

PENGEMBANGAN MODEL KERUNTUHAN LAPIS BERASPAL (DEVELOPMENT OF FAILURE MODEL FOR BITUMINOUS LAYER)

Nyoman Suaryana¹⁾, Yohannes Ronny²⁾, Anita Jannatun Nissa³⁾

^{1), 2), 3)} Puslitbang Jalan dan Jembatan

^{1), 2), 3)} Jalan A.H. Nasution no.264, Bandung, 40294

¹⁾ e-mail: nyoman.suaryana@pusjatan.pu.go.id

²⁾ e-mail: ronny_bbpj@yahoo.com

³⁾ e-mail: anitajnissa@yahoo.co.id

Diterima: 04 Januari 2013; disetujui: 01 April 2013

ABSTRAK

Metode perencanaan tebal perkerasan yang saat ini dikenal terdiri dari metode perencanaan perkerasan secara empiris dan secara mekanistik empiris. Pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur yang resmi digunakan sebagai pedoman di Indonesia pada umumnya menggunakan pendekatan empiris yang dikembangkan berdasarkan analisis statistik kinerja perkerasan. Sedangkan metode lain untuk perencanaan tebal perkerasan adalah dengan metode mekanistik empiris. Metode ini menggunakan pendekatan respon dasar material perkerasan seperti tegangan, regangan, dan deformasi. Metodologi penelitian dilaksanakan dengan pengujian laboratorium serta pengujian lapangan yang dilakukan untuk mengetahui kinerja perkerasan akibat beban lalu-lintas dan pengaruh lingkungan. Salah satu model fatigue yang banyak diadopsi dalam pedoman perencanaan perkerasan dengan pendekatan mekanistik adalah Persamaan Shell. Untuk mengetahui kesesuaian model fatigue shell dengan tipikal campuran beraspal di Indonesia, dilakukan validasi model fatigue dengan cara membandingkan model fatigue tersebut dengan hasil pengujian fatigue dari laboratorium. Dari hasil analisis, umur fatigue hasil pengujian laboratorium cenderung lebih kecil dibandingkan umur fatigue metode Shell dengan perbandingan berkisar antara 0,8 sampai dengan 3 dengan rata-rata 1,8. Hal ini berdasarkan kondisi pengujian kontrol regangan, temperatur 20 °C dan frekuensi 10 Hz.

Kata kunci: empiris, fatigue, mekanistik empiris, model keruntuhan, perkerasan lentur

ABSTRACT

There are two approaches known in pavement design principal, empirical pavement design and mechanistic-empirical pavement design. The official guideline for flexible pavement thickness design in Indonesia is generally developed using empirical method based on statistical analysis of pavement performance. While the other is the mechanistic-empirical method. The approach of this method is to identify the basic response of pavement materials such as stress, strain and deformation. The research methodology was performed by laboratory and field testing in order to determine pavement performance due to traffic loads and environmental impact. One of the fatigue models widely adopted in the mechanistic-empirical guideline of pavement design is Shell Formula. In order to determine the compatibility of Shell fatigue models with a typical asphalt mix in Indonesia, a validation was conducted by comparing shell fatigue models and fatigue lab-test results. The fatigue life analysis of lab-test results showed the tendency of a shorter fatigue life compared to Shell method. Based on the testing condition at a temperature of 20 °C, a frequency of 10 Hz and a strain control, the comparison is ranging from 0,8 to 3 with an average of 1,8.

Keywords: empiric, fatigue, mechanistic-empiric, deterioration model, flexible pavement

PENDAHULUAN

Panjang jaringan jalan di Indonesia tahun 2009 sudah mencapai 372.233 km. Dengan aset yang demikian besar maka diperlukan suatu metode perencanaan tebal perkerasan yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan beban lalu-lintas di lapangan serta dapat mengakomodasi perkembangan teknologi bahan perkerasan jalan, agar aset tersebut dapat terjaga dan berfungsi sesuai umur layan.

Metoda perencanaan tebal perkerasan terdiri dari metode perencanaan perkerasan secara empiris dan secara mekanistik empiris. Pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur yang resmi digunakan sebagai pedoman di Indonesia pada umumnya menggunakan pendekatan empiris yang dikembangkan berdasarkan analisis statistik kinerja perkerasan.

