

PENGGUNAAN ABU BATU BARA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC - WC

(The Use of Coal Ash as a Replacement of Fine Aggregate on Concrete AC-WC Asphalt Mixture)

Iqbal Zulfikar¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

E-mail: iqbalzulfikar25@gmail.com

Diterima 5 April 2021, Disetujui 15 Mei 2021

ABSTRAK

Penggunaan perkerasan lentur atau flexible pavement (Laston) semakin meluas dikarenakan kemudahan dalam pelaksanaan pengerjaan jalan tersebut sehingga banyak pembangunan yang dilakukan di Indonesia menggunakan perkerasan jalan lentur terutama Laston, Laston memiliki beberapa lapisan diantaranya Laston AC-WC, Laston AC-BC, dan Laston-Pondasi. Laston AC-WC sering mengalami kerusakan dikarenakan lapisan tersebut terletak pada permukaan jalan sehingga langsung bersentuhan dengan kendaraan dan cuaca. Sehingga permukaan jalan menjadi berlubang, licin dan bergelombang. Sehingga dapat membahayakan bagi pengguna lalu lintas. Oleh karena itu, harus dilakukan perbaikan pada permukaan jalan tersebut. Maka dari itu dilakukan penelitian untuk mengembangkan kualitas dari perkerasan lentur agar menjadi lebih tahan lama dan ketahanan aus perkerasan tersebut menjadi lebih baik. Dengan menggunakan material alternatif batubara dikarenakan material tersebut tersedia. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen. Mutu yang direncanakan untuk perancangan campuran tidak ditentukan, tetapi diberikan batasan yang sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Benda uji memiliki 3 variabel dengan kadar agregat halus 100% pasir, agregat halus 75% pasir dan 25% abu batubara, dan 50% pasir dan 50% abu batubara dengan masing-masing kadar aspal 5% - 7%. Selanjutnya dilakukan Marshall test terhadap benda uji dan mendapatkan hasil terbaik jika dibandingkan dengan variabel agregat halus 100% pasir yaitu pada variabel 75% pasir dan 25% abu batubara dengan 6,5% kadar aspal menunjukan nilai stabilitas sebesar 1604,39 dengan nilai flow 2,58 dan menghasilkan Marshall quantient (MQ) sebesar 653,37 kg/mm.

Kata kunci: Perkerasan Lentur, Laston AC-WC, Pengujian Marshall, Batubara, Spesifikasi Bina Marga 2018

ABSTRACT

The use of bending or flexible pavement (Laston) is increasingly widespread because of the ease in the implementation of the road work so that many developments conducted in Indonesia using the pavement especially Laston, Laston has several layers such as Laston AC-WC, Laston AC-BC, and Laston-Foundation. Laston AC-WC often suffered damage because the coating is located on the surface of the road so direct contact with vehicles and weather. So that the road surface becomes perforated, slippery, and wavy. So it can be harmful to traffic users. Therefore, a correction should be made on the surface of the road. Therefore, research is done to develop the quality of bending in order to be more durable and the wear resistance of the Pavement is better. By using the materials of the coal, because the material is available. Research conducted using experimental methods. The quality planned for the design of the mixture is not determined, but is given a limitation in accordance with Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 standards. The test object has 3 variables with a fine aggregate rate of 100% sand, fine aggregate of 75% sand and 25% ash coal, and 50% sand and 50% ash coal with each asphalt content of 5%-7%. Further Marshall test is conducted against the test objects and get the best results when compared to the fine aggregate variable 100% of the sand is in the variable 75% sand and 25% ash coal with 6.5% of the asphalt rate to show the stability value of 1604.39 with flow value 2.58 and produce the Marshall quantient (MQ) of 653.37 kg/mm.

Keywords: Flexible pavement, Asphalt Concrete-WC, Marshall test, Coal, General Specifications of Bina Marga 2018

PENDAHULUAN

Batubara adalah salah satu sumber daya alam yang ada di Indonesia. Data dari kementerian ESDM menunjukkan bahwa sampai dengan 2019 produksi batubara di Indonesia mencapai 565,81 ton, dan dalam beberapa tahun yang lalu dari 2014-2018 Indonesia telah mengkonsumsi sekitar 115 ton batubara dan digunakan diberbagai sektor seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan industri lainnya. Dengan demikian polusi yang dihasilkan oleh karena penggunaan batubara sangatlah besar. Sehingga perlu upaya untuk dapat mengurangi polusi tersebut.

