

Pemanfaatan Crumb Rubber dan Limbah Bongkaran Laston untuk Daur Ulang Campuran AC - WC

Nashfati Amsuri¹, Sulaiman AR², Mulizar³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹nashfatiamsuri18@gmail.com

Abstrak— Bongkaran lapisan perkerasan aspal beton merupakan limbah dari perkerasan jalan yang mengalami kerusakan. Limbah bongkaran tersebut menimbulkan masalah dalam penanggulangannya terhadap lingkungan. Salah satu alternatif untuk meminimalisir limbah bongkaran perkerasan yaitu dengan metode daur ulang (*recycling*). Ban bekas (*Crumb Rubber*) digunakan untuk mengetahui nilai parameter *Marshall* pada bahan bongkaran lapisan perkerasan aspal beton sebagai daur ulang campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC)*. Metode penelitian mengikuti standar yang berlaku untuk campuran AC – WC. Limbah bongkaran laston yang digunakan berasal dari jalan Banda Aceh – Medan Km. 295-300, Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Aceh. *Crumb Rubber* digunakan sebagai substitusi screen untuk memperbaiki gradasi agregat yang digunakan dan merupakan hasil dari pengolahan ban bekas dengan metode *Ambient Grinding*. Hasil ekstraksi diperoleh gradasi agregat tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dengan kadar aspal sebesar 5,2%. Kadar aspal ideal dari hasil gradasi agregat bongkaran laston didapatkan 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,2%. Pada KAO 6,2%, kadar aspal yang harus ditambah sebesar 1% dari hasil ekstraksi. Penambahan *Crumb Rubber* sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% didapatkan sebesar 9,51 gr, 19,01 gr, 28,52 gr, 38,02 gr, dan 47,53 gr. Nilai parameter *Marshall* secara keseluruhan memenuhi spesifikasi dengan nilai optimum didapatkan pada penambahan *Crumb Rubber* sebesar 10% dengan nilai stabilitas 2112 kg, *flow* 5,0 mm, VMA 23,7%, VIM 13,5%, VFB 62,7%, MQ 430,8 kN/mm, dan *density* 2,091 gr/cm³.

Kata kunci— *Crumb Rubber*, Daur Ulang Material, Limbah Bongkaran Laston, *Marshall*, Substitusi Agregat

Abstract— Reclaimed Asphalt Pavement is a waste from damaged pavement. Reclaimed pavement creates problems in countermeasures to the environment. An alternative to minimizing reclaimed pavement is by recycling. Used tires (*Crumb Rubber*) are used to know the value of *Marshall* parameters on reclaimed asphalt pavement as recycling materials in *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC)*. Research reverse the standards that apply to AC-WC mixtures. Reclaimed asphalt that used from Banda Aceh Medan Km. 295-300 North Aceh Regency, Aceh Province. *Crumb Rubber* which is used as a screen substitute to improve the aggregate gradation and product from processing used tires with the *Ambient Grinding* method. Extraction results obtained that the aggregate gradation didn't fulfill the specifications of Bina Marga 2018 with asphalt content of 5.2%. The ideal asphalts content from aggregate gradation are 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5% with the optimum asphalt content 6.2%. At an optimum asphalt content of 6.2%, the asphalt content must be increased by 1% from the extraction results. The amount addition of crumb rubber in 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% obtained 9.51 gr, 19.01 gr, 28.52 gr, 38.02 gr, and 47.53 gr. Values of *Marshall* parameter relatively fulfill the specifications with the optimum value obtained at the addition of *Crumb Rubber* by 10% with the stability of 2112 kg, *flow* 5.0 mm, VMA 23.7%, VIM 13.5%, VFB 62.7%, MQ 430, 8 kN / mm, and a density 2,091 gr / cm³.

Keywords— *Crumb Rubber*, Recycling Material, Reclaimed Asphalt Pavement, *Marshall*, Aggregate Substitution

I. PENDAHULUAN

Bongkaran lapisan perkerasan jalan lentur yang ada di Indonesia belum optimal digunakan. Bongkaran perkerasan umumnya hanya dijadikan sebagai bahan timbunan. Penimbunan hasil bongkaran tersebut menimbulkan masalah dalam penanggulangannya terhadap lingkungan.

