Yohanes Ronny P. A

MODEL KERUNTUHAN LAPIS BERASPAL DAN PONDASI

Kondisi jalan di Indonesia memperlihatkan gejala kerusakan yang lebih cepat dari usia pelayanan dan karena pemeliharaan jalan membutuhkan dana yang semakin bertambah setiap tahunnya, maka Pusat Litbang Jalan dan Jembatan melalui kegiatan ini diharapkan dapat menghasilkan suatu kajian terhadap teknologi pemeliharaan jalan untuk perkerasaan lentur. Kegiatan ini dilakukan sebagai bagian dari perencanaan perkerasan lentur. Dari kegiatan ini nantinya diharapkan dapat membantu penyelenggara jaringan jalan dalam melakukan evaluasi kondisi struktural perkerasan lentur.

Naskah ilmiah ini merupakan salah satu kontribusi Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan dalam penyediaan teknologi perancangan perkerasan jalan yang lebih efisien khususnya untuk perkerasan lentur. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para praktisi, akademisi maupun pelaksana lapangan.

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

ISBN: 978-602-8758-66-6

Yohanes Ronny P. A
MODEL KERUNTUHAN LAPIS BERASPAL DAN PONDASI

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

Yohanes Ronny P. A

MODEL KERUNTUHAN LAPIS BERASPAL DAN PONDASI

MODEL KERUNTUHAN LAPIS BERASPAL DAN PONDASI

Yohannes Ronny P.A.

INFORMATIKA
Bandung

PERAWATAN JALAN KERIKIL

Desember, 2011

Cetakan ke-1, 2011, (xii + 36 halaman)

©Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-8758-66-6
Kode Kegiatan : 04-PPK3-01-137-11
Kode Publikasi : IRE-TR-039/ST/2011

Kata Kunci : Model keruntuhan, Kelelahan *(Fatigue), Mekanistik Empiris*

Penulis:
Yohannes Ronny, S.T., M.T.

Editor:
Dr. Djoko Widajat, M.Sc.

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Model Keruntuhan Lapisan Beraspal dan Pondasi

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementrian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun instruksi pemerintah lainnya.

Kementrian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementrian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementrian Pekerjaan. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementrian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:
Penerbit Informatika - Bandung

Pemesanan melalui:
Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc.
4. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.

5. Prof (R) Ir. Lanneke Tristanto, APU
6. Ir. GJW Fernandez
7. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
8. DR. Djoko Widayat, MSc.

SUBTIM TEKNIS:

1. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
2. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
3. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
4. Dr. Djoko Widayat, M.Sc.
5. Ir. Kurniadji, MT.
6. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
7. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.

PUSJATAN

Kata Pengantar

Kondisi jalan di Indonesia memperlihatkan gejala kerusakan yang lebih cepat dari usia pelayanan dan karena pemeliharaan jalan membutuhkan dana yang semakin bertambah setiap tahunnya, maka Pusat Litbang Jalan dan Jembatan melalui kegiatan ini diharapkan dapat menghasilkan suatu kajian terhadap teknologi pemeliharaan jalan untuk perkerasaan lentur. Kegiatan ini dilakukan sebagai bagian dari perencanaan perkerasan lentur. Dari kegiatan ini nantinya diharapkan dapat membantu penyelenggara jaringan jalan dalam melakukan evaluasi kondisi struktural perkerasan lentur,

Naskah ilmiah ini merupakan salah satu kontribusi Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan dalam penyediaan teknologi perancangan perkerasan jalan yang lebih efisien khususnya untuk perkerasan lentur. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para praktisi, akademisi maupun pelaksana lapangan.

Bandung, Desember 2011

PUSJATAN

Daftar Isi

Kata Pengantar ..... **v**
Daftar Isi ..... **vii**
Daftar Tabel ..... **ix**
Daftar Gambar ..... **xi**

BAB 1. Pendahuluan **1**
BAB 2. Kelelahan (*Fatigue*) pada Perkerasan Lentur: **5**
2.1 Umum 5
2.2 Pengujian Kelelahan 7
2.3 Karakteristik Kelelahan pada Perkeraan Lentur 9
2.4 Pengujian Lapangan 13
BAB 3. Model *Fatigue* dan Perancangan Perkerasan **25**
3.1 Model Kelelahan 25
3.2 Perancangan Perkerasan Berbasis Mekanistik 26
BAB 4. Kesimpulan **31**

Daftar Pustaka **33**

PUSJATAN

Daftar Tabel

Tabel 1.	Karakteristik Aspal Keras Pen 60	10
Tabel 2.	Karakteristik Campuran AC-WC.....	10
Tabel 3.	Karakteristik Campuran AC-BC	10
Tabel 4.	Karakteristik Campuran AC-Base.....	11
Tabel 5.	Rangkuman hasil pengujian kelelahan	12
Tabel 6.	Rangkuman hasil survei lalu lintas	15
Tabel 7.	Volume lalu lintas kendaraan Arah Losari.....	16
Tabel 8.	Volume lalu lintas kendaraan Arah Cirebon.....	17
Tabel 9.	Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan Pengujian Laboratorium	18
Tabel 10.	Faktor Reliabilitas untuk *asphalt fatigue*	30
Tabel 11.	Faktor Reliabilitas untuk *asphalt fatigue*	30

PUSJATAN

Daftar Gambar

Gambar 1.	Skema uji kelelahan balok 4 titik.....	8
Gambar 2.	Uji kelelahan balok 4 titik.....	9
Gambar 3.	Grafik hubungan tegangan dan jumlah siklus.....	12
Gambar 4.	Grafik lendutan Ruas Ciamis – Ancol Arah Ciamis	13
Gambar 5.	Grafik lendutan Ruas Ciamis – Ancol Arah Bandung.....	13
Gambar 6.	Grafik persentasi luas retak Ruas Ciamis – Ancol Arah Ciamis	14
Gambar 7.	Grafik persentasi luas retak Ruas Ciamis – Ancol Arah Bandung	14
Gambar 8.	Struktur Perkerasan dari hasil *Test Pit*	16
Gambar 9.	Grafik lendutan Ruas Cirebon – Losari Arah Cirebon....	17
Gambar 10.	Grafik lendutan Ruas Cirebon – Losari Arah Losari.....	18
Gambar 11.	Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan Hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACWC.	19
Gambar 12.	Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan Hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACBC...	20
Gambar 13.	Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan Pengujian laboratorium untuk campuran ACBase.....	20
Gambar 14.	Garis kesamaan prediksi Model Kerja *Fatigue* ACWC...	21

Gambar 15. Garis kesamaan prediksi Model Kinerja Fatigue ACBC . 22
Gambar 16. Garis kesamaan prediksi Model Kinerja Fatigue ACBase 22
Gambar 17. Bagan alir prosedur perencanaan tebal perkerasan Austroad 2010 27
Gambar 18. Model perkerasan pada perencanaan tebal mekanistik Austroad 2010 28

PUSJATAN

1

PENDAHULUAN

Panjang jaringan jalan di Indonesia tahun 2009 sudah mencapai 372.233 km yang meliputi jalan nasional 9,30%, jalan provinsi 13,08% jalan kabupaten/ kota 77,43% dan jalan tol 0,18%. 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.

Pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur yang resmi digunakan sebagai pedoman di Indonesia pada umumnya menggunakan pendekatan empiris yang dikembangkan berdasarkan analisis statistik kinerja perkerasan. Beberapa pedoman perencanaan tebal perkerasan tersebut antara lain:

1. Tata Cara Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisis Komponen (SNI 03-1732-1989)
2. Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Pd T 01-2002-B)
3. Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur Dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B)

Pedoman perencanaan tebal perkerasan tersebut umumnya merupakan adopsi dari pedoman perencanaan dari negara lain namun telah dilakukan penyesuaian dengan kondisi Indonesia pada beberapa parameter perencanaan.

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.

Penelitian model keruntuhan lapis beraspal dan lapis pondasi ini adalah bagian dari *road map* teknologi perkerasan lentur yaitu mendukung perencanaan perkerasan lentur, terkait dengan isu bahan perkerasan jalan dan faktor pengaruh lingkungan terhadap perkerasan jalan.

Kajian perencanaan perkerasan lentur merupakan hal yang sangat penting karena dengan metode perencanaan yang sesuai maka umur layan konstruksi perkerasan lentur dapat dirancang dengan reliabilitas yang tinggi. Dari aspek akurasi dan reliabilitas metode perencanaan perkerasan dengan pendekatan mekanistik empiris mempunyai tingkat akurasi dan reliabilitas lebih tinggi dibandingkan metode yang lain. Salah satu tahapan penting dalam perencanaan perkerasan dengan pendekatan mekanistik empiris adalah mengembangkan model keruntuhan lelah (*fatigue*)

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan model kurva keruntuhan (fa*t*igue) untuk mendukung perencanaan perkerasan dengan pendekatan mekanistik empiris. Untuk mencapai tujuan tersebut ada beberapa sasaran yang akan dicapai yaitu:

1. Tersedianya model keruntuhan lelah (*fatigue*) lapis beraspal skala laboratorium
2. Tersedianya model keruntuhan lelah (*fatigue*) lapis pondasi yang distabilisasi semen skala laboratorium

PUSJATAN

PUSJATAN

2

KELELAHAN (*FATIGUE*) PADA PERKERASAN LENTUR

2.1 Umum

Ketahanan lelah campuran beraspal adalah salah satu faktor utama yang menyebabkan kegagalan pada struktur perkerasan jalan. Agar umur perkerasan sesuai atau mendekati dengan perkiraan umur rencana maka ketahanan campuran terhadap beban berulang harus dimasukkan dalam perencanaan. SHRP (1990) telah melakukan uji lelah dengan menggunakan beberapa metode 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 metoda 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.

Banyak faktor yang mempengaruhi umur lelah campuran beraspal. Penggunaan bahan pembentuk campuran beraspa 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 (Monismith, 1981). 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.

Untuk mengorelasikan 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.

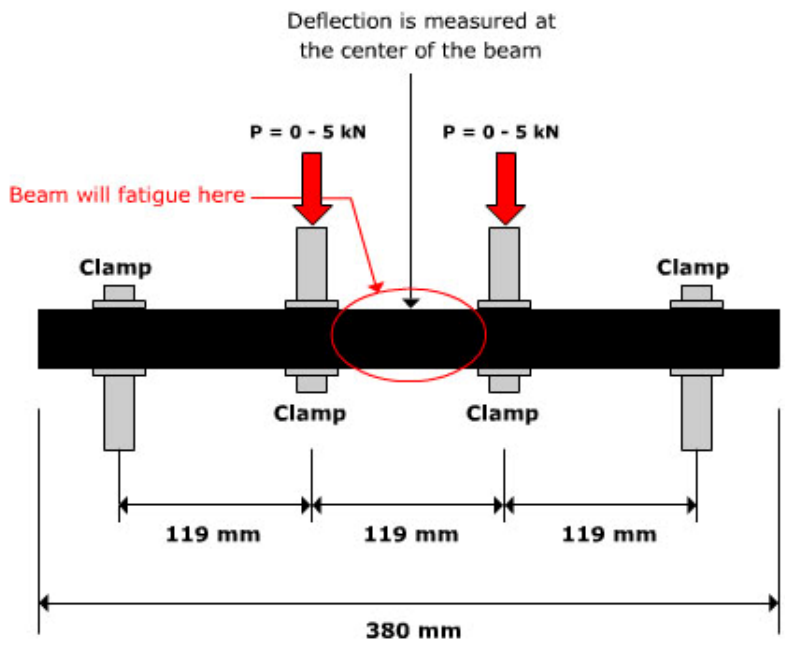
2.2 Pengujian Kelelahan

Ketahanan campuran beraspal terhadap lelah merupakan kemampuan untuk menahan beban lentur berulang tanpa mengalami retak. Kerusakan akibat lelah pada perkerasan beraspal terjadi dalam bentuk retak. Karakteristik lelah pada campuran beraspal pada umumnya dinyatakan dalam bentuk hubungan antara tegangan atau regangan awal (*initial*) dan jumlah repetisi beban hingga mencapai kondisi runtuh (*failure*).

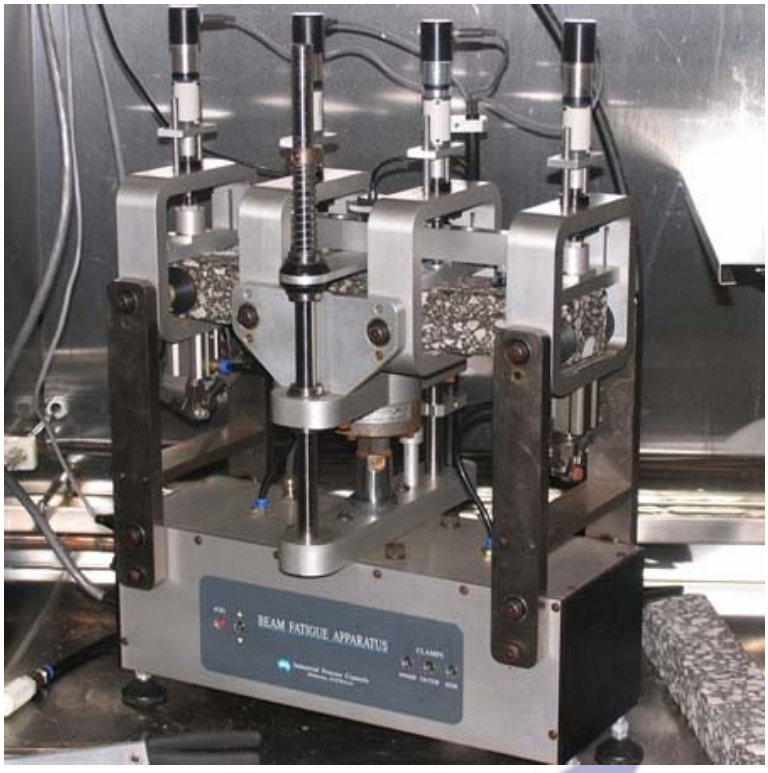
Uji kelelahan balok 4 titik (*four point beam fatigue testing*) merupakan salah satu pengujian untuk menentukan karakteristik umur lelah campuran beraspal panas pada temperatur perkerasan tertentu. Penentuan karakteristik ini sangat bermanfaat karena dapat menghasilkan perkiraan umur lelah (*fatigue life*) akibat beban lalu lintas. Standar pengujian kelelahan yang umum digunakan adalah AASHTO T 321: *Determining the Fatigue Life of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending* atau *ASTM D7460: Standard Testing Method for Determining Fatigue Failure of Compacted Asphalt Concrete Subjected to Repeated Flexural Loading.*

Pengujian kelelahan dilakukan dengan menempatkan contoh uji berupa campuran beraspal panas berbentuk balok pada empat titik beban repetisi. Selama pengujian balok ditopang oleh empat penjepit (clamps). Pada 2 penjepit di bagian dalam diaplikasikan beban repetitif sinusoidal sedangkan dua penjepit pada bagian luar berfungsi sebagai reaksi beban. Frekuensi beban umumnya bervariasi antara 1 sampai dengan 10 Hz. Skema beban ini menghasilkan momen lentur yang konstan pada bagian tengah balok sampel (di antara dua penjepit pada bagian dalam). Lendutan yang terjadi akibat beban diukur pada bagian tengah balok. Jumlah repetisi beban yang terjadi sampai dengan runtuh menunjukkan perkiraan umur lelah campuran beraspal tersebut. Data lain yang diperoleh melalui uji kelelahan adalah d*issipated energy* yaitu energi yang hilang atau berubah ke contoh uji karena pola mekanika, terjadinya panas atau retak pada contoh uji.

