

CAMPURAN BERASPAL HRS-WC MENGGUNAKAN BOTTOM ASH PLTU AIR ANYIR SEBAGAI FILLER

Desy Yofianti¹

Jurusan Teknik Sipil
Universitas Bangka Belitung Kampus Terpadu UBB
Balunijuk
Provinsi Kepulauan Bangka Belitung 33172
desyyofianti@gmail.com

Muhammad Aswadi

Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Kota Pangkalpinang
Jalan Rasakunda, Sriwijaya, Kec. Girimaya Kota
Pangkalpinang Provinsi Kepulauan Bangka
Belitung 33684

Abstract

Coal is used as fuel for the Air Anyir Steam Power Plant (PLTU) on Bangka Island. The combustion waste in the form of fly ash and bottom ash has not been utilized optimally as an alternative material for road construction. Therefore, this study aims to analyze the potential use of bottom ash as a filler in the HRS-WC mixture. The HRS-WC mixture uses two variations of filler, namely cement and bottom ash. The variation of asphalt content used is 6.5%, 7%, 7.5%, 8%, and 8.5%. The results showed that the use of bottom ash as a filler resulted in a KAO value of 7.95% and the stability value of the mixture was greater than using cement filler. So, bottom ash has potential as an alternative filler in asphalt mixtures.

Keywords: bottom ash, HRS-WC, filler, asphalt mixture, PLTU Air Anyir

Abstrak

Batu bara digunakan sebagai bahan bakar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Air Anyir di Pulau Bangka. Limbah hasil pembakarannya berupa fly ash dan bottom ash belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai bahan alternatif konstruksi jalan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penggunaan bottom ash sebagai filler pada campuran HRS-WC. Campuran HRS-WC menggunakan dua variasi filler yaitu semen dan bottom ash. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 6,5%, 7%, 7,5%, 8%, dan 8,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bottom ash sebagai bahan pengisi (filler) menghasilkan nilai KAO sebesar 7,95% dan nilai stabilitas campuran lebih besar dibandingkan dengan menggunakan filler semen. Jadi, bottom ash memiliki potensi sebagai alternatif filler pada campuran beraspal.

Kata Kunci: bottom ash, HRS-WC, bahan pengisi, campuran beraspal, PLTU Air Anyir

LATAR BELAKANG

Batu bara digunakan sebagai bahan bakar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Air Anyir di Pulau Bangka. Hasil pembakaran batu bara menghasilkan limbah pembakaran berupa *fly ash* dan *bottom ash* (Suprpto, 2009; Yofianti dan Yukho, 2019). *Bottom ash* (BA) berbentuk partikel halus dan memiliki sifat *pozzolan* (Arifudin, 2020). Komponen utama *bottom ash* memiliki kandungan silika oksida (Suseno, et al., 2012; Toniolo dan Boccacini, 2017), dimana silika sebesar 41,73% dan kandungan oksidanya hampir sama dengan tanah lempung (Suseno et al., 2012).

Limbah *fly ash* sudah banyak digunakan sebagai bahan alternatif campuran beraspal, contohnya sebagai *filler* (Tahir, 2009; Gussyafri, 2010; Ambarwati, et al., 2012). Selain itu, penelitian terkait *bottom ash* sebagai bahan campuran beraspal juga sudah pernah dilakukan

¹ Corresponding author: desyyofianti@gmail.com

(Hawari dan Lizar, 2021; Arifudin, 2020; Santoso, et al., 2003; Tahir dan Wulan, 2015). Namun, perbedaan dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya adalah pada penggunaan jenis campuran beraspal, variasi penggunaan *fly ash* maupun *bottom ash*, serta sumber dari *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan pada campuran. Contohnya: penggunaan *bottom ash* sebesar 35% sebagai material pengganti agregat kasar pada campuran AC-WC diperoleh nilai KAO sebesar 5,65% dan menunjukkan peningkatan nilai stabilitas campuran dengan menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018 (Arifudin, 2020).

Bottom ash yang ada di PLTU Air Anyir di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai bahan alternatif konstruksi jalan. Padahal jika dilihat secara visual, tekstur *bottom ash* (BA) ini dapat digunakan sebagai material alternatif untuk konstruksi jalan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penggunaan *bottom ash* sebagai *filler* pada campuran HRS-WC.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan campuran HRS-WC dengan dua variasi *filler* yaitu semen dan *bottom ash*. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 6,5%, 7%, 7,5%, 8%, dan 8,5%. Jumlah kebutuhan benda uji dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian terhadap benda uji dilakukan di laboratorium dengan menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2010. Jenis pengujian yang dilakukan terhadap bahan campuran beraspal yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 sampai Tabel 6.

