

KAJIAN PEMANFAATAN LIMBAH FABA (FLY ASH DAN BOTTOM ASH) PADA KONSTRUKSI LAPISAN PERMUKAAN JALAN (TOP LAYER)

Vira Afrilla¹⁾, Alfian Malik²⁾, Mardani Sebayang²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : vira.afrilla@student.unri.ac.id, ALFmalik@gmail.com,
mardanisebayang1@gmail.com

ABSTRACT

Asphalt is one of the materials used in road construction, this material was chosen because it can produce flexible, safe and comfortable pavement. One of the functions of adding fillers is to minimize the use of asphalt base materials, where this filler has a significant effect because it functions as a cavity filler. The filler used is factory waste, namely fly ash and bottom ash. Fly ash is the residue from burning coal in power plants. Bottom Ash as well as fly ash is the result of burning coal, the ash that is produced when burning coal that settles. The purpose of this study was to determine the effect of using FABA waste (fly ash and bottom ash) on the quality of the road surface construction layer (top layer). The proportions of fly ash and bottom ash used are 2%, 4%, 6%, 8% and 10% of the total weight mixture of the mixture where each variation of fly ash is 55%: 45% bottom ash. Marshall characteristic test results show that the addition of fly ash and bottom ash to the AC-WC mixture can increase the value of stability and the of void filled with asphalt (VFA) and can reduce the value of void in the mixture (VIM) with certain filler levels according to the tests that have been carried out which can be used in the field, namely variation 2 %, 4%, 6% and 8%. The optimum variation of fly ash and bottom that can be added to AC-WC mixture 2% of the total aggregate weight. This value is based on the high stability value compared to other variations is 1654,74 kg.

Keywords: AC-WC, Bottom Ash, Filler, Fly Ash, Top Layer.

A. Pendahuluan

Laston adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC , AC-BC dan AC-BASE. Ketiga jenis laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga dimana spesifikasi tersebut menggunakan pendekatan kepadatan mutlak.

Pemanfaatan abu terbang dan abu dasar adalah salah satu cara untuk mengurangi sisa dari hasil pembakaran batu

bara pada pembangkit tenaga listrik yang menggunakan batu bara sebagai sumber bahan bakar. Hasil pembakaran batu bara ini terdiri dari partikel halus yang dapat dijadikan *filler*. Penggunaan *filler* pada campuran aspal beton adalah untuk mengisi rongga dalam campuran, untuk mengikat daya ikat aspal beton, dan diharapkan dapat meningkatkan stabilitas dari campuran aspal beton.

Abu terbang adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus. Abu yang tidak naik disebut *bottom ash*. Abu dasar (*bottom ash*) mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada abu terbang, sehingga abu dasar akan jatuh pada dasar tungku pembakaran dan

terkumpul pada penampung debu lalu dikeluarkan dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang dan dimanfaatkan.

B. Tinjauan Pustaka

B.1. Lapisan Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas. Menurut Sukirman (1999) pada umumnya perkerasan jalan terdiri dari tiga jenis, yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku dan perkerasan komposit.

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.

2. Perkerasan Kaku

Perkerasan yang pada lapisan permukaannya menggunakan bahan pengikat semen *portland* atau *portlant cement concrete*.

3. Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) di atasnya.

B.2 Lapis Aspal Beton – Lapis Antara

Lapis aspal beton merupakan lapisan yang terdiri dari aspal keras dan agregat yang dipadatkan dengan suhu tertentu. Laston bersifat kedap air dan nilai kekakuan yang cukup tinggi. Tabel 1 berikut adalah spesifikasi sifat dari campuran laston.

Tabel 1. Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-Sifat Campuran		AC-WC
Jumlah tumbukan perbidang		75
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	1
	Maks	1,4
Rongga dalam campuran, <i>VIM</i> (%)	Min	3
	Maks	5
Rongga dalam agregat, <i>VMA</i> (%)	Min	15
Rongga terisi aspal, <i>VFA</i> (%)	Min	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800
	Min	2
Pelelehan, <i>flow</i> (mm)	Maks	4
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2018)

