

Analisis Campuran Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) Menggunakan Bahan Tambahan Karet Alam SIR 20 Terhadap Karakteristik Marshall

Intan Safitri^{1*}, Catur Arif Prastyanto¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: intansafitri0102@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	22 Juni 2021	<i>Natural rubber SIR 20 is a product of semi-finished materials from a rubber company. There is currently abundant volume of SIR 20 produced as rubber prices in the global market is decreasing. The utilization of natural rubber SIR 20 in a Thin Layers of Asphalt Concrete (AC-TL) mixture on the surface layer of highway pavement structure is expected to solve this problem. Natural rubber is added into this asphalt mixture by using the dry method with the rubber percentage variations of 0%, 6%, 8% and 10% to the asphalt weight. This study result showed that the addition of SIR 20 in the AC-TL mixture increased the value of Marshall characteristics of the asphalt mixture. The best results were shown in the addition of 8% rubber content and 5.8% asphalt content, with the stability value of 2121.09 kg; flow 3.80 mm; VIM 3.82%; VMA 17.25%; VFA 77.91%; MQ 558.18 kg/mm.</i>
Diperbaiki	12 Januari 2022	
Disetujui	05 April 2022	
<i>Keywords: rubber asphalt, natural rubber, marshall characteristic, SIR 20, Thin Layers of Asphalt Concrete (LTBA).</i>		Abstrak Karet alam <i>Standard Indonesian Rubber</i> (SIR 20) merupakan hasil produksi bahan setengah jadi dari perusahaan karet. Saat ini, volume karet alam SIR 20 hasil produksi perusahaan karet cukup melimpah dengan menurunnya harga karet di pasar global. Pemanfaatan material karet alam SIR 20 dalam campuran Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) pada lapis permukaan (<i>surface</i>) pada struktur perkerasan jalan raya diharapkan mampu membantu menyelesaikan permasalahan tersebut. Penambahan bahan karet alam dalam campuran aspal ini menggunakan metode kering dengan persentase penambahan karet sebanyak 0%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat aspal. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa variasi persentase penambahan karet SIR 20 dalam campuran LTBA meningkatkan nilai karakteristik <i>Marshall</i> pada campuran aspal. Hasil optimum yang terbaik dari setiap kadar persentase ditunjukkan pada penambahan kadar karet 8% dan kadar aspal 5,8% dengan nilai stabilitas 2.121,09 kg; nilai flow 3,80 mm; nilai VIM 3,82%; nilai VMA 17,25%; nilai VFA 77,91%; MQ 558,18 kg/mm.
Kata kunci: aspal karet, karet alam, karakteristik Marshall, SIR 20, Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA).		

1. Pendahuluan

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya [1]. Secara umum, perkerasan lentur tersusun dari lapisan permukaan, lapis pondasi atas, dan lapis pondasi bawah. Lapisan permukaan merupakan lapisan beraspal yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan dan terletak paling atas. Sedangkan lapisan pondasi atas dan bawah merupakan lapisan yang biasanya terbuat dari lapisan bahan berbutir dan bahan yang di stabilisasi dengan semen atau kapur [2].

Lapisan perkerasan pada jalan raya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar tanpa menimbulkan kerusakan. Hal ini berarti lapisan perkerasan pada konstruksi jalan memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan selama masa pelayanan jalan tersebut [3][4]. Namun umur jalan yang telah direncanakan pada kenyataannya tidak

sesuai dengan apa yang terjadi di lapangan [5] sehingga menyebabkan kerusakan dini pada lapisan perkerasan jalan raya [6]. Kondisi jalan yang sudah mengalami kerusakan sebelum masa pelayanan jalan tersebut habis membuat pengguna jalan merasakan ketidaknyamanan [5].

Untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan sebuah alternatif atau pengembangan inovasi dan teknologi pada lapisan perkerasan salah satunya adalah dengan cara menambahkan bahan tambah (aditif) seperti karet alam dalam pembuatan campuran aspal [7]. Hal itu dikarenakan karet alam mempunyai potensi untuk digunakan sebagai bahan aditif dalam pembuatan aspal modifikasi polimer [8]. Selain itu, pengembangan ini juga dapat mengatasi masalah harga karet alam jenis *Standard Indonesia Rubber* (SIR20) yang mengalami penurunan harga di pasar global karena melimpahnya hasil produksi karet SIR 20 (*oversupply*) [9]–[11]. Dengan adanya perkembangan tersebut diharapkan dapat

meningkatkan penggunaan karet SIR 20 domestik sehingga harga komoditas karet dapat mengalami kenaikan.

Penelitian mengenai penambahan karet dalam pencampuran aspal telah ada dilakukan. Pada tahun 2018, Sulaiman dkk, menambahkan karet jenis SIR 20 dalam campuran gradasi *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan metode eksperimental pada persentase penambahan 2%, 4%, 6% dan 8% [12]. Hasil penelitian menunjukkan kadar aspal optimum yang didapat adalah sebesar 6,25% dengan kadar penambahan karet 8%. Diketahui dari penelitian tersebut bahwa masih diperlukannya variasi penambahan yang lebih banyak karena masih nilai stabilitas masih cenderung meningkat. Selain itu, masih diperlukan juga pengujian pada jenis gradasi campuran yang lain untuk lebih memahami pengaruh penambahan karet SIR 20 pada karakteristik campuran lapisan permukaan aspal [12].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan berbasis pada karet alam SIR 20 sebagai bahan tambah dengan pencampuran metode kering dalam pembuatan benda uji campuran aspal menggunakan gradasi Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) dan mencari kadar aspal optimum dari variasi penambahan karet alam SIR 20 untuk mengetahui pengaruh penambahan karet alam tersebut. Untuk mengetahui kadar aspal optimum diperlukannya pengujian karakteristik Marshall. Sehingga maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan kadar aspal optimum dari campuran gradasi LTBA terhadap penambahan karet alam SIR 20 dan diharapkan nilai stabilitas > 1000 kg.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