Tabel 1. Kebutuhan Benda Uji

Jenis Campuran	Variasi Kadar Aspal (%)					Jumlah
	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	
HRS-WC menggunakan <i>filler bottom ash</i>	3	3	3	3	3	15
HRS-WC menggunakan <i>filler semen</i>	3	3	3	3	3	15
Total Kebutuhan Benda Uji						30

Tabel 2. Pengujian Agregat Kasar

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan	
			Min.	Maks.
1	a. Berat jenis			
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-
	2) <i>SSD</i>	SNI 03-1969-1990	2,5	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-
	b. Penyerapan air		-	3
2	Berat isi			
	c. Lepas	SNI 03-4804-1998	0,4	1,9
	d. Padat		0,4	1,9
3	Keausan agregat	SNI 2417:2008	-	30

Tabel 3. Pengujian Agregat Halus

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan	
			Min.	Maks.
1	a. Berat jenis	SNI 03-1970-1990		
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-
	2) <i>SSD</i>		2,5	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-
2	Berat isi	SNI 03-4804-1998		
	a. Lepas		0,4	1,9
	b. Padat		0,4	1,9
3	Setara pasir (<i>SE</i>)	SNI 03-4428-1997	50	-

Tabel 4. Pengujian Bottom Ash

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan	
			Min.	Maks.
1	a. Berat jenis	SNI 03-1970-1990		
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-
	2) <i>SSD</i>		2,5	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-
	b. Penyerapan air		-	3
2	Berat isi	SNI 03-4804-1998		
	a. Lepas		0,4	1,9
	b. Padat		0,4	1,9

Tabel 5. Pengujian Semen

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan	
			Min.	Maks.
1	a. Berat jenis	SNI 03-1970-1990		
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-
	2) <i>SSD</i>		2,5	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-
	b. Penyerapan air		-	3
2	Berat isi	SNI 03-4804-1998		
	a. Lepas		0,4	1,9
	b. Padat		0,4	1,9

Tabel 6. Pengujian Aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Persyaratan	
			Min	Maks
1	Penetrasi 25°C, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	60	79
2	Penetrasi 25°C, 100 gram, 5 detik setelah kehilangan berat	0,1 mm	54	-
3	Titik lembek (<i>Ring & Ball</i>)	°C	48	58
4	Titik Nyala (<i>Cleveland Oven Cup</i>)	°C	232	-
5	Daktalitas 25°C, 5 cm/menit	cm	100	-
6	Daktalitas 25°C, 5 cm/menit setelah kehilangan berat	cm	50	-
7	Berat Jenis 25°C	gr/cc	1	-

Pengujian yang dilakukan untuk melihat karakteristik campuran *HRS-WC* dengan *filler* semen dan *bottom ash* menggunakan pengujian marshall dengan 75 tumbukan untuk masing-masing sisi benda uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Campuran Beraspal

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap bahan campuran beraspal, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan aspal penetrasi 60/70 dapat dilihat pada Tabel 7 sampai Tabel 9. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa semua bahan yang digunakan memenuhi ketentuan yang sudah ditentukan berdasarkan standar pengujian.

Tabel 7. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan		Hasil	Satuan
			Min.	Maks.		
1	a. Berat jenis	SNI 03-1969-1990				
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-	2,553	-
	2) <i>SSD</i>		2,5	-	2,657	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-	2,59	-
	b. Penyerapan air		-	3	0,56	%
2	Berat isi					
	a. Lepas	SNI 03-4804-1998	0,4	1,9	1,386	Kg/l
	b. Padat		0,4	1,9	1,556	Kg/l
3	Keausan agregat	SNI 2417:2008	-	30	29,1	%

Tabel 8. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan		Hasil	Satuan
			Min.	Maks.		
1	a. Berat jenis	SNI 03-1970-1990				
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-	2,59	-
	2) <i>SSD</i>		2,5	-	2,61	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-	2,66	-
2	Berat isi					
	a. Lepas	SNI 03-4804-1998	0,4	1,9	1,40	Kg/l
	b. Padat		0,4	1,9	1,58	Kg/l
3	Setara pasir (<i>SE</i>)	SNI 03-4428-1997	50	-	63,4	%