Selain ketentuan sifat, gradasi campuran agregat juga memegang peranan penting dalam ketentuan perencanaan. Untuk mendapatkan gradasi campuran yang baik diperlukan pembatasan-pembatasan dalam ukuran agregat yang akan digunakan yang disebut dengan gradasi agregat gabungan. Gradasi agregat dinyatakan dalam presentase lolos atau tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 batasan-batasan untuk campuran laston lapis antara seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Aayakan	(mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran Laston (AC)		
		WC	BC	AC-BASE
1 1/2"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90 - 100
3/4"	19	100	90 - 100	76 - 90
1/2"	12,5	90 - 100	75 - 90	60 - 78
3/8"	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	0,6	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No. 50	0,3	9 - 22	7 - 20	6 - 15
No. 100	0,15	6 - 15	5 - 13	4 - 10
No. 200	0,075	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2018)

B.3 Bahan Penyusun Lapis Aspal Beton – Lapis Antara

Ada beberapa bahan penyusun pada laston yang harus memenuhi spesifikasi dan persyaratan yang telah ditentukan. Berikut adalah bahan penyusun dari laston.

B.3.1 Aspal

Aspal adalah suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (*cementious*) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Bisa dilihat pada Tabel 3 menunjukkan spesifikasi standar untuk aspal keras. Pengujian residu hasil *Thin Film Over Test (TFOT)* dimana aspal

dari hasil pengkondisian penuaan jangka pendek.

Tabel 3. Spesifikasi Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1	Penetrasi 25°C (0,1 mm)	SNI 2456-2011	60-70
2	Viskositas Kinematis°C (cSt)	ASTM D2170-1-	≥ 300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2432:011	≥ 48
4	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2432:2011	≥ 232
6	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
Pengujian Residu Hasil RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
8	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
9	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2018)

B.3.2 Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen.

Menurut Bina Marga 2018 ukuran butiran agregat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu sebagai berikut.

1. Agregat Kasar (*Course Aggregate*), yaitu agregat dengan ukuran butiran lebih besar atau tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm).
2. Agregat Halus (*Fine Aggregate*), yaitu agregat dengan ukuran butiran lebih kecil atau lolos pada saringan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan saringan no. 200.
3. Fraksi Bahan Pengisi (*Filler Fraction*), termasuk agregat halus yang sebagian besar lolos saringan No. 200.

Agregat kasar yang akan digunakan dalam pembuatan suatu struktur memiliki ketentuan agar strktur yang dihasilkan sesuai dengan perencanaan. Salah satu ketentuan yang disyaratkan adalah ketentuan butir pecah pada agregat. Ketentuan lainnya dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 5 juga menunjukkan ketentuan untuk agregat halus.

Tabel 4. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat Magnesiun Sulfat	SNI 3407:2008 Maks. 12 % Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran
	500 putaran	SNI 2417:2008 Maks. 6 % Maks. 30 %
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran
	500 putaran	SNI 2417:2008 Maks. 8 % Maks. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011 Min. 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012 100/90
	Lainnya	95/90
Partikel pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Maks. 5 %
	Lainnya	Perbandingan 1 : 5 Maks. 10 %
Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012 Maks. 1 %

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2018)

Tabel 5. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2018)

B.3.3 Fly Ash

Fly ash (abu terbang) merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Dalam SK SNI S-15-1990-F spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang, yaitu :

1. Fly ash tipe C
2. Fly ash tipe N
3. Fly ash tipe F

Tabel 6 menunjukkan unsur-unsur senyawa kimia dan sifat fisika pada *fly ash*.

Tabel 6. Unsur Senyawa Kimia dan Sifat Fisika pada *Fly Ash*

Susunan kimia dan fisika	Kelas F (%)	Kelas N (%)
Silikon dioksida, min	54,9	39,9
Sulfur trioksida, max	5	5
Kadar air, max	3	3
Hilang pijar, max	6	6
Na ₂ O, max	1,5	1,5

Sumber : Husin, 1998

B.3.4. Bottom Ash

Bottom Ash (abu dasar) sama halnya dengan *fly ash* adalah hasil pembakaran batubara, abu yang dihasilkan pada saat pembakaran batubara yang mengendap.

C. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau dengan menggunakan pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai acuan untuk menentukan campuran Laston Lapis Antara AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) dengan menggunakan metode pengujian *Marshall*.

C.1. Bahan dan Peralatan

C.1.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aspal penetrasi 60/70 yang telah tersedia di Laboratorium Jalan Raya Universitas Riau.
2. Agregat kasar dan halus hasil pengolahan *quarry* batu pecah asal Pangkalan, Sumatera Barat.
3. *Filler* menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* asal PT. Indah Kiat, Perawang, Riau.

C.1.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat uji pemeriksaan agregat.
2. Alat uji pemeriksaan aspal.
3. Satu set saringan gradasi AC-WC.
4. Cetakan benda uji dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm, lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.

