

PENGARUH PENGGUNAAN *CRUMB RUBBER* DENGAN MATERIAL SENONI DAN *FILLER* BATU SENONI TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK *MARSHALL ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)*

Laily Rahma Putri¹⁾, Masayu Widiastuti²⁾, M. Jazir Alkas³⁾

¹⁾Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: lailyrahmap19@gmail.com

²⁾ Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: widiwidada@ft.unmul.ac.id

³⁾ Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: mjalkaz@gmail.com

ABSTRAK

Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) adalah lapisan yang berguna untuk meneruskan beban menuju ke pondasi. Untuk meningkatkan sifat fleksibilitas, salah satunya dengan penggunaan *Crumb Rubber* yang berasal dari limbah ban ukuran lolos saringan No. 4 (4,75 mm) sebagai bahan tambah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *Crumb Rubber* sebagai bahan tambah dan penggunaan batu senoni sebagai *filler* terhadap campuran beton aspal terhadap sifat – sifat dari campuran *Marshall*. Pada penelitian ini mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), kemudian dilakukan penambahan *Crumb Rubber* kadar 0%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5% terhadap total berat benda uji dan *filler* batu senoni.

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* yang didapat untuk campuran Kombinasi agregat Senoni dan Filler Batu Senoni terhadap Nilai Karakteristik *Marshall* diperoleh kadar aspal optimum sebesar 6,25% dengan nilai stabilitas sebesar 1.317,07 kg, *flow* sebesar 3.12 mm, VMA sebesar 16.81 %, VIM sebesar 3.75 %, VFA sebesar 77,75%, *Marshall Quotient* sebesar 421,69 kg/mm dan Ratio lolos partikel 0.075mm sebesar 0,76%.

Hasil pengujian karakteristik *Marshall* KAO 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 1%, 1,5%, 2% dan 2,5% didapatkan hasil kadar *crumb rubber* 1% dengan nilai stabilitas sebesar 1.425,73 kg, *flow* sebesar 3.15 mm, VMA sebesar 16.55%, VIM sebesar 3,45%, VFA sebesar 79,20%, dan *Marshall Quotient* sebesar 452,61 kg/mm, dan Ratio lolos partikel 0.075 mm sebesar 0,76%, KAO 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 1,5% dengan nilai stabilitas 1.483,90 kg, *flow* sebesar 3.20 mm, VMA sebesar 16.27 %, VIM sebesar 3.12 %, VFA sebesar 80,83%, *Marshall Quotient* sebesar 463,24 kg/mm dan Ratio lolos partikel 0.075mm sebesar 0,76%, KAO 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 2% dengan nilai stabilitas sebesar 1.590,79 kg, *flow* sebesar 3.29 mm, VMA sebesar 15.56 %, VIM sebesar 2.83 %, VFA sebesar 81,87%, *Marshall Quotient* sebesar 484,01 kg/mm dan Ratio lolos partikel 0.075mm sebesar 0,76%, dan KAO 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 2,5% dengan nilai stabilitas sebesar 1.705,24 kg, *flow* sebesar 3.44 mm, VMA sebesar 15,43 %, VIM sebesar 2,67 %, VFA sebesar 82,72%, *Marshall Quotient* sebesar 496,43 kg/mm dan Ratio lolos partikel 0.075mm sebesar 0,76%.

Kata kunci: Campuran AC-BC, *Crumb Rubber*, *Filler* Batu Senoni, KAO, Parameter *Marshall*

THE EFFECT OF USING CRUMB RUBBER WITH SENONI MATERIALS AND SENONI STONE FILLER ON CHARACTERISTICS OF MARSHALL ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)

ABSTRACT

Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) is a layer that is useful for transmitting the load to the foundation. To increase flexibility, one of them is by using Crumb Rubber which comes from waste tires that pass the No. sieve filter. 4 (4,75 mm) as additive.