Tabel 9. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

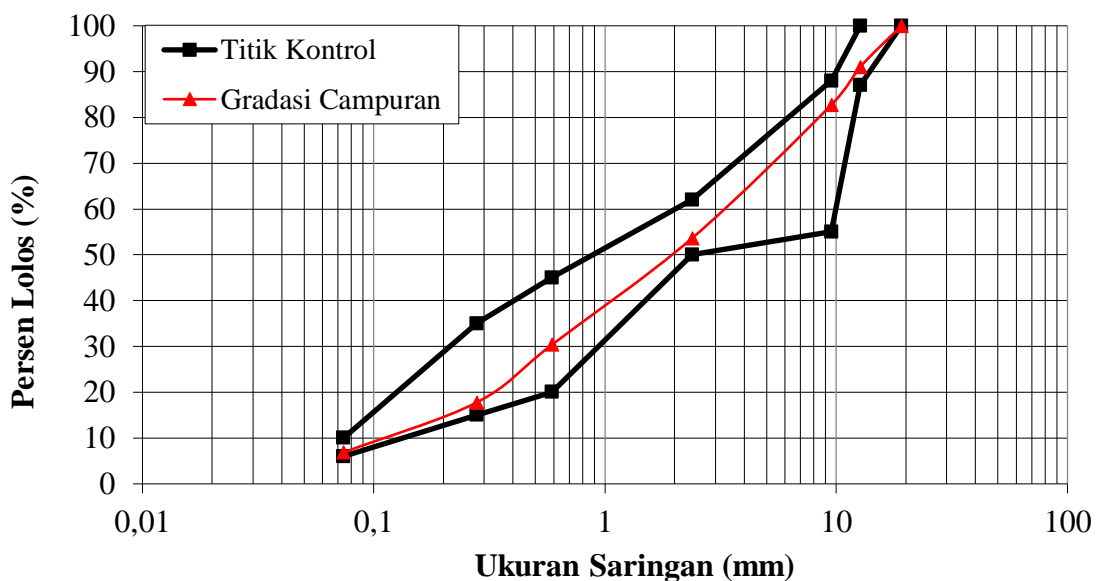
No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Persyaratan		Hasil
			Min	Maks	
1	Penetrasi 25°C, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	60	79	70
2	Penetrasi 25°C, 100 gram, 5 detik setelah kehilangan berat	0,1 mm	54	-	84,03
3	Titik lembek (<i>Ring & Ball</i>)	°C	48	58	50,9
4	Titik Nyala (<i>Cleveland Oven Cup</i>)	°C	232	-	324,00
5	Daktalitas 25°C, 5 cm/menit	cm	100	-	140,00
6	Daktalitas 25°C, 5 cm/menit setelah kehilangan berat	cm	50	-	140,00
7	Berat Jenis 25°C	gr/cc	1	-	1,033

Hasil Pengujian Campuran HRS-WC dengan filler *Bottom Ash*

Hasil pengujian terhadap *bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 10. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *bottom ash* dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) karena sudah memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Tabel 10. Hasil Pengujian Bottom Ash

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan		Hasil	Satuan
			Min.	Maks.		
1	a. Berat jenis					
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-	2,616	-
	2) <i>SSD</i>	SNI 03-1970-1990	2,5	-	2,655	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-	2,724	-
	b. Penyerapan air		-	3	1,524	%
2	Berat isi					
	a. Lepas	SNI 03-4804-1998	0,4	1,9	1,262	Kg/l
	b. Padat		0,4	1,9	1,488	Kg/l



Gambar 1. Gradasi Gabungan *Filler Bottom Ash*

Grafik gradasi gabungan menggunakan *bottom ash* pada campuran *HRS-WC* ditunjukkan pada Gambar 1. Gradasi gabungan yang diperoleh berada di dalam interval batas bawah dan batas atas gradasi yang ditentukan dalam spesifikasi. Selanjutnya, Gradasi gabungan ini digunakan untuk membuat campuran beraspal *HRS-WC* sesuai dengan jumlah kebutuhan benda uji. Kombinasi gradasi semi senjang yang menggunakan *filler Bottom Ash* dapat dilihat pada Tabel 11, sedangkan hasil uji *marshall* terhadap campuran *HRS-WC* menggunakan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 11. Kombinasi Gradasi Semi Senjang *Filler Bottom Ash*