5. *Extruder* adalah alat yang digunakan untuk mengeluarkan benda uji pada cetakan.
6. Alat uji *marshall*.
7. Mesin penumbuk dengan permukaan yang rata berbentuk silinder dengan berat 4,54 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
8. Oven dengan suhu mencapai 200 °C.
9. *Water batch* atau bak rendaman dengan suhu mulai 10-100 °C.
10. Termometer.
11. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr.

C.2 Pengujian Bahan Penyusun

Bahan penyusun berupa agregat, *filler*, dan aspal. Hasil pengujian bahan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

C.2.1. Pengujian Agregat

Pengujian yang akan dilakukan untuk melihat karakteristik agregat bisa dilihat pada Tabel 7 sesuai SNI.

Tabel 7. Pengujian Agregat

No	Pengujian Agregat	SNI
1	Pengujian Analisa Saringan	ASTM C136-2012
2	Pengujian keausan agregat dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 2417-2008
3	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	SNI 1970-2016
4	Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir Mudah Pecah	SNI 03-4141-1996
5	Pengujian Sifat Kekekalan Agregat dengan Cara Perendaman Menggunakan <i>Magnesium Sulfat</i>	SNI 3407:2008
6	Pengujian Angularitas	SNI 03-6877-2002
7	Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 2439-2011
8	Pengujian Indeks Kepipihan Kelonjongan	SNI 8287-2016
9	Pengujian <i>sand equivalent</i>	SNI 03-4428-1997
10	Pengujian Butir Pecah	SNI 7619-2012

C.2.2. Pengujian *fly ash* dan *bottom ash*

Pengujian yang akan dilakukan pada *filler* campuran dapat dilihat pada Tabel 8.

Filler yang digunakan dalam penelitian ini berupa *fly ash* dan *bottom ash*.

Tabel 8. Pengujian *filler*

No	Pengujian <i>Filler</i>	SNI
1	Pengujian Lolos Saringan No.200	SNI 03-4142-1996
2	Pengujian Berat Jenis	SNI 15-2531-1991

C.2.3. Pengujian Aspal

Pengujian yang akan dilakukan untuk melihat karakteristik aspal bisa lihat pada Tabel 9 sesuai SNI.

Tabel 9. Pengujian Aspal

No	Pengujian Aspal	SNI
1	Pengujian Penetrasi Aspal	SNI 2456-2011
2	Pengujian Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011
3	Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	SNI 2433-2011
4	Pengujian Kehilangan Berat Aspal	SNI 06-2456-1991 SNI 06-6441-2000
5	Pengujian Viskositas Aspal	
6	Pengujian Titik Lembek Aspal	SNI 2434-2011
7	Pengujian Daktilitas Aspal	SNI 2432-2011

C.3 Rancangan Campuran Laston

Berdasarkan variasi kadar aspal, variasi *filler fly ash* dan *bottom ash* dan jenis pengujian yang akan dilakukan untuk mendapatkan KAO, maka jumlah benda uji yang dibutuhkan adalah sebanyak 75 sampel, dimana bisa dilihat uraian sampel pada Tabel 10 di bawah ini:

Tabel 10. Komposisi dan Jumlah Pembuatan Benda Uji Menentukan KAO

Kadar Aspal	Persentase <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>					Jumlah
	2%	4%	6%	8%	10%	
(P-1)	3	3	3	3	3	15
(P-0,5)	3	3	3	3	3	15
P	3	3	3	3	3	15
(P+0,5)	3	3	3	3	3	15
(P+1)	3	3	3	3	3	15
Total						75

Setelah didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) untuk masing masing variasi *filler*, kemudian dilanjutkan membuat benda uji dengan menggunakan

kadar aspal optimum dengan pengujian *Marshall* standar sebanyak sebanyak 12 buah benda uji.

D. Hasil dan Pembahasan

D.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun AC-WC

Agregat penyusun yang digunakan berupa agregat 1-2, medium, abu batu, dan *fly ash* dan *bottom ash* (FABA). Agregat dan bahan penyusun lainnya ini, sebelum digunakan diuji karakteristiknya terlebih dahulu. Pengujian bertujuan untuk menguji kelayakan material sebagai bahan penyusun apakah telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (2018).

D.2 Hasil Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau Hasil pengujian aspal data lengkap hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 11 di bawah ini.

