



Jurnal TeKLA

Jurnal Inovtek seri Teknik Sipil dan Aplikasi (TeKLA)

PUSAT PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
POLITEKNIK NEGERI BENGKALIS



Vol.5	No.1	Halaman 01 – 51	Juli 2023
--------------	-------------	----------------------------	----------------------



9 772715 842015

Dewan Redaksi:

Redaktur :

Indriyani Puluhulawa

Tim Editor/ penyunting :

Zev Al Jauhari

Zulkarnain

Lizar

Tira Roesdiana

Dian Eksana Wibowo

Mitra Bestari:

Ir. Ahmad Zaki, ST, M.Sc, Ph.D (Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta)

Putera Agung Maha Agung (Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta)

Muhammad Akbar Caronge (Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanudin)

Sigit Sutikno (Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau)

Administrasi/ Sirkulasi:

Supianto

Alamat Redaksi/ Penerbit:

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis

Jl. Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis, Riau 28711

email: tekla@polbeng.ac.id

website: <http://ejournal.polbeng.ac.id/index.php/tekla>

Terbit pada Bulan:

Juli dan Desember

Penanggung jawab:

Ketua Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bengkalis

Jurnal Inovtek seri Teknik Sipil dan Aplikasi (TekLA) merupakan publikasi ilmiah online berkala yang diperuntukkan bagi peneliti yang hendak mempublikasikan hasil penelitiannya dalam bentuk studi literatur, penelitian, pengembangan, dan aplikasi teknologi. Jurnal TekLA memuat artikel terkait dengan ilmu rekayasa struktur dan material, ilmu pondasi dan tanah pendukung, rekayasa transportasi dan perkerasan jalan, rekayasa hidro dan bangunan air, manajemen konstruksi serta ilmu pengukuran dan pemetaan.

EDITORIAL

Bismillahirrahmanirrahiim,

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan anugerah iman dan ilmu kepada hamba-Nya. Tak terasa tim editor Jurnal TekLA telah menuntaskan proses review dan penerbitan Volume 5 Edisi 1 di Bulan Juli 2023 ini. Tim Editor menerima beberapa makalah dari dalam dan luar Polbeng. Namun dari jumlah tersebut, hanya 6 naskah yang diterima pada edisi ini. Tiga dari enam naskah yang diterima berasal dari luar Politeknik Negeri Bengkalis, yaitu naskah yang berasal dari Universitas Islam Riau dan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Dalam edisi ini, topik naskah yang ditampilkan meliputi beberapa fokus keilmuan Teknik Sipil. Secara kuantitas, minat publikasi di kalangan civitas akademik bidang ilmu Teknik Sipil semakin meningkat. Hal ini dibuktikan dengan jumlah naskah yang diterbitkan pada edisi kali ini sebanyak enam naskah. Meskipun demikian, Tim Editorial Jurnal TekLA bertekad meningkatkan kualitas naskah yang diterima dan menjaga proses review yang independen terhadap naskah-naskah tersebut. Lebih lanjut, tim Editorial juga menerapkan pemeriksaan kemiripan (*similarity*) terhadap seluruh naskah sebelum dilakukan proses review.

Tim Editorial berterimakasih kepada para reviewer eksternal yang berasal dari berbagai Perguruan Tinggi di Indonesia. Berkat saran koreksi dan review yang dijalankan oleh para reviewer tersebut, maka tim dapat menuntaskan penerbitan edisi ini.

Bengkalis, 31 Juli 2023

Indriyani Puluhulawa, S.T., M. Eng
Editor-in-Chief Jurnal TekLA
email: indriyani_p@polbeng.ac.id

DAFTAR ISI

Pengaruh Pemanfaatan Limbah Abu Fiber Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-125 Roza Mildawati, Yulia Ernita, Sy Sarah Alwiah	1-7
Evaluasi Kinerja Ruas Jalan Kawasan Taman Bukit Gelanggang Kota Dumai Menggunakan Aplikasi Vissim Guruh Sawita Gara, Muhammad Idham	8-17
Penggunaan Aplikasi Ptv Vissum Pada Evaluasi Kinerja Jalan Kawasan Taman Bukit Gelanggang Risno Nainggolan, Muhammad Idham	18-27
Analisa Pengaruh Penambahan Karet Remah Sir20 Sebagai Bahan Penambah Aspal Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Sy Sarah Alwiah, Roza Mildawati, Dea Masita	28-38
Evaluasi Terhadap Implementasi <i>Job Safety Analysis</i> (JSA) Dengan <i>Job Safety Observation</i> (JSO) Satria Jaya Eka Putra, Armada	39-46
Quantity Take Off pada Perencanaan Gedung Apartemen Menggunakan BIM Revit Seplika Yadi, Effendi Yusuf, Bagus Soebandono	47-54

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN KARET REMAH SIR20 SEBAGAI BAHAN PENAMBAH ASPAL PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)

Sy Sarah Alwiah¹, Roza Mildawati², Dea Masita³

^{1,2,3}Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Jl Kaharudin Nst Pekanbaru, Indonesia

sarahalwiyah@eng.uir.ac.id¹, Penulis rozamildawati@eng.uir.ac.id², Penulis deamasita@student.uir.ac.id