Secara umum batubara dapat diartikan sebagai batuan organik berwarna gelap yang terbentuk dari jasad tumbuh-tumbuhan yang tertimbun oleh lapisan tanah sehingga padat karena tekanan dan suhu didalam lapisan bumi. Kandungan utama batu bara adalah atom karbon, nitrogen, dan oksigen. Batubara didalam bidang lingkungan merupakan pencemar lingkungan yang sangat besar. Flue gas hasil pembakaran batubara mengandung Cox, SOx dan NOx dalam jumlah yang besar. Di samping itu abu terbang (*fly ash*) juga merupakan total suspended solid ke udara menurut [1].

Abu terbang pada dasarnya tidak mempunyai kemampuan untuk mengikat tetapi dengan adanya partikel yang ukurannya halus dan ditambah kehadiran air, oksida silica yang terkandung dalam abu terbang akan menimbulkan reaksi kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen yang menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat [2].

Perkerasan jalan merupakan lapisan yang dibuat oleh manusia, untuk dijadikan prasarana transportasi agar dapat mempermudah kendaraan melintas dengan aman dan nyaman. Lapisan perkerasan jalan berada pada permukaan tanah dan langsung bersentuhan dengan ban roda kendaraan, lapisan ini terbuat dari campuran antara agregat batuan keras dan bahan pengikat seperti aspal, semen ataupun tanah liat.

Perkerasan jalan yang berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar tanpa menimbulkan kerusakan berarti pada konstruksi jalan itu sendiri, sehingga memberikan kenyamanan kepada pengguna selama masa pelayanannya. Untuk itu dalam perancangan perlu dipertimbangkan seluruh faktor-faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan perkerasan jalan, seperti fungsi jalan, kelas jalan, kinerja perkerasan, umur perancangan, volume lalu lintas, tanah dasar, dan lain sebagainya.

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu. Suatu campuran aspal beton harus memiliki karakteristik campuran yang baik. Karakteristik campuran yang baik meliputi stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahanan geser, kedap air, kemudahan pekerjaan (*workability*) dan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) [3], selanjutnya dijelaskan sebagai berikut.

1. Durabilitas

Stabilitas adalah kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang

tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*) atau tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang alur ataupun *bleeding*. Stabilitas terjadi dari hasil getaran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

2. Durabilitas

Durabilitas yaitu ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

3. Fleksibilitas (kelenturan)

Fleksibilitas atau biasa disebut kelenturan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*) ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat diatas tanah asli.

4. Skid Resistance (kekesatan)

Skid Resistance yaitu kekesatan yang diberikan oleh perkerasan jalan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu keadaan jalan basah maupun di waktu keadaan jalan sedang kering. *Skid resistance* dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

5. Impermeability (kedap air)

Impermeability yaitu kemampuan beton aspal untuk tidak dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal.

6. Fatigue resistance (ketahanan leleh)

Fatigue resistance atau dengan kata lain ketahanan leleh adalah kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).

7. Workability (kemudahan pelaksanaan)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

Dalam spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2018), Laston (AC) terdiri dari tiga jenis campuran yaitu *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*, *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*, dan *Asphalt Concrete – Base (AC-Base)*. Setiap jenis campuran Aspal beton yang menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan aspal alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing jenis campuran yang disebutkan didalam spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2018 [4]:

1. Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)

Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Lapisan ini harus memiliki permukaan yang rata dan nyaman serta memiliki kekesatan yang tinggi karena merupakan lapisan yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan.

2. Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)

Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) merupakan lapisan perkerasan jalan yang berada diantara lapisan aus (AC-WC) dan lapisan pondasi (AC-Base). Lapisan

AC-BC ini berguna untuk menyalurkan atau meneruskan beban yang diterimanya menuju ke pondasi atau menuju ke lapisan yang ada di bawahnya.

3. *Asphalt Concrete – Base (AC-Base)*

Asphalt Concrete – Base merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan AC-BC dan diatas lapisan pondasi bawah (*Subbase Course*). Lapisan ini berfungsi untuk memberi dukungan atau menerima beban kendaraan dari lapisan AC-BC untuk selanjutnya diteruskan kembali ke lapisan pondasi bawah.

