

PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN PENGISI (*FILLER*) FLY ASH TERHADAP CAMPURAN ASPAL BETON LAPIS AUS (*ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE/AC- WC*)

(THE INFLUENCE ADDITION OF FLY ASH AS FILLER TO THE ASPHALT LAYER MIXTURE (ASPHALT
CONCRETE WEARING COURSE/AC-WC))

Ahmad Uwwes Al Qurny¹, Imam Hagni Puspito¹, Nuryani Tinumbia¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta

E-mail: Ahmaduwwes.alqurny@gmail.com

Diterima 15 Mei 2022, Disetujui 27 Mei 2022

ABSTRAK

Penelitian ini menitikberatkan pada penambahan bahan pengisi (filler) yang didapatkan dari hasil pembakaran batu bara (abu terbang) pada PLTU Suralaya, Merak - Banten yang ditambahkan pada campuran agregat. Abu terbang batu bara merupakan limbah B3 menurut BAPEDAL maka dari itu untuk menanganinya digunakanlah sebagai bahan penambah pada penelitian aspal. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi dampak dari limbah pembakaran batu bara terhadap lingkungan. Penambahan bahan pengisi berupa abu terbang diharapkan menambah daya tahan lapis beton aspal yang disebabkan oleh cuaca atau beban kendaraan yang melintas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai karakteristik Marshall pada campuran beton aspal dengan menggunakan filler abu terbang batu bara. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu dengan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil, dengan demikian akan terlihat pemanfaatan filler abu terbang batu bara pada konstruksi beton aspal dengan variasi kadar filler 1%, 1,5%, dan 2% terhadap total campuran, kadar filler yang digunakan merupakan kadar filler yang telah ditentukan oleh Bina Marga (minimal 1% dan maksimal 2%). Penelitian dilakukan dengan membandingkan antara nilai dari karakteristik marshall campuran aspal normal dengan nilai karakteristik marshall dengan campuran aspal dengan penambahan abu terbang. Nilai karakteristik marshall untuk campuran aspal normal (KAO = 6,65%), campuran aspal dengan fly ash 1% (KAO = 4,90%), campuran aspal dengan fly ash 1,5% (KAO = 6,90%), campuran aspal dengan fly ash 2% (KAO = 6,90%) berturut-turut adalah : VIM(4,40%; 4,90%; 4,88% dan 4,90%), VMA(17,20%; 18,50%; 18% dan 18,20%), VFB(74%; 73%; 73,95 dan 73%), Stabilitas(1030 Kg; 1225 Kg; 1310 Kg dan 1430 Kg), Flow(3,40 mm; 2,90 mm; 3,20 mm dan 3,35 mm), MQ(308 Kg; 420 Kg; 410 Kg dan 430 Kg). Dari hasil karakteristik marshall pada kadar aspal optimum (KAO) mulai dari campuran aspal normal dan campuran aspal dengan penambahan fly ash seluruhnya memasuki spesifikasi yang telah ditentukan oleh Bina Marga 2010 Revisi III, maka penggunaan abu terbang batu bara dapat digunakan sebagai bahan pengisi untuk campuran laston lapis aus.

Kata kunci: Abu terbang, Bahan Pengisi, KAO, Karakteristik *Marshall*

ABSTRACT

This study focuses on the addition of filler material obtained from coal combustion (fly ash) at PLTU Suralaya, Merak - Banten, which is added to the aggregate mixture. Coals fly ash is a B3 waste according to BAPEDAL and therefore to handle it is used as an adder to asphalt research. This study is expected to reduce the impact of coal burning waste on the environment. The addition of filler material in the form of fly ash is expected to increase the durability of the asphalt concrete wearing course caused by weather or passing vehicle load. This study aims to find out how much the value of Marshall characteristics on asphalt concrete mixture by using fly ash. This research uses experimental method with an experiment to get the result, so it will be seen the utilization of fly ash on asphalt concrete construction with variation of filler content of 1%, 1,5%, and 2% to total mix, filler content used is a filler content determined by Bina Marga (minimum 1% and 2% maximum). The study was conducted by comparing the values of marshall characteristics of normal asphalt mixture with marshall characteristic values with asphalt mixture with the addition of fly ash. Characteristic value of marshall for normal asphalt mixture (KAO = 6,65%), asphalt mixture with fly ash 1% (KAO = 4,90%), asphalt mixture with fly ash 1,5% (KAO = 6,90%), the asphalt mixture with fly ash 2% (KAO = 6,90%) are: VIM (4.40%, 4.90%, 4.88% and 4.90%), VMA (17.20%; 18,50%, 18% and 18,20%), VFB (74%, 73%, 73,95 and 73%), Stability (1030 Kg; 1225 Kg; 1310 Kg and 1430 Kg), Flow (3.40 mm; 2.90 mm; 3.20 mm and 3.35 mm), MQ (308 Kg; 420 Kg; 410 Kg and 430 Kg). From the marshall characteristic on optimum asphalt content (KAO) starting from the normal asphalt mixture and asphalt mixture with the addition of fly ash entirely entering the specified specification by Bina Marga 2010 Revision III, the use of coal fly ash can be used as a filler for the laston wearing course.

Keywords: Fly Ash, Filler, KAO, Marshall Characteristic

PENDAHULUAN

Beton aspal merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Campuran beton aspal tersebut terdiri atas agregat kasar, agregat halus, *filler* dan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat[1]. *Filler* yang biasa disebut juga bahan pengisi dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan. *Filler* yang umum digunakan adalah jenis *filler* abu (debu) batu. Mengingat sangat langka keberadaan bahan abu batu, untuk itu sebagai pengganti abu batu dipilih bahan alternatif, dengan memakai abu terbang (*fly ash*). Bahan sisa pembakaran batubara yang berupa abu batu dan mengandung silika ini dapat menimbulkan pencemaran lingkungan jika tidak ditangani secara memadai.

Mengingat potensi *fly ash* yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berlimpah dan semakin banyaknya industri yang menggunakan abu batubara sebagai bahan bakar. Maka untuk meningkatkan nilai guna dan nilai tambah limbah industri tersebut perlu diadakan upaya pemanfaatannya.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah beton sudah banyak diteliti dan dikembangkan di Indonesia, dan di negara-negara maju yang banyak menghasilkan batubara seperti USA, Australia, Yugoslavia dan negara lainnya. Tetapi belum banyak pemanfaatan atau penelitian yang mengaplikasikan *fly ash* untuk campuran aspal. Mengingat perilaku *fly ash* jika dalam keadaan halus dan adanya air pada suhu biasa akan membentuk persenyawaan yang mempunyai sifat semen. Maka dari itu dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh *fly ash* sebagai bahan *filler* pada campuran perkerasan jalan laston lapis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC).