Secara sederhana perencanaan tebal perkerasan empiris dikembangkan dengan melakukan observasi kinerja perkerasan pada beberapa kondisi kemudian dibuat suatu korelasi empiris antara tebal perkerasan dengan sifat bahan, beban lalu-lintas dan faktor lingkungan. Kelebihan dari metode ini adalah sifatnya yang sederhana dan mudah untuk digunakan namun demikian pendekatan empiris memiliki keterbatasan yaitu persamaan empiris yang digunakan hanya berlaku untuk kondisi yang serupa dengan kondisi dimana persamaan empiris tersebut dikembangkan. Metode lain untuk perencanaan tebal perkerasan adalah dengan metode mekanistik empiris. Metode ini menggunakan pendekatan respon dasar material perkerasan seperti tegangan, regangan dan deformasi. Beban lalu-lintas dimodelkan pada struktur beberapa lapisan perkerasan dan dihitung respon paling kritis yang terjadi. Respon perkerasan ini selanjutnya dikorelasikan dengan kinerja perkerasan dengan menggunakan model keruntuhan yang biasanya merupakan suatu persamaan empiris. Dari aspek akurasi dan reabilitas pendekatan yang digunakan pada

metode ini lebih baik dibandingkan dengan metode yang lain. Namun metode ini memerlukan pengujian dan perhitungan yang lebih komprehensif. Walaupun pada metode ini masih menggunakan model keruntuhan yang bersifat empiris, namun secara umum pendekatan empiris yang digunakan relatif lebih sedikit dan kecil dibandingkan dengan metode yang lain.

Tulisan ini bertujuan menyajikan hasil penelitian tentang model keruntuhan lapis beraspal dan lapis pondasi untuk mendukung perencanaan perkerasan lentur, terkait dengan isu bahan perkerasan jalan dan faktor pengaruh lingkungan terhadap perkerasan jalan.

KAJIAN PUSTAKA

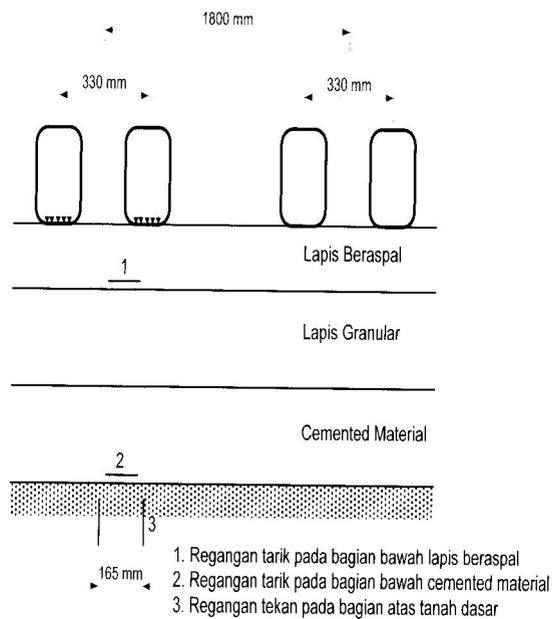
Perancangan perkerasan berbasis mekanistik

Metode perencanaan perkerasan lentur telah berkembang dari waktu ke waktu mulai dari pendekatan yang sangat sederhana hingga pendekatan yang sangat kompleks. Pendekatan perencanaan perkerasan dapat dibagi menjadi empat kategori:

1. Metode perencanaan berdasarkan pengalaman.
2. Metode perencanaan pengujian sederhana.
3. Metode perencanaan berdasarkan evaluasi statistik kinerja perkerasan.
4. Metode perencanaan berdasarkan analisis struktural sistem lapisan perkerasan.