2.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini harus dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mengetahui apakah bahan yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan atau tidak. Pengujian bahan yang digunakan dalam campuran LTBA, meliputi agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal. Pengujian agregat meliputi berat jenis agregat kasar dan halus, penyerapan agregat dan abrasi agregat dengan mesin Los Angeles. Untuk pengujian aspal pen 60/70 meliputi penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala dan berat jenis.

Adapun bahan baku dalam penelitian ini berupa aspal Pen. 60/70 dari PT. Pertamina dan agregat beserta *filler* didapatkan dari PT. Merakindo Mix yang berasal dari daerah

Kejayan–Pasuruan. Selain itu, karet alam SIR 20 yang didapatkan dari PT. Insan Bonafide yang kemudian dipotong kecil-kecil dengan ukuran lolos saringan no.4 (4,75 mm) dan tertahan saringan no.16 (1,18 mm).

2.2 Perencanaan Benda Uji

Dalam perencanaan benda uji akan dilakukan beberapa hal antara lain adalah membuat perkiraan Kadar Aspal Optimum (Pb), pembuatan benda uji untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) dan pembuatan benda uji untuk pengujian stabilitas *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum (KAO).

Untuk menentukan KAO dilakukan perhitungan komposisi aspal untuk mengetahui nilai aspal ideal yang diperkirakan dengan penentuan kadar aspal optimum secara empiris dengan metode dari *Asphalt Institute* [13]. Nilai Pb yang didapatkan dari perhitungan dibulatkan mendekati 0,5% dan ditentukan 2 (dua) kadar aspal diatas dan 2 (dua) kadar aspal di bawah kadar aspal perkiraan awal yang dibulatkan mendekati 0,5% sehingga mendapatkan 5 variasi kadar aspal rencana.

Setelah didapatkan variasi kadar aspal perkiraan terhadap berat total agregat kemudian dibuat benda uji pada masing-masing variasi kadar aspal perkiraan sebanyak 5 (lima) sampel dengan kadar persentase penambahan karet alam SIR 20 yang berbeda-beda. Kadar persentase penambahan karet tersebut meliputi sebanyak 0%, 6%, 8%, dan 10% terhadap masing-masing berat aspal yang dicampurkan ke dalam campuran dengan menggunakan metode kering (*dry process*) yaitu mencampurkan potongan kecil karet dengan agregat panas kemudian mencampurkannya dengan aspal [14]–[17]. Sehingga jumlah benda setiap variasi kadar aspal perkiraan berjumlah 20 buah dengan total keseluruhan sebanyak 80 buah benda uji dalam pembuatan benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO).

Proses pembuatan benda uji pada KAO sama dengan proses pembuatan benda uji untuk menentukan nilai KAO, hanya saja yang membedakannya untuk benda uji campuran menggunakan kadar aspal optimum yang didapatkan dari hasil pengujian dalam penentuan KAO pada masing-masing variasi kadar persentase penambahan karet alam SIR 20. Pada setiap kadar persentase penambahan karet alam SIR 20 dibuat benda uji pada KAO sebanyak 5 buah sehingga jumlah benda uji keseluruhan sebanyak 20 buah.

2.3 Analisis Data

Semua bahan yang digunakan dalam penelitian seperti agregat kasar, halus dan aspal diperiksa karakteristiknya. Bahan yang digunakan tersebut dalam pembuatan benda uji harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

Analisis dalam penelitian ini terdiri dari menentukan kadar aspal optimum (KAO) dan melakukan pengujian karakteristik *Marshall* pada kadar aspal optimum (KAO) pada setiap kadar persentase penambahan karet sebanyak 0%, 6%, 8%, dan 10%.

Dalam penelitian, pengujian *Marshall* merupakan langkah penting dalam menentukan karakteristik suatu campuran aspal. Karakteristik campuran aspal yang diuji yaitu stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), rongga yang terisi aspal (VFA), *Marshall Quotient* (MQ) [18] dan rasio partikel lolos ayakan No. 200 terhadap kadar aspal efektif.

Penelitian ini menggunakan ketentuan gradasi campuran Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [19]. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Said, dkk tahun 2020 [20] dengan menggunakan gradasi campuran aspal tipis beton aspal (LTBA-B kasar) menunjukkan hasil karakteristik yaitu kepadatan 2,252 ton/m³, rongga dalam campuran (VIM)= 3,9%, rongga dalam agregat (VMA)= 18,8%, rongga terisi aspal (VFB)= 79,3%, stabilitas = 1191,2 kg, *flow* = 3,2 mm, rasio partikel lolos ayakan No.200 = 1,1, *Marshall Quotient* (MQ) = 382 kg/mm, dan kadar aspal optimum (KAO) = 7,05% Ketentuan campuran Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Ketentuan campuran LTBA

Sifat – sifat Campuran	LTBA-A	LTBA-B		
		Halus	Kasar	Kasar Modifikasi kasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		0,6
	Maks.	1,2		1,2
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3		
	Maks.	5		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	16	15	
Rongga Terisi Aspal (%)	Maks.	65		
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1000
	Min.	2		
Pelelehan (mm)	Maks.	4,5		

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pemeriksaan Agregat dan Aspal pen. 60/70

Hasil pemeriksaan untuk agregat kasar, halus dan *filler* dapat dilihat dalam **Tabel 2** dan hasil pemeriksaan aspal pen. 60/70 dapat dilihat dalam **Tabel 3**.