Pengaruh *fly ash* diharapkan akan meningkatkan karakteristik campuran perkerasan jalan laston lapis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) terhadap sifat *marshall* seperti nilai *densitas*, total rongga (*daktalitas*) stabilitas redaman, stabilitas sisa dan menurunkan nilai *permeabilitas*, sehingga akan meningkatkan nilai struktural dari lapis perkerasan, seperti nilai stabilitas, *fleksibilitas*, *durabilitas* dan *impermeabilitas* (kedap air).

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari *fly ash* sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran perkerasan jalan laston lapis aus/*Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan melakukan analisis dari hasil penelitian. Tujuan dilakukannya penelitian dengan mengganti bahan pengisi (*filler*) adalah untuk menganalisis kinerja dari campuran beraspal yang ditambahkan dengan *fly ash*, dan untuk mengurangi limbah dari *fly ash*.

Aspal akan meningkatkan sifat tahan terhadap panasnya karena tercampur dengan *filler* (Dormon 1953). Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) minimal 1% dan maksimal 2% dari berat total agregat [2].

Penggunaan Laston AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) yaitu untuk lapis permukaan paling atas dalam perkerasan dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. Pada campuran laston yang bergradasi menerus tersebut mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya dibandingkan

dengan campuran bergradasi senjang. Hal tersebut menyebabkan campuran AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran. Berikut merupakan persyaratan laston dalam lapis perkerasan yang dapat dilihat pada Tabel 1. yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2010 revisi III.

Tabel 1. Ketentuan sifat-sifat campuran Laston (AC) [2]

Sifat-sifat Campuran	Laston		
	Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah Tubukan per bidang	75		112
Rasio Partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0	
	Maks.	1,4	
Rongga Dalam Campuran (%)	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i>	Min.	800	1800
Pelelehan (mm)	Min.	2	3
	Maks.	4	6
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°	Min.	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2	

Gradasi Agregat

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan satu set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus terletak paling bawah. 1 set saringan dimulai dari pan diakhiri dengan tutup.

Analisa saringan dapat dilakukan dengan menggunakan analisa kering atau analisa basah. Analisa kering mengikuti AASHTO T27-82 sedangkan analisa basah mengikuti AASHTO T11-82 analisa basah umum dilakukan jika agregat yang akan ditapis mengandung butir-butir halus sehingga fraksi butir-butir halus dapat terdeteksi dengan baik. Jika agregat kasar itu “bersih”, tidak/sedikit sekali mengandung butir halus dapat digunakan analisa saring. Menurut Sukirman[3] Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

- 1) Gradasi seragam (*uniform graded*), adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat *permeabilitas* tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil.

- 2) Gradasi rapat (*dense graded*), merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*). Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.
- 3) Gradasi buruk/jelek (*poor graded*), merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi 2 kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah (*gap graded*), merupakan campuran agregat dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit sekali. Sering disebut juga gradasi senjang. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis diatas.

Karakteristik Campuran Aspal

Dalam merencanakan campuran aspal yang akan digunakan untuk perkerasan jalan terdapat karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran aspal tersebut. Berikut ini adalah karakteristik campuran aspal yang harus dimiliki, menurut Sukirman[3] :

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu-lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu-lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu-lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan dengan volume lalu-lintas yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkanpun rendah. Hal ini menghasilkan *film* aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

- a. Agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*).
- b. Agregat dengan permukaan yang kasar.
- c. Agregat berbentuk kubus.
- d. Aspal dengan penetrasi rendah
- e. Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

2. Durabilitas

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas adalah sebagai berikut :

- a. *Film* aspal atau selimut aspal, *film* aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang

berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi tinggi.

- b. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh/getas.
- c. VMA besar, sehingga *film* aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar. Untuk mencapai VMA yang besar dipergunakan agregat bergradasi senjang.

3. Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Fleksibilitas dapat diperoleh dengan :

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

4. Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan. Tahanan geser tinggi jika :

- a. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tak terjadi *bleeding*.
- b. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar.
- c. Penggunaan agregat berbentuk kubus.
- d. Penggunaan agregat kasar yang cukup.

5. Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)

Kemudahan pekerjaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah :

- a. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain.
- b. Temperatur campuran, yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sukar.

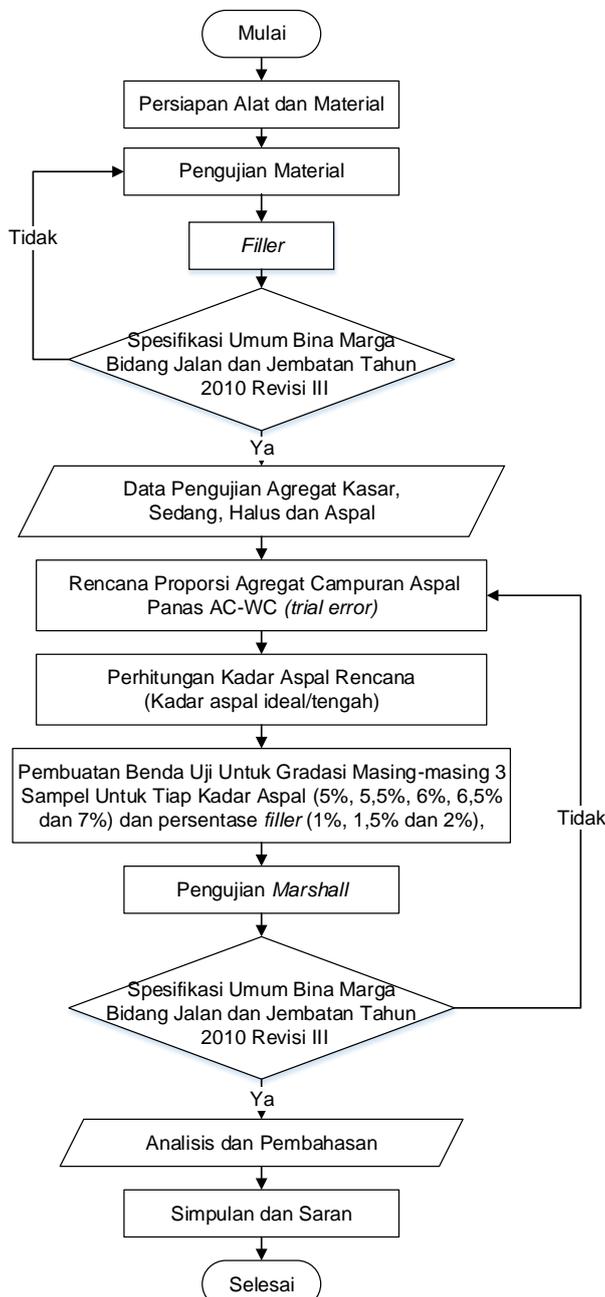
6. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

