Data spektrum beban lalu lintas

No.	Selang Waktu	Lama (jam)	Kendaraan Niaga		
			(kend) [*]	N_i (ESA) ^{**}	N_i (%)
1	05:00 – 09:00	4	1.513	3.882,7	14,99
2	09:00 – 16:00	7	5.714	13.172,2	54,71
3	16:00 – 20:00	4	2.520	5.860,5	22,63
4	20:00 – 05:00	7	711	1.987,0	7,67

Catatan : *) = tgl data 14/02/2007 dan 17/02/2007 (Kosasih, 2002)

*) = FT menurut Puslitbang Prasarana Transportasi (2003)



Gambar 5. Data spektrum volume lalu lintas

Untuk keperluan analisis struktur perkerasan hipotetikal, data beban lalu lintas di lokasi survai diambil dari data sekunder yang besarnya 6,558 juta sumbu standar untuk masa layan rencana 5 tahun (Puslitbang Prasarana Transportasi, 2003).

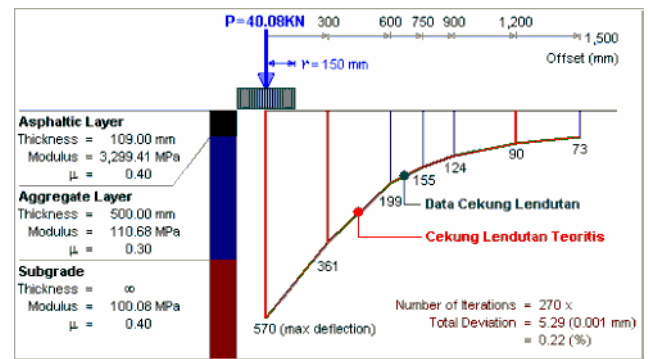
Data Temperatur Udara Rata-rata Tahunan

Data temperatur udara rata-rata tahunan (T_u) dapat diperoleh dari Jawatan Meteorologi dan Geofisika. Untuk lokasi survai, nilai $T_u = 22,9$ °C (Puslitbang Prasarana Transportasi, 2003).

Perhitungan Modulus Perkerasan

Hasil proses *back calculation* dengan menggunakan program BackCalc diperlihatkan pada Gambar 6. Untuk contoh ini, cekung lendutan

teoritis yang dihasilkan sangat cocok dengan data



Gambar 6. Modulus perkerasan dan cekung lendutan sebagai hasil dari proses *back calculation*

cekung lendutan. Proses iterasi yang dilakukan untuk menghasilkan tingkat kecocokan yang cukup sempurna ini adalah 270 kali. Hasil perhitungan modulus lapisan campuran beraspal (E_1), modulus lapisan agregat (E_2) dan modulus tanah dasar (E_3) berturut-turut adalah 3.299,41 MPa, 110,68 MPa dan 100,08 MPa.

Ringkasan hasil perhitungan modulus perkerasan (E) dari data lendutan FWD pada berbagai temperatur permukaan perkerasan (T_s) diberikan pada Tabel 3. Seperti telah disebutkan sebelumnya, hanya modulus lapisan campuran beraspal saja yang secara signifikan dipengaruhi oleh temperatur. Makin tinggi temperatur, makin rendah modulus lapisan campuran beraspal. Sedangkan, modulus tanah dasar dan modulus lapisan agregat tidak begitu terpengaruh oleh temperatur.

Tabel 3. Ringkasan hasil proses *back calculation*

	Nilai E (MPa), pd berbagai nilai T_s (°C) sbb:			
	24	45	32	27
Lp. Camp. Beraspal	3.299,41	1440,50	1.501,43	2.394,98
Lapisan Agregat	110,68	107,17	104,28	105,41
Tanah Dasar	100,08	107,17	103,08	105,41

Perkiraan Masa Layan Sisa Struktur Perkerasan Berdasarkan Pendekatan Teori Miner

Semua data yang telah diuraikan di atas dan juga hasil perhitungan modulus perkerasan untuk keempat segmen data temperatur kemudian diinput ke dalam program PastDean untuk memperkirakan masa layan sisa struktur perkerasan berdasarkan pendekatan teori Miner, seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Selain data beban sumbu standar, yaitu beban roda ganda, $P = 20,0575$ KN x 2; tekanan ban, $q = 500$ KPa dan jarak antara roda, $d = 376$ mm, dua data tambahan lainnya yang perlu diinput adalah data karakteristik material campuran beraspal yang

merupakan data hasil uji laboratorium dan data faktor model deformasi permanen.