Tabel 11. Hasil Pengujian Aspal

Sifat-sifat Material Yang Diuji	Standar Uji	Hasil Uji	Spesifikasi	
			Min	Maks
Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik	SNI 2456-2011	65,30	60	70
Penetrasi, (Setelah Kehilangan Berat)	SNI 2456-2011	86,33	54	
Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	SNI 2432:2011	57,65	48	
Titik Nyala dgn Cleveland Open Cup	SNI 2432-2011	280	232	
Berat Jenis	SNI-2441-2011	1,077	1	
Kehilangan Berat (TFOT)	SNI-06-2441-1991	0,263		0,8
Viskositas Kinematis 135°C (cST)	ASTM D2170-1	570,00	300	

Pada Tabel 11 menunjukkan karakteristik aspal telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) yang telah ditentukan.

D.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Metoda Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Max
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat Magnesium Sulfat 100 putaran	SNI 3407:2008	0,338	12 18 6
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA 500 putaran		-	30
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya 100 putaran	SNI 2417:2008	-	8
	500 putaran		35,67 97,35	40
Kelekatan agregat terhadap aspal	SMA	SNI 2439:2011	95	
Butir Pecah pada Agregat Kasar	Lainnya SMA	SNI 7619:2012	100	95/90
Partikel pipih dan Lonjong		ASTM D4791-10	9,08	10
	Lainnya	Perbandingan 1 : 5		

Tabel 13. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Metoda pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Max
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	51,20	50	
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	47,61	45	
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	0,0092		1

Dari Tabel 12 dan Tabel 13 diatas dapat dilihat bahwa hasil pengujian agregat kasar dan halus telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran.

D.4 Hasil Pengujian Filler

Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* dan *bottom ash*. Pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 diatur beberapa pengujian bahan *filler*, seperti terlihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Pengujian Filler

Jenis Pemeriksaan	Standar	Syarat	Hasil Pengujian	
			Fly Ash	Bottom Ash
Lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	75	100	100
Berat jenis	SNI 15-2531-1991	-	2,40	2,4 1

Hasil pengujian pada tabel di atas menunjukkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash*

layak digunakan sebagai *filler* pengganti pada campuran aspal AC-WC. Hasil uji menunjukkan *filler* tidak menggumpal dan lolos saringan nomor 200 lebih dari 75%. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan sudah memenuhi standar atau ketentuan pada Spesifikasi Bina Marga 2018.

E. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

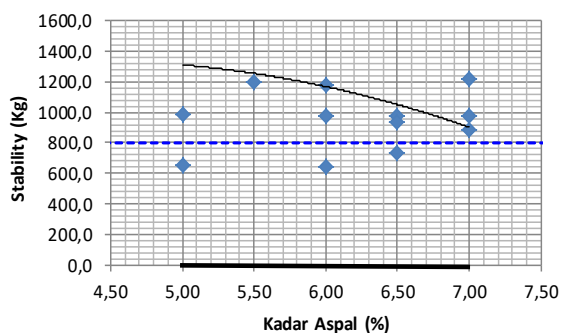
Metode yang digunakan dalam penentuan KAO mengacu pada SNI 06-2489-1991 dengan menganalisis lima karakteristik Marshall sebagai standar penentuan KAO.

Variasi aspal yang digunakan mengacu pada kadar aspal rencana yang diperoleh sebelumnya sebesar 5,75%. Kemudian ditentukan variasi kadar aspal mulai dari 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Tabel 15 merupakan penentuan KAO pada variasi *filler fly ash* 2%.

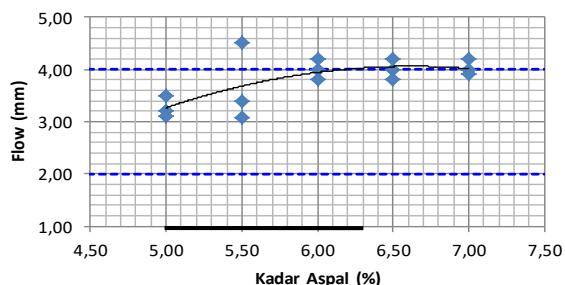
Tabel 15. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal (%)	No. Sampel	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
5	1	18,690	9,313	50,2	982,41	3,50	280,69
	2	21,361	12,292	42,5	652,23	3,20	203,82
	3	12,803	2,747	78,5	1692,88	3,10	546,09
5,5	1	18,548	8,081	56,4	1196,52	4,50	265,89
	2	15,113	4,205	72,2	1855,39	3,40	545,70
	3	13,785	2,707	80,4	2166,88	3,08	703,53
6	1	17,612	5,930	66,3	1183,12	3,80	311,35
	2	15,678	3,720	76,3	975,10	4,00	243,77
	3	17,613	5,930	66,3	642,34	4,20	152,94
6,5	1	19,638	7,161	63,5	730,51	4,00	182,63
	2	17,929	5,188	71,1	975,10	3,80	256,60
	3	17,536	4,734	73,0	936,09	4,20	222,88
7	1	17,695	3,798	78,5	975,10	4,00	243,77
	2	18,158	4,339	76,1	1222,12	3,90	313,36
	3	17,409	3,464	80,1	884,09	4,20	210,50

