

Pengaruh Variasi Campuran Fly Ash dan Bottom Ash sebagai Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Aspal AC-WC

Risma Nofianti Idris^{*}, Sainuddin, Almayana Alwi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Indonesia

^{*} rismanofianti@unsulbar.ac.id

Diajukan: 08 September 2024, Revisi: 12 September 2024, Diterima: 25 September 2024

Abstract

Flexible pavement mixture is a mixture of asphalt material, filler, fine aggregate, coarse aggregate. This research aims to examine the effects of using fly ash and bottom ash as filler with variations of 100% fly ash, 80% fly ash + 20% bottom ash, 60% fly ash + 40% bottom ash, 40% fly ash + 60% bottom ash, fly ash 20%+bottom ash 80% and bottom ash 100%. The effect of substitute fly ash and bottom ash fillers is to fill the voids in the mixture thereby reducing the voids in the mixture. The mixtures B100%, B75%+F25%, B25%+F75% and F100% have met the Binamarga specifications. Meanwhile, the mixture of 50% Fly ash and 50% Bottom ash makes the voids in the mixture very small so that the VIM value does not meet the specification requirements of 3-5% with a VIM value of 6% which can make the asphalt age quickly and the VFB value is too low from the Binamarga specifications min 65% with a VFB value obtained of 64.5%. which causes a lack of asphalt performance in covering the aggregate.

Keywords: Asphalt, Ac-Wc, Fly ash, Bottom ash, Marshall

Abstrak

Campuran Perkerasan lentur merupakan campuran dari material aspal, filler, agregat halus, agregat kasar. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti efek penggunaan fly ash dan bottom ash sebagai filler dengan variasi fly ash 100%, fly ash 80%+bottom ash 20%, fly ash 60%+bottom ash 40%, fly ash 40%+ bottom ash 60%, fly ash 20%+bottom ash 80% dan bottom ash 100%. Pengaruh pengganti filler fly ash dan Bottom ash baik mengisi rongga-rongga dalam campuran sehingga memperkecil rongga pada campuran. Campuran B100%, B75%+F25%, B25%+F75% dan F100% telah memenuhi syarat spesifikasi Binamarga. Sedangkan campuran Fly ash 50% dan Bottom ash 50% membuat rongga pada campuran sangat lah kecil sehingga pada nilai VIM tidak memenuhi syarat spesifikasi 3-5% dengan nilai VIM sebesar 6% yang dapat membuat aspal cepat menua serta nilai VFB terlalu rendah dari spesifikasi Binamarga min 65% dengan nilai VFB yang didapatkan sebesar 64,5%. yang membuat kurangnya kinerja aspal dalam menyelimuti agregat.

Kata Kunci: Aspal, Ac-Wc, Fly ash, Bottom ash, Marshall

1. PENDAHULUAN

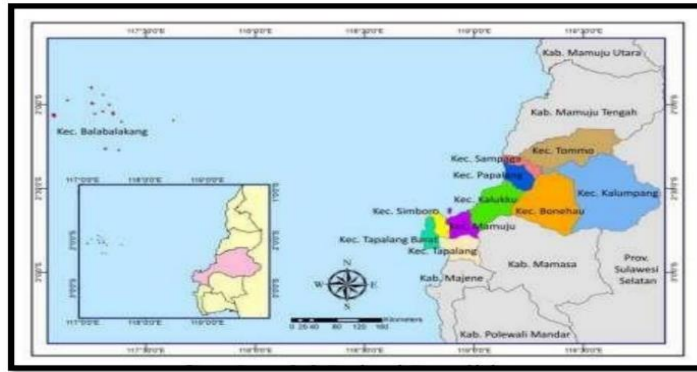
Perkerasan jalan lentur di Indonesia tidak jarang ditemukan mengalami kerusakan meskipun umur dari perkerasan tersebut masih terbilang sangat muda (Sainuddin, 2024a). Perkerasan jalan merupakan campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas (Sainuddin, 2024b). Berbagai penelitian yang dilakukan, Fly ash dan Bottom ash sebagai pengganti filler pada campuran aspal berfungsi mengisi rongga dalam campuran sehingga meningkatkan stabilitas aspal. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Hermansyah, A. F. Isnani, 2022). Adapun variasi kadar aspal rencana yaitu : 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% setiap variasi dibuat 3 ampel perendaman 30 menit dan 3 sampel perendaman 24 jam. Dari pengujian tersebut didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,5%. Tujuan penelitian mengetahui pengaruh dari campuran fly ash dan bottom ash sebagai filler pada karakteristik perkerasan lentur (AC-WC) dan menganalisis

hasil dari pengujian fly ash dan bottom ash terhadap karakteristik perkerasan lentur (AC-WC) sesuai dengan Bina Marga 2018.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium PT. Bumi Karsa di Kecamatan Tapalang, Kabupaten Mamuju.