Berikut ini adalah ketentuan sifat-sifat campuran laston AC-WC, AC-BC, dan AC-Base, sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018.

Tabel 1. Ketentuan Sifat Campuran Laston yang dimodifikasi (*AC-Mod*).

Sifat-sifat Campuran	Laston Modifikasi		
	Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang	75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6	
	Maks	1,2	
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0	
	Maks	5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000	2250
Pelelehan (mm)	Min	2	
	Maks	4	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2	
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min	2500	

Di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 disebutkan bahwa ukuran butiran agegat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu sebagai berikut :

1. Agregat Kasar yaitu agregat yang memiliki ukuran butiran yang lebih besar atau dengan kata lain tertahan saringan No.4 (4,75 mm).
2. Agregat Halus yaitu agregat dengan ukuran butiran lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan saringan No.200.
3. Bahan pengisi atau biasa disebut *filler* agregat ini memiliki ukuran butiran yang sangat halus yaitu butiran yang lolos saringan No.200.

Tabel 2. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal.

Ukuran Ayakan	(mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat		
		Laston (AC)		
		WC	BC	Base
1 ½"	37,5			100
1"	25		100	90 - 100
¾"	19	100	90 - 100	76 - 90

½"	12,5	90 - 100	75 - 90	60 - 78
¾"	9,5	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150	6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	4 - 8	4 - 8	3 - 7

METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

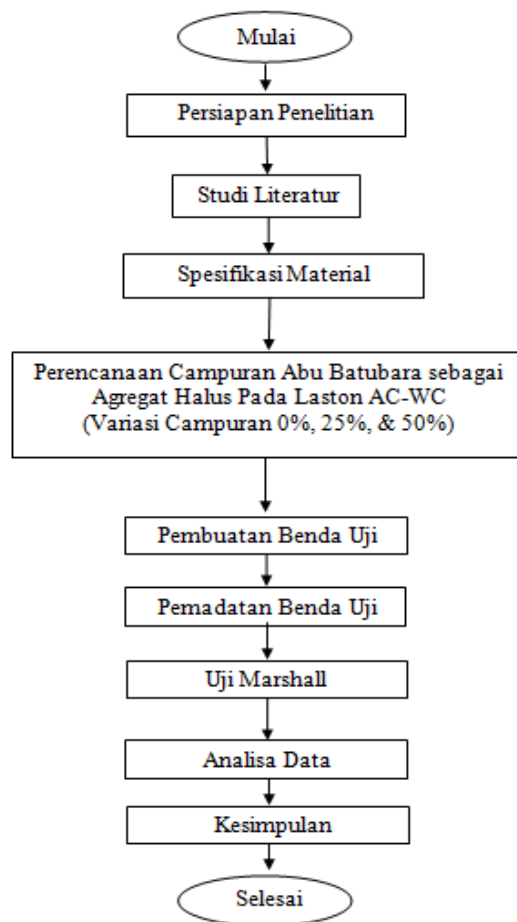
Lokasi penelitian berada di Laboratorium Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pancasila Jakarta. Waktu yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah 4 bulan tehitung dari bulan Maret hingga bulan Juli 2020.

Pengujian Marshall

Metode *Marshall* memiliki prinsip dasar yaitu pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran yang telah didapat dari hasil uji gradasi, sesuai spesifikasi campuran. Pengujian *marsshall* untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau ASSHTO T245-90.

Marshall Test merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) dan dilengkapi arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran, sedangkan arloji kelelahan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*), yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon.