Uji kelelahan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu tegangan konstan atau regangan konstan. Pada mode regangan konstan, regangan dijaga konstan sedangkan tegangan bervariasi. Sebaliknya pada mode tegangan konstan, tegangan dijaga tetap sedangkan regangan bervariasi. Pada perkerasan beraspal yang tebal (> 125 mm) perilaku respon perkerasan menyerupai kondisi tegangan konstan sedangkan pada perkerasan yang tipis (< 125 mm) perilaku respon perkerasan menyerupai kondisi regangan konstan. Pola pengujian dengan regangan konstan lebih banyak dipakai karena lebih mencerminkan kondisi lapangan.



Gambar 1. Skema uji kelelahan balok 4 titik



Gambar 2. Uji kelelahan balok 4 titik

2.3 Karakteristik Kelelahan pada Perkerasan Lentur

Untuk keperluan pengujian laboratorium agregat yang digunakan diambil dari Karawang (Jawa Barat) sedangkan Aspal yang digunakan adalah Aspal Keras Pen 60. Data karakteristik aspal ditampilkan pada Tabel 1. Pada kegiatan ini campuran yang akan diuji mencakup 3 jenis campuran beraspal yaitu AC-WC (lapis permukaan), AC-BC (lapis antara) dan AC-Base (lapis pondasi beraspal). Data karakteristik campuran AC-WC, AC-BC dan AC-Base ditampilkan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1. Karakteristik aspal keras Pen 60

No	Jenis pengujian	Satuan	Metode pengujian	Hasil pengujian	Spesifikasi
1.	Penetrasi pada 25oC, 100 gr, 5 dtk	dmm	SNI 06-2456-1991	63,7	60 - 70
2.	Viskositas pada 135oC	cSt	SNI 06-6441-2000	385	
3.	Titik Lembek	°C	SNI 06-2434-1991	49,2	≥ 48
4.	Daktilitas pada 25oC, 5 cm/mnt	cm	SNI 06-2432-1991	≥ 140	≥ 100
5.	Titik Nyala (COC)	°C	SNI 06-2433-1991	310	≥ 232
6.	Kelarutan dalam C2HCL3	%	SNI 06-2438-1991	99,4571	≥ 99
7.	Berat Jenis	-	SNI 06-2441-1991	1,0389	≥ 1,0
8.	Kehilangan Berat (TFOT)	%	SNI 06-2440-1991	0,0135	≤ 0,8
9.	Penetrasi setelah TFOT	%	SNI 06-2456-1991	36,3	≥ 54
10.	Titik Lembek setelah TFOT	°C	SNI 06-2434-1991	52	-
11.	Daktilitas setelah TFOT	cm	SNI 06-2432-1991	> 140	≥ 100
12.	Perkiraan suhu Pencampuran	°C	AASHTO T27-1990	150 - 156	-
13.	Perkiraan suhu Pemadatan	°C	AASHTO T27-1990	140 - 144	-
14.	Uji Bintik dengan Hepthane - Xylene	-	SNI 06-6885-2002	Negatif	Negatif

Tabel 2. Karakteristik Campuran AC-WC

No	Parameter Marshall	Hasil pengujian	Persyaratan	Satuan
1	Kadar aspal optimum	5.65	-	%
2	Kepadatan	2.362	-	gr/cc
3	Prosen rongga terisi aspal	71.69	min 65	%
4	Prosen rongga dalam campuran (marshall)	4.74	3,5 - 5,5	%
5	Prosen rongga diantara agregat	16.5	min 15	%
6	Prosen rongga dalam campuran (PRD)	2.8	min 2,5	%
7	Stabilitas	1263	min 800	kg
8	Kelelehan	3.08	min 3	mm
9	Hasil bagi Marshall	410	min 250	kg/mm
10	Stabilitas sisa	90.7		%
11	Tebal film aspal	7.7	-	micron

Tabel 3. Karakteristik Campuran AC-BC

No	Parameter Marshall	Hasil pengujian	Persyaratan	Satuan
1	Kadar aspal optimum	5.40	-	%
2	Kepadatan	2.379	-	gr/cc
3	Prosen rongga terisi aspal	67.54	min 63	%

No	Parameter Marshall	Hasil pengujian	Persyaratan	Satuan
4	Prosen rongga dalam campuran (marshall)	5.11	3,5 - 5,5	%
5	Prosen rongga diantara agregat	15.7	min 14	%
6	Prosen rongga dalam campuran (PRD)	2.8	min 2,5	%
7	Stabilitas	1344	min 800	kg
8	Kelelehan	3.20	min 3	mm
9	Hasil bagi Marshall	421	min 250	kg/mm
10	Stabilitas sisa	90.0		%
11	Tebal film aspal	7.7	-	micron

Tabel 4. Karakteristik campuran AC-Base

No	Parameter Marshall	Hasil pengujian	Persyaratan	Satuan
1	Kadar aspal optimum	5.10	-	%
2	Kepadatan	2.406	-	gr/cc
3	Prosen rongga terisi aspal	68.32	min 60	%
4	Prosen rongga dalam campuran (marshall)	4.59	3,5 - 5,5	%
5	Prosen rongga diantara agregat	14.4	min 13	%
6	Prosen rongga dalam campuran (PRD)	3.2	min 2,5	%
7	Stabilitas	3165	min 1500	kg
8	Kelelehan	6.19	min 5	mm
9	Hasil bagi Marshall	565	min 300	kg/mm
10	Stabilitas sisa	93.0		%
11	Tebal film aspal	8.1	-	micron

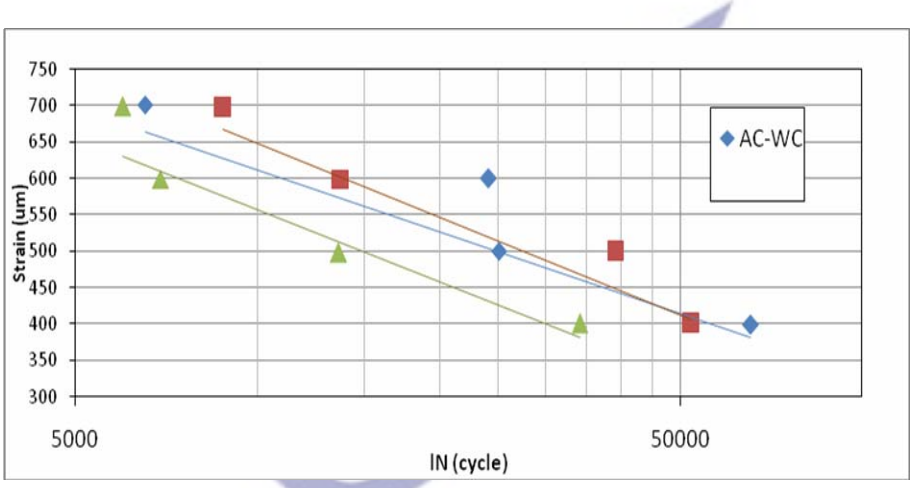
Dari Tabel 1 terlihat bahwa aspal keras Pen 60 yang digunakan memenuhi persyaratan aspal Ditjen Bina Marga. Sedangkan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 4 terlihat bahwa campuran yang digunakan memenuhi persyaratan campuran dalam spesifikasi campuran beraspal panas Ditjen Bina Marga.