Tabel 2 dan **Tabel 3** menunjukkan bahwa hasil pengujian agregat dan aspal pen 60/70 telah memenuhi persyaratan

yang ada sehingga bahan agregat dan aspal pen 60/70 dapat digunakan dalam pembuatan benda uji.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat

No.	Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
A. Agregat Kasar			
1	Berat Jenis Bulk, gr/cm ³	-	2,711
2	Penyerapan Air, %	maks.3	1,086
3	Abrasi dengan Mesin Los Angeles, %	maks. 40	17,42
4	Kelekatan Agregat terhadap Aspal, %	min. 95	98
B. Agregat Halus			
1	Berat Jenis Bulk, gr/cm ³	-	2,688
2	Penyerapan Air, %	maks.3	1,120
C. Filler			
1	Berat Jenis, gr/cm ³	-	2,653

Tabel 3. Hasil pemeriksaan aspal pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	60-70	64,1
2	Titik Lembek (°C)	≥ 48	52,5
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	≥ 100	140
4	Titik Nyala (°C)	≥ 232	330
5	Berat Jenis	≥ 1,0	1,032

2.2 Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

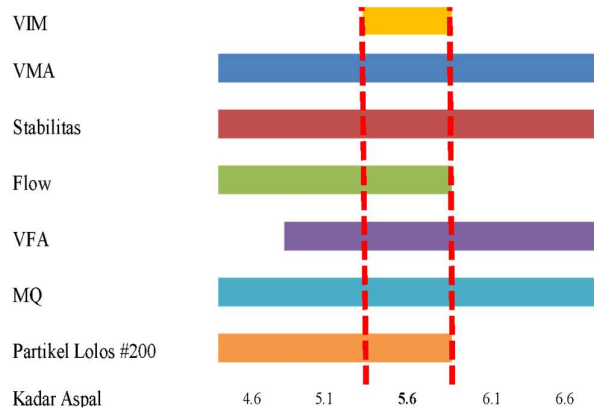
Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan melakukan uji Marshall [21]. Pengujian Marshall dilakukan berdasarkan perkiraan kadar aspal sementara dengan variasi kadar aspal 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, 6,6% yang didapat dari *Job Mix Design*. Sebelum uji Marshall dilakukan, terlebih dahulu dilakukan uji volumetrik meliputi pengukuran diameter, tebal dan berat di udara [22], kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai rongga dan rasio partikel lolos ayakan No.200. Kemudian baru dilakukan pengujian Marshall dan didapatkan nilai stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*. Dari nilai-nilai tersebut dapat ditentukan sifat campuran yang terbaik atau kadar aspal optimum yang kemudian dijadikan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji berikutnya.

Dalam penelitian ini setiap variasi kadar aspal rencana dibuat 5 buah benda uji pada masing-masing kadar persentase penambahan potongan karet SIR 20 sehingga pada setiap kadar penambahan karet memiliki KAO. Hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO dapat dilihat pada

Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7. Untuk grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

Tabel 4. Hasil Rata-Rata Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Pada Penambahan Kadar Karet 0%

Kriteria Uji	Kadar Aspal				
	4,60%	5,10%	5,60%	6,10%	6,60%
Stabilitas (kg)	1.729,83	1.828,06	1.907,32	1.983,83	1.853,64
Flow (mm)	3,96	4,28	4,37	4,80	4,98
VIM (%)	6,72	5,63	4,21	2,42	0,42
VMA (%)	17,24	17,33	17,16	16,68	16,05
VFA (%)	61,13	67,60	75,53	85,53	97,41
MQ (kg/mm)	437,27	427,12	436,46	413,30	372,22
Rasio Partikel Lolos Ayakan #200	0,80	0,72	0,65	0,59	0,54

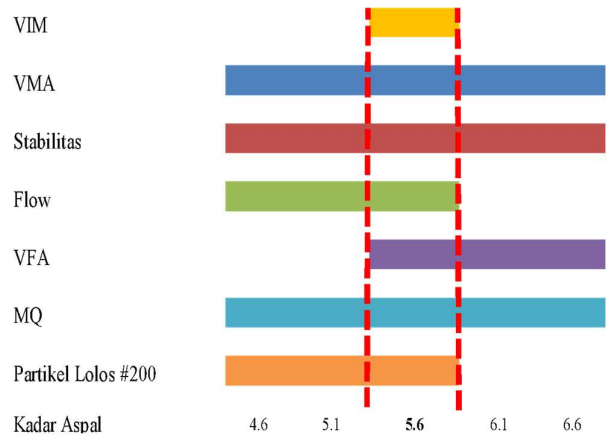


Gambar 1. Penentuan KAO pada kadar penambahan karet 0%

Tabel 5. Hasil Rata-Rata Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Pada Penambahan Kadar Karet 6%