- a. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan lebih cepat.
- b. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan seluruh kegiatan percobaan dilakukan di dalam Laboratorium, untuk lebih lanjut mengenai tahapan dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Diagram alir Penelitian:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu Set Saringan (*Sieve*)
Penggunaan alat saringan digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi/ukuran agregat.
2. Alat Uji Pemeriksaan Agregat

Dalam penelitian ini dilakukan pemeriksaan agregat peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain alat pengering yaitu oven, timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan dan pemanas).

3. Alat Uji Karakteristik Campuran Agregat Dan Aspal
Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *marshall*, meliputi :
 - a. Alat tekan *marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flowmeter*.
 - b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 *inchi* (10,16 cm) dan tinggi 3 *inchi* (7,5 cm).
 - c. Alat tumbuk yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah).
 - d. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
 - e. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
 - f. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan pencampur, kompor pemanas, termometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, ember untuk merendam benda uji, jangka sorong, *pan*, dan *tipe-x* yang digunakan untuk menandai benda uji.

Sementara bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: (1) aspal, aspal Pertamina dengan nilai penetrasi 60/70; (2) agregat kasar, yang berasal dari *quarry* Gunung Bitung; (3) agregat sedang, yang berasal dari *quarry* Gunung Bitung; (4) agregat halus, yang berasal dari *quarry* Gunung Bitung, dan (5) filler, yang berupa abu batubara (*fly ash*) yang berasal dari PLTU Suralaya.

Parameter dan Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut :

1. Kadar Aspal Rencana

Perkiraan kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut (Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2005) :

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots(1)$$

Keterangan :

- P_b = Perkiraan kadar aspal optimum
- CA = Nilai prosentase agregat kasar tertahan saringan No.8
- FA = Nilai prosentase agregat halus lolos saringan No.8 tertahan No.200
- FF = Nilai prosentase *filler* (tertahan saringan No.200)
- K = Konstanta (0,5 - 1,0)

2. Berat Jenis *Bulk* dari Agregat Campuran
Agregat yang digunakan untuk membentuk beton aspal padat, memiliki gradasi tertentu yang biasanya diperoleh dari pencampuran beberapa agregat total yang terdiri dari atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai berat

jenis yang berbeda, maka berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat total dapat dihitung sebagai berikut:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- G_{sb} = Berat jenis *bulk* total agregat
- $P_1 + P_2 + \dots + P_n$ = Persentase masing-masing fraksi agregat
- $G_1 + G_2 + \dots + G_n$ = Berat jenis *bulk* masing-masing fraksi agregat

Berat Jenis Efektif Agregat Campuran

Berat jenis maksimum dari beton aspal yan belum dipadatkan (G_{mm}), dapat ditentukan di Laboratorium sesuai AASHTO T 209-90.

$$G_{se} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- G_{se} = Berat jenis *bulk* total agregat
- $P_1 + P_2 + \dots + P_n$ = Persentase masing-masing fraksi agregat
- $G_1 + G_2 + \dots + G_n$ = Berat jenis *bulk* masing-masing fraksi agregat

3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (*triplikat*).

Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (G_{mm}) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapt dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara = nol
- P_{mm} = Persen berat total campuran =100
- P_s = Kadar agregat persen terhadap VMA berat total campuran VFB
- P_b = Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat
- G_b = Berat jenis aspal

4. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (P_{ba}) adalah sebagai berikut:

$$P_{ab} = 100 \frac{G_{se} + G_{ab}}{G_{se} + G_{se}} G_b \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- P_{ab} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- G_{ab} = Berat jenis *bulk* agregat
- G_{se} = Berat jenis efektif
- G_b = Berat jenis aspal

5. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasaan beraspal. Rumus kadar aspal efektif adalah :

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ab}}{100} P_s \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

- P_{be} = Kadar aspal efektif, persen total campuran
- P_b = Kadar aspal, persen total campuran
- P_{ab} = Penyerapan aspal, persen total campuran
- P_s = Kadar agregat, persen total campuran

6. Rongga di Antara Mineral Agregat (VMA)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut :

1) Terhadap berat campuran total

$$VMA = 100 \frac{P_{sb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

- VMA = Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- G_{mb} = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- P_s = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

2) Terhadap berat agregat total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

- VMA = Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- G_{mb} = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- P_b = Kadar aspal, persen total campuran, (%)

7. Rongga di Dalam Campuran (VIM)

Rongga udara dalam campuran VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 \frac{G_{mm} - P_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

- VIM = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)
- Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- Gmm = Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

8. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat Marshall. Selain itu pada umumnya alat Marshall yang digunakan bersatuan Lbf (pound force), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

9. Rongga Udara yang Terisi Aspal (VFB)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMB) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus adalah sebagai berikut:

$$VFB = \frac{100(VMA - V_a)}{VMA} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

- VFB = Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)
- VMA = Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- V_a = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

10. Flow

Nilai flow berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial flow biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

11. Marshall

Hasil bagi Marshall/Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Sifat Marshall[4] tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :

- MQ = Marshall Quotient, (kg/mm)
- MS = Marshall Stability, (kg)
- MF = Flow Marshall, (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan beberapa pengujian mulai dari pengujian aspal dan material agregat (agregat kasar, sedang, halus dan filler) dan juga setelah dibuat benda uji (briket) sebanyak ±60 benda uji (15 benda uji dengan campuran normal dan 45 benda uji dengan penambahan filler) barulah dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil yang telah didapatkan. Berikut ini merupakan analisis hasil dari pengujian material[5] yang akan digunakan dalam pembuatan campuran aspal berdasarkan dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum Revisi III, 2010.