Untuk melihat karakteristik kelelahan campuran, dilakukan pengujian kelelahan (*fatigue*) dengan menggunakan *four point flexural bending test* ,

benda uji 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 5 dan Gambar 3.

Tabel 5. Rangkuman hasil pengujian kelelahan

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

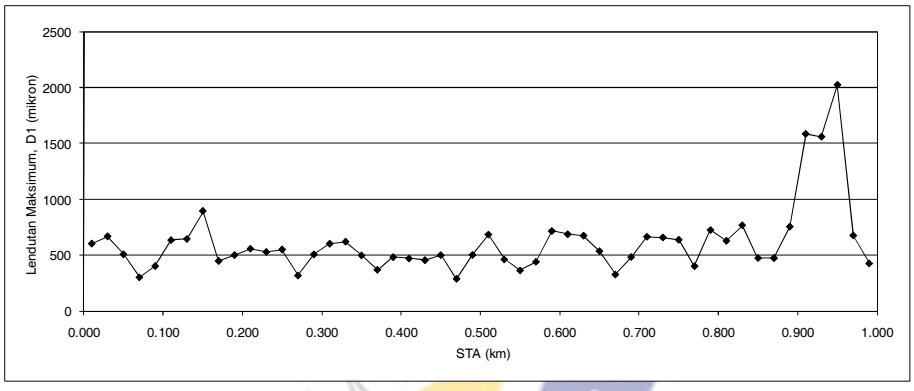


Gambar 3. Grafik hubungan tegangan dan jumlah siklus

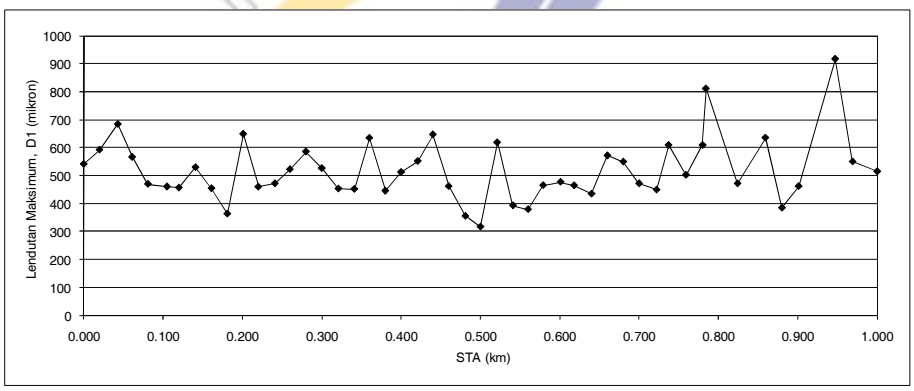
2.4 Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan dilakukan pada Ruas Ciamis – Ancol. Seksi percobaan merupakan perkerasan lentur dengan panjang seksi percobaan 1 km yang dibagi-bagi lagi menjadi subseksi percobaan dengan panjang 20 m.

Pada ruas percobaan ini dilakukan pengujian lendutan dengan menggunakan *Falling Weight Deflectometer*, beban yang digunakan adalah 580 kPa, pengujian dilakukan tiap interval 20 m untuk dua arah. Grafik lendutan maksimum (d_1) tiap titik pengujian ditampilkan pada Gambar 4 dan 5.

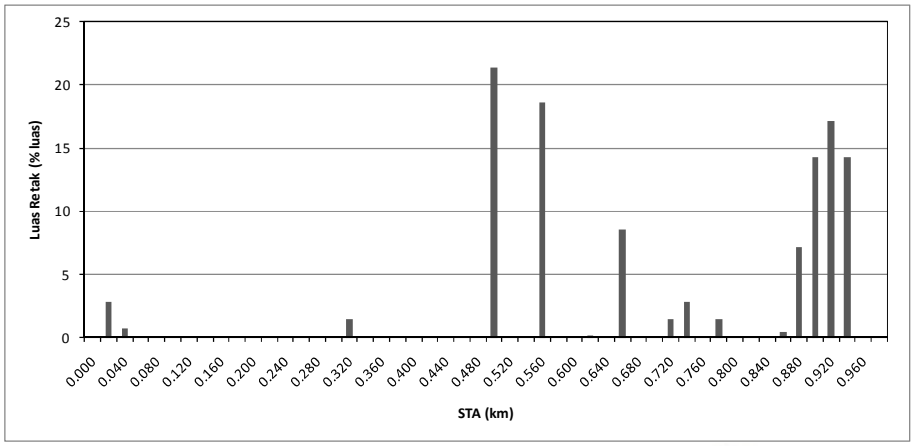


Gambar 4. Grafik lendutan Ruas Ciamis – Ancol Arah Ciamis

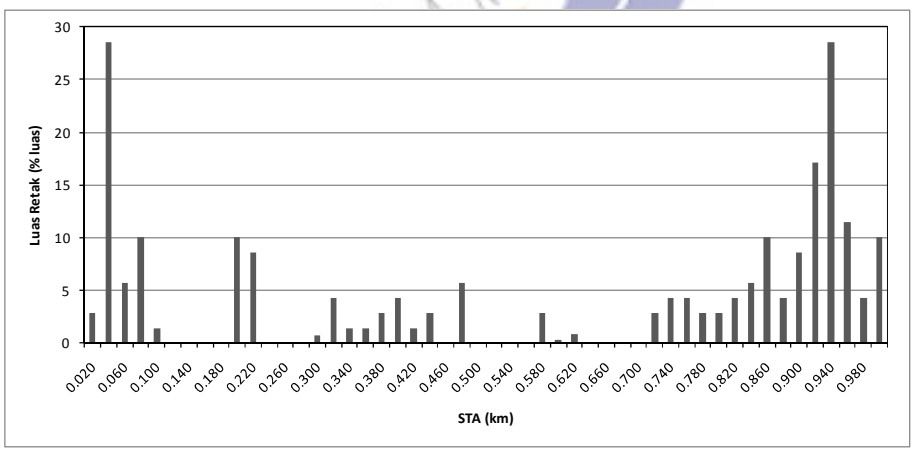


Gambar 5. Grafik lendutan Ruas Ciamis – Ancol Arah Bandung

Selain pengujian lendutan dilakukan juga survai kondisi visual untuk mengetahui kondisi kerusakan pada permukaan perkerasan. Survei dilakukan secara manual, dan pencatatan kerusakan permukaan dilakukan tiap interval 20 m untuk kedua arah. Grafik persentase luas retak tiap interval.