Kriteria Uji	Kadar Aspal				
	4,60%	5,10%	5,60%	6,10%	6,60%
Stabilitas (kg)	2.426,09	2.370,96	2.667,70	2.247,81	2.027,03
Flow (mm)	3,97	4,08	4,36	5,57	6,09
VIM (%)	8,72	6,95	4,83	2,71	2,13
VMA (%)	19,01	18,50	17,70	16,93	17,49

Kriteria Uji	Kadar Aspal				
	4,60%	5,10%	5,60%	6,10%	6,60%
VFA (%)	54,21	62,45	72,73	84,16	88,00
MQ (kg/mm)	611,11	580,83	611,86	403,56	332,85
Rasio Partikel Lolos Ayakan #200	0,82	0,73	0,65	0,59	0,55



Gambar 2. Penentuan KAO pada kadar penambahan karet 6%

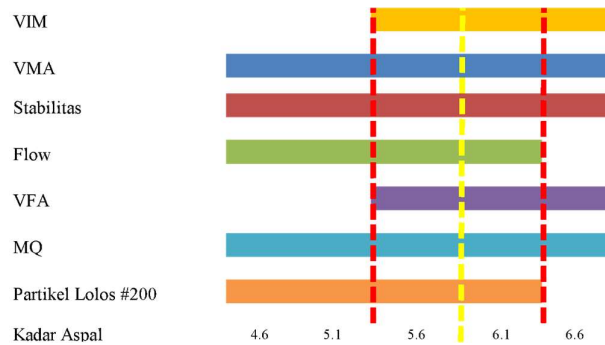
Tabel 6. Hasil Rata-Rata Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Pada Penambahan Kadar Karet 8%

Kriteria Uji	Kadar Aspal				
	4,60%	5,10%	5,60%	6,10%	6,60%
Stabilitas (kg)	2.703,92	2.719,66	2.762,55	2.741,80	2.397,67
Flow (mm)	4,10	4,14	4,18	3,95	4,53
VIM (%)	9,45	8,23	4,90	4,52	3,09
VMA (%)	19,66	19,61	17,75	18,48	18,0
VFA (%)	51,95	58,28	72,46	75,56	83,15
MQ (kg/mm)	659,49	656,92	660,90	694,13	529,29
Rasio Partikel Lolos Ayakan #200	0,82	0,74	0,65	0,60	0,55

Dari hasil pengujian terlihat bahwa hasil pengujian benda uji setiap kadar aspal pada masing-masing kadar penambahan karet. Setelah grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* diperoleh dan dievaluasi, maka didapat suatu range kadar aspal yang memenuhi parameter *Marshall* sesuai spesifikasi yang diisyaratkan [21] untuk campuran

aspal LTBA. Dalam penelitian ini, nilai kadar aspal optimum (KAO) dari setiap kadar penambahan karet berbeda.

Setelah seluruh kadar aspal optimum pada masing-masing kadar penambahan karet diketahui maka pada kadar penambahan karet sebanyak 0% didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,6%, kemudian pada kadar penambahan karet sebanyak 6% didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,6%, lalu pada penambahan kadar karet 8% didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,8% dan pada kadar penambahan karet sebanyak 10% didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,6%.



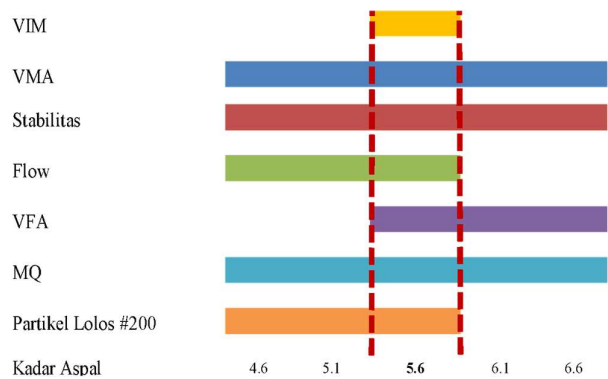
Gambar 3. Penentuan KAO pada kadar penambahan karet 8%

Tabel 7. Hasil Rata-Rata Rekapitulasi Pengujian Marshall Pada Penambahan Kadar Karet 10%

Kriteria Uji	Kadar Aspal				
	4,60%	5,10%	5,60%	6,10%	6,6%
Stabilitas (kg)	2.779,96	2.816,65	2.766,52	2.538,33	2.434,68
Flow (mm)	4,16	4,29	4,43	5,06	4,74
VIM (%)	8,11	7,00	3,94	2,24	2,18
VMA (%)	18,47	18,54	16,92	16,53	17,54
VFA (%)	56,22	62,27	76,76	86,48	87,58
MQ (kg/mm)	668,26	656,56	624,50	501,65	513,65
Rasio Partikel					
Lolos Ayakan #200	0,81	0,73	0,65	0,59	0,55

2.3 Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum merupakan kondisi dimana suatu kandungan aspal di dalam campuran mampu menghasilkan karakteristik paling baik yang memenuhi semua parameter dalam spesifikasi yang ditetapkan dan berada pada perkiraan perhitungan kadar aspal rencana [23]. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dari hasil uji Marshall.



