

Journal homepage: <http://jos-mrk.polinema.ac.id/> ISSN: 2722-9203 (media online/daring)

Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Limbah Abu Terbang BATUBARA

Fahmi, Ahmad K.A, Qomariah, BS., , Ir. Yunaefi., MT.

¹Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

¹kifniahmad@gmail.com, ²qomariah@polinema.ac.id, ³yunaefi@polinema.ac.id,

Abstract

Asphalt is a very important pavement material and is often used in road construction in Indonesia. Laston AC-WC is a mixture of highway pavement which is located at the top which is directly related to the vehicle's axle. As for some components of asphalt mixture, namely: (1) asphalt (2) aggregate (3) filler. One component of asphalt concrete that will be replaced is filler. This filler functions as an enhancer of stability and reduces air cavity. In this case coal ash / fly ash instead of filler components is expected to be a solution to get good quality and cheap prices, considering coal ash / fly ash is very easy to obtain and the price is relatively cheap so it is necessary to choose asphalt mixture using fly ash as a filler to test its characteristics. In this study the authors aim to find: (1) the chemical content of fly ash (2) how much influence the fly ash has on concrete asphalt mixtures with filler content variations of 0%, 25%, and 50%, (3) optimum levels of asphalt with fly substitution ash, (4) estimated cost of implementing asphalt concrete mix with fly ash substitution. This research was conducted in the Malang State Polytechnic laboratory. In the study the authors used 10 sample specimens, with an average diameter of 10 and an average height of 6.85 with variations of asphalt, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%. From the testing specimens take 24 hours, before the test specimens were tested using the Marshall method. The results of testing the characteristics of Marshall with non-substitutes get 5.25% KAO with VMA value: 22.00%, VIM: 4.62%, Stability: 851.69kg, Flow: 3.21%. This KAO value is used as a reference to look for KAO with 25% and 50% fly ash substitution. Marshall characteristic test results with 25% fly ash substitution get VMA values: 23.37%, VIM: 3.97%, Stability: 595.38kg, Flow: 4.54%. And testing the characteristics of Marshall with 25% fly ash substitution got a VMA value: 21.17%, VIM: 3.79%, Stability: 561.08kg, Flow: 4.59%. And the cheapest cost estimate is owned by Laston AC-WC with a 50% substitution at a price of Rp 5.616.136.446

Keywords: coal waste ash, fly ash, laston AC-WC

Abstrak

Aspal merupakan material perkerasan yang sangat penting dan sering digunakan dalam pembangunan jalan raya di Indonesia. Laston AC-WC merupakan perpaduan perkerasan jalan raya yang terletak di bagian atas yang berhubungan langsung dengan poros roda kendaraan. Adapun beberapa komponen campuran aspal yaitu: (1) aspal (2) agregat (3) pengisi. Salah satu komponen beton aspal yang akan diganti adalah filler. Filler ini berfungsi sebagai peningkat stabilitas dan mengurangi rongga udara. Dalam hal ini abu batubara / fly ash sebagai pengganti komponen filler diharapkan dapat menjadi solusi untuk mendapatkan kualitas yang baik dan harga yang murah, mengingat batubara ash / fly ash sangat mudah didapatkan dan harganya relatif murah sehingga perlu dilakukan pemilihan aspal. campuran menggunakan fly ash sebagai filler untuk menguji karakteristiknya. Dalam penelitian ini penulis bertujuan untuk mengetahui: (1) kandungan kimia fly ash (2) seberapa besar pengaruh fly ash terhadap campuran aspal beton dengan variasi filler content 0%, 25%, dan 50%, (3) kadar aspal optimum dengan substitusi abu layang, (4) perkiraan biaya pelaksanaan campuran beton aspal dengan substitusi abu layang. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Politeknik Negeri Malang. Dalam penelitian penulis menggunakan 10 spesimen sampel, dengan diameter rata-rata 10 dan tinggi rata-rata 6,85 dengan variasi aspal, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%. Dari pengujian spesimen membutuhkan waktu 24 jam, sebelum spesimen uji dilakukan pengujian dengan menggunakan metode Marshall. Hasil pengujian karakteristik Marshall dengan non substitusi didapatkan KAO 5,25% dengan nilai VMA: 22,00%, VIM: 4,62%, Stabilitas: 851,69kg, Arus: 3,21%. Nilai KAO inilah yang dijadikan acuan untuk mencari KAO dengan substitusi 25% dan 50% fly ash. Hasil pengujian karakteristik Marshall dengan substitusi fly ash 25% didapatkan nilai VMA: 23.37%, VIM: 3.97%, Stabilitas: 595.38kg, Flow: 4.54%. Dan pengujian karakteristik Marshall dengan substitusi fly ash 25% didapatkan nilai VMA: 21.17%, VIM: 3.79%, Stabilitas: 561.08kg, Flow: 4.59%. Dan estimasi biaya termurah dimiliki Laston AC-WC dengan substitusi 50% dengan harga Rp 5.616.136.446.

