

KAJIAN EKSPERIMENTAL UMUR LELAH CAMPURAN BERASPAL DI INDONESIA DENGAN ALAT *FOUR-POINT LOADING*

Tilaka Wasanta

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha No. 10, Bandung
tilakaw@gmail.com

Bambang Sugeng Subagio

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha No. 10, Bandung
sonyssh@gmail.com

Sony Sulaksono Wibowo

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha No. 10, Bandung
bssubagio@yahoo.com

Eri Susanto Hariyadi

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha No. 10, Bandung
erisdi@yahoo.com

Abstract

Fatigue cracking is the most dominant type of distress in flexible pavements. In this research, an experimental study was conducted to determine the fatigue life and flexural stiffness curves for several types of asphalt mixtures commonly used in Indonesia, namely Asphalt Concrete Wearing Course, Hot Rolled Sheet, and Stone Mastic Asphalt. The fatigue life test was carried out using a four-point loading device with strain control. This study shows that the asphalt content for Asphalt Concrete Wearing Course mixture is in the range of 5.63% to 6.50%, for Hot Rolled Sheet mixture is in the range of 7.40% to 8.49%, and for Stone Mastic Asphalt mixture is the range of 6.60% to 7.31%. This study also produced a fatigue curve, with the higher the strain applied to the flexible pavement, the shorter the fatigue life of the flexible pavement, and vice versa.

Keywords: flexible pavement; asphalt mixture; fatigue life; four-point loading

Abstrak

Retak lelah merupakan jenis kerusakan yang paling dominan pada perkerasan lentur. Pada penelitian ini dilakukan kajian eksperimental untuk menentukan umur lelah dan kurva kekakuan lentur pada beberapa jenis campuran beraspal yang umum digunakan di Indonesia, yaitu *Asphalt Concrete Wearing Course*, *Hot Rolled Sheet*, dan *Stone Mastic Asphalt*. Pengujian umur lelah dilakukan dengan menggunakan alat *four-point loading* dengan kontrol regangan. Studi ini menunjukkan bahwa kadar aspal untuk campuran Asphalt Concrete Wearing Course berada pada rentang 5,63% hingga 6,50%, untuk campuran Hot Rolled Sheet berada pada rentang 7,40% hingga 8,49%, dan untuk campuran Stone Mastic Asphalt berada pada rentang 6,60% hingga 7,31%. Pada studi ini juga dihasilkan kurva umur lelah, dengan semakin tinggi regangan yang diberikan pada perkerasan lentur, semakin pendek umur lelah perkerasan lentur tersebut, demikian pula sebaliknya.

Kata-kata kunci: perkerasan lentur; campuran beraspal; umur lelah; pengujian empat titik

PENDAHULUAN

Terdapat berbagai jenis-jenis kerusakan pada perkerasan lentur, seperti *alligator cracking*, *bleeding*, *corrugation*, *polished aggregate*, *weathering*, dan *raveling* (ASTM, 2007). Pada berbagai jenis kerusakan pada perkerasan lentur, retak lelah merupakan jenis kerusakan yang utama (Xiao et al., 2009). Retak lelah adalah suatu bentuk kerusakan yang menyempurnai kulit buaya yang menutupi sebagian atau sebagian besar jalan, atau pola yang menyeru-

pai retakan memanjang pada arah lalu lintas, terutama pada jalur roda (Kim et al., 2011). Terdapat 2 jenis retak leleh, yaitu retak bawah ke atas, atau disebut retak buaya, dan retak atas ke bawah, atau disebut retak memanjang.

Model analisis untuk memprediksi retak leleh yang akurat merupakan hal yang sangat penting untuk mendapatkan desain perkerasan yang *cost-effective* (Wen dan Li, 2013). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kajian eksperimental yang berkaitan dengan kadar aspal optimum, mendapatkan hasil pengujian umur leleh, dan mendapatkan kurva hubungan kekakuan lentur dengan umur leleh pada berbagai jenis campuran beraspal yang biasa digunakan di Indonesia.

Berdasarkan tipe gradasinya, terdapat 3 jenis campuran beraspal yang umum digunakan di Indonesia menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, yaitu *Asphalt Concrete (AC)*, *Hot Rolled Sheet (HRS)*, dan *Stone Mastic Asphalt (SMA)*. Tipe campuran beraspal tipe AC menggunakan gradasi menerus dan menggunakan prinsip *interlocking* (Subagio et al., 2022), sedangkan campuran beraspal tipe HRS menggunakan gradasi senjang (Fang et al., 2018; Subagio et al., 2005) dan campuran beraspal tipe SMA menggunakan prinsip *stone-to-stone contact* (Jiang et al., 2020).

PENYIAPAN BAHAN DAN PENGUJIAN

Penelitian ini dimulai dengan menyiapkan bahan-bahan yang digunakan untuk membuat spesimen campuran beraspal, sebelum dilakukan uji umur leleh (*fatigue life*) di laboratorium. Bahan-bahan yang disiapkan adalah aspal dan agregat, yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Agregat disiapkan dan disaring untuk masing-masing ukuran ayakan, mulai dari ukuran terbesar, yaitu 37,5 mm, hingga ukuran terkecil, yaitu 0,075 mm. Pada penelitian ini digunakan 3 jenis campuran beraspal yang umum digunakan di Indonesia untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, yaitu AC Wearing Course (ACWC), HRS, dan SMA. Batas-batas gradasi agregat untuk campuran beraspal tersebut disajikan pada Tabel 1.