Gambar 1 Lokasi penelitian

Adapun waktu penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1 Waktu Penelitian

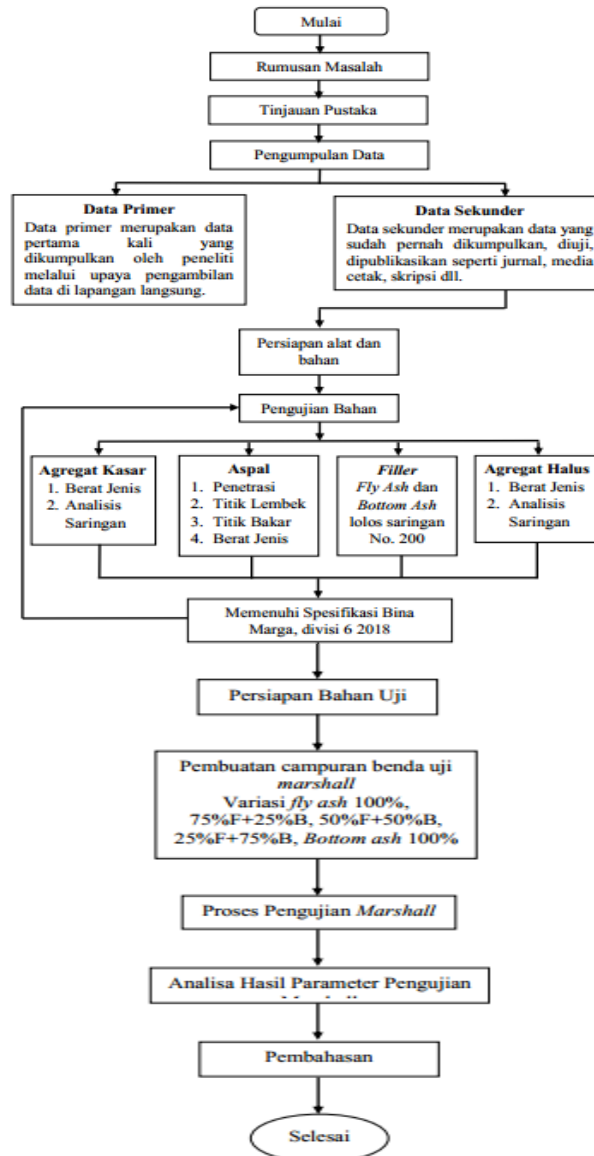
No	Kegiatan	Waktu (Tahun 2023)															
		April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
1.	Penyusunan dan Uji Prposal																
2.	Penyusunan Izin dan Administrasi																
3.	Penyediaan Alat dan Bahan																
4.	Pemeriksaan Bahan																
5.	Pembuatan Benda Uji																
6.	Pengujian dan dan Pengumpulan Data																
7.	Penyusunan Laporan Akhir																
8.	Seminar Hasil																

2.2 Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan ialah metode kuantitatif. Metode Kuantitatif merupakan metode yang berbentuk penelitian atau riset yang dilakukan secara sistematis dan terperinci, dalam metode ini penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pembahasan serta teruji kebenarannya dijadikan acuan untuk mencari kebenaran selanjutnya. Data dari hasil pengujian akan diolah untuk mendapatkan persentase optimum terhadap variasi campuran Lapis Aspal beton AC-WC dan mendapatkan nilai stabilitas Marshall pada tiap variasi campuran. Pengujian dilakukan dengan cara basah melalui variasi penambahan campuran

aspal beton AC-WC dengan bahan pengisi fly ash 100%, 75%F+25%B, 50%F+50%B, 25%F+75%B, Bottom ash 100%.

2.3 Flowchart



Gambar 2 Flowchart

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Material Agregat

Tabel 2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air (Abu Batu)

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air SNI 1969:2008 Hot Bin I (Abu Batu)				
Jenis pengujian	Persamaan	Sampel		Spesifikasi
		I	II	
Berat contoh kering permukaan (SSD)	500	500	500	

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air SNI 1969:2008 Hot Bin I (Abu Batu)				
Jenis pengujian	Persamaan	Sampel		Spesifikasi
		I	II	
Berat Contoh Kering Oven	A	490.9	490.2	
Berat Picnometer + Air (25°C) Kalibrasi	B	691.1	690.9	
Berat Picnometer + Air (25°) + Contoh (SSD)	C	996.1	995.9	
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	A/(B+500-C)	2.517 2.516	2.514	Min. 2,5%
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Permukaan Jenuh)	500/(B+500-C)	2.564 2.564	2.564	Min. 2,5%
Berat Jenis Semu	A/(B+A-C)	2.641 2.644	2.647	Min. 2,5%
Penyerapan Air	$((500-A)/A) \times 100\%$	1.854 1.926	1.999	Maks. 3%

Tabel 3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air (Split 1-2)

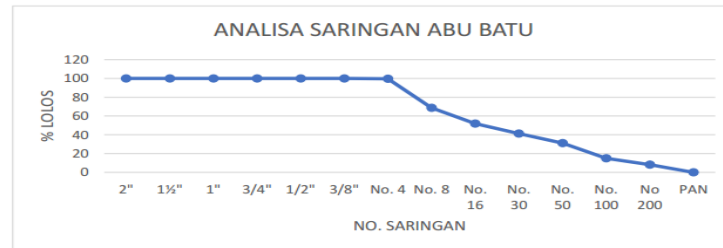
Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air SNI 1969:2008 Hot Bin III (Split 1-2)				
Jenis pengujian	Persamaan	Sampel		Spesifikasi
		I	II	
Berat contoh kering Oven	A	1991	1979	
Berat Contoh Kering Permukaan Jenuh (SSD)	B	2006	1985	
Berat Benda Uji Dalam Air	C	1159.8	1174.4	
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	A/(B-C)	2.353 2.397	2.441	Min. 2,5%
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Permukaan Jenuh)	B/(B-C)	2.371 2.410	2.449	Min. 2,5%
Berat Jenis Semu	A/(A-C)	2.395 2.427	2.460	Min. 2,5%
Penyerapan Air	$((B-A)/A) \times 100\%$	0.753 0.528	0.303	Maks. 3%