Data karakteristik material campuran beraspal tipikal yang umum digunakan di Indonesia adalah penetrasi aspal awal, $P_i = 60 \times 0.1$ mm; titik lembek aspal awal, $SP_i = 51$ °C; volume aspal, $V_b = 11$ %; rongga dalam mineral agregat, $VMA = 15$ %; dan, frekwensi pembebanan, $LF = 10$ Hz; dan, faktor model deformasi permanen, $f_r = 1$.

Kemudian, proses perkiraan masa layan sisa struktur perkerasan dilakukan secara manual, yaitu dengan mencoba-coba beban lalu lintas (N) sampai diperoleh tebal lapisan campuran beraspal, $D_i = 109$ mm yang sesuai dengan yang diukur di lapangan. Dua hasil utama yang diperoleh adalah temperatur perkerasan (T) dan masa layan sisa struktur perkerasan.

General Input Data:

500.00	Traffic Loading, N (mill.ESA)	0.40	Poisson Ratio, μ_1	60.00	Aggregate Layer Thickness, D2 (mm)	51.00	Initial Penetration, Pi (0.1 mm)
1.00	Permanent Deformation Model Factor, fr	0.30	Poisson Ratio, μ_2	11.00	Poisson Ratio, μ_3	15.00	Initial Softening Point, SPi (oC)
		0.40	Poisson Ratio, μ_3				Volume of Bitumen, Vb (%)
							Voids in Mineral Aggregate, VMA (%)

No	Data Condition	P (KN)	q (KPa)	d (mm)	% TLoad	LF (Hz)	T (oC)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)	et (micro)	ec (micro)
1	Pagi (05:00 - 09:00)	20.0575	500.00	376.00	14.99	10.00	30.14	3,296.81	110.68	100.08	237.4	255.44
2	Siang (09:00 - 16:00)	20.0575	500.00	376.00	54.71	10.00	36.27	1,439.85	107.17	107.17	354.2	276.77
3	Sore (16:00 - 20:00)	20.0575	500.00	376.00	22.63	10.00	36.01	1,500.25	104.28	103.08	354.1	284.42
4	Malam (20:00 - 05:00)	20.0575	500.00	376.00	7.67	10.00	32.75	2,393.32	105.41	105.41	285.3	260.58

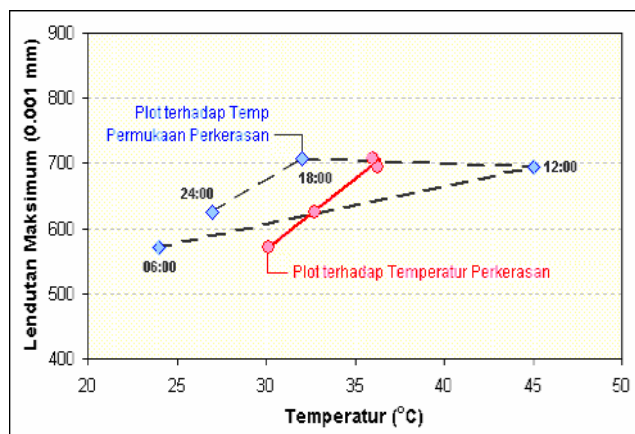
Mode: Checked to calculate asphalt layer modulus
 Checked to round up asphalt layer thickness
 Checked to perform manual design process

Result: Total Percent Damage caused by fatigue cracking = 99.99 (%)
Total Percent Damage caused by permanent deformation = 4.08 (%)
Proposed Design Asphalt Layer Thickness = 109 (mm)
Hor. Tensile Strain at the bottom of asphalt layer governs the design ...

Gambar 7. Ilustrasi proses evaluasi kondisi struktur perkerasan berdasarkan pendekatan teori Miner

Nilai T diperkirakan secara coba-coba sampai akhirnya diperoleh modulus lapisan campuran beraspal yang sama seperti yang dihasilkan dari proses *back calculation* untuk setiap segmen data temperatur yang dianalisis. Yang menarik di sini adalah bahwa temperatur perkerasan yang dihasilkan

bahwa temperatur di bawah lapisan campuran beraspal tidak begitu terpengaruh oleh perubahan temperatur permukaan perkerasan. Gambar 8 membandingkan hasil plot data lendutan FWD baik terhadap temperatur permukaan perkerasan maupun terhadap temperatur perkerasan.