Tabel 2. Hasil pengujian filler (fly ash)

No. Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil Uji	Status	
1.	Material lolos saringan No. 200	SNI ASTM C136:2012	%	≥ 75	77,09	Memenuhi Syarat

Tabel 3. Hasil pengujian analisa saring agregat (normal)

Ukuran Saringan		Rata-rata Lolos (%)		
Inch	mm	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus
1 ½	37,9	-	-	-
1	25,4	-	-	-
¾	19,1	100	-	-
½	12,7	99,80	-	-
3/8	9,52	67,84	100,00	100,00
No. 4	4,75	3,40	77,48	99,94
No. 8	2,38	2,18	17,13	88,40
No. 16	1,17	1,74	6,36	62,43
No. 30	0,59	1,69	5,43	44,57
No. 50	0,29	1,54	3,68	30,34
No. 100	0,14	1,25	2,52	18,75
No. 200	0,075	0,83	1,04	12,14

Tabel 4. Proporsi campuran agregat

Proporsi Agregat	Normal			
	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	
	38%	17%	45%	
Total	100%			
Proporsi Agregat	Fly Ash 1%			
	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	Fly ash
	38%	17%	44%	1%
Total	100%			
Proporsi Agregat	Fly Ash 1,5%			
	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	Fly ash
	38%	17%	43,5%	1,5%
Total	100%			
Proporsi Agregat	Fly Ash 2%			
	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	Fly ash
	38%	17%	43%	2%
Total	100%			

Note : untuk campuran dengan dilakukannya penambahan bahan pengisi (filler) berupa fly ash yang dikurangi adalah persentase agregat halusnya.

Tabel 5. Gradasi Agregat Gabungan Normal

Ukuran Saringan		Persentase Agregat (%)			Agregat Gabungan	Spesifikasi	Status
Inch	mm	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus			
1 ½	37,9	-	-	-	-	-	-
1	25,4	-	-	-	-	-	-
¾	19,1	38	17	45	100	100	Memenuhi
½	12,7	37,92	17	45	99,92	90-100	Memenuhi
3/8	9,52	25,78	17	45	87,78	77-90	Memenuhi
No. 4	4,75	1,29	13,17	44,98	59,44	53-69	Memenuhi
No. 8	2,38	0,83	2,91	39,78	43,52	33-53	Memenuhi
No. 16	1,17	0,66	1,08	28,09	29,84	21-40	Memenuhi
No. 30	0,59	0,64	0,92	20,06	21,62	14-30	Memenuhi
No. 50	0,29	0,59	0,63	13,65	14,87	9-22	Memenuhi
No. 100	0,14	0,48	0,43	8,44	9,34	6-15	Memenuhi
No. 200	0,075	0,31	0,18	5,46	5,95	4-9	Memenuhi

Tabel 6. Gradasi Agregat Gabungan (*Fly Ash* 1%)

Ukuran Saringan		Persentase agregat (%)				Agregat Gabungan	Spesifikasi	Status
Inch	mm	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	<i>Fly ash</i>			
1 ½	37,9	-	-	-	-	-	-	-
1	25,4	-	-	-	-	-	-	-
¾	19,1	38	17	44	1	100	100	Memenuhi
½	12,7	37,92	17	44	1	99,92	90-100	Memenuhi
03-Aug	9,52	25,78	17	44	1	87,78	77-90	Memenuhi
No. 4	4,75	1,29	13,17	43,98	1	59,44	53-69	Memenuhi
No. 8	2,38	0,83	2,91	38,90	1	43,64	33-53	Memenuhi
No. 16	1,17	0,66	1,08	27,47	1	30,21	21-40	Memenuhi
No. 30	0,59	0,64	0,92	19,61	1	22,17	14-30	Memenuhi
No. 50	0,29	0,59	0,63	13,35	1	15,56	9-22	Memenuhi
No. 100	0,14	0,48	0,43	8,25	0,99	9,16	6-15	Memenuhi
No. 200	0,075	0,31	0,18	5,34	0,77	6,60	4-9	Memenuhi

Tabel 7. Gradasi Agregat Gabungan (*Fly Ash* 1,5%)

Ukuran Saringan		Persentase agregat (%)				Agregat Gabungan	Spesifikasi	Status
Inch	mm	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	<i>Fly ash</i>			
1 ½	37,9	-	-	-	-	-	-	-
1	25,4	-	-	-	-	-	-	-
¾	19,1	38	17	43,5	1,50	100	100	Memenuhi
½	12,7	37,92	17	45,5	1,50	99,92	90-100	Memenuhi
03-Aug	9,52	25,78	17	43,5	1,50	87,78	77-90	Memenuhi
No. 4	4,75	1,29	13,17	43,48	1,50	59,44	53-69	Memenuhi
No. 8	2,38	0,83	2,91	38,45	1,50	43,69	33-53	Memenuhi
No. 16	1,17	0,66	1,08	27,16	1,50	30,40	21-40	Memenuhi
No. 30	0,59	0,64	0,92	19,39	1,50	22,45	14-30	Memenuhi
No. 50	0,29	0,59	0,63	13,20	1,50	15,91	9-22	Memenuhi
No. 100	0,14	0,48	0,43	8,16	1,48	10,54	6-15	Memenuhi
No. 200	0,075	0,31	0,18	5,28	1,16	6,93	4-9	Memenuhi

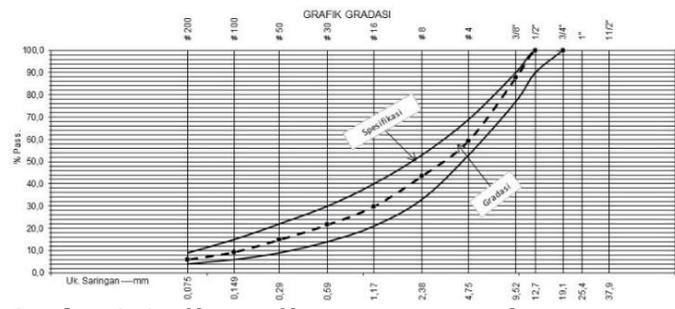
Tabel 8. Gradasi Agregat Gabungan (*Fly Ash* 2%)