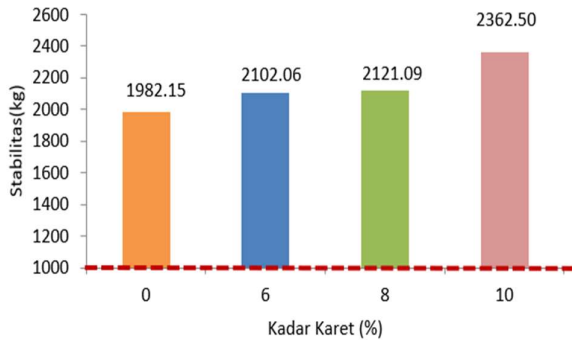
Gambar 4. Penentuan KAO pada kadar penambahan karet 10%

Parameter Marshall digunakan untuk mengetahui perilaku campuran Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) dengan penambahan karet alam SIR 20. Benda uji yang dibuat menggunakan kadar aspal optimum 5,6% pada penambahan kadar karet sebanyak 0%, kadar aspal optimum 5,6% pada penambahan kadar karet sebanyak 6%, kadar aspal optimum 5,8% pada penambahan kadar karet 8% dan kadar aspal optimum 5,6% pada penambahan kadar karet 10%. Hasil pengujian Marshall pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat dalam Tabel 8.

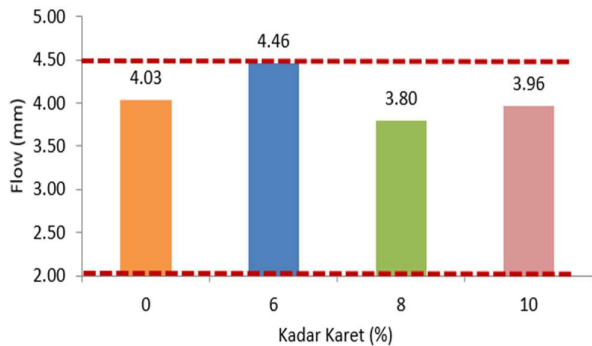
Penjelasan hasil pengujian benda uji pada KAO yang terdapat dalam Tabel 8 diuraikan sebagai berikut. Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi di antara kadar persentase penambahan karet adalah pada kadar penambahan 10% yaitu 2362,50 kg dengan kadar aspal optimum 5,6%. Sedangkan nilai stabilitas terendah terdapat pada campuran tanpa penambahan karet (0%) yaitu 1892,15 kg. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan karet dapat meningkatkan nilai stabilitas pada suatu campuran [24]. Penambahan karet menyebabkan interlocking antar partikel agregat [25] dan daya ikat aspal dalam campuran yang termodifikasi terhadap agregat menjadi lebih kuat sehingga nilai stabilitas mengalami peningkatan [18], [26]. Semakin tinggi nilai stabilitas maka semakin baik campuran perkerasan dapat menahan distorsi, perpindahan, rutting, dan tegangan geser [27].

Gambar 6 menunjukkan bahwa campuran dengan penambahan kadar karet 8% dan kadar aspal 5,8% mempunyai nilai flow terkecil jika dibandingkan dengan persentase penambahan karet seperti pada tanpa penambahan kadar memiliki nilai flow sebesar 4,03 pada penambahan kadar karet 6% adalah 4,46 yang merupakan nilai flow terbesar dalam pengujian. Serta, pada penambahan karet 10% nilai flow adalah 3,96. Flow didefinisikan sebagai perubahan deformasi

atau regangan suatu campuran [28]. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengidentifikasi campuran bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban [17] sedangkan nilai *flow* yang semakin kecil menunjukkan durabilitas rendah yang terjadi pada campuran dan mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga yang tidak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal [17], [25], [29].

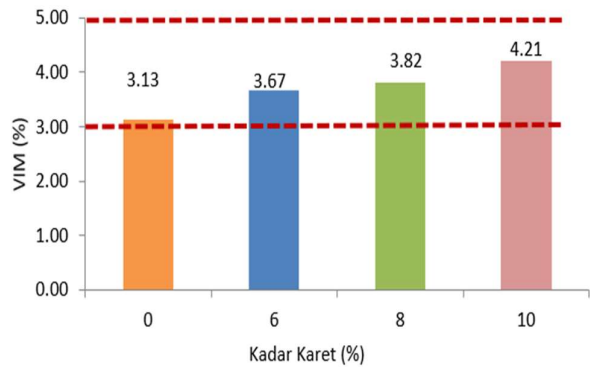


Gambar 5. Hasil perhitungan stabilitas



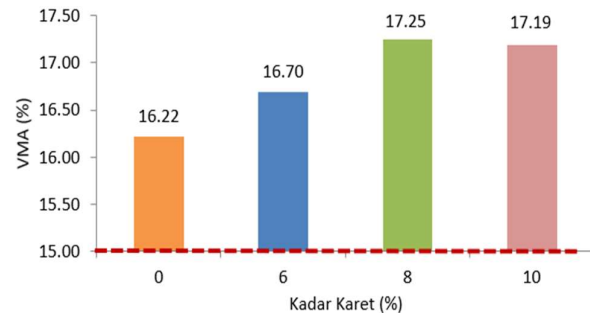
Gambar 6. Hasil perhitungan *flow*

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai VIM yang tinggi terdapat pada kadar penambahan karet 10% dengan kadar aspal 5,6% yaitu 4,21% dan nilai VIM yang terkecil adalah pada campuran tanpa penambahan karet (0%) dengan kadar aspal 5,6% yaitu 3,13%. Kemudian, nilai VIM pada kadar penambahan karet 6% dengan kadar aspal 5,6% adalah 3,67 % dan nilai VIM pada kadar penambahan karet sebesar 8% yaitu 3,82%. Sehingga, nilai VIM pada semua persentase kadar penambahan karet telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Terlihat juga seiring bertambahnya kadar karet maka nilai VIM juga semakin meningkat. Hal ini menunjukkan persentase rongga semakin besar dengan bertambahnya kadar karet yang menyebabkan aspal sulit menyelimuti agregat sehingga campuran aspal dan agregat tidak homogen [25].