Salah satu alternatif yang bisa dipilih untuk mengatasi penimbunan bongkaran yaitu metode daur ulang (*recycling*). Penanganan dengan metode daur ulang dapat menghemat bahan perkerasan jalan, energi, dan ekonomi. Penggantian sebagian agregat dengan serbuk ban bekas / *Crumb Rubber (CR)* mampu menambah ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan (Sugiyanto, 2008).

Penggunaan *CR* sebagai bahan tambah pada bongkaran lapisan perkerasan diharapkan dapat mendaur ulang penggunaan material, sehingga dapat menghemat penggunaan aspal dan agregat yang seperti kita ketahui merupakan salah satu sumber daya alam yang tak terbarukan. *CR* digunakan untuk meningkatkan nilai karakteristik *Marshall* pada daur ulang bongkaran perkerasan.

Karakteristik *Marshall* yang digunakan berdasarkan pada SNI 06-2489-1991 tentang Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat *Marshall*. Karakteristik *Marshall* meliputi nilai stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFB, MQ dan *Density*.

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen- fragmen. Karakteristik agregat berpengaruh pada kekuatan struktur perkerasan jalan. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Dalam Spesifikasi Umum 2018, agregat terbagi dalam 3 kelompok, yaitu :

- a. Agregat kasar : bahan yang tertahan ayakan No. 4 (4,75 mm)
- b. Agregat halus : bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm)
- c. Bahan pengisi (*filler*) : bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

TABEL I
AMPLOP GRADASI AGREGAT GABUNGAN UNTUK CAMPURAN BERASPAL

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 – 100
¾"	19		100	90 – 100	100	100	100	90 – 100	76 – 90
½"	12,5	100	90 – 100	50 – 88	90 – 100	90 – 100	90 – 100	75 – 90	60 – 78
⅜"	9,5	70 – 95	50 – 80	25 – 60	75 – 85	65 – 90	77 – 90	66 – 82	52 – 71
No. 4	4,75	30 – 50	20 – 35	20 – 28			53 – 69	46 – 64	35 – 54
No. 8	2,36	20 – 30	16 – 24	16 – 24	50 – 72	35 – 55	33 – 53	30 – 49	23 – 41
No. 16	1,18	14 – 21					21 – 40	18 – 38	13 – 30
No. 30	0,600	12 – 18			35 – 60	15 – 35	14 – 30	12 – 28	10 – 22
No. 50	0,300	10 – 15					9 – 22	7 – 20	6 – 15
No. 100	0,150						6 – 15	5 – 13	4 – 10
No. 200	0,075	8 – 12	8 – 11	8 – 11	6 – 10	2 – 9	4 – 9	4 – 8	3 – 7

Sumber : Spesifikasi Umum Tahun 2018, Divisi 6 Perkerasan Aspal, Seksi 6.3.2

TABEL II
SPESIFIKASI DAN PERSYARATAN AGREGAT

No	Sifat – Sifat Fisis Agregat	Syarat	Metode
1	Berat jenis agregat	≥ 2,50	SNI 1969-2016 SNI 1970-2016
2	Penyerapan air agregat	< 3%	SNI 1969-2016 SNI 1970-2016
3	Berat isi agregat	> 1 kg/dm ³	AASHTO T-19-74 ASTM D 29-71
4	Kelekatan agregat terhadap aspal	≥ 95% luas	SNI 2439-2011
5	Keausan agregat	< 40% berat	SNI 2417-2008

Sumber : Spesifikasi Umum Tahun 2018, Divisi 6 Perkerasan Aspal, Seksi 6.3.2

Reclaimed Asphalt adalah material hasil pengupasan dan atau pemrosesan ulang perkerasan yang terdiri atas aspal dan agregat. *Reclaimed Asphalt* berpotensi dapat menghemat sumber daya alam, mengurangi laju kerusakan alam akibat penambangan, menghemat anggaran pembangunan (Budianto, 2009 dalam Ari Widayanti, dkk., 2017).