Tahapan pekerjaan yaitu pemeriksaan berat isi agregat baik itu agregat halus maupun agregat kasar yang akan dipakai untuk pembuatan benda uji selanjutnya dilakukan pembuatan rencana campuran material aspal beton AC-WC dengan merencanakan campuran abu batubara sebagai pengganti dari agregat halus (pasir) dengan masing masing campuran sebesar 0%, 25%, dan 50%. Tahapan selanjutnya pembuatan benda uji dengan cara *hot mix*. Setelah itu dilakukan perawatan pada benda uji yang dilakukan dengan cara direndam selama 24 jam dengan suhu ruangan. Selanjutnya dilakukan pengujian pada benda uji pada setiap pengujian. Lalu dilakukan pengumpulan data dari hasil pengujian, setelah itu dilakukan analisa data yang diakhiri dengan penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 3. Rencana Campuran Laston AC-WC

Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Agregat Halus (%)		Ag. Kasar (%)	Bahan Pengisi (%)
		Pasir	Abu Batu bara		
1	5 - 7	40	0	50	10
2	5 - 7	30	10	50	10
3	5 - 7	20	20	50	10

Keterangan :

1. Benda Uji Kode 1 adalah benda uji dengan agregat halus 100% pasir.
2. Benda Uji Kode 2 adalah benda uji dengan agregat halus 75% pasir dan 25% abu batubara.
3. Benda Uji Kode 3 adalah benda uji dengan 50% pasir dan 50% abu batubara.

Proses Pembuatan Benda Uji

Material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji dipersiapkan terlebih dahulu. Hal pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data-data yang akan dibutuhkan dalam perancangan campuran aspal beton (laston), meliputi jenis agregat kasar, gradasi, jenis agregat halus, dan jenis aspal. Pada perancangan campuran ini tidak ditentukan mutu yang direncanakan, akan tetapi ditentukan oleh prosentase substitusi batu bara terhadap agregat halus.

Pembuatan komposisi campuran aspal beton (laston), campuran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu komposisi campuran agregat halus menggunakan prosentase yang akan dijabarkan sebagai berikut :

- Agregat Halus 100% pasir.
 - Agregat Halus 75% pasir dan 25% abu batubara.
 - Agregat Halus 50% pasir dan 50% abu batubara.
- dan kadar aspal masing masing sebesar 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, dan 7%. Selanjutnya dilakukan pencampuran terhadap bahan material lainnya yang telah direncanakan. Setelah itu material yang telah disiapkan dicampurkan agar menjadi homogen dengan suhu 150°C, setelah material menjadi homogen atau secara kasat mata material menjadi berwarna hitam aspal, lalu dilakukan penumbukan sebanyak 75 kali pada alat pemadat sesuai dengan SNI atau AASTHO, setelah itu dikeluarkan briket dengan menggunakan *extruder*, kemudian benda uji di rendam selama 24 jam dalam suhu ruangan di bak perendaman. Untuk mendapatkan berat jenuh dari benda uji. Setelah itu benda uji dilap hingga terjadi kondisi SSD. Lalu benda uji dites dengan menggunakan alat *Marshall*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini disajikan tabel hasil pengujian benda uji kode 1.

Tabel 4. Hasil Pengujian Benda Uji Kode 1

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal				
	5	5,5	6	6,5	7
Stabilitas (Kg)	1872,52	1781,70	1834,69	1725,05	1805,06
Flow (mm)	2,77	3,81	3,80	2,77	2,75
MQ (kg/mm)	718,48	578,62	484,37	634,19	694,64
VIM (%)	22,01	20,70	18,73	21,14	22,50
VMA (%)	63,88	73,02	84,12	86,25	90,20
VFA (%)	83,76	84,12	84,58	84,20	84,00

Pada hasil pengujian Marshall pada Benda Uji kode 1 didapatkan hasil bahwa rata-rata karakteristik hasil pengujian telah memenuhi syarat yang tercantum pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hanya ada 1 karakteristik campuran yang tidak memenuhi persyaratan yaitu VIM atau bisa disebut Rongga dalam campuran benda uji kode 1 memiliki nilai VIM lebih dari 5,0% sehingga tidak memenuhi persyaratan yang berlaku. Nilai MQ tertinggi didapatkan oleh Benda Uji Kode 1 dengan Kadar aspal 5%, sedangkan nilai terendah ada pada kadar aspal 6%.

Tabel 5. Hasil Pengujian Benda Uji Kode 2

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal				
	5	5,5	6	6,5	7
Stabilitas (Kg)	1496,95	1435,52	1858,54	1604,39	1610,90
Flow (mm)	6,35	4,95	4,65	2,58	3,15
MQ (kg/mm)	238,57	320,30	464,25	653,37	512,26
VIM (%)	23,58	23,94	21,74	21,01	24,66
VMA (%)	48,25	52,86	61,40	68,11	67,06
VFA (%)	80,56	80,56	81,20	81,46	80,69

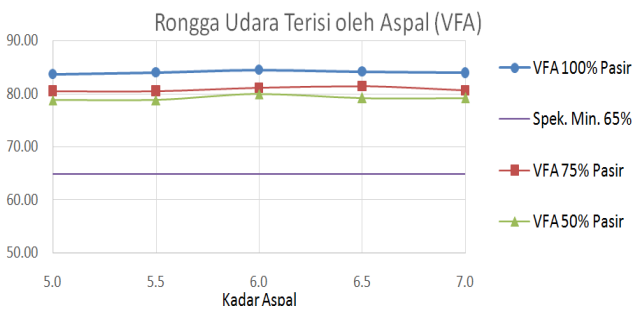
Pada hasil pengujian Marshall pada Benda Uji kode 2 didapatkan hasil bahwa rata-rata karakteristik hasil pengujian telah memenuhi syarat yang tercantum pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hanya ada 2 karakteristik campuran yang tidak memenuhi persyaratan yaitu VIM atau bisa disebut Rongga dalam campuran benda uji kode 1 memiliki nilai VIM lebih dari

5,0% sehingga tidak memenuhi persyaratan yang berlaku. karakteristik yang tidak memenuhi selanjutnya adalah Flow dikarenakan hasil pembacaan flow meter saat benda uji kode 2 dengan kadar aspal 5, 5.5, dan 6 melebihi standar yang tercantum yaitu 4 mm. Nilai MQ tertinggi didapatkan oleh Benda Uji Kode 2 dengan Kadar aspal 6,5%, sedangkan nilai terendah ada pada kadar aspal 5%.

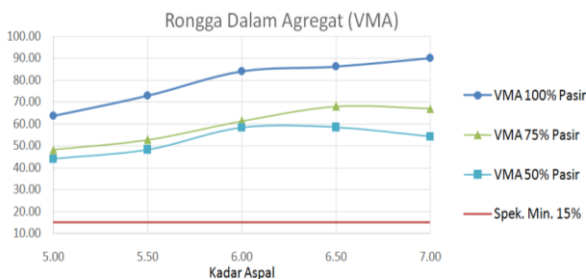
Tabel 6. Hasil Pengujian Benda Uji Kode 3

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal				
	5	5,5	6	6,5	7
Stabilitas (Kg)	1562,72	1548,99	1795,51	1505,14	1538,52
Flow (mm)	4,28	4,97	5,59	4,00	4,38
MQ (kg/mm)	367,30	312,23	321,91	386,80	362,37
VIM (%)	18,33	18,72	14,68	18,17	17,70
VMA (%)	44,13	48,35	58,42	58,51	54,35
VFA (%)	78,90	78,90	80,01	79,28	79,29

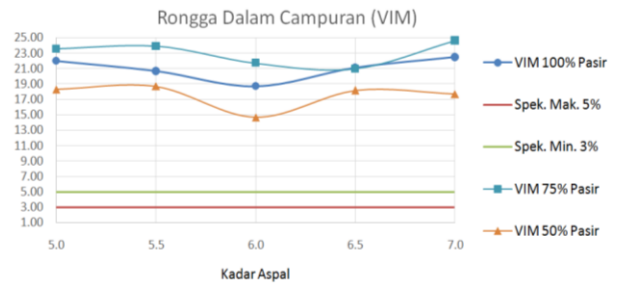
Pada hasil pengujian Marshall pada Benda Uji kode 3 didapatkan hasil bahwa rata-rata karakteristik hasil pengujian telah memenuhi syarat yang tercantum pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hanya ada dua karakteristik campuran yang tidak memenuhi persyaratan yaitu VIM atau bisa disebut Rongga dalam campuran benda uji kode 1 memiliki nilai VIM lebih dari 5,0% sehingga tidak memenuhi persyaratan yang berlaku. karakteristik yang tidak memenuhi selanjutnya adalah Flow dikarenakan hasil pembacaan flow meter saat benda uji kode 3 dengan kadar aspal 5, 5.5, 6, dan 7 melebihi standar yang tercantum yaitu 4 mm. Nilai MQ tertinggi didapatkan oleh Benda Uji Kode 3 dengan Kadar aspal 6,5%, sedangkan nilai terendah ada pada kadar aspal 5,5%. Untuk mempermudah membaca hasil penelitian ini akan disajikan dalam tampilan grafik dibawah ini.



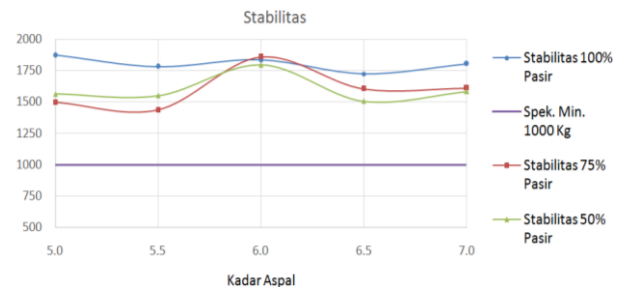
Gambar 2. Grafik Hubungan VFA



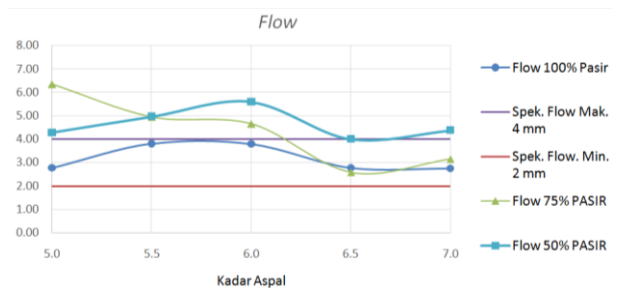
Gambar 3. Grafik Hubungan VMA



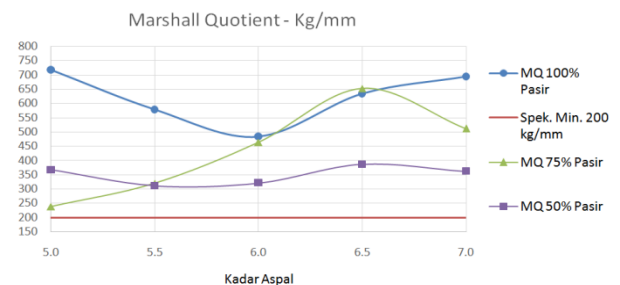
Gambar 4. Grafik Hubungan VIM



Gambar 5. Grafik Hubungan Stabilitas



Gambar 6. Grafik Hubungan Flow



Gambar 7. Grafik Hubungan MQ

KESIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan variasi agregat halus yang mendekati hasil terbaik apa bila dibandingkan dengan kondisi standar (100% Agregat Halus Pasir) yaitu campuran dengan variasi agregat halus dengan 75% Pasir dan 25% Abu Batubara. Didapatkan hasil karakteristik campuran dengan nilai VIM sebesar 21,01% nilai ini tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai VMA dan VFA masing masing sebesar 68,11% dan 81,20% nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Dan benda uji ini menghasilkan nilai stabilitas 1604,99 kg, flow 2,58 mm sehingga mendapatkan nilai MQ sebesar 653,37 kg/mm nilai MQ tersebut adalah nilai terbesar dari sampel yang telah di uji. Walaupun ada beberapa karakteristik yang belum memenuhi standar atau persyaratan agar dapat dikatakan layak untuk menjadi bahan campuran

aspal beton (Laston) AC-WC, tetapi dari 6 indikator yang ada hampir $\frac{3}{4}$ dari persyaratan tersebut campuran ini telah memenuhi persyaratan yang ada. Nilai MQ tertinggi berada pada kadar aspal dengan 6,5% pada campuran yaitu sebesar 653,37 kg/mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pasymi, *Batubara, Jilid 1*. Padang, Indonesia: Penerbit Bung Hatta University Press, 2008.
- [2] R. Hamdani and S. Satibi, "Karakteristik Mekanis dari Campuran Abu Terbang dan Abu Dasar dalam Geoteknik," *Jom F Tek.*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [3] S. Sukirman, *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung, Indonesia: Penerbit Nova Bandung, 1999.
- [4] Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, September 2018, Direktorat Jenderal Bina Marga - Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, Indonesia, 2018.