Sebelum benda uji dibuat, beberapa pengujian dasar perlu dilakukan pada bahan-bahan yang akan digunakan. Beberapa pengujian dasar yang dilakukan mencakup pengujian berat jenis agregat halus, pengujian berat jenis agregat kasar, dan pengujian karakteristik aspal. Hasil pengujian berat jenis terhadap agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Berdasarkan hasil uji terhadap 2 sampel, baik agregat halus maupun agregat kasar dinyatakan dapat diterima, karena memenuhi kriteria yang disyaratkan, yaitu penyerapan maksimal 2% untuk SMA dan 3% untuk HRS dan AC. Berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan agregat halus juga telah memenuhi syarat, dengan maksimum deviasi tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

Aspal yang digunakan pada studi ini adalah aspal produksi Pertamina, dengan jenis PEN 60/70. Hasil pengujian karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi.

Setelah pengujian dasar dilakukan, dilakukan analisis gradasi campuran beraspal dan penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan alat Marshall. Analisis dan pengujian dilakukan terhadap 3 jenis campuran beraspal, yaitu ACWC, HRS, dan SMA. Analisis gradasi

untuk jenis campuran ACWC disajikan pada Gambar 1 dan analisis volumetrik campuran ACWC serta penentuan kadar aspal optimum campuran beraspal ini disajikan pada Gambar 2. Dari hasil analisis diperoleh kadar aspal untuk campuran ACWC berada pada rentang 5,63% hingga 6,50%.

Tabel 1 Gradasi Agregat untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan ASTM (mm)	% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat								
	Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)			
	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base	
1½"	37,500								100
1"	25,000			100				100	90-100
¾"	19,000		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,500	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,500	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,750	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,360	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,180	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	0,150						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2018)

Tabel 2 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

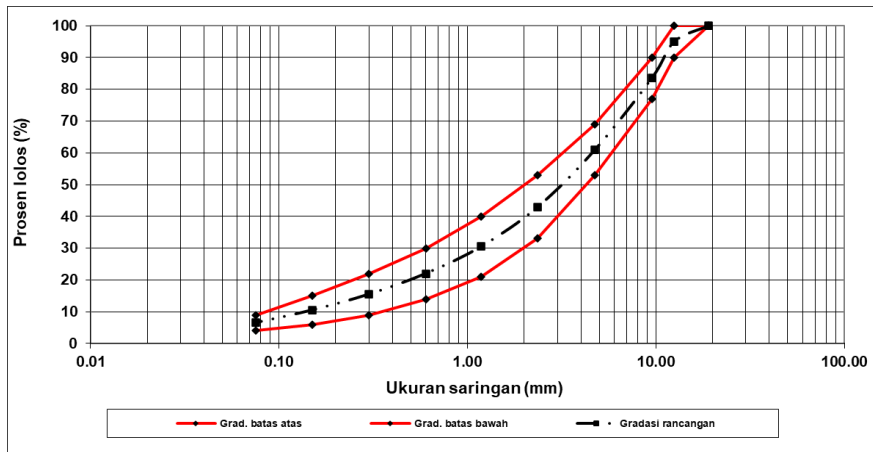
Agregat Halus	A	B	Rata-Rata
Berat jenis (<i>bulk</i>)	2,48	2,59	2,54
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2,60	2,62	2,61
Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	2,69	2,68	2,69
Penyerapan (<i>absorption</i>)	1,42	1,38	1,40