Ukuran Saringan		Persentase agregat (%)				Agregat Gabungan	Spesifikasi	Status
Inch	mm	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	<i>Fly ash</i>			
1 ½	37,9	-	-	-	-	-	-	-
1	25,4	-	-	-	-	-	-	-
¾	19,1	38	17	43	2	100	100	Memenuhi
½	12,7	37,92	17	43	2	99,92	90-100	Memenuhi
03-Aug	9,52	25,78	17	43	2	87,78	77-90	Memenuhi
No. 4	4,75	1,29	13,17	42,98	2	59,44	53-69	Memenuhi
No. 8	2,38	0,83	2,91	38,01	2	43,75	33-53	Memenuhi
No. 16	1,17	0,66	1,08	26,85	2	30,59	21-40	Memenuhi
No. 30	0,59	0,64	0,92	19,16	2	22,73	14-30	Memenuhi
No. 50	0,29	0,59	0,63	13,05	2	16,26	9-22	Memenuhi
No. 100	0,14	0,48	0,43	8,06	1,97	8,97	6-15	Memenuhi
No. 200	0,075	0,31	0,18	5,22	1,54	7,25	4-9	Memenuhi

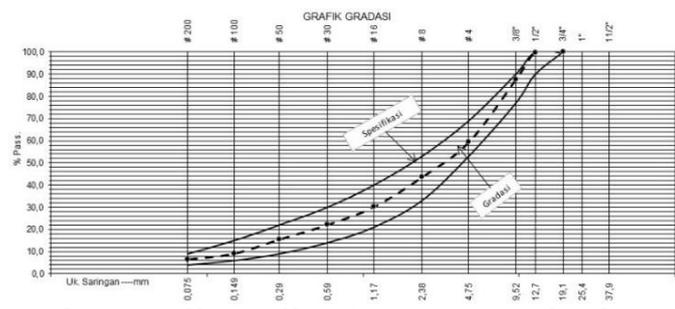
Hasil dari pengujian gradasi agregat normal dan gradasi agregat dengan penambahan *fly ash* setelah disajikan dalam bentuk tabel, maka disajikan dalam bentuk grafik, dalam

bentuk grafik inilah dapat diketahui gradasi tersebut memenuhi spesifikasi atau tidak. Dapat dilihat pada Gambar 2 - 5, dimana pada grafik tersebut didapatkan

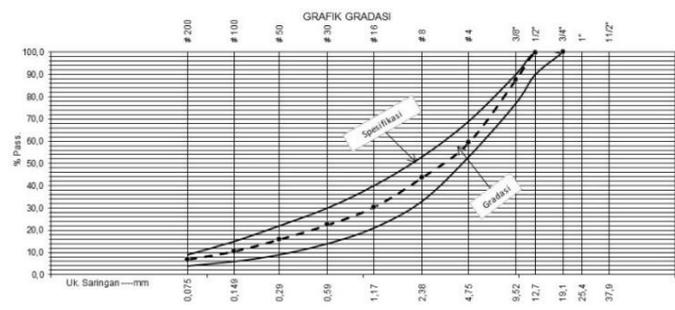
bahwa gradasi agregat gabungan (gradasi menerus/*well graded*) mulai dari agregat normal sampai dengan agregat yang ditambahkan *fly ash* semuanya memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.



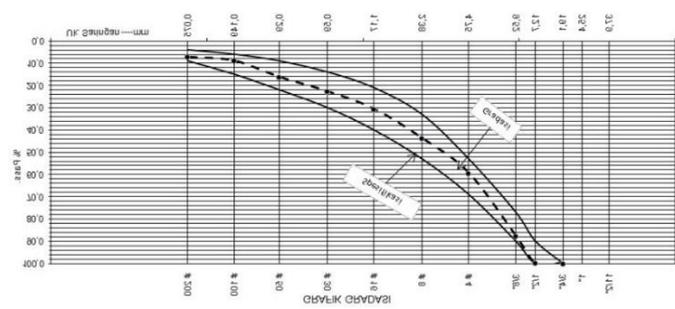
Gambar 2. Grafik spesifikasi agregat normal



Gambar 3. Grafik Spesifikasi Agregat Dengan *Fly Ash* 1%



Gambar 4. Grafik Spesifikasi Agregat Dengan *Fly Ash* 1,5%



Gambar 5. Grafik Spesifikasi Agregat Dengan *Fly Ash* 2%

Setelah didapatkan gradasi agregat untuk campuran aspal normal maupun campuran aspal dengan dilakukannya penambahan *filler*/bahan pengisi abu batu bara (*fly ash*) barulah dapat dilakukan penentuan kadar aspal yang akan digunakan. Penentuan kadar aspal ini menggunakan persamaan (1) dimana dalam formula untuk mencari kadar aspal rencana tersebut diperlukan data dari analisa saringan. Kadar aspal rencana untuk campuran aspal normal dan dengan campuran aspal dengan

penambahan bahan pengisi yang berupa abu batu bara (*fly ash*) dapat dilihat pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Kadar aspal rencana

No.	Kadar Aspal (%)	Campuran Aspal			
		Normal	<i>Fly Ash</i>		
			1%	1,5%	2%
1.	Pb - 1%	5	5	5	5
2.	Pb - 0,5%	5,5	5,5	5,5	5,5
3.	Pb	6	6	6	6
4.	Pb + 0,5%	6,5	6,5	6,5	6,5
5.	Pb + 1%	7	7	7	7

Setelah kadar aspal rencana didapatkan (Tabel 9) maka dapat langsung dibuat benda uji. Di bawah ini merupakan nilai dari karakteristik *marshall* hasil pengujian benda uji (briket) :

Tabel 10. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Aspal Normal

Nilai Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Aspal (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
VIM (%)	Hasil 7,68	6,68	5,58	4,62	4,01
Syarat	3 - 5				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK
VMA (%)	Hasil 17,27	17,24	17,27	17,23	17,50
Syarat	Min 15				
	Status	OK	OK	OK	OK
VFB (%)	Hasil 55,59	61,26	67,71	73,20	77,07
Syarat	Min 65				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	OK	OK
Stabilitas (kg)	Hasil 996	1046	976	1031	1021
Syarat	Min 800				
	Status	OK	OK	OK	OK
Flow (mm)	Hasil 2,53	2,76	2,84	3,30	3,38
Syarat	2 - 4				
	Status	OK	OK	OK	OK
MQ (Kg/mm)	Hasil 393	379	344	312	304
Syarat	Min 250 kg/mm				
	Status	OK	OK	OK	OK

