



PERBANDINGAN NILAI PARAMETER MARSHALL ASPAL MODIFIKASI *BUTON NATURAL ASPHALT CRUMB RUBBER TYPE 1 (BNA CR1) 10% DAN BNA CR1 20% TERHADAP ASPAL PEN.60/70*

Muhammad Zaki^{a,*}, Sofyan M. Saleh^b, Mochammad Afifuddin^c

^aMagister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^{b,c}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Corresponding author, email address: mzakhy2003@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received 04 October 2018

Received in revised form 06 December 2018

Accepted 12 December 2018

Keywords:

Marshall test, BNA CR1, Metode,

ABSTRACT

here was an urgent need to accelerate the project duration in project MYC WIL.I-2C, however, inconsistent policy towards the predefined specification was taken by using 10% Buton Natural Asphalt Rubber (BNA-R), whereas the specification should be 20% BNA-R. The objective of this research is to compare the strength performance between BNA-R 1 10% and BNA-R 1 20%, compared to BNA-R1 0% (pen.60/70). The lab analysis was done in Jalan Raya Laboratory, Faculty of Engineering, Syiah Kuala University, Banda Aceh. The method that were used are *Marshall* method and *durability* at optimum asphalt content by using wet method. The results showed that stability value of BNA-R without substitutes was 1164 kg, BNA-R 10% was 1440 kg, and the highest was found in BNA-R 20% i.e. 1462 kg. Durability value without substitutes was 105.17%, whereas, durability of BNA CR 1 10% was 101.14% and BNA CR 1 20% was 100.81%. All Marshall parameters in BNA-R with and without substitutes, including stability, flow, MQ, density, VIM, VMA and VFA were still fulfill the specification set by the Directorate General of Highways (*Bina Marga*) rev 3 in 2014 and interim 3 rev 2 in 2015.

©2018 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pemerintah atau *stakeholder* proyek menilai puas atau tidaknya terhadap kontraktor dengan membandingkan hasil kinerja kontraktor terhadap keinginan dan harapan pemilik proyek (*owner*). Kepuasan pemilik proyek dapat dilihat dari waktu, biaya dan mutu yang sesuai dengan perencanaan. Referensi penggunaan BNA CR1 sesuai dengan surat Direktorat Jenderal Bina Marga No.KB.01-13-Db/750.i, tanggal 12 Oktober 2015 yang ditujukan kepada : 1. Para Direktur di Lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga, 2. Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional I s/d XI, perihal penyampaian Revisi II Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas dengan Aspal yang dimodifikasi *Crumb Rubber* atau Asbuton dengan *Crumb Rubber*.

Terdapat permasalahan yang tidak lazim antara kebijakan *owner* agar proyek MYC WIL.I-2C menggunakan 10% *Buton Natural Asphalt Rubber* (BNA-R) sedangkan di spesifikasi tertera 20% BNA-R. Untuk menunjang kebijakan *owner* perlu dilakukan *experimental design* terhadap pola tanpa BNA-R (aspal pen.60/70) dengan 10% BNA-R dan 20% BNA-R di laboratorium.

Tujuan penelitian ialah untuk mengetahui perbandingan kekuatan antara 10% BNA-R dan 20%

BNA-R yang dibandingkan dengan 0% BNA-R (aspal pen.60/70).

Manfaat penelitian ini adalah menjadi sumbangan pemikiran kepada *owner* perihal konsistensi pemakaian persentase BNA-R dalam aspal modifikasi BNA CR1 terhadap Spesifikasi *Interim 3* Ditjen Bina Marga tahun 2015.

Dari hasil penelitian didapatkan nilai stabilitas tanpa substitusi BNA-R yaitu 1164 kg, sedangkan substitusi terbaik untuk variasi BNA-R didapat pada kadar persentase 20% yaitu 1462 kg dan nilai stabilitas BNA-R 10% sebesar 1440 kg. Nilai *durabilitas* tanpa substitusi yaitu sebesar 105.17%, sedangkan nilai *durabilitas* BNA CR-1 10% yaitu 101.14% dan nilai *durabilitas* BNA CR-1 20% sebesar 100.81%. Nilai parameter *Marshall* untuk tanpa dan dengan substitusi BNA-R yang dihasilkan berupa stabilitas, flow, MQ, density, VIM, VMA dan VFA masih memenuhi spesifikasi Bina Marga revisi 3 tahun 2014 dan spesifikasi interim 3 revisi 2 Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2015.

2. KAJIAN PUSTAKA

Manajemen proyek adalah merencanakan, mengorganisir, memimpin, mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Sasaran proyek tersebut terdiri dari unsur biaya, mutu, dan waktu (Soeharto, 2001).