Saringan No	Gradasi asli (% lolos)					Kombinasi gradasi					Total	Spec
	Split	Screen	Abu batu	Pasir	Semen	Split (%)	Screen (%)	Abu batu (%)	Pasir (%)	Semen (%)		
						14	42	18	24	2		
¾"	100	100	100	100	100	14,0	42,0	18,0	24,0	2,0	100	100
½"	53,85	94,03	100	100	100	7,5	39,5	18,0	24,0	2,0	91,03	87 - 100
⅜"	9,52	89,98	99,21	99,02	100	1,33	37,79	17,9	23,8	2,0	82,74	55 - 88
8	4,22	32,44	89,87	89,78	84,39	0,59	13,62	16,2	21,5	1,7	53,62	50 - 62
30		13,02	44,63	63,42	50,24	0,67	5,47	8,03	15,22	1,0	30,39	20 - 45
50		8,77	28,08	32,51	37,81	0,49	3,68	5,05	7,80	0,8	17,78	15 - 35
200		2,27	15,50	10,19	23,62	0,20	0,95	2,79	2,45	0,47	6,86	6 - 10

Tabel 12. Hasil Uji *Marshall Filler* Menggunakan *Bottom Ash*

No	Karakteristik <i>Marshall</i>	Satuan	Standar Mutu	Kadar Aspal				
				6,5%	7,0%	7,5%	8,0%	8,5%
1.	Density	gr/cm ³	-	2,258	2,233	2,285	2,261	2,241
2.	VMA	%	Min 18	18,17	18,08	18,10	19,40	20,53
3.	VFB	%	Min 68	61,58	68,47	74,94	74,99	75,54
4.	VIM	%	4-6	6,98	5,75	4,54	4,54	4,87
5.	Stabilitas	kg	Min 800	991,9	1110,2	1108,4	1128,4	1042
6.	<i>Flow</i>	mm	Min 3	2,6	2,83	3,13	3,43	3,87
7.	MQ	kg/mm	Min 250	394,5	403,0	363,7	334,0	271,4

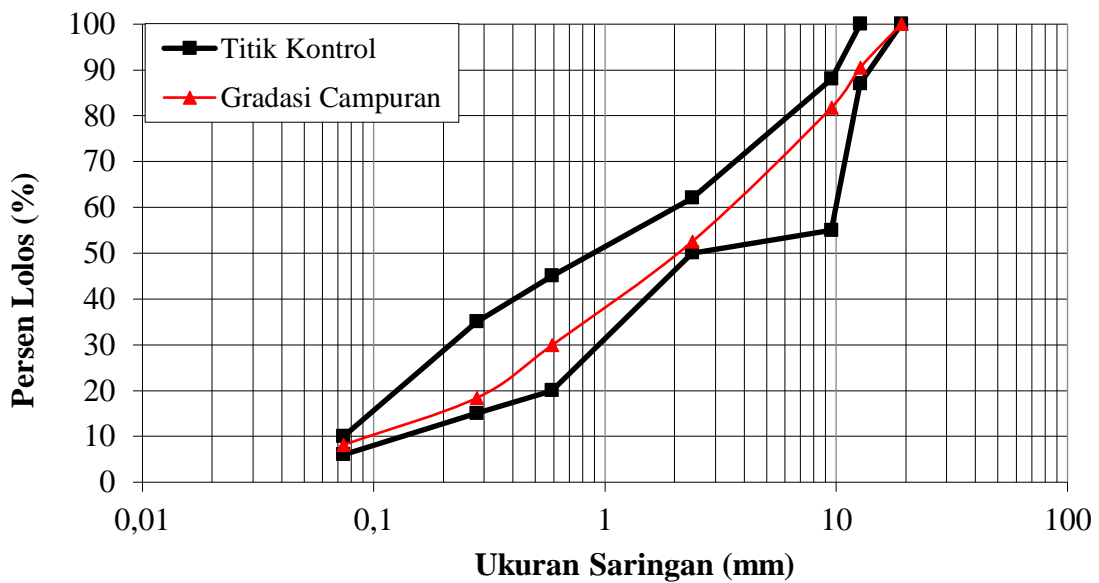
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *bottom ash* sebagai bahan pengisi (*filler*) menghasilkan nilai KAO sebesar 7,95% dan nilai stabilitas campuran lebih besar dibandingkan dengan menggunakan *filler* semen. Jadi, *bottom ash* memiliki potensi sebagai alternatif *filler* pada campuran beraspal.