Abstrak

Banyak jalan di Indonesia rusak dan retak akibat perubahan bentuk yang disebabkan oleh tekanan beban kendaraan melebihi kapasitas jalan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan untuk mengatasi kekurangan campuran aspal dengan menggunakan karet alam dalam bentuk SIR20 Crumb Rubber untuk mengisi kekurangan campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efek penambahan SIR20 Crumb Rubber sebagai aditif aspal dalam campuran AC-BC. Penelitian ini dilakukan menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan menggunakan metode Uji Marshall. Dengan menggunakan persentase campuran SIR20 Crumb Rubber sebagai aditif aspal dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa nilai Aliran (Flow), VMA, dan VIM bervariasi pada 7,5%, 10%, dan 12,5% tidak memenuhi persyaratan spesifikasi. Pada nilai Stabilitas terdapat peningkatan pada variasi 0% hingga 5% dari 1209,60-1309,44 Kg, sedangkan pada variasi 7,5% hingga 12,5% terdapat penurunan dari 1196,16-938,88 Kg. Pada nilai Aliran, terdapat peningkatan pada variasi 0% hingga 2,5% dari 2,73-2,26 mm, sedangkan pada variasi 5% hingga 12,5% terdapat penurunan dari 2,03-1,65 mm. Pada nilai MQ, VMA, dan VIM, terdapat peningkatan pada variasi 0% hingga 5% dari nilai MQ 442,54-646,11 Kg/mm, VMA 15,39-15,51%, VIM 3,62-3,75%, sedangkan pada variasi 7,5% hingga 12,5% terdapat penurunan dari nilai MQ 625,17-567,87 Kg/mm, VMA 13,88-13,47%, VIM 1,89-1,42%. Pada nilai VFA terdapat peningkatan pada variasi 0% hingga 12,5% dari 76,51-89,45%. Jadi, penggunaan SIR20 Crumb Rubber hanya dapat digunakan dengan campuran maksimal 5%, karena hasil dari setiap nilai karakteristik Marshall telah memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2018.

Kata Kunci: AC-BC, Karakteristik Marshall, SIR20 Crumb Rubber, Spesifikasi Bina Marga 2018, Bahan Pengganti.

Abstract

Many roads in Indonesia are damaged and cracked due to changes in shape caused by excessive load pressure from vehicle loads exceeding road capacity. Therefore, it is necessary to make changes to overcome the shortage of asphalt mixture using natural rubber in the form of SIR20 Crumb Rubber to fill the shortage of asphalt mixture. The purpose of this study was to determine the effect of adding SIR20 Crumb Rubber as an asphalt additive in the AC-BC mixture. This research was conducted using the 2018 Bina Marga Specifications using the Marshall Test method. By using the percentage of SIR20 Crumb Rubber mixture as an asphalt additive with variations of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, and 12.5%. Based on the research results, it was obtained that the Flow, VMA, and VIM values varied 7.5%, 10%, and 12.5% did not meet the specification requirements. In the Stability value there was an increase in the 0% to 5% variation from 1209.60-1309.44 Kg, while in the 7.5% to 12.5% variation there was a decrease from 1196.16-938.88 Kg. In the Flow value, there was an increase in the 0% to 2.5% variation from 2.73-2.26 mm, while in the 5% to 12.5% variation there was a decrease from 2.03-1.65 mm. In the MQ, VMA, and VIM values, there was an increase in variations of 0% to 5% from MQ values of 442.54-646.11 Kg/mm, VMA 15.39-15.51%, VIM 3.62-3.75%, whereas in the 7.5% to 12.5% variation there was a decrease from the MQ value of 625.17-567.87 Kg/mm, VMA 13.88-13.47%, VIM 1.89-1.42%. In the VFA value there was an increase in the variation of 0% to 12.5% from 76.51-89.45%. So the use of SIR20 Crumb Rubber can only be used with a maximum of 5% mixture. Because the results of each Marshall characteristic value have met the 2018 Bina Marga Specification standards.

Keywords: AC-BC, Marshall Characteristics, SIR20 Crumb Rubber, 2018 Bina Marga Specifications, Substitute Materials.

1. PENDAHULUAN

Banyak jalan di Indonesia rusak dan retak akibat deformasi yang disebabkan oleh tekanan beban kendaraan melebihi kapasitas jalan dan kepadatan lalu lintas kendaraan di jalan raya. Menurut [1] jumlah kendaraan di Indonesia mencapai 152,51 unit. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan untuk mengatasi kekurangan bahan campuran aspal yang akan diproduksi. Aspal lebih baik dan memiliki

kapasitas serap air yang cukup tinggi untuk menghindari atau setidaknya meminimalkan retakan dan kerusakan jalan aspal yang ada di Indonesia [2]. Kerusakan disebabkan oleh material itu sendiri atau juga disebabkan oleh penanganan yang tidak tepat atau kondisi yang tidak stabil yang dapat disebabkan oleh sistem pelaksanaan yang buruk atau proses pemadatan yang buruk. Oleh karena itu, penyebab dan akibat kerusakan jalan harus dinilai terlebih dahulu [2]. Karet Standard

Indonesia Rubber (SIR) adalah karet alam yang diperoleh dari pengolahan lateks, koagulum karet atau bahan oleh karet yang berasal dari pohon karet (*havea brasiliensis*) secara mekanis dengan atau tanpa bahan kimia, serta memenuhi persyaratan mutu SIR [3].

Penelitian ini menggunakan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Berdasarkan penelitian [2] penambahan remah karet (crumb rubber) [3] sebagai bahan penambah aspal dan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi (*filler*) tidak sepenuhnya memenuhi spesifikasi Bina Marga. Nilai KAO + *crumb rubber* 5%, 6%, dan 7% tidak efisien digunakan dan pada penelitian tersebut memvariasikan juga KAO nya.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh [4] Pengaruh Penggunaan Aspal Modifikasi *Crumb Rubber* Dan Lateks Sir-20 Terhadap Karakteristik Marshall *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) Hasil yang didapat yaitu kadar karet yang digunakan adalah sebesar 6,4% untuk SIR-20 dan 5,85% untuk *crumb rubber*. Kadar tersebut dipilih berdasarkan hasil dari pengujian karakteristik terhadap aspal modifikasi yang memenuhi standar [5] penelitian menggunakan karet alam sebagai bahan tambah juga dilakukan oleh [6] penelitian ini dilakukan uji laboratorium dengan membuat campuran aspal beton yang aspalnya dimodifikasi dengan penambahan karet alam SIR 20 yang masing-masing dengan proporsi karet alam SIR 20 yang ditambahkan 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Hasil dari penelitian ini bahwa hampir semua nilai parameter *marshall* dari kadar bahan tambah 0% (aspal konvensional) sampai 10% naik, mengindikasikan campuran karet alam sebagai bahan tambah bisa menambah kekuatan campuran aspal beton.

