



Pengaruh Bottom Ash Batu Bara Sebagai Pengganti Filler Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton (HRS-WC)

Dave N. N. Umboh^{#a}, Steve Ch. N. Palenewen^{#b}, Mecky R. E. Manoppo^{#c}

^{#a}Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^adeiv0216@gmail.com, ^bspalenewen@unsrat.ac.id, ^cmeckymanoppo@yahoo.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi bahan pengisi (*filler*) berupa *bottom ash* pada campuran HRS-WC melalui pengujian Marshall. Variasi kadar aspal digunakan sebesar 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8%. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat dari hasil pengujian yaitu sebesar 7,40%. Variasi *bottom ash* menggunakan kadar sebesar 10%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat *filler*. Kadar campuran optimum yang didapat dari hasil pengujian dengan substitusi *bottom ash* yaitu sebesar 29%. Hasil Pengujian Marshall diperoleh nilai tertinggi disetiap karakteristik dengan substitusi *bottom ash* sebagai berikut. Nilai Stabilitas 977,77 kg pada kadar 10%, Flow 4,14 mm pada kadar 100%, VMA 19,453% pada kadar 10%, VIM 5,61 % pada kadar 10%, VFB 100% pada kadar 100%, Marshall Quetients 254,58 kg/mm pada kadar 10%. Nilai stabilitas, VMA, VIM menurun seiring bertambahnya kadar *filler bottom ash*. Sedangkan nilai VFB dan Marshall Quetient meningkat seiring bertambahnya kadar *filler bottom ash*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara keseluruhan hasil pengujian berdasarkan karakteristik Marshall terhadap substitusi *bottom ash* memiliki nilai yang sudah memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018 sehingga, material *bottom ash* dapat digunakan fungsinya sebagai pengganti bahan pengisi (*filler*). Akan tetapi tidak dapat menggantikan bahan pengisi (*filler*) dengan *bottom ash* sepenuhnya atau dengan kadar 100% karena berdasarkan pengujian nilai VIM, VMA dan MQ tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018.

Kata kunci: filler, HRS-WC, bottom ash, Marshall

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan merupakan suatu lapis konstruksi jalan yang terletak di atas tanah dasar jalan yang digunakan sebagai prasarana transportasi darat sekaligus memikul beban lalu lintas. Penggunaan perkerasan yang digunakan di Indonesia salah satunya jenis Lataston (Lapisan Tipis Aspal Beton) atau disebut juga HRS-WC adalah lapisan yang terletak pada permukaan atau lapisan penutup yang terdiri dari campuran antara agregat, aspal keras dan bahan pengisi (*filler*). Lataston HRS merupakan jenis Hotmix yang memerlukan material halus bahan pengisi (*filler*) lebih agar dapat diserap oleh kadar aspal karena jenis ini memiliki kadar aspal tinggi. Kadar aspal yang berlebihan ini bisa menyebabkan bleeding, oleh karena itu diperlukan material bahan pengisi (*filler*) yang lebih agar dapat diserap.

Filler merupakan bahan yang lolos ayakan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya (Bina Marga, 2018). *Filler* berguna sebagai pengisi rongga-rongga pada campuran aspal dengan agregat sehingga tercipta kekuatan ikatan yang lebih tinggi. *Filler* pada umumnya menggunakan abu batu hasil sampingan dari mesin pemecah batu pecah. Pada daerah yang tidak mudah untuk mendapatkan batu pecah, bisa menyulitkan penyediaan bahan pengisi (*filler*) terhadap campuran perkerasan khususnya campuran HRS yang memerlukan material halus

yang banyak. Maka dari itu, digunakan alternatif lain dari bahan pengisi (*filler*) yaitu *bottom ash* batu bara.

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan disebut juga abu yang tertinggal atau terjatuh pada dasar tungku. Material ini memiliki partikel yang halus dan memiliki zat bersifat mengikat. Oleh karena itu material *bottom ash* menunjang penelitian dalam penggunaan sebagai *filler*.

Penelitian ini menggunakan *bottom ash* yang diambil di PLTU Sulut-3 2x50 MW Kema. Di lokasi tersebut menghasilkan dua ton bahan buangan *bottom ash* setiap harinya. Hasil limbah sisa pembakaran ini dibuang begitu saja pada suatu lahan, sehingga limbah ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Daud Nawir, Muhammad Djaya bakri, Iif Ahmad syarif (2017), menggunakan variasi *bottom ash* sebagai bahan pengisi (*filler*) terhadap campuran aspal beton AC-WC. Hasil penelitian ini menunjukkan secara keseluruhan nilai Marshall yang didapat telah memenuhi spesifikasi, Nilai stabilitas tertinggi didapat pada kadar *filler* *bottom ash* 7% dengan kadar aspal sebesar 6,5% yaitu sebesar 1361,8 kg. Adanya penelitian terdahulu, digunakan sebagai referensi yang diharapkan menunjang penelitian ini dengan menggunakan *bottom ash* sebagai *filler* terhadap campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS).

Dalam penelitian ini, memilih memanfaatkan *bottom ash* batu bara terkait penelitian-penelitian terdahulu yang sudah menguji fungsinya sebagai bahan pengisi terhadap campuran perkerasan dan juga alternatif lain sebagai bahan pengisi (*filler*). Dalam segi lingkungan diharapkan dapat digunakan untuk mengurangi limbah hasil pembakaran batu bara yang menyebabkan pencemaran lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti *filler* terhadap kriteria marshall pada campuran beraspal panas jenis lapis tipis aspal beton (HRS-WC).

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian hanya dilakukan pengujian secara laboratorium.
2. Penelitian dilakukan pada Campuran Beraspal Panas Jenis HRS-WC
3. Pengujian yang dilakukan pada benda uji dengan Marshall test.
4. Material aspal yang digunakan berupa aspal Pertamina pen 60/70.
5. *Bottom ash* yang digunakan diperoleh dari PLTU Sulut-3 2x50 MW Kema.
6. Tidak meninjau kandungan kimia dari *bottom ash*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa karakteristik Marshall pada campuran Lataston (HRS – WC) dengan menggunakan material pengganti bahan pengisi (*filler*) berupa *bottom ash*.
2. Mengetahui kadar aspal optimum pada campuran Lataston (HRS – WC).
3. Mengetahui kadar campuran optimum pada substitusi *bottom ash*.
4. Menganalisa apakah limbah batu bara *bottom ash* dari PLTU Sulut-3 2x50 MW Kema dapat digunakan sebagai pengganti bahan pengisi (*filler*) sudah memenuhi standar spesifikasi bina marga 2018.