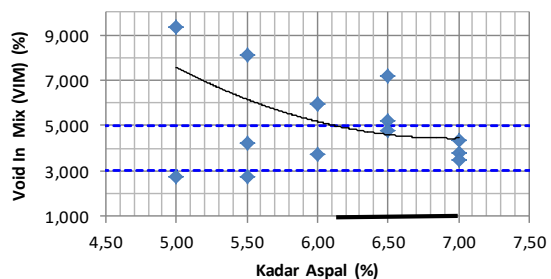
Kemudian dari data di atas dibuatkan dalam bentuk grafik karakteristik *Marshall* seperti tampak pada Gambar 6 berikut.



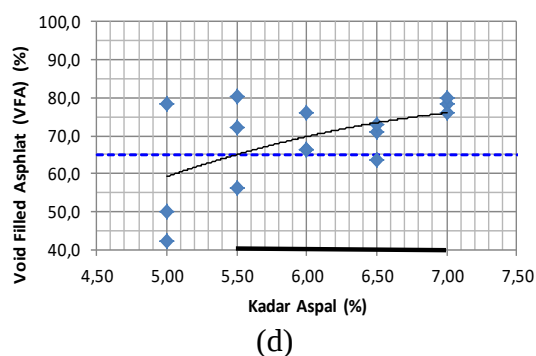
(a)



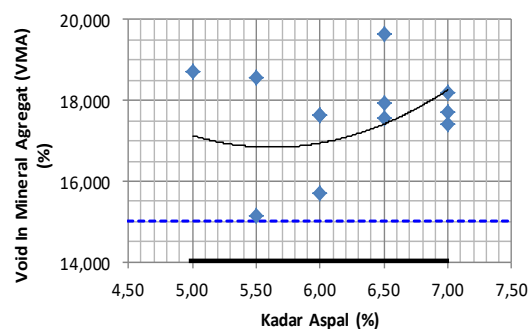
(b)



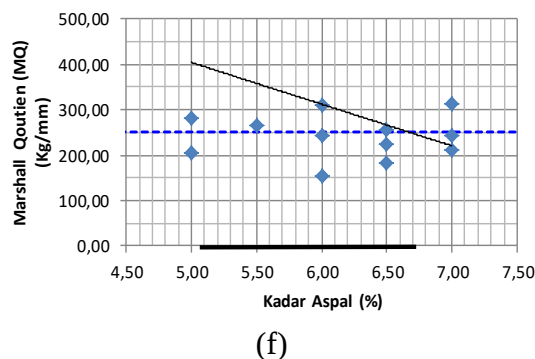
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 6. Grafik Hasil Uji Karakteristik *Marshall*

Tabel 16. Penentuan Kadar Aspal Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal
1	Satability (Kg)	800	
2	Flow (mm)	2 - 4	
3	VIM (%)	3 - 5	
4	VFA (%)	Min 65	
5	VMA (%)	Min 15	
6	MQ (Kg/mm)	Min 250	
KAO (%)			$\frac{(6,1 + 6,3)}{2} = 6,20\%$

Pada Tabel 16 di atas diperoleh nilai kadar aspal optimum untuk campuran beraspal dengan variasi *filler fly ash* dan *bottom ash* 2% adalah 6,20%. Untuk penentuan KAO campuran lainnya dapat dilihat pada Tabel 17 yang merupakan rangkuman KAO dari setiap variasi campuran aspal.