Tabel 3 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

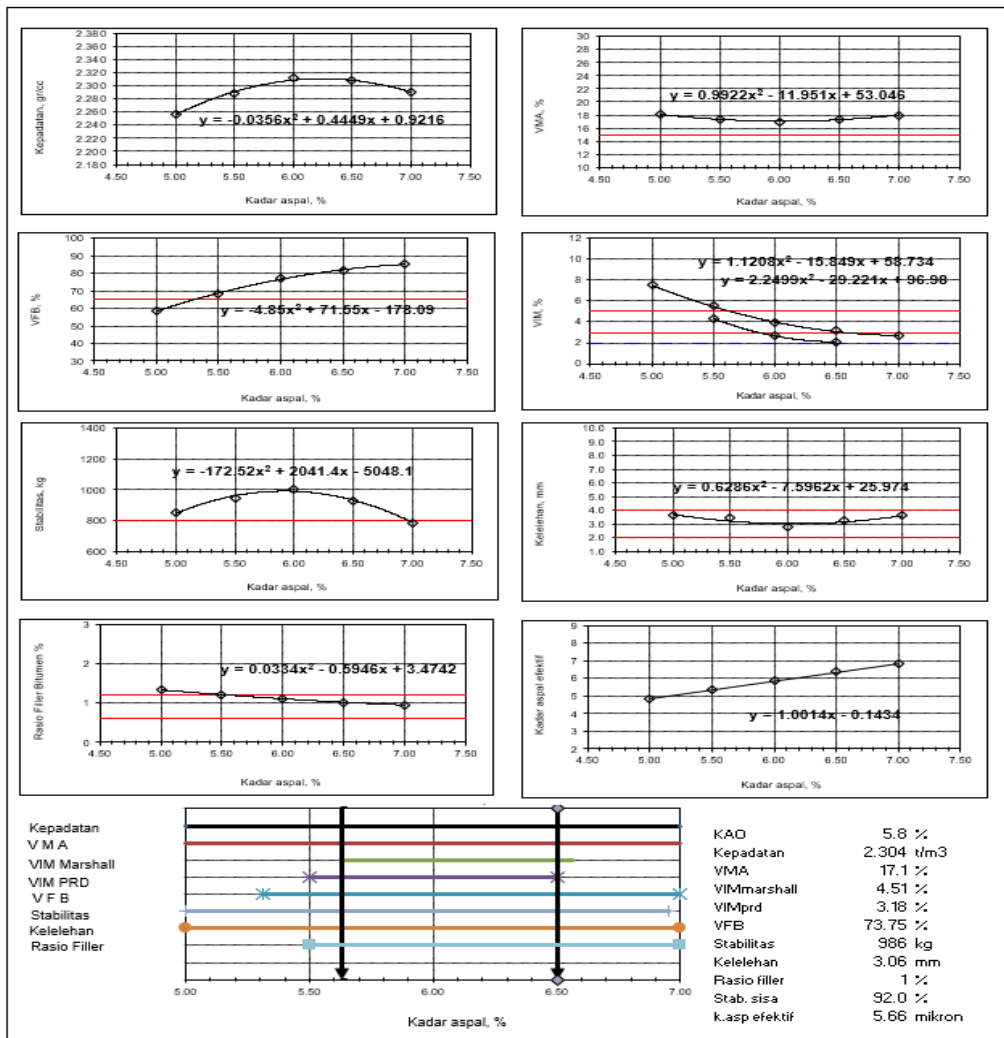
Agregat Kasar	A	B	Rata-Rata
Berat jenis (<i>bulk</i>)	2,68	2,66	2,67
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2,72	2,70	2,71
Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	2,79	2,78	2,79
Penyerapan (<i>absorption</i>)	1,42	1,59	1,51

Tabel 4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi
1.	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik; 0,1 mm	SNI 2456: 2011	64	60-70
2.	Viskositas kinematis pada 135°C; cSt	SNI 7729: 2011	521	≥ 300
3.	Titik lembek; °C	SNI 2434: 2011	50,2	≥ 48
4.	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit; cm	SNI 2432: 2011	> 140	≥ 100
5.	Titik nyala (COC); °C	SNI 2433: 2011	302	≥ 232
6.	Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ ; %	SNI 2438: 2015	99,9	≥ 99
7.	Berat jenis	SNI 2441: 2011	1,036	≥ 1,0
8.	Kadar parafin lilin; %	SNI 03-3639-2002	0,22	≤ 2
Pengujian Residu Hasil TFOT pada 163°C, 5 jam				
9.	Berat yang hilang (TFOT); %	SNI 06-2440-1991	0,126	≤ 0,8
10.	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik; %	SNI 2456: 2011	73,3	≥ 54
11.	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit; cm	SNI 2432: 2011	> 140	≥ 50