Gambar 7. Hasil perhitungan VIM

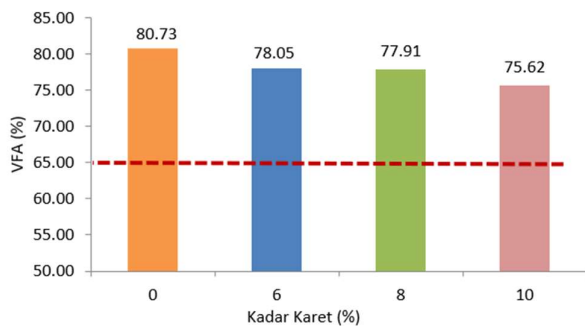
Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai VMA pada penambahan kadar karet sebanyak 8% dengan kadar aspal optimum 5,8% memiliki nilai VMA tertinggi sebesar 17,25%, jika dibandingkan dengan penambahan kadar karet sebanyak 6% dan 10%. Dan nilai VMA tersebut masih lebih besar jika dibandingkan dengan nilai VMA campuran tanpa penambahan karet (0%) yaitu 16,22%. Sehingga hal tersebut menunjukkan bahwa campuran dengan penambahan kadar karet sebanyak 8% mempunyai kekuatan penyerapan terhadap aspal yang tinggi dibandingkan penambahan kadar karet lainnya dan campuran tanpa penambahan karet. Akibatnya, semakin banyak rongga dalam agregat tidak diisi dengan aspal [18]. Dari Gambar 8 menunjukkan nilai VMA pada semua kadar penambahan kadar karet berada diatas nilai minimal yaitu 15%. Nilai batas minimal ini dibutuhkan untuk mencegah terjadinya keterbatasan aspal pada campuran yang menyebabkan butiran dalam campuran mudah pecah dan retak [18], [26]. Karena VMA merupakan rongga diantara mineral agregat terhadap volume total campuran [12].



Gambar 8. Hasil perhitungan VMA

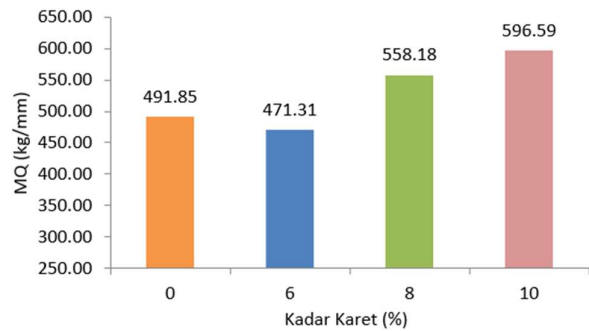
Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin banyak kadar karet yang ditambahkan ke dalam campuran maka nilai VFA semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar karet yang dicampurkan ke dalam campuran membuat rongga yang terisi aspal semakin berkurang karena

adanya bahan tambahan karet ini tidak menghalangi aspal yang mengisi pada rongga dalam campuran [18], [27]. Nilai VFA terkecil terdapat pada penambahan kadar karet 10% yaitu sebesar 75,62%. Dan nilai VFA tertinggi dimiliki oleh campuran tanpa adanya penambahan karet dengan kadar aspal 5,6% yaitu 80,73%. Nilai VFA dalam semua campuran variasi penambahan karet dalam penelitian ini memenuhi nilai minimal yaitu 65%. Nilai minimal ini penting untuk mencegah perkerasan jalan agar tidak mudah rusak seperti mencegah campuran mengalami *rutting* yang disebabkan beban lalu lintas yang berat [26].



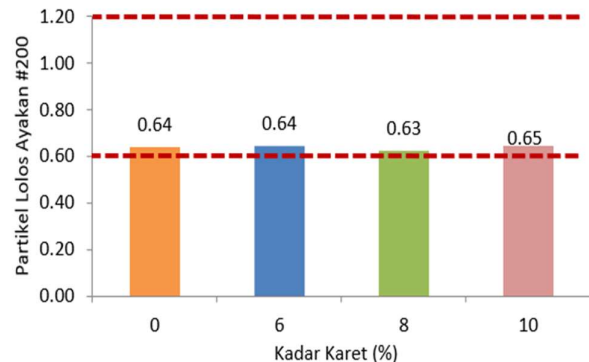
Gambar 9. Hasil perhitungan VFA

Hasil dari pengujian *Marshall* salah satunya adalah *Marshall Quotient* (MQ) dapat dilihat pada Gambar 10. Nilai MQ merupakan indikasi dari stabilitas dan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen dan tegangan geser [27]. Terlihat pada gambar tersebut bahwa semakin bertambahnya kadar karet maka semakin membuat campuran menjadi kaku dan tahan terhadap deformasi karena beban berat [27] tetapi semakin rentan campuran terhadap keretakan [12]. Nilai MQ tertinggi terdapat pada penambahan kadar karet sebanyak 10 % yaitu 596,59 kg/mm. Dan nilai MQ yang terendah terdapat pada kadar penambahan karet sebanyak 471,31 kg/mm.