Tabel 17. Rangkuman Nilai KAO Campuran Aspal

Sifat material yang diuji	Variasi <i>filler fly ash</i>				
	2	4	6	8	10
Kadar Aspal Optimum (KAO) %	6,20	6,35	6,50	6,58	-

Penentuan kadar aspal optimum pada variasi *filler fly ash* 10% tidak didapatkan karena parameter karakteristik *marshall* tidak memenuhi ketentuan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

F. Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Aspal Optimum Campuran Laston AC-WC

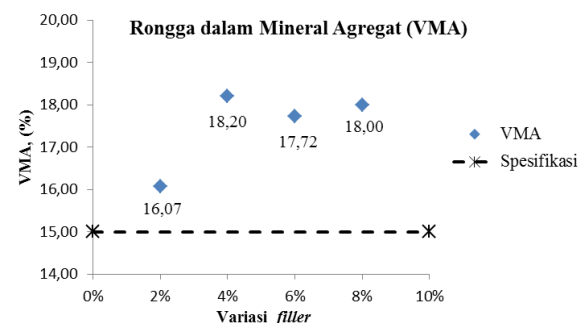
Setelah didapatkan nilai KAO, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan komposisi *filler* yaitu 55% *fly ash* dan 45% *bottom ash* dan melakukan kembali pengujian *Marshall* untuk melihat nilai karakteristik *Marshall* yang meliputi, stabilitas, *flow*, VMA, VFA, VIM dan MQ. Pada Tabel 18 dapat dilihat bahwa nilai VIM (rongga dalam campuran) memiliki nilai 4,55% dan sudah memenuhi standar karena berada pada *range* 3-5%. Untuk nilai lainnya terlihat pada Tabel berikut.

Tabel 18. Hasil Pengujian *Marshall* pada KAO

Sifat - Sifat Material Yang Diuji (Nilai Rata - Rata)	Hasil Pengujian Campuran Aspal dengan Variasi <i>Filler</i> (<i>Fly Ash</i> : <i>Bottom Ash</i>)				Spesifikasi	
	2%	4%	6%	8%	Min	Maks
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA) , %	16,07	18,20	17,72	18,00	15	
Rongga dalam Campuran (VIM) , %	3,72	4,58	3,98	4,55	3	5
Rongga Terisi Aspal (VFA) , %	78,08	75,47	77,79	75,34	65	
Stabilitas , Kg	1654,74	981,42	960,47	1412,99	800	
Kelelahan (Flow) , mm	3,73	3,93	3,83	3,87	2	4
Marshall Qoutient (Kg/mm)	443,54	250,28	250,67	346,51	250	
KAO (%)	6,20	6,88	6,90	6,90		

F.1 Rongga dalam Material Agregat (VMA)

Pada Gambar 7 terlihat nilai VMA semua komposisi *filler* berada di atas nilai VMA yang disyaratkan Bina Marga yang menetapkan batas minimal nilai VMA dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 untuk campuran Laston AC-WC yaitu 15%.

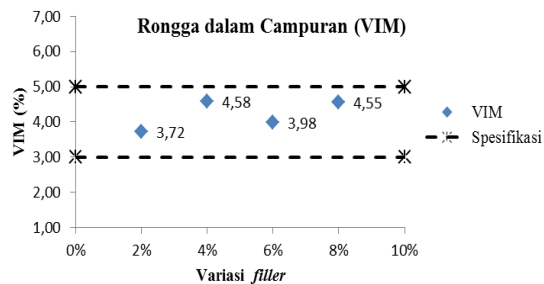


Gambar 7. Grafik Hubungan Antara VMA Terhadap Variasi *Filler*

Penurunan nilai VMA pada komposisi *filler* dipengaruhi oleh *human error*. Hal ini dapat terjadi karena proses pemadatan dan kualitas pemadatan kurang baik, sehingga menghasilkan rongga antar material dengan ukuran yang bervariasi pada benda uji. Namun, hasil dari pengujian tetap memenuhi Spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2018.

F.2. Rongga Dalam Campuran (VIM)

Pada Gambar 8 nilai VIM semua komposisi *filler* berada di antara batas nilai VIM yang disyaratkan Bina Marga untuk campuran Laston AC-WC yaitu 3-5%.

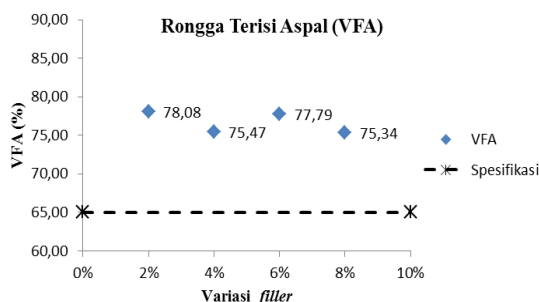


Gambar 8. Grafik Hubungan Antara VIM Terhadap Variasi *filler*

Hal ini dapat disebabkan karena proses pengadukan yang kurang rata atau kurang baik menyebabkan adanya rongga udara yang tertahan dalam campuran. Selain itu kadar aspal yang tidak optimum menyebabkan material mudah terlepas atau tidak rapat, hal ini membuat benda uji memiliki rongga.