3.2 Hasil Analisa Saringan Agregat

Tabel 4 Analisa Saringan Medium Agregat (0,5-1)

No. Saringan	Massa Tertahan (gram)		Jumlah Tertahan (gram)		% Kumulatif Tertahan		% Kumulatif Lolos		Rata- rata
	1	2	1	2	1	2	1	2	
2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1½"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
¾"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
½"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.0	8.0	9.0	8.0	0.5	0.4	99.5	99.6	99.6
No. 4	875.0	900.0	884.0	908.0	44.2	46.0	55.8	54.0	54.9
No. 8	1028.0	1022.0	1912.0	1930.0	95.6	97.7	4.4	2.3	3.3
No. 16	67.0	26.0	1979.0	1956.0	99.0	99.0	1.0	1.0	1.0
No. 30	20.0	16.0	1999.0	1972.0	100.0	99.8	0.0	0.2	0.1
No. 50	0.0	3.0	1999.0	1975.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No 100	0.0	0.0	1999.0	1975.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0

No. Saringan	Pengujian sampel komulatif								Rata-rata
	Massa Tertahan (gram)		Jumlah Tertahan (gram)		% Komulatif				
					Tertahan		Lolos		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
No 200	0.0	0.0	1999.0	1975.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL BERAT	1999	1975							

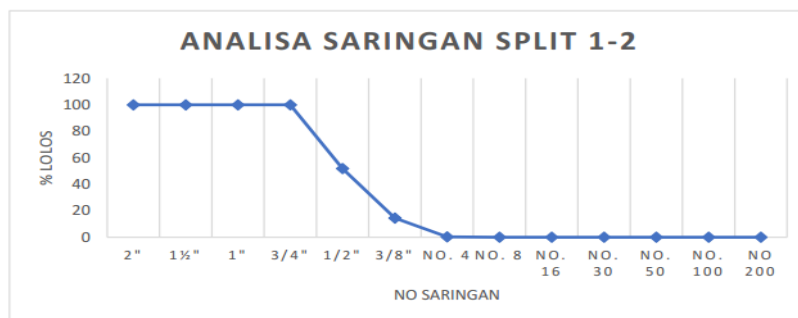


Gambar 3 Grafik analisa saringan Agregat Kasar (1-2)

Berdasarkan **Tabel 4** dan **Gambar 3** dapat dilihat persen lolos seriap saringan pada pengujian analisa saringan agregat kasar. Untuk saringan no.2 sampai saringan no. ¾ semua benda uji lolos 100%, pada saringan no.1/2 agregat yang lolos sebesar 51,9%, saringan no.3/8 agregat yang lolos sebesar 14,4% dan untuk saringan no.4 agregat sebesar 0,3%.

Tabel 5 Analisa Saringan Agregat Kasar (1-2)

No. Saringan	Pengujian sampel komulatif								Rata-rata
	Massa Tertahan (gram)		Jumlah Tertahan (gram)		% Komulatif				
					Tertahan		Lolos		
	1	2	1	2					
2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1½"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	1025.0	898.0	1025.0	898.0	51.3	44.9	48.8	55.1	51.9
3/8"	661.0	839.0	1686.0	1737.0	84.3	86.9	15.7	13.2	14.4
No. 4	308.0	258.0	1994.0	1995.0	99.7	99.8	0.3	0.3	0.3
No. 8	6.0	5.0	2000.0	2000.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No. 16	0.0	0.0	2000.0	2000.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No. 30	0.0	0.0	2000.0	2000.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No. 50	0.0	0.0	2000.0	2000.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No 100	0.0	0.0	2000.0	2000.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No 200	0.0	0.0	2000.0	2000.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL BERAT	2000	2000							



Gambar 4 Grafik analisa saringan Agregat Kasar (1-2)

Berdasarkan **Tabel 5** dan **Gambar 4** dapat dilihat persen lolos seriap saringan pada pengujian analisa saringan agregat kasar. Untuk saringan no.2 sampai saringan no. $\frac{3}{4}$ semua benda uji lolos 100%, pada saringan no.1/2 agregat yang lolos sebesar 51,9%, saringan no.3/8 agregat yang lolos sebesar 14,4% dan untuk saringan no.4 agregat sebesar 0,3%.

3.3 Pengujian Aspal

Pada penelitian ini digunakan aspal standar umum PT. Bumi Karsa dengan melakukan pemeriksaan jenis aspal yang telah melalui pengujian, hasil pengujian dapat disajikan pada **Tabel 6** berikut.

Tabel 6 Hasil pengujian karakteristik aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen 60/70	Hasil pengujian
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456-2011	60-70	78.1
2.	Berat Jenis	SNI 2456-2011	$\geq 1,0$	1.354
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434-2011	≥ 48	54.5
4.	Titik Nyala (°C)	SNI 2434-2011	Min. 200	250°C

Dari tabel hasil pengujian karakteristik aspal yang dilakukan di Laboratorium Teknik sipil diatas dapat disimpulkan bahwa semua jenis pengujian karakteristik aspal masuk dalam penetrasi **60/70** berdasarkan standar Bina Marga 2018.

3.4 Pengujian Fly Ash

Adapun hasil pengujian karakteristik dan berat jenis *Fly Ash* yang dapat dilihat pada **Tabel 7** sebagai berikut.