Hasil Pengujian Campuran *HRS-WC* dengan *Filler* Semen

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap semen disajikan dalam Tabel 13. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa semen dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal. Untuk kombinasi gradasi semi senjang menggunakan *filler* semen disajikan dalam Tabel 14. Hasil kombinasi tersebut menunjukkan bahwa gradasi dapat digunakan untuk pembuatan benda uji dan memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan. Tabel 15 menunjukkan hasil pengujian *marshall* terhadap campuran *HRS-WC* yang menggunakan *filler* semen.

Tabel 13. Hasil Pengujian Semen

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Persyaratan		Hasil	Satuan
			Min.	Maks.		
1	a. Berat jenis	SNI 03-1970-1990				
	1) <i>Bulk</i>		2,5	-	3,155	-
	2) <i>SSD</i>		2,5	-	3,222	-
	3) <i>Apparent</i>		2,5	-	3,396	-
	b. Penyerapan air		-	3	2,249	%
2	Berat isi	SNI 03-4804-1998				
	a. Lepas		0,4	1,9	1,219	Kg/l
	b. Padat		0,4	1,9	1,399	Kg/l



Gambar 2. Gradasi Gabungan *Filler* Semen

Tabel 14. Kombinasi Gradasi Semi Senjang *Filler* Semen

Saringan No.	Gradasi asli (% lolos)					Kombinasi gradasi					Total	Spec
	Split	Screen	Abu batu	Pasir	Semen	Split (%)	Screen (%)	Abu batu (%)	Pasir (%)	Semen (%)		
						15	43	20	20	2		
3/4"	100	100	100	100	100	15,0	43,0	20,0	20,0	2,0	100	100
1/2"	53,85	94,03	100	100	100	8,1	40,4	20,0	20,0	2,0	90,51	87 - 100
3/8"	9,52	89,98	99,21	99,02	100	1,43	38,69	19,8	19,8	2,0	81,76	55 - 88
8	4,22	32,44	89,87	89,78	100	0,63	13,95	18,0	18,0	2,0	52,51	50 - 62
30		13,02	44,63	63,42	100	0,72	5,60	8,93	12,68	2,0	29,92	20 - 45
50		8,77	28,08	32,51	100	0,52	3,77	5,62	6,50	2,0	18,41	15 - 35
200		2,27	15,50	10,19	91,42	0,22	0,98	3,1	2,04	1,83	8,16	6 - 10

Tabel 15. Hasil Uji *Marshall Filler* Menggunakan Semen

No	Karakteristik <i>Marshall</i>	Satuan	Standar Mutu	Kadar Aspal				
				6,5%	7,0%	7,5%	8,0%	8,5%
1.	<i>Density</i>	gr/cm ³	-	2,258	2,233	2,285	2,261	2,241
2.	VMA	%	Min 18	18,17	18,08	18,10	19,40	20,53
3.	VFB	%	Min 68	61,58	68,47	74,94	74,99	75,54
4.	VIM	%	4-6	6,98	5,75	4,54	4,54	4,87
5.	Stabilitas	kg	Min 800	991,9	1110,2	1108,4	1128,4	1042
6.	<i>Flow</i>	mm	Min 3	2,60	2,83	3,13	3,43	3,87
7.	MQ	kg/mm	Min 250	394,50	403,0	363,7	334,0	271,4

Perbandingan Stabilitas Marshall Campuran *HRS-WC filler bottom ash* dan semen

Tabel 16 memperlihatkan perbandingan nilai stabilitas yang diperoleh antara campuran *HRS WC* dengan *filler bottom ash* dan semen.

Tabel 16. Perbandingan Nilai Stabilitas *Marshall Filler Bottom Ash* dan Semen

No	Jenis Campuran	Kadar Aspal				
		6,5%	7,0%	7,5%	8,0%	8,5%
1	<i>HRS-WC filler bottom ash</i>	991,9	1110,2	1108,4	1128,4	1042,0
2	<i>HRS-WC filler semen</i>	846,3	919,1	1046,5	1023,8	919,1

Peningkatan nilai stabilitas Campuran *HRS-WC* menggunakan *filler bottom ash* terhadap semen untuk setiap variasi kadar aspal (6,5%, 7,0%, 7,5%, 8,0%, dan 8,5%) secara berurutan adalah 17,20%, 20,79%, 7, 83%, 10,22%, dan 11,36%. Dari pengujian karakteristik *Marshall filler Bottom ash* dan *filler* semen dapat digunakan untuk campuran *HRS-WC*, karena memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2010. Untuk berat jenis maksimum campuran *Bottom Ash* yaitu, 2,393%, dan campuran semen yaitu, 2,357%.