F.3 Rongga Terisi Aspal (VFA)

Nilai VFA semua komposisi *filler* berada di atas batas nilai VFA yang disyaratkan Bina Marga untuk campuran Laston AC-WC yaitu 65%.

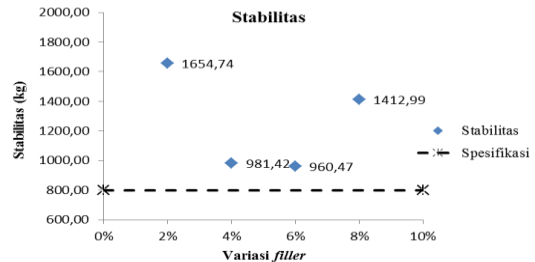


Gambar 9. Grafik Hubungan Antara VFA Terhadap Variasi *filler*

Pada Gambar 9 nilai VFA yang mengalami penurunan dan peningkatan dikarenakan proses pencampuran benda uji yang tidak merata. Aspal tercampur pada sebagian benda uji dan pada bagian lain aspal tidak tercampur rata. Hal ini membuat rongga udara terisi oleh aspal pada bagian material yang tidak tercampur rata.

F.4. Stabilitas

Komposisi *filler* untuk nilai stabilitas berada di atas batas nilai stabilitas yang disyaratkan Bina Marga untuk campuran Laston AC-WC yaitu 800 kg.

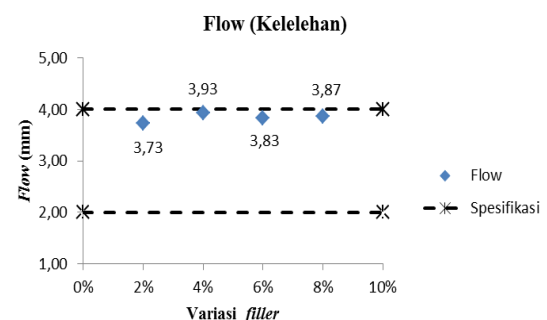


Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Stabilitas Terhadap Variasi *Filler*

Pada Gambar 10 di atas diketahui bahwa stabilitas tertinggi terdapat pada variasi kadar aspal 2%, tetapi mengalami penurunan dan mengalami kenaikan pada variasi 8%. Hal ini dapat disebabkan oleh *human error* dan penambahan kadar aspal. Pada kadar aspal 2%, memiliki stabilitas tinggi yang berarti nilai penetrasi dari benda uji rendah dan aspal cenderung keras. Sehingga ketika kadar aspal ditambahkan maka aspal akan cenderung lembek dan membuat nilai stabilitas rendah. Selain itu proporsi variasi aspal 8% memang tidak memenuhi spesifikasi ketetapan standar Bina Marga.

F.5 Flow (Kelelehan)

Pada Gambar 11 nilai *flow* (kelelehan) semua komposisi *filler* berada di antara batas nilai *flow* (kelelehan) yang disyaratkan Bina Marga untuk campuran Laston AC-WC yaitu 2-4 mm.

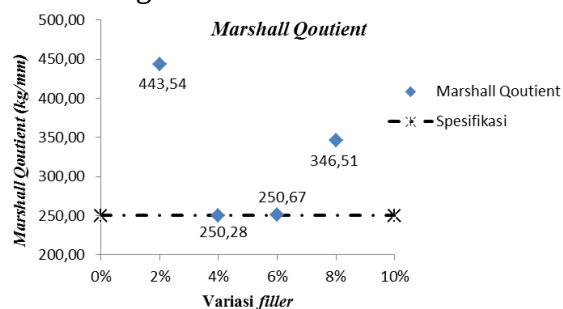


Gambar 11. Grafik Hubungan Antara *Flow* Terhadap Variasi *Filler*

Besar nilai *flow* dipengaruhi oleh besar kadar rongga dalam campuran, semakin banyak rongga yang tercipta menciptakan rongga-rongga yang nantinya bisa terisi oleh udara karena tidak terisi *filler* ataupun aspal, sehingga ketika diuji dengan pembebanan benda uji cenderung cepat retak.