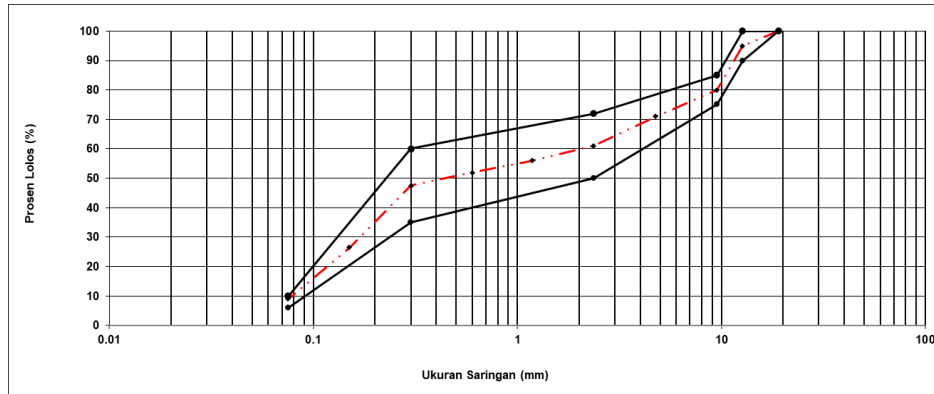
Gambar 1 Analisis Gradasi Campuran ACWC



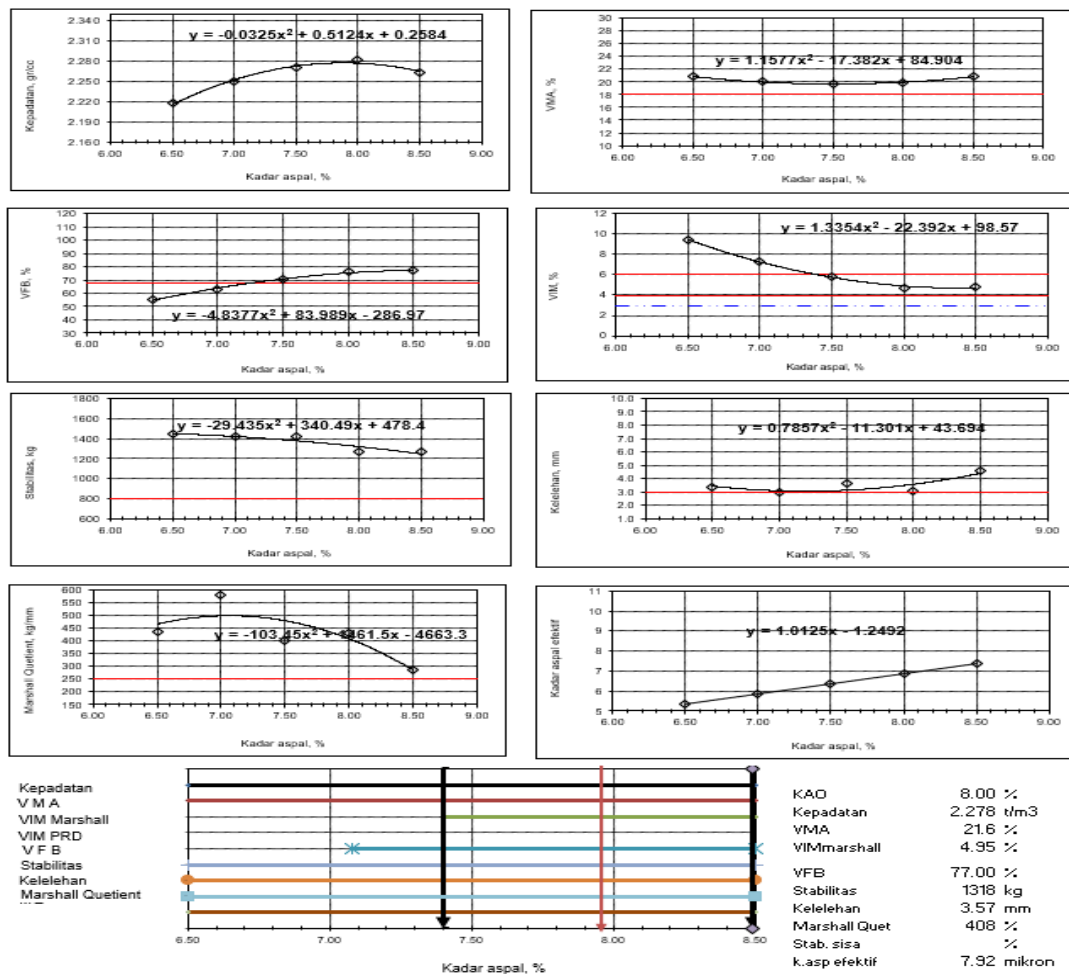
Gambar 2 Analisis Kadar Aspal Optimum Campuran ACWC

Analisis yang serupa juga dilakukan terhadap campuran HRS dan SMA. Gradasi untuk jenis campuran HRS disajikan pada Gambar 3 dan gradasi untuk campuran SMA

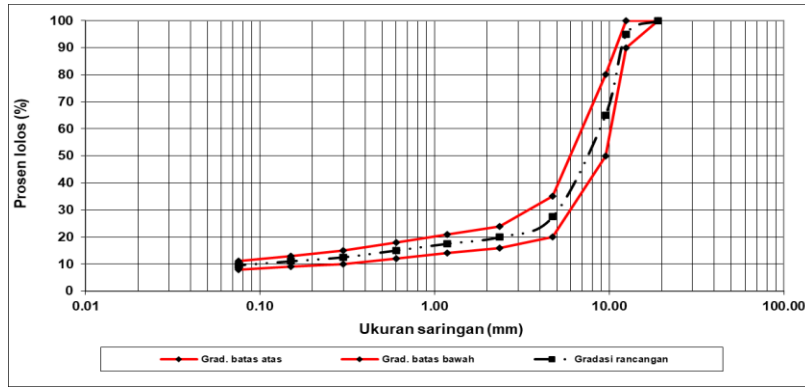
disajikan pada Gambar 5. Sedangkan analisis volumetrik dan penentuan kadar aspal optimum kedua campuran dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 6. Terlihat bahwa kadar aspal untuk campuran HRS berada pada rentang 7,40% hingga 8,49% dan untuk campuran SMA pada rentang 6,60% hingga 7,31%. Dokumentasi pembuatan benda-benda uji dan pengujian Marshall dapat dilihat pada Gambar 7.



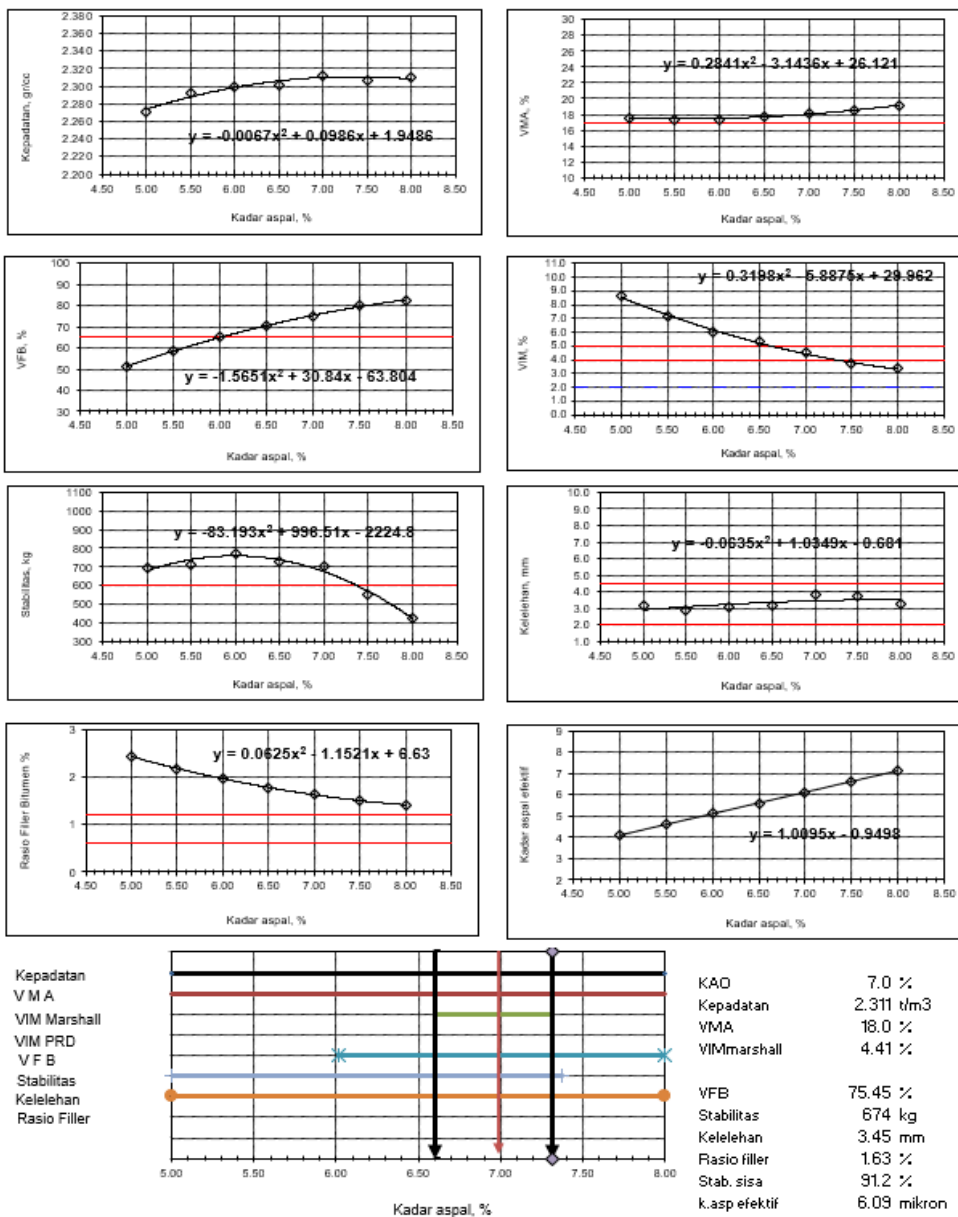
Gambar 3 Analisis Gradasi Campuran HRS



Gambar 4 Analisis Kadar Aspal Optimum Campuran HRS



Gambar 5 Analisis Gradasi Campuran SMA

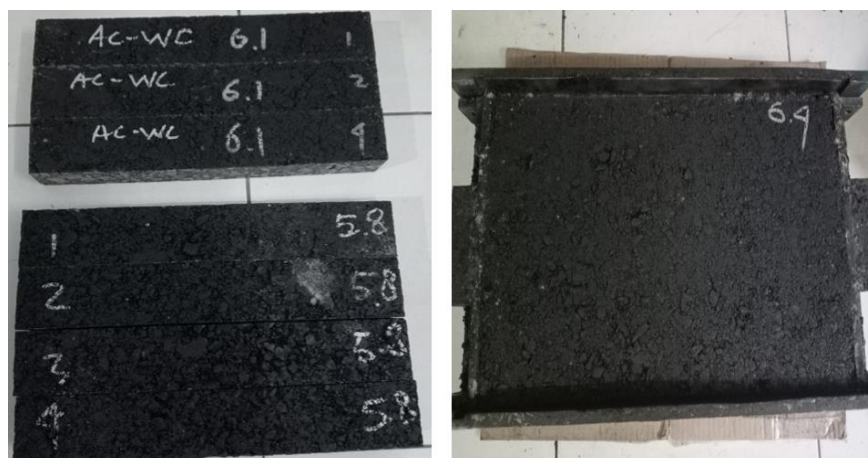


Gambar 6 Analisis Kadar Aspal Optimum Campuran SMA

Pengujian *fatigue* dilakukan dengan membuat benda uji campuran beraspal dengan bentuk balok dengan dimensi 380 mm x 50 mm x 63 mm sesuai dengan pedoman AASHTO (2017). Pada penelitian ini, dilakukan 18 kali pengujian umur lelah terhadap 3 jenis campuran beraspal (ACWC, HRS, dan SMA), 2 jenis regangan (400 microstrain dan 700 microstrain), dan 3 nilai kadar aspal, untuk masing-masing jenis campuran. Dokumentasi benda uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8.

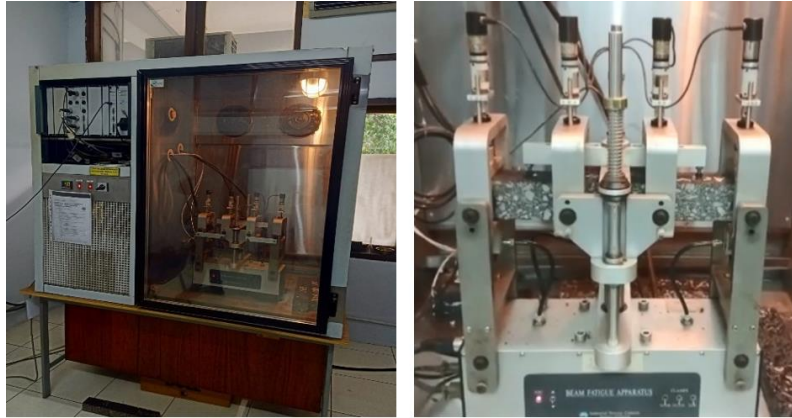


Gambar 7 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Marshall



Gambar 8 Dokumentasi Pengujian Umur Lelah

Pengujian umur lelah dilakukan dengan alat *four-point loading*. Dengan menggunakan alat ini, spesimen balok diberi regangan berulang hingga kondisi runtuh terjadi. Pengujian pada penelitian ini menggunakan prinsip kontrol regangan (*strain-controlled*), dengan cara memberikan tegangan yang bervariasi, untuk mendapatkan regangan yang sama pada setiap siklusnya. Selain itu, digunakan 2 variasi regangan, yaitu 400 microstrain dan 700 microstrain. Frekuensi pengujian yang digunakan adalah 10 Hz. Alat *four-point loading* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Alat Pengujian *Four-Point Loading*

HASIL DAN ANALISIS

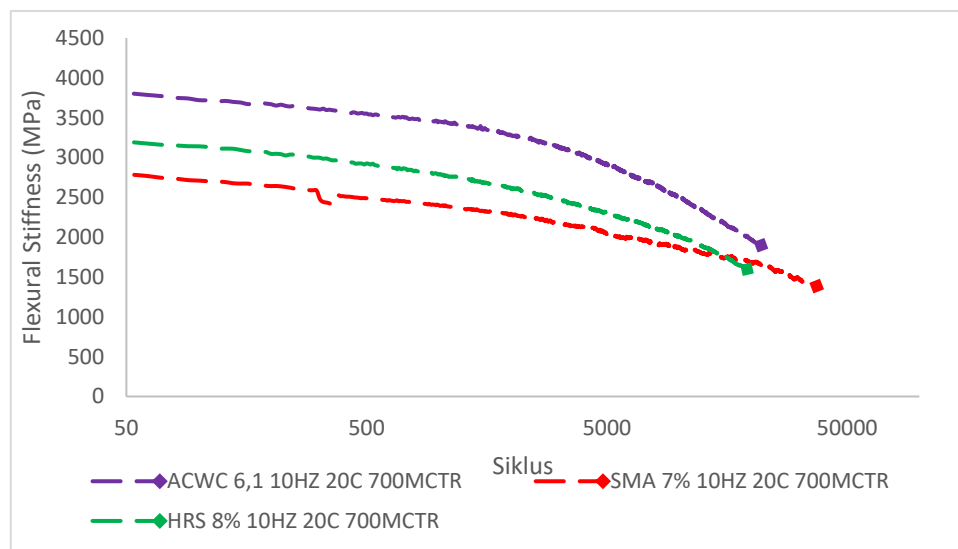
Berdasarkan hasil pengujian umur lelah terhadap 18 spesimen yang telah disiapkan, didapat umur lelah untuk masing-masing pengujian. Keputusan kapan harus menghentikan pengujian bergantung pada mode dan tujuan pengujian. Untuk *mode* kontrol tegangan (*stress-controlled*), pengujian dilanjutkan sampai balok benar-benar patah, sedangkan untuk *mode* kontrol regangan (*strain-controlled*), kegagalan lebih sulit untuk didefinisikan karena untuk menjaga regangan tetap konstan, tegangan yang diberikan terus dikurangi, yang menghasilkan balok yang tidak pernah benar-benar patah.

Oleh karena itu, dalam *mode* kontrol regangan, kegagalan biasanya didefinisikan sebagai titik ketika beban atau kekakuan mencapai beberapa nilai yang telah ditentukan, yang biasanya 50% terhadap nilai awal (Xiao et al., 2011). Pada penelitian ini, kondisi runtuh pada spesimen dinyatakan terjadi ketika kekakuan lentur (*flexural stiffness*) pada suatu siklus sudah mencapai 50% terhadap kekakuan lentur awalnya (*initial flexural stiffness*). Kekakuan lentur awal ini diukur setelah siklus ke-50 (Xiao et al., 2011).

Rekapitulasi hasil pengujian umur lelah dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapat bahwa usia lelah masing-masing campuran bervariasi mulai dari 7.600 siklus hingga 339.630 siklus. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi variasi ini, mulai dari jenis gradasi dan tipe campuran beraspal, kadar aspal yang digunakan, hingga regangan pengujian yang dilakukan. Terlihat bahwa regangan yang lebih rendah, yaitu 400 microstrain, menghasilkan umur lelah yang selalu lebih tinggi dibandingkan dengan regangan yang lebih tinggi, yaitu 700 microstrain. Hal ini sejalan dengan prinsip umur lelah perkerasan, yang berbanding terbalik dengan regangan yang terjadi pada perkerasan. Kurva kekakuan lentur pada Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan perubahan kekakuan lentur, mulai dari titik awal (*initial flexural stiffness* diukur ketika siklus ke-50) hingga titik akhir ketika kriteria runtuh terpenuhi, yaitu ketika *terminal flexural stiffness* mencapai 50% terhadap nilai *initial flexural stiffness*, untuk setiap jenis campuran beraspal yang diuji.

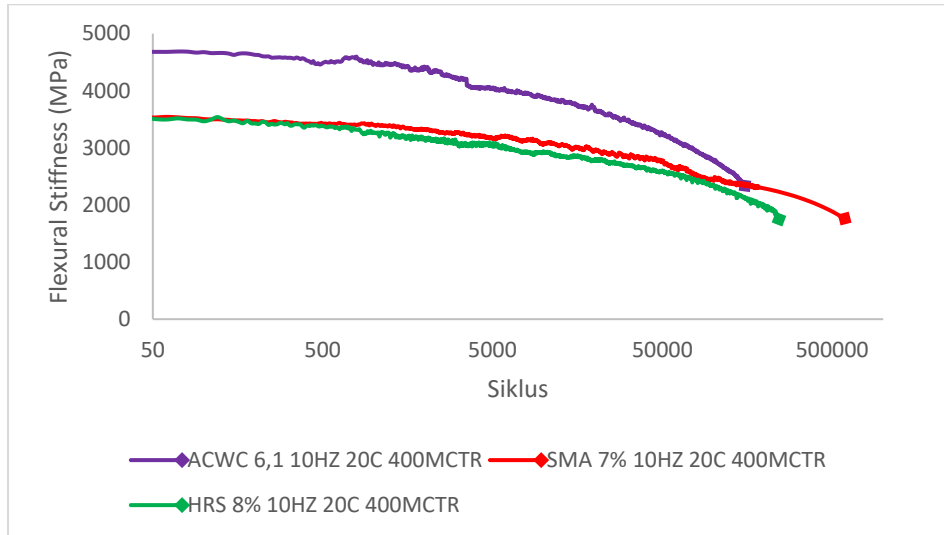
Tabel 5 Hasil Pengujian Umur Lelah

Jenis Campuran	Kadar Aspal (%)	Frekuensi (Hz)	Regangan (<i>Microstrain</i>)	Regangan (Nf-HMA)	Siklus
ACWC	5,8	10	700	671	14.020
	5,8	10	400	448	173.140
	6,1	10	700	659	21.920
	6,1	10	400	475	153.490
	6,4	10	700	687	2.470
	6,4	10	400	613	54.990
SMA	6,7	10	700	690	5.500
	6,7	10	400	588	72.950
	7	10	700	638	37.390
	7	10	400	431	592.780
	7,3	10	700	646	31.700
	7,3	10	400	215	339.630
HRS	7,7	10	700	676	10.280
	7,7	10	400	416	206.830
	8	10	700	663	19.170
	8	10	400	349	243.440
	8,3	10	700	680	7.600
	8,3	10	400	344	335.360

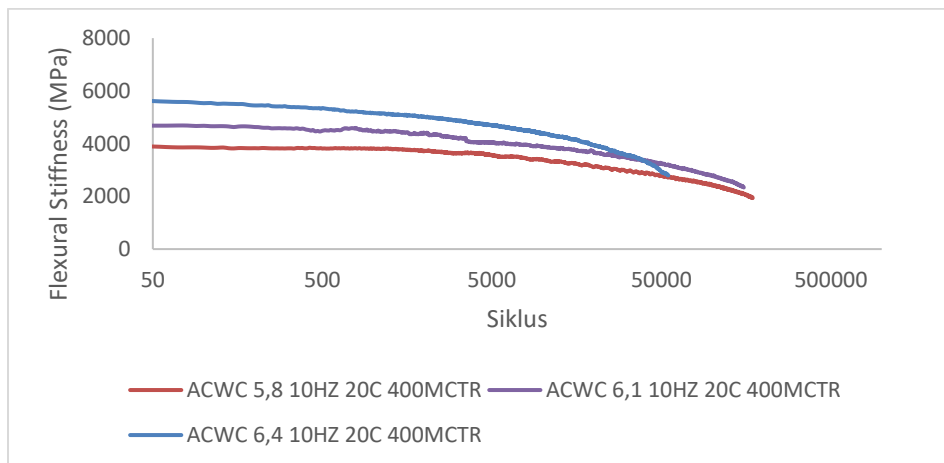
**Gambar 10** Kurva Kekakuan Lentur dan Umur Lelah Hasil Pengujian Campuran Beraspal pada Kadar Aspal Optimum dengan Regangan 700 Microstrain

Hasil pengujian dengan regangan 400 microstrain ditandai dengan garis menerus, sedangkan pengujian dengan regangan 700 microstrain ditandai dengan garis putus-putus. Dengan melihat sumbu absis, yaitu siklus pengujian dengan skala logaritmik, dapat dinyatakan bahwa pengujian dengan regangan 700 microstrain menghasilkan kondisi kegagalan pada siklus yang lebih sedikit daripada pengujian dengan regangan 400 microstrain untuk semua jenis campuran beraspal dan semua jenis kadar aspal. Ketika membandingkan umur lelah 3 jenis campuran beraspal pada kadar aspal optimumnya, jenis campuran beraspal SMA memiliki umur lelah yang relatif lebih panjang dibandingkan dengan 2 jenis campuran beraspal

lainnya, baik pada pengujian dengan regangan 700 microstrain maupun dengan regangan 400 microstrain. Umur lelah campuran beraspal ACWC lebih besar dibandingkan dengan campuran beraspal HRS pada regangan 700 microstrain, namun lebih kecil pada pengujian dengan regangan 400 microstrain.



Gambar 11 Kurva Kekakuan Lentur dan Umur Lelah Hasil Pengujian pada Kadar Aspal Optimum dengan Regangan 400 Microstrain



Gambar 12 Kurva Kekakuan Lentur dan Umur Lelah Hasil Pengujian Campuran Beraspal ACWC dengan Regangan 400 Microstrain

Kadar aspal juga memengaruhi umur lelah suatu campuran beraspal. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa campuran dengan kadar aspal yang lebih rendah memiliki umur lelah yang lebih panjang. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu (Nejad et al., 2010) yang menyatakan bahwa ketika campuran beraspal dibuat dalam rentang kadar aspal optimumnya, penambahan kadar aspal akan membuat kekakuan campuran beraspal menurun, yang berarti akan mengurangi ketahanan terhadap umur lelah.

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian umur lelah dan mendapatkan kurva hubungan kekakuan lentur dengan umur lelah berbagai jenis campuran beraspal yang biasa digunakan di Indonesia. Berdasarkan pengujian eksperimen dan analisis yang telah dilakukan, dapat diperoleh bahwa kadar aspal untuk campuran ACWC berada pada rentang 5,63% hingga 6,50%, untuk campuran HRS berada pada rentang 7,40% hingga 8,49%, dan untuk campuran SMA berada pada rentang 6,60% hingga 7,31%.

Studi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi regangan yang diberikan pada perkerasan, semakin pendek umur lelah perkerasan tersebut, demikian pula sebaliknya. Perubahan kekakuan lentur diamati mulai dari titik awal (*initial flexural stiffness* diukur ketika siklus ke-50) hingga titik akhir ketika kriteria runtuh terpenuhi (ketika *terminal flexural stiffness* mencapai 50% terhadap nilai *initial flexural stiffness*) untuk setiap jenis campuran yang diuji.

Jenis campuran beraspal SMA memiliki umur lelah yang relatif lebih panjang dibandingkan dengan 2 jenis campuran lainnya, baik pada pengujian dengan regangan 700 microstrain maupun pada pengujian dengan regangan 400 microstrain. Umur lelah campuran beraspal ACWC lebih besar dibandingkan dengan umur lelah campuran beraspal HRS pada regangan 700 microstrain, namun lebih kecil pada pengujian dengan regangan 400 microstrain.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO). 2017. *AASHTO T321: Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending*. Washington, D.C.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2007. *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM D6433-20*. West Conshohocken, PA.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Fang, M., Park, D., Singuranayo, J. L., Chen, H., dan Li, Y. 2018. *Aggregate Gradation Theory, Design, and Its Impact on Asphalt Pavement Performance: A Review*. International Journal of Pavement Engineering, 20 (12): 1408–1424.
- Jiang, Y., Zhang, Y., Xue, J., Deng, C., dan Tian, T. 2020. *Performance of Stone Mastic Asphalt Mixtures Fabricated by Different Compaction Methods*. Applied Sciences, 10 (7): 1–17.
- Kim, Y. R., Jadoun, F. M., Hou, T., dan Muthadi, N. 2011. *Local Calibration of the MEPDG for Flexible Pavement Design*. Research Project No. HWY-2007-07. North Carolina Department of Transportation. Raleigh, NC.
- Nejad, F. M., Aflaki, E., dan Mohammadi, M. A. 2010. *Fatigue Behavior of SMA and HMA Mixtures*. Construction and Building Materials, 24 (7): 1158–1165.

- Subagio, B. S., Hariyadi, E. S., dan Maha, I. 2022. *The Rutting Resistance and Resilient Moduli of Pre-Vulcanized Liquid Natural Rubber Modified Asphaltic Concrete in Warm-Mix Temperature Condition*. *Journal of Civil Engineering and Management*, 28 (3): 196–207.
- Subagio, B. S., Karsaman, R. H., dan Adwang, J. 2005. *Fatigue Performance of HRA (Hot Rolled Asphalt) and Superpave® Mixes using Indonesian Rock Asphalt (Asbuton) as Fine Aggregates and Filler*. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6: 1207–1216.
- Wen, H., dan Li, X. 2013. *Development of a Damage-Based Phenomenological Fatigue Model for Asphalt Pavements*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (8): 1006–1012.
- Xiao, F., Amirhanian, S. N., dan Wu, B. 2011. *Fatigue and Stiffness Evaluations of Reclaimed Asphalt Pavement in Hot Mix Asphalt Mixtures*. *Journal of Testing and Evaluation*, 39 (1): 1–9.
- Xiao, F., Zhao, P. E. W., dan Amirhanian, S. N. 2009. *Fatigue Behavior of Rubberized Asphalt Concrete Mixtures Containing Warm Asphalt Additives*. *Construction and Building Materials*, 23: 3144–3151.