2.1 Lapis Aspal Beton

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan beraspal pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari agregat, aspal dan bahan pengisi (*filler*) dengan suatu gradasi menerus kemudian dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas sehingga menghasilkan campuran dengan daya ikat yang kuat. *Asphalt Concrete – Wearing Course* merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapis aus. Walaupun bersifat *non* struktural, AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan (Nopiyanto, 2011).

Ketentuan mengenai sifat-sifat dari campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) dan Laston Lapis Aus Modifikasi (AC WC *Mod-CR*) dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 di bawah ini:

Tabel 1.

Ketentuan Sifat-Sifat Laston Lapis Aus (AC-WC)

Sifat-Sifat Campuran (AC)	Min	Max
Density (gr/cm ³)	2	-
VIM (%)	3,0	5,0
VMA (%)	15	-
VFA (%)	65	-
Marshall stability (kg)	800	-
Flow (mm)	2	4
Marshall <i>Quotient</i> (kg/mm)	250	-
Marshall stability residu (%)	90	-

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2014)

Tabel 2.

Ketentuan Sifat-Sifat Laston lapis Aus (AC WC *Mod-CR*)

Sifat-Sifat Campuran (AC- <i>Mod</i>)	Min.	Maks.
Density (gr/cm ³)	-	-
VIM (%)	3,0	5,0
VMA (%)	>16	-
VFA (%)	>66	-
Marshall stability (kg)	>1000	-
Flow (mm)	3	-
Marshall <i>Quotient</i> (kg/mm)	-	-
Marshall stability residu (%)	>90	-

Sumber: Spesifikasi Interim 3 Bina Marga (2015)

2.2 Asbuton BNA CR1

Wisnu (2016), menyatakan bahwa asbuton modifikasi Buton Natural Asphalt Crumb Rubber Type 1 (BNA CR1) dengan merk BNA-R diproduksi oleh PT. Aston Adhi Jaya (AAJ) di Gresik, Jawa Timur dan dipasarkan oleh PT. Performa Alam Lestari (PAL). Produk ini merupakan hasil campuran antara aspal minyak pen. 60/70 dengan asbuton semi ekstraksi (BNA) dan ditambah Crumb Rubber dalam

komposisi tertentu. Produk BNA CR1 masuk dalam Spesifikasi Khusus Interim 3 Ditjen Bina Marga tahun 2013 dan terakhir direvisi 2015. Asbuton BNA CR1 dipasarkan dalam bentuk curah dengan tangki khusus dan tangki khusus sementara ini hanya untuk melayani pulau Jawa, sedangkan untuk pemasaran diluar pulau Jawa menggunakan kemasan *bag* @50 kg. Penggunaan asbuton BNA CR1 *bag* perlu pemasangan pompa sirkulasi dan saringan di *storage* aspal AMP. Hal ini untuk menjaga agar tidak terjadi endapan di tangki AMP serta mencegah masuknya butiran kasar yang bisa menyumbat pipa semprot aspal AMP. Pemanasan untuk asbuton BNA CR1 sekitar 170⁰C, jadi lebih tinggi dibandingkan dengan pemanasan aspal minyak yang hanya sekitar 160⁰C. Komposisi untuk Asbuton Modifikasi *Crumb Rubber Type Mod-CR1*, komposisi Bitumen 60/70 = 80% dan BNA-R = 20%. Adapun komposisi BNA-R adalah BNA 95% dan Crumb Rubber 5%.

2.3 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding*. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan *dial* stabilitas *Marshall* dan kemudian harus dikalikan dengan kalibrasi alat dan faktor koreksi benda uji. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi (Sukirman, 2003: 75).

2.4 Durabilitas

Salah satu karakteristik dari campuran beton aspal adalah durabilitas. Sifat durabilitas pada lapis permukaan diperlukan untuk dapat menahan keausan yang terjadi akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan yang diakibatkan oleh gesekan roda kendaraan. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi menurunnya sifat durabilitas suatu campuran adalah air. Jika suatu lapisan aspal selalu terendam oleh air, maka sifat durabilitas campuran tersebut akan berkurang. Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi sifat durabilitas campuran adalah pemadatan. Untuk memperoleh stabilitas benda uji yang ditentukan setelah perendaman 30 menit dan 24 jam pada suhu 60 C. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 (2014) menyebutkan nilai durabilitas dikatakan baik apabila nilainya $\geq 90\%$.

$$IRS = \frac{MS_1}{MS_s} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan :

IRS = Indeks Stabilitas Sisa (%);

MS₁ = Stabilitas Marshall setelah perendaman 24 jam (kg);

MS_s = Stabilitas Marshall setelah perendaman 30 menit (kg);

3. METODE PENELITIAN

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan aspal. Setelah semua hasil dari pemeriksaan sifat-sifat fisis material dan sesuai dengan spesifikasi, maka dilakukan perencanaan pembuatan benda uji dan pengujian Marshall.