Untuk memperbaiki kinerja campuran agregat beraspal dapat dilakukan dengan memodifikasi sifat-sifat fisik aspal, khususnya penetrasi dan titik lembeknya, dengan menggunakan bahan tambahan sehingga bisa mengurangi kepekaan aspal terhadap temperatur dan keelastisitasnya. Penambahan karet remah SIR20 sebagai bahan tambah

aspal pada campuran (*Asphalt Concrete Binder Course*). Karet remah SIR20 memiliki warna hitam pekat dan memiliki tekstur mendekati aspal. Penelitian ini diharapkan campuran aspal yang menggunakan campuran karet remah SIR20 sebagai bahan tambah memiliki kinerja yang lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen yang dilakukan di laboratorium PT. Bina Pembangunan Adi Jaya, Kabupaten Rokan Hulu dan menggunakan metode [7].

A. Bahan Penelitian

Berdasarkan penelitian [8] agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-fumace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton, mortar semen hidrolis. Material yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 15.840 gram untuk agregat kasar dan 20.856 gram untuk agregat halus. Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat *adhesive*, kedap air dan mudah dalam pengerjaannya. Aspal yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 2.262,06 gram. Aspal yang digunakan, yaitu penetrasi 60/70 produksi dari Pertamina Rabana PT. Bina Pembangunan Adi Jaya, Kabupaten Rokan Hulu. Jumlah *filler* yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 561 gram, Bahan yang digunakan peneliti sebagai bahan tambah pada aspal adalah Karet Remah SIR20 dari PT. Transco Pratama, Dhamasraya, Sumatra Barat. Jumlah Karet Remah SIR20 yang digunakan sebanyak 79.875 gram.

B. Tahapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini dilaksanakan sebagai berikut:

1) *Persiapan Alat dan Bahan*: Menyiapkan semua peralatan dan bahan yang akan digunakan.

2) *Pengujian Material*: Pengujian material ini meliputi analisa ayakan, berat jenis dan absorpsi agregat, kandungan lumpur agregat, keausan agregat (abrasi).

3) *Desain Campuran AC-BC Menggunakan Spesifikasi [7]*: Metode yang digunakan dalam desain campuran aspal didasarkan pada metode Trial and Error dengan menghitung jumlah kandungan aspal yang dibutuhkan dalam desain campuran aspal.

4) *Pembuatan Benda Uji*: Benda uji dibuat sesuai dengan desain campuran aspal yang telah direncanakan.

5) *Uji Marshall*: Setelah semua sampel dibuat, dilakukan uji Marshall untuk mendapatkan Kandungan Aspal Optimum (KAO).

6) *Pembuatan Benda Uji Berdasarkan KAO*: Setelah diperoleh kandungan bitumen optimum, kemudian dibuat benda uji KAO dengan 3 sampel SIR20 Crumb Rubber untuk setiap variasi yang digunakan, dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5%. Sebanyak 18 sampel benda uji.

7) *Pengujian Benda Uji*: dengan Uji Marshall untuk mendapatkan nilai Stabilitas, Aliran, VIM, VFA, VMA, dan MQ.

8) *Analisis dan diskusi hasil*: Menganalisis benda uji mengenai penambahan SIR20 Crumb Rubber sebagai aditif aspal menggunakan Uji Marshall untuk mendapatkan nilai karakteristik Marshall (Stabilitas, Aliran, VIM, VFA, VMA, dan MQ).

9) *Kesimpulan dan Rekomendasi*: Kesimpulan dan saran akan diperoleh setelah pengujian benda uji selesai dan hasil analisis diperoleh, mengenai efek penambahan SIR20 Crumb Rubber sebagai aditif aspal pada campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC).



Gambar 1 Karet Remah SIR20



(a)

(b)



(c)

Gambar 2 (a) Pembuatan Benda Uji Bricket Aspal, (b) Proses Pencampuran Pembuatan Benda Uji Bricket Aspal (c) Proses Pemadatan Benda Uji Bricket Aspal

3. HASIL PENGUJIAN

A. Hasil Pengujian Material

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa pengujian, yaitu analisis ayakan, berat jenis agregat, keausan agregat (abrasi), luas pecahan, dan kandungan lumpur sesuai dengan persyaratan Spesifikasi [7].

B. Hasil Distribusi Ukuran Butir Agregat (Analisis Ayakan)

Dalam penelitian ini, analisis ayakan digunakan sebagai panduan dalam menentukan penggabungan agregat dalam campuran aspal. Data yang diperoleh dari hasil perhitungan analisis ayakan untuk agregat kasar, agregat sedang, agregat halus (abu batu) dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Persen lolos agregat

Ukuran Saringan		(%) Lolos Material		
(mm)	(inchi)	BPc. 3/4"	BPc. 3/8"	Abu Batu
25,000	1.0 "	100,00	100,00	100,00
19,000	3/4 "	93,25	100,00	100,00
12,700	1/2 "	41,01	100,00	100,00
9,500	3/8 "	6,19	86,80	100,00
4,750	No. 4	1,75	16,41	91,80
2,360	No. 8	0	3,38	63,90
1,180	No. 16	0	2,82	51,05
0,600	No. 30	0	1,90	38,60
0,300	No. 50	0	0,00	30,84
0,150	No. 100	0	0,00	11,93
0,075	No. 200	0	0,00	4,50

C. Hasil Perhitungan Gabungan Agregat

Komposisi campuran AC-BC yang terdiri dari 3 fraksi yaitu agregat kasar, agregat medium, agregat halus (abu batu). Persentase masing-masing agregat diperoleh dengan cara metode Trial And Error. Didapat hasil untuk agregat kasar (batu pecah 3/4) 17%, untuk

agregat medium (batu pecah 3/8) 25,5%, abu batu 56,0%, dan filler 1,5%. Nilai ini didapat dari komposisi campuran AC-BC yang terdiri dari 3 fraksi. Persentase pemakaian agregat tersebut dikalikan dengan persen lolos masing-masing agregat sehingga didapatkan gradasi agregat gabungan. Gradasi agregat gabungan ini harus memenuhi persyaratan menurut [7] untuk campuran aspal AC-BC.