Filler semen dan *bottom ash* didapat nilai stabilitas menggunakan *filler* Semen lebih kecil dibanding dengan *filler Bottom Ash* relatif baik, dan dapat menerima beban tanpa mengalami bentuk seperti gelombang (*washboarding*), alur (*rutting*), dan *bleeding*. *Filler* Semen dan *filler Bottom Ash* didapat nilai *flow* pada kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat. *Filler* Semen dan *filler Bottom Ash* didapat nilai *Marshall Quotient* cenderung turun, turunnya nilai *MQ* seiring dengan penambahan kadar aspal dikarenakan penambahan kadar aspal yang menyebabkan peningkatan kandungan aspal dalam campuran, sehingga campuran bersifat plastis dan berdampak pada peningkatan *flow*.

Untuk campuran *HRS-WC* menggunakan *filler* semen diperoleh nilai KAO sebesar 7,75%, dan untuk campuran *HRS-WC* menggunakan *filler Bottom Ash* nilai KAO yang didapat adalah 7,95%. Grafik penentuan nilai KAO dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Dengan demikian perbandingan stabilitas *Marshall* campuran *HRS-WC* menggunakan *filler Bottom Ash* lebih besar 2,58%, hal ini disebabkan oleh penyerapan *filler Bottom Ash* lebih tinggi dari pada penyerapan *filler* semen.

KESIMPULAN

Campuran beraspal *HRS-WC* yang menggunakan *filler bottom ash* (BA) menghasilkan nilai stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan *filler* semen dengan nilai KAO sebesar 7,95%. Jadi *bottom ash* dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengisi (*filler*).

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, L, Arifin, M.Z. dan Bawono, H. 2012. Pengaruh Kadar Abu Batubara Sebagai Filler Terhadap Karakteristik dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada Campuran Hot Rolled Sheet (HRS). *Jurnal Rekayasa Sipil*, volume 3 nomor 2, hal. 131-140.
- Arifudin, M.Y. 2020. Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Pada campuran Aspal Beton AC-WC Pen 60/70 Terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, volume 2 nomor 1.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Binamarga 2010 Revisi 3. Dinas Pekerjaan Umum Bidang Binamarga, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2018. Spesifikasi Umum Binamarga 2018. Dinas Pekerjaan Umum Bidang Binamarga, Jakarta.
- Hawari, F. dan Lizar. 2021. Analisis Pengaruh Penggantian Filler Abu Sawit Fly Ash dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur (AC-WC). *Jurnal Inovtek Seri Teknik Sipil dan Aplikasi (TEKLA)*, volume 3 nomor 1.
- Gussyafri. 2010. Karakteristik Abu Terbang Pada Stabilitas HRS-WC. Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Riau Hotel Pangeran Pekanbaru, 29-30 Juni 2010 hal. 1-9.
- Santoso, I., Roy, S.K. dan Andarias, P. 2003. Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Dimensi Teknik Sipil*, volume 5 nomor 2, hal. 75-81.
- Suprpto, S. 2009. Penanganan Limbah Pembakaran Batubara Pada Pabrik Tekstil (Studi Kasus Pabrik Tekstil di Kabupaten Bandung). *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, volume 05 volume 14, hal. 19-31.
- Suseno, H. Prastum, Susanti, L. dan Setyowulan, D. 2012. Pengaruh penggunaan bottom ash sebagai pengganti tanah liat pada campuran bata terhadap kuat tekan bata, *Jurnal Rekayasa Sipil*, volume 6, hal. 272-281.
- Tahir, A. 2009. Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batubara. *Jurnal SMARTek*, volume 7 nomor 4, hal. 256-278.
- Tahir, A dan Wulan, A.T. 2015. Pengaruh Variasi Bottom Ash dan Abu Batu Terhadap Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC). *Prosiding of the 18th FSTPT International Symposium*, Unila, Bandar Lampung August 28.
- Toniolo, N. dan Boccacini, A.R. 2017. Fly ash-based geopolymers containing added silicate waste A review *Ceramics International* 43 hal. 14545–14551.
- Yofianti, D. dan Yukho, H.A. 2019, Utilization of FABA Waste from coal combustion at the PLTU Air Anyir as an alternative to local construction materials, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 353 012027.