Tabel 11. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Aspal (*Fly Ash* 1%)

Nilai Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Aspal (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
VIM (%)	Hasil 8,35	8,05	7,00	5,48	4,81
Syarat	3 - 5				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK
VMA (%)	Hasil 17,88	18,45	18,51	17,98	18,18
Syarat	Min 15				
	Status	OK	OK	OK	OK
VFB (%)	Hasil 53,27	56,38	62,19	69,49	73,56
Syarat	Min 65				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK
Stabilitas (kg)	Hasil 1079	1090	1120	1195	1230
Syarat	Min 800				
	Status	OK	OK	OK	OK
Flow (mm)	Hasil 2,54	3,78	3,79	2,57	3,02
Syarat	2 - 4				
	Status	OK	OK	OK	OK
MQ (Kg/mm)	Hasil 425	288	295	466	407
Syarat	Min 250 kg/mm				
	Status	OK	OK	OK	OK

Tabel 12. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Aspal (*Fly Ash* 1,5%)

Nilai Karakteristik <i>Marshall</i>		Kadar Aspal (%)				
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
VIM (%)	Hasil	8,63	8,12	7,12	6,05	4,42
	Syarat	3 - 5				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK
VMA (%)	Hasil	18,12	18,51	18,62	18,47	17,85
	Syarat	Min 15				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK
VFB (%)	Hasil	52,40	56,16	61,76	67,26	75,24
	Syarat	Min 65				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK	OK
Stabilitas (kg)	Hasil	1105	1150	1195	1270	1314
	Syarat	Min 800				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK
Flow (mm)	Hasil	3,05	2,79	3,10	2,86	3,30
	Syarat	2 - 4				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK
MQ (Kg/mm)	Hasil	363	412	386	444	398
	Syarat	Min 250 kg/mm				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 13. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Aspal (*Fly Ash* 1,5%; lanjutan)

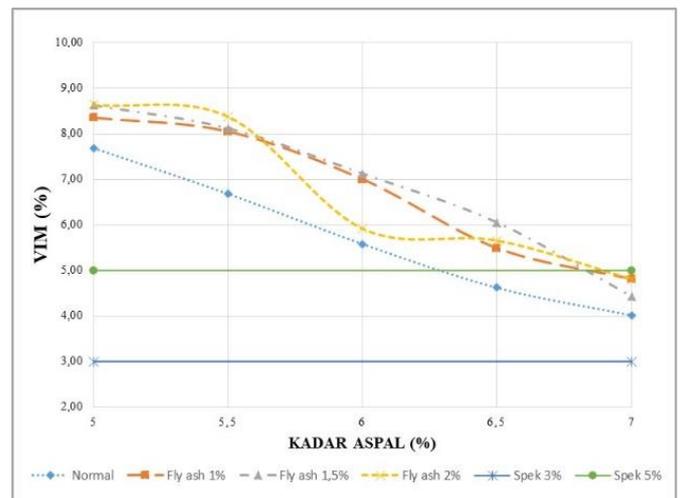
Nilai Karakteristik <i>Marshall</i>		Kadar Aspal (%)				
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
VIM (%)	Hasil	8,64	8,38	5,91	5,65	4,81
	Syarat	3 - 5				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK
VMA (%)	Hasil	18,13	18,74	17,56	18,13	18,19
	Syarat	Min 15				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK
VFB (%)	Hasil	52,37	55,31	66,33	68,80	73,55
	Syarat	Min 65				
	Status	TIDAK OK	TIDAK OK	OK	OK	OK
Stabilitas (kg)	Hasil	1120	1165	1310	1329	1449
	Syarat	Min 800				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK
Flow (mm)	Hasil	3,56	3,81	3,05	3,81	3,30
	Syarat	2 - 4				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK
MQ (Kg/mm)	Hasil	315	306	430	349	439
	Syarat	Min 250 kg/mm				
	Status	OK	OK	OK	OK	OK

Adapun pembahasan dari hasil pengujian *marshall test*/sifat karakteristik *marshall* adalah sebagai berikut:

1. Hubungan VIM (*Voids In Mixture*) dengan Kadar Aspal.

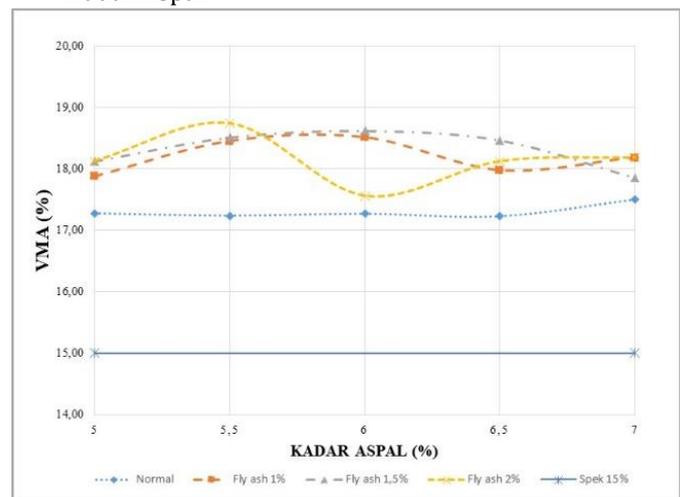
Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai VIM (*voids in mixture*) yang memenuhi spesifikasi untuk campuran aspal normal adalah pada kadar aspal 6,5%-7,0%, dan untuk campuran aspal dengan penambahan *fly ash* 1%, 1,5% dan 2% adalah pada kadar aspal 7%, dimana pada kadar aspal tersebut nilai VIM-nya berada diantara 3%-5% (spesifikasi yang telah ditentukan oleh Bina Marga). Jika nilai VIM melebihi dari spesifikasi yang telah ditentukan, seperti yang terjadi pada kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% (untuk campuran aspal normal) dan 5%-6,5% (untuk campuran aspal dengan penambahan *fly ash*), maka volume total udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang dipadatkan banyak (pada

kondisi dimana penambahan *fly ash* hanya 1%) dan akibatnya lapisan aspal beton tersebut akan cepat mengalami kelelahan. Jika nilai VIM lebih kecil dari spesifikasi maka akan mengakibatkan lapis aspal tersebut menjadi *bleeding*, dan campuran aspal akan semakin kedap terhadap air tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas. Nilai VIM menjadi meningkat dikarenakan persen kadar aspal yang digunakan sedikit sehingga ikatan menjadi melemah. Sedangkan dengan bertambahnya persen kadar aspal ikatan menjadi semakin kuat.