This study aims to determine the effect of Crumb Rubber as an additive and the use of senoni stone as a filler for the asphalt concrete mixture on the properties of the Marshall mixture. In this study to find the Optimum Asphalt Content (KAO), then Crumb Rubber content of 0%, 1%, 1,5%, 2%, and 2,5% was added to the total weight of the test object and senoni stone filler.

Based on the Marshall test results obtained for the combination of Senoni Aggregate and Senoni Stone Filler to the Marshall Characteristic Value the Optimum Asphalt Content was obtained at 6.25% with a stability value of 1.317,07 kg, flow of 3,12 mm, VMA of 16,81% VIM of 3,75%, VFA of 77,75% and Marshall Quotient of 421,69 kg/mm and the Ratio of 0.075 mm particle passes is 0.76%.

The results of testing the characteristics of Marshall KAO 6,25% with the addition of crumb rubber content of 1%, 1.5%, 2% and 2.5%. The results obtained crumb rubber content of 1% with a stability value of 1.425,73 kg, flow of 3,15 mm, VMA of 16,55% VIM of 3,45%, VFA of 79,20% and Marshall Quotient of 452,61 kg/mm and the Ratio of 0.075 mm particle passes is 0.76%, KAO 6,25% with the addition of crumb rubber content of 1,5% with a stability value of 1.483,90 kg, flow of 3,20 mm, VMA of 16,27% VIM of 3,12%, VFA of 80,83% and Marshall Quotient of 463,24 kg/mm and the Ratio of 0.075 mm particle passes is 0.76%. KAO 6,25% with the addition of crumb rubber content of 2% with a stability value of 1.590,79 kg, flow of 3,29 mm, VMA of 15,56% VIM of 2,83%, VFA of 81,87% and Marshall Quotient of 484,01 kg/mm and and the Ratio of 0.075 mm particle passes is 0.76%. KAO 6,25% with the addition of crumb rubber content of 2,5% with a stability value of 1.705,24 kg, flow of 3,44 mm, VMA of 15,43% VIM of 2,67%, VFA of 82,72% and Marshall Quotient of 496,43 kg/mm and and the Ratio of 0.075 mm particle passes is 0.76%.

Keywords: AC-BC Mixture, Crumb Rubber, Senoni Stone Filler, KAO, Marshall Parameter

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya sebagai prasarana transportasi darat yang memegang peran penting dalam kehidupan manusia. Semakin pesatnya pertumbuhan ekonomi dan meningkatnya jumlah penduduk berdampak pada mobilitas manusia dan barang, maka dibutuhkan adanya lapis perkerasan jalan yang memadai untuk meningkatkan nilai kekuatan, tingkat kenyamanan, dan tingkat keselamatan agar dapat berfungsi dengan baik. *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)* adalah lapisan perkerasan jalan yang berada di antara lapisan aus dan lapisan pondasi yang disebut lapisan pengikat (*Asphalt Concrete – Binder Course*). Lapisan AC-BC ini berguna untuk meneruskan beban yang diterimanya menuju pondasi.

Menurut Sugiyanto, 2008, Penambahan agregat dengan *crumb rubber* mampu menambah

ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan.

Penggunaan limbah karet ban pada campuran aspal beton juga merupakan salah satu upaya mengurangi sampah ban kendaraan yang biasa digunakan dengan cara pembakaran menghasilkan dampak polusi yang berbahaya bagi lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perumusan masalah yang akan diteliti sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai stabilitas pada campuran perkerasan AC-BC yang menggunakan fraksi kasar agregat Senoni dan fraksi halus Palu yang memenuhi persyaratan pada kadar aspal optimum?
2. Berapakah kadar aspal optimum (KAO) yang didapatkan pada campuran perkerasan AC-BC?