Gambar 10. Hasil perhitungan MQ

Gambar 11 menunjukkan bahwa semua nilai rasio antara partikel lolos ayakan #200 terhadap kadar aspal efektif memenuhi spesifikasi yang telah diisyaratkan. Nilai rasio tersebut berurutan pada kadar penambahan karet 0%, 6%, 8% dan 10% adalah 0,64; 0,64; 0,63; dan 0,65. Pengaruh nilai rasio antara partikel lolos ayakan #200 terhadap kadar aspal efektif dalam campuran aspal adalah untuk mengisi ruang antar agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan [30].



Gambar 11. Hasil perhitungan rasio partikel lolos ayakan No. 200 terhadap kadar aspal efektif

Tabel 8. Hasil pengujian Marshall pada kadar aspal optimum

Karakteristik	Kadar Persentase Penambahan Karet				Spek.
	0%	6%	8%	10%	
KAO (%)	5.6	5.6	5.8	5.6	-
Stabilitas (kg)	1982.15	2102.06	2121.09	2362.50	min. 1000 kg
Flow (mm)	4.03	4.46	3.80	3.96	2-4,5
VIM (%)	3.13	3.67	3.82	4.21	3-5
VMA (%)	16.22	16.70	17.25	17.19	min. 15
VFA (%)	80.73	78.05	77.91	75.62	min. 65
MQ (kg/mm)	491.85	471.31	558.18	596.59	-
Rasio Partikel Lolos Ayakan #200	0.64	0.64	0.63	0.65	0,6-1,2

4. Simpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk setiap penambahan persentase kadar karet berbeda, yaitu untuk kadar penambahan karet 0% nilai kadar aspal optimumnya adalah 5,6%; kadar penambahan karet 6% nilai kadar aspal optimumnya adalah 5,6%; penambahan kadar karet 8% nilai kadar aspal optimumnya adalah 5,8% dan pada penambahan kadar karet 10% nilai kadar aspal optimumnya adalah 5,6%.
2. Karakteristik pengujian Marshall yang dihasilkan oleh gradasi LTBA ditambahkan dengan potongan karet SIR 20 yaitu pada penambahan karet 0% menghasilkan nilai stabilitas 1.982,15 kg; nilai flow 4,03 mm; nilai VIM 3,13%; nilai VMA 16,22%; nilai VFA 80,73%; MQ 491,85 kg/mm dan rasio partikel lolos ayakan no.200 terhadap kadar aspal efektif adalah 0,64. Pada penambahan karet 6% menghasilkan nilai stabilitas 2102,06 kg; nilai flow 4,46 mm; nilai VIM 3,67%; nilai VMA 16,70%; nilai VFA 78,05%; MQ 471,31 kg/mm dan rasio partikel lolos ayakan no.200 terhadap kadar aspal efektif adalah 0,64. Pada penambahan karet 8% menghasilkan nilai stabilitas 2121,09 kg; nilai flow 3,80 mm; nilai VIM 3,82%; nilai VMA 17,25%; nilai VFA 77,91%; MQ 558,18 kg/mm dan rasio partikel lolos ayakan no.200 terhadap kadar aspal efektif adalah 0,63. Pada penambahan karet 10% menghasilkan nilai stabilitas 2.362,50 kg; nilai flow 3,96 mm; nilai VIM 4,04%; nilai VMA 17,01%; nilai VFA 76,41%; MQ 596,59 kg/mm dan rasio partikel lolos ayakan no.200 terhadap kadar aspal efektif adalah 0,65.
3. Campuran optimal dengan penambahan karet terdapat pada kadar karet 8% karena pada kadar karet 8% menunjukkan nilai stabilitas yang tinggi, nilai flow yang tidak tinggi dan nilai VIM yang tidak tinggi juga sehingga mencapai campuran optimal. Dengan adanya penambahan karet kedalam campuran dengan gradasi LTBA menghasilkan peningkatan pada nilai karakteristik stabilitas dan rongga dalam campuran.