Salah satu metode perencanaan tebal perkerasan yang menggunakan metode analisis struktural sistem lapis perkerasan adalah *Austroad Pavement Structural Design*. (*Austroad* 2010)

Prosedur perencanaan tersebut dikembangkan berdasarkan analisis struktural sistem perkerasan berlapis akibat beban normal lalu-lintas. Lokasi terjadinya regangan kritis dan model struktur perkerasan yang digunakan pada metode *Austroad* 2010 ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model perkerasan pada perencanaan tebal mekanistik (Austroad 2010)

Pada metode *Austroad* 2010 dilakukan beberapa penyederhanaan dan asumsi perhitungan, yaitu:

1. Material perkerasan diasumsikan bersifat homogen, elastis, dan isotropik (kecuali untuk *unbound granular material* dan tanah dasar yang diasumsikan anisotropik).
2. Respon perkerasan akibat beban dihitung dengan pendekatan model linier elastik, seperti model yang digunakan pada perangkat lunak *Circlly*.
3. Kondisi respon perkerasan paling kritis, yang harus diperiksa adalah:
 - a. Pada lapis beraspal: regangan horizontal pada bagian bawah lapisan.
 - b. *Cemented* material: regangan horizontal pada bagian bawah lapisan.
 - c. Tanah dasar dan *selected* material: regangan tekan vertikal pada bagian atas lapisan.
4. Beban sumbu standar terdiri dari sumbu tunggal roda ganda (*dual wheel*) dengan beban 80 kN. Untuk perkerasan lentur, respon paling kritis kemungkinan terjadi pada sumbu vertikal dibawah roda perkerasan bagian dalam atau pada sumbu vertikal dibawah sumbu roda ganda seperti ditampilkan pada Gambar 1.
5. Beban sumbu standar dimodelkan oleh empat beban merata berbentuk lingkaran yang seragam. Dengan jarak antar titik tengah lingkaran beban 330 mm sedangkan

jarak antar sumbu roda ganda adalah 1470 mm.

6. Tegangan kontak diasumsikan seragam seluas tapak roda dimana pada perencanaan diasumsikan besarnya adalah 750 kPa. Sebenarnya tegangan kontak ini besarnya bergantung pada tekanan roda dimana besarnya berkisar antara 500 – 1000 kPa.
7. Asumsi dan pemodelan sesuai Gambar 1 berlaku untuk struktur perkerasan dengan ketebalan lapis beraspal lebih dari 40 mm, untuk tebal dibawah 40 mm perlu dikaji lebih lanjut karena ada kemungkinan regangan kritis tidak terjadi pada lokasi sebagaimana digambarkan pada Gambar 1.

Kelelahan (*fatigue*) pada perkerasan lentur

Ketahanan lelah campuran beraspal adalah salah satu faktor utama yang menyebabkan kegagalan pada struktur perkerasan jalan. Kelelahan (*fatigue*) didefinisikan sebagai retak lelah yang terjadi pada bagian bawah lapisan perkerasan lentur akibat dari beban berulang. (Huang 2012)

SHRP (1990) telah melakukan uji lelah dengan menggunakan beberapa metoda uji dan menyimpulkan bahwa metode yang paling baik (rangking pertama) untuk memperkirakan ketahanan lelah campuran beraspal terhadap beban berulang dengan kondisi sebenarnya di lapangan adalah dengan metode pengujian lentur.

Pada metode pengujian lentur, pembebanan dapat dilakukan dengan tiga titik atau empat titik. Pengujian lentur dengan tiga atau empat titik dapat dilakukan pada kondisi kontrol beban (*stress control*) atau kontrol lendutan (*strain control*). Pada kondisi kontrol beban, beban yang diberikan adalah konstan, besarnya lendutan yang terjadi akibat beban tersebut yang diukur. Sedangkan pada kontrol lendutan, besarnya lendutan maksimum ditetapkan dan besarnya beban yang diperlukan untuk mencapai lendutan maksimum tersebut yang dicatat. (Mallick 2009)

Metode pembebanan yang digunakan tergantung pada tebal perkerasan beraspal di lapangan, untuk perkerasan beraspal yang tebal akan lebih sesuai menggunakan kontrol beban, sementara untuk tebal yang tipis kontrol lendutan akan lebih sesuai. (El-Basyouny *et. al.* 2005)

Banyak faktor yang mempengaruhi umur lelah campuran beraspal. Penggunaan bahan pembentuk campuran beraspal dengan sifat dan jumlah yang berbeda akan menghasilkan umur lelah yang berlainan pula. Selain itu, faktor pengujian juga sangat mempengaruhi umur lelah yang dihasilkan. Faktor pengujian ini antara lain adalah pola pembebanan yang digunakan, kondisi pengujian (kontrol tegangan atau regangan), tingkat tegangan, frekuensi, temperatur dan ukuran benda uji. (Yamin 2004)