3. Apakah pemanfaatan crumb rubber sebagai bahan tambah dapat berpengaruh terhadap karakteristik Marshall?
4. Berapakah besarnya nilai crumb rubber sebagai bahan tambah pada campuran perkerasan AC-BC?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka diharapkan tujuannya adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui berapa besarnya kadar aspal optimum (KAO) pada campuran material Senoni dan Filler batu Senoni terhadap nilai karakteristik Marshall AC-BC.
2. Mengetahui hasil perbandingan antara tanpa menggunakan *crumb rubber* dengan menggunakan *crumb rubber* terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-BC.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberi beberapa batasan, antara lain:

1. Bahan campuran berasal dari:
 - a. Aspal Pen 60/70
 - b. Agregat Kasar Batu Senoni
 - c. Agregat Halus Batu Palu
 - d. *Crumb Rubber*
 - e. *Filler* dari Abu Batu Senoni
 - f. Pasir Tenggarong
2. Crumb rubber digunakan sebagai bahan tambah pada lapis perkerasan AC-BC
3. Prosentase tambahan crumb rubber 0%, 1%, 1.5%, 2%, dan 2,5%
4. Dilakukan penambahan crumb rubber berdasarkan berat total benda uji dan kadar aspal menggunakan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)
5. Reaksi kimia yang menyertai proses pencampuran diabaikan
6. Tidak meneliti campuran aspal + *crumb rubber* (*wet process*)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang berada pada permukaan tanah atau air, serta diatas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel (UU RI no. 38 Tahun 2004 pasal 1 ayat (4)).

2.2 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan

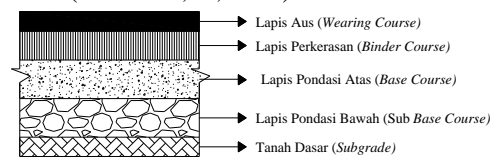
roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003)

2.2.1 Konstruksi Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

2.3 Lapis Aspal Beton (Asphalt Concrete)

Lapis beton aspal adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu (Sukirman, S., 1999).



Gambar 1. Lapis Aspal Beton (Sukirman, S. 1999)

2.4 Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air, dan mudah dikerjakan (Hendarsin, Shirley L, 2000).

2.5 Agregat

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 (Sukirman, S. 2003).

2.6 Pengujian Aspal

Pemeriksaan aspal dilakukan pada campuran aspal jenis pen 60/70, bertujuan untuk mengetahui apakah aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan untuk aspal pen 60/70 atau tidak. Pemeriksaan aspal tersebut terdiri dari Pemeriksaan Berat Jenis Aspal, Pemeriksaan Penetrasi Aspal, Pemeriksaan Titik Lembek Aspal, dan Pemeriksaan Daktilitas Aspal. Ketentuan mengenai pemeriksaan aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1 Spesifikasi Aspal Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Unit	Persyaratan	Standar yang Digunakan
1.	Berat Jenis Aspal	-	≥ 1	SNI 2441-2011
2.	Penetrasi Aspal	mm	60-70	SNI 2456-2011
3.	Titik Lembek Aspal	°C	≥ 48	SNI 2434-2011
4.	Daktilitas Aspal	cm	≥ 100	SNI 2432-2011

Sumber: Bina Marga (2018)

2.7 Crumb Rubber

Crumb rubber adalah produk karet daur ulang yang ramah lingkungan karena diperoleh dari daur ulang limbah berbahan dasar karet ban bekas. Crumb rubber bisa didapatkan dengan proses pengolahan daur ulang ambient grinding dimana ban bekas diparut, digiling yang diproses pada temperatur ruang.

Penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) aspal telah diteliti oleh *US Department Of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika sejak tahun 1986. Hasilnya penggunaan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh factor cuaca dan lalu lintas (AASHTO 1982).