Kata kunci: abu limbah batubara, fly ash, laston AC-WC

1. PENDAHULUAN

Beton aspal merupakan salah satu jenis perkerasan lentur. Campuran beton aspal tersebut terdiri dari agregat bergradasi menerus dengan bahan bitumen. Kekuatan aspal beton ada pada keadaan butir agregat yang saling mengunci dan sedikit pada pasir/filler/bitumen sebagai mortar. Aspal beton untuk jenis perkerasan jalan terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan (filler). Aspal berperan sebagai pengikat atau perekat antar partikel agregat dan agregat berperan sebagai tulangan. Menurut penelitian Anas (2009), mencoba menggunakan bahan pengisi filler abu terbang batu bara yang diharapkan menambah daya tahan lapis perkerasan beton aspal terhadap kerusakan yang disebabkan oleh cuaca dan beban lalu lintas. Penelitian ini menggunakan variasi kadar *filler* 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% terhadap total campuran. Hasil penelitian menunjukkan 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 semakin meningkat. Menurut penelitian Zulfazli dkk (2016) menggunakan abu batu bara sebagai filler pada perkerasan aspal beton. Variasi yang digunakan adalah 0%, 25%, dan 50% terhadap berat filler. Dari hasil akhir penelitian nilai flow mengalami peningkatan pada variasi 25% dengan nilai 3,3 mm dan kemudian meningkat sebesar 0,91% menjadi 3,33 mm pada variasi 50%, dan terus meningkat seiring bertambahnya abu batu bara dalam campuran.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa KAO pengujian karakteristik marshall tanpa abu terbang batu bara?
2. Bagaimana pengaruh abu terbang batu bara terhadap karakteristik marshall dengan substitusi 25% dan 50%?
3. Bagaimana estimasi biaya perkerasan Laston AC-WC dengan substitusi abu terbang batu bara ?

Jalan Raya

Menurut Silvia dan Sukirman (1994) jalan raya adalah jalur tanah di atas permukaan bumi yang sengaja dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran-ukuran dan konstruksinya sehingga dapat di gunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang-barang dari tempat yang satu ke tempat yang lainnya dengan cepat dan mudah.

Kriteria konstruksi jalan raya

Guna dapat rasa aman dan nyaman kepada sipemakai jalan, maka konstruksi perkerasan jalan haruslah memenuhi syarat-syarat tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok yaitu:

Syarat-syarat kekuatan:

- a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu untuk menyebarkan beban/muatan lalu lintas ketanah dasar.
- b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap kelapisan bawahnya.
- c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
- d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Laston AC-WC

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur diinstalai pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, diamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145°-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan nama *Hot mix*. (Silvia Sukirman, 2003).

Jenis campuran aspal

Jenis campuran beraspal dan ketebalan lapisan harus seperti yang ditentukan pada gambar rencana.

Untuk AC (aspal concrete) sendiri dibagi menjadi beberapa tipe, antara lain:

1. *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*, Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*).
2. *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)*, merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus.
3. *Asphalt Concrete – Base (AC-Base)*, Merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.

Komposisi Beton aspal

Bahan penyusun laston adalah aspal, agregat, dan bahan pengisi (filler). Hasil yang baik dan berkualitas dalam menghasilkan perkerasan jalan dapat diperoleh jika menggunakan bahan-bahan dengan kualitas baik dan memenuhi persyaratan SNI.

Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat atau yang diperoleh dari hasil pemurnian minyak bumi, atau yang merupakan kombinasi dari bitumen-bitumen tersebut, satu dan yang lainnya atau dengan minyak

bumi atau turunan turunan dari padanya (Standard ASTM D-8).

Tabel 1 Standar pengujian aspal

NO	Jenis pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C	SNI 06-2456-1991	60-70
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-6434-1991	≥48
3	Daktilitas, 25°C	SNI 06-2432-1991	≥100
4	Titik Nyala, °C	SNI 06-2433-1991	≥232
5	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥1,0
6	Berat yang Hilang, %	SNI 06-2441-1991	≥0,8
7	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	SNI 06-2456-1991	≥0,75
8	Kelarutan Terhadap CCL4	SNI 06-2443-1991	≥0,99

Agregat

- Agregat Kasar

Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.

Tabel 2 standar agregat Kasar

Pengujian	standart	% Nilai yang hancur
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%
Abrasi dengan mesin los angeles	SNI 03-2417-1991	Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Maks.95%
Partikel pipih dan lonjong	SNI 03-1737-1989	Maks.25%
Material lolos ayakan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks.1%

- Agregat Halus

Agregat bergradasi halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar

sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

Tabel 3 standar agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	AC bergradasi Halus Min 70% untuk AC bergradasi kasar.
Material lolos ayakan no. 200	SNI 03-4428-1997	Maks.8%
Kadar lempung	SNI 3432:2008	Maks.1%

Bahan pengisi (filler)

Filler adalah sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan no. 200, filler atau bahan pengisi ini akan mengisi rongga antara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besar rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel yang lolos saringan no. 200, sehingga membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar. (Sukirman, 1992).

Fly Ash

Abu terbang batu bara adalah bahan limbah dari pembakaran batu bara, yang dikategorikan sebagai limbah b3 (PP No. 85 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun). menurut SNI 03-6414-2002 mendefinisikan pengertian abu terbang Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik.

Agregat gabungan

Agregat gabungan ialah untuk mencari persyatan gradasi campuran perencanaan jobmix. Penggabungan agregat ini sangat penting untuk mengetahui batas atas dan batas bawah agregat.

Tabel 4 standar agregat gabungan

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran Lapis Aspal Beton (AC)					
	Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
	WC	BC	Base	WC	BC	Base
37,5	-	-	100	-	-	100
25	-	100	90 - 100	-	100	90 - 100
19	100	90 - 100	73 - 90	100	90 - 100	73 - 90
12,5	90 - 100	74 - 90	61 - 79	90 - 100	71 - 90	55 - 76
9,5	72 - 90	64 - 82	47 - 67	72 - 90	58 - 80	45 - 66
4,75	54 - 69	47 - 64	39,5 - 50	43 - 63	37 - 56	28 - 39,5
2,36	39,1 - 53	34,6 - 49	30,8 - 37	28 - 39,1	23 - 34,6	19 - 26,8
1,18	31,6 - 40	28,3 - 38	24,1 - 28	19 - 25,6	15 - 22,3	12 - 18,1
0,6	23,1 - 30	20,7 - 28	17,6 - 22	13 - 19,1	10 - 16,7	7 - 13,6

0,3	15,5 - 22	13,7 - 20	11,4 - 16	9 - 15,5	7 - 13,7	5 - 11,4
0,15	9 - 15	4 - 13	4 - 10	6 - 13	5 - 11	4,5 - 9
0,075	4 - 10	4 - 8	3 - 6	4 - 10	4 - 8	3 - 7

2. METODE

Perencanaan kadar aspal

Kadar aspal dapat direncanakan setelah dilakukannya pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya sebagai berikut :

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

Keterangan:

Pb = perkiraan kadar aspal optimum

CA = nilai presentase agregat kasar

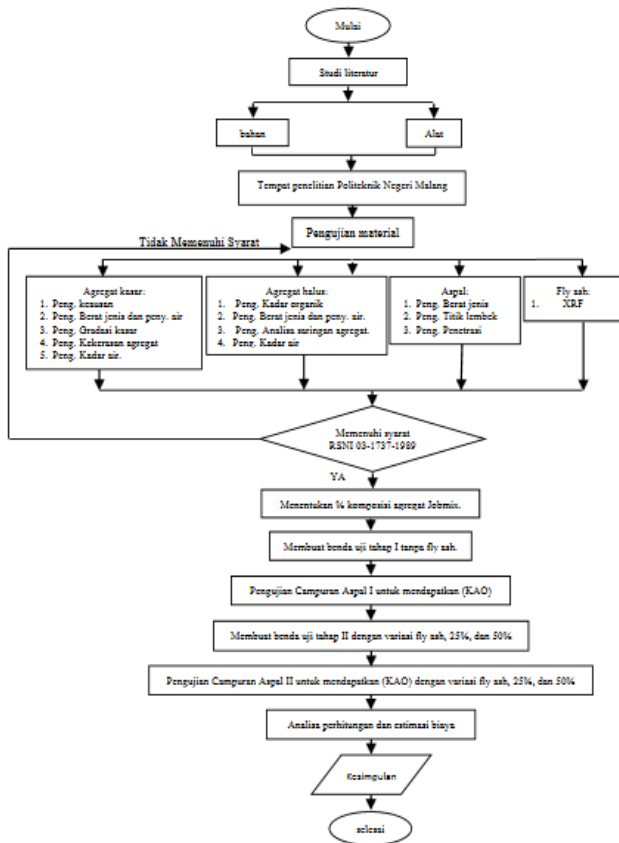
FA = nilai presentase agregat halus

FF = nilai presentase filler

K = konstanta (kira-kira 0,5 – 1,0)

Hasil perhitungan Pb dibulatkan 0,5 keatas dan kebawah.

Gambar 1 Flow Chart



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian fly ash

Abu terbang batu bara kelas C adalah abu limbah dari hasil pembakaran lignite atau batu bara subbituminous, abu terbang kelas C mengandung kadar kalsium total, yang dinyatakan kalsium oksida (CaO) lebih tinggi dari 10%.

Abu limbah yang di pakai dalam substitusi ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4 pengujian fly ash

Laporan Hasil uji xrf		
Helium		
Compound	Conc(%)	Metode
Na2O	2,3	XRF
MgO	0,99	
Al2O3	15,2	
SiO2	48,2	
K2O	3,1	
CaO	17,7	
TiO2	3,73	
V2O5	0,48	
Cr2O3	0,9	
MnO	4,3	
BaO	3,2	

Pengujian aspal

Pemeriksaan ini diperlukan untuk menentukan seberapa baik aspal itu baik untuk campuran aspal hotmix. Aspal yang digunakan adalah aspal dari Pertamina. Secara umum data yang diperlukan adalah titik leleh dan ter, penetrasi, dan berat jenis.

Tabel 5 pengujian parameter fisik aspal

Jenis Pengujian	Hasil Uji	Satuan	Standar Mutu	Referensi	Keterangan
Penetrasi	79,1	°C	60-79	RSNI 03-1737-1989	memenuhi
titik leleh	48,5	°C	48-58	RSNI 03-1737-1989	memenuhi
berat jenis	1,02	gr	min. 1	RSNI 03-1737-1989	memenuhi

Pengujian agregat

1. Agregat kasar

Tabel 6 pengujian agregat kasar

Jenis Pengujian	Hasil Uji	Satuan	Standar mutu	Referensi	Keterangan
berat jenis bulk	2,79	Kg/c m3	Min. 2,50	RSNI 03-1737-1989	memenuhi

penyerapan agr.	2,1 1	%	Maks. 3	RSNI 03-1737-1989	memenuhi
Keausan	9,2 2	%	< 40	RSNI 03-1737-1989	memenuhi
kadar air	1,8 9	%	1 - 5	RSNI 03-1737-1989	memenuhi

2. Agregat halus

Tabel 7 pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil Uji	Satuan	Standar Mutu	Referensi	Keterangan
berat jenis bulk	2,5 3	Kg/cm ³	Min. 2,50	RSNI 03-1737-1989	Memenuhi
penyerapan agr.	2,0 9	%	Maks. 3	RSNI 03-1737-1989	Memenuhi
kadar lumpur	0,7 6	%	1%	RSNI 03-1737-1989	Memenuhi
kadar air	2,6	%	1 - 5	RSNI 03-1737-1989	Memenuhi

Hasil penggabungan agregat

Tabel 8 penggabungan agregat kasar dan halus

Kebutuhan agregat kasar dan agregat halus					
Ukuran Saringan (mm)	Ag. Kasar (%)	Ag. Halus (%)	Filler (%)	prosentase Lolos (%)	Hasil (gr)
19	100,00	-	6	100	6
12,5	81,23	-	6	92,49	7,51
9,5	64,60	100,00	6	85,84	6,65
4,75	0,00	96,37	6	58,04	27,80
2,36	0,00	86,79	6	52,86	5,18
1,18	0,00	62,31	6	39,64	13,22
0,6	0,00	38,81	6	26,96	12,69
0,3	0,00	21,31	6	17,51	9,45
0,15	0,00	15,41	6	14,32	3,19

0,075		0,00	6	6	8,32
Total					100

Perancangan kadar aspal

Tabel 9 perencanaan kadar aspal

Perencanaan campuran kadar aspal			
Pb = 0,035 (%CA)	0,045 (%FA)	0,18 (%FF)	K
CA	FA	FF	K
1,4	2,43	1,08	0,5
total perkiraan aspal			5,41

Hasil perhitungan rencana kadar aspal, didapatkan nilai aspal sebesar 5,5%. Dari hasil tabel ini dibulatkan 0,5 dengan 2 kadar diatas dan 2 kadar dibawahnya.

Pengujian karakteristik marshall

Tabel 10 pengujian karakteristik marshall 0%

Sifat-sifat campuran	Hasil dari nilai rata-rata pengujian					Spesifikasi
	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	
kadar aspal	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	
VIM	3,78	4,25	4,62	3,67	3,15	Min. 3,5 % Maks. 5,5 %
VMA	19,94	20,45	22,00	20,87	21,43	Min. 15%
VFA	81,01	79,33	79,09	83,49	85,31	Min. 65%
Stabilitas	941,65	864,61	851,69	857,58	847,78	Min. 800kg
Kelelahan	3,09	3,18	3,21	3,47	2,86	Min. 3mm
Marshall Quotien	313,88	285,87	274,71	271,01	307,08	Min. 250kg/mm

Dari pengujian dengan karakteristik marshall yang didapatkan Nilai VIM semua memenuhi kecuali aspal yang memiliki kadar tertinggi tidak memenuhi syarat dikarenakan rongga dalam campuran yang terlalu kecil, Nilai VMA semua memenuhi syarat, Nilai VFA semua memenuhi syarat, Nilai Stabilitas semua memenuhi syarat, Nilai Kelelahan hanya ada 1 yang tidak memenuhi syarat, Nilai Marshall Quotien semua memenuhi syarat.

Tabel 11 pengujian karakteristik marshall tanpa fly ash

Parameter Marshall	Rentan Kadar Aspal yang Memenuhi Spesifikasi				
	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Stabilitas					
Kelelahan					

VIM					
VMA					
Kadar aspal optimum					

Dari pengujian karakteristik marshall tanpa fly ash didapatkan KAO 5,25%.

Tabel 12 pengujian karakteristik marshall dengan substitusi fly ash 25% dengan kadar aspal 5,25%.

Sifat-sifat campuran	Nilai rata-rata hasil dari pengujian	Spesifikasi
kadar aspal	5,25%	
VIM	3,97	Min. 3,5 % Mak. 5,5 %
VMA	23,37	Min. 15%
VFA	83,40	Min. 65%
Stabilitas	595,38	Min. 800kg
Kelelahan	4,54	Min. 3mm
Marshall Quotien	130,39	Min. 250kg/mm

Dari pengujian karakteristik marshall didapatkan hasil pengujian campuran didapatkan nilai-nilai seperti berikut: Nilai VIM dari substitusi abu terbang batu bara 25% : 3,97%, Nilai VMA dari substitusi abu terbang batu bara 25% : 23,37%, Nilai VFA dari substitusi abu terbang batu bara 25% : 83,40%, Nilai Stabilitas dari substitusi abu terbang batu bara 25% : 595,38kg, Nilai Kelelahan dari substitusi abu terbang batu bara 25% : 4,54mm, Nilai Marshall Quotien dalam substitusi abu terbang batu bara 25% yakni: 130,39kg/mm.