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan persen pemakaian agregat kasar (CA) 17%, agregat medium (MA) 25.5%, abu batu (FA) 56,0%, dan filler 1,5%. Berdasarkan persentase pemakaian tiap fraksi agregat juga didapatkan nilai berat jenis bulk gabungan, berat jenis apparent dan berat jenis efektif. Grafik gradasi gabungan dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa gradasi gabungan agregat berada tepat diantara batas atas dan batas bawah, tidak keluar dari batas atas dan batas bawah, artinya gradasi ini memenuhi spesifikasi.

Tabel 2 Hasil gradasi agregat gabungan campuran AC-BC

Ukuran Saringan		(%) Lolos Material				Komposisi Material (%)				Gradasi Gabungan (%)	Spesifikasi (%)
(mm)	(inchi)	BPc. 3/4"	BPc. 3/8"	Abu Batu	Filler Abu Batu	17	25,5	56,0	1,5		
25,000	1.0 "	100,00	100,00	100,00	100	17,00	25,50	56,00	1,50	100,00	100
19,000	3/4 "	93,25	100,00	100,00	100	15,85	25,50	56,00	1,50	98,85	90-100
12,700	1/2 "	41,01	100,00	100,00	100	6,97	25,50	56,00	1,50	89,97	75-90
9,500	3/8 "	6,19	86,80	100,00	100	1,05	22,13	56,00	1,50	80,69	66-82
4,750	No. 4	1,75	16,41	91,80	100	0,30	4,18	51,41	1,50	57,39	46-64
2,360	No. 8	0	3,38	63,90	100	0,00	0,86	35,78	1,50	38,14	30-49
1,180	No. 16	0	2,82	51,05	100	0,00	0,72	28,59	1,50	30,80	18-38
0,600	No. 30	0	1,90	38,60	100	0,00	0,48	21,61	1,50	23,60	12-28
0,300	No. 50	0	0,00	30,84	100	0,00	0,00	17,27	1,50	18,77	7-20
0,150	No. 100	0	0,00	11,93	100	0,00	0,00	6,68	1,50	8,18	5-13
0,075	No. 200	0	0,00	4,50	100	0,00	0,00	2,52	1,50	4,02	4-8

D. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Halus

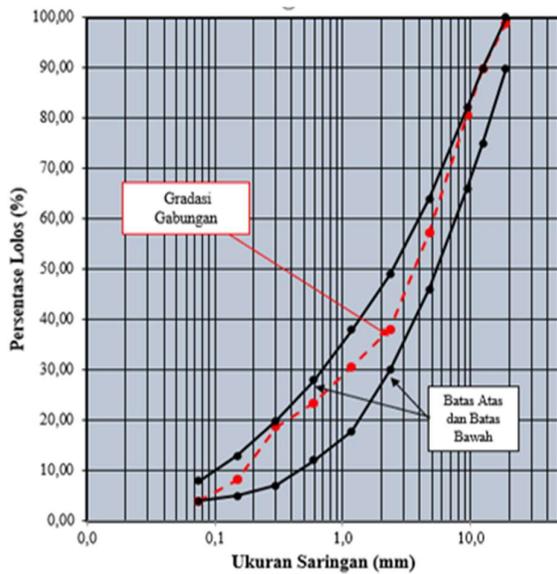
Hasil pengujian berat jenis penyerapan pada agregat kasar, medium, abu batu dapat dilihat pada tabel 3. Berdasarkan persyaratan umum yang digunakan sebagai pedoman, dijelaskan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan yang ditentukan dan layak digunakan sebagai

bahan campuran perkerasan aspal. Syarat berat jenis minimum 2,5 gram/cm³, serta penyerapan tidak lebih dari 3% [9]. Dari ketiga agregat dapat digunakan pada perhitungan tabel pengujian Marshall.

E. Hasil Pengujian Keausan Agregat (Abrasi)

Berdasarkan [10] yang digunakan sebagai pedoman penelitian, pada Tabel 4 dapat dijelaskan bahwa daya tahan agregat kasar

terhadap penghancuran (degradasi) akibat beban mekanis dapat digunakan.



Gambar 3 Grafik Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-BC

Tabel 3 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat

Pengujian	Agregat Kasar (gr/cm ³)	Agregat Medium (gr/cm ³)	Abu Batu (gr/cm ³)	Syarat
Berat Jenis (Bulk)	2,621	2,681	2,542	min 2,5
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)	2,634	2,697	2,564	min 2,5
Berat Jenis Semu (Apparent)	2,656	2,726	2,599	Min 2,5
Penyerapan (%)	0,512	0,627	0,627	Max 3%

F. Pengujian Bidang Pecah Pada Agregat Kasar

Berdasarkan [11] bahwa bidang pecah pada agregat kasar yang telah dilakukan pengujiannya dapat digunakan pada penelitian ini.

G. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar dan Agregat Halus

Hasil dari pengujian kadar lumpur pada agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7. bahwa kadar lumpur pada agregat kasar dan agregat halus dapat

digunakan pada komposisi pencampuran dan memenuhi syarat spesifikasi kadar lumpur.