Tabel 7 Hasil pengujian karakteristik *Fly Ash*

Parameter	Satuan	Hasil
Fe	m/m%	31.71
Si	m/m%	28.66
Ca	m/m%	22.54
Al	m/m%	9.92
Sx	m/m%	3.06
K	m/m%	2.00
Ti	m/m%	1.52
Sr	m/m%	0.1840
Ba	m/m%	0.1200
Zr	m/m%	0.1070
Zn	m/m%	0.0610
Nb	m/m%	0.0296
Y	m/m%	0.0272
Mo	m/m%	0.0181
Sb	m/m%	0.0083
In	m/m%	0.0083
Sn	m/m%	0.0082
Ru	m/m%	0.0066
Rh	m/m%	0.0056
SiO ₂	m/m%	39.89
Fe ₂ O ₃	m/m%	21.92
CaO	m/m%	17.23
Al ₂ O ₃	m/m%	13.35
SO ₃	m/m%	4.68
K ₂ O	m/m%	1.3200
TiO ₂	m/m%	1.2900

Parameter	Satuan	Hasil
SrO	m/m%	0.0960
BaO	m/m%	0.0724
ZrO ₂	m/m%	0.0640
ZnO	m/m%	0.0329
Nb ₂ O ₅	m/m%	0.0187
Y ₂ O ₃	m/m%	0.0152
MoO ₃	m/m%	0.0121

3.5 Pengujian *Bottom Ash*

Adapun hasil pengujian karakteristik dan Berat jenis *Bottom Ash* yang dapat dilihat pada **Tabel 8** berikut.

Tabel 8 Hasil pengujian karakteristik *Bottom Ash*

Parameter	Satuan	Hasil
Fe	m/m%	68.22
Ca	m/m%	16.97
Si	m/m%	7.82
Ti	m/m%	2.18
Mn	m/m%	1.84
K	m/m%	1.21
Sr	m/m%	0.7370
Ba	m/m%	0.4380
Zr	m/m%	0.2130
Zn	m/m%	0.1610
Nb	m/m%	0.0680
Cu	m/m%	0.0590
Y	m/m%	0.0360
In	m/m%	0.0241
Sn	m/m%	0.0207
Fe ₂ O ₃	m/m%	61.57
CaO	m/m%	16.51
SiO ₂	m/m%	15.67
TiO ₂	m/m%	2.42
MnO	m/m%	1.62
K ₂ O	m/m%	1.04
SrO	m/m%	0.5120
BaO	m/m%	0.3160
ZrO ₂	m/m%	0.1700
ZnO	m/m%	0.1170
Nb ₂ O ₅	m/m%	0.0570
CuO	m/m%	0.0430
Y ₂ O ₃	m/m%	0.0270
In ₂ O ₃	m/m%	0.0171
SnO ₂	m/m%	0.0154

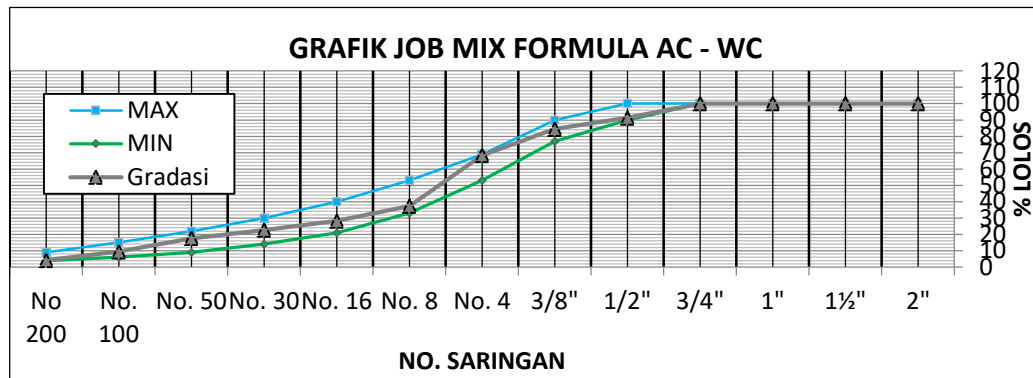
3.6 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Tabel 9 Perkiraan nilai kadar aspal

Pb-1	Pb-0,5	Pb	Pb+0,5	Pb+1
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka diperoleh nilai dari perhitungan penentuan kadar rencana (PB) dapat dilihat pada **Tabel 9** nilai kadar aspal rencana yaitu nilai PB = 6 %, nilai PB – 0,5 = 5,5%, nilai PB – 1 = 5 %, nilai PB + 0,5 = 6,5% dan PB + 1 = 7 %.

3.7 Penentuan KAO



Gambar 5 Grafik proporsasi gradasi gabungan agregat variasi kadar aspal

Berdasarkan hasil pemeriksaan gradasi diatas sehingga penulis bisa membuat komposisi campuran dengan variasi 2% menggunakan *cement Portland*. Berdasarkan **Gambar 5** dapat menjelaskan bahwa gradasi agregat gabungan (garis lolos tiap saringan %) terletak di dalam garis batas atas dan garis bawah yang menunjukkan hasil gradasi agregat gabungan memenuhi spesifikasi SNI ASTM C136:2012.