Tabel 13 pengujian karakteristik marshall dengan substitusi fly ash 50% dengan kadar aspal 5,25%.

Sifat-sifat campuran	Nilai rata-rata hasil dari pengujian	Spesifikasi
kadar aspal	5,25%	
VIM	3,79	Min. 3,5 % Mak. 5,5 %
VMA	21,17	Min. 15%
VFA	82,11	Min. 65%

Stabilitas	561,08	Min. 800kg
Kelelahan	4,59	Min. 3mm
Marshall Quotien	122,29	Min. 250kg/mm

Dari pengujian karakteristik marshall didapatkan nilai-nilai seperti berikut: Nilai VIM dari substitusi abu terbang batu bara 50% : 3,97%, Nilai VMA dari substitusi abu terbang batu bara 50% : 23,37%, Nilai VFA dari substitusi abu terbang batu bara 50% : 83,40%, Nilai Stabilitas dari substitusi abu terbang batu bara 50% : 561,08kg, Nilai Kelelahan dari substitusi abu terbang batu bara 50% : 4,59mm, Nilai Marshall Quotien dalam substitusi abu terbang batu bara 50% : 122,29kg/mm.

4. KESIMPULAN

1. Hasil dari Kadar Optimum Aspal tanpa fly ash yaitu 5,25%.
2. Pengaruh karakteristik marshall yang terjadi pada substitusi filler dengan kadar fly ash 25% pada Laston AC-WC mendapat nilai seperti berikut: VIM 3,97% nilai ini memenuhi standar, VMA 23,37% nilai ini memenuhi standar, VFA 83,40% nilai ini memenuhi standar, Flow 4,54% nilai ini juga memenuhi standar, tapi nilai stabilitas dan marshall quotien tidak memenuhi standar. Nilai yang di dapat pada stabilitas 595,38kg dan Marshall quotien 130,39kg/mm. Pengaruh karakteristik marshall yang terjadi pada substitusi filler dengan kadar fly ash 50% pada Laston AC-WC mendapat nilai seperti berikut: VIM 3,79% nilai ini memenuhi standar, VMA 21,17% nilai ini memenuhi standar, VFA 82,11% nilai ini memenuhi standar, Flow 4,59% nilai ini juga memenuhi standar, tapi nilai stabilitas dan marshall quotien tidak memenuhi standar. Nilai yang di dapat pada stabilitas 561,08kg dan Marshall quotien 122,29kg/mm.
3. Dari hasil beberapa tabel di atas, bahwa estimasi biaya termurah dimiliki oleh Laston AC-WC dengan substitusi 50% dengan harga Rp 5.616.136.446.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anas, 2009. Penggunaan abu batubara sebagai filler pada campuran aspal beton AC-BC.
- [2] Muhammad, 2006. Penggunaan lumpur lapindo sebagai filler pada perkerasan lentur jalan raya.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, 1991. Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles, SNI 03-2417-1991.

- [4] Badan Standarisasi Nasional, 1991. Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, SNI 06-2489-1991.
- [5] M. Zainul Arifin, Dkk, 2012. Pengaruh Penurunan Suhu (Dengan dan Tanpa Pemansan) Terhadap Parameter Marshall Campuran Aspal Beton. Jurnal Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- [6] <https://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash--overview.html>/ jam 01:55 tanggal 14/03/2018.
- [7] Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Laston Untuk Jalan Raya, RSNI 03-1737-1989.
- [8] Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah Direktorat Jendral Prasarana Wilayah, Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Buku 1 Pedoman Umum, No: 001/PW/2004.
- [9] Silvia Sukirman, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit NOVA Tahun 1999.