Tabel 4 Hasil pengujian keausan (abrasi) agregat kasar

Contoh Saringan				Berat Material	
Passive Sieve Size		Retained Sieve Size			
Std. (mm)	Alt	Std. (mm)	Alt		
76,2	3"	63,5	2,5"	2500	
63,5	2,5"	50,8	2"		
50,8	2"	38,1	1,5"		
38,1	1,5"	25,4	1"		
25,4	1"	19,1	¾"		
19,1	¾"	12,7	½"		
12,7	½"	9,51	3/8"		
9,51	3/8"	6,35	¼"		
6,35	¼"	4,75	#4		
4,75	#4	2,36	#8		
Total berat sebelum dites					(A) 5000
Berat setelah dites (tertahan saringan No.12)					(B) 3510
Keausan (A-B)/A x 100				(%) 29,80	
No saringan				12	
Jumlah putaran				500	
Nilai rata-rata keausan				(%) 29,80	
Batas spesifikasi				Max 40%	

Tabel 5 Hasil pengujian bidang pecah agregat kasar

No	Uraian Contoh	
A	Berat contoh tertahan Saringan No. 4	1,624 gr
B	Berat contoh yang mempunyai satu bidang pecah	1,610 gr
C	Nilai bidang pecah B/A x 100%	99,17 %

Tabel 6 Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar

No	Keterangan	Hasil Pengujian
1	Berat cawan	147,9 gr
2	Berat cawan + benda uji kering sebelum dicuci	959,3 gr
3	Berat cawan + benda uji kering sesudah dicuci	857,3 gr
4	Berat benda uji kering sebelum dicuci (2-1)	811,4 gr
5	Berat benda uji kering sesudah dicuci (3-1)	709,4 gr
6	Persentase kadar lumpur (%)	0,13 gr

H. Hasil Pengujian Bahan Pengisi (Filler)

Berdasarkan dari [12] menyatakan bahwa filler adalah bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan harus mengandung

bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

Tabel 7 Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus

No	Keterangan	Satuan	Ket.	Hasil
1	Tinggi pasir awal	mm	A	350
2	Tinggi pasir dalam hidrometer	mm	B	400
3	Tinggi lumpur	mm	A-B	50
4	Kadar lumpur	%	(C.100) / A	14,29

1. Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Hasil pengujian aspal berdasarkan tabel 8 dijelaskan bahwa aspal tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran perkerasan aspal karena sudah memenuhi syarat yang ditentukan pada Spesifikasi [7]. Hasil pengujian berat jenis aspal dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil pengujian aspal

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian Aspal Karet						Persyaratan Pengujian
		0%	2,5 %	5%	7,5 %	10%	12,5 %	
Penetrasi	0,1	58,0	60,2	62,2	64,4	67,5	69,4	60-70
Tinggi lembek	°C	48,3	50	51,9	53,4	55,8	56,4	48-58
Daktilitas	°C	129	132	134	148	151	163	min 100

Tabel 9 Hasil pengujian jenis aspal penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Persyaratan Pengujian
1	Berat Jenis	gr/cc	1,029	min 1,0

4. PEMBAHASAN

A. Hasil Tes Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai Stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) dari pencampuran aspal yang direncanakan. Dari hasil pengujian ini dapat ditentukan kadar aspal optimum (KAO) campuran, dengan menentukan 6 parameter Marshall yaitu Stabilitas, Kelelahan (*flow*), MQ, VIM, VMA, dan VFA. Hasil analisa tersebut harus memenuhi standar persyaratan Spesifikasi [7] pada campuran AC-BC. Hasil pengujian Marshall dari 5 variasi dengan

jumlah 15 sampel benda uji dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil pengujian Marshall campuran AC-BC (KAO)

Parameter	Satuan	Kadar Aspal (%)					Spek.
		5%	2,5%	5%	7,5%	10%	
VMA	%	14,77	13,33	15,33	16,46	16,78	Min 15
VFA	%	65,60	83,07	78,39	79,29	84,69	Min 65
VIM	%	5,08	2,26	3,31	3,41	2,57	3-5
Stabilitas	kg	1393,9	1618,6	1424,6	1424,6	1386,2	Min 800
Flow	mm	2,63	2,75	2,82	2,95	2,64	2-4
MQ	kg/mm	530,01	588,57	505,79	482,93	524,43	Min 250

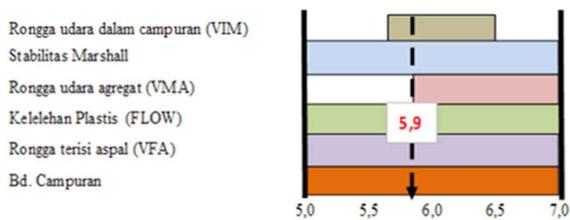
Berdasarkan Tabel 10 dilihat bahwa nilai VFA, Stabilitas, Flow, dan MQ pada kelima variasi kadar aspal telah memenuhi standar [7]. Pada nilai VMA yang memenuhi syarat standar Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu pada kadar 5%, 6%, 6,5%, dan 7%, sedangkan pada kadar aspal 5,5 % tidak memenuhi standar spesifikasi. Pada nilai VIM yang memenuhi standar [7] yaitu pada kadar 5%, 6,0%, dan 6,50%. Sedangkan pada kadar aspal 5,5% dan 7% tidak memenuhi standar spesifikasi karena batas nilai standar spesifikasi minimum 3 mm.

Menghitung nilai kadar aspal optimum (KAO) yang ditentukan dari 6 parameter Marshall yaitu nilai VMA, VFA, VIM, Stabilitas, Flow, dan MQ. Nilai kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai Stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) dari pencampuran aspal yang direncanakan. Dari hasil pengujian ini dapat ditentukan kadar aspal optimum (KAO) campuran, dengan menentukan 6 parameter Marshall yaitu Stabilitas, Kelelahan (*flow*), MQ, VIM, VMA, dan VFA. Hasil analisa tersebut harus memenuhi standar persyaratan Spesifikasi [7] pada campuran AC-BC. Hasil pengujian Marshall dari 5 variasi dengan jumlah 15 sampel benda uji dapat dilihat pada Tabel 10.