Dalam pensimulasian umur kelelahan biasanya dihadapkan pada masalah bagaimana mengkorelasikan umur kelelahan laboratorium dengan kinerja aktualnya di lapangan. Umur kelelahan campuran beraspal yang didapat dari hasil pengujian laboratorium biasanya memberikan perkiraan umur kelelahan yang lebih konservatif. Hal ini mungkin disebabkan karena beban yang diberikan pada campuran beraspal di laboratorium hanya terfokus di satu tempat saja sampai campuran tersebut mencapai kondisi runtuh, sedangkan di lapangan beban lalu-lintas tersebar pada permukaan jalan dalam rentang area yang luas. Alasan lainnya adalah bahwa benda uji yang dipakai di laboratorium cukup kecil dan selain itu bila suatu retak muncul benda uji dinyatakan runtuh, sedangkan di lapangan suatu retak berkembang terlebih dahulu sebelum material beraspal tersebut dinyatakan telah mengalami kegagalan. SHRP 1994 menyebutkan bahwa perkembangan retak, dan simpangan beban lalu lintas (*traffic wander*) memberikan pengaruh yang cukup besar,

Untuk mengkorelasikan hubungan antara umur kelelahan laboratorium dengan lapangan, model umur kelelahan yang didapat dari laboratorium harus dikalibrasi dengan suatu faktor yang didapat dari pengamatan lapangan. Faktor korelasi yang sudah diusulkan oleh para peneliti sebelumnya bervariasi dalam rentang 1 - 400. Besarnya faktor korelasi ini sangat tergantung pada jenis, kondisi dan temperatur pengujian, sifat aspal, jenis pembebanan serta kondisi lapangan yang dijadikan acuan.

Kriteria *fatigue* untuk lapis beraspal yang dikembangkan oleh Shell (1978) adalah:

$$N = RF \left[\frac{6918 * (0,856 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu \epsilon} \right]^5 \dots \dots \dots$$

Keterangan:

N = jumlah repetisi beban yang diizinkan

- $\mu \epsilon$ = regangan tarik akibat beban (mikrostrain)
- V_b = persentase volume bitumen dalam aspal (%)
- S_{mix} = modulus aspal (MPa)
- RF = faktor reliabilitas

Persamaan tersebut dimodifikasi dalam metoda Austroad (2010) dengan menambahkan faktor reliabilitas (RF). Faktor reliabilitas ini merupakan *transfer function* yang mengkorelasikan umur *fatigue* dari pengujian laboratorium dengan prediksi umur *fatigue* lapangan.

Persamaan *fatigue* yang juga umum digunakan adalah sebagai berikut:

$$\dots \dots \dots N_f = f_1 (\epsilon_t)^{-f_2} (E)^{-f_3} N_f = f_1 (\epsilon_t)^{-f_2} (E)^{-f_3} \dots \dots \dots (1)$$

$$N_f = f_1 (\epsilon_t)^{-f_2} (E)^{-f_3}$$

Keterangan:

- N_f = jumlah repetisi beban yang diijinkan
- E = modulus elastisitas campuran beraspal
- ϵ_t = regangan tarik horisontal pada dasar perkerasan beraspal

Menurut Gedafa (2006), faktor f₁, f₂ dan f₃ untuk masing-masing institusi adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta f₁, f₂, f₃ untuk model retak lelah

No.	Distress Model	f ₁	f ₂	f ₃
1.	Asphalt Institute	0,0796	3,291	0,854
2.	Shell	0,0685	5,671	2,363
3.	Belgian RRC	4,92 x 10 ⁻¹⁴	4,76	0
4.	Indian	2,2 x 10 ⁻⁴	3,89	0,854

Salim (2000) melakukan pengukuran lendutan dengan *Falling Weight Deflectometer* pada Jalan Tol Tangerang – Merak Km 56.150 – 59.160 arah Tangerang disertai dengan survai kondisi visual dan survai volume lalu-lintas pada lokasi tersebut. Perhitungan modulus lapis beraspal dilakukan dengan melakukan perhitungan balik (*backcalculation*) menggunakan perangkat lunak *ELMOD* 3.1 dan perhitungan regangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *BISAR*. Hasil yang diperoleh adalah:

Untuk retak yang dimulai dari permukaan jalan persamaan *fatigue* yang diperoleh adalah:

$$\text{Log } N_f = -0,4345 \log \epsilon + 5,0328 \quad (2)$$

(probabilitas 85% batas bawah)

Sedangkan untuk asumsi retak yang dimulai dari bawah lapis permukaan aspal persamaan *fatigue* yang diperoleh adalah:

$$\text{Log } N_f = -0,5672 \log \epsilon + 4,8187 \quad (3)$$

(probabilitas 85% batas bawah)

Dengan koefisien determinasi (R²) berkisar antara 0,5 – 0,6.