3.1 Teknik Pencampuran Aspal

Persentase BNA-R sebesar masing-masing 10% dan 20% dari aspal keras aspal pen.60/70 dicampurkan ke dalam aspal panas pen.60/70 pada suhu 140⁰C. Jika seluruh BNA-R telah larut dalam aspal secara homogen lebih kurang pada suhu $\pm 170^0$ C, maka aspal modifikasi tersebut sudah dapat digunakan untuk campuran aspal modifikasi.

3.2 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Benda uji campuran AC-WC yang dibuat pada penelitian ini terdiri dari empat kelompok yaitu :

1. Benda uji dengan variasi kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) masing-masing campuran dengan substitusi 0% BNA-R, 10% BNA-R dan 20% BNA-R.
2. Benda uji dengan substitusi 0% BNA-R, 10% BNA-R dan 20% BNA-R rendaman pada waterbath suhu 60 °C selama 30 menit.
3. Benda uji dengan substitusi 0% BNA-R, 10% BNA-R dan 20% BNA-R rendaman pada waterbath suhu 60 0C selama 24 jam.
4. Benda uji dengan substitusi 0% BNA-R, 10% BNA-R dan 20% BNA-R yang menghasilkan karakteristik *Marshall* terbaik untuk menghitung nilai durabilitas.

Banyaknya benda uji adalah 63 benda uji untuk mengetahui sifat-sifat campuran dan penentuan kadar aspal optimum untuk masing-masing campuran dengan metode *Marshall* dapat dilihat pada tabel 3:

Tabel 3

Benda uji keseluruhan

No	Jumlah Benda Uji	Total
1	Benda uji untuk menentukan nilai (KAO) aspal pen.60/70	15
2	Benda uji untuk menentukan nilai (KAO) substitusi 10% BNA-R	15
4	Benda uji untuk menentukan nilai (KAO) substitusi 20% BNA-R	15
5	Benda Uji Perendaman 30 menit dan 24 jam	18
Jumlah		63

3.3 Metode Analisa Data

Analisa regresi digunakan untuk menganalisis hubungan antara variasi kadar aspal penetrasi 60/70 dan BNA-R terhadap variasi agregat dengan parameter *Marshall*. Dalam penelitian ini akan diperoleh beberapa variabel, variabel-variabel itu adalah :(a) Variabel bebas adalah persentase kadar aspal penetrasi 60/70 , kadar BNA-R pada aspal penetrasi 60/70, (b) Variabel terikat adalah *Density*, VIM, VMA, VFA, stabilitas, , *Flow*, *Marshall* dan *durabilitas*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat

Pemeriksaan sifat fisis agregat yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Unsyiah meliputi berat jenis, penyerapan dan berat isi, sedangkan keausan, kekerasan, indeks kepipihan dan indeks kelonjongan dan pemeriksaan tumbukan dan kelekatan agregat terhadap aspal dari data sekunder paket MYC WIL.I-2C. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat disajikan pada tabel 4. Dari hasil penelitian, sifat-sifat fisis agregat yang digunakan telah memenuhi syarat.

Tabel 4.

Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat

No.	Uraian Test	Metode Pengujian	Hasil Tes Lab	Spesifikasi	Satuan
1	Abration test by Loss Angeles	SNI 2417-2008	21	Maks. 40	%
2	Berat Jenis	SNI 2417-2008	2,656	Min. 2,5	-
3	Sand Equivalent	SNI 03-4428-1997	70	Min 60	%
4	Penyerapan rata rata agregat halus (Abu Batu)	SNI 1970-2008	1,730	Maks. 3	%
5	Penyerapan rata rata agregat halus (Pasir)	SNI 1970-2008	1,123	Maks. 3	%
6	Penyerapan rata rata agregat kasar (Batu 3/8")	SNI 1970-2008	1,485	Maks. 3	%
7	Penyerapan rata rata agregat kasar (Batu 3/4")	SNI 1970-2008	1,326	Maks. 3	%
8	Angularitas agregat halus	SNI 03-8877-2002	45 & 49	Min. 45	%
9	Angularitas agregat kasar	ASTM D 5821 - 13	98/97	95/90	%
10	Kelekatan Terhadap asphalt	SNI 2439 2011	96	Min. 95	%
11	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D 4791-2010	4,6	Maks. 10	%
12	Pelapukan rata rata	SNI 3407- 2008	2,0	Maks. 12	%

