

**PENGARUH SULFUR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL
ASPHALTIC CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)**

Arief Setiawan*

*) Staf Pengajar pada KK Transportasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Anggotas
Pusat Studi Transportasi dan Logistik Universitas Tadulako, Palu

Abstract

Improving the quality of petroleum asphalt is required to obtain the characteristic mix asphalt is better so than pavement thickness becomes thinner also provide a longer service life. One of the added material used is Sulfur. The addition of Sulfur to the asphalt, better known as Sulfur Extended Asphalt (SEA) as a partial substitution of hard asphalt. The purpose of this study was to determine the effect of Sulfur on the characteristics of AC-WC mixture.

The study was conducted by giving the variation of sulfur content of 0%, 3%, 5% and 7% of the weight of asphalt. Aggregate taken from the Taipa River with a choice of AC-WC finely graded based on the General Specifications of Bina Marga in 2010. Gradation based targeting by portion, for implementation in a laboratory controlled by sieve. Testing characteristics of the mixture using Marshall. Kruskal-Wallis test with SPSS version 17 conducted to determine the effect of Sulfur on the characteristics of Marshall.

The results obtained, in general that the addition of Sulfur increases the need for optimum bitumen content (OBC). Based on Kruskal-Wallis test shows that the Sulfur had a significant influence on the stability, density, VMA and flow at 95% confidence level. Optimum asphalt content at 0%, 3% and 5% is 5.65%, 6.18% and 5.85% respectively. At 7% bitumen content could not be determined the Optimum Bitumen Content value. Marshall stability increase by 13.37% (1935.331 kg) and 17.65% (2008.328 kg) on the sulfur content of 3% and 5%, to specimen control 0% sulfur (1707.054 kg).

Keyword: Sulfur, Sulfur Extended Asphalt (SEA), Marshall, Asphaltic Concrete Wearing Course

1. PENDAHULUAN

Peningkatan volume lalu lintas serta kerusakan jalan yang terjadi menuntut adanya solusi perbaikan. Salah satu solusi yang dapat ditempuh adalah dengan meningkatkan kualitas material khususnya aspal minyak.

Sulfur dapat ditambahkan ke dalam aspal minyak dengan harapan akan memberikan perubahan karakteristik campuran yang lebih baik dan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga dalam spesifikasi Umum 2010.

Penelitian penggunaan sulfur memberikan harapan yang menggembirakan. Fromm et. Al 1979, 1981 dalam SHRP-A-631, 1993 menyatakan bahwa penambahan sulfur akan

meningkatkan stabilitas dan flow serta menurunkan kedalaman alur dari perkerasan. Oleh karenanya penelitian ini menjadi perlu untuk dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi material lokal yang ada.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan sulfur terhadap perubahan karakteristik Marshall yang terjadi sehingga akan diketahui berapa besar kadar sulfur yang masih memenuhi persyaratan dari Bina Marga Spesifikasi Umum 2010 serta menjawab apakah penambahan sulfur memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan karakteristik Marshall campuran agregat aspal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Aspal Lapis Aus, Asphaltic Concrete Wearing Course (AC-WC)

Aspal beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dengan aspal, dengan atau tanpa

bahan tambahan, yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu. Pada Tabel 1 disajikan spesifikasi AC-WC Modifikasi, Tabel 2 spesifikasi gradasi dan Tabel 3 spesifikasi aspal.

Tabel 1. Ketentuan Sifat – sifat Campuran Laston yang dimodifikasi (AC Mod)

Sifat Sifat Campuran	Laston Lapis Aus	
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	4,5
Penyerapan Aspal (%)	Ma ks.	1,2
Jumlah Tumbukan Perbidang	-	75
Rongga dalam Campuran (%) ⁽²⁾	Min.	3,0
	Ma ks.	5,5
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65
Stabilitas Marshall (Kg)	Min.	1000
	Ma ks.	-
Pelelehan (mm)	Min.	3
Marshall Quotient (Kg/mm)	Min.	300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah Perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.	90
Rongga dalam Campuran (%) pada Ke padatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min.	2,5
Stabilitas Dinamis, Lintasan/mm ⁽⁵⁾	Min.	2500

2) Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03-6893-2002).
Sumber: Anonim, 2010

Tabel 2. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk AC WC Gradasi Halus

Ukuran Ayakan	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran Laston (AC) WC Gradasi Halus
¾ inci (19 mm)	100
½ inci (12,5 mm)	90 – 100
3/8 inci (9,5 mm)	72 – 90
No.4 (4,75 mm)	54 – 69
No.8 (2,36 mm)	39,1 – 53
No.16 (1,18 mm)	31,6 – 40

Tabel 2. (lanjutan)

Ukuran Ayakan	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran Laston (AC) WC Gradasi Halus
No .30 (0,60 mm)	23,1 – 30
No .50 (0,30 mm)	15,5 – 22
No .100 (0,15 mm)	9 – 15
No .200 (0,075 mm)	4 – 10