Sjahdanulirwan (2010) mengembangkan model persamaan *fatigue* sebagai berikut:

1. Regangan ijin lapisan beraspal

$$N_f = 37,139 \left[\frac{6305(0,856 V_B + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu \epsilon_h} \right]^{4,428}$$

$$N_f = 37,139 \left[\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_h} \right) \right] \left[\frac{6305(0,856 V_B + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu \epsilon_h} \right]^{4,428} \dots (4) \dots$$

2. Regangan ijin tanah dasar

$$\epsilon_v \text{ ijin} = 4 \times 10^7 (\text{CESA})^{-0,664} \dots (5)$$

ϵ_v ijin dalam mikrostrains

Persamaan ini dikembangkan dengan melakukan pengujian *FWD* pada beberapa ruas jalan di wilayah Jawa Barat.

HIPOTESIS

Model *Fatigue Shell* dengan pendekatan mekanistik dapat dikembangkan sebagai model keruntuhan lapis beraspal yang sesuai dengan kondisi Indonesia dengan melakukan evaluasi karakteristik material perkerasan yang ada.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada tahap awal dilakukan kajian pustaka. Kajian pustaka yang dilakukan difokuskan pada literatur mengenai perencanaan tebal lapis perkerasan dengan pendekatan mekanistik empiris. Selanjutnya dilaksanakan pengujian laboratorium mulai dari pengujian mutu bahan baik aspal maupun agregat kemudian dilanjutkan dengan pengujian campuran beraspal antara lain: *Marshall Test*, *UMATTA*, dan Pengujian *Fatigue*.

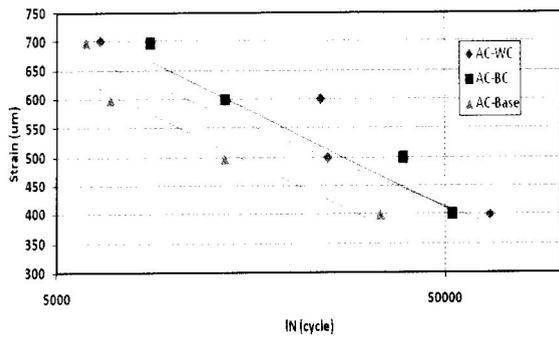
HASIL DAN ANALISIS

Karakteristik Kelelahan Campuran

Untuk melihat karakteristik kelelahan campuran, dilakukan pengujian kelelahan (*fatigue*) dengan menggunakan *four point flexural bending test*. Benda uji yang digunakan berbentuk balok dengan dimensi 380±6 mm x 50±2 mm x 63±2 mm diuji frekuensi beban pengujian 10 Hz dan temperatur pengujian 20 °C. Rangkuman data pengujian ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Rangkuman hasil pengujian kelelahan (*fatigue*)

Jenis Campuran	Tegangan Tarik	Regangan Tarik	Dissipated Energy	Jumlah Siklus
AC-WC	3050	701	4.739	6510
	2522	600	3.331	24080
	2015	500	2.214	25040
	1590	399	1.412	65430
AC-BC	3650	697	5.751	8780
	1959	599	2.551	13710
	2083	499	2.285	39070
	1814	400	1.584	52220
AC-BASE	2883	699	4.416	5980
	2379	599	3.128	6910
	2307	498	2.543	13630
	1696	400	1.495	34120



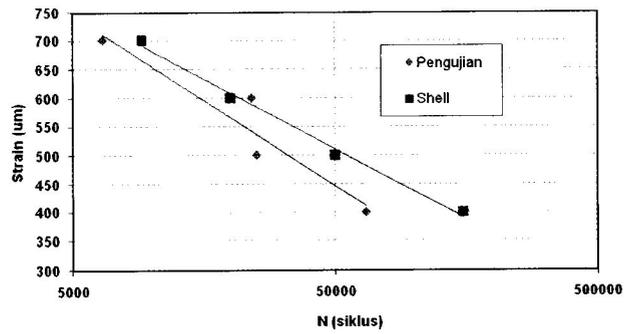
Gambar 2. Grafik hubungan regangan dan jumlah siklus