4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal

Pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Unsyiah yaitu berat jenis, sedangkan uji penetrasi, titik lembek dan uji kelekatan aspal terhadap agregat diperoleh dari data sekunder proyek WIL.I-2C/MYC 2015-2017. Data pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 dan aspal pen.60/70 dengan substitusi persentase 10% BNA-R dan 20% BNA-R memperlihatkan bahwa aspal tersebut dapat digunakan karena memenuhi persyaratan yang ditentukan. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal tersebut disajikan pada Tabel 5 berikut ini :

Tabel 5

Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal

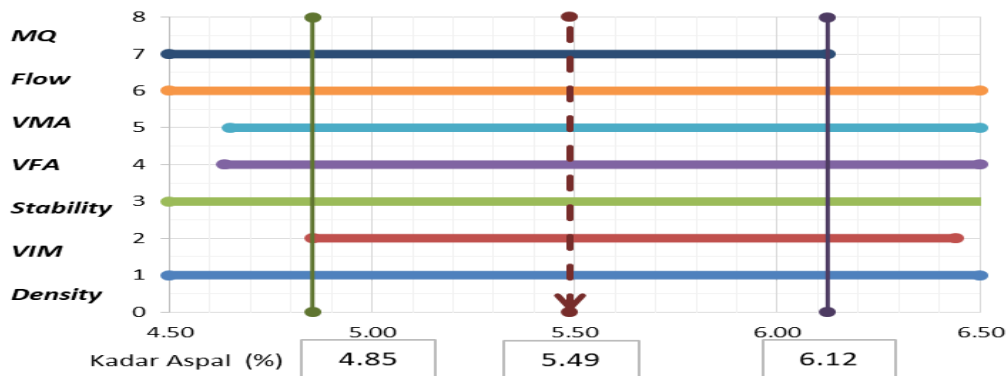
Sifat-sifat Fisis Aspal	Penambahan BNA-R pada aspal pen.60/70			Satuan	Spesifikasi 2010 revisi 3 BM (2014)	Spesifikasi Interim 3 BM (2015)
	0%	10%	20%			
Berat jenis	1,020	1,031	1,035	-	Min. 1,0	Min. 1,0
Penetrasi	63	43	43	(0,1 mm)	60-79	Min.40
Daktilitas	132	150	150	Cm	Min.100	Min.50
Titik lembek	48	55,5	55,5	°C	Min.48	Min.55

4.3 Hasil dan Pembahasan terhadap Pengujian *Marshall* substitusi BNA-R

Tabel 6

Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* dengan variasi Kadar Aspal Penetrasi 60/70 (0% BNA-R)

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Kementerian PU (2014)
		4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	
1	Stabilitas (Kg)	1298	1157	1038	942	907	Min. 800
2	Flow (mm)	2.27	3.00	2.90	3.77	3.93	2 – 4
3	MQ (Kg/mm)	574.81	388.33	358.20	250.66	232.21	Min. 250
4	Density (t/m ³)	2.37	2.36	2.37	2.36	2.36	-
5	VIM (%)	5.39	4.93	4.07	3.54	2.81	3 – 5
6	VMA (%)	14.8	15.48	15.80	16.41	16.41	Min. 15
7	VFA (%)	63.79	68.20	74.53	78.63	83.34	Min. 65



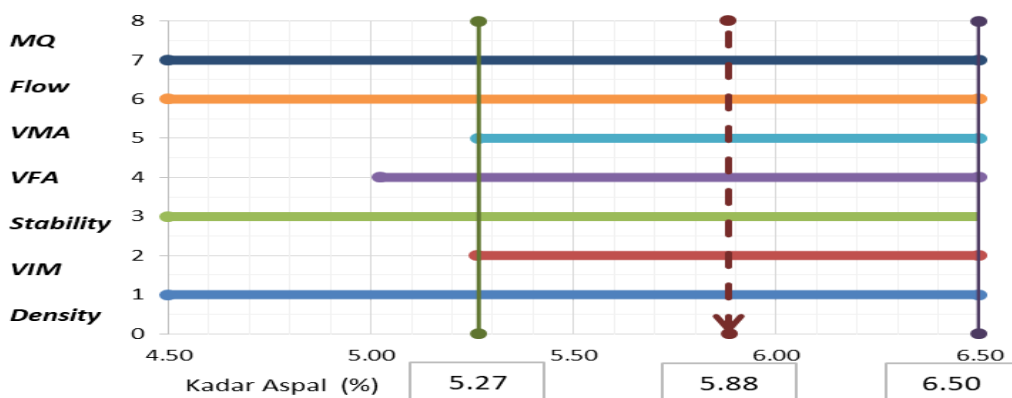
Gambar 1 Grafik penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) pen.60/70 (0% BNA-R)