Gambar 6. Grafik persentase luas retak Ruas Ciamis – Ancol Arah Ciamis



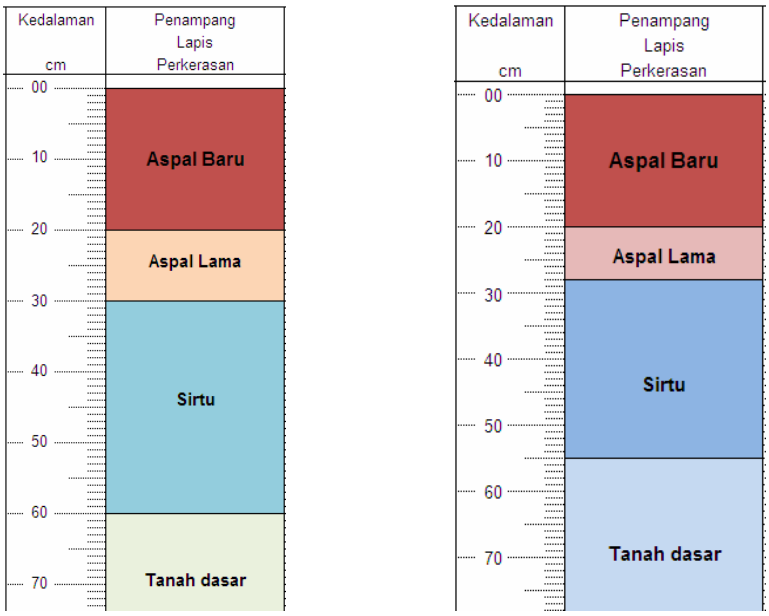
Gambar 7. Grafik persentase luas retak Ruas Ciamis – Ancol Arah Bandung

Untuk mengetahui perkiraan volume lalu lintas dan jenis kendaraan pada Ruas Ciamis – Ancol maka dilakukan survai volume lalu lintas selama 3 x 24 jam. Rangkuman hasil survei lalu lintas ditampilkan pada pada Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman hasil survei lalu lintas

ARAH CIAMIS										
TANGGAL	**LAU LINTAS HARIAN RATA-RATA / GOLONGAN (kendaraan)**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
11 - 12 JULI 2011	3074	1004	187	84	6	2	1	2	2	275
12 - 13 JULI 2011	3037	1009	93	96	3	5	0	6	10	286
13 - 14 JULI 2011	3001	951	110	97	5	2	1	16	15	308
JUMLAH	9112	2964	390	277	14	9	2	24	27	869
JUMLAH LHR RATA2	3037	988	130	92	5	3	1	8	9	290
ARAH BANDUNG										
TANGGAL	**LAU LINTAS HARIAN RATA-RATA / GOLONGAN (kendaraan)**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
11 - 12 JULI 2011	140	34	3	4	0	0	0	0	0	16
12 - 13 JULI 2011	130	29	4	8	0	0	0	1	1	15
13 - 14 JULI 2011	9112	2964	390	277	14	9	2	24	27	869
JUMLAH	9382	3027	397	289	14	9	2	25	28	900
JUMLAH LHR RATA2	3127	1009	132	96	5	3	1	8	9	300

Test Pit dilakukan untuk mengetahui jenis dan tebal tiap lapisan dalam struktur perkerasan lentur. *Test Pit* dilakukan pada 2 lokasi, rangkuman data *Test Pit* ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Struktur Perkerasan dari Hasil *Test Pit*

Selain Ruas Ciamis – Ancol, pengambilan data lapangan dilakukan juga pada Ruas Cirebon Losari Km 27.400 - 28.600. Lokasi ini dipilih dengan pertimbangan bahwa pada ruas ini telah dilakukan monitoring kondisi perkerasan antara tahun 2007 – 2010. Data lalu lintas ruas Cirebon – Losari ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8. Sedangkan grafik lendutan ditampilkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.

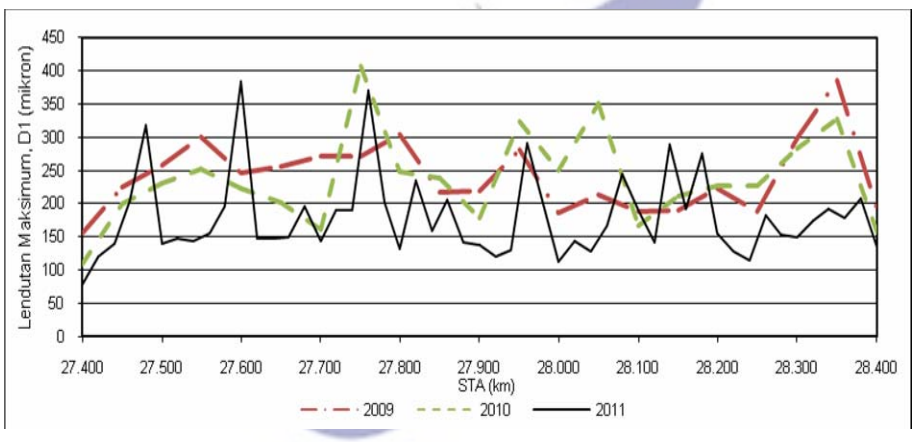
Tabel 7. Volume lalu lintas kendaraan Arah Losari

KELAS KENDARAAN	VOLUME LALU LINTAS KENDARAAN (kend/hari)				
	2007	2008	2009	2010	2011
1	5792	3959	4585	2287	1926
2	2979	983	2869	2190.5	2609
3	1	3126	1254	739.5	1183
4	2428	1509	1480	1196.5	1205
5	945	0	73	159.5	201
6	3006	1007	556	478	496
7	1451	0	71	77	194

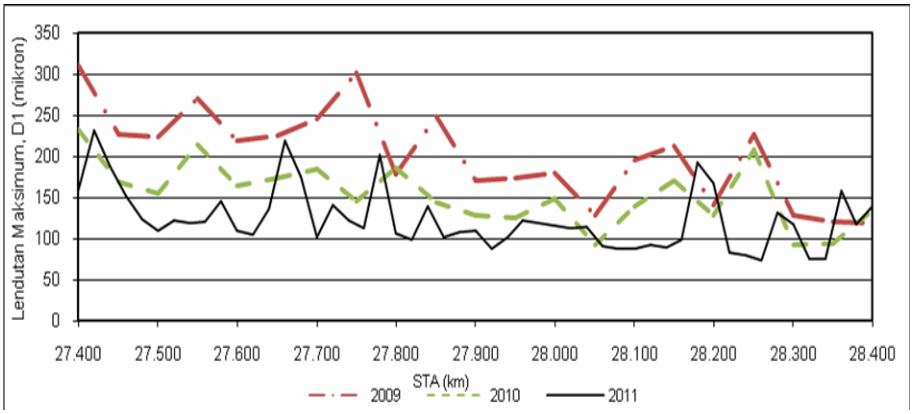
KELAS KENDARAAN	VOLUME LALU LINTAS KENDARAAN (kend/hari)				
	2007	2008	2009	2010	2011
8	968	0	286	173.5	191
9		0	231	219.5	196
10		2525	1457	707	967
	17570	13109	12864	8228	9169