Gambar 1. Limbah perkerasan aspal

TABEL III
SYARAT ASPAL YANG DIGUNAKAN UNTUK CAMPURAN ASPAL BETON

	Sifat – Sifat Fisik	Syarat
1.	Berat Jenis, 25°C	≥ 1,00
2.	Penetrasi, 25°C 5 dtk, 100 gr	60 – 70
3.	Titik Lembek	≥ 48°C
4.	Daktilitas 25°C 5 cm/menit	≥ 100%
5.	Kelekatan Aspal	≥ 300

Sumber : Spesifikasi Umum Tahun 2018, Divisi 6 Perkerasan Aspal, Seksi 6.3.2.5

TABEL IV
KETENTUAN SIFAT_SIFAT CAMPURAN LASTON (AC)

Sifat – Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fon dasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	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 (refusal)	Min	2		

Sumber : Spesifikasi Umum Tahun 2018, Divisi 6 Perkerasan Aspal, Seksi 6.3.3

Crumb rubber adalah istilah yang biasanya digunakan untuk ban kendaraan bekas yang melalui proses penggilingan hingga berbentuk parutan. Penambahan bahan tambah seperti parutan karet bekas kendaraan roda 4 ke dalam campuran aspal dapat memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap suhu tinggi maupun beban lalu lintas, dibandingkan dengan aspal tanpa bahan tambahan (Faisal, 2013).



Gambar 2. *Crumb Rubber*

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengujian Kadar Aspal dengan Metode Ekstraksi

Pengujian yang dilakukan menggunakan metode Ekstraksi menurut prosedur pemeriksaan SNI 03-6894-2002 (metoda sentrifus). Pengujian ekstraksi sentrifugal adalah metode yang memisahkan antara agregat dan aspal menggunakan mekanisme putaran.

Pengujian ekstraksi adalah pemisahan campuran dari dua atau lebih bahan dengan cara menambahkan pelarut yang dapat melarutkan suatu bahan yang ada dalam campuran tersebut.

B. Pengujian Analisa Ayakan Agregat Kasar dan Halus

Metode pengujian analisa ayakan dilakukan sesuai SNI 03-1968-1990. Untuk campuran aspal beton pada lapisan permukaan, gradasi agregat yang digunakan adalah *Dense Grade* karena memiliki celah atau rongga yang lebih sedikit, stabilitas yang lebih tinggi serta mudah dikerjakan.

C. Pegujian Sifat Fisis Agregat

Pengujian sifat fisis pada agregat tambahan meliputi berat jenis dan penyerapan serta analisa ayakan. Pengujian berat jenis dan penyerapan dilakukan sesuai dengan SNI 1969-2016 dan SNI 1970-2016. Pengujian analisa ayakan mengikuti SNI SNI 03-1968-1990.

D. Pengujian Sifat Fisis Aspal

Pengujian sifat fisis aspal yang dilakukan meliputi berat jenis aspal, penetrasi aspal, dan titik lembek. Pengujian berat jenis aspal dilakukan sesuai SNI-06-2441-1991, penetrasi aspal sesuai SNI-06-2456-1991, dan titik lembek sesuai dengan SNI-06-2434-1991.

E. Prodesur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan dua tahapan yaitu pembuatan benda uji menggunakan agregat dari bongkaran laston dengan agregat baru dan pembuatan benda uji menggunakan agregat bongkaran laston dengan agregat baru serta bahan tambah *Crumb Rubber*.

Tahapan pertama yaitu pembuatan benda uji dengan menggunakan agregat dari bongkaran laston dan agregat baru,

dengan nilai *Pb* diperoleh 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0%, dan 7,5%, tiap *Pb* dibuat sebanyak 3 benda uji seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL V
RANCANGAN BENDA UJI MENGGUNAKAN BONGKARAN LASTON

No	Kadar Aspal (%)	Jumlah Tumbukan	Jumlah Benda Uji
1.	Pb 5,5%	2 x 75	3
2.	Pb 6,0%	2 x 75	3
3.	Pb 6,5%	2 x 75	3
4.	Pb 7,0%	2 x 75	3
5.	Pb 7,5%	2 x 75	3
Jumlah Total Benda Uji			15

Tahapan kedua dilakukan pembuatan benda uji pada KAO 6,2% dengan menggunakan agregat dari bongkaran laston dan agregat baru serta penambahan *Crumb Rubber*. Besarnya variasi persentase kadar *Crumb Rubber* sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dengan 3 benda uji tiap persentase seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

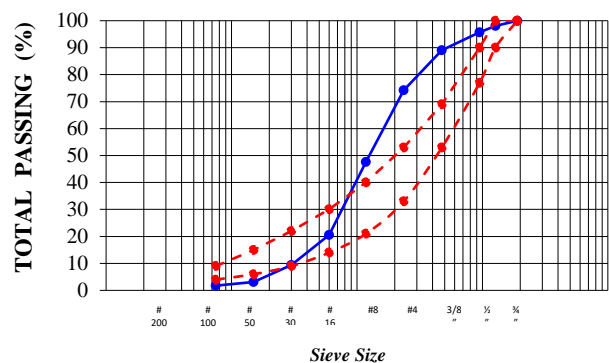
TABEL VI
RANCANGAN BENDA UJI VARIASI *CRUMB RUBBER*