F.6 Marshall Quotient (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* semua komposisi *filler* berada di atas batas nilai *Marshall Quotient* yang disyaratkan Bina Marga untuk campuran Laston AC-WC yaitu 250 kg/mm.



Gambar 12. Grafik Hubungan Antara *Marshall Quotient* Terhadap Variasi *Filler*

Kenaikan dan penurunan nilai *MQ* pada Gambar 12 dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow* pada campuran. Jika nilai *MQ* terlalu tinggi maka campuran akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak, sebaliknya jika nilai *MQ* terlalu rendah maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil.

G. Kesimpulan dan Saran

G.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan pengaruh penambahan *fly ash* dan *bottom ash* terhadap karakteristik *Marshall* pada lapisan aspal beton (Laston) pada lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, variasi *filler fly ash* optimum yang dapat ditambahkan dalam campuran AC-WC adalah 2% dari berat total agregat. Nilai tersebut berdasarkan nilai stabilitas yang tinggi

dibanding variasi lainnya yaitu sebesar 1654,74 kg.

2. Variasi *filler* optimum yang tidak dapat digunakan yaitu *filler fly ash* dan *bottom ash* 10% dimana spesifikasi lolos saringan untuk proposi agregat melebihi batas, yang mana batas bawah 4 dan batas atas 8 dimana didapat nilainya 11,65 maka tidak memenuhi syarat spesifikasi.

G.2 Saran

Untuk penyempurnaan hasil penelitian serta untuk mengembangkan penelitian yang lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Disarankan dapat dilakukan juga pengujian kimia dikarenakan penelitian ini tidak menguji kandungan sifat kimia, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan dan reaksi yang terjadi pada saat proses pelaksanaan konstruksi.
- b. Adanya penelitian tentang penggantian *filler fly ash* dan *bottom ash* terhadap lapisan perkerasan yang lainnya seperti AC-BC (*Asphalt Concrete Bearing Course*), AC-Base (*Asphalt Concrete Base*) dan juga terhadap durabilitas dan pengujian lainnya yang berkaitan dengan campuran beraspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrullah, & Alhilal, S. (2010). Pengaruh Penggunaan *Filler* Asbuton dengan *Filler Fly Ash* Terhadap Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Ditinjau Dari Nilai Karakteristik Marshall, 1, 15–24.
- Darwis, Zulmahdi, D. (2015). Pemanfaatan Limbah *Bottom Ash* Sebagai Substitusi Agregat Halus dalam Pembuatan Beton. 4(1), 52–57.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018.
- Irfansyah, P. A., & Setyawan, A. (2017). Karakteristik *Marshall* pada Campuran Aspal Beton Menggunakan

- Aspal Sebagai Bahan Pengikat. September, 947–958.
- Purnomo, D. (2017). Pemanfaatan *Fly Ash* (Limbah Batu Bara) Sebagai Tambahan *Filler* Pada Campuran *Asphalt Concrete- Binder Course (AC-BC)*. 3(1), 198–205.
- Rosyida, A. (2011). *Bottom ash* Limbah Batubara sebagai Media *Filter* yang Efektif pada Pengolahan Limbah Cair Tekstil. 5(2), 56–61.
- Santoso, I., Kumar Roy, S., & Andarias, P. (2003). Pengaruh *Penggunaan Bottom Ash* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. Dimensi Teknik Sipil, 6(1), 75–81.
- Sukirman, Silvia. (1992). Perkerasan Lentur Jalan Raya. Nova. Bandung.
- Tarmizi, T., Saleh, S. M., & Isya, M. (2018). Pengaruh Substitusi Semen *Portland* dan *Fly Ash* Batubara pada *Filler* Abu Batu Terhadap *Ashpalt Concrete-Binder Course (AC-BC)*. Jurnal Teknik Sipil, 1(3), 749–760.
- Thanaya, A. (2016). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60 / 70 dengan Penambahan Lateks Material dan Metode. 22(2), 77–86.
- Yanti, G., Megasari, S. W., & Rahmat, H. (2017). Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-BC dengan Penambahan Bahan Pengisi (*Filler*) *Fly Ash*. 2(1), 158–165.
- Yongko, D., Karolina, R., Ash, F., & Ash, B. (2001). Pengaruh Substitusi *Fly Ash* Terhadap Semen Dan *Bottom Ash* Terhadap Agregat Halus Dalam Sifat Mekanik Beton SCC (*Self Compacting Concrete*).