Tabel 8. Volume lalu lintas kendaraan Arah Cirebon

KELAS KENDARAAN	VOLUME LALU LINTAS KENDARAAN (kend/hari)				
	2007	2008	2009	2010	2011
1	3959	3959	3582	1973	2536
2	983	983	3111	1875	3299
3	3126	3126	1028	760	1196
4	1509	1509	1425	1238	1487
5	0	0	114	119	181
6	1007	1007	505	474	504
7	0	0	46	57	109
8	0	0	226	208	206
9	0	0	190	233	205
10	2525	2525	1406	622	954
	13109	13109	11634	7558	10676



Gambar 9. Grafik lendutan Ruas Cirebon – Losari Arah Cirebon



Gambar 10. Grafik lendutan Ruas Cirebon – Losari Arah Losari

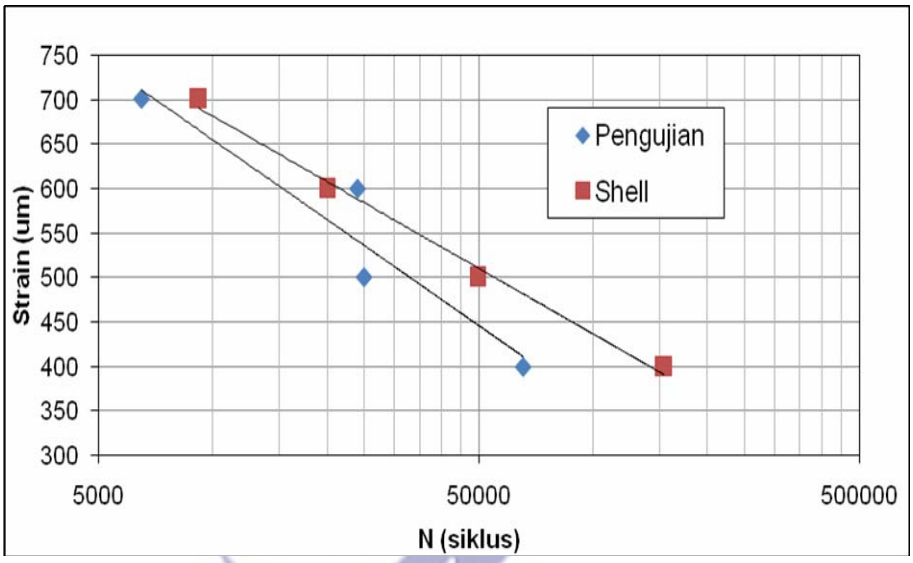
Salah satu model fatigue yang banyak diadopsi dalam pedoman perencanaan perkerasan dengan pendekatan mekanistik empiris adalah Persamaan *Shell*. Persamaan ini dikembangkan oleh *Shell Laboratory* pada tahun 1978. Persamaan ini dikembangkan dari hasil pengujian berbagai tipe campuran beraspal dengan 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 9 dan Gambar 11 sampai dengan Gambar 13.

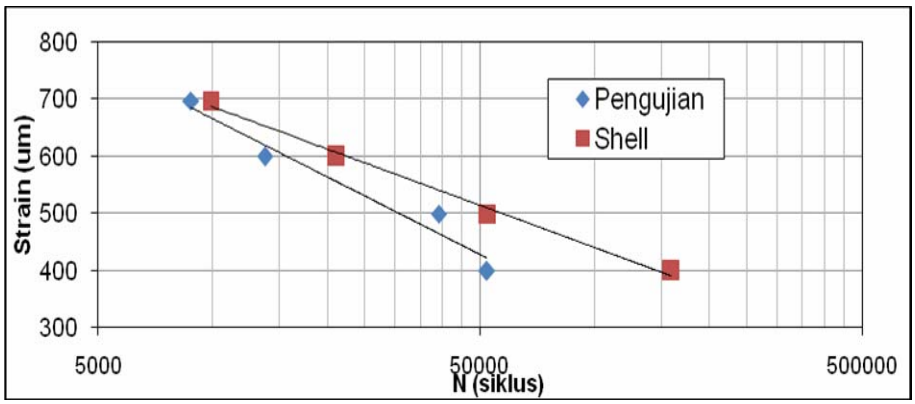
Tabel 9. Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan pengujian laboratorium

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	

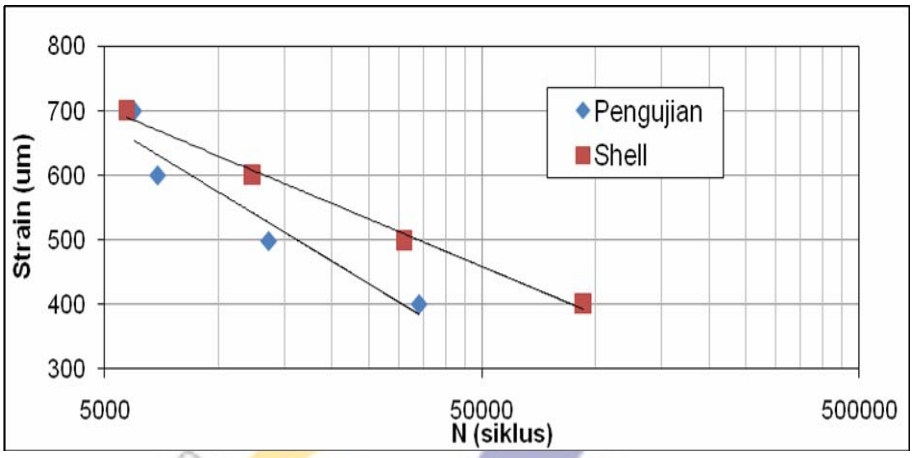
No	Campuran	N_{shell}	$N_{pengujian}$	Perbandingan	Rata-rata
5	ACBC	9,878	8,780	1.1	1.8
6	ACBC	21,072	13,710	1.5	
7	ACBC	52,522	39,070	1.3	
8	ACBC	158,688	52,220	3.0	
9	ACBase	5,705	5,980	1.0	1.9
10	ACBase	12,346	6,910	1.8	
11	ACBase	31,082	13,630	2.3	
12	ACBase	92,972	34,120	2.7	
Min				0.8	
Maks				3.0	
Rata-rata				1.8	



Gambar 11. Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACWC



Gambar 12. Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACBC



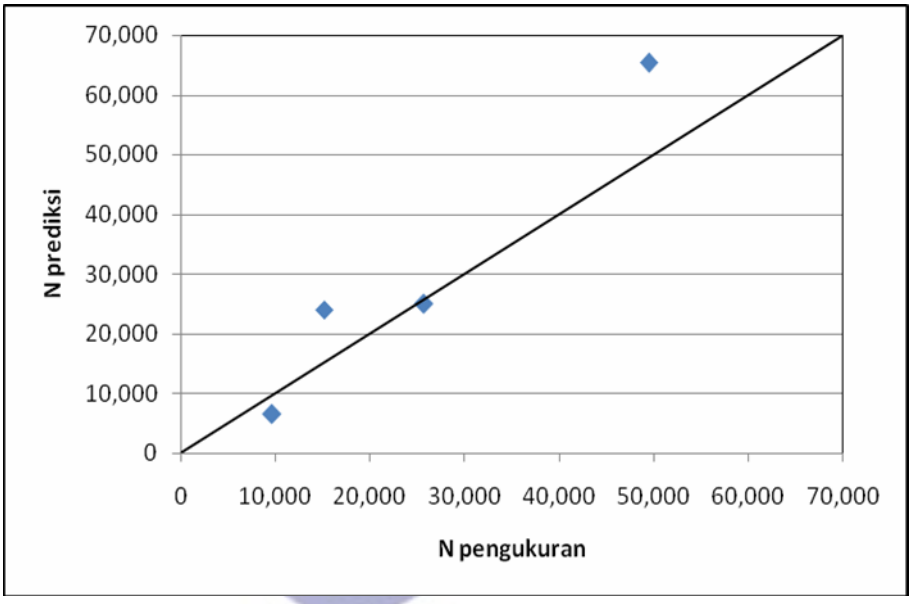
Gambar 13. Perbandingan repetisi beban Model *Fatigue Shell* dan hasil pengujian laboratorium untuk campuran ACBase

Tabel 9 dan Gambar 11 sampai dengan Gambar 13 terlihat 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.