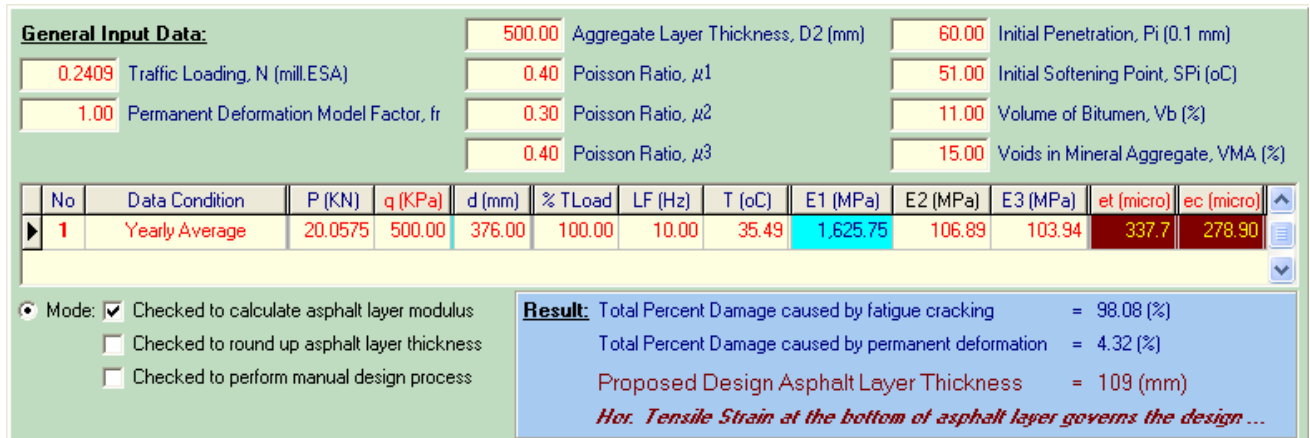
Gambar 8. Plot data lendutan FWD yang diukur pada waktu survai yang berbeda

tidak selalu lebih kecil daripada temperatur permukaan perkerasan. Hasil ini mengindikasikan

Hasil perhitungan masa layan sisa struktur perkerasan adalah sebesar 0,2409 juta sumbu standar, dimana struktur perkerasan diperkirakan akan ditentukan oleh kerusakan retak lelah akibat regangan tarik horizontal di bawah lapisan campuran beraspal.

Perkiraan Masa Layan Sisa Struktur Perkerasan Berdasarkan Pendekatan Desain Rata-Rata

Dengan mengacu pada Gambar 1, masa layan sisa struktur perkerasan, $N = 0,2409$ juta sumbu standar, yang diperoleh berdasarkan pendekatan teori Miner di atas ditetapkan sebagai target untuk menentukan factor temperature desain secara coba-coba. Dalam proses tersebut, modulus lapisan agregat (E_2) dan modulus tanah dasar (E_3) ditetapkan sama dengan nilai rata-rata dari keempat nilai modulus yang dihasilkan melalui proses *back calculation*.



Gambar 9. Ilustrasi proses evaluasi kondisi struktur perkerasan berdasarkan pendekatan desain rata-rata

Gambar 9 memperlihatkan hasil yang diperoleh, dimana modulus lapisan campuran beraspal, $E_I = 1.625,75$ MPa; dan, selanjutnya, berdasarkan nilai E_I dan dengan cara coba-coba diperoleh nilai temperatur perkerasan rata-rata tahunan, $T = 35,49$ °C.

Akhirnya, dengan data temperatur udara rata-rata tahunan (T_u) yang diketahui sebesar 22,9 °C, dihasilkan faktor temperatur desain, $f_t = 1,55$. Kerusakan struktur perkerasan juga tetap sama seperti pada analisis sebelumnya, yaitu ditentukan oleh kriteria retak lelah.