3.7 Lapisan AC-WC Dengan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai Pengganti *filler*

Tabel 10 Komposisi campuran aspal filler pengganti variasi B100%

Material	Kadar Pengganti Filler	Persentase Thd Agregat	Persentase Thd Campuran	1200 Gram	
	2%	%	%	Berat Individu Gram	Berat Kumulatif Gram
Hot Bin I (Abu Batu)		50	46.81	561.72	561.72
Hot Bin II (0.5-1)		30	28.09	337.03	898.75
Hot Bin III (1 - 2)		18	16.85	202.22	1100.97
Filler (Bottom Ash)	100	2	1.87	22.47	1123.44
Filler (Fly Ash)	0	0	0.00	0.00	1123.44
Aspal Minyak			6.38	76.56	1200.00
TOTAL	100	100	100	1200	2400.00

Tabel 11 Komposisi campuran aspal filler pengganti variasi B75%+F25%

Material	Kadar Pengganti Filler	Persentase Thd Agregat	Persentase Thd Campuran	1200 Gram	
	2%	%	%	Berat Individu Gram	Berat Kumulatif Gram
Hot Bin I (Abu Batu)		50	46.81	561.72	561.72
Hot Bin II (0.5-1)		30	28.09	337.03	898.75
Hot Bin III (1 - 2)		18	16.85	202.22	1100.97
Filler (Bottom Ash)	75	1.5	1.40	16.85	1117.82
Filler (Fly Ash)	25	0.5	0.47	5.62	1123.44
Aspal Minyak			6.38	76.56	1200.00
TOTAL	100	100	100	1200	2400.00

Tabel 12 Komposisi campuran aspal filler pengganti variasi B50%+F50%

Material	Kadar Pengganti Filler	Persentase Thd Agregat	Persentase Thd Campuran	1200 Gram	
	2%	%	%	Berat Individu Gram	Berat Kumulatif Gram

Hot Bin I (Abu Batu)	50	46.81	561.72	561.72
Hot Bin II (0.5-1)	30	28.09	337.03	898.75
Hot Bin III (1 - 2)	18	16.85	202.22	1100.97
Filler (Bottom Ash)	50	1	0.94	11.23
Filler (Fly Ash)	50	1	0.94	11.23
Aspal Minyak			6.38	76.56
TOTAL	100	100	100	1200
			1200	2400.00

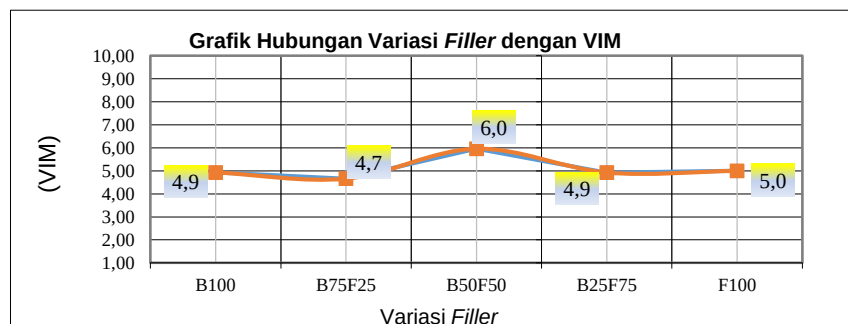
Tabel 13 Komposisi campuran aspal *filler* pengganti variasi B25%+F75%

Material	Kadar Pengganti Filler	Persentase Thd Agregat	Persentase Thd Campuran	1200 Gram	
	2%	%	%	Berat Individu	Berat Kumulatif
				Gram	Gram
Hot Bin I (Abu Batu)		50	46.81	561.72	561.72
Hot Bin II (0.5-1)		30	28.09	337.03	898.75
Hot Bin III (1 - 2)		18	16.85	202.22	1100.97
Filler (Bottom Ash)	25	0.5	0.47	5.62	1106.59
Filler (Fly Ash)	75	1.5	1.40	16.85	1123.44
Aspal Minyak			6.38	76.56	1200.00
TOTAL	100	100	100	1200	2400.00

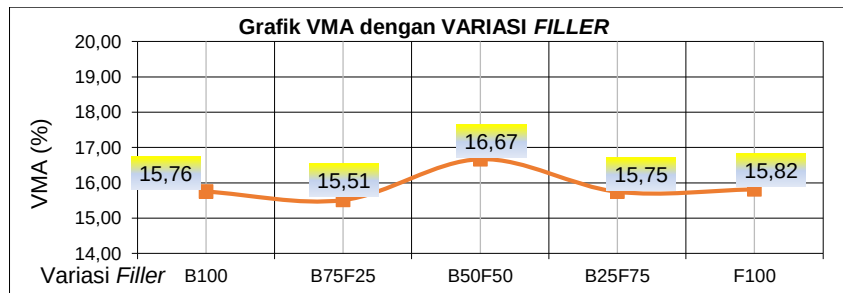
Tabel 14 Komposisi campuran aspal *filler* pengganti variasi F100%

Material	Kadar Pengganti Filler	Persentase Thd Agregat	Persentase Thd Campuran	1200 Gram	
	2%	%	%	Berat Individu	Berat Kumulatif
				Gram	Gram
Hot Bin I (Abu Batu)		50	46.81	561.72	561.72
Hot Bin II (0.5-1)		30	28.09	337.03	898.75
Hot Bin III (1 - 2)		18	16.85	202.22	1100.97
Filler (Bottom Ash)	0	2	0.00	0.00	1100.97
Filler (Fly Ash)	100	0	1.87	22.47	1123.44
Aspal Minyak			6.38	76.56	1200.00
TOTAL	100	100	100	1200	2400.00

3.8 Hasil Uji Marshall

**Gambar 6** Hasil perhitungan nilai VIM dengan filler pengganti

Dari hasil pengujian VIM pada limbah *Fly ash* dan *Bottom ash* sebagai pengganti *filler* mengalami perubahan nilai naik turun dari setiap variasi yang didapatkan. Untuk pengujian VIM campuran *filler* menunjukkan variasi yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 6 dengan batas 3-5% yakni variasi B100%, B75%+F25%, B25%+F75%, F100% dengan nilai masing masing 4.9%, 4.7%, 4.9%, dan 5.0% hal ini dikarenakan butiran-butiran dari kedua filler *fly ash* dan *Bottom ash* baik mengisi rongga-rongga dalam campuran sehingga dapat memperkecil rongga yang terjadi. Akan tetapi pada variasi B50%+F50% nilai VIM cenderung tinggi melewati batas spesifikasi dengan nilai 6% yang dapat penuaan aspal dan mudah retak karna rongga dalam campuran terlalu kecil.

