

Research Article

PENGARUH KARET REMAH TERHADAP STABILITAS CAMPURAN BERASPAL LASTON AC-WC MENGGUNAKAN METODE *DRY MIX*Luthfiyyah Ulfah^{1*)}¹⁾ Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

Received: 8 March 2023, Accepted: 8 June 2023, Published: 12 July 2023

Abstract

Roads must have the appropriate mix of thickness and design to protect the subgrade from damage and to accommodate the load pressure on the road. The purpose of this research is to investigate the effects of adding crumb rubber to the hot asphalt mixture of the Laston AC-WC type. The research was conducted in two stages, involving the creation of test specimens. In the first stage, the bitumen content of the specimens included 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, and 7%. In the second stage, in the second stage, crumb rubber was added to the mixture at percentages: 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%. The crumb rubber was mixed using the dry mix method. Several parameters were considered based on the results of the Marshall Test, in accordance with the General Highways specifications (VFA, VIM, VMA, Stability, Meltability and MQ). characteristics analysis aims to determine the impact of crumb rubber content on the elasticity, durability, and other properties of the asphalt mixture. Of all the variations of the hot mix asphalt type Laston AC-WC mixed with crumb rubber; the optimum level of crumb rubber mixture was obtained at 5% for the hot mix asphalt type Laston AC-WC. From the research results, when 5% crumb rubber was added to the asphalt mixture, the following values were obtained: 856.1 kg stability, 3.07 mm flow and 290.40 kg/mm MQ. In contrast, the stability value of hot asphalt concrete asphalt concrete type AC-WC with 5% asphalt has 813.7 kg stability, 3.03 mm flow and 268.30 kg/mm MQ.

Key Words: AC-WC, crumb rubber, dry mix, hot mix asphalt, Marshall Test.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya laju pertumbuhan penduduk mengakibatkan peningkatan pertumbuhan ekonomi. Hal ini menyebabkan mobilitas penduduk ikut meningkat seiring pertumbuhan ekonomi. Salah satu sarana transportasi masyarakat untuk melakukan pergerakan adalah jalan raya. Jalan harus memiliki ketebalan yang cukup agar mampu melindungi *subgrade* dari kerusakan serta dapat menampung tekanan beban pada permukaan jalan. Volume kendaraan bermotor yang semakin bertambah dari tahun ke tahun mengakibatkan tingginya volume lalu lintas yang dapat menyebabkan kerusakan pada jalan. Desain campuran beraspal digunakan untuk memastikan campuran aspal yang efektif agar dapat mengatasi efek kerusakan dari beban yang mungkin terjadi. Di Indonesia umumnya menggunakan jenis perkerasan kaku karena dinilai memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan perkerasan lentur. Meskipun demikian, untuk memastikan kenyamanan pengguna jalan, pelapisan perkerasan lentur perlu dilakukan (Martina, dkk. 2019).

Perkerasan aspal beton merupakan salah satu jenis perkerasan lentur yang umum digunakan.

Tingkat pelayanan perkerasan beton aspal harus baik agar mampu menahan intensitas lalu lintas yang tinggi serta dampak lingkungan yang ekstrim. Hal ini dapat tercapai dengan menambahkan material tambahan seperti bahan aditif atau material pengganti kedalam campuran beraspal panas. Material limbah dari alam memiliki potensi digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton. Material tambahan tersebut dapat berupa limbah karet ban bekas, styrofoam, limbah debu batu bara (*fly ash bottom ash*) atau limbah plastik pvc.

Purnomo, dkk. (2014) menyebutkan untuk mendesain perkerasan jalan agar tahan terhadap suhu tinggi dan elastisitas meminimalisir deformasi terhadap beban lalu lintas dapat dilakukan dengan penambahan polimer pada campuran aspal. Bahan polimer yang digunakan dapat berupa limbah ban karet sebagai aditif aspal.

Karet remah atau *crumb rubber* yang dikenal sebagai parutan ban bekas, merupakan produk yang ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah karet yang sudah tidak terpakai. Penggunaan kembali limbah dari produk karet tertentu dapat

bertujuan untuk memberikan sifat tertentu yang diinginkan pada suatu campuran beraspal, terutama untuk kestabilan pada perkerasan lentur (Syahputra, dkk. 2020).

Mulyani, dkk (2018) menyebutkan aspal yang dimodifikasi dengan *crumb rubber* menghasilkan nilai viskositas yang tinggi, tidak homogen serta dapat mengurangi *workability* di lapangan sehingga perlu dicampur dengan beberapa zat aditif lainnya.

Hariyadi, dkk. (2018) menggunakan serbuk limbah ban karet (*crumb rubber*) dengan ukuran *mesh* #80 dan *mesh* #120 pada perkerasan jalan raya. Penelitian bertujuan untuk membandingkan nilai marshall yang dihasilkan dari campuran dengan variasi komposisi limbah ban karet dan kadar aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai stabilitas mencapai puncaknya pada kadar aspal sebesar 6%. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa nilai *Marshall Quotient* (MQ) mencapai puncaknya pada kadar aspal 5,5%. Ini menandakan bahwa pada kadar aspal 5,5%, campuran aspal dengan penambahan *crumb rubber* memberikan hasil yang optimal dalam hal stabilitas dan deformasi.

