



Variasi Kadar *Filler* pada Campuran Beton Aspal menggunakan Bahan Tambah Anti *Stripping*

Eko Wiyono¹, Anni Susilowati²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Jln. Prof. Dr. G. A. Siwabessy,
Kampus Baru UI Depok 16425, Telp. 0217863532

Email: ww_eko@yahoo.co.id, anni_susilowati@yahoo.co.id

Abstract

The purpose of this study is to obtain the characteristics of AC-WC asphalt concrete mixtures and determine the optimum variation of filler content on AC-WC asphalt concrete mixtures using cement fillers and anti-stripping additives that meet the specifications of Bina Marga 2010. ; 5.5%; 6%; 6.5%; 7%; 7.5%; and 8% each made with a variation of cement filler of 1%; 3%; 5%; 7%; and 9%; the addition of Wetfix Be 0.3% to the asphalt. The method of implementation is by mixing the wetfix Be first with asphalt, then aggregate according to the ideal mix gradation proportions. Dependent variables (research of parameters) include density, percent void in the mineral aggregate (VMA), percent value of void filled with bitumen (VFB), percent of void in mix (VIM), stability, flow, and Marshall quotient (MQ). Marshall testing method based on SNI 06-2489-1991. The results of the study obtained KAO in 1% cement filler variation; 3%; 5%; 7%; and 9%, each at 6.75%; 6.5%; 6.35%; 6.5% and 7.125%. KAO average of 6.65%. The range of cement filler levels which still meet the Marshall parameters at 2% cement filler up to 9%. The optimum cement filler content for asphalt concrete mixture is 5.5%, with a VMA value of 19.19%; VFB 77.12%; VIM 4.39%; Stability of 1670.48kg; melting 4.80mm, and MQ 349.78 kg / mm, meeting the specifications of Bina Marga 2010.

Keywords: Anti Stripping, filler, Wetfix be

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik campuran beton aspal AC-WC dan menentukan variasi kadar *filler* yang optimum pada campuran beton aspal AC-WC menggunakan *filler* semen dan bahan tambah anti *stripping* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010. Pengujian *Marshall* menggunakan kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7%; 7,5%; dan 8% masing-masing dibuat dengan variasi *filler* semen sebesar 1%;3%; 5%; 7%; dan 9%; penambahan *Wetfix Be* 0,3% terhadap aspal. Metode pelaksanaannya dengan mencampur *wetfix Be* terlebih dahulu dengan aspal, kemudian agregat sesuai proporsi gradasi ideal campuran. Variabel terikat (parameter penelitian) meliputi kepadatan, persen rongga dalam agregat (VMA), persen rongga terisi aspal (VFB), persen rongga terhadap campuran (VIM), stabilitas, kelelehan, dan hasil bagi *Marshall* (MQ). Metode pengujian *Marshall* berdasarkan SNI 06-2489-1991. Hasil penelitian didapat KAO pada variasi *filler* semen 1%; 3%; 5%; 7%; dan 9%, masing-masing sebesar 6,75%; 6,5%; 6,35%; 6,5% dan 7,125%. rata-rata KAO 6,65%. Rentang kadar *filler* semen yang masih memenuhi parameter *Marshall* yaitu pada kadar *filler* semen 2% sampai dengan 9%. Adapun kadar *filler* semen optimum untuk campuran beton aspal sebesar 5,5%, dengan nilai VMA 19,19%; VFB 77,12%; VIM 4,39%; Stabilitas 1670,48kg; kelelehan 4,80mm, dan MQ 349,78 kg/mm, memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

Kata Kunci: Anti Stripping, filler, Wetfix be

© 2019 Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil

Pendahuluan

Menurut [1] campuran beraspal panas agregatnya dapat dibuat bergradasi menerus yang dinamakan Beton Aspal atau *Asphaltic Concrete* dan dapat dibuat bergradasi senjang yang dinamakan *Hot Rolled Sheet* atau Lapis

Tipis Aspal Beton. Menurut [2] Bahan pengisi (*filler*) dapat menggunakan debu batu kapur, semen portland, abu terbang, abu tanur semen atau material non plastis lainnya, asalkan bahan yang lolos saringan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% dan bahan yang

lolos ayakan No. 30 (600 micron) mempunyai sifat nonplastis. Bahan pengisi yang digunakan tidak boleh menggumpal dan harus dalam keadaan kering. *Filler* berfungsi untuk mengisi rongga-rongga antar butiran agregat. Anti Stripping Agent merupakan suatu aditif yang dapat merubah sifat aspal dan agregat, meningkatkan daya lekat dan ikatan, serta mengurangi efek negative dari air sehingga menghasilkan permukaan berdaya lekat tinggi. Hal ini akan mengurangi terjadinya pelepasan butiran pada aspal. Diharapkan dapat mengurangi terjadinya kerusakan jalan oleh air, memperpanjang waktu pelapisan ulang [3]. Menurut [1] Campuran beraspal Panas, Seksi 6.3, tahun 2010, dari Dir.Jen.Bina Marga, Dept. Pekerjaan Umum telah mensyaratkan pemakaian bahan tambahan anti pengelupasan/anti stripping dalam campuran aspal berkisar antara 0,2% sampai dengan 0,5% Hasil penelitian [4] dengan Kadar Aspal Optimum 6% dan bahan anti *Stripping wetfix* be 0,3% dapat meningkatkan nilai VMA, VIM dan Stabilitas Marshall Sisa sebesar 96,90%, sehingga campuran beton aspal ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh air.

Beberapa penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini diantaranya adalah penelitian oleh [5] tahir menyimpulkan bahwa penggunaan *filler* abu terbang batu bara akan mempengaruhi karakteristik campuran beton aspal. Semakin banyak *filler* abu terbang batu bara yang digunakan, menyebabkan nilai stabilitas, nilai fleksibilitas dan durabilitas campuran beton aspal semakin meningkat. Kadar Aspal Optimum 5,47% dan Kadar *filler*

optimum atau ideal abu terbang batu bara sebesar 6% sebagai bahan pengisi dalam campuran beton aspal. Penelitian [6] menyatakan bahwa penambahan filler semen 4% - 7% dapat menambah nilai stabilitas campuran, meningkatkan kepadatan, VFB dan MQ serta mengurangi nilai VIM dan VMA. Selanjutnya [7], menyatakan berdasarkan KAO (kadar aspal optimum) 5% menunjukkan bahwa semakin bertambah persentase abu batu bara dalam campuran aspal AC-BC, maka semakin menurun nilai Stabilitas (70,79%) namun meningkatkan nilai *Flow* (0,91%), sedangkan menurut [8], bahwa abu sekam sebagai *filler* dapat meningkatkan nilai stabilitas, kelelahan masing-masing sampai pada kadar abu sekam 7 % dan 7,5 %. Hasil penelitian [9], bahwa pemakaian proporsi penambahan *additive filler* semen sebesar 4 % pada campuran aspal beton akan meningkatkan stabilitas campuran, dengan lama perendaman dalam air selama 3 hari. Hasil penelitian [10] menunjukkan bahwa campuran dengan kadar *filler* 7,91% dan dengan waktu perendaman 14 hari, Stabilitas yang paling besar adalah campuran dengan *filler* semen kemudian limbah karbit.

Penelitian ini bertujuan untuk Mendapatkan nilai properties *Marshall* campuran beton aspal AC-WC dan menentukan kadar *filler* yang optimum pada campuran beton aspal AC-WC dengan menggunakan bahan tambah anti *stripping* yang memenuhi [1].

Metode Penelitian

Lokasi dan Bahan-bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium uji bahan jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri

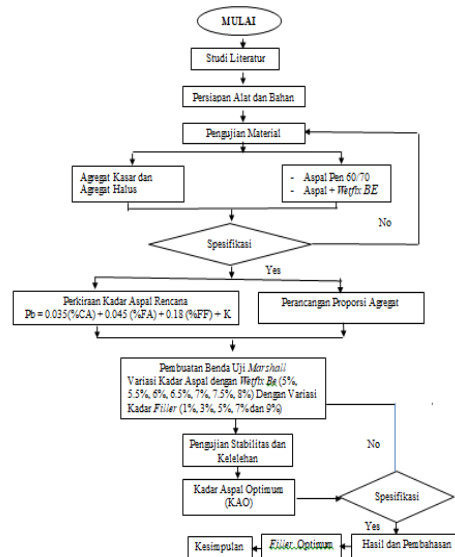
Jakarta. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Esso, agregat kasar batu pecah, abu batu dan *filler* semen portland serta bahan *anti Stripping Wetfix Be*.

Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yang terdiri dari pengujian agregat (agregat kasar, agregat halus, dan *filler*), aspal, dan pengujian terhadap campuran yang terdiri dari Uji *Marshall*. Untuk pengujian agregat terdiri dari pengujian berat jenis, pengujian berat isi, analisa ayak, pengujian kadar air, dan pengujian kadar lumpur. Adapun Pengujian aspal terdiri dari pengujian berat jenis, pengujian penetrasi, pengujian daktilitas, pengujian titik nyala, pengujian titik lembek. Metode yang digunakan untuk pengujian campuran adalah metode *Marshall*, dimana dari pengujian *Marshall* tersebut didapatkan hasil yang berupa Stabilitas, Kelelahan, VIM, VFB, VMA dan nilai Marshall Quotient (MQ).

Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kadar aspal 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7%, 7,5% dan 8% variasi *Wetfix Be* 0,3% terhadap kadar aspal optimum dan variasi *filler* semen 1%, 3%, 5%, 7% dan 9%. Adapun variabel terikat (parameter penelitian) terdiri dari stabilitas dan kelelahan meliputi : kepadatan, prosen rongga dalam agregat, prosen rongga terisi aspal, kelelahan, stabilitas, *Marshall Quotient*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Hasil Dan Pembahasan

Hasil Pengujian Agregat dan Aspal

Dari hasil pengujian sifat fisik agregat, baik untuk agregat halus maupun agregat kasar semuanya memenuhi Spesifikasi [10]. Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

Pengujian	Sat	Hasil	Persyaratan		Ket
			Min	Mak	
BJ agregat Halus					
- Bulk		2.53	2.5	-	M
- SSD		2.59	2.5	-	M
- Semu		2.71	2.5	-	M
Penyerapan Air	%	2.67	-	3	M
Berat Isi	kg/m ³	1497	1200	-	M
BJ Agregat Kasar					
- Bulk		2.35	2.5	-	TM
- SSD		2.47	2.5	-	M
- Semu		2.67	2.5	-	M
Penyerapan Air	%	5.08	-	3	TM
Berat Isi	kg/m ³	1287	1200	-	M

Adapun Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal dengan *Wetfix-Be* semuanya memenuhi Spesifikasi [10]. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Aspal Keras

Pengu jian	Sat	Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)				Spesifikasi Bina Marga 2010	
		0.00	0.20	0.30	0.40	Min	Mak
Berat	-	1.02	1.02	1.02	1.03	0.92	1.06
Jenis Penetr asi	mm	68	64	65	67	60	70
Titik Lembe k	0C	48.0	48.5	48.5	46.0	48	-
Daktilit as	cm	103.5	71.0	101. 0	77.0	100	-

Hasil Pengujian Marshall

Pertama menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Hasil Pengujian Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum dengan berbagai variasi *filler* semen (1% s/d 9%), *Wetfixbe* 0.3%. didapat KAO sebesar 6,65%. Rekapitulasi hasil dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi KAO

	Rentang Kadar Aspal (%)	Aspal Optimum (%)
1	6,5 – 7,0	6.75
3	6,0 – 7,0	6.5
5	6,0 – 6,7	6.35
7	6,0 - 7,0	6,5
9	6,25 – 8,0	7,125

Setelah didapat kadar aspal optimum (KAO) untuk setiap variasi prosentase *filler*, tahap selanjutnya menentukan karakteristik *Marshall* hasil analisis tersebut seperti pada Tabel 4. Selanjutnya menentukan Kadar *Filler* Semen Optimum. Karakteristik *Marshall* berdasarkan KAO, dapat dilihat pada Tabel 5 dan Grafik 2a s/d 2h.

a. Kepadatan

Kepadatan (*density*) merupakan berat campuran yang dinyatakan dalam satuan volume. Kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi campuran dan

jumlah *filler*. Dari hasil pengujian *Marshall* diperoleh nilai kepadatan untuk variasi kadar *filler* semen terhadap berbagai kadar aspal, terlihat kecenderungannya nilai kepadatan Marga 2010, minimal 15%. (seperti pada Gambar 2b).

b. Rongga Terisi Aspal (VFB)

Volume of voids filled with asphalt (VFB) atau volume rongga udara beton aspal yang terisi aspal merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butiran agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi VFB adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat. Atau dengan kata lain VFB inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi selimut aspal. Hasil pengujian nilai VFB cenderung meningkat dengan bertambahnya kadar *filler* semen. Hal ini dikarenakan kadar *filler* semen mengisi rongga agregat pada campuran lebih banyak sehingga pori antar agregat semakin rapat. VFB pada kadar *filler* semen 1% sampai 9%, masih memenuhi syarat Bina Marga 2010, minimal 65%. (Seperti pada Gambar 2c).

c. Rongga Dalam Campuran (VIM)

Void in the mix (VIM) atau rongga udara dalam campuran merupakan rongga udara yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. Rongga udara dalam campuran yang terlalu besar akan mengakibatkan berkurangnya sifat kekedapan air, sehingga akan menurunkan sifat durabilitas atau keawetan beton aspal. Jika rongga udara terlalu kecil akan mengakibatkan beton aspal terjadi *bleeding* pada temperatur yang tinggi.

Rongga udara dalam campuran yang cukup dibutuhkan untuk bergesernya butiran agregat akibat beban tambahan setelah pemadatan. Nilai VIM semakin menurun dengan bertambahnya kadar *filler* semen, Nilai VIM yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu 3,5 – 5,5% adalah pada kadar *filler* semen 1% sampai 9% dengan nilai VIM sebesar 5,48 – 4,09%. (Seperti pada Gambar 2d).

d. **Stabilitas**

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen), seperti gelombang, alur (*rutting*) maupun *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, gesekan, sifat saling mengunci, dari partikel agregat, bentuk, tekstur permukaan serta gradasi agregat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas yang diperoleh cenderung mengalami kenaikan. Nilai stabilitas optimum terjadi pada kadar *filler* semen 9% dan kadar aspal 7,125% Nilai stabilitas yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 800 kg adalah stabilitas yang dihasilkan campuran pada kadar *filler* semen 1% sampai 9% dengan nilai stabilitas 1054,03kg – 2432,39 kg (Seperti pada Gambar 2e)

e. **Kelelahan**

Nilai *Flow* (kelelahan) merupakan implementasi dari sifat fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, distribusi agregat dan suhu pemanasan. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa Nilai *flow* dengan penambahan *filler*

semen kecenderungannya semakin meningkat. Kondisi ini terjadi karena rongga udara dalam campuran yang terisi aspal semakin banyak sehingga ruang udara dalam campuran semakin kecil. Nilai *flow* yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu minimal 3 mm adalah pada kadar *filler* 1% sampai 9% dengan nilai *flow* 4,63 mm – 4.93 mm. (Seperti pada Gambar 2f)

f. **Marshall Quotient (MQ)**

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) atau hasil bagi *Marshall* meningkat dengan bertambahnya kadar *filler* mulai dari 1% sampai 9%. Nilai MQ yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu minimal 250 kg/mm, adalah pada kadar *filler* 2% sampai 9% dengan nilai MQ 289,34 – 484,78 kg/mm. (Seperti pada Gambar 2g).

g. **Kadar Filler Optimum**

Setelah seluruh properties beton aspal diketahui, maka dapat ditentukan Kadar *Filler* Optimum dari pengujian *Marshall* ini. Untuk mendapatkan Kadar *Filler* Optimum dibuatlah suatu bagan *Marshall* (Seperti pada Gambar 1h). Berdasarkan spesifikasi serta hasil analisis, seluruh parameter *Marshall* yang memenuhi persyaratan terletak pada rentang kadar *filler* 2,0% - 9.0%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa:

Kadar Filler Optimum :

$$= \{(2,0\% + 9,0\%) : 2\} = 5,5\%$$

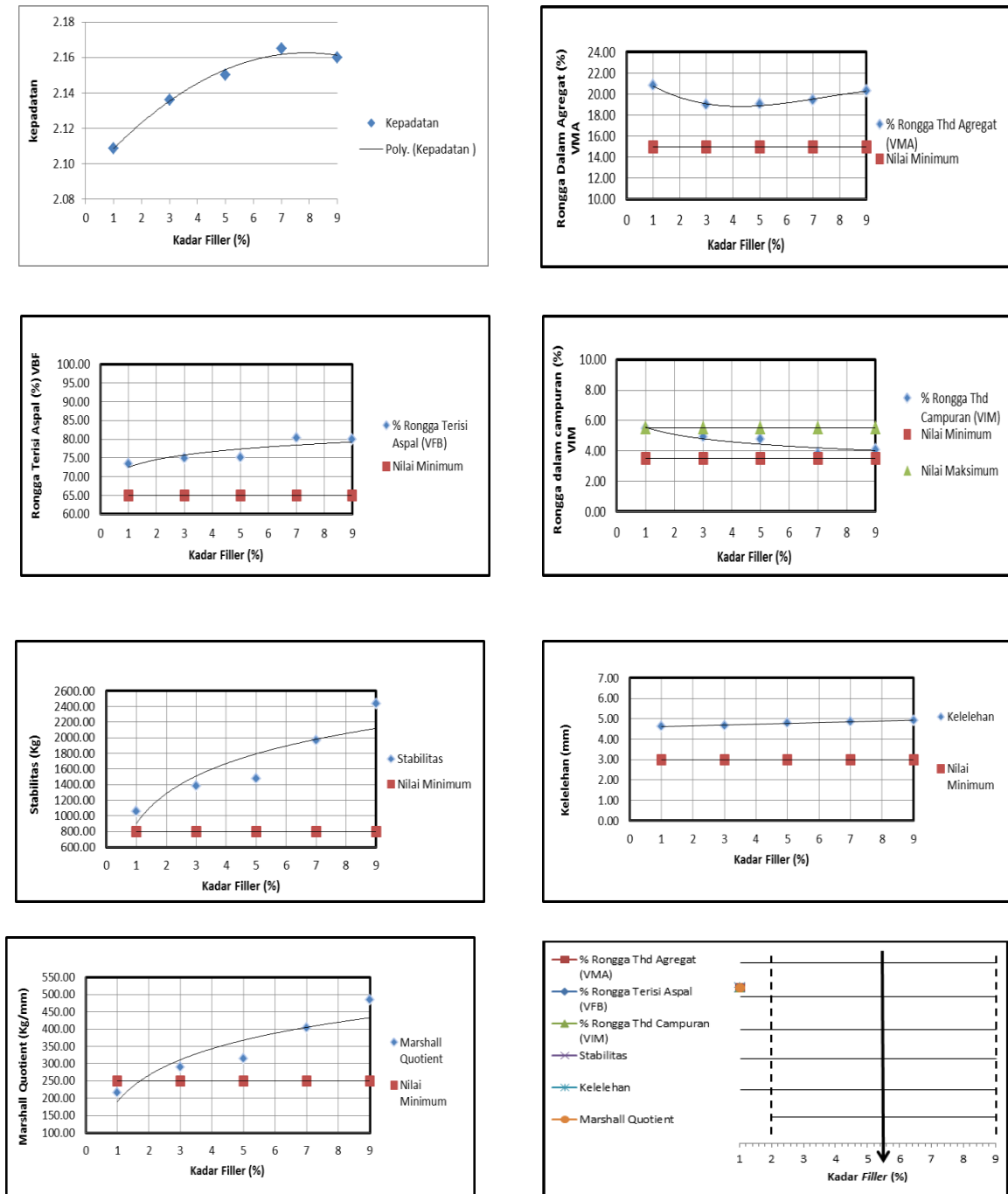
Berikut resume hasil pengujian *Marshall* dengan nilai *filler* optimum untuk campuran beton aspal sebesar 5,5%, masih memenuhi [1]. Seperti pada Tabel 5.

Tabel 4. Karakteristik *Marshall* berdasarkan KAO, Untuk Menentukan

Jenis Campuran	KAO (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	Kadar Filler Optimum			Stabilitas (kg)	flow (mm)	MQ (kg/mm)
			VMA (%)	VFB (%)	VIM (%)			
Beton Aspal Dengan Filler 1% (BAF 1%)	6,75	2,11	20,79	73,74	5,48	1054,03	4,63	236,74
Beton Aspal Dengan Filler 3% (BAF 3%)	6,5	2,14	18,99	74,82	4,91	1381,53	4,67	289,34
Beton Aspal Dengan Filler 5% (BAF 5%)	6,4	2,15	19,03	75,01	4,78	1473,49	4,78	314,05
Beton Aspal Dengan Filler 7% (BAF 7%)	7,0	2,17	19,44	80,29	3,81	1965,96	4,84	403,38
Beton Aspal Dengan Filler 9% (BAF 9%)	7,125	2,16	20,29	79,88	4,07	2432,39	4,93	484,78

Tabel 5. Resume hasil pengujian *Marshall* dengan nilai *filler* optimum

Sifat Campuran	Kadar Filler Optimum 5,5	Spesifikasi	Keterangan
Kepadatan (gr/cm ³)	2,11		
% Rongga Thd Agregat (VMA)	19,19	min 15	Memenuhi
% Rongga Terisi Aspal (VFB)	77,12	min 65	Memenuhi
% Rongga Thd Campuran (VIM)	4,39	3.5 – 5.5	Memenuhi
Stabilitas (kg)	1670,48	min 800	Memenuhi
Kelelahan (mm)	4,80	min 3	Memenuhi
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	349,78	min 250	Memenuhi



Semen Optimum

Gambar 2a s/d 2h. Grafik Parameter *Marshall*

Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa: Hasil penelitian didapat KAO pada variasi *filler* semen 1%; 3%; 5%; 7%; dan 9% masing-masing sebesar 6,75%; 6,5%; 6,35%, 6,5% dan 7,125%. Rata-rata Kadar Aspal Optimum 6,65% pada campuran beton aspal AC-WC. Peningkatan kadar *filler* dapat meningkatkan

nilai kepadatan, % Rongga Terisi Aspal, Stabilitas, dan *Marshall Quotient* % rongga di antara agregat, kelelahan dan Kadar Aspal Optimum serta menurunkan % rongga dalam campuran. Rentang kadar *filler* semen yang masih memenuhi parameter *Marshall* yaitu pada kadar *filler* semen 2% sampai dengan 9%. Adapun nilai *filler* semen optimum untuk

campuran beton aspal sebesar 5,5%; dengan nilai VMA 19,19%; VFB 77,12%; VIM 4,39%; Stabilitas 1670,48kg, kelelahan 4,80mm dan MQ 349,78kg/mm, memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

Ucapan Terima Kasih

Dalam kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini terutama kepada Kepala PPPM Politeknik Negeri Jakarta, yang telah menyalurkan dana dari DIPA Politeknik Negeri Jakarta tahun 2018 dan Kusno, mahasiswa semester 7 TKG1 Jurusan Teknik Sipil yang sudah membantu pada proses pelaksanaan dan pengambilan data di laboratorium.

Daftar Pustaka

- [1] Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, 2010, **Perkerasan Aspal**, Direktorat Jendral Bina Marga
- [2] Sukirman, S. 2016. **Beton Aspal Campuran Panas**. Edisi kedua, cetakan ketiga. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- [3] Sawaluddin, Widodo, S., Sulandari, E. 2016. Penggunaan Bahan Additive Anti Stripping Agent Terhadap Keawetan Campuran Laston (Hrs-Wc). Journal of Civil Engineering Student at Tanjungpura University, [Internet]. [di unduh 2019 Oktober 25]; Vol. 2. No. 2. Hal 1-11. Tersedia pada <https://www.neliti.com/publications/192907/penggunaan-bahan-additive-anti-stripping-agent-terhadap-keawetan-campuran-latast>
- [4] Susilowati, A dan Wiyono, E. 2015. **Penggunaan Bahan Anti Stripping untuk Campuran Beton Aspal**, Jurnal Poli-Teknologi, ISSN 1412-2782/eISSN 2407-9103, Volume 16 No 1 Januari 2017. Hal 45-54
- [5] Tahir, A. 2009. **Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Ternang Baty Bara**, Jurnal SMARTek.[Internet]. [diunduh 2018 Maret 29]; Vol. 7, No 4 , hal. 45 – 61. Atau 256-278 Tersedia pada: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=10727&val=750>
- [6] Adibroto, F., Mukhlis, 2006. **Pengaruh Penggunaan Filler Portland Cement dalam Campuran Asphaltic Concrete (AC) terhadap Sifat Marshall dan Nilai Struktural**, Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa [Internet], [diunduh 2018, 28 Agustus]; Volume 2, Nomer 1, Oktober 2006. Download.portalgaruda.org/article.php?article=58901&val=4376
- [7] Zulfazli, W., Akbar, S.J., 2013. **Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton AC-BC**. Teras Jurnal. [Internet]; [diunduh 2018 April 1]; Vol.6, No.2, September 2016 P-ISSN 2088-0561 E-ISSN 2502-1680. Tersedia pada: teras.unimal.ac.id/index.php/teras/article/viewFile/95/86
- [8] Ridwan, FS. Dan Nadia. 2017. **Analisis Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton**. Konstruksiana Jurnal [Internet]; [diunduh 2018 April 2]; Vol. 8, No. 2, Juli 2017 P-ISSN 2086-7352, E-ISSN 2443-308X <https://jurnal.umi.ac.id/index.php/konstruksiana/article/viewFile/1743/1453/2017>,
- [9] Kosim, Zainuddin. 2013. **Pengaruh Penambahan Filler Semen Dan Lama Perendaman Air Terhadap Durabilitas Lapis Aspal Beton (Laston)** <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=155293&val=4006&title=PEN-GARUH%20PENAMBAHAN%20FILL>. Diunduh 2018 April 2
- [10] Sanusi, 2012. **Durabilitas Campuran Aspal Beton menggunakan Filler Semen Portland, Limbah Karbit dan Limbah Batubara**, <https://digilib.uns.ac.id/...=/Durabilitas-campuran-aspal-beton-menggunakan-filler-se...> Diakses pada tanggal 29 Maret 2018.