No	Kadar <i>Crumb Rubber</i> (%)	Jumlah Tumbukan	Jumlah Benda Uji
1.	0	2 x 75	3
2.	5	2 x 75	3
3.	10	2 x 75	3
4.	15	2 x 75	3
5.	20	2 x 75	3
6.	25	2 x 75	3
Jumlah Total Benda Uji			18

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

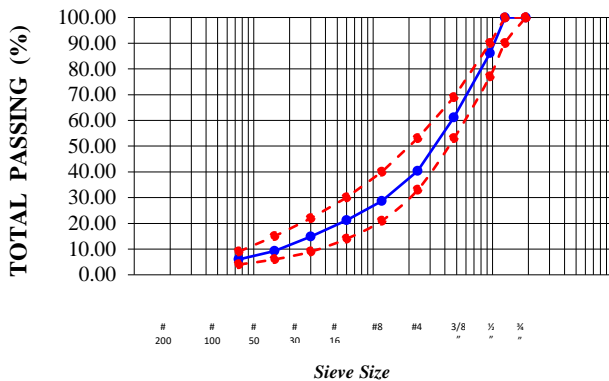
A. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Bekas dari Bongkaran Laston

Pengujian ekstraksi dilakukan untuk mengetahui kandungan aspal yang ada dalam bongkaran laston. Hasil pengujian ekstraksi menunjukkan bahwa kadar aspal yang masih terkandung dalam bongkaran laston sebesar 5,20% sehingga dalam penelitian ini dilakukan penambahan beberapa persen aspal sesuai dengan *Pb* yang didapatkan.



Gambar 3. Grafik hasil pengujian gradasi agregat ekstraksi

Dari Gambar 3 didapatkan bahwa grafik hasil dari pengujian ekstraksi bongkaran lapisan perkerasan tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat yang disyaratkan. Komposisi yg didapatkan dari hasil ekstraksi adalah split 23,69%, screen 40,81%, dust 27,36%, dan pasir 4,87%.



Gambar 4. Grafik hasil rancangan gradasi agregat ekstraksi

Gambar 4 memperlihatkan grafik hasil rancangan hasil ekstraksi bongkaran lapisan perkerasan yang telah memenuhi spesifikasi gradasi agregat yang disyaratkan. Penambahan pada agregat bongkaran dibutuhkan split 10,68%, screen 17,28%, dust 5,67%, dan pasir 1,78%.

B. Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan pada variasi kadar aspal ideal untuk benda uji dengan tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter *Marshall* seperti diperlihatkan pada Tabel 7.

TABEL VII
NILAI PARAMETER *MARSHALL* PADA VARIAN KADAR ASPAL

No	Parameter <i>Marshall</i>	Variasi Kadar Aspal (5,5% - 7,5%)					Spesifikasi kasi 2018
		5,5 %	6 %	6,5 %	7 %	7,5 %	
1	Stabilitas (Kg)	1635	1599	2435	2227	3041	> 800
2	<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,09 4	2,15 5	2,06 9	2,12 0	2,18 5	> 2
3	<i>Flow</i> (mm)	5,1	4,5	4,9	5,4	4,5	2 – 4
4	<i>VIM</i> (%)	14,3	11,1	14,1	11,4	8,0	3 – 5
5	<i>VMA</i> (%)	23,1	21,2	24,8	23,3	21,4	> 15
6	<i>VFB</i> (%)	62,7	67,6	61,1	65,3	70,6	> 65
7	<i>MQ</i> (kN/mm)	329, 1	372, 4	539, 1	412, 3	744, 4	> 200

C. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan parameter *Marshall* pada Tabel 2 didapatkan kadar aspal optimum dengan sistem *Range Overlapping*. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa campuran AC – WC dengan kadar aspal optimum yang didapatkan sebesar 6,20%.