Dari gambar 1 di atas yang memenuhi parameter *Marshall* untuk campuran aspal beton (AC-WC) tanpa substitusi BNA-R didapat nilai kadar aspal optimum $(4.85+6.12) / 2 = 5.49\%$ yaitu dari hasil penjumlahan rentang kiri nilai VIM minimum sebesar 4.85 ditambah rentang kanan nilai MQ maksimum 6.12 kemudian hasil penjumlahannya dibagi dua, sehingga diperoleh nilai KAO sebesar 5.49%.

Tabel 7

Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* dengan variasi Kadar Aspal BNA CR-1 10%

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Interim 3 Th.2015
		4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	
1	Stabilitas (Kg)	1240	1603	1652	1505	1411	Min. 1000
2	Flow (mm)	4.40	4.77	4.43	5.13	5.47	Min. 3
3	MQ (Kg/mm)	285.38	338.27	373.12	293.92	261.83	-
4	Density (t/m ³)	2.35	2.35	2.36	2.35	2.35	-
5	VIM (%)	6.32	5.55	4.48	4.13	3.54	3 – 5
6	VMA (%)	15.54	15.92	16.05	16.80	17.34	Min. 16
7	VFA (%)	59.40	65.20	72.06	75.41	79.58	Min. 66



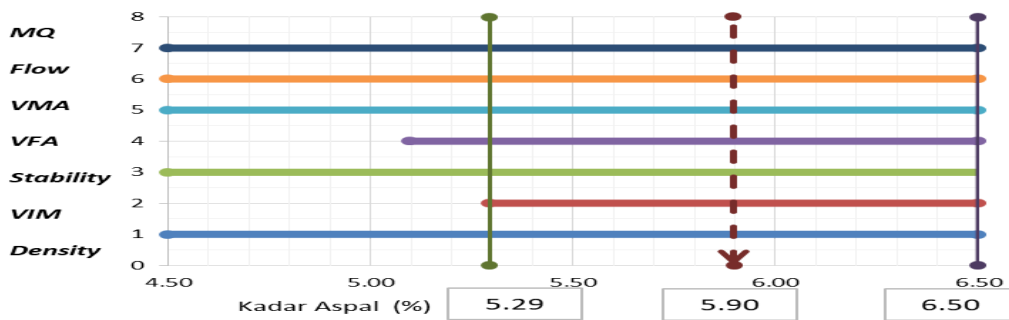
Gambar 2 Grafik penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) BNA CR1 10%

Dari gambar 2 di atas yang memenuhi parameter *Marshall* untuk campuran aspal beton (AC-WC) Modifikasi (10% BNA-R) didapat nilai kadar aspal optimum $(5.27+6.50) / 2 = 5.88\%$ yaitu dari hasil penjumlahan rentang kiri nilai VIM minimum sebesar 5.27 ditambah rentang kanan nilai VIM maksimum 6.50 kemudian hasil penjumlahannya dibagi dua, sehingga diperoleh nilai KAO sebesar 5.88%.

Tabel 8

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan variasi kadar aspal BNA CR-1 20%

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Interim 3 Th.2015
		4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	
1	Stabilitas (Kg)	1654	1744	1415	1328	1011	Min. 1000
2	Flow (mm)	3.17	3.83	3.97	4.33	5.17	Min. 3
3	MQ (Kg/mm)	565.49	460.13	372.45	308.23	199.94	-
4	Density (t/m ³)	2.32	2.35	2.36	2.36	2.35	-
5	VIM (%)	7.31	5.77	4.50	3.92	3.52	3 – 5
6	VMA (%)	16.40	16.08	16.02	16.57	17.27	Min. 16
7	VFA (%)	55.43	64.27	71.94	76.34	79.64	Min. 66

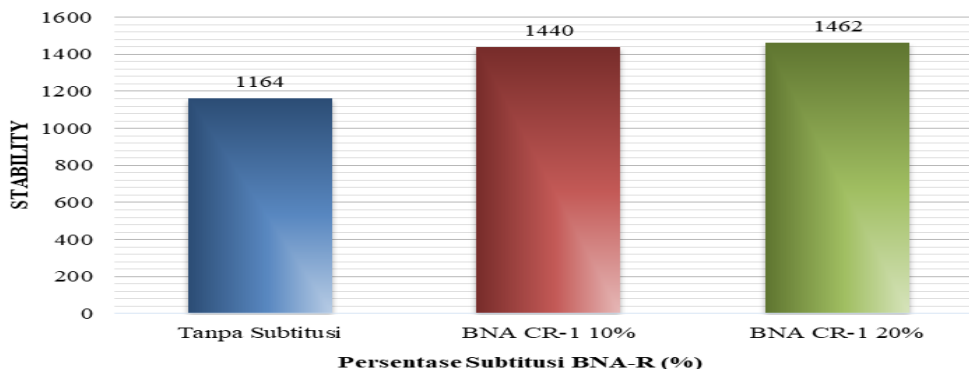


Gambar 3 Grafik penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) BNA CR1 20%

Dari gambar 3 yang memenuhi parameter *Marshall* untuk campuran aspal beton (AC-WC) Modifikasi (20% BNA-R) didapat nilai kadar aspal optimum $(5.29+6.50) / 2 = 5.90\%$ yaitu dari hasil penjumlahan rentang kiri nilai VIM minimum sebesar 5.29 ditambah rentang kanan nilai VIM maksimum 6.50 kemudian hasil penjumlahannya dibagi dua, sehingga diperoleh nilai KAO sebesar 5.90%.

4.4 Tinjauan terhadap Nilai Stabilitas

Tinjauan nilai stabilitas pada campuran laston lapis aus (AC-WC) untuk substitusi variasi persentase 0%, 10% dan 20% BNA-R terhadap aspal pen.60/70 pada kadar aspal optimum (KAO), diperlihatkan pada gambar 4 di bawah ini :



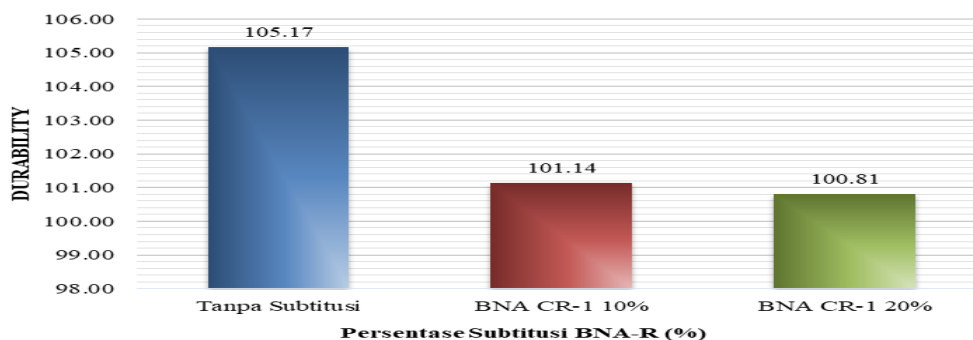
Gambar 4 Pengaruh substitusi variasi persentase BNA-R terhadap nilai stabilitas

Dari gambar 4 di atas menunjukkan nilai stabilitas dengan substitusi persentase tanpa BNA-R diperoleh sebesar 1.164 kg, sedangkan stabilitas dengan substitusi persentase 10% BNA-R sebesar 1.440 kg dan stabilitas dengan substitusi 20% BNA-R sebesar 1.462 kg. Peningkatan nilai stabilitas disebabkan karena semakin bertambahnya kadar substitusi persentase BNA-R dan juga karena daya lekat aspal baik terhadap agregat maupun aspal itu sendiri semakin baik, sehingga semakin kuat interlocking yang terjadi

antar butiran. Nilai stabilitas untuk semua substitusi variasi persentase BNA-R telah memenuhi persyaratan, yaitu nilai stabilitas ≥ 800 kg untuk aspal pen.60/70 (spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 tahun 2014) dan nilai stabilitas ≥ 1.000 kg untuk BNA CR-1 (spesifikasi Interim 3 Ditjen Bina Marga tahun 2015).

4.5 Tinjauan terhadap Nilai Durabilitas

Tinjauan terhadap nilai durabilitas menunjukkan tingkat keawetan campuran beton aspal. Nilai durabilitas yang diperoleh dari campuran laston lapis aus (AC-WC) dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 yang tanpa di substitusi dengan substitusi BNA-R diperlihatkan pada gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5 Pengaruh substitusi variasi persentase BNA-R terhadap nilai *Durabilitas*

Dari gambar 5 menunjukkan bahwa nilai durabilitas campuran laston lapis aus AC-WC tanpa substitusi yaitu 105.15%, sedangkan nilai durabilitas dengan 10% BNA-R sebesar 101.11% dan nilai durabilitas dengan 20% BNA-R diperoleh sebesar 100.75%. Nilai durabilitas semua variasi substitusi BNA-R memenuhi persyaratan, disebabkan karena persentase aspal dalam campuran yang lebih banyak dan rongga-rongga antar agregat menjadi lebih kecil sehingga lebih kedap air dan peka terhadap pengaruh suhu dan cuaca. Persyaratan Spesifikasi 2010 revisi 3 tahun 2014 yaitu $\geq 90\%$.

4.6 Hasil Analisis Regresi Parameter *Marshall*

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* campuran aspal beton dengan variasi persentase substitusi BNA-R diperoleh data yang diplot pada suatu salib sumbu dalam bentuk titik dengan koordinat berupa persentase substitusi BNA-R (x) dan salah satu parameter Marshall (y) dengan menggunakan analisis regresi. Analisis regresi yang digunakan disesuaikan dengan penyebaran data (diagram pencar) yang membentuk garis lengkung. Dari hasil regresi polinomial diperoleh persamaan garis dan koefisien korelasi yang menyatakan hubungan antara persentase tanpa dan dengan substitusi BNA-R dengan parameter Marshall pada metode surface area method, sebagaimana yang diperlihatkan pada tabel 9 sampai dengan tabel 11 berikut ini :

Tabel 9

Persamaan garis dan koefisien korelasi hasil pengujian *Marshall* aspal Pen.60/70

No	Parameter <i>Marshall</i>	Persamaan Regresi	R ²
1	Stabilitas (Kg)	$y = 67.021x^2 - 936.93x + 4160.6$	0.9983
2	Flow (mm)	$y = -0.0476x^2 + 1.3438x - 2.7533$	0.9066
3	MQ (Kg/mm)	$y = 73.898x^2 - 977.45x + 3464.5$	0.9636
4	Density (t/m ³)	$y = 0.0016x^2 - 0.0213x + 2.4308$	0.6242
5	VIM (%)	$y = -0.0643x^2 - 0.603x + 9.4399$	0.9938
6	VMA (%)	$y = -0.0601x^2 + 1.6646x + 8.5611$	0.9917
7	VFA (%)	$y = -0.4682x^2 + 15.057x + 5.2815$	0.9965

Tabel 10

Persamaan garis dan koefisien korelasi hasil pengujian *Marshall* BNA CR-1 10%

No	Parameter <i>Marshall</i>	Persamaan Regresi	R ²
1	Stabilitas (Kg)	$y = -316.66x^2 + 3532.1x - 8207$	0.8721
2	Flow (mm)	$y = 0.2762x^2 - 2.5381x + 10.307$	0.8205
3	MQ (Kg/mm)	$y = -81.145x^2 + 874.31x - 2003$	0.8282
4	Density (t/m ³)	$y = -0.0076x^2 + 0.0829x + 2.1278$	0.6008
5	VIM (%)	$y = 0.3064x^2 - 4.7652x + 21.591$	0.9891
6	VMA (%)	$y = 0.2689x^2 - 2.0647x + 19.416$	0.9799
7	VFA (%)	$y = -1.934x^2 + 31.392x - 42.858$	0.9956

Tabel 11

Persamaan garis dan koefisien korelasi hasil pengujian *Marshall* BNA CR-1 20%

No	Parameter <i>Marshall</i>	Persamaan Regresi	R ²
1	Stabilitas (Kg)	$y = -163.39x^2 + 1456.9x - 1558.5$	0.9347
2	Flow (mm)	$y = 0.1619x^2 - 0.881x + 3.96$	0.9516
3	MQ (Kg/mm)	$y = 5.0276x^2 - 231.9x + 1502.1$	0.9942
4	Density (t/m ³)	$y = -0.0212x^2 + 0.2458x + 1.6485$	0.989
5	VIM (%)	$y = 0.8517x^2 - 11.255x + 40.715$	0.9986
6	VMA (%)	$y = 0.7604x^2 - 7.9189x + 36.639$	0.9891
7	VFA (%)	$y = -4.1029x^2 + 57.231x - 119.08$	0.9993