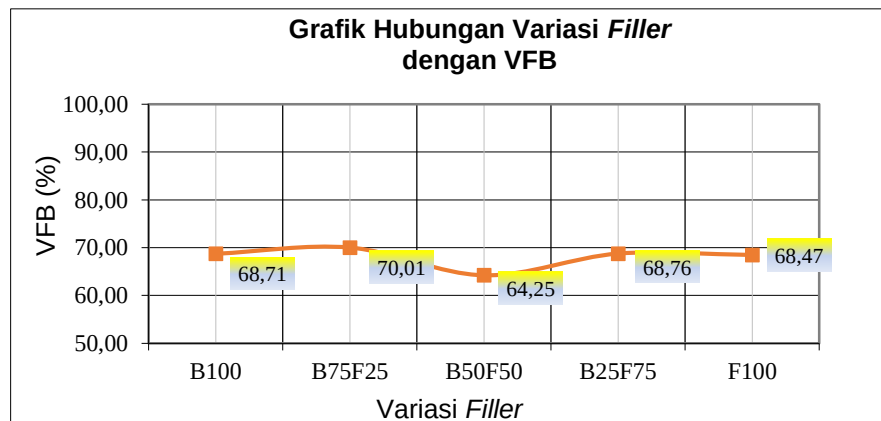


Gambar 7 Hasil perhitungan nilai VMA dengan Filler pengganti

Dari hasil pengujian VMA pada limbah sebagai pengganti *filler* mengalami perubahan nilai naik turun dari setiap variasi yang didapatkan. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 syarat nilai VMA ialah sebesar $\geq 15\%$. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi *filler* memenuhi persyaratan nilai VMA. Nilai VMA Tertinggi terdapat pada variasi *filler* B50%+F50% sebesar 16.67% dan nilai VIM terendah terdapat pada variasi *filler* B75%+F25% sebesar 15,51%.

Tabel 15 Hasil perhitungan nilai VFB dengan Filler pengganti

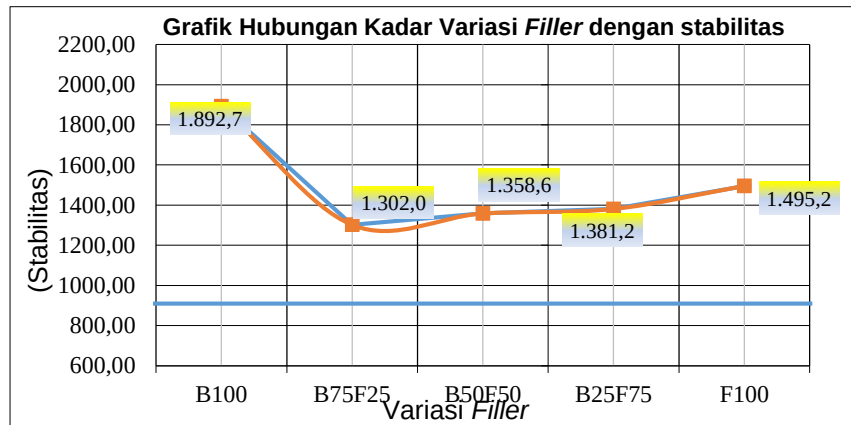
No.	Variasi Filler 2%		Syarat (%)	Nilai VFB (%)	Keterangan
	Bottom Ash	Fly Ash			
1.	100	0	≥ 65	68.71	Memenuhi
2.	75	25	≥ 65	70.01	Memenuhi
3.	50	50	≥ 65	64.25	Tidak memenuhi
4.	25	75	≥ 65	68.76	Memenuhi
5.	0	100	≥ 65	68.47	Memenuhi



Gambar 8 Hasil perhitungan nilai VFB dengan Filler pengganti

Tabel 16 Hasil perhitungan nilai *Stabilitas* dengan Filler pengganti

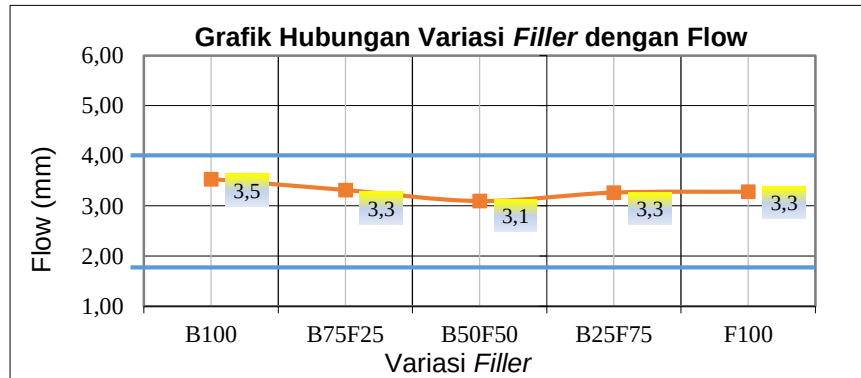
No.	Variasi Filler 2%		Syarat (kg)	Stabilitas (kg)	Keterangan
	Bottom Ash	Fly Ash			
1.	100	0	≥ 800	1892.73	Memenuhi
2.	75	25	≥ 800	1302.01	Memenuhi
3.	50	50	≥ 800	1358.61	Memenuhi
4.	25	75	≥ 800	1381.19	Memenuhi
5.	0	100	≥ 800	1495.21	Memenuhi