Berdasarkan Gambar 4 didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) yaitu 5,9%. kemudian dilakukan pembuatan benda uji

dengan menggunakan Karet Remah SIR20 sebagai bahan penambah aspal. Benda uji yang akan dibuat sebanyak 18 sampel benda uji dan setiap variasi sebanyak 3 sampel benda uji. Variasi yang digunakan yaitu 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Berikut hasil pengujian Karet Remah SIR20 sebagai bahan penambah aspal pada setiap persentase variasinya sesuai standar Spesifikasi Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 11.



Gambar 4 Diagram kadar aspal optimum

Tabel 11 Hasil pengujian Marshall campuran karet remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada campuran AC-BC

Variasi Suhu	Stabilit	Flow	MQ	VMA	VFA	VIM
0%	1209,60	2,73	442,54	15,39	76,51	3,62
2,5%	1290,24	2,26	573,23	15,50	75,91	3,74
5%	1309,44	2,03	646,11	15,51	75,98	3,75
7,5%	1196,16	1,91	625,17	13,88	86,59	1,89
10%	975,36	1,79	544,89	13,86	86,99	1,87
12,5%	938,88	1,65	567,87	13,47	89,45	1,42
Spesifikasi	Min 800	2-4	Min 250	Min 15	Min 65	3-5

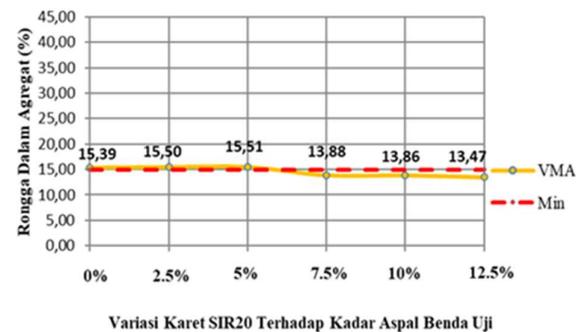
Berdasarkan Tabel 11 dilihat bahwa hasil pengujian *Marshall* campuran Karet Remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada campuran AC-BC, nilai Stabilitas, MQ, VFA pada variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% memenuhi persyaratan Spesifikasi [7]. Pada nilai Flow, VMA, dan VIM variasi 7,5%, 10%, dan 12,5% tidak memenuhi persyaratan spesifikasi. Pada nilai Stabilitas terjadi peningkatan pada variasi 0% sampai 5%, sedangkan pada variasi 7,5% sampai 12,5% terjadi penurunan. Pada nilai Flow terjadi peningkatan pada variasi 0% sampai 2,5%, sedangkan pada variasi 5% sampai 12,5% terjadi penurunan. Pada nilai MQ, VMA, dan VIM terjadi peningkatan pada variasi 0% sampai 5%, sedangkan pada variasi 7,5 %

sampai 12,5% terjadi penurunan. Pada nilai VFA terjadi peningkatan pada variasi 0% sampai 12,5%, semakin besar persentase campuran variasi maka semakin tinggi nilai VFA. Dapat disimpulkan bahwa penambahan Karet Remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal hanya dapat digunakan pada maksimum campuran sebesar 5%.

B. Rongga dalam Mineral Agregat (Void In Mineral Agregate / VMA)

VMA (*Void In Mineral Agregate*) merupakan rongga udara yang ada diantara butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase volume campuran. Nilai VMA tergantung pada ukuran mineral agregat, tekstur permukaan agregat, bentuk partikel agregat, dan metode pemadatannya. Dengan semakin bertambahnya nilai VMA dari campuran maka semakin besar pula ruangan yang tersedia untuk lapisan aspal.

Nilai VMA pada komposisi campuran Karet Remah SIR20 Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Aspal dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,9% dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hubungan VMA terhadap karet remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal

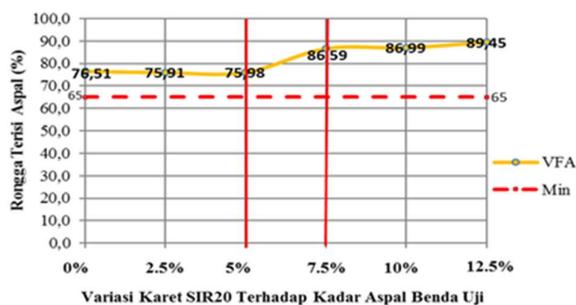
Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai VMA pada persentase campuran Karet Remah SIR20. Pada variasi 0% sampai 5% terjadi peningkatan dan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum [7] dengan nilai VMA variasi 0% sebesar 15,39%, variasi 2,5% sebesar 15,50%, variasi 5% sebesar 15,51%.

Pada variasi 7,5% sampai 12,5% terjadi penurunan dan tidak memenuhi syarat Bina Marga 2018, syarat minimum yaitu 15%. Nilai VMA variasi 7,5% sebesar 13,88%, variasi 10 % sebesar 13,86%, dan variasi 12,5% sebesar 13,47%.

Nilai VMA berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Jika nilai VMA terlalu kecil, maka pada campuran dapat mengalami masalah durabilitas dan mengakibatkan lapisan aspal menjadi lebih mudah rusak. Jika nilai VMA terlalu besar maka akan bermasalah pada stabilitasnya.