Analisis Faktor Temperatur Desain

Faktor temperatur desain untuk kriteria deformasi permanen juga seharusnya dapat dievaluasi dengan mengikuti prosedur yang sama seperti di atas tetapi terhadap struktur perkerasan *existing* yang masa layannya ditentukan oleh kerusakan deformasi permanen. Namun demikian, analisis berikut hanya dilakukan terhadap struktur perkerasan hipotetikal, dimana komposisi tebal lapisan campuran beraspal (D_I) dan tebal lapisan agregat (D_2) diatur sedemikian rupa sehingga mampu memikul beban lalu lintas rencana, $N = 6,558$ juta sumbu standar, baik untuk kriteria retak lelah, maupun kriteria deformasi permanen.

Tabel 4. Hasil perhitungan faktor temperatur desain

No.	D_I (mm)	D_2 (mm)	Kriteria	E_I (MPa)	T (°C)	f_t
1	258	500	ϵ_t	1585,75	35,66	1,56
2	278	100	ϵ_c	1657,00	35,37	1,54

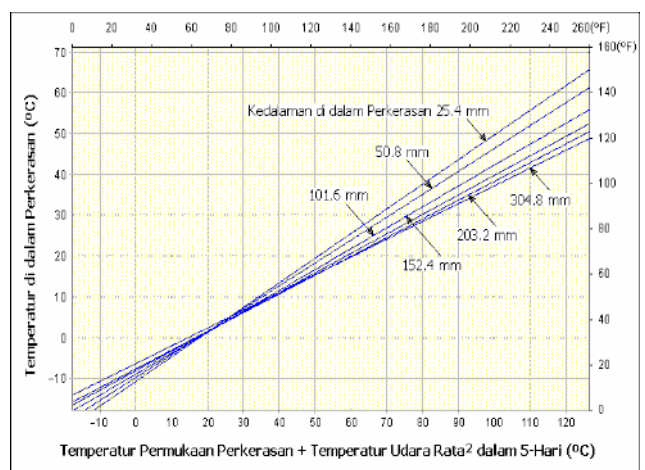
Hasil perhitungan yang diperoleh diringkaskan pada Tabel 4. Untuk kriteria retak lelah, tebal lapisan agregat (D_2) dibuat tebal. Modulus lapisan campuran beraspal (E_I) yang diperoleh adalah

1585,75 MPa; dan, berdasarkan model, nilai E_I terjadi pada temperatur perkerasan, $T = 35,66$ °C. Faktor temperatur desain untuk kriteria retak lelah ternyata sedikit berubah, yaitu, menjadi $f_t = 1,56$. Sedangkan, untuk kriteria deformasi permanen, tebal lapisan agregat (D_2) dibuat lebih tipis, dan faktor temperatur desain, $f_t = 1,54$.

PEMBAHASAN

Ada empat hasil analisis yang cukup menarik untuk dibahas lebih rinci, yaitu:

Pertama, temperatur perkerasan ternyata tidak selalu lebih kecil daripada temperatur permukaan perkerasan. Ada indikasi bahwa temperatur di bawah lapisan campuran beraspal tidak begitu terpengaruh oleh perubahan temperatur permukaan perkerasan. Hubungan antara lendutan maksimum (d_{max}) dengan temperatur perkerasan yang dihasilkan menjadi lebih konsisten, seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 10. Model penentuan temperatur perkerasan (Asphalt Institute, 1983)

Gambar 10 memperlihatkan model penentuan temperatur perkerasan yang cenderung menghasilkan temperatur perkerasan yang selalu lebih kecil daripada temperatur permukaan perkerasan. Oleh karena itu, pemakaian model ini untuk kondisi iklim tropis di Indonesia perlu dipertimbangkan kembali.

Kedua, masa layan sisa struktur perkerasan (N) diperkirakan hanya tinggal 0,2409 juta sumbu standar saja, yang ditentukan oleh kerusakan retak lelah. Hasil ini mengindikasikan bahwa struktur perkerasan berada dalam kondisi yang sudah cukup kritis. Penelitian lanjutan dengan dukungan database yang komprehensif dan secara *time-series* perlu dipertimbangkan untuk proses validasi, termasuk menguji keandalan model desain dan standar nilai batas kerusakan struktur perkerasan.