Sumber: Anonim, 2010

Tabel 3. Persyaratan Aspal Modifikasi

Uraian	Metode	Persyaratan		Satuan
		Min	Maks	
Pene trasi, 25 °C, 5 dtk, 100 gr	SNI 06-2456-1991	50	80	0,1 mm
Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	54	-	°C
Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	225	-	°C
Daktilitas, 25 °C	SNI 06-2432-1991	50	-	Cm
Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	1	-	-
Ke kentalan pada 135 °C	SNI 03-6441-2000	300	2000	Cst
Stabilitas penyimpanan pada 163 °C selama 48 jam				
- Perbedaan titik lembek antara bagian atas dan bawah	Shell Bitumen 1995	-	2	°C
Kelakuan dalam TCE	RSNIM 12-2004	99	-	% berat
Penuurunan berat (TFO T)	SNI 06-2440-1991	-	1	% berat
Perbedaan pene trasi setelah TFO T, 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	-	40	% asli
Perbedaan titik lembek setelah TFO T, °C	SNI 06-2434-1991	-	6,5	% asli
Elastic recovery pada 25 °C	AASHTO T301-1995	30	-	%

Sumber: Anonim, 2005

2.2 Sulfur

Sulfur dikenal dengan nama lain Belerang yaitu kumpulan kristal kuning padat dengan berat jenis relatif sebesar 2,07 pada suhu 20 °C. Dalam keadaan padat, struktur sulfur berbentuk belah ketupat dan tetap stabil dalam keadaan ini hingga mencapai suhu 203 °F (95 °C). Sulfur mencair pada suhu sekitar 240 °F (116 °C) hingga 300 °F (149 °C). Pada pemanasan hingga 318 °F (159 °C) melebihi tingkat polimerisasi sulfur, akan meningkatkan nilai

viskositasnya. Di atas suhu 392 °F (200 °C), viskositas sulfur akan mulai menurun kembali. Titik didih dari cairan sulfur sekitar 824 °F (440 °C).

Dalam rentang antara 121°C sampai dengan 143°C, biasa digunakan dalam produksi dan pekerjaan aspal campuran panas (Hot Mix Asphalt, HMA), viskositas sulfur extended asphalt (SEA) lebih rendah dibandingkan aspal keras. Sulfur sudah digunakan untuk memodifikasi HMA

base, binder dan lapis permukaan (surface course) (Robert, et.al 1996).

Penelitian tentang penggunaan sulfur pada campuran agregat aspal yang pernah dilakukan berdasarkan studi lapangan (SHRP-A-631, 1993) adalah:

- 1) Michigan (DeFoe, 1983) antara lain menyatakan bahwa campuran sulfur dan aspal menghasilkan modulus resilien meningkat dibandingkan kontrol sekitar 30% pada suhu 72°F dan 50% pada suhu 40°F. Campuran dengan sulfur-aspal memiliki nilai kuat tarik tak langsung (Indirect tensile strength, IDT) 50% lebih tinggi.
- 2) Ontario berdasarkan penelitian Fromm, 1979, 1981 antara lain menyatakan bahwa stabilitas marshall dan kelelahan (flow) meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan kadar sulfur. Kedalaman alur yang terjadi pada perkerasan menurun dengan adanya penambahan sulfur.
- 3) California (Predoehl, 1989) antara lain menyatakan bahwa sulfur menurunkan tingkat pengerasan aspal, perkerasan menjadi lebih tahan terhadap retak buaya (*alligator cracking*), 20% sulfur

memberikan kinerja terbaik perkerasan di lapangan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.

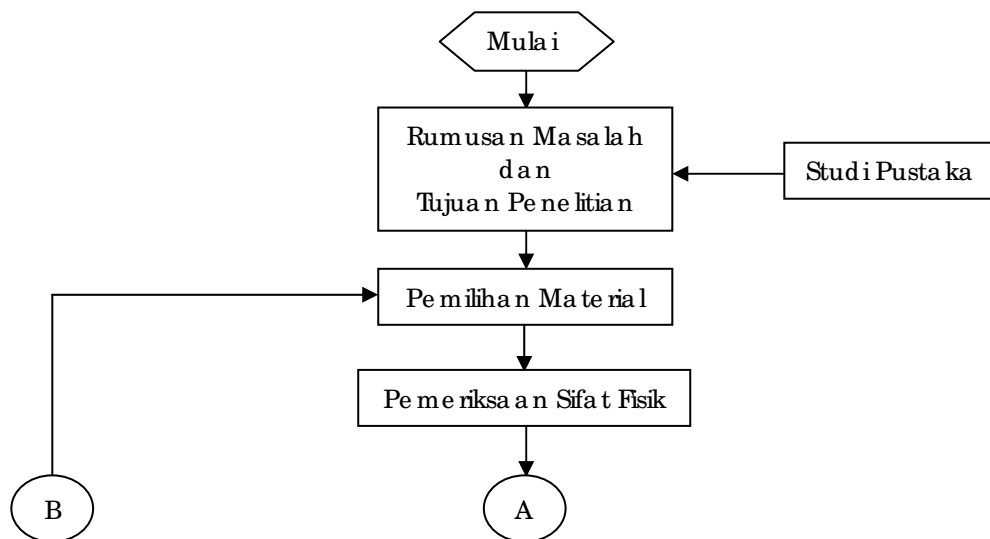
3.2 Bahan penelitian

Aspal yang digunakan yaitu Aspal Minyak penetrasi 60/70 (AC 60/70) produksi Pertamina. Sulfur diperoleh dari CV. Santana Makassar Sulawesi Selatan dimana bahan tersebut berasal dari Gunung Bromo, Jawa Timur.

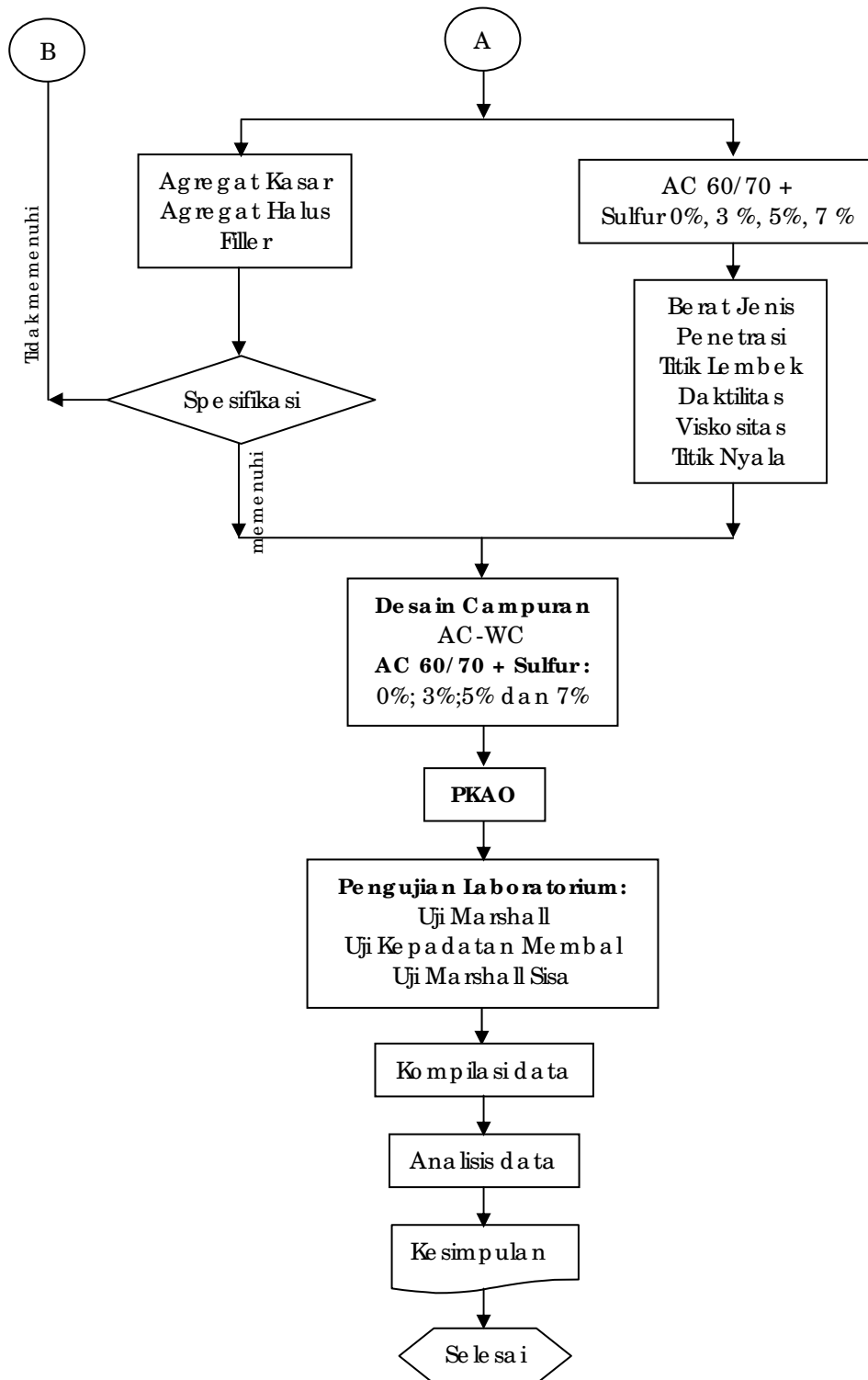
Agregat 3/4 in, 3/8 in dan debu batu berasal dari lokasi mesin pemecah batu yang mengambil sumber material dari Sungai Taipa.

3.3 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan digambarkan dalam diagram alir penelitian. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pemeriksaan agregat

Hasil pemeriksaan agregat Sungai Taipa dipresentasikan pada Tabel 4. Agregat 3/4 in, 3/8 in dan debu batu memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan untuk memperoleh gabungan agregat.

4.2 Aspal Minyak AC 60/70 ditambah Sulfur

Hasil pemeriksaan AC 60/70 Ex. Pertamina memenuhi persyaratan Bina Marga. Selanjutnya ditambahkan sulfur sebesar 3%, 5% dan 7%. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa pada kadar sulfur 7% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Hasil pemeriksaan AC 60/70 ditambah sulfur dapat dilihat pada Tabel 5.

4.3 Gradasi gabungan dan Proporsi Agregat

Pencampuran agregat berdasarkan proporsi agar diperoleh gradasi gabungan yang merepresentasikan kondisi di lapangan. Gradasi gabungan terpilih dapat dilihat pada Gambar 2.

Gradasi terpilih diperoleh dari proporsi agregat 3/4 sebesar 10% agregat 3/8 sebesar 36% dan debu batu sebesar 54%.

4.4 Karakteristik Marshall AC-WC dengan penambahan Sulfur

Hasil pengujian campuran AC-WC dengan sulfur pada kadar aspal optimum dipresentasikan pada Tabel 6.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Agregat

No.	Jenis Pemeriksaan	Agregat		Debu Batu	Spesifikasi
		3/4 in	3/8 in		
1	Ketahanan Abrasi, %	27,45	-	-	Maks. 40
2	Berat Jenis Bulk	2.634	2.638	2.568	Min. 2.5
3	Berat Jenis SSD	2.657	2.658	2.613	Min. 2.5
4	Berat Jenis Semu	2.697	2.693	2.689	Min. 2.5
5	Penyebaran, %	0.888	0.775	1.750	Maks. 3

Sumber: Hasil pemeriksaan laboratorium Tahun 2011

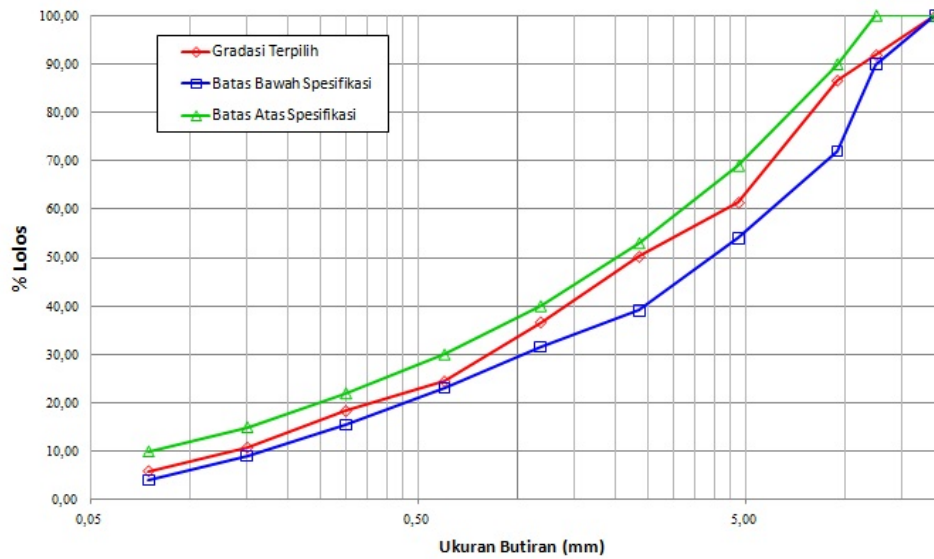
Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Kadar Sulfur				Spesifikasi AC 60/70	
		0%	3%	5%	7%	Standar*	Modifikasi**
1	Berat jenis aspal	1,053	1,057	1,061	1,078	Min. 1,0	Min. 1,0
2	Titik lembek, °C	49	57	55	44	Min. 48	Min. 54
3	Tingkat penetrasi, 0.1 mm	66,6	56,7	77,1	80,1	60 – 70	50 – 80
4	Viskositas 135 °C, Cst	430,42	729,55	592,50	295,00	Min 385	300-2000
5	Daktilitas, cm	129,5	127,3	131,0	134,5	Min. 100	Min. 50
6	Titiknya la, °C	320	290	276	210	Min. 232	Min. 225
7	Temperatur Pencampuran °C	148	176	172	165	-	-
8	Temperatur Pemadatan °C	136	161	157	122	-	-

Sumber: Hasil pemeriksaan laboratorium Tahun 2010

* : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010

** : Spesifikasi PDT-4-2005-B



Gambar 2. Gradasi gabungan terpilih AC-WC Gradasi Halus

Tabel 6. Hasil Pengujian Campuran AC-WC

Parameter	Sulfur(%)				Spesifikasi AC Mod
	0	3	5	7	
	Nilai Rata Rata				
Kadar aspal Optimum (% of mix)	5,65	6,18	5,87	NA	NA
Kadar aspal efektif (% of mix)	5,153	4,811	4,543	NA	Min. 4.5
Kepadatan (gr/cm ³)	2,331	2,345	2,346	NA	NA
VIM (%)	3,981	4,687	5,009	NA	3 -5.5
VMA (%)	15,388	15,359	15,048	NA	Min. 15
VFB (%)	74,150	69,543	66,719	NA	Min. 65
Stabilitas (Kg)	1707,054	1935,331	2008,328	NA	Min. 1000
Kelelahan (mm)	4,410	4,497	4,650	NA	Min. 3
MQ (kg/mm)	389,284	434,603	435,463	NA	Min. 300
Stabilitas Marshall Sisa (%)	101,555	108,124	112,033	NA	Min. 90
VIM Refusal (%)	3,3	2,6	2,5	NA	Min 2,5

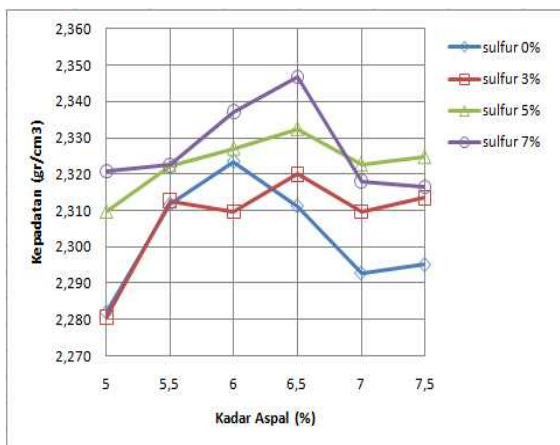
a. Kepadatan

Nilai kepadatan campuran dipengaruhi oleh bahan susun, gradasi agregat dan cara pemadatan. Secara umum pada setiap kadar sulfur penambahan kadar aspal akan meningkatkan kepadatan pada titik tertentu kepadatan tersebut akan turun. Kepadatan meningkat

disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal sehingga memudahkan pemadatan campuran tetapi bertambahnya kadar aspal yang berlebihan menyebabkan campuran sulit untuk padat karena tambahan aspal akan menghasilkan selaput tipis pada masing-masing agregat yang

memberikan jarak antar agregat sehingga menyebabkan kepadatan menurun.

Semakin besar kadar sulfur yang ditambahkan maka kepadatan meningkat. Penambahan sulfur sampai pada kadar 7% memberikan aspal menjadi lebih lunak sehingga membantu proses pemadatan. Nilai kepadatan yang meningkat mengindikasikan *workability* yang lebih baik.

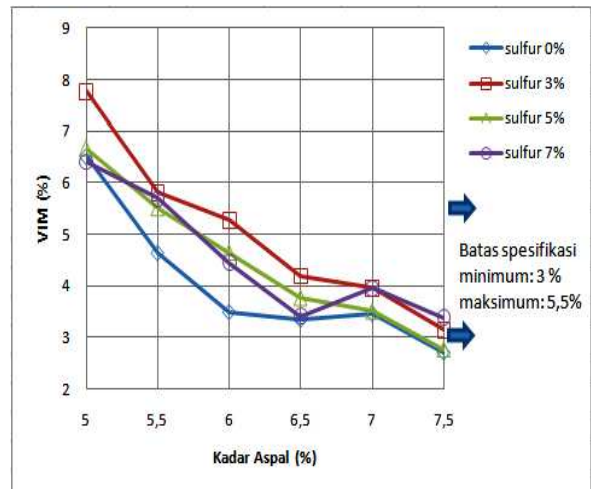


Gambar 3. Hubungan antara Kadar Aspal, Kadar Sulfur dan Kepadatan

b. Void in Mixture (VIM)

AC-WC harus menyediakan lapis permukaan yang relatif kedap terhadap air maupun udara. Pada Gambar 4 merepresentasikan bahwa nilai VIM menurun seiring dengan semakin bertambahnya kadar aspal karena rongga terisi oleh aspal.

Nilai VIM pada penambahan kadar sulfur mengindikasikan meningkat tetapi tidak berpola dengan jelas antara penambahan sulfur 3%, 5% dan 7%. Meskipun lebih padat tetapi penambahan SEA memberikan rongga udara yang cukup. Peningkatan kepadatan yang terjadi mengurangi nilai VFB.



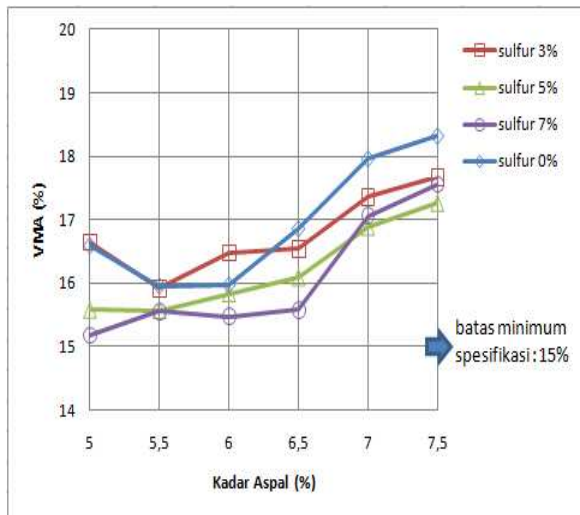
Gambar 4. Hubungan antara Kadar Aspal, Kadar Sulfur dan VIM

Kepadatan membal (*Percentage Refusal density*, PRD) dimaksudkan sebagai kepadatan tertinggi (maksimum) yang dapat dicapai di laboratorium, sampai kondisi campuran tersebut praktis tidak dapat menjadi lebih padat lagi. VIM pada kondisi kepadatan membal (VIM-RD) pada kondisi yang disarankan memenuhi spesifikasi yakni lebih besar dari 2,5% terjadi pada kadar sulfur maksimum 5%. Pada Kadar sulfur 7% nilai VIM-RD dapat ditentukan akan tetapi tidak dapat ditetapkan nilai KAO karena tidak dapat memenuhi seluruh parameter marshall dengan metode *narrow range*.

c. Void In Mineral Aggregate (VMA)

VMA adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat yang meliputi rongga udara dalam campuran dan volume aspal efektif. VMA yang terlalu kecil akan mengakibatkan problem durabilitas sedangkan nilai VMA yang terlalu besar mengakibatkan problem stabilitas dan menjadikan campuran tidak ekonomis untuk diproduksi. Semakin besar kadar aspal akan menghasilkan nilai VMA yang meningkat sehingga akan menghasilkan daerah yang 'basah' disebelah kanan kurva VMA ini (lihat Gambar 6). Nilai VMA menunjukkan kecenderungan bahwa

se makin besar penambahan sulfur maka nilai VMA akan menurun. Hal tersebut dikarenakan kepadatan yang meningkat sehingga pasti rongga akan berkurang. Secara keseluruhan nilai VMA masih lebih besar dari 15% atau memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.



Gambar 5. Hubungan antara Kadar Aspal, Kadar Sulfur dan VMA

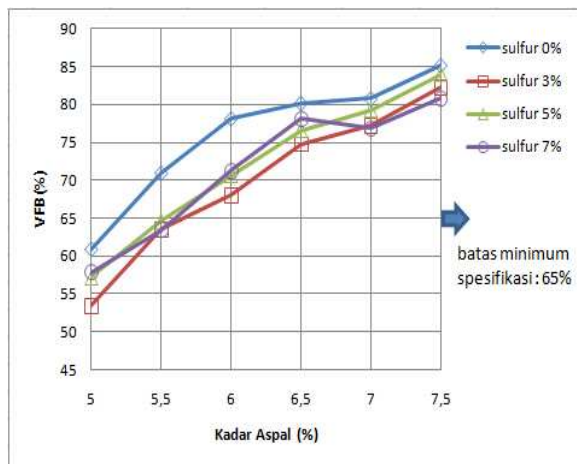
d. Void Filled with Bitumen (VFB)

Pengaruh utama dari kriteria VFB adalah untuk membatasi level maksimum nilai VMA dan sesudah itu level maksimum dari kadar aspal. Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai VFB akan meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Secara umum penambahan kadar sulfur akan menurunkan nilai VFB. Hal tersebut dikarenakan pada saat kepadatan meningkat lebih disebabkan pada nilai VMA yang berkurang akan tetapi rongga udara meningkat sehingga rongga yang terselimi oleh aspal menjadi turun. Nilai VFB disyaratkan minimal 65%.

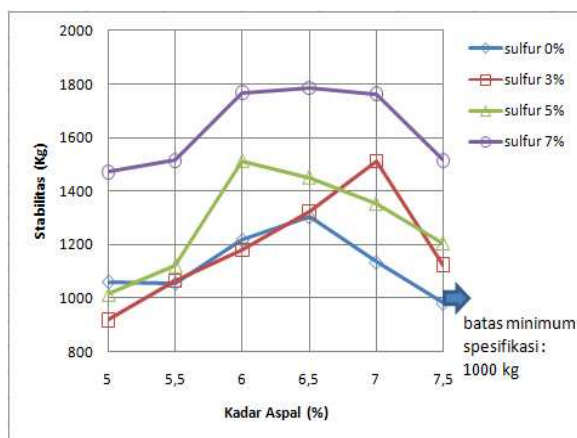
e. Stabilitas

Hal yang utama dari Stabilitas Marshall adalah untuk mengevaluasi perubahan stabilitas dengan adanya perubahan kadar aspal. Berdasarkan hasil penelitian

yang diperlihatkan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar aspal akan meningkatkan nilai stabilitas sampai pada titik maksimum kemudian mengalami penurunan. Penyebabnya adalah aspal yang berlebih akan mengurangi kepadatan sehingga *interlocking* antar agregat berkurang. Pada variasi kadar sulfur 0%, 3%, 5% dan 7% memperlihatkan peningkatan nilai stabilitas seiring dengan peningkatan kepadatan yang terjadi. Persyaratan stabilitas adalah minimum 1000 kg untuk beton aspal dengan aspal modifikasi dan 800 kg untuk beton aspal dengan aspal tanpa bahan tambah.



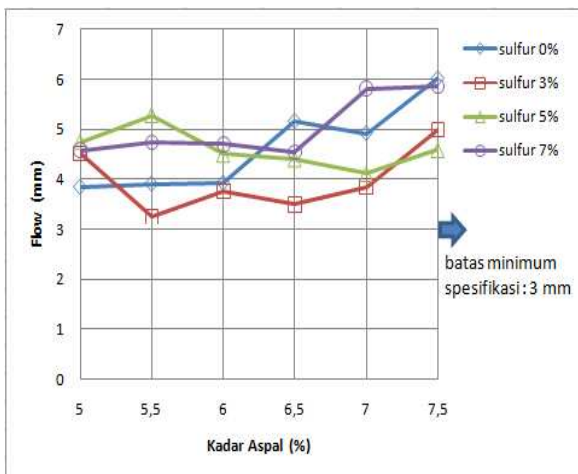
Gambar 6. Hubungan antara Kadar Aspal, Kadar Sulfur dan VFB



Gambar 7. Hubungan antara Kadar Aspal, Kadar Sulfur dan Stabilitas

f. Kelelahan (*Flow*)

Nilai *Flow* yang tinggi umumnya menunjukkan campuran bersifat plastis sehingga menyebabkan terjadinya deformasi permanen ketika mengalami pembebanan lalu lintas, sebaliknya nilai *flow* yang terlalu rendah menunjukkan suatu campuran dengan rongga udara lebih besar dari normal dan kekurangan aspal untuk keawetannya serta dapat mengakibatkan keretakan prematur akibat dari campuran yang getas selama masa layan perkerasan tersebut. Penambahan kadar aspal akan meningkatkan nilai *flow*. Penambahan kadar sulfur secara umum menurunkan nilai kelelahan dibandingkan 0% (lihat Gambar 9). SEA yang ditambahkan lebih banyak terserap oleh agregat hal ini ditunjukkan oleh nilai kadar aspal efektif yang relatif lebih rendah sehingga kelelahan menurun namun demikian secara keseluruhan kelelahan semua variasi tidak di atas 3 mm.

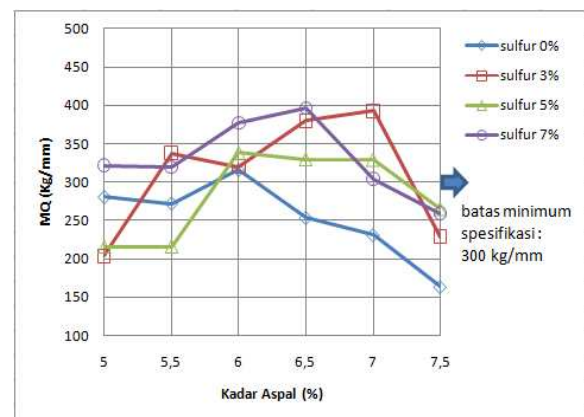


Gambar 8. Hubungan antara Kadar Aspal, Kadar Sulfur dan Kelelahan

g. Marshall Quotient (MQ)

Hasil bagi antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan disebut *Marshall Quotient* (MQ). Nilai MQ menunjukkan fleksibilitas campuran agregat aspal. Gambar 10 menunjukkan adanya peningkatan nilai MQ dan pada titik tertentu nilai MQ menurun. Syarat minimum nilai MQ

adalah 250 kg/mm untuk benda uji kontrol (sulfur 0%) dan 300 kg/mm (sulfur 3% dan 5%). Nilai MQ yang terlalu tinggi menunjukkan campuran agregat aspal yang terlalu kaku memiliki stabilitas tinggi tetapi mudah retak, sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah akan menghasilkan campuran agregat aspal yang mudah berubah bentuk akibat beban lalu lintas. Nilai stabilitas yang meningkat oleh karena penambahan sulfur tetapi terkontrol oleh adanya ketetapan bahwa nilai *flow* haruslah lebih dari 3 mm. Penambahan sulfur membuat aspal lebih lunak sehingga fleksibilitas campuran tetap terjaga (memenuhi spesifikasi).

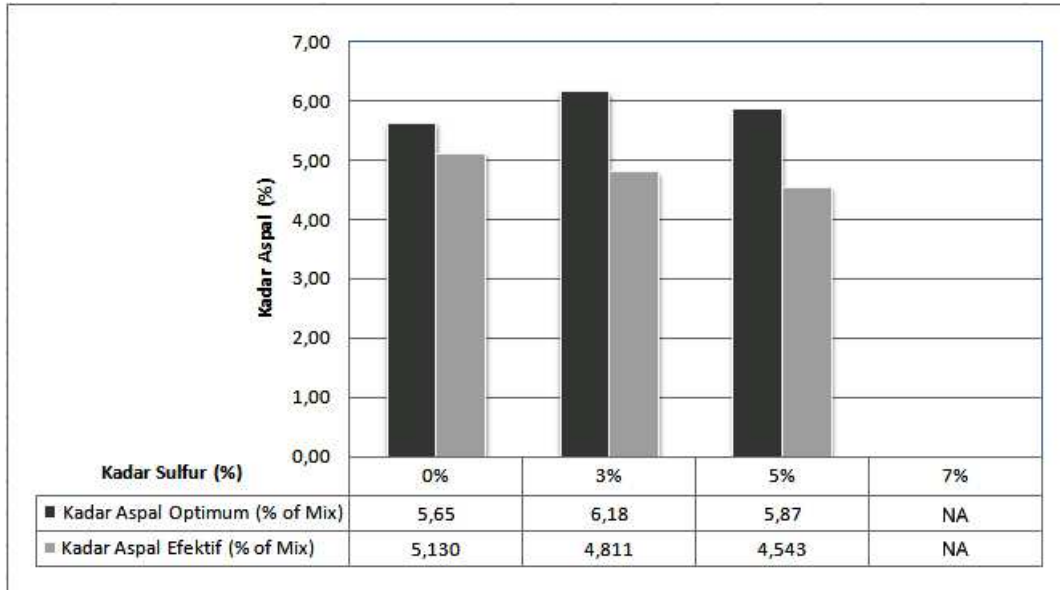


Gambar 9. Hubungan antara Kadar Aspal, Kadar Sulfur dan MQ

h. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum adalah kadar aspal dimana memenuhi seluruh persyaratan yang ditetapkan dalam campuran agregat aspal dengan menggunakan metode *narrow range* atau diagram batang (*bar chart*), The Asphalt Institute (1993).

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada kadar sulfur 7% tidak diperoleh KAO disebabkan tidak bertemuinya diagram batang antara nilai VIM_{RD} dan nilai VMA. Pada pengujian Aspal dan Sulfur 7% nilai karakteristik SEA tidak memenuhi persyaratan secara keseluruhan yakni pada penetrasi, titik lembek, viskositas dan titik nyala (Tabel 5). KAO direpresentasikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hubungan Kadar Aspal Optimum, Kadar Aspal Efektif dan Kadar Sulfur

Tabel 7. Hasil uji Kruskal Wallis

	Test Statistics ^{a,b}					
	Stabilitas	Kepadatan	VIM	VMA	VFB	Flow
Chi-Square	37.481	28.177	4.911	14.666	5.613	16.027
Df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.000	.000	.178	.002	.132	.001

a. Kruskal Wallis Test
 b. Grouping Variable: Kadar Sulfur
 Sumber: Hasil Olahan SPSS Versi 17

4.6 Kruskal Wallis Test

Santoso, 2006 menyatakan uji statistik non parametrik Kruskal Wallis digunakan setelah dilakukannya pengujian homogeneity of variance dari bentuk transformasi data dan hasilnya menyatakan bahwa sampel memiliki varian yang berbeda sehingga uji ANOVA tidak bisa dilakukan. Selain itu uji normalitas juga mengindikasikan bahwa beberapa parameter Marshall tidak memenuhi distribusi normal. Hasil pengujian dibantu

dengan menggunakan *software* SPSS versi 17 seperti yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7 menjelaskan bahwa pada tingkat kepercayaan 95%:

- Penambahan Kadar Sulfur mempengaruhi Stabilitas, Kepadatan, VMA dan Flow secara signifikan (asymp.sig < 0,05)
- Penambahan Kadar Sulfur tidak berpengaruh secara signifikan terhadap VIM dan VFB (asymp.sig > 0,05)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1) Karakteristik Marshall pada penambahan kadar sulfur 0% (kontrol), 3%, 5% dan 7% dapat disimpulkan:
 - a. Kepadatan semakin meningkat menunjukkan *workability* yang lebih baik.
 - b. VIM mengalami kenaikan sehingga memberikan rongga yang cukup meskipun kepadatan meningkat sehingga mengurangi terjadinya *bleeding (rutting)*.
 - c. VMA dan VFB mengalami penurunan tetapi masih memenuhi batasan spesifikasi.
 - d. Stabilitas mengalami peningkatan, pada kondisi KAO, dibandingkan dengan kadar sulfur 0% (kontrol) stabilitas pada kadar sulfur 3% meningkat 13,37% sedangkan kadar sulfur 5% meningkatkan stabilitas sebesar 17,65%.
 - e. Flow meningkat akibat penambahan kadar sulfur tetapi masih dibawah kondisi kontrol (sulfur 0%) sehingga dapat dinyatakan lebih tahan terhadap deformasi permanen.
 - f. MQ meningkat menunjukkan kekakuan campuran lebih tinggi akan tetapi karena nilai flow mengalami peningkatan juga maka kelelahan campuran tetap terjaga.
 - g. Memberikan peningkatan ketahanan terhadap pengaruh air.
- 2) Pada Kadar sulfur 7% tidak diperoleh kadar aspal optimum dengan demikian batas kadar sulfur maksimum adalah 5%.
- 3) KAO mengalami peningkatan namun demikian sesungguhnya kadar aspal efektif mengalami penurunan.
- 4) Hasil pengujian Kruskal Wallis menunjukkan bahwa penambahan kadar sulfur mempengaruhi Stabilitas, Kepadatan, VMA dan Flow (kelelahan) secara signifikan ($\alpha = 0,05$) pada tingkat kepercayaan 95%.

5.2 Saran

- 1) Pengaruh penambahan sulfur pada AC-WC perlu ditinjau terhadap nilai modulus

elastisitas campuran, pengaruh terhadap penuaan aspal, ketahanan terhadap *rutting* dan *stripping* serta kesetaraan permukaan sehingga diperoleh pemahaman secara komprehensif.

- 2) Penggunaan SEA pada campuran AC-BC perlu ditinjau dengan harapan mampu memberikan kinerja campuran *bindercourse* yang lebih baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1993, *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series No.2 (MS-2), 6th Edition Asphalt Institute.
- Anonim, 2005, Pedoman penggunaan agregat slag besi dan baja untuk campuran beraspal panas, PdT-04-2005-B, Badan penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, 2010, *Divisi 6 Perkerasan Beraspal*, Spesifikasi Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum, Republik Indonesia, Jakarta.
- Copplantz, J.S., Yapp, M.T., and Finn, F.N., 1993, *Review of Relationships between Modified Asphalt Properties and Pavement Performance*, SHRP-A-631, Strategic Highway Research Program (SHRP), National Research Council, Washington DC.
- Santos, S., 2006, *Menggunakan SPSS untuk Statistik Non Parametrik*, PT Elex Media Komputindo, Kelompok Gramedia Jakarta.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., and Kennedy T.W., 1996, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, And Construction*, Second Edition, NAPA Education Foundation Lanham Maryland.