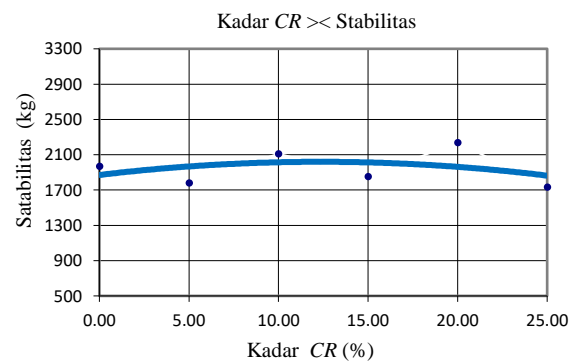
D. Hasil Pengujian Marshall dengan Crumb Rubber

Dari hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan pada variasi *Crumb Rubber* untuk benda uji dengan tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter *Marshall* seperti diperlihatkan pada Tabel 8.

TABEL VIII
NILAI PARAMETER *MARSHALL* PADA TIAP VARIAN PERSENTASE CR

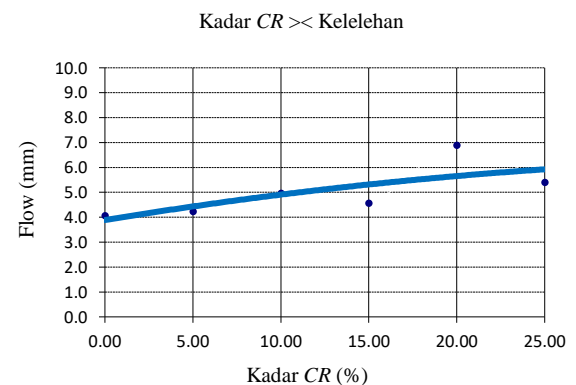
Kadar Variasi CR (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kN/mm)	Density (gr/cm ³)
0%	1969	4,1	22,9	12,6	64,6	540,7	2,115
5%	1781	4,2	23,1	12,8	64,1	434,5	2,109
10%	2112	5,0	23,7	13,5	62,7	430,8	2,091
15%	1855	4,6	24,0	13,9	62,1	408,3	2,083
20%	2239	6,9	24,7	14,6	60,7	324,2	2,065
25%	1735	5,4	25,6	15,6	58,8	318,4	2,041

Tabel 8 memperlihatkan nilai stabilitas memenuhi spesifikasi, namun nilai flow tidak memenuhi spesifikasi. Nilai VMA memenuhi spesifikasi, VIM tidak memenuhi spesifikasi, dan VFB tidak memenuhi spesifikasi. Nilai MQ dan *Density* memenuhi spesifikasi. Hubungan nilai parameter *Marshall* dan *Crumb Rubber* (CR) dapat dilihat pada Gambar 5 s.d Gambar 11.



Gambar 5. Hubungan Kadar CR dengan nilai Stabilitas

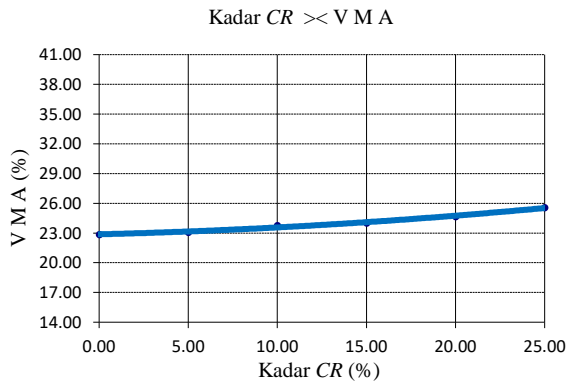
Berdasarkan gambar 5, nilai stabilitas menunjukkan pemakaian CR dapat meningkatkan kelekatan sehingga daya ikat aspal dan agregat semakin kuat yang menyebabkan stabilitas campuran semakin meningkat, dan setelah mencapai nilai maksimum nilai stabilitas akan turun kembali. Kenaikan nilai stabilitas menunjukkan benda uji yang dihasilkan lebih kaku, sedangkan penurunan nilai stabilitas menunjukkan bahwa benda uji yang dihasilkan lebih lunak dan lemah dalam menerima beban.