Gambar 6. Grafik VIM (3 - 5%)

2. Hubungan VMA (*Voids In Mineral Agreggate*) dengan Kadar Aspal.

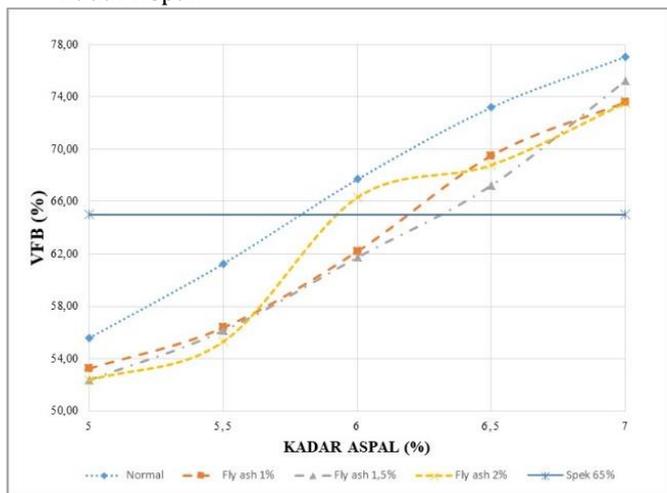


Gambar 7. Grafik VMA (minimal 15%)

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai dari VMA (*voids in mineral agreggate*) mulai dari kadar aspal 5%-7% semuanya memenuhi/melebihi nilai dari spesifikasi yang telah di tentukan oleh Bina Marga yakni sebesar minimal 15%, pada kasus ini didapatkan bahwa nilai VMA terus mengalami kenaikan mulai dari kadar aspal rendah (5%) dan sampai dengan kadar aspal tinggi (7%) kenaikan nilai VMA disebabkan karena bertambahnya selimut aspal (*film*). VMA merupakan rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total

benda uji (Puslitbang, 2002). VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel. Nilai VMA menjadi indikator durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran beton aspal. Nilai VMA yang sedikit dapat menyebabkan lapisan laston yang menyelimuti agregat menjadi sedikit sehingga mudah teroksidasi, dan nilai VMA yang banyak juga dapat menyebabkan *bleeding*.

3. Hubungan VFB (*Voids Filled With Bitumen*) dengan Kadar Aspal.



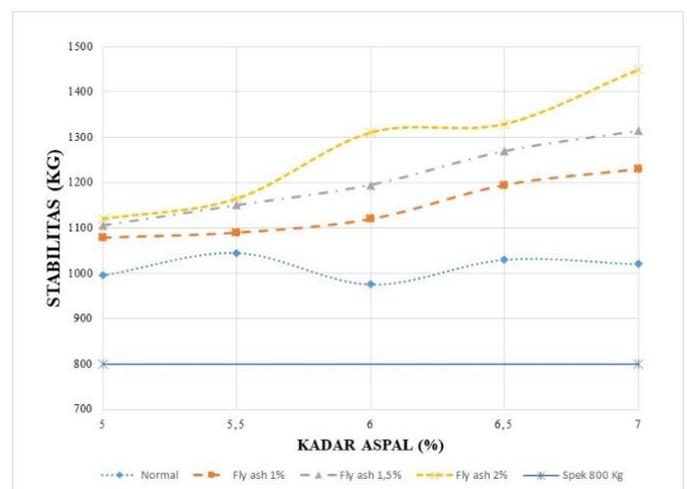
Gambar 8. Grafik VFB (minimal 65%)

Pada Gambar 8 dapat dilihat nilai dari VFB (*voids filled with bitumen*) bahwa terjadi kenaikan nilai VFB dari kadar aspal 5%-7%, tetapi pada kadar aspal 5%-5,5% (untuk campuran aspal normal dan campuran aspal dengan penambahan *fly ash* 2%), kadar aspal 5%-6% (untuk campuran aspal dengan penambahan *fly ash* 1% dan 1,5%) tidak memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan/nilai VFB kurang dari 65% (yang telah di syaratkan oleh Bina Marga). Kenaikan nilai VFB disebabkan karena semakin banyak kadar laston semakin banyak volume rongga antara agregat dalam campuran yang terisi oleh laston. Dari gambar tersebut terlihat nilai VFB yang memenuhi spesifikasi *Marshall* untuk Laston terjadi pada kadar aspal 6%-7,0% (untuk campuran aspal normal dan campuran aspal dengan penambahan *fly ash* 2%) dan pada kadar aspal 6,5%-7% (untuk campuran aspal dengan penambahan *fly ash* 1% dan 1,5%), yang menyebabkan benda uji (*briket*) tidak dapat memenuhi spesifikasi disebabkan oleh kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan dan pemanasan aspal (dalam hal ini pada saat dilakukan perendaman sebelum dilakukannya *marshall test*). Nilai VFB yang terus meningkat dengan bertambahnya nilai kadar aspal. Tetapi jika nilai VFB yang terlalu tinggi menyebabkan naiknya laston ke permukaan pada saat suhu perkerasan tinggi, sedangkan nilai VFB yang rendah menyebabkan campuran porous dan mudah teroksidasi

4. Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal.

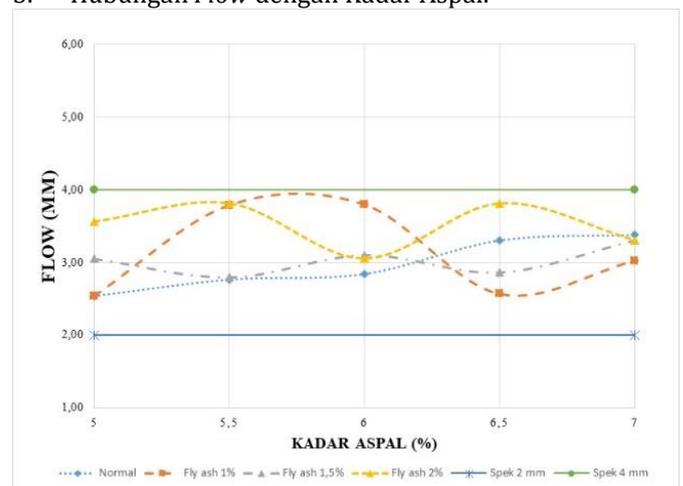
Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai dari stabilitas setiap kadar aspal mulai dari kadar aspal 5%-7% telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh Bina Marga yakni sebesar 800 kg untuk minimal nilai dari