Ketiga, faktor temperatur desain (f_i) untuk kriteria retak lelah cenderung dipengaruhi oleh masa layan struktur perkerasan. Disamping itu, nilai f_i yang dihasilkan juga jauh berbeda dengan yang diusulkan oleh metoda Nottingham. Studi lanjutan masih diperlukan untuk mengkaji ketidaknikan dari nilai f_i sebelum dapat diusulkan sebagai standar untuk proses desain dan evaluasi struktur perkerasan.

Keempat, nilai f_i untuk kriteria deformasi permanen yang dihasilkan terlihat tidak sensitif. Analisis struktur perkerasan hipotetikal rupanya kurang begitu berhasil. Studi lanjutan diperlukan untuk mengukur respon struktur perkerasan bulanan, yang dalam hal ini melalui data lendutan FWD, agar dapat lebih mencerminkan pengaruh dari musim terhadap nilai f_i .

KESIMPULAN DAN SARAN

Secara umum, proses desain dan evaluasi struktur perkerasan lentur secara analitis menurut metoda Nottingham dengan menggunakan modul program PastDean yang dikembangkan telah berhasil diaplikasikan untuk menganalisis pengaruh dari temperatur perkerasan baik berdasarkan pendekatan teori Miner maupun pendekatan desain rata-rata. Bahkan, modul program PastDean menyediakan fleksibilitas tambahan untuk dapat mengubah sejumlah parameter desain sesuai dengan data dan kondisi yang berlaku di lapangan.

Masa layan struktur perkerasan yang sedang dianalisis diperkirakan hanya tersisa 0,2409 juta sumbu standar yang ditentukan oleh kriteria retak lelah. Faktor temperatur desain (f_i) yang dihasilkan adalah 1,55. Sedangkan, nilai f_i untuk kriteria deformasi permanen yang telah dihitung terasa masih belum konklusif.

Penelitian lanjutan perlu diusulkan untuk mengkaji pengaruh variasi temperatur dalam sehari

yang lebih teliti dan pengaruh variasi musim dalam setahun terhadap faktor temperatur desain pada sejumlah struktur perkerasan yang mewakili kondisi jaringan jalan. Penggunaan alat Benkelman Beam yang masih banyak digunakan di Indonesia untuk pengukuran data lendutan perlu dipertimbangkan secara khusus.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1998. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Nineteenth Edition, Part II – Tests, AASHTO T167-95, Washington, D.C., ISBN-1-56051-098-6.
- The Asphalt Institute, 1983, *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, MS-17*. Hal. 135÷138, Maryland.
- The Asphalt Institute, 1982. *Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1)*. Ninth Edition, RR-82-2, Maryland.
- ASTM, 2000. *Nondestructive Testing of Pavements and Back Calculation of Moduli*. Editors: Tayabji SD and Lukanen EO, Third Volume, STP 1375, West Conshohocken, PA., ISBN 0-8031-2858-4.
- Brown, S.F. dan Brunton, J.M., 1984. *An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavements*, Second Edition, University of Nottingham, UK.
- Haas, R. and Hudson, W.R., 1978. *Pavement Management Systems*. Hal. 235÷236, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Kosasih, D., 2007. *Modifikasi Metoda AASHTO'93 dalam Disain Tebal Lapisan Tambahan untuk Model Struktur Sistem 3-Lapisan*. sedang dipublikasikan, Bandung.
- Kosasih, D., 2006. *Program BackCalc Help*. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB, Bandung.
- Kosasih, D., 2004. *Program Past Dean Help*. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB, Bandung.
- Kosasih, D., 2002. *Integrasi Mobil Survei Jalan dan Sistem Manajemen Jalan untuk Prediksi Kebutuhan Dana 5-Tahunan Pemeliharaan Jaringan Jalan Kota yang Optimum, Laporan Pelaksanaan RUT IX.1 (2002) dan Rencana Kerja RUT IX.2 (2003)*, Kementerian Riset dan Teknologi dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Puslitbang Prasarana Transportasi, 2003. *Pengkajian Metoda Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur Dengan Falling Weight*

- Deflectometer (FWD), *Laporan Akhir 03-1-01-4-21-03*, Lamp.IV-4-2, IV-9 dan IV-17, Bandung.
- SHELL, 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. Hal. 223÷229, Shell Bitumen UK, Surrey, ISBN-0-9516625-0-3.
- 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.