Salah satu model *fatigue* yang banyak diadopsi dalam pedoman perencanaan perkerasan dengan pendekatan mekanistik adalah Persamaan *Shell*. Persamaan ini dikembangkan oleh *Shell Laboratory* pada tahun 1978 berdasarkan hasil pengujian berbagai tipe campuran beraspal dengan bahan pengikat aspal konvensional. Untuk mengetahui kesesuaian model *fatigue shell* dengan tipikal campuran beraspal di Indonesia maka perlu dilakukan validasi model *fatigue*. Validasi model *fatigue* ini dilakukan dengan membandingkan model *fatigue* tersebut dengan hasil pengujian *fatigue* dari laboratorium.

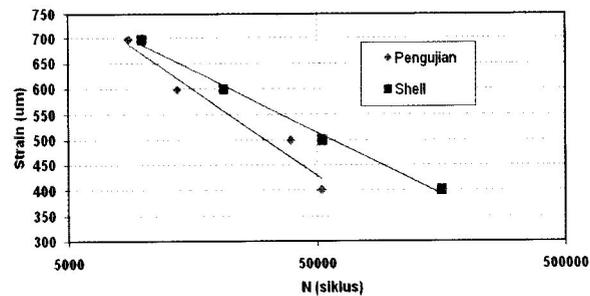
Perbandingan nilai repetisi beban model *fatigue shell* dan hasil pengujian laboratorium ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 3 sampai dengan Gambar 5.

Tabel 3. Perbandingan repetisi beban model *fatigue shell* dan pengujian laboratorium

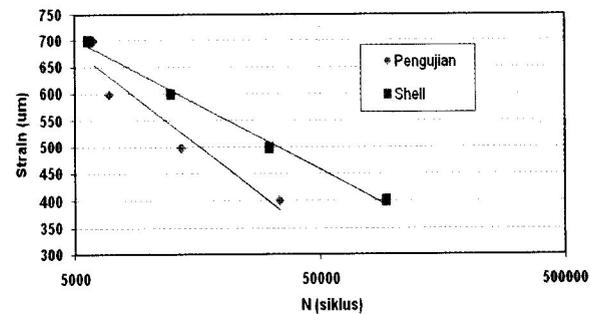
No	Campuran	N _{shell}	N _{pengujian}	Perbandingan	Rata-rata
1	ACWC	9,178	6,510	1.4	1.6
2	ACWC	19,980	24,080	0.8	
3	ACWC	49,716	25,040	2.0	
4	ACWC	153,633	65,430	2.3	
5	ACBC	9,878	8,780	1.1	1.8
6	ACBC	21,072	13,710	1.5	
7	ACBC	52,522	39,070	1.3	
8	ACBC	158,688	52,220	3.0	1.9
9	ACBase	5,705	5,980	1.0	
10	ACBase	12,346	6,910	1.8	
11	ACBase	31,082	13,630	2.3	
12	ACBase	92,972	34,120	2.7	
Min				0.8	
Maks				3.0	
Rata-rata				1.8	



Gambar 3. Perbandingan repetisi beban model *fatigue shell* dan hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACWC



Gambar 4. Perbandingan repetisi beban model *fatigue shell* dan hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACBC



Gambar 5. Perbandingan repetisi beban model *fatigue shell* dan hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACBase

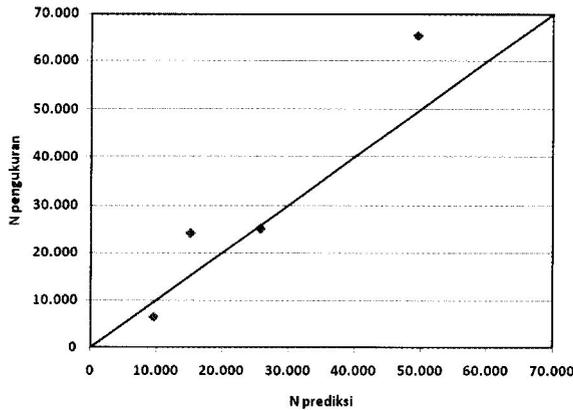
Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil pengujian *fatigue* laboratorium Campuran ACBC, ACWC dan ACBase memberikan nilai yang lebih konservatif dibandingkan dengan Model *Fatigue Shell*. Hal ini terlihat dari grafik yang dihasilkan dari pengujian laboratorium berada di bawah grafik pada Model *Fatigue Shell* dengan rata-rata perbandingan sebesar 1.8 kali.