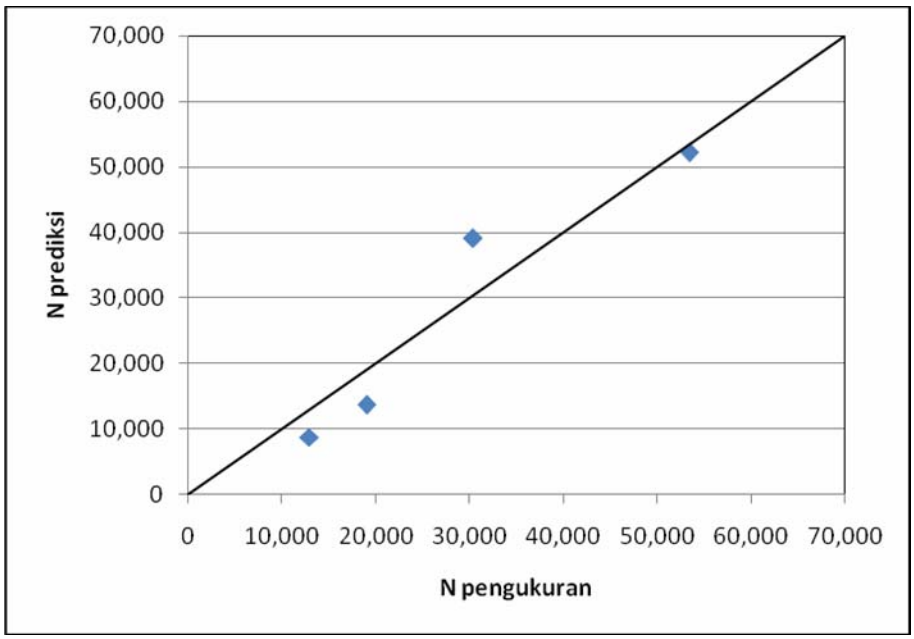
Dari data hasil pengujian *fatigue* dapat dilakukan prediksi model *fatigue* untuk tiap jenis campuran. Prediksi model dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS 19. Hasil yang diperoleh untuk tiap jenis campuran adalah sebagai berikut:

- Prediksi model kinerja fatigue ACWC
  $N_f = 1.191x10^{12}\ \varepsilon_t^{-2.843}$ dengan koefisien determinasi (R^2) 0,93
- Prediksi model kinerja fatigue ACBC
  $N_f = 2,416x10^{11}\ \varepsilon_t^{-2.558}$ dengan koefisien determinasi (R^2) 0,90
- Prediksi model kinerja fatigue ACBase
  $N_f = 2,163x10^{12}\ \varepsilon_t^{-3,012}$ dengan koefisien determinasi (R^2) 0,96

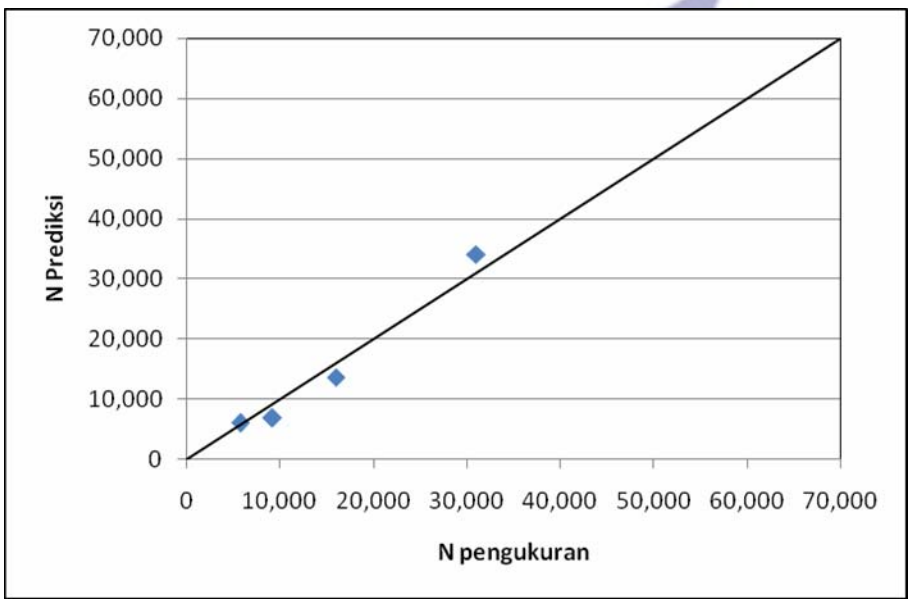
Garis kesamaan prediksi model kinerja *fatigue* tiap jenis campuran beraspal ditampilkan pada Gambar 14 sampai dengan Gambar 16.



Gambar 14. Garis kesamaan prediksi Model Kinerja *Fatigue* ACWC



Gambar 15. Garis kesamaan prediksi Model Kinerja *Fatigue* ACBC



Gambar 16. Garis kesamaan prediksi Model Kinerja *Fatigue* ACBase

Dari Gambar 14 sampai dengan Gambar 16 terlihat bahwa ketiga model yang diperoleh tidak bias terhadap hasil pengujian *fatigue* laboratorium karena data prediksi tersebar didekat garis kesamaan.

PUSJATAN

PUSJATAN

3

MODEL *FATIGUE* DAN PERANCANGAN PERKERASAN

3.1 Model Kelelahan

Mahmud (2000) melakukan pengukuran lendutan dengan *Falling Weight Deflectometer* pada Jalan Tol Tangerang – Merak Km 56.150 – 59.160 arah Tangerang disertai dengan Survei 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:
Log Nf = - 0,4345 logε + 5,0328 (probabilitas 85% batas bawah)

Sedangkan untuk asumsi retak yang dimulai dari bawah lapis permukaan aspal persamaan fatigue yang diperoleh adalah:
Log Nf = -0,5672 logε + 4,8187 (probabilitas 85% batas bawah)

Dengan koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0,5 – 0,6

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

- Regangan izin lapisan beraspal

$$N_f = 37{,}139 \left[\frac{6305\left(0.856\ V_B + 1.08\right)}{S_{mix}^{\ 0.36}\ \mu\ \varepsilon_h} \right]^{4{,}428}$$

- Regangan izin tanah dasar

  $\varepsilon_{v\ ijin} = 4 \times 10^7\ (CESA)^{-0{,}664}$; $\varepsilon_{v\ ijin}$ dalam mikrostrains

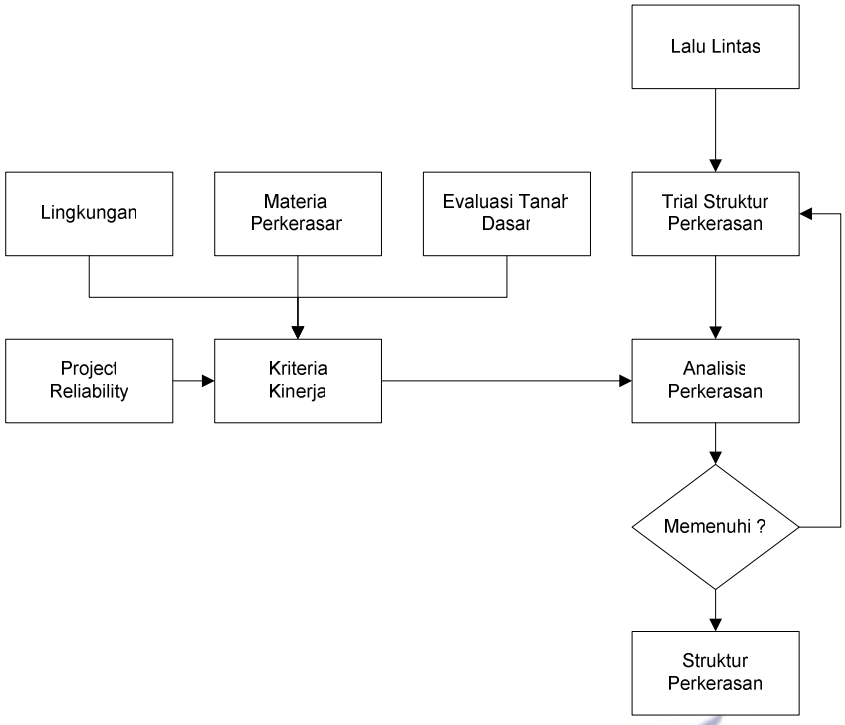
Persamaan ini dikembangkan dengan melakukan pengujian FWD pada beberapa ruas jalan di wilayah Jawa Barat.

3.2 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:

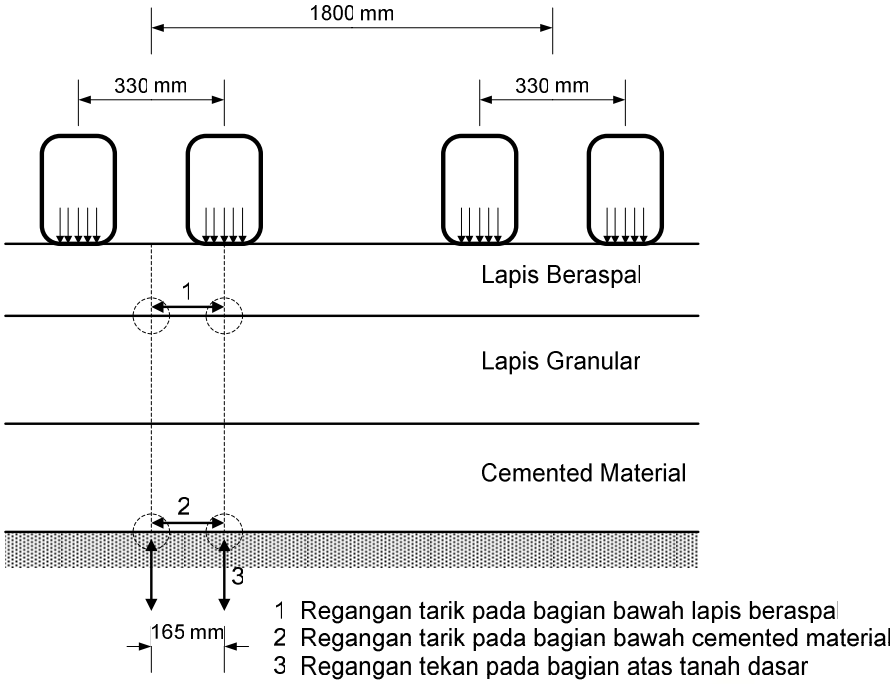
a. Metode perencanaan berdasarkan pengalaman
b. Metode perencanaan pengujian sederhana
c. Metode perencanaan berdasarkan evaluasi statistik kinerja perkerasan
d. Metode perencanaan berdasarkan analisis struktural sistem lapisan perkerasan

Salah satu metode perencanaan tebal perkerasan yang menggunakan metode analisis struktural sistem lapis perkerasan adalah *Austroad Pavement Structural Design* (Austroad, 2010). Secara singkat langkah perhitungan pada metode perencanaan tebal perkerasan ini ditampilkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Bagan alir prosedur perencanaan tebal perkerasan 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 18.



Gambar 18. 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, elastik 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 Circly.
3. Kondisi respon perkerasan paling kritis, yang harus diperiksa adalah:
   - Pada lapis beraspal: regangan horizontal pada bagian bawah lapisan
   - Cemented material: regangan horizontal pada bagian bawah lapisan
   - 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 di bawah roda perkerasan bagian dalam atau pada sumbu vertikal di bawah sumbu roda ganda seperti ditampilkan pada Gambar 18..
5. Beban sumbu standar dimodelkan oleh empat beban merata berbentuk lingkaran yang seragam. Dengan jarak antartitik 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 di mana besarnya berkisar antara 500 – 1000 kPa.
7. Asumsi dan pemodelan sesuai Gambar 18 berlaku untuk struktur perkerasan dengan ketebalan lapis beraspal lebih dari 40 mm, untuk tebal di bawah 40 mm perlu dikaji lebih lanjut karena ada kemungkinan regangan kritis tidak terjadi pada lokasi sebagaimana digambarkan pada Gambar 18.

Kriteria *fatigue* untuk lapis beraspal yang digunakan pada metode *Austroad* mengacu pada persamaan *fatigue* yang dikembangkan oleh Shell yang dimodifikasi dengan menambahkan faktor reliabilitas. Faktor reliabilitas ini merupakan transfer *function* yang mengorelasikan umur *fatigue* dari pengujian laboratorium dengan prediksi umur *fatigue* lapangan.

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

Keterangan:

N = jumlah repetisi beban yang diizinkan

$\mu\varepsilon$ = regangan tarik akibat beban (mikrostrain)

V_b = persentase volume bitumen dalam aspal (%)

S_{mix} = modulus aspal (MPa)

RF = faktor reliabilitas

Tabel 10. Faktor Reliabilitas untuk *asphalt fatigue*

Reliabilitas				
80%	85%	90%	95%	97,5%
2,5	2,0	1,5	1,0	0,67

Sedangkan untuk *cemented material* kriteria *fatigue* mengacu pada persamaan *fatigue* yang dikembangkan dengan menggunakan *Accelerated Loading Facility*.

$$\left(\frac{\frac{113000}{E^{0,804}} + 191}{\mu\varepsilon}\right]^{12}$$

Keterangan:

N = jumlah repetisi beban yang diizinkan

$\mu\varepsilon$ = regangan tarik akibat beban (mikrostrain)

E = *modulus cemented material* (MPa)

RF = faktor reliabilitas

Tabel 11. Faktor Reliabilitas untuk *asphalt fatigue*

Reliabilitas				
80%	85%	90%	95%	97,5%
4,7	3,3	2,0	1,0	0,5

Persamaan *fatigue* untuk *cemented material* tersebut *valid* untuk *cemented material* yang memiliki modulus antara 2000 sampai dengan 10.000 MPa

4

KESIMPULAN

- 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 *frequency* 10 Hz.

- 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.

PUSJATAN

DAFTAR PUSTAKA

PUSJATAN

PUSJATAN

CATATAN

PUSJATAN

CATATAN

PUSJATAN