Crumb rubber yang digunakan pada campuran aspal beton, selain untuk memanfaatkan limbah, juga merupakan salah satu langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan nilai stabilitas dalam campuran aspal beton dengan mempertimbangkan sifat-sifat campuran marshall dan melakukan penyesuaian yang diperlukan. Penambahan *crumb rubber* pada campuran aspal beton akan meningkatkan sifat elastisitas dalam campuran aspal. Hal ini menunjukkan bahwa aspal dengan penambahan *crumb rubber* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan kelelahan plastis dibandingkan dengan campuran aspal yang tidak menggunakan bahan tambahan *crumb rubber* (Suryono, dkk. 2019). Bressi, dkk (2019) menyebutkan, karet remah yang dicampur dengan aspal beton beraspal panas disebut dengan aspal beton modifikasi karet remah (*rubber-modified asphalt concrete*).

Wulandari, dkk. (2019) menunjukkan bahwa karet remah yang memiliki ukuran lebih halus menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi daripada karet remah yang berukuran lebih besar pada campuran beraspal. Penggunaan karet remah pada aspal dingin akan menurunkan kestabilan campuran, tetapi masih memenuhi syarat minimum atau spesifikasi yang ditentukan untuk aspal campuran dingin. Stabilitas campuran aspal dingin dengan karet remah juga sebanding dengan aspal campuran panas.

Selain limbah karet ban (*crumb rubber*), dapat juga digunakan karet mentah atau lateks sebagai bahan tambahan pada campuran beraspal.

Pataras, dkk. (2020) melakukan penelitian dengan menambahkan lateks pada campuran laston (AC-WC) dan laston atau HRS-WC dengan persentase penambahan kadar lateks 5%, 10% dan 15%. Dengan adanya penambahan lateks pada campuran aspal menghasilkan kadar aspal optimum pada campuran normal 6,25% dan kenaikan persentase karet kasar optimal pada kadar 5% dan 10% dengan stabilitas, leleh dan Marshall.

Campuran aspal yang mengandung karet dapat meningkatkan sifat reologi pada suhu rendah dan tinggi, serta meningkatkan daya tahan aspal hingga 3 kali lipat dibandingkan dengan aspal konvensional tanpa campuran karet (Senolinggi, 2018).

Berdasarkan tinjauan literatur dan beberapa penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini akan menambahkan karet remah ke dalam campuran beraspal panas jenis laston AC-WC untuk meningkatkan nilai Stabilitas *Marshall* pada campuran aspal. Beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa persentase kadar aspal optimum pada modifikasi campuran beraspal lapis AC-WC dengan penambahan bahan tambahan karet remah menggunakan metode *dry mix*?
 2. Bagaimana nilai Stabilitas *Marshall* pada modifikasi campuran beraspal panas dengan campuran karet remah dengan metode *dry mix*?
- Penelitian dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menentukan persentase kadar aspal optimum modifikasi campuran beraspal lapis AC-WC dengan karet remah dengan metode *dry mix*.
2. Mengetahui nilai stabilitas marshall pada kinerja campuran beraspal panas yang dimodifikasi dengan campuran karet remah dengan metode *dry mix*.

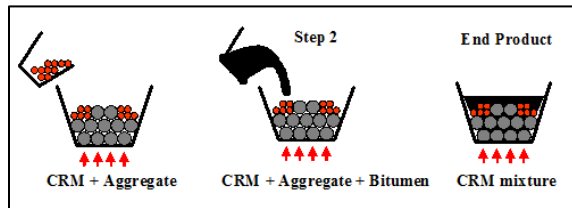
2. METODE PENELITIAN

Penelitian terhadap campuran beraspal menggunakan metode pengujian terhadap beberapa benda uji yang diuji pada laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sumsel. Bahan tambahan yang digunakan pada campuran beraspal aspal beton adalah karet remah (Gambar 1).

Pencampuran aspal panas dengan metode proses kering (*dry mix*) dilakukan di laboratorium. Hassan, dkk (2014) menyebutkan metode proses kering pada pencampuran aspal panas dan karet remah memiliki tujuan untuk meningkatkan ketahanan selip dan daya tahan pada perkerasan. Ilustrasi proses *dry mix* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Karet remah yang digunakan pada penelitian

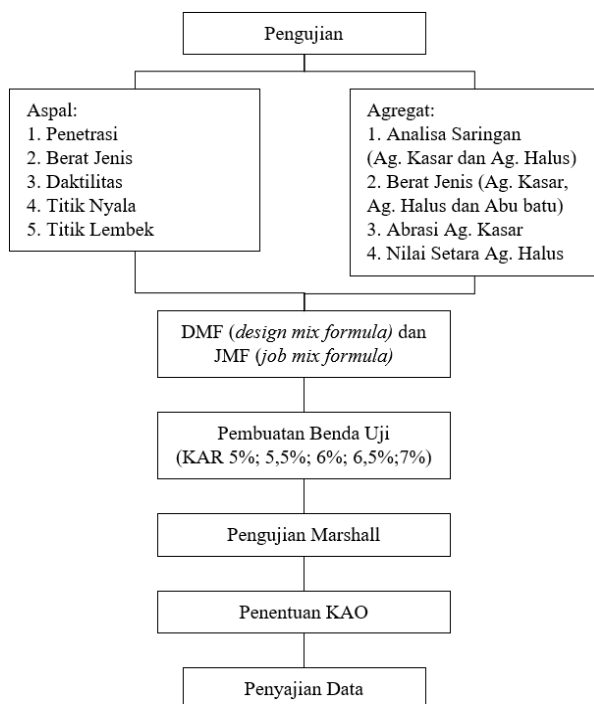


Sumber. Hassan, N.A., dkk (2014)

Gambar 2. Tahapan pengujian

Campuran aspal dengan karet remah yang dimodifikasi dengan proses kering dapat digunakan pada perkerasan lentur untuk mengurangi tekanan *rutting* serta ramah lingkungan (Tai Nguyen, 2017).

Pengujian dilakukan melalui beberapa tahapan yang dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3. Metodologi pengujian

Tabel 1 dan Tabel 2 berikut menjelaskan komposisi campuran yang digunakan untuk kadar aspal dan kadar karet remah dalam penelitian ini.

Tabel 1. Komposisi campuran dan jumlah benda uji 1

Benda Uji	Jumlah					Total
	Kadar Aspal Rencana (%)					
Aspal campuran beraspal panas laston AC-WC Konvensional	5%	5,5%	6%	6,5%	7%	15
	3	3	3	3	3	

Tabel 2. Komposisi campuran dan jumlah benda uji 2

Benda Uji	Jumlah					Total
	Kadar Karet Remah (%)					
Aspal campuran beraspal panas laston AC-WC + Karet Remah	0%	5%	10%	15%	20%	15
	3	3	3	3	3	

Pengujian Agregat

Agregat yang digunakan pada pengujian terdiri dari batu pecah dengan ukuran 1-1 dan 1-2, agregat halus (pasir), serta *filler*. Pengujian analisa saringan serta berat jenis dan penyerapan agregat dilakukan sesuai dengan standar SNI 1969:2019, analisa abrasi pada agregat kasar dengan standar SNI 2417:2008, sedangkan pada agregat halus, dilakukan analisis saringan, pengukuran berat jenis dan penyerapan. Evaluasi kebersihan agregat halus dengan menggunakan metode nilai *sand equivalent*. Karakteristik agregat yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 1 untuk memenuhi standar yang ditetapkan.

Pengujian Aspal

Aspal keras/padat yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai penetrasi 60/70. Pengujian aspal meliputi pengujian penetrasi, titik nyala, titik lembek, daktilitas, dan berat jenis aspal sesuai dengan standar SNI 2011.

Tabel 3. Spesifikasi Sifat Campuran beraspal panas AC-WC

Sifat Campuran	Campuran beraspal panas jenis lapis aspal beton (AC)			
	WC	BC	Base	
Jumlah tumbukan per bidang	75			
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800	1800	
Pelelehan (mm)	Min	2	3	
	Maks	4	6	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min	2		

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

DMF dan JMF

DMF (*Design Mixing Formula*) merupakan metode atau rumus yang digunakan dalam mencampur agregat dan aspal untuk menentukan kadar aspal rencana pada campuran aspal.

Kadar aspal rencana (KAR) digunakan sesuai dengan ketentuan yang terdapat dalam spesifikasi Bina Marga No: 001-03/BM/2006. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%F) + K \quad (1)$$

dimana :

CA : Persentase agregat kasar (% terhadap agregat tertahan saringan no.8)

FA : Persentase agregat halus (% no.8 terhadap tertahan saringan no.200)

F : Presentase bahan pengisi (jika dibutuhkan)

K : Konstanta ($\pm 0,5 - 1,0$ untuk jenis laston)

Formula campuran ini meliputi proses desain, memutuskan dan mengambil bahan yang sesuai serta menentukan proporsi relatif dengan tujuan untuk menghasilkan benda uji yang memiliki kekuatan dan daya tahan tertentu dengan anggaran yang relatif murah. Komposisi campuran material yang digunakan pada formula campuran kerja berupa agregat dan aspal.

JMF dilakukan untuk menghasilkan komposisi campuran laston yang sesuai dengan hasil *Design Mix Formula* yang dijadikan sebagai acuan untuk pelaksanaan pekerjaan aspal lapis aus (AC – WC).

Pengujian Marshall

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur stabilitas dan kelelahan pada campuran beraspal dengan menggunakan alat marshall. Pengujian mengacu pada standar ASTM D6927-15 yang telah diadaptasi dan distandarisasikan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2489-1991.

Dalam Pengujian Marshall, akan diperoleh berbagai hasil yang mencakup sifat-sifat Marshall seperti stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga dalam campuran/ *Void In the Mix*, rongga dalam Agregat/ *Void in Mineral Aggregate*, rongga terisi aspal/ *Void Filled with Asphalt*, serta nilai *Marshall Quotient* (MQ). Pngujian campuran aspal beton dengan karet remah untuk melihat nilai stabilitas yang dihasilkan baik atau tidak. Nilai stabilitas yang rendah menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kekuatan yang kurang dalam menahan beban, sehingga dapat mengalami lendutan yang berlebihan. Di sisi lain, apabila nilai stabilitas tinggi, campuran akan menjadi lebih kaku dan lebih rentan terhadap keretakan (Suryono, dkk. 2019).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat

Pada penelitian ini, pengujian mutu agregat dilakukan terhadap tiga jenis agregat yang meliputi agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Karakteristik agregat yang dihasilkan dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis pengujian	Metode (SNI)	Syarat	Hasil	
				BP1/1	BP1/2
1	Berat jenis <i>bulk</i>	1969:2016		2,566	2,532
2	Berat jenis SSD	1969:2016		2,625	2,588
3	Berat jenis <i>apparent</i>	1969:2016		2,727	2,681
4	Penyerapan air	1969:2016	Maks. 3%	2,307%	2,203%
5	Abrasi <i>Los Angeles</i>	2417:2008	Maks. 6%	5,81%	5,87%
			Maks. 30%	26,51%	25,03%

Sumber: Hasil uji laboratorium (2021)

Tabel 5. Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis pengujian	Metode (SNI)	Syarat	Hasil	
				Abu batu	Pasir
1	Berat jenis <i>bulk</i>	1970:2016		2,510	2,509
2	Berat jenis SSD	1970:2016		2,561	2,556
3	Berat jenis <i>apparent</i>	1970:2016		2,646	2,631
4	Penyerapan air	1970:2016	Maks. 3%	2,051%	1,843%
5	Nilai setara pasir (<i>sand equivalent</i>)	03-4428-1997	Min. 50%	60,0%	97,5%

Sumber: Hasil uji laboratorium (2021)

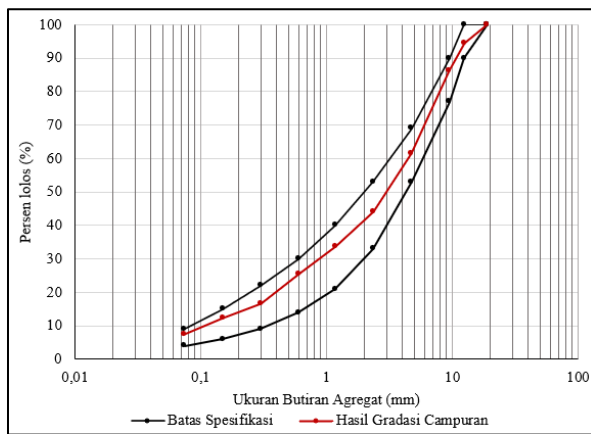
Agregat yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang telah memenuhi spesifikasi persyaratan SNI. Hasil analisa saringan agregat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisa Saringan

Ukuran Saringan	BP ½	BP 1/1	Abu Batu	Pasir	Filler
3/4"	100	100	100	100	100
1/2"	43.57	100	100	100	100
3/8"	16.43	89.15	100	100	100
# 4	1	46.70	95.30	99.87	100
# 8	0	27.83	70.10	98.90	100
# 16	0	21.44	47.60	94.45	100
# 30	0	17.80	33.37	69.49	100
#50	0	14.64	24.07	09.91	100
#100	0	11.69	17.22	00.68	100
# 200	0	04.59	13.40	00.21	98

Sumber: Hasil uji laboratorium (2021)

Gambar 4 menunjukkan campuran agregat telah memenuhi syarat gradasi campuran berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Sumber: Hasil uji laboratorium (2021)

Gambar 4. Hasil gradasi campuran agregat untuk aspal AC-WC

Selanjutnya berdasarkan hasil uji analisa saringan agregat, dapat ditentukan apakah komponen penyusun campuran agregat telah memenuhi syarat gradasi seperti yang ditunjukkan Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Komposisi campuran agregat untuk aspal AC-WC

No	Agregat	% Gradasi Agregat
1	Batu Pecah ½	10%
2	Batu Pecah 1/1	51%
3	Abu Batu	30%
4	Pasir	8%
5	Filler	1%

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium (2021)

Pengujian Aspal

Pengujian aspal dilakukan pada aspal penetrasi 60/70. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Hasil Uji Sifat Aspal

No	Jenis pengujian	Metode (SNI)	Syarat	Hasil
1	Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm	2456:2011	60-70	64
2	Daktilitas pada 25°C (cm)	2432:2011	≥ 100	140
3	Titik Nyala (°C)	2433:2011	≥ 232	312
4	Titik Lembek (°C)	2434:2011	≥ 48	49,6
5	Berat Jenis	2441:2011	≥ 1,0	1,032

Sumber: Hasil uji laboratorium (2021)

Tabel 8 menunjukkan bahwa semua hasil pengujian parameter aspal telah memenuhi standar.

Berikut adalah perhitungan Kadar aspal rencana (KAR) sesuai dengan spesifikasi Bina Marga:

$$CA = 100 - 44,1 = 55,9$$

$$FA = 44,1 - 7,4 = 36,7$$

$$F = 7,4$$

$$K = 1 \text{ (diambil nilai max)}$$

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%F) + K$$

$$= 0,035 (55,9) + 0,045 (36,7) + 0,18 (7,4) + 1$$

$$= 5,94 \approx 6 \%$$

Pengujian dan Hasil Marshall

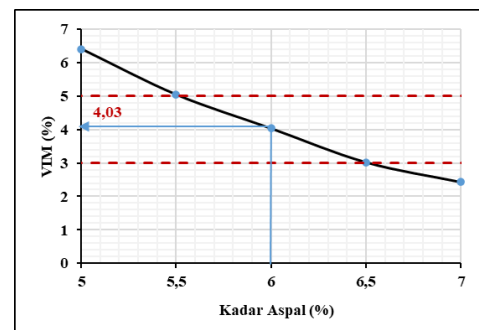
Untuk mendapatkan karakteristik campuran, dilakukan pengujian marshall yang mencakup beberapa parameter. Kadar aspal optimum dapat ditentukan berdasarkan karakteristik campuran yang terdiri dari stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga dalam agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Parameter-parameter ini harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan untuk campuran beraspal panas jenis lapis aspal AC-WC.

Tabel 9. Hasil Uji Marshall Campuran beraspal panas jenis lapis aspal beton AC-WC

Kode Briket Aspal Konvensional	Kadar Aspal %	Berat Isi t/m3	VIM %	VMA %	VFA %	Stabilitas Kg	Kelelahan mm	MQ kg/mm
Syarat			3,0 - 5,0	≥ 15	≥ 65	≥ 800	2,0 - 4,0	≥ 250
5,0% (1)	5,0%	2,229	6,32	16,81	62,39	807,2	3,00	269,1
5,0% (2)	5,0%	2,228	6,37	16,85	62,19	819,4	3,10	264,3
5,0% (3)	5,0%	2,225	6,51	16,98	61,64	814,5	3,00	271,5
rerata	5,0%	2,227	6,40	16,88	62,07	813,7	3,03	268,3
5,5% (1)	5,5%	2,248	4,88	16,55	70,49	903,1	3,00	301,0
5,5% (2)	5,5%	2,242	5,14	16,77	69,37	885,5	3,10	285,6
5,5% (3)	5,5%	2,243	5,11	16,75	69,50	880,6	3,10	284,1
rerata	5,5%	2,244	5,04	16,69	69,79	889,7	3,07	290,2
6,0% (1)	6,0%	2,254	3,96	16,76	76,35	929,5	3,30	281,7
6,0% (2)	6,0%	2,251	4,10	16,88	75,68	941,7	3,50	269,1
6,0% (3)	6,0%	2,253	4,02	16,80	76,09	974,3	3,40	286,6
rerata	6,0%	2,253	4,03	16,81	76,04	948,5	3,40	279,1
6,5% (1)	6,5%	2,261	3,01	16,94	82,21	1012,4	3,60	281,2
6,5% (2)	6,5%	2,263	2,95	16,89	82,53	1017,5	3,70	275,0
6,5% (3)	6,5%	2,260	3,08	17,00	81,87	1017,5	3,80	267,8
rerata	6,5%	2,261	3,02	16,94	82,21	1015,8	3,70	274,7
7,0% (1)	7,0%	2,260	2,41	17,43	86,17	1017,5	3,80	267,8
7,0% (2)	7,0%	2,256	2,57	17,56	85,36	1048,1	3,70	283,3
7,0% (3)	7,0%	2,262	2,31	17,34	86,07	1002,9	3,70	281,9
rerata	7,0%	2,260	2,43	17,44	86,08	1036,2	3,73	277,6

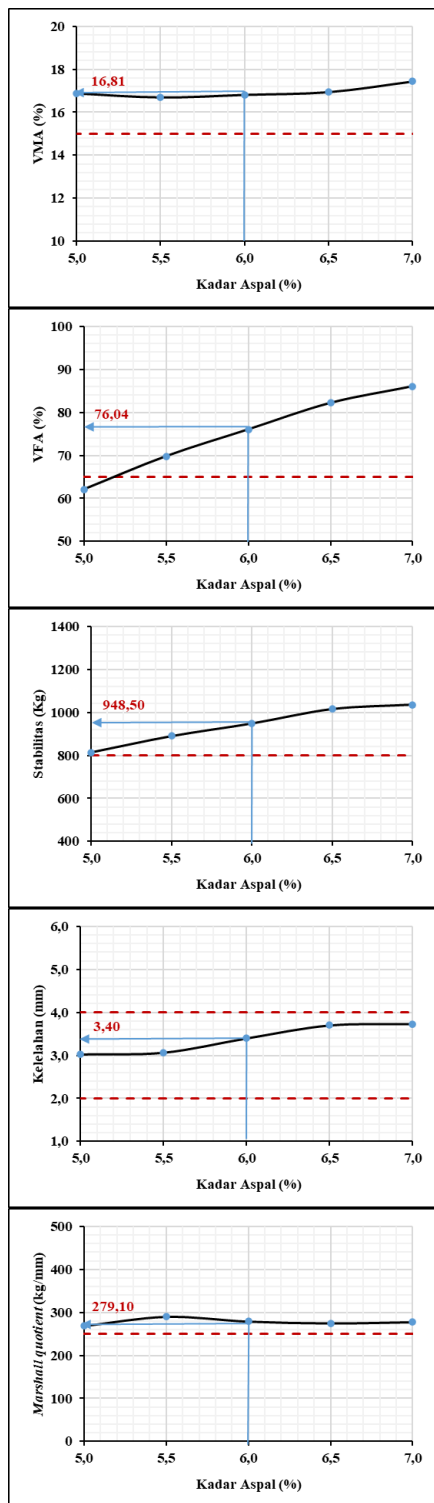
Sumber: Analisa Perhitungan (2021)

Tabel 9 di atas merupakan hasil pengujian pada benda uji dengan komposisi campuran normal. Kemudian hasil pengujian dapat ditampilkan dalam bentuk grafik untuk setiap parameternya yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



----- Batasan spesifikasi BM 2018 Revisi 1
 ----- Hasil Pengujian
 ----- Nilai Kadar Optimum

Gambar 5. Grafik nilai parameter marshall (VIM) dengan KAO 6%



----- Batasan spesifikasi BM 2018 Revisi 1
 ----- Hasil Pengujian
 ----- Nilai Kadar Optimum

Gambar 6. Grafik nilai parameter *marshall* (VMA, VFA Stabilitas, Kelelahan, dan *marshall quotient*) dengan KAO 6%