Dari data hasil pengujian *fatigue* dapat dilakukan prediksi model *fatigue* untuk tiap

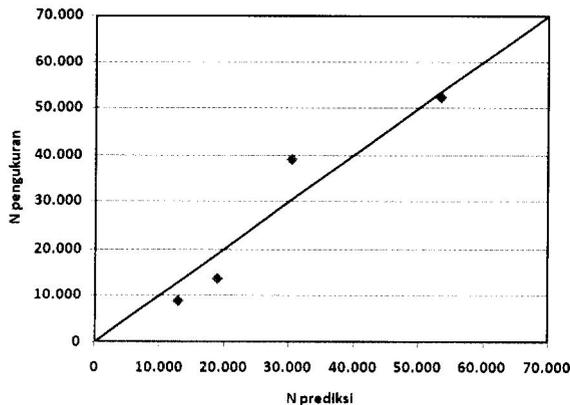
jenis campuran. Prediksi model dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS 19. Hasil yang diperoleh untuk tiap jenis campuran adalah sebagai berikut:

1. Prediksi model kinerja *fatigue ACWC*
 $N_f = 1,191 \times 10^{12} \varepsilon^{-2,843}$ dengan koefisien determinasi (R^2) 0,93
2. Prediksi model kinerja *fatigue ACBC*
 $N_f = 2,416 \times 10^{11} \varepsilon^{-2,558}$ dengan koefisien determinasi (R^2) 0,90
3. Prediksi model kinerja *fatigue ACBase*
 $N_f = 2,163 \times 10^{12} \varepsilon^{-3,012}$ dengan koefisien determinasi (R^2) 0,96

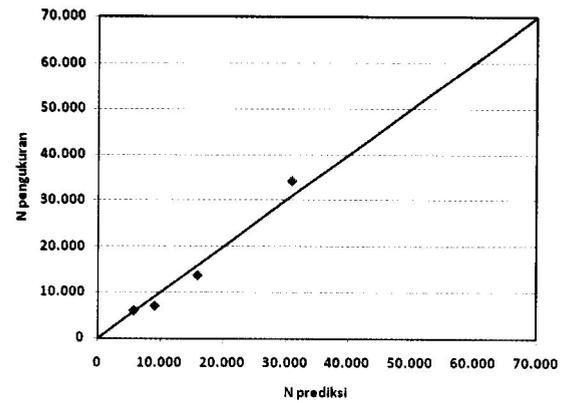
Garis kesamaan prediksi model kinerja *fatigue* tiap jenis campuran beraspal ditampilkan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 8.



Gambar 6. Garis kesamaan prediksi model kinerja *fatigue ACWC*



Gambar 7. Garis kesamaan prediksi model kinerja *fatigue ACBC*



Gambar 8. Garis kesamaan prediksi model kinerja *fatigue ACBase*

PEMBAHASAN

Hasil pengujian kelelahan campuran *ACWC* dengan regangan tarik konstan bervariasi antara 399 sampai dengan 701 $\mu\epsilon$ menghasilkan jumlah siklus hingga mencapai *failure* 6510 – 65430, sedangkan untuk campuran *ACBC* nilai siklus bervariasi antara 8780 – 52220 dan untuk *ACBase* nilai siklus bervariasi antara 5980 – 34120. Campuran *ACBase* cenderung menghasilkan jumlah siklus yang lebih rendah dibandingkan dengan dua campuran lainnya hal ini kemungkinan karena campuran ini memiliki kadar aspal yang lebih rendah dibandingkan *ACBC* atau *ACWC*. Nilai umur leleh *ACBase* yang lebih rendah menunjukkan bahwa, akibat beban lalu lintas retak leleh akan terjadi terlebih dahulu pada lapis *ACBase* dibandingkan lapis *ACBC* atau *ACWC*.