2.8 Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)

Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) agregat yang digunakan adalah agregat bergradasi menerus. Sedangkan yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butiran yang merata mulai dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil. Persyaratan gradasi agregat untuk campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Gradasi Agregat Gabungan AC-BC

UKURAN AYAKAN		% (PERSEN) LOLOS	
ASTM	(mm)	LASTON AC – BC	
		Batas Bawah	Batas Atas
		100	
1"	25		
¾"	19	90	100
½"	12.5	75	90
3/8"	9.5	66	82
No. 4	4.75	46	64
No. 8	2.36	30	49
No. 16	1.18	18	38
No. 30	0.6	12	28
No. 50	0.3	7	20
No. 100	0.15	5	13
No. 200	0.075	4	8

Sumber: Bina Marga (2018)

2.9 Karakteristik Marshall

Rancangan campuran yang berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Brace Marshall dan telah distandarisasikan oleh ASTM ataupun AASHTO. Prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), sera

analisis kepadatan dan pori-pori campuran padat yang berbentuk. Ketentuan mengenai sifat-sifat campuran Laston dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Ketentuan Spesifikasi Laston AC Mod (AC-BC)

Sifat-sifat Campuran		LASTON
		AC-BC
Jumlah Tumbukan per Bidang	Min.	75
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6
	Maks.	1,2
Rongga dalam Campuran VIM (%)	Min.	3,0
	Maks.	5,0
Rongga dalam Agregat VMA (%)	Min.	14
Rongga Terisi Aspal VFA (%)	Min.	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800
Pelelehan (mm)	Min.	2,0
	Maks.	4,0
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250
Stabilitas Marshall Sisa(%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.	90
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2

Sumber: Bina Marga (2018)

2.9.1 Stabilitas

Nilai stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (*rutting*), maupun *bleeding*.

2.9.2 Flow

Kelelahan plastis (*flow*) adalah besarnya deformasi *vertical* benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya.

2.9.3 VMA

Rongga antar agregat (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dapat dihitung dengan rumus:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+pb)} \times 100 \dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

VMA = Rongga diantara material agregat (%)

Gsb = Berat jenis bulk agregat (gr/cm³)

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat (gr/cm³)

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran (%)

2.9.4 VIM

Rongga dalam campuran adalah persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan. Semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran bersifat porous. Nilai Vim dapat dihitung dengan rumus:

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:
VIM = Rongga udara dalam campuran (%)
Gmm = Berat jenis maksimum campuran (gr/cm³)
Gmb = Berat jenis bulk campuran padat (gr/cm³)

2.9.5 VFA

Rongga terisi aspal adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. VFA dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:
VFA = Rongga udara terisi aspal (%)
VMA = Rongga udara pada mineral agregat (gr/cm³)
VIM = Rongga udara dalam campuran (%)

2.9.6 Marshall Quotient

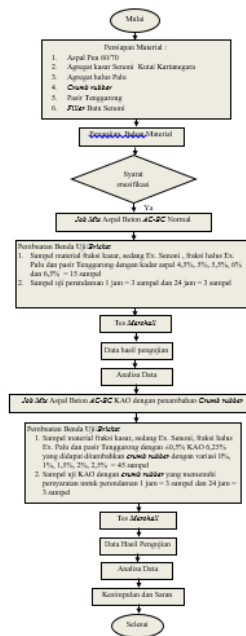
Hasil bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai MQ, maka semakin kaku suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. MQ dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$MQ = \frac{SM}{F} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
SM = Stabilitas Marshall (kg)
F = Flow (mm)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alur



Gambar 2. Bagan Alur

3.2 Studi Literatur

Studi literatur ini dimaksudkan untuk menunjang dalam penyusunan skripsi. Studi literatur yang digunakan adalah:

1. Spesifikasi umum Bina Marga 2018
2. Badan Standarisasi Nasional RSNI M 01-2003
3. Asphalt Institute MS-2014
4. Studi literatur hasil dari penelitian yang dilakukan sebelumnya yang membahas tentang penggunaan bahan tambah *crumb rubber* untuk campuran aspal AC-BC
- 5.