Daftar Pustaka

- [1] DPUPR, "Konstruksi Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)," *Kabupaten Grobongan*, 2014. <https://dpupr.grobogan.go.id/info/artikel/29-konstruksi-perkerasan-lentur-flexible-pavement>.
- [2] PUSBIN-KPK Departemen Pekerjaan Umum, "Bahan Perkerasan Jalan," 2005, p. 101.
- [3] A. Surando, "Analisa Teknis Perbaikan Perkerasan Lentur Dengan Metode AASHTO (Studi Kasus : Pada Ruas Jalan Ki Hajar Dewantara Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur)," *Suci, Maha Putri*, vol. 6, 2016.
- [4] D. Meisandy, "Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) Pada Beton," vol. 2, 2016.
- [5] V. A. Putri, "Identifikasi Jenis Kerusakan Pada Perkerasan Lentur," Universitas Lampung, 2016.
- [6] Donald, "Kajian Kerusakan Perkerasan Ruas Jalan Nasional Lintas Timur Simpang Bukit Timah Km 236 Kabupaten Rokan Hilir," 2017, [Online]. Available: <http://repository.uir.ac.id/id/eprint/1400>.
- [7] P. Darma, "Pengaruh Kinerja Penambahan Karet Ban Bekas Sebagai Substitusi Pengganti Campuran Beraspal Daur Ulang Pada Lapis Permukaan Atas," vol. 12, no. 2, pp. 62–67, 2015.
- [8] H. Prastanto, Y. Firdaus, S. Puspitasari, A. Ramadhan, and A. F. Falaah, "Sifat Fisika Aspal Modifikasi Karet Alam Pada Berbagai Jenis Dan Dosis Lateks Karet Alam," *J. Penelit. Karet*, no. Mei, pp. 65–76, 2018, doi: 10.22302/ppk.jpk.v36i1.444.
- [9] Kumparan, "3 Cara yang Dilakukan untuk Meningkatkan Harga Komoditas Karet," 2019. <https://kumparan.com/venture/3-cara-yang-dilakukan-untuk-meningkatkan-harga-komoditas-karet-1qwZ6ld614t/full>.
- [10] Indonesia Investments, "Karet (Alam)," 2018. <https://www.indonesiainvestments.com/id/bisnis/komoditas/karet/item185>.
- [11] A. T. Setyoko and R. Lukiawan, "Pengembangan Standarisasi Karet Alam Sebagai Bahan Baku Aspal Karet Dan Produk Aspal Karet," pp. 13–22, 2019.
- [12] S. Sulaiman, R. Utami, and N. P. Yulianti, "Karakteristik Asphalt Concrete Wearing Course akibat penambahan Karet Alam Padat SIR20 dengan Metode Eksperimental," pp. 203–207, 2018.
- [13] H. Saodang, *Perancangan Perkerasan Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova, 2005.
- [14] I. Susanto and N. Suaryana, "Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek," vol. 17, pp. 27–36, 2019.
- [15] A. A. A. Lhwaint, I. B. Mochtar, and E. Ahyudanari, "Design and Properties of Crumb Rubber Aggregates Replacement in Hot Mixture Asphalt Concrete," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2020.
- [16] F. Moreno and M. C. Rubio, "The Mechanical Performance of Dry-Process Crumb Rubber Modified Hot Bituminous Mixes : The Influence of Digestion Time

- and Crumb Rubber Percentage,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 26, no. 1, pp. 466–474, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.06.046.
- [17] A. F. Mawardi, M. Machsus, M. Khoiri, and H. Gunawan, “Efek Variasi Suhu Pematatan Campuran Laston Lapis Pondasi (AC-Base) dengan Penambahan Limbah Plastik,” *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 18, no. 1, p. 139, 2020, doi: 10.12962/j2579-891x.v18i1.6423.
- [18] M. Khoiri, M. Machsus, A. F. Mawardi, and W. P. Anggardha Yanotama, “Effect of Compaction Temperatures on Marshall Properties on Hot Rolled Sheet-Base mixture with the addition of plastic waste,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 436, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/436/1/012019.
- [19] Bina Marga, “Spesifikasi umum 2018,” Jakarta, 2018.
- [20] L. B. Said and A. Alifuddin, “Konsep Design Mix Formula (DMF) Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) Mengacu Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Terhadap Sifat – Sifat (ITS) dan Deformasi Bagaimana karakteristik campuran beraspal,” vol. 5, no. 2, pp. 141–152, 2020.
- [21] Veranita, “Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus Menggunakan Retona Blend 55 Dengan Metode Australia,” vol. 2, no. 1, pp. 80–90, 2016.
- [22] N. Febrianto, A. Setyawan, and D. Sarwono, “Sifat-Sifat Marshall Pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas dengan Penambahan Crumb Rubber,” pp. 748–754, 2014.
- [23] Q. Ayun and C. A. Prastyanto, “Analisis Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Parameter Marshall dan Permeabilitas,” vol. 19, 2021.
- [24] B. Prawiro and N. Pasca, “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonate,” 2014.
- [25] M. Machsus, A. F. Mawardi, M. Khoiri, R. Basuki, and F. H. Akbar, “Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Pematatan Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) dengan Menggunakan Aspal Modifikasi,” *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 18, no. 1, p. 107, 2020, doi: 10.12962/j2579-891x.v18i1.6215.
- [26] Sukobar, M. Machsus, R. Basuki, A. F. Mawardi, and M. F. Firdausi, “Use of Waste Low-Density Polyethylene (LDPE) as Bitumen Modifier in Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Mix,” *ICSDEMS 2019*, pp. 187–194, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3765-3>.
- [27] M. Machsus, J. H. Chen, D. W. Hayati, M. Khoiri, A. F. Mawardi, and R. Basuki, “Improvement for Asphalt Mixture Performance Using Plastic Bottle Waste,” *Int. J. GEOMATE*, vol. 20, no. 79, pp. 139–146, 2021, doi: 10.21660/2021.79.j2035.
- [28] G. V. Besouw, M. R. E. Manoppo, and S. C. N. Palenewen, “Pengaruh Modulus Kehalusan Agregat terhadap Penentuan Kadar Aspal pada Campuran Jenis AC-WC,” *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 4, pp. 481–490, 2019.
- [29] D. Agnes, “Pengaruh Gradasi Crumb Rubber pada Karakteristik Campuran Aspal,” 2018.
- [30] E. Pasiowan, Miristika Amaria; Kaseke, Oscar H; Lintong, “Pengaruh Perubahan Rasio Antara Filler Dengan Bitumen Efektif Terhadap Kriteria Marshall Pada,” *J. Sipil Statik*, vol. 5, no. 8, pp. 475–483, 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan