



Penggunaan *Fly Ash* Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik *Marshall* Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC)¹

Fly Ash as Filler Used for Characteristics of Marshall Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

M. Sadillah^a, M. Zainul Arifin^b, Achmad Wicaksono^{b,2}

^a Program Studi S2 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jl. MT. Haryono 147 Malang

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jl. MT. Haryono 147 Malang

ABSTRAK

Dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur campuran beton aspal lapisan aus (AC-WC) selain perlu adanya penggunaan campuran beraspal panas dengan spesifikasi baru, pemilihan jenis material yang digunakan adalah sangat penting. Selain aspal, agregat baik kasar maupun halus serta *filler* adalah salah satu komponen dalam suatu konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai peranan besar. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi temperatur dan prosentase *filler fly ash* terhadap modulus resilien yang baik sehingga dapat diterapkan dan mampu mengatasi kerusakan-kerusakan. Dalam penelitian ini terbagi dalam 3 (tiga) tahapan yaitu (1) tahapan pemilihan bahan; (2) tahap persiapan benda uji; (3) tahap penelitian dan analisis data. Hasil pengujian campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) menunjukkan bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu dengan kadar aspal 5,5% dengan nilai VIM sebesar 3.70%, VMA sebesar 19,00%, Stabilitas sebesar 1.152,93 Kg, Flow sebesar 2,78 mm dan MQ sebesar 417,39 Kg/mm. Hasil pengujian campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) dengan penggantian *filler fly ash* menunjukkan bahwa kadar campuran optimum yaitu dengan kadar *filler* 7% dengan nilai VIM sebesar 4,21%, VMA sebesar 19,21%, Stabilitas sebesar 1326.10Kg, Flow sebesar 3,69 mm dan MQ sebesar 360.13 Kg/mm.

Kata kunci: Marshall, AC-WC, Abu Terbang Batubara

ABSTRACT

In an effort to increase the strength of mixed asphalt concrete structure structure (AC-WC) in addition to the use of hot asphalt mixture with new specification, the selection of material type used is very important. In addition to asphalt, both coarse and fine aggregates and fillers are one component in a pavement construction that has a large role. Therefore further research is needed on the influence of temperature variation and percentage of filler fly ash to the modulus of r esilien which is good so that it can be applied and able to overcome the damages. In this research is divided into 3 (three) stages namely (1) the selection of materials ; (2) the preparation of the specimen ; (3) research and data analysis . Asphalt concrete mixed test (AC-WC) showed that Asphalt Optimum (KAO) content with 5.5% asphalt content with VIM value of 3.70%, VMA of 19.00%, Stability of 1,152.93 Kg, Flow of 2.78 mm and MQ of 417.39 Kg / mm. The result of mixed asphalt concrete (AC-WC) asphalt with filler fly ash test showed that the optimum mixture content was 7% filler content with VIM value 4,21%, VMA 19,21%, Stability 1326.10Kg, Flow of 3.69 mm and MQ of 360.13 Kg/mm.

Keywords: Marshall, AC-WC, Fly Ash

¹ Info Artikel: Received 30 Desember 2017, Received in revised form 26 April 2018, Accepted 26 September 2018

² E-mail: sadillah92@gmail.com (M. Sadillah), mzaftub@gmail.com (M.Z. Arifin), wicaksono1968@yahoo.com (A. Wicaksono)

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan suatu fenomena yang telah terjadi dan dampaknya sudah dirasakan oleh berbagai pihak. Perubahan iklim memberikan dampak yang cukup besar terhadap pembangunan sosial ekonomi Indonesia. Untuk itu strategi mengutamakan isu perubahan iklim ke dalam perencanaan pembangunan nasional termasuk koordinasi, sinergi, monitoring dan evaluasi merupakan tantangan terhadap perubahan iklim. Sektor transportasi merupakan salah satu faktor yang secara signifikan memberikan kontribusi terhadap penyebab terjadinya perubahan iklim. Transportasi merupakan sektor yang mengkonsumsi bahan bakar minyak (BBM) cukup besar di Indonesia. Sudjatmiko (1999) di Jakarta menunjukkan bahwa nilai *Mean Monthly Air Temperature (MMAT)* 27,6°C sedangkan pada tahun 2017 menurut *worldweatheronline.com* temperatur rata - rata di Jakarta pada tahun 2015 mencapai 33°C. Dimana temperatur tertinggi terjadi pada bulan oktober sebesar 38°C.

Bitumen merupakan bahan *visco-elastis*, sehingga perubahan bentuknya jika menerima tegangan merupakan fungsi dari temperatur dan waktu pembebanan Brown (1990). Pada temperatur yang tinggi dan waktu pembebanan yang lama dia akan bersifat *viscous liquids*, sedangkan pada temperatur rendah dan waktu pembebanan yang pendek bitumen akan bersifat elastis tetapi getas. Perubahan temperatur merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan dalam desain struktur perkerasan aspal, karena pada kenyataannya modulus lapis aspal di lapangan sangat dipengaruhi oleh temperatur.

Dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur campuran beton aspal lapisan aus (*AC-WC*) selain perlu adanya penggunaan campuran beraspal panas dengan spesifikasi baru, pemilihan jenis material yang digunakan adalah sangat penting. Selain aspal, agregat baik kasar maupun halus serta *filler* adalah salah satu komponen dalam suatu konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai peranan besar. Prosentase yang kecil pada *filler* terhadap campuran bukan berarti tidak mempunyai efek yang besar pada sifat-sifat *marshall* yang juga merupakan kinerja campuran terhadap beban lalu lintas (Putrowijoyo, 2006). Bahan semen dan abu batu (*fly ash*) merupakan bahan terbaik yang boleh dipakai sebagai bahan pengisi (Pratomo, 1999). *Fly ash* (abu terbang) adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran industri batubara atau Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terdiri dari partikel-partikel halus yang berterbangan. Dibanyak pabrik atau industri *fly ash* dianggap sebagai limbah yang tidak digunakan lagi sehingga dalam penelitian ini menjadi nilai tambah dan nilai guna dari bahan tersebut untuk dapat dimanfaatkan sebaik mungkin. Menurut Tahir (2009) abu terbang batubara dapat dijadikan sebagai mineral *filler* dikarenakan abu terbang batubara mengandung unsur *pozzolan* sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat beton aspal. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi temperatur dan prosentase *filler fly ash* terhadap modulus Resilien yang baik sehingga dapat diterapkan dan mampu mengatasi kerusakan-kerusakan. Melalui pengujian yang akan dilakukan maka diharapkan dapat mengetahui sifat-sifat mekanik, sifat - sifat fisik dan lain sebagainya dari suatu bahan bitumen.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton aspal

Beton aspal adalah tipe campuran pada lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural dengan kualitas yang tinggi, terdiri atas agregat yang berkualitas yang dicampur dengan aspal sebagai bahan pengikatnya. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada *temperatur* tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. *Temperatur* pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal apa yang akan digunakan. Pembuatan beton aspal dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi di bawahnya. Sebagai lapis permukaan, lapis beton aspal harus dapat memberikan kenyamanan dan keamanan yang tinggi (Departemen Pekerjaan Umum, 1987).

Jenis beton aspal dapat dibedakan berdasarkan *temperatur* pencampuran material pembentuk beton aspal, dan fungsi beton aspal. Sedangkan berdasarkan fungsinya beton aspal dapat dibedakan atas (Sukirman, 2003):

1. Beton aspal untuk lapisan aus/*wearing course* (WC), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang diisyaratkan.
2. Beton aspal untuk lapisan pondasi/*binder course* (BC), adalah lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu stabilisasi untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.
3. Beton aspal untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan seringkali tidak lagi berbentuk *crown*.

Aspal

Aspal merupakan senyawa hidrokarbon berwarna coklat gelap atau hitam pekat yang dibentuk dari unsur-unsur *asphaltenes*, *resins*, dan *oils*. Aspal pada lapis perkerasan berfungsi sebagai bahan ikat antara agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan masing-masing agregat (*Kerbs and Walker*, 1971). Selain sebagai bahan ikat, aspal juga berfungsi untuk mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri. Aspal terdiri dari *Asphaltenes*, *Malthenes*, dan *Oils*. *Asphaltenes* adalah komponen utama dari aspal sekitar 80 %, *malthenes* terdiri dari zat-zat yang memberikan stabilitas pada *asphaltenes* yang mempengaruhi viskositas dan kelelehan (berfungsi sebagai *flux*). *Oils* memberi sifat adhesif dan pemuluran (daktilitas). Aspal keras atau aspal panas atau aspal semen (*Asphalt Cement*), merupakan aspal yang digunakan dalam keadaan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan dalam temperatur ruang (250-300°C). Merupakan jenis aspal buatan yang langsung diperoleh dari penyaringan minyak dan merupakan aspal yang terkeras. Berdasarkan tingkat kekerasan atau kekentalannya, maka aspal semen dibedakan menjadi: (1) AC 40-50; (2) AC 60-70; (3) AC 85-100; (4) AC 120-150; (5) AC 200-300.

Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan (Departemen Pekerjaan Umum, 1987). Fungsi dari

agregat dalam campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran jika dilakukan dengan alat pemadat yang tepat. Agregat sebagai komponen utama atau kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75%-85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 2003). Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Jenis dan campuran agregat sangat mempengaruhi daya tahan atau stabilitas suatu perkerasan jalan (*Kerbs and Walker, 1971*).

Bahan pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) dapat berupa debu batu kapur, semen *portland*, abu terbang, abu tanur semen atau material non plastis lainnya (Sukirman, 2003). Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (0,075mm) tidak kurang dari 75% dari yang lolos ayakan No. 30 (0,600mm) dan mempunyai sifat non plastis. Fungsi dari bahan pengisi (*filler*) untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang (Suprpto, 2004).

Dalam penelitian ini bahan pengisi yang digunakan adalah *fly ash*. *Fly ash* batubara adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel yang halus. Gradasi dan kehalusan *fly ash* batubara dapat memenuhi persyaratan gradasi AASTHO M17 untuk mineral *filler*. Secara kimia abu batubara (*fly ash*) merupakan mineral *alumino silica* yang mengandung unsur-unsur Ca, K, dan Na di samping juga mengandung sejumlah kecil unsur C dan N tersusun dari partikel berukuran kecil yang mempunyai karakteristik kapasitas pengikatan air dari sedang sampai tinggi, dan juga sifat-sifat pembentuk seperti semen (Nugroho, 2010). Abu terbang batu bara dapat dijadikan sebagai mineral *filler* karena ukuran partikelnya yang sangat halus, dan dari beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya, abu terbang batubara mengandung unsur *pozzolan*, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat beton aspal dan untuk meningkatkan stabilitas dari campuran beton aspal lapisan aus (*AC-WC*) (Tahir, 2009). Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO) dan sisanya adalah magnesium, potasium, sodium, titanium dan belerang dalam jumlah yang sedikit (Mia, 2011).

Karakteristik campuran beton aspal

Stabilitas (kekuatan) merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*wash boarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran. *Flow* (kelelahan) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Hasil bagi *marshall* (*marshall quotient*) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *marshall quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas

campuran. Semakin besar nilai *marshall quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. *Void in Mixture (VIM)* merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai *VIM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *porous*. *Void In Mineral Aggregate (VMA)* adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terbagi dalam 3 (tiga) tahapan dari mulainya penelitian sampai dengan selesainya penelitian yang dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut:

1. Tahapan pemilihan bahan meliputi: (a) pemilihan agregat; (b) pemilihan aspal; dan (c) perencanaan pencampuran.
2. Tahap persiapan benda uji meliputi: (a) persiapan agregat; (b) persiapan aspal; (c) persiapan *filler (fly ash)*; dan (d) pembuatan benda uji.
3. Tahap penelitian dan analisis data meliputi: (a) pemeriksaan bahan; (b) perencanaan campuran; (c) penetapan kadar optimum aspal; (d) tahap variasi *filler* dan temperatur pengujian; dan (e) analisis data.

Tabel 1 Perencanaan pencampuran benda uji

Variasi Kadar Filler	Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
0%	KAO	5
5%	KAO	5
6%	KAO	5
7%	KAO	5
8%	KAO	5
9%	KAO	5
		30

PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

Kadar aspal optimum didapat melalui berbagai macam pengujian yaitu:

- a. pengujian agregat,
- b. pengujian aspal, dan
- c. pengujian *marshall*.

Pengujian yang dilakukan menghasilkan beberapa macam syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar dan aspal agar bisa digunakan sebagai benda uji. Berikut ini merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan.

Tabel 2 Data hasil pengujian

No	Pengujian	Unit	Spesifikasi ^{*)}		Hasil	Keterangan
			Min	Maks		
Agregat Kasar						
1	Berat Jenis Bulk	(gr/cm ³)	2,5	-	2,71	Memenuhi
2	BJ SSD	(gr/cm ³)	-	-	2,76	Memenuhi
3	BJ Semu	(gr/cm ³)	-	-	2,84	Memenuhi
4	Penyerapan	%	-	3,0	1,78	Memenuhi
5	Impact	%	-	30	6,39	Memenuhi
6	Keausan	%	-	40	13,19	Memenuhi
Agregat Halus						
1	Berat Jenis Bulk	(gr/cm ³)	2,5	-	2,63	Memenuhi
2	BJ SSD	(gr/cm ³)	-	-	2,70	Memenuhi
3	BJ Semu	(gr/cm ³)	-	-	2,82	Memenuhi
4	Penyerapan	%	-	3,0	2,49	Memenuhi
Filler Fly Ash						
1	Berat Jenis Bulk	(gr/cm ³)	2,5	-	2,41	Memenuhi
2	BJ SSD	(gr/cm ³)	-	-	2,41	Memenuhi
3	BJ Semu	(gr/cm ³)	-	-	2,41	Memenuhi
Aspal						
1	Berat Jenis	(gr/cm ³)	1	-	1,04	Memenuhi
2	Penetrasi	(mm)	60	79	66,89	Memenuhi
3	Titik Lembek	(°C)	48	58	49	Memenuhi
4	Titik Nyala	(°C)	200	-	319	Memenuhi
4	Titik Bakar	(°C)	200	-	338	Memenuhi
5	Daktalitas	(cm)	100	-	150	Memenuhi

^{*)} Kementerian PU Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum Edisi 2010 revisi 3

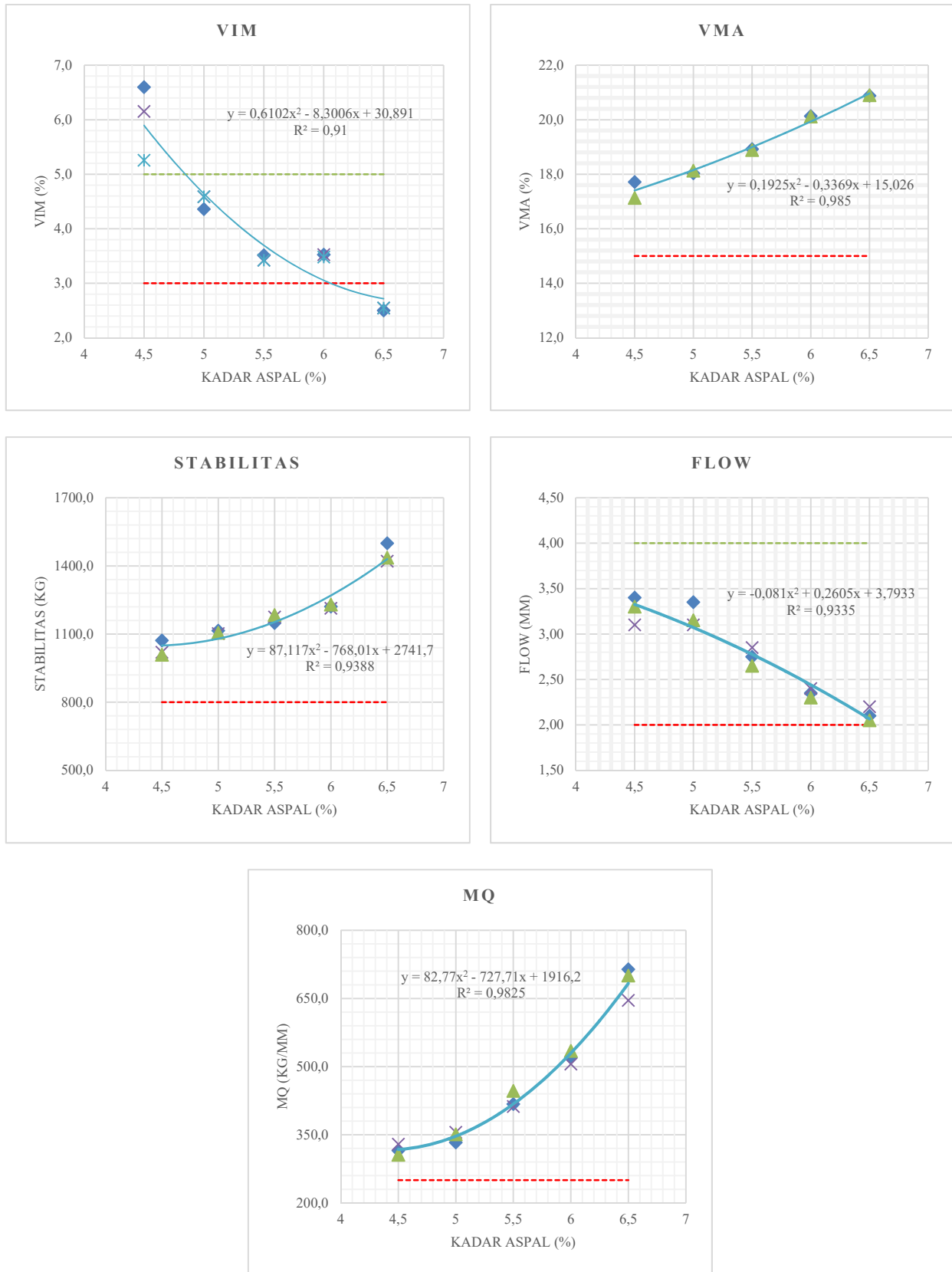
Hasil Uji Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC)

Pengujian yang telah dilakukan memperoleh parameter-parameter *marshall* yaitu: stabilitas, *flow*, *marshall quotient*, *VIM*, dan *VMA*. Hasil analisis perhitungan dari parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

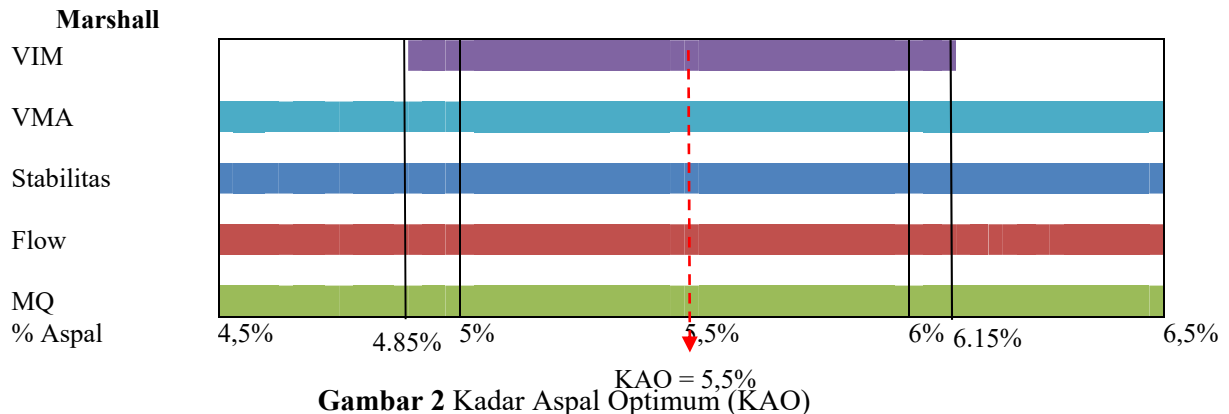
Tabel 3 Hasil Pengujian Marshall Terhadap KAO

No	Pengujian	Unit	Spesifikasi ^{*)}		Hasil
			Min	Maks	
1	VIM	(%)	3,0	5,0	2,50 - 6,60
2	VMA	(%)	15	-	17,13 – 20,90
3	Stabilitas	(kg)	800	-	1008,37 – 1499,51
4	<i>Flow</i>	(mm)	2,0	4,0	2,05 – 3,40
5	<i>Marshall quotient</i>	(kg/mm)	250	-	305,57 – 714,05

^{*)} Kementerian PU Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum Edisi 2010 revisi 3



Gambar 1 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Karakteristik Campuran



Pada gambar 3. terlihat nilai untuk keseluruhan benda uji penelitian yang memenuhi persyaratan dari Bina Marga terdapat pada kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% untuk beberapa parameter *marshall* yaitu stabilitas, *flow*, *VIM*, dan *VMA*, sedangkan pada parameter *VIM* ada 2 benda uji yang tidak memenuhi persyaratan dari Bina Marga yaitu pada kadar aspal 4,5% dan 6,5%. Sehingga dari benda uji yang memenuhi persyaratan diambil garis tengah yang akan digunakan sebagai KAO.

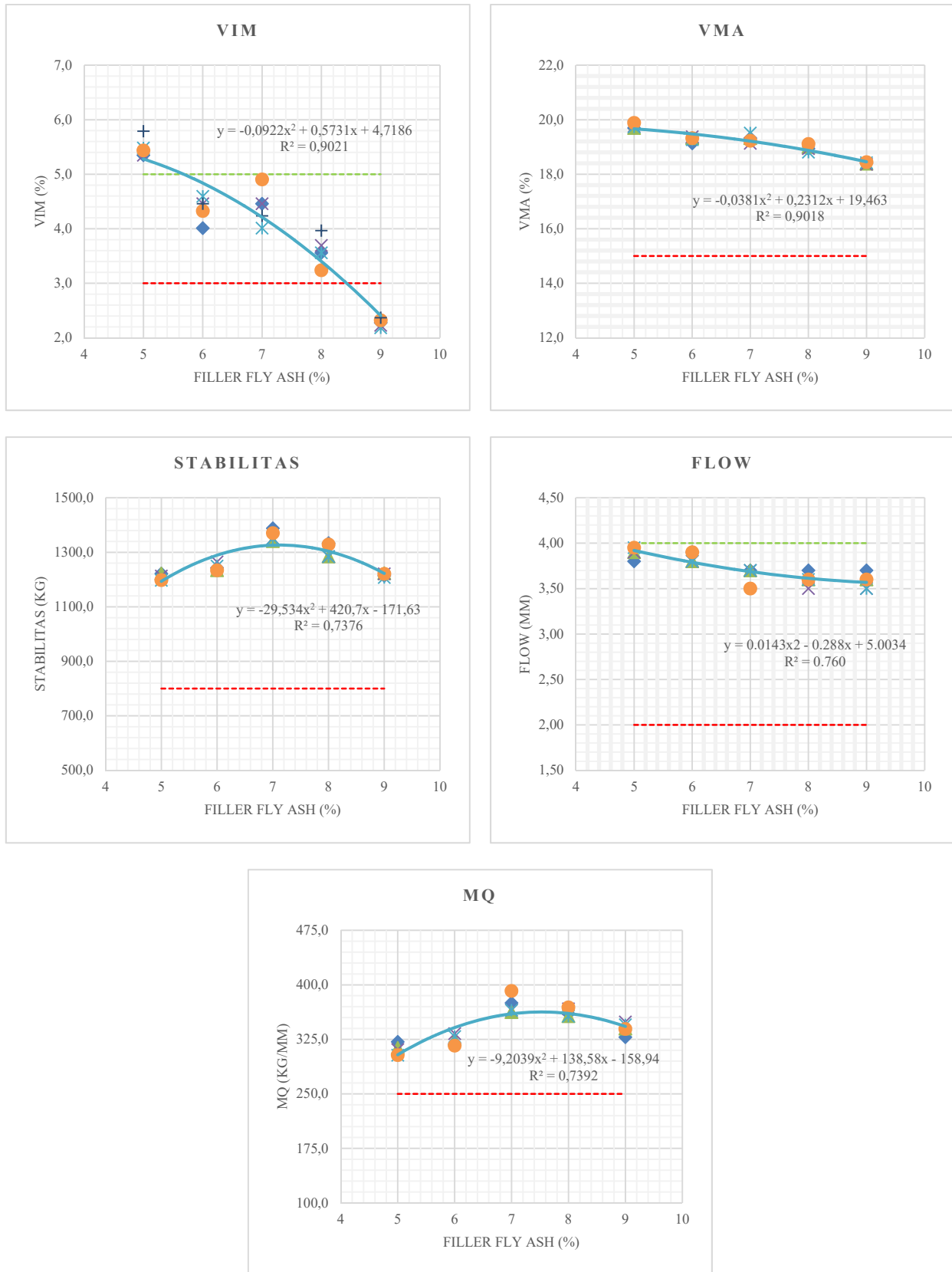
Hasil uji karakteristkik campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) dengan variasi kadar *filler fly ash*

Pengujian yang telah dilakukan memperoleh parameter-parameter *marshall* yaitu: stabilitas, *flow*, *marshall quotient*, *VIM*, dan *VMA*. Hasil analisis perhitungan dari parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

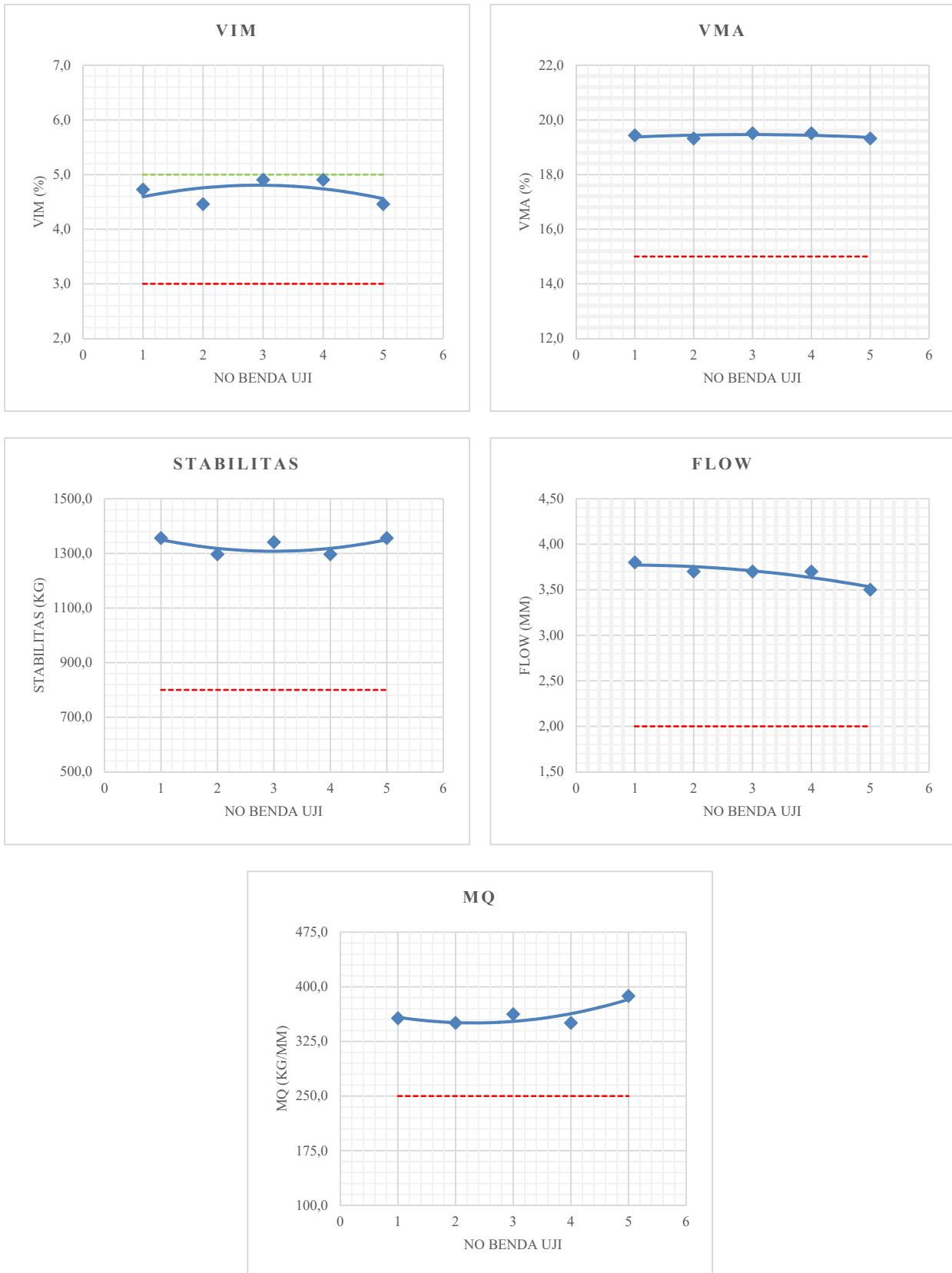
Tabel 4 Hasil Pengujian Marshall Terhadap Variasi *Filler Fly Ash*

No	Pengujian	Unit	Spesifikasi ^{*)}		Hasil
			Min	Maks	
1	VIM	(%)	3,0	5,0	2,18 – 5,79
2	VMA	(%)	15	-	18,36 – 19,88
3	Stabilitas	(kg)	800	-	1196,99 – 1387,75
4	<i>Flow</i>	(mm)	2,0	4,0	3,50 – 3,95
5	<i>Marshall quotient</i>	(kg/mm)	250	-	303,04 – 391,49

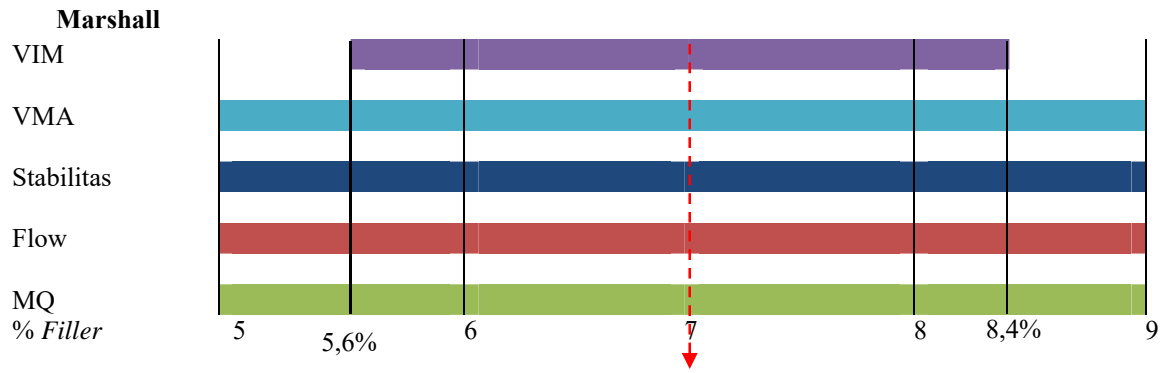
^{*)} Kementerian PU Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum Edisi 2010 revisi 3



Gambar 3 Hubungan antara kadar *filler fly ash* 5% - 9% dengan karakteristik campuran



Gambar 4 Hubungan antara kadar *filler fly ash* 0% dengan karakteristik campuran



Gambar 5 Kadar campuran optimum

Pada gambar 6. terlihat nilai untuk keseluruhan benda uji penelitian yang memenuhi persyaratan dari Bina Marga terdapat pada kadar *filler* 5%, 6%, 7%, 8% dan 9% untuk beberapa parameter *marshall* yaitu stabilitas, *flow*, *VIM*, dan *VMA*. Sedangkan parameter *VIM* ada 2 benda uji yang tidak memenuhi persyaratan dari Bina Marga yaitu pada kadar aspal 5% dan 9%. Sehingga dari benda uji yang memenuhi persyaratan diambil garis tengah yang akan digunakan sebagai kadar campuran optimum.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian campuran aspal beton lapis aus (*AC-WC*) menunjukkan bahwa Kadar Aspal Optimum (*KAO*) yaitu dengan kadar aspal 5,5% dengan nilai *VIM* sebesar 3.70%, *VMA* sebesar 19,00%, Stabilitas sebesar 1.152,93 Kg, *Flow* sebesar 2,78 mm dan *MQ* sebesar 417,39 Kg/mm. Dari hasil analisa menyatakan bahwa data karakteristik tersebar secara normal dan menghasilkan nilai yang berbeda pada setiap karakteristik *marshall*.
2. Hasil pengujian campuran aspal beton lapis aus (*AC-WC*) dengan penggantian *filler fly ash* menunjukkan bahwa kadar campuran optimum yaitu dengan kadar *filler* 7% dengan nilai *VIM* sebesar 4,21%, *VMA* sebesar 19,21%, Stabilitas sebesar 1326.10Kg, *Flow* sebesar 3,69 mm dan *MQ* sebesar 360.13 Kg/mm. Dari hasil analisa menyatakan bahwa data karakteristik tersebar secara normal dan menghasilkan nilai yang berbeda pada setiap karakteristik *marshall*.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structure*. Washington D.C.: AASHTO.
- Brown, S. (1990). *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen U.K.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*.
- Kreb, R. D., & Walker, R. D. (1971). *Highway Material*. New York: McGrawHill.
- Mia. (2011). *Pemanfaatan Abu Batubara*. (online), (<http://mheeanck.blogspot.com/2011/01/pemanfaatan-abu-batubara.html>), diakses 24 Juli 2014.

- Nugroho, E. H. (2010). *Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Pratomo, P. (1999). *Campuran Hot Rolled Sheet Dengan Berbagai Jenis Filler*. Prosiding Simposium I Studi Transportasi Perguruan Tinggi Bandung: Institut Teknik Bandung.
- Putrowijoyo, R. (2006). *Kajian Laboratorium Sifat Marshall dan Durabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland dan Abu Batu Sebagai Filler*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sudjatmiko. (1999). *Karakteristik Modulus Lapis Aspal Untuk Kondisi Temperatur Indonesia*. Institut Teknologi Bandung: Tesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Tahir, A. (2009). *Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara*. Jurnal SMARTek, 7 (4): 256-278.
- Tm, S. (2004). *Bahan dan Struktur Jalan Raya*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.