stabilitas. Pada gambar tersebut didapatkan nilai stabilitas yang naik turun (untuk campuran aspal normal) dan terus terjadi kenaikan stabilitas mulai dari kadar aspal 5%-7% (untuk campuran aspal yang ditambahkan dengan *fly ash*), nilai stabilitas yang naik turun tersebut dikarenakan oleh daya gesek antar butiran, *interlock*/penguncian antar partikel dan daya ikat dari aspal, dimana jika daya gesek, penguncian dan daya ikat tinggi maka akan menghasilkan nilai stabilitas yang tinggi, tetapi sebaliknya jika daya gesek, penguncian dan daya ikat rendah maka stabilitas akan menurun. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, di samping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkanpun rendah. Hal ini menghasilkan *film* aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah.



Gambar 9. Grafik Stabilitas (minimal 800 Kg)

5. Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal.

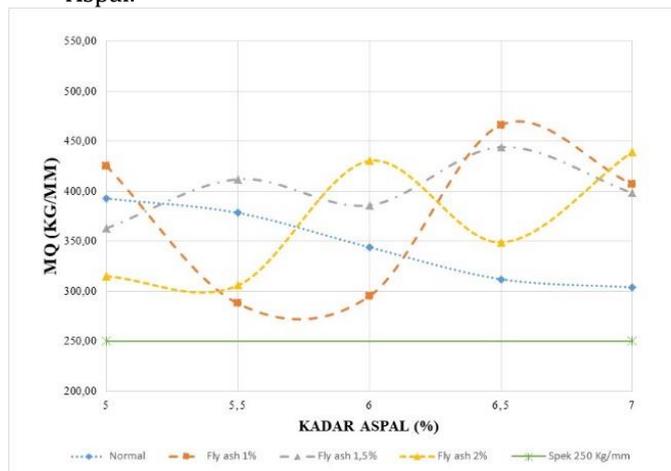


Gambar 10. Grafik *flow* (2mm-4mm)

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai dari *flow* setiap kadar aspal mulai dari kadar aspal 5%-7% (baik campuran aspal normal ataupun campuran aspal dengan penambahan *fly ash*) telah memenuhi spesifikasi yang telah di tentukan oleh Bina Marga yakni sebesar 2 mm - 4 mm, walaupun nilai dari *flow*-nya mengalami naik turun (campuran aspal dengan penambahan *fly ash*), dengan semakin besar/semakin tinggi nilai *flow* yang terdapat pada

suatu lapisan laston lapis aus maka lapisan tersebut semakin mampu menahan beban (tingkat fleksibilitas laston menjadi tinggi dan juga deformasi terhadap beban menjadi tinggi) namun sebaliknya jika nilai *flow* rendah/semakin rendah maka fleksibilitas dan juga deformasinya rendah. Nilai *flow* selalu berkaitan dengan nilai *marshall quotient* (MQ) dimana jika nilai MQ tinggi maka nilai *flow* menjadi rendah, begitupun sebaliknya jika nilai MQ rendah maka nilai dari *flow* menjadi tinggi.

6. Hubungan MQ (*Marshall Quotient*) dengan Kadar Aspal.



Gambar 11. Grafik *Marshall Quotient* (minimal 250 Kg/mm)

Pada **Gambar 11** dapat dilihat bahwa nilai *marshall quotient* pada kadar aspal 5% menjadi nilai *marshall quotient* yang paling besar untuk campuran aspal normal, dan pada kadar aspal 6,5% menjadi nilai MQ yang paling besar untuk campuran aspal dengan penambahan *fly ash*, karena pada gambar tersebut nilai *marshall quotient* mengalami naik turun mulai dari kadar aspal terendah (5%) sampai dengan kadar aspal terbesar (7%), tetapi walaupun nilai *marshall quotient* mengalami naik turun nilai tersebut masih masuk kedalam spesifikasi/persyaratan yang telah ditentukan oleh Bina Marga yakni minimal 250 kg/mm. Nilai MQ menunjukkan fleksibilitas campuran yaitu semakin besar nilai MQ pada suatu campuran maka akan semakin kaku (bila terlalu kaku cenderung mudah retak) campuran tersebut, demikian juga bila semakin kecil nilai MQ maka tingkat kelenturan dan plastisitas (terlalu lentur cenderung kurang stabil) campuran akan semakin besar. Nilai *marshall quotient* ini dipengaruhi oleh nilai *flow*, dimana jika nilai *flow* tinggi maka nilai *marshall quotient* akan menjadi rendah, tetapi jika nilai *flow* rendah maka nilai dari *marshall quotient* akan menjadi tinggi (dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11).

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa campuran aspal dengan penambahan bahan pengisi yang berupa abu batu bara dilihat dari keseluruhan nilai karakteristik *marshall* nilainya rata-rata berada di atas nilai dari karakteristik *marshall* campuran aspal normal, sehingga

abu batu bara ini dapat dijadikan sebagai bahan pengisi untuk campuran Laston Lapis Aus, persentase abu batu bara yang baik digunakan adalah 2% (dilihat dari karakteristik *marshall*), campuran aspal dengan ditambahkan abu batu bara ini dapat digunakan untuk jalan-jalan yang LHR-nya tinggi/jalan dengan kendaraan berat dan didapatkan KAO untuk campuran aspal normal (6,65%), untuk campuran aspal dengan penambahan abu batu bara 1% (6,90%); 1,5% (6,90%); dan 2% (6,95%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada AMP. PT. Prayoga Pertambangan dan Energi yang telah memfasilitasi penulis dalam hal penelitian ini (laboratorium dan bahan penelitian) dan PT. SCG *Jayamix* Indonesia yang telah memberikan penulis bahan yang berupa *fly ash* untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hamirhan, *Konstruksi Jalan Raya:Perancangan Perkerasan Jalan Raya*. Bandung: Nova, 2005.
- [2] Bina Marga, *Spesifikasi Umum Revisi III*. 2010.
- [3] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia, 2007.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, "Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall," *SNI 06-2489-1991*. Jakarta, 1991.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, "Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal," *SNI 03-6723-2002*. Jakarta, 2002.