Gambar 6. Hubungan Kadar CR dengan nilai Flow

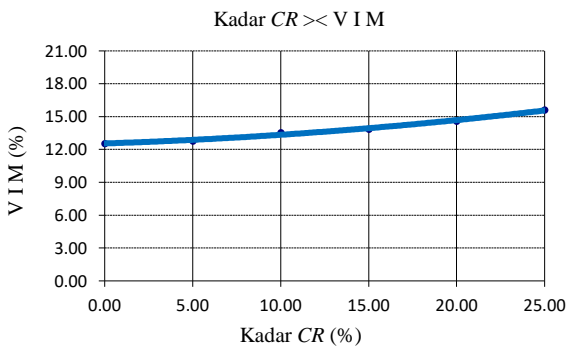
Berdasarkan gambar 6, nilai *flow* menunjukkan bahwa semakin bertambah jumlah penambahan CR, maka benda uji

semakin bersifat plastis. Hal ini dikarenakan CR dapat bercampur dengan baik bersama aspal, CR yang bersifat plastis mengalami pengembangan (*Swelling*) dan Pelunakan (*Softening*) sehingga memperlentur campuran AC – WC.



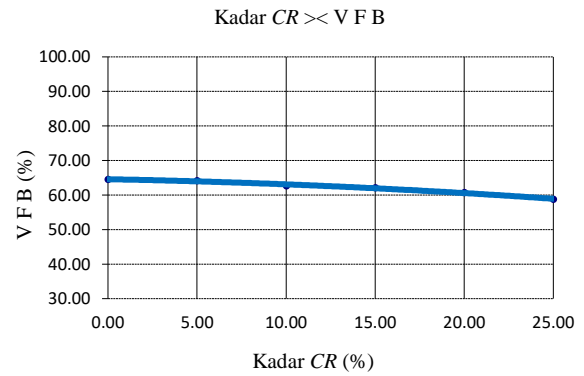
Gambar 7. Hubungan Kadar CR dengan nilai VMA

Berdasarkan gambar 7, peningkatan nilai VMA bertambah seiring dengan jumlah CR dalam campuran yang semakin meningkat. CR mengalami leleh pada tiap sisi ketika dipanaskan yang menyebabkan peningkatan kadar aspal dikarenakan CR juga bersifat sebagai aspal. Besar kecilnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal yang menyelimuti agregat, kadar aspal yang besar akan menghasilkan selimut agregat yang tebal sehingga rongga antar agregat semakin besar. Sebaliknya, apabila kadar aspal sedikit maka selimut antar agregat yang dihasilkan tipis, sehingga rongga antar agregat akan semakin kecil.



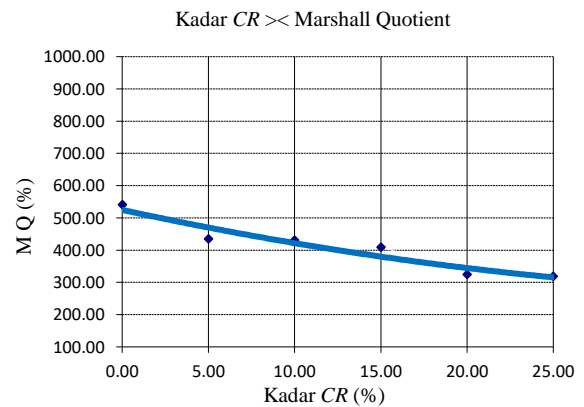
Gambar 8. Hubungan Kadar CR dengan nilai VIM

Berdasarkan gambar 8, nilai VIM didapatkan dari ketidakteraturan yang ada pada bentuk agregat. Peningkatan nilai VIM menunjukkan rongga udara yang semakin besar, dikarenakan CR tidak seluruhnya mengalami leleh dan masih berbentuk agregat yang menyebabkan rongga yang ada dalam campuran meningkat seiring bertambahnya CR. Semakin kecil rongga udara maka campuran akan semakin kedap terhadap air, sedangkan semakin besar rongga udara maka akan mengakibatkan terjadinya kelelahan yang lebih cepat.



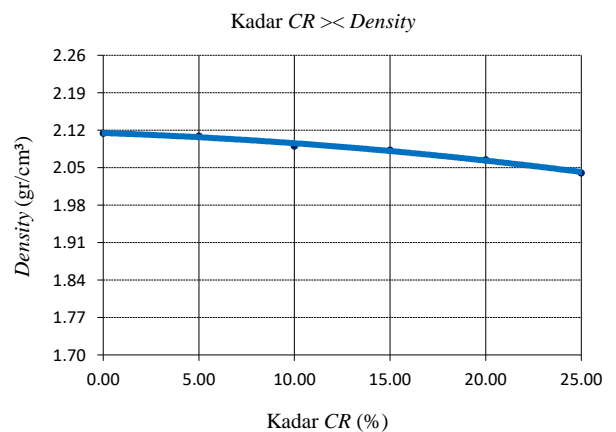
Gambar 9. Hubungan Kadar CR dengan nilai VFB

Berdasarkan gambar 9, nilai VFB semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah CR sebagai bahan yang menggantikan sebagian dari agregat. Hal ini dikarenakan pada saat pencampuran, CR tidak seluruhnya larut bersama aspal dan masih berbentuk butiran agregat yang ikut diselimuti oleh aspal dan mengurangi jumlah aspal yang seharusnya mengisi rongga yang ada dalam campuran.