Berdasarkan hasil pengujian Parameter Marshall, campuran beraspal panas dengan jenis lapis aspal beton AC-WC pada KAO 6% di dapat nilai VIM 4,03%, nilai VMA sebesar 16,81%, VFA 76,04%, nilai stabilitas 948,5 Kg, nilai kelelahan 3,4 mm, serta nilai Marshall Quotient (MQ) 279,1 kg/mm

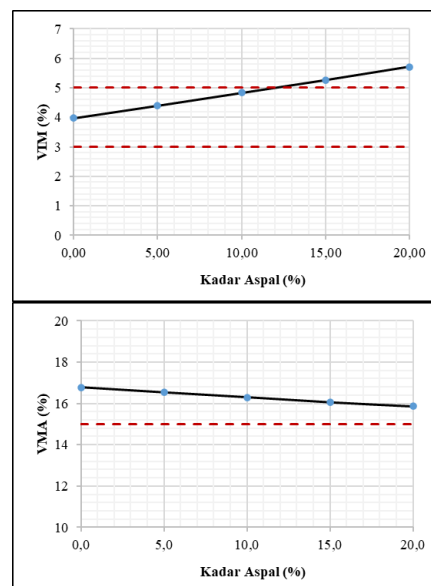
yang memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Komposisi kebutuhan material benda uji campuran beraspal panas dengan jenis lapis aspal beton AC WC + karet remah dengan KAO 6% (Tabel 9). Hasil Pengujian Marshall campuran beraspal panas jenis lapis aspal beton AC-WC + karet remah dapat dilihat pada Tabel 10.

Hasil Uji *Marshall* juga diinterpretasikan dalam bentuk grafik untuk setiap parameternya yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

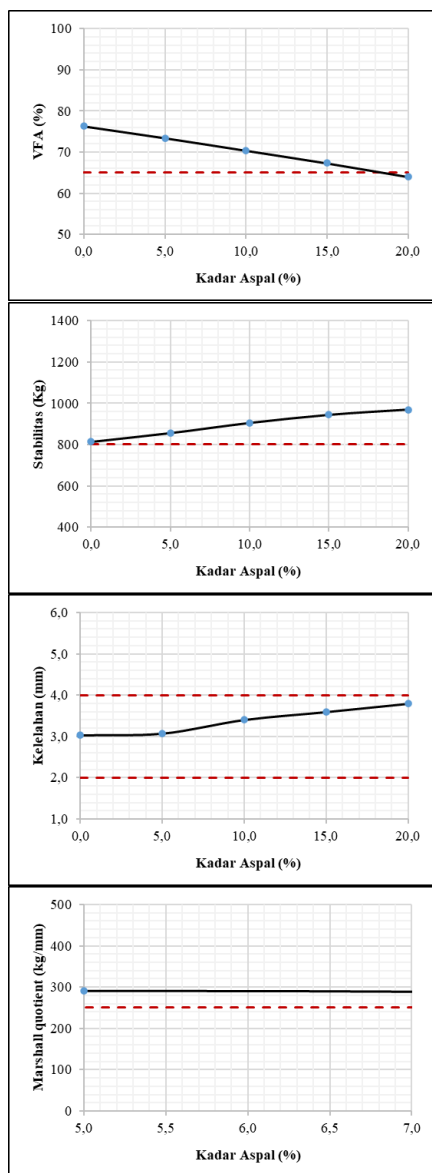
Tabel 10. Hasil Pengujian Marshall campuran beraspal panas jenis lapis aspal beton AC-WC + Karet Remah

Kode Briket	Kadar Karet remah (%)	Berat Isi t/m ³	VIM %	VMA %	VFA %	Stabilitas Kg	Kelelahan Mm	MQ kg/mm
Syarat			3,0 - 5,0	≥ 15	≥ 65	≥ 800	2,0 - 4,0	≥ 250
1	0%	2,254	3,96	16,75	76,37	807,2	3,00	279,8
2	0%	2,252	4,07	16,85	75,85	819,4	3,10	264,3
3	0%	2,255	3,93	16,72	76,52	814,5	3,00	282,4
Rata-rata	0%	2,254	3,98	16,77	76,25	813,7	3,03	275,5
1	5%	2,251	4,51	16,63	72,88	868,3	3,00	301,0
2	5%	2,253	4,40	16,53	73,37	843,9	3,10	283,1
3	5%	2,256	4,29	16,43	73,91	856,1	3,10	287,2
Rata-rata	5%	2,253	4,40	16,53	73,39	856,1	3,07	290,4
1	10%	2,252	4,85	16,32	70,27	892,8	3,30	294,9
2	10%	2,253	4,79	16,26	70,57	905,0	3,50	268,9
3	10%	2,253	4,85	16,32	70,26	917,3	3,40	280,6
Rata-rata	10%	2,252	4,83	16,30	70,36	905,0	3,40	281,5
1	15%	2,252	5,22	16,03	67,44	949,0	3,60	274,2
2	15%	2,252	5,25	16,06	67,32	953,9	3,65	271,8
3	15%	2,250	5,30	16,10	67,11	929,5	3,52	274,6
Rata-rata	15%	2,251	5,26	16,06	67,29	944,1	3,59	273,5
1	20%	2,244	5,96	16,08	62,92	973,5	3,95	256,3
2	20%	2,246	5,85	15,99	63,38	966,2	3,72	270,1
3	20%	2,259	5,32	15,51	65,69	968,6	3,70	285,3
Rata-rata	20%	2,250	5,71	15,86	63,99	969,4	3,79	270,6



----- Batasan spesifikasi BM 2018 Revisi 1
 ----- Hasil Pengujian

Gambar 7. Grafik nilai untuk parameter VIM dan VMA pada campuran Laston AC-WC dengan Karet Remah