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Nilai Stabilitas campuran AC-WC tanpa menggunakan substitusi BNA-R, yaitu sebesar 1164 kg, sedangkan substitusi terbaik untuk variasi BNA-R didapat pada kadar persentase 20%, yaitu 1.462 kg dan nilai stabilitas BNA-R 10% sebesar 1.440 kg. Meskipun terdapat perbedaan variasi kekuatan pada nilai stabilitas untuk semua variasi persentase sudah memenuhi persyaratan, yaitu ≥ 1000 kg untuk campuran laston AC-WC Mod. Semua variasi persentase BNA-R memenuhi persyaratan spesifikasi 2010 revisi 3 yang ditentukan Bina Marga tahun 2014 dan spesifikasi interim 3 revisi 2 Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2015, yaitu nilai parameter *Marshall* yang dihasilkan berupa stabilitas, *flow*, *Marshall Quetient*, *density*, *VIM*, *VMA* dan *VFA*. Meningkatnya kadar BNA-R ke dalam aspal pen.60/70 Meningkatkan kadar BNA-R ke dalam aspal pen.60/70, maka akan meningkatkan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibanding campuran aspal beton tanpa BNA-R. Hasil yang diperoleh relevan dengan penelitian Hermadi, Sri Mulyani dan Dani Hamdani.
2. Nilai durabilitas dengan tanpa substitusi yaitu 105.17%, sedangkan nilai durabilitas BNA CR-1 10% sebesar 101.14% dan durabilitas BNA CR-1 20% sebesar 100.81%. Nilai durabilitas yang diperoleh dari campuran AC-WC pada semua substitusi pada variasi persentase ke dalam aspal sudah memenuhi persyaratan spesifikasi 2010 revisi 3 yang ditentukan Bina Marga tahun 2014 dan spesifikasi interim 3 revisi 2 Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2015, yaitu sebesar $\geq 90\%$.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan agar substitusi BNA-R nya lebih bervariasi lagi, sehingga dapat diketahui lebih banyak variasi nilai-nilai stabilitas *Marshall* dan durabilitas yang nantinya dapat dipilih nilai yang mana yang terbaik untuk campuran secara efektif dan ekonomis.
2. Untuk mengetahui lebih jauh tingkat durabilitas campuran AC-WC Mod., maka perlu dilakukan studi lebih lanjut misalnya dengan penambahan zat aditif, pemakaian tipe gradasi campuran yang berbeda atau dengan penambahan filler.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1990, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 15th ed, AASHTO, Washington, DC.
- Affandi, F, 2009, Sifat Campuran Beraspal Panas Dengan Asbuton Butir, Jurnal Jalan dan Jembatan.
- Bukhari, dkk, 2007, Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- Dipohusodo, 1995. Manajemen Proyek & Konstruksi jilid 2. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Ditjen Bina Marga, 2015, Spesifikasi Interim 3 Seksi 6.3, Jakarta.
- Heriyanto, dkk., 2015, Pengaruh Substitusi Asbuton Butir 20/25 pada Aspal pen.60/70, Jurnal, Program Pasca Sarjana Unsyiah, Banda Aceh.
- Hermadi, M, 2002, Proseding Konferensi Regional Teknik Jalan ke 7: Memandang Asbuton dengan Lebih Realistis, Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Bali.
- Howardy , Suparma, L,B dan Satyarno, I, 2008, Forum Teknik Sipil No. XVIII : Perancangan Laboratorium Campuran HRS-WC Dengan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) Sebagai Bahan Additive.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014, Spesifikasi Umum 2010 revisi 3, Dokumen Pelelangan Nasional Penyediaan Pekerjaan Konstruksi Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta
- Kurniadji, dan Nono, 2006, “Spesifikasi dan Produksi Asbuton”, Makalah Workshop Peningkatan Pemanfaatan Asbuton, Jakarta.
- Mulyani, S & Hamdani, D., 2017, Teknik Pencampuran yang Optimal antara Crumb Rubber dan Aspal Pen 60/70 (Optimal Mixing Technique Of Crumb Rubber And 60/70 Pen Asphalt), Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Nopiyanto, 2011, Karakteristik Marshall Menggunakan Aspal Retona Blend 55 dengan Variasi Waktu Pengadukan Campuran, Universitas Riau.
- Razuardi, 2017, Pengaruh Penambahan Asbuton Butir dan Polimer Styrene Butadiene Rubber (SBR) Terhadap Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC), Jurnal, Program Pasca Sarjana Unsyiah, Banda Aceh.
- Riyanto, A, 2009, Statistik Inferensial untuk Analisis Data, Nuha Medika, Yogyakarta
- Soeharto, Imam, 2001. Manajemen Proyek, Jilid 2, Erlangga, Semarang.
- Sugiyono, 2014, Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D, Alfabeta, Bandung.
- Sukirman, S., 1999, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Nova, Bandung.
- Sukirman, S., 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Granit, Jakarta.
- Wisnu,J.N, 2016, Pedoman Penggunaan Asbuton BNA CR1, Jakarta.