Gambar 10. Hubungan Kadar CR dengan nilai MQ

Berdasarkan gambar 10, kenaikan dan penurunan nilai MQ dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan *flow* pada campuran. Jika nilai stabilitas kecil dan nilai *flow* besar maka menghasilkan campuran yang lunak dan mudah berubah bentuk jika diberi beban. Campuran yang memiliki nilai MQ yang terlalu tinggi berpengaruh kepada campuran yang bersifat kaku dan fleksibilitasnya rendah sehingga campuran akan lebih mudah mengalami retakan (*cracking*).



Gambar 11. Hubungan Kadar CR dengan nilai Density

Berdasarkan gambar 11, nilai *density* dari berbagai variasi *CR* cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya persentase *CR*. Hal ini disebabkan karena bahan agregat yang disubstitusi *CR* tersebut cenderung mengalami peningkatan sehingga mengurangi kuantitas aspal di dalam campuran yang menyebabkan campuran menjadi kurang padat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* secara umum untuk %*CR* dapat disimpulkan bahwa penambahan *CR* memenuhi spesifikasi dengan nilai parameter *Marshall* optimum berada pada penambahan *CR* sebesar 10% dengan nilai stabilitas 2112 kg, *flow* 5,0 mm, VMA 23,7%, VIM 13,5%, VFB 62,7%, MQ 430,8 kN/mm, dan *density* 2,091 gr/cm³

REFERENSI

- [1] M. Dewanti, "Penggunaan Crumb Rubber untuk Perkerasan Jalan dengan Uji Marshall dan Wheel Tracking menggunakan Sistem Warm Mix pada Campuran AC-WC". Tugas Akhir, Universitas Mercu Buana Press, Jakarta, 2016.
- [2] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- [3] Faisal, dkk, "Karakteristik Marshall Campuran Aspal Betonac-BC menggunakan Material Agregat Basalt dengan Aspal Pen. 60/70 dan Tambahan Parutan Ban dalam Bekas Kendaraan Roda 4," Jurnal Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Syiah Kuala., vol 3(3), pp. 38-48, 2014.
- [4] H. Hariyadi, dkk, "Pengaruh Ukuran Crumb Rubber Mesh #80 dan Mesh #120 (Serbuk Limbah Ban Karet) pada Penambahan Campuran Laston untuk Perkerasan Jalan," Jurnal Universitas Tidar., vol 2(2), pp. 82-85, 2018.
- [5] C. Karisma, dkk, "Evaluasi Hasil Pengujian Ekstraksi menggunakan Metode Sentrifugal dan Refluk pada Campuran AC-WC," International Symposium Universitas Jember, 2014.
- [6] Cut. Khairani DE, dkk, "Uji Marshall pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) dengan Tambahan Parutan Ban Bekas," Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala., vol 1(3), pp. 559-570, 2018.
- [7] Mashuri, dan Joi Fredy Batti, "Pemanfaatan Material Limbah pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas," Jurnal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Palu: Universitas Tadulako, 2011.
- [8] A. Muldiyanto, "Uji Stabilitas terhadap Flow Campuran Aspal dengan Marshall Test (Kadar Aspal 5%, Penetrasi 60/70)," Jurnal Pengembangan Rekayasa dan Teknologi., vol 1(13) , pp. 11-18, 2011.
- [9] S. Mulyani dan D. Hamdani, "Teknik Pencampuran yang Optimal antara Crumb Rubber dan Aspal PEN 60/70," Jurnal Jalan – Jembatan., vol 34(1), pp. 8-20, 2017.
- [10] W. Purnomo, "Perancangan Laboratorium Campuran Perkerasan HRS-WC dengan Crumb Rubber sebagai Filler," Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012.
- [11] A. Widayanti, dkk, "Karakteristik Material Pembentuk Reclaimed Asphalt dari Jalan Nasional di Provinsi Jawa Timur," Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas., vol 1(1), pp. 11-22, 2017.