----- Batasan spesifikasi BM 2018 Revisi 1
 Hasil Pengujian

Gambar 8. Grafik nilai untuk parameter VFA, stabilitas, kelelahan dan MQ pada campuran Laston AC-WC dengan Karet Remah

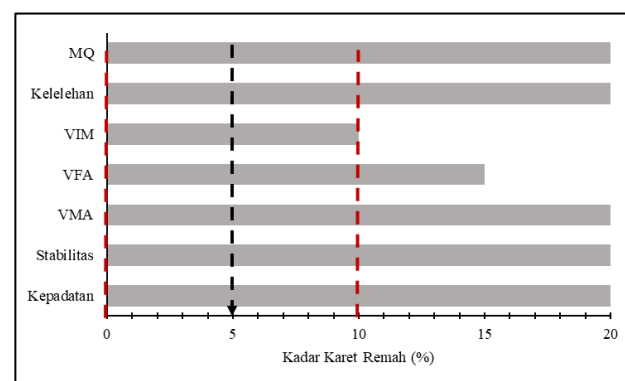
Pada Gambar 6 dan 7 dapat dilihat hasil Pengujian Marshall campuran beraspal yang ditambah karet remah. Untuk nilai rongga dalam campuran (VIM), yang masuk dalam batasan spesifikasi diantaranya dengan kadar pencampuran karet remah 0% sebesar 3,98%, 5% sebesar 4,40% dan 10% sebesar 4,83%. Sedangkan dengan kadar pencampuran karet remah 15% dan 20% memiliki nilai VIM sebesar 5,26% dan 5,71% yang melebihi nilai batas spesifikasi Bina Marga. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar karet remah, semakin tinggi pula nilai rongga yang terdapat didalam campuran. Rongga didalam campuran bisa terjadi karena, pada saat pencampuran aspal dan karet remah tidak tercampur secara homogen atau tidak tercampur dengan baik. Rongga tersebut dapat mengakibatkan campuran

bersifat porus dan lebih mudah menyerap air atau bahan lainnya.

Nilai rongga terisi aspal (VFA) untuk persen pencampuran karet remah 0% sebesar 76,25%, 5% sebesar 73,39%, 10% sebesar 70,36%, dan 15% sebesar 67,29% yang masuk dalam batas sesuai dengan spesifikasi bina marga. Sedangkan pada saat pencampuran karet remah dengan kadar 20% menghasilkan nilai VFA dibawah standar Bina Marga dengan nilai sebesar 63,99%. Berdasarkan hasil nilai yang didapat dari pengujian, menunjukan bahwa semakin tinggi kadar karet remah maka semakin sedikit aspal yang menutupi rongga antar butir agregat. Hal tersebut dapat mengakibatkan campuran bersifat getas dan mudah retak. Jika nilai VFA terlalu tinggi, yang artinya terlalu sedikit rongga yang tersisa di dalam lapis perkerasan yang diisi dengan aspal menyebabkan lapis perkerasan akan mudah mengalami *bleeding*.

Berdasarkan hasil Pengujian Marshall, nilai rongga dalam agregat (VMA), stabilitas, kelelahan dan Marshall Quotient (MQ) menunjukkan semua masuk dalam batas ketentuan spesifikasi Bina Marga. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar karet remah semakin stabil dan elastis sifat campuran tersebut.

Gambar 6 dan 7 hasil pengujian dapat digunakan untuk menentukan kadar optimum dari rerata nilai setiap Parameter *Marshall Test*, lalu dibuat grafik dengan bentuk batang yang bertujuan untuk menentukan kadar optimum campuran beraspal panas laston AC-WC yang ditambah karet remah sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 9. Grafik Kadar Optimum Karet remah

Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai Kadar Optimum karet remah adalah 5%. Nilai KOA didapat dari rentang nilai 0% hingga 10% yang dilalui oleh garis merah. Garis merah tersebut menunjukkan semua nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient (MQ) pada kadar karet remah (*Crumb Rubber*) 0%, 5%, dan 10% memenuhi semua Parameter Pengujian Marshall.

Kadar karet remah (*crumb rubber*) 0%, 5%, dan 10% semua bisa digunakan karena semua nilai parameter memenuhi nilai yang sesuai dengan spesifikasi. Namun, rentang 0%, 5%, dan 10% dapat digunakan untuk mendapatkan nilai aman, lalu diambil nilai tengahnya untuk mendapatkan kadar optimum karet remah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan beberapa variasi kadar campuran antara aspal panas jenis laston AC-WC dan karet remah. Dari semua variasi campuran beraspal panas jenis laston AC-WC + karet remah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% menghasilkan kadar optimum campuran karet remah sebesar 5% terhadap campuran beraspal panas jenis laston AC-WC. Hasil penelitian menunjukkan nilai kelelahan (*flow*) sebesar 3,07 mm, nilai VIM sebesar 4,40%, nilai VMA 16,53%, serta nilai VFA sebesar 73,39%. Nilai-nilai tersebut masuk dalam batasan spesifikasi Bina Marga. Dengan demikian, kadar optimum campuran karet remah sebesar 5% dapat menghasilkan konsistensi campuran yang baik, lapis perkerasan menjadi lebih awet dan kuat dengan adanya pengaruh rongga yang terdapat di antara campuran aspal dan karet remah.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran aspal menggunakan bahan karet remah 5% memiliki nilai stabilitas sebesar 856,1 kg, kelelahan (*flow*) sebesar 3,07 mm dan *Marshall Quotient* (MQ) 290,40 kg/mm, sedangkan nilai stabilitas campuran beraspal panas jenis aspal beton AC-WC dengan kadar aspal 5% memiliki stabilitas 813,7 kg, dengan kelelahan (*flow*) 3,03 mm serta *Marshall Quotient* (MQ) 268,30 kg/mm.

Kesimpulan diatas menunjukkan bahwa, penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas dan performa campuran beraspal laston AC-WC.

REFERENSI

Andharta, M. F. (2021). Analisis Stabilitas Campuran Beraspal Laston AC-WC Dengan Bahan Tambah Serbuk Karet Ban Bekas (*CRUMB RUBBER*). *Skripsi*. Universitas Tridianti, Palembang

Bahrudin, Wiranata, A., Malik, A., Kumar, R., & Permata, D. S. (2019). Pembuatan Aspal Modifikasi Polimer Berbasis Karet Alam Tanpa dan Dengan Mastikasi. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Litbangyasa Industri II*, 2(2), 260–269. <http://202.47.80.55/pmbp/article/view/5494>

Bressi, S., Fiorentini, N., Huang, J., & Losa, M. (2019). Crumb rubber modifier in road asphalt pavements: State of the art and statistics. *Coatings*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/COATINGS9060384>

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Divisi 6 Revisi 1. (2018). Spesifikasi Umum Bina Marga

Hardiyatmo, H. C. (2017): Perancangan Perkerasan jalan & Penyelidikan Tanah, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Hariyadi, H., Pratama, Y., Sigit, S., Fadhilah, L., Maryunani, W. P., & Sudarno, S. (2018). Pengaruh Ukuran Crumb Rubber Mesh #80 dan Mesh #120 (Serbuk Limbah Ban Karet) pada Penambahan Campuran Laston untuk Perkerasan Jalan. *Reviews in Civil Engineering*, 2(2), 82–85. <https://doi.org/10.31002/rice.v2i2.948>

Hassan, N. A., Airey, G. D., Jaya, R. P., Mashros, N., & Aziz, M. A. (2014). A review of crumb rubber modification in dry mixed rubberised asphalt mixtures. *Jurnal Teknologi*, 70(4), 127–134. <https://doi.org/10.11113/jt.v70.3501>

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2017*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Spesifikasi Khusus Aspal Karet Padat dan Cair*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.

Mulyani, S., Nono, N., & Suaryana, N. (2019). Kajian Penambahan RejIRE pada Aspal Modifikasi Crumb Rubber serta Kinerjanya pada Campuran Beraspal Panas. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(2), 148. <https://doi.org/10.14710/mkts.v24i2.18996>

Nunung Martina, Muhammad Fathur Rouf Hasan, dan Yanuar Seiawan. (2019). Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Campuran Aspal Porous. *Jurnal Wahana TEKNIK SIPIL Depok: Universitas Indonesia*, Volume 24 No.2.

Pataras, M., Dewi, R., Prasetya, A. D., & Bazidno, F. D. (2017). Pemanfaatan Karet Mentah Pada Flexible Pavement Laston Ac-Wc Dan Lataston Hrs-Wc. *Cantilever*, 6(1). <https://doi.org/10.35139/cantilever.v6i1.51>

Picado-Santos, L. G., Capitão, S. D., & Dias, J. L. F. (2019). Crumb rubber asphalt mixtures by dry process: Assessment after eight years of use on a low/medium trafficked pavement. *Construction and Building Materials*, 215, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.129>

Purnomo, Wahyu, Berry Evaldo dan Latif Budi. (2014). Pemanfaatan Karet remah (Type Rubber) Sebagai Aditif pada Aspal Modifikasi Polimer. *The 17th FSTPT of International Symposium*, Universitas Jember, Jember, 22-24 Agustus 2014.

Senolinggi. 2018. “Pengaruh Penambahan serbuk Karet remah Menggunakan Filler Abu Sekam Padi pada Asphalt Concrete – Wearing Course di Tinjau dari Karakteristik Marshall”. *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Malang.

Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova: Bandung

Suryono, J., Karminto, & Arifan. (2019). Pengaruh Crumb Rubber Dengan Material Lokal Serta Filler Batu Laterit Terhadap Nilai Marshall Asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, 39–50.

Syahputra, D., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2020). Asphalt Concrete – Wearing Course (Ac-Wc) With Crumb Rubber Mixture Performance Evaluation. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(3), 223. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.3.5>

Tai Nguyen, H. T., & Nhan Tran, T. (2018). Effects of crumb rubber content and curing time on the properties of asphalt concrete and stone mastic asphalt using dry process. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(3), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.09.014>

- Wulandari, P. S., & Tjandra, D. (2019). The use of crumb rubber for replacing fine aggregate in cold mixture asphalt. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/615/1/012119>
- Wulandari, P. S., Kertorahardjo, K., Thesman, A., & Tjandra, D. (2019). Effect of Crumb Rubber as Fine Aggregate Replacement in Cold Mixture Asphalt. *Civil Engineering Dimension*, 21(2), 107–112. <https://doi.org/10.9744/ced.21.2.107-112>
- Wen, Y., Wang, Y., Zhao, K., & Sumalee, A. (2017). The use of natural rubber latex as a renewable and sustainable modifier of asphalt binder. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(6), 547–559. <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1095913>