Perbandingan nilai repetisi beban model *fatigue shell* dan hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa hasil pengujian *fatigue* laboratorium cenderung lebih kecil daripada prediksi umur *fatigue* dari model *Shell* dengan perbandingan berkisar antara 0,8 sampai dengan 3 kali dengan rata-rata 1,8. Demikian juga pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 menunjukkan kurva *fatigue* hasil pengujian dibawah kurva *fatigue Shell* terutama untuk nilai regangan rendah dan makin mendekati untuk nilai regangan yang lebih tinggi. Pola ini menunjukkan bahwa jika perancangan tebal perkerasan dilakukan dengan menggunakan model kurva *fatigue shell* maka hasilnya akan sedikit melebihi prediksi (*over predicted*). Model *Shell* dikembangkan dengan menggunakan banyak variasi gradasi campuran dan jenis aspal, hal ini lah kemungkinan yang

menyebabkan perbedaan kurva *Shell* dan hasil pengujian laboratorium.

Dari hasil garis kesamaan prediksi model kinerja *fatigue* yang ditampilkan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 8 terlihat bahwa ketiga model yang diperoleh tidak bias terhadap hasil pengujian *fatigue* laboratorium karena data prediksi tersebar didekat garis kesamaan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari uraian di muka, dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Perbandingan hasil umur *fatigue* dari pengujian *fatigue* laboratorium dan menggunakan pendekatan model *fatigue Shell* menunjukkan bahwa, umur *fatigue* dari hasil pengujian laboratorium cenderung lebih kecil dibandingkan umur *fatigue* metode *Shell*, dengan perbandingan berkisar antara 0,8 sampai dengan 3 dengan rata-rata 1,8. Hal ini berdasarkan kondisi pengujian kontrol regangan, temperatur 20°C dan frekuensi 10 Hz.
2. Prediksi model kinerja *fatigue* untuk *ACWC*, *ACBC* dan *ACBase* tidak bias terhadap hasil pengujian *fatigue* laboratorium hal ini terlihat dari data yang tersebar mendekati garis kesamaan. Model prediksi kinerja *fatigue ACWC*, *ACBC* dan *ACBase* menunjukkan akurasi yang relatif baik dengan koefisien determinasi lebih besar dari 0,9.

Saran

Untuk menggambarkan kinerja *fatigue* lapangan perlu dilakukan kalibrasi antara model *fatigue* laboratorium dan kinerja *fatigue* lapangan, idealnya hal ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas *Accelerated Pavement Test* atau *Long Term Pavement Performance Monitoring*.

DAFTAR PUSTAKA

- AUSTROAD. 2010. *Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design*. Sydney: AUSTROAD Inc.
- Gedafa, Deba S. 2006. "Comparison of Flexible Pavement Performance Using Kenlayer and HDM-4" *Fall Student Conference*. Iowa: Midwest Transportation Consortium.
- El-Basyouni M. and M. Witzak. 2005. *Development of the fatigue Cracking Models for the 2002 Design Guide*. TRR 1919. Washington, DC.: TRB, pp. 77 – 86.
- Huang, Yang H. 2012. *Pavement analysis and design*. 2nd edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Mallick, Rajib B. and Tahar El-Korchi. 2009. *Pavement Engineering, Principles and Practice*. New York: CRC Press
- Mahmud, Salim. 2000. *Pengkajian Kinerja Perkerasan lentur Secara Analitis*. Bandung: Pusjatan.
- Shell. 1978. *Shell Pavement Design Manual*. London: Shell International Petroleum Co.Ltd.
- Transportation Research Board. 1990. *Fatigue Response of Asphalt Mixture*. SHRP. Washington, DC: TRB.
- Transportation Research Board.1994. *Fatigue Response of Asphalt- Aggregate Mixture*. SHRP –A- 404. Washington, DC: TRB.
- Sjahdanulirwan M. 2010. *Kaji ulang perencanaan perkerasan lentur*. Bandung: Pusjatan.
- Yamin, Anwar. 2004. Disertasi Model Konstitutif Parameter mekanistik *Cement Treated Asphalt Mixture* dan Kinerjanya pada Iklim Tropis Indonesia. PhD. Diss. Institut Teknologi Bandung.