C. Rongga Terisi Aspal (Void Filled With Asphalt / VFA)

VFA (*Void Filled With Asphalt*) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap agregat. Untuk menghasilkan campuran perkerasan yang awet, maka rongga-rongga antara harus terisi aspal yang cukup untuk mendapatkan lapisan aspal yang baik. Nilai VFA pada komposisi campuran Karet Remah SIR20 Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Aspal dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Hubungan VFA terhadap Karet Remah SIR20 Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Aspal

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai VFA pada persentase campuran Karet Remah SIR20, semakin besar campuran persentase karet Remah SIR20 maka semakin tinggi nilai VFA. Nilai VFA pada variasi 0% dengan campuran aspal 100% didapat nilai sebesar 76,51%, nilai VFA

variasi 2,5% dengan campuran aspal 97,5% + 2,5% Karet SIR20 didapat nilai sebesar 75,91%, nilai VFA variasi 5% dengan campuran aspal 95% + 5% Karet SIR20 didapat nilai sebesar 75,98%, nilai VFA variasi 7,5% dengan campuran aspal 92,5% + 7,5% Karet SIR20 didapat nilai sebesar 86,59%, nilai VFA variasi 10% dengan campuran aspal 90 % + 10% Karet Remah SIR20 didapat nilai sebesar 86,99%, dan nilai VFA variasi 12,5 % dengan campuran aspal 87,5% + 12,5% Karet Remah SIR20 didapat nilai sebesar 89,45%. Dapat disimpulkan bahwa untuk semua variasi persentase campuran Karet Remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal telah memenuhi syarat Spesifikasi Umum [7].

Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara. VFA juga menentukan stabilitas, fleksibilitas, durabilitas pada lapis perkerasan. Semakin tinggi nilai VFA maka semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi. Jika nilai VFA terlalu tinggi maka akan menyebabkan terjadinya kerusakan. Jika nilai VFA terlalu rendah akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapis aspal akan menjadi tipis dan mudah retak bila menerima beban.

D. Rongga dalam Campuran (Void In the Mix / VIM)

VIM (*Void In the Mix*) adalah volume total udara atau persentase total udara yang terdapat didalam rongga campuran atau volume pori yang masih tersisa dalam campuran aspal. Nilai VIM pada persentase campuran Karet Remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal dapat dilihat pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai VIM pada persentase campuran Karet Remah SIR20. Terjadi Peningkatan dan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum [7] pada variasi 0% sampai 5% dengan nilai VIM pada variasi

0% dengan campuran aspal 100% didapat nilai sebesar 3,62%, nilai VIM variasi 2,5% dengan campuran aspal 97,5% + 2,5% Karet SIR20 didapat nilai sebesar 3,74%, nilai VIM variasi 5% dengan campuran aspal 95% + 5% Karet SIR20 didapat nilai sebesar 3,75%. Pada variasi 7,5% sampai 12,5% terjadi penurunan dan tidak memenuhi syarat [7] nilai VIM variasi 7,5% dengan campuran aspal 92,5% + 7,5% Karet SIR20 didapat nilai sebesar 1,89%, nilai VIM variasi 10% dengan campuran aspal 90% + 10% Karet Remah SIR20 didapat nilai sebesar 1,87%, dan nilai VIM variasi 12,5 % dengan campuran aspal 87,5% + 12,5% Karet Remah SIR20 didapat nilai sebesar 1,42%.



Gambar 7 Hubungan VIM terhadap karet remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal

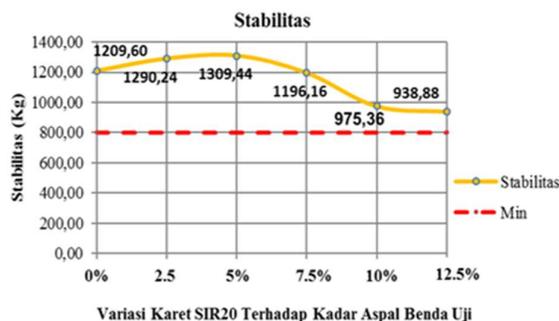
Nilai VIM merupakan ukuran yang umum dikaitkan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran perkerasan. Semakin tinggi nilai VIM maka menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat poros dan mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran. Semakin rendah nilai VIM maka mengakibatkan campuran aspal akan kedap terhadap air, sehingga udara tidak dapat masuk kedalam lapisan perkerasan menyebabkan perkerasan akan cepat mengalami kerusakan dan dapat mengakibatkan aspal meleleh/keluar pada saat memikul beban lalu lintas.

E. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada

alat *marshall test* sewaktu melakukan pengujian *marshall*. Inti dari stabilitas adalah tahan terhadap geser atau kekuatan saling mengunci (*interlocking*) yang dipunyai bahan agregat, dan lekatan yang disumbangkan oleh aspal. Stabilitas sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal dibatas maksimum, akan menurunkan nilai stabilitas sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan mudah retak.

Nilai stabilitas pada persentase campuran Karet Remah SIR20 pada penelitian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Hubungan stabilitas terhadap karet remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal

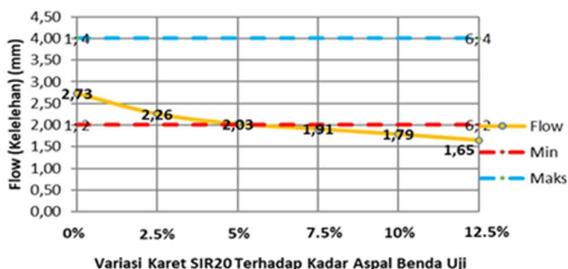
Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai stabilitas pada persentase campuran Karet Remah SIR20. Nilai stabilitas tertinggi yaitu pada persentase variasi 5% dengan campuran aspal 95% + 5% Karet SIR20 nilai stabilitas sebesar 1309,44 kg dan nilai stabilitas terendah yaitu pada persentase variasi 12,5% dengan campuran aspal 87,5% + 12,5% Karet Remah SIR20 nilai stabilitas sebesar 938,88 kg. Pada semua variasi campuran Karet Remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal untuk nilai stabilitas telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum [7] dengan nilai minimumnya yaitu 800 kg.

Nilai stabilitas yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan lapisan perkerasan terlalu kaku dan akan mudah terjadi retak pada waktu menerima beban lalu lintas sehingga tingkat

keawetannya berkurang. Jika nilai stabilitas terlalu rendah akan mudah mengalami deformasi (perubahan bentuk) oleh beban lalu lintas.