Gambar 9 Hasil perhitungan nilai *Stabilitas* dengan Filler pengganti

Hasil dari pengujian Campuran Laston dalam perendaman 30 Menit diperoleh nilai *Stabilitas* pada variasi *filler* B100%, B75%+F25%, B50%+F50%, B25%+F75%, dan F100%, dengan nilai 1892.73 kg, 1302.01 kg, 1358.61 kg, 1381.19 kg, dan 1495.21 kg. Jika dibandingkan dengan standar yang ditentukan dengan nilai minimum 800 kg, maka nilai yang dihasilkan dari semua pengujian pada variasi *filler* masuk dalam standar ASTM dalam Bina Marga. Hal ini menunjukkan penggunaan *Fly ash* dan *Bottom ash* baik digunakan sebagai pengganti semen sebagai bahan pengikat dikarenakan kedua limbah tersebut banyak mengandung slika yang dapat berfungsi sebagai bahan pengikat dalam campuran Aspal.

Tabel 17 Hasil perhitungan nilai *flow* dengan *filler* pengganti

No.	Variasi Filler 2%		Syarat (mm)	Flow (mm)	Keterangan
	Bottom Ash	Fly Ash			
1.	100	0	2-4	3.53	Memenuhi
2.	75	25	2-4	3.32	Memenuhi
3.	50	50	2-4	3.10	Memenuhi
4.	25	75	2-4	3.27	Memenuhi
5.	0	100	2-4	3.28	Memenuhi

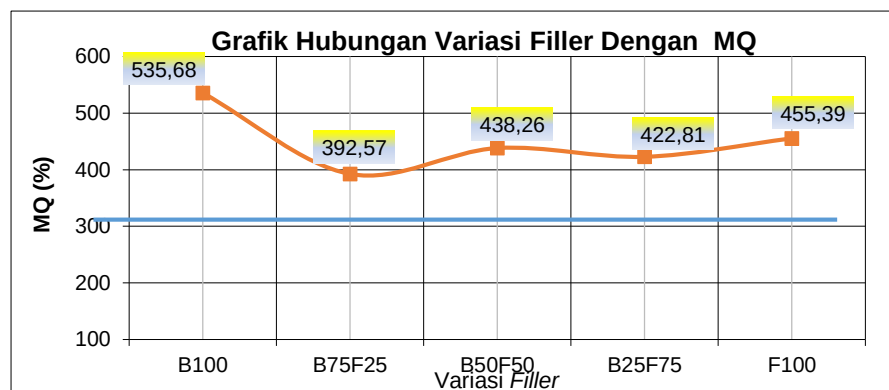


Gambar 10 Hasil perhitungan nilai *Flow* dengan Filler pengganti

Hasil dari pengujian *Marshall* pada variasi *filler* dalam perendaman 30 Menit diperoleh nilai kelelahan (*Flow*) dari setiap variasi *filler* hampir sama dan memenuhi spesifikasi standar Minimum sebesar 2-4 mm, maka semua jenis sampel memenuhi Spesifikasi Bina Marga. Hal ini dikarenakan valume kadar *filler* campuran yang digunakan sama sehingga memiliki sifat plastis hampir sama pada suatu campuran. Nilai tertinggi didapatkan pada variasi *filler* B100% dengan nilai 3,53 mm dan nilai *flow* terendah berada pada variasi *filler* B50%+F50% dengan nilai 3,10 mm.

Tabel 18 Hasil perhitungan nilai MQ dengan Filler pengganti

No.	Variasi Filler 2%		Syarat (Kg/mm)	MQ (Kg/mm)	Keterangan
	Bottom Ash	Fly Ash			
1.	100	0	≥ 250	535.68	Memenuhi
2.	75	25	≥ 250	392.57	Memenuhi
3.	50	50	≥ 250	438.26	Memenuhi
4.	25	75	≥ 250	422.81	Memenuhi
5.	0	100	≥ 250	455.39	Memenuhi



Gambar 11 Hasil perhitungan nilai MQ dengan Filler pengganti

Dari hasil perhitungan Pengujian *Marshall* diperoleh nilai *Marshall Quotient* semua jenis variasi *filler* pengganti memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dengan standar minimal 250 kg/mm. Berdasarkan **Gambar 11** menunjukkan variasi *filler* B100% dan mendapatkan nilai tertinggi 535.68 Kg/mm. hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *Filler Fly ash* dan *Bottom ash* baik digunakan sebagai bahan pengganti *Filler* semen.

Tabel 19 Rekapitulasi Data Hasil Pengujian *Marshall*

Jenis Pengujian	Syarat	Variasi Filler %				
		B100	B75+F25	B50+F50	B25+F75	F100
VIM	3-5 %	4.93	4.66	5.96	4.92	5.00
VMA	≥ 15 %	15.76	15.51	16.67	15.75	15.82
VFB	≥ 65 %	68.71	70.01	64.25	68.76	68.47
Flow	2-4 mm	3.53	3.32	3.10	3.27	3.28
Stabilitas	≥ 800 kg	1892.73	1302.01	1358.61	1381.19	1495.21
MQ	≥ 250 kg/mm	535.68	392.57	438.26	422.81	455.39
Keterangan		Memenuhi	Memenuhi	Tidak memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Keterangan:

Merah : Nilai tidak memenuhi berdasarkan divisi 6 spesifikasi Bina Marga 2018

Berdasarkan **Tabel 19** menunjukkan hasil pengujian bahwa variasi penambahan variasi *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti *filler* pada campuran aspal yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, adapun beberapa variasi yang memenuhi syarat yakni variasi B100%, B75%+F25%, B25%+F75%, dan F100%. Dan yang tidak memenuhi semua karakteristik *marshall* yaitu pada variasi B50%+F50% melampaui syarat spesifikasi VIM dengan nilai 5.96 % dan tidak mencapai spesifikasi VFB dengan nilai 64.25 % sehingga dikarenakan rongga rongga yang dihasilkan sedikit.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium PT. Bumi Karsa selanjutnya dari hasil analisis data yang diperoleh dalam penelitian maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Nilai KAO yang didapatkan sebesar 6.38%. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa campuran aspal dengan penambahan bahan pengisi yang berupa *fly ash* dan *bottom ash* memenuhi spesifikasi Bina marga 2018 yakni pada variasi B100%, B75%+F25%, B25%+F75%, F100% dan pada variasi B50%+F50% tidak memenuhi syarat terdapat pada nilai VIM dan VFB. Nilai VIM tertinggi pada variasi B50%+F50% sebesar 5.96% yang cenderung tinggi sehingga melewati syarat spesifikasi, nilai terendah pada variasi B75%+F25% sebesar 4.66%. Nilai VMA tertinggi pada variasi B50%+F50% sebesar 16.67%, nilai terendah pada variasi B75%+F25% sebesar 15.51%. Nilai VFB tertinggi pada variasi B75%+F25% sebesar 70.01%, nilai terendah pada variasi B50%+F50% sebesar 64.25% sehingga melewati syarat spesifikasi. Nilai *Flow* tertinggi pada variasi B100% sebesar 3.53mm, nilai terendah pada variasi B50%+F50% sebesar 3.10mm. Nilai *Stabilitas* pada variasi B100% tertinggi sebesar 1892.73kg, nilai terendah pada variasi B75%+F25% sebesar 1302.01kg. Nilai MQ pada variasi B100% tertinggi sebesar 535.68kg/mm, nilai terendah pada variasi B75%+F25% sebesar 392.57kg/mm. *fly ash* dan *bottom ash* dapat dijadikan sebagai bahan pengisi untuk campuran AC-WC.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Al-Amri, F. (2023). *Studi Perbandingan Penggunaan Aspal Minyak Dengan Aspal Buton Lawele Pada Campuran Aspal Concrete Base Course (Ac-Bc) Menggunakan Metode Marshall Test*. 4(2), 181–190.
- Azka, C. N., & Aceh, U. M. (2023). *Perkerasan Jalan* (Issue October).
- Hawari, F. (2021). *Ash Dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik*. 3(1), 1–6.
- Hermansyah, A. F. Isnani, F. Y. (2022). *Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Hrs-Wc Menggunakan Abu Sekam Padi*. 5. <https://doi.org/10.1016/J.Ijprt.2017.10.007.A>

- Misbah. (2023). *Pengaruh Variasi Kadar Agregat Halus Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas Aspal Agregat (Ac-Wc) Dengan Pengujian Marshall*. 15(2), 67–75.
- Ode Halimu, Fitriah, S. (2018). *Uji Karakteristik Marshall Campuran Laston Ac-Bc Menggunakan Material Batu Kapur Dan Variasi Aspal Kabungka Dengan Kadar Aspal*. 6(3), 17–24.
- Pratama, M. D. (2022). *Pengaruh Variasi Campuran Antara Bottom Ash Dan Fly Ash Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Aspal Beton Lapis Ac-Wc*.
- Sainuddin. (2024a). *Pengaruh Kekuatan Aspal Dengan Penambahan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Filler Pada Lapis Ac – Wc*. 6(1), 16–23.
- Sainuddin. (2024b). *Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Perkerasan Hrs-Wc Dengan Metode Marshall Test*. Pdf.
- Sastra, M. (2018). *Karakteristikmarshall Pada Campuran Asphaltic Concrete Pada Pemeliharaan Jalan Dalam Kota Bengkalis*. 8(1), 46–51.
- Sukirman, S. (N.D.). *Beton Aspal Campuran Panas*.
- Tegar Wahyu Pratama, Heri Azwansyah, Dan S. M. (2024). *Utilization Of Bentonite As A Substitute For Filler In Asphalt Concrete-Binder Course (Ac-Bc)*. 24(3), 1226–1236.
- Uwwes, A., Qurny, A., Puspito, I. H., & Tinumbia, N. (2022). *Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Asphalt Concrete Wearing Course/Ac- Wc)*. 2(1), 87–97.
- Yanti, O. D. (2018). *Pengaruh Penggunaan Aspal Terhadap Perubahan Suhu Pada Laston Ac-Wc*. 13(01).
- Zikri, M. (2024). *Analisis Substitusi Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara Sebagai Pengisi Filler Terhadap Uji Marshall Dalam Campuran Aspal Beton Ac-Wc*.