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal pen 60/70 memperlihatkan bahwa aspal tersebut dapat digunakan karena memenuhi persyaratan. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal adalah:

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal Pen 60/70

Sifat-sifat Fisis Aspal	Satuan	Hasil	Syarat
Berat Jenis	-	1,02	Min. 1
Penetrasi	mm	64,4	60-70
Titik Lembek	⁰ C	50,75	Min. 48 ⁰ C
Daktilitas	cm	100,5	Min. 100

(Sumber: Lab. Teknik Sipil POLNES)

4.2 Pemeriksaan Agregat

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat memperlihatkan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan. Hasil pemeriksaan sifat-sifat agregat adalah

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Agregat

Sifat-sifat Fisis yang diperiksa	Satuan	Hasil	Syarat
Berat Jenis (bulk)	-	2,56	Min. 2,5
Berat Jenis SSD	-	2,61	Min. 2,5
Berat Jenis Semu	-	2,68	Min. 2,5
Penyerapan	%	1,75	Maks. 3%
Keausan Agregat	%	26,86	Maks. 40%

(Sumber: Lab. Teknik Sipil POLNES)

4.3 Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil uji Marshall yang telah dilakukan, nilai kadar aspal optimum (KAO) diperoleh sebesar 6,25% yang memenuhi semua persyaratan parameter Marshall. Nilai KAO tersebut selanjutnya digunakan untuk pengujian karakteristik campuran AC-BC dengan substitusi variasi persentase parutan ban sebagai bahan tambah.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal Pen. 60/70

Variasi Kadar Aspal	Karakteristik Campuran							Persyaratan	
	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Density		Ratio (%)
4,5%	897,35	2,66	374,94	16,09	7,12	55,8	2,298	1,10	Tidak Terpenuhi
5%	1.024,89	2,71	378,65	16,40	6,28	62,0	2,302	0,97	Tidak Terpenuhi
5,5%	1.106,55	2,86	386,46	16,61	5,33	69,1	2,308	0,88	Tidak Terpenuhi
6%	1.227,70	3,09	397,74	16,89	4,45	73,7	2,313	0,80	Terpenuhi
6,5%	1.281,64	3,21	399,27	17,22	3,62	79,0	2,316	0,73	Terpenuhi
Spesifikasi	Min. 800	2-4	Min. 250	Min. 14	3-5	Min. 65	-	0,6-1,2	

(Sumber: Lab. Teknik Sipil POLNES)

4.4 Hasil Karakteristik Campuran AC-BC Dengan Penambahan Crumb Rubber Sebagai Bahan Tambah

Berdasarkan hasil pengujian Marshall KAO 6.25% dengan penambahan variasi kadar Crumb Rubber 0%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5% adalah:

Tabel 7. Rekapitulasi Nilai Karakteristik Campuran AC-BC KAO 6,25% dengan Penambahan Crumb Rubber

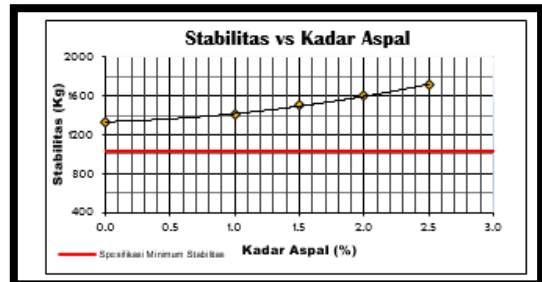
Kadar Crumb Rubber	Karakteristik Campuran							Persyaratan	
	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Density		Ratio (%)
0%	1.317,07	3,12	421,69	16,81	3,75	77,75	2.321	0,76	Terpenuhi
1%	1.425,73	3,15	452,61	16,55	3,45	79,20	2.328	0,76	Terpenuhi
1,5%	1.483,90	3,20	463,24	16,27	3,12	80,83	2.336	0,76	Terpenuhi
2%	1.590,79	3,29	484,01	15,56	2,83	81,87	2.343	0,76	Tidak Terpenuhi
2,5%	1.705,24	3,44	496,43	15,43	2,67	82,72	2.347	0,76	Tidak Terpenuhi
Spek	Min.1000	2-4	Min. 250	Min. 14	3-5	Min. 65	-	0,6-1,2	

(Sumber: Lab. Teknik Sipil POLNES)

4.4.1 Stabilitas

Nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar *crumb rubber* pada campuran. Penggunaan *crumb rubber* pada campuran aspal beton mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen akibat

jejak roda kendaraan. Penambahan *crumb rubber* dapat memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap suhu tinggi maupun beban lalu lintas. Sehingga dapat memberikan indikasi untuk memperbaiki ketahanan geser pada suhu tinggi sehingga mencegah terjadinya kerusakan.

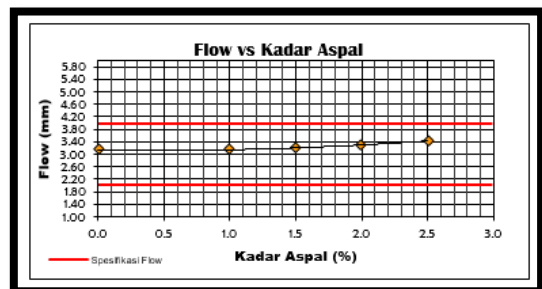


Gambar 3. Stabilitas Marshall KAO 6.25% dengan Penambahan Crumb Rubber

(Sumber: Hasil Analisis)

4.4.2 Flow

Nilai *flow* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *crumb rubber* dalam campuran. Meningkatnya nilai *flow* disebabkan oleh butir-butiri *crumb rubber* yang memiliki sifat plastis pada campuran. Dengan adanya *crumb rubber* akan mengakibatkan campuran aspal beton menjadi lebih elastis sehingga campuran aspal mampu menahan kelelahan plastis lebih baik dari pada campuran aspal tanpa *crumb rubber*.

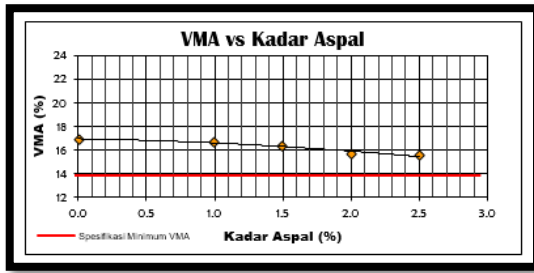


Gambar 4. Flow Marshall KAO 6.25% dengan Penambahan Crumb Rubber

(Sumber: Hasil Analisis)

4.4.3 VMA

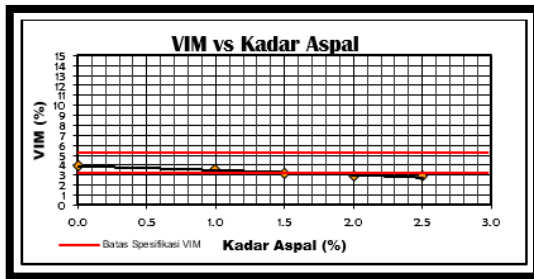
Nilai VMA mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *crumb rubber* dalam campuran akan tetapi masih memiliki nilai VMA yang memenuhi syarat spesifikasi umum yaitu minimum 14%. Terjadinya penurunan VMA diakibatkan bertambahnya volume agregat sehingga aspal yang menyelimuti agregat dan *crumb rubber* membentuk selimut tipis, akibatnya rongga antar agregat semakin kecil.



Gambar 5. VMA Marshall KAO 6.25% dengan Penambahan Crumb Rubber
(Sumber: Hasil Analisis)

4.4.4 VIM

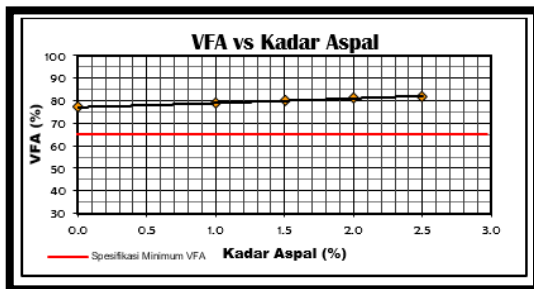
Nilai VIM mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *crumb rubber* dalam campuran. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya *crumb rubber*, rongga yang ada dalam campuran semakin banyak terisi campuran aspal dan serbuk *crumb rubber*. Nilai VIM memenuhi persyaratan umum Bina Marga 2018 terlihat pada kadar aspal 6.25% dengan *crumb rubber* 1% dan kadar aspal 6.25% dengan *crumb rubber* 1.5%.



Gambar 6. VIM Marshall KAO 6.25% dengan Penambahan Crumb Rubber
(Sumber: Hasil Analisis)

4.4.5 VFA

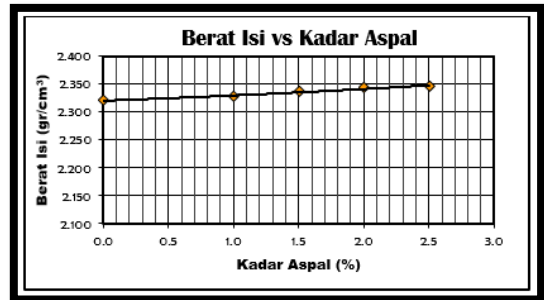
Nilai VFA mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar *crumb rubber*. Hal ini terjadi dengan penambahan *crumb rubber* dan aspal yang memasuki rongga dalam campuran akan bertambah.



Gambar 7. VFA Marshall KAO 6.25% dengan Penambahan Crumb Rubber
(Sumber: Hasil Analisis)

4.4.6 Density

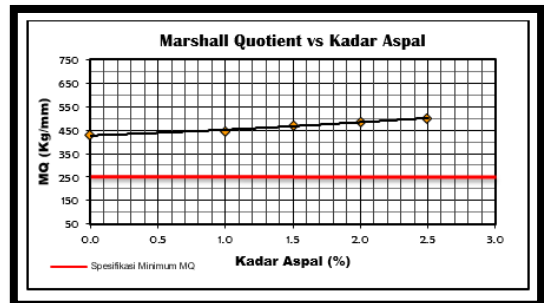
Nilai *Density* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar *crumb rubber* pada campuran.



Gambar 8. Density Marshall KAO 6.25% dengan Penambahan Crumb Rubber
(Sumber: Hasil Analisis)

4.4.7 Marshall Quotient

Nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar *crumb rubber* pada campuran. Nilai *Marshall Quotient* campuran aspal beton AC-BC dari semua variasi *crumb rubber* memenuhi persyaratan yaitu > 250 kg/mm.



Gambar 9. Marshall Quotient KAO 6.25% dengan Penambahan Crumb Rubber
(Sumber: Hasil Analisis)

4.5 Marshall Immersion

Hasil pengujian ini didapat dari nilai karakteristik *Marshall* yaitu Stabilitas, Flow, *Marshall Quotient*, VIM, VMA, dan VFA yang memenuhi persyaratan umum Bina Marga 2018. Hasil pengujian *Marshall Immersion* adalah:

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Marshall Immersion KAO 6,25%

Variasi Crumb Rubber	Stabilitas Rendaman 1 Jam	Stabilitas Rendaman 24 Jam	Marshall Immersion (%)
a	b	c	d = c / b x 100
0%	1.403,30	1.272,12	90,65
1%	1.503,29	1.371,73	91,25
1.5%	1.599,39	1.480,01	92,54

Spesifikasi Min. 90
(Sumber: Lab. Teknik Sipil POLNES)

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Dari hasil analisa karakteristik Marshall untuk campuran beraspal kombinasi agregat ex. Senoni dan Filler Batu Senoni terhadap Nilai Karakteristik *Marshall Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* diperoleh kadar aspal optimum sebesar 6,25% dengan nilai stabilitas sebesar 1.317,07 kg, *flow* sebesar 3,12 mm, VMA sebesar 16.81%, VIM sebesar 3.75%, VFA sebesar 77,75%, *Marshall Quotient* sebesar 421,69 kg/mm, dan Ratio lolos partikel 0.075 mm sebesar 0.076%
2. Dari hasil pengujian karakteristik *Marshall KAO* 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 1%, 1,5%, 2% dan 2,5% didapatkan hasil kadar *crumb rubber* 1% dengan nilai stabilitas sebesar 1.425,73 kg, *flow* sebesar 3,15 mm, VMA sebesar 16.55%, VIM sebesar 3.45%, VFA sebesar 79,20%, *Marshall Quotient* sebesar 452,61 kg/mm, dan Ratio lolos partikel 0.075mm sebesar 0.76%. KAO 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 1,5% dengan nilai stabilitas sebesar 1.483,90 kg, *flow* sebesar 3,20 mm, VMA sebesar 16.27%, VIM sebesar 3.12%, VFA sebesar 80,83%, *Marshall Quotient* sebesar 463,24 kg/mm, dan Ratio lolos partikel 0.075 mm sebesar 0.76%, KAO 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 2% dengan nilai stabilitas sebesar 1.590,79 kg, *flow* sebesar 3,29 mm, VMA sebesar 15,56%, VIM sebesar 2,83%, VFA sebesar 81,87%, *Marshall Quotient* sebesar 484,01 kg/mm, dan Ratio lolos partikel 0.075 mm sebesar 0.76% dan KAO 6,25% dengan penambahan kadar *crumb rubber* 2,5% dengan nilai stabilitas sebesar 1.705,24 kg, *flow* sebesar 3,44 mm, VMA sebesar 15,43%, VIM sebesar 2,67%, VFA sebesar 82,72%, *Marshall Quotient* sebesar 496,43 kg/mm, dan Ratio lolos partikel 0.075 mm sebesar 0.76%. Penambahan kadar *crumb rubber* 1% dan 1,5% memenuhi semua persyaratan campuran Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Penambahan kadar *crumb rubber* mempengaruhi nilai Karakteristik *Marshall* untuk nilai stabilitas, *flow* dan VFA meningkat sedangkan nilai VIM dan VMA menurun. Penambahan serbuk *crumb rubber* membuat campuran lebih baik dari campuran aspal tanpa penggunaan *crumb rubber*.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan variasi material agregat yang diambil didaerah lain. Seperti batu Sambera dan batu Besaung.
2. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan *wet procces* (proses basah) *crumb rubber* untuk menghasilkan *crumb rubber asphalt*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asphalt Institute, 2014, *Hot Mix Asphalt Design, Manual Series No.2 (MS-2)*, Seventh Edition, Lexington, USA
- [2] Cut Khairani DE, & Sofyan M. Saleh, 2018, *Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Dengan Tambahan Parutan Ban Bekas*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga, (2018). *Spesifikasi Umum 2018 (divisi 6 perkerasan aspal)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- [4] Faisal, Sofyan M. Shaleh, M. Isya, 2014, *Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt Dengan Aspal Pen. 60/70 Dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4*, Jurnal Teknil Sipil, Pascasarjana Universitas Syiah Kuala Banda Aceh
- [5] Hendarsin, S, L, 2000, *Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Politeknik Negeri Bandung – Jurusan Teknik Sipil, Bandung
- [6] Ida Bagus Wirahaji, 2012, *Analisis Kadar Aspal Optimum LASTON Lapis Aus Pada Ruas Jalan Simpang Sakah-Simpang Blahbatuh*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hindu I
- [7] Julian, L, E, 2005, *Recycling of Ground Tyre Rubber and Polyolefin Westes by Producing Thermoplastic Elastomer, Genehmigte Dissertation*, Technischen Universitas Kaiserslautem zur Erlangung des akademischen Grades, Argentina
- [8] Rahmat, M, 2014, *Pengaruh Penggunaan Crumb Rubber Dengan Material Palu dan Filler Batu Laterit Terhadap Nilai Karakteristik Marshall Concrete-Binder Course (AC-BC)*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda.
- [9] RSNI M-01-2003, *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*, Badan Standarisasi Nasional.

- [10] Sugiyanto, G., 2008. *Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia.
- [11] Sukirman, Silvia.1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.