F. Kelelahan (Flow)

Kelelahan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi akibat pembebanan sampai batas runtuh, sehingga stabilitas menurun yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Nilai kelelahan (*flow*) pada persentase campuran Karet Remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal dapat dilihat pada Gambar 9.

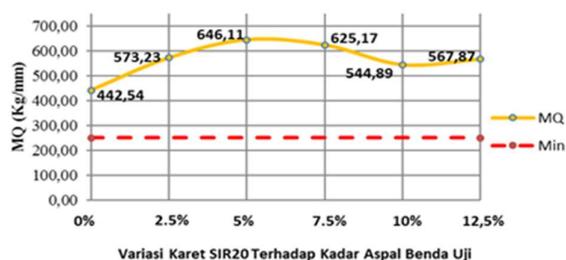


Gambar 9 Hubungan *flow* terhadap karet remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai *Flow* pada persentase campuran Karet Remah SIR20. Nilai *Flow* tertinggi yaitu pada variasi 0% dengan campuran aspal 100% nilai *Flow* sebesar 2,73 mm dan nilai *Flow* terendah yaitu pada variasi 12,5% dengan campuran aspal 87,5% + 12,5% Karet Remah SIR20 nilai *Flow* sebesar 1,65 mm. Pada nilai *Flow* untuk variasi 0% sampai 5% telah memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 dan untuk variasi 7,5% sampai 12,5% tidak memenuhi syarat Spesifikasi. Campuran yang memiliki nilai *Flow* rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku. Namun bila campuran yang memiliki nilai *Flow* tinggi dengan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk apabila mengalami pembebanan lalu lintas.

G. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil yang diperoleh dari hasil pembagian antara nilai stabilitas dengan nilai *Flow*. Nilai MQ memberikan tingkat terhadap kekuatan dan fleksibilitas campuran yaitu kemampuan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi akibat beban yang bekerja tanpa terjadi perubahan volume dan keretakan. Nilai MQ pada persentase campuran Karet Remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Hubungan MQ terhadap karet remah SIR20 sebagai bahan pengganti sebagian aspal

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai stabilitas pada persentase campuran Karet Remah SIR20. Pada variasi 0% dengan campuran aspal 100% nilai MQ sebesar 442,54 kg/mm, variasi 2,5% dengan campuran aspal 97,5% + 2,5% Karet SIR20 didapat nilai MQ sebesar 573,23 kg/mm, variasi 5% dengan campuran aspal 95% + 5% Karet SIR20 didapat nilai MQ sebesar 646,11 kg/mm, variasi 7,5% dengan campuran aspal 92,5% + 7,5% Karet Remah SIR20 nilai MQ sebesar 625,17 kg/mm, variasi 10% dengan campuran aspal 90% + 10% Karet Remah SIR20 nilai MW sebesar 544,89 kg/mm, variasi 12,5% dengan campuran aspal 87,5% + 12,5% Karet Remah SIR20 nilai MQ sebesar 567,87 kg/mm. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah nilai stabilitas dan *Flow*. Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai MQ terlalu rendah, maka mengakibatkan perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil. Jika nilai MQ terlalu tinggi, maka akan mengakibatkan

campuran akan terlalu kaku dan mudah retak dan tidak bertahan lama.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 adalah variasi 0%, 2,5%, dan 5% dan yang tidak memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 adalah variasi 7,5%, 10%, dan 12,5% dan dari hasil penelitian yang dilakukan, semakin besar persentase variasi Karet Remah SIR20 maka nilai VFA semakin tinggi. Sedangkan untuk nilai VMA, VIM, MQ, Flow dan stabilitas terjadi peningkatan pada variasi 0% sampai variasi 5%, dan penurunan terjadi pada variasi 7,5% sampai 12%. Dapat disimpulkan penggunaan Karet Remah SIR20 hanya bisa digunakan sampai maksimum campuran 5%, dikarenakan hasil setiap nilai karakteristik Marshall telah memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Apabila penggunaan Karet Remah SIR20 melebihi persentase campuran 5% maka tidak dapat digunakan sebagai bahan pengganti aspal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada seluruh tim yang telah mendukung penelitian ini sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] (2022) S. Sadya, “Jumlah Kendaraan di Indonesia”. [Online]. Available: <https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/polri-catat-15251-juta-kendaraan-di-indonesia-pada-2022>.
- [2] D. Azhary, “Analisis Pengaruh Penggunaan Crumb Rubber sebagai Bahan Penambah Aspal dengan Filler Abu Cangkang Sawit untuk Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)” B. Eng. thesis, UMSU, Medan, Indonesia, 2021.
- [3] *SKKNI Industri Karet Remah (Crumb Rubber)*, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2018.
- [4] E. Tambunan, A. Mario, “Pengaruh Penggunaan Aspal Modifikasi Crumb Rubber dan Lateks SIR-20 Terhadap Karakteristik Marshall Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)” 2021.
- [5] *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 1)*, Bina Marga, 2018.
- [6] A. Darmiyanti, L. Afandi, “Kajian Penambahan Karet Alam pada Campuran Aspal Beton sebagai Salah Satu Inovasi Teknologi Konstruksi Jalan”, 2019.
- [7] *Spesifikasi Umum 2018 No. Revisi 2*, Dir. Jenderal dan Bina Marga, 2020.
- [8] *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, BSN, 2013.
- [9] *Analisis Spesifikasi dan Penyusunan Spesifikasi Baru untuk Campuran Aspal Panas*, D.P. Umum, 1996.
- [10] *Cara Uji Sifat Kekekalan Agregat dengan Cara Perendaman Menggunakan Larutan Natrium Sulfat atau Magnesium Sulfat*, BSN, 2008
- [11] *SNI 7656-2012*, BSN, 2012
- [12] *ASTM C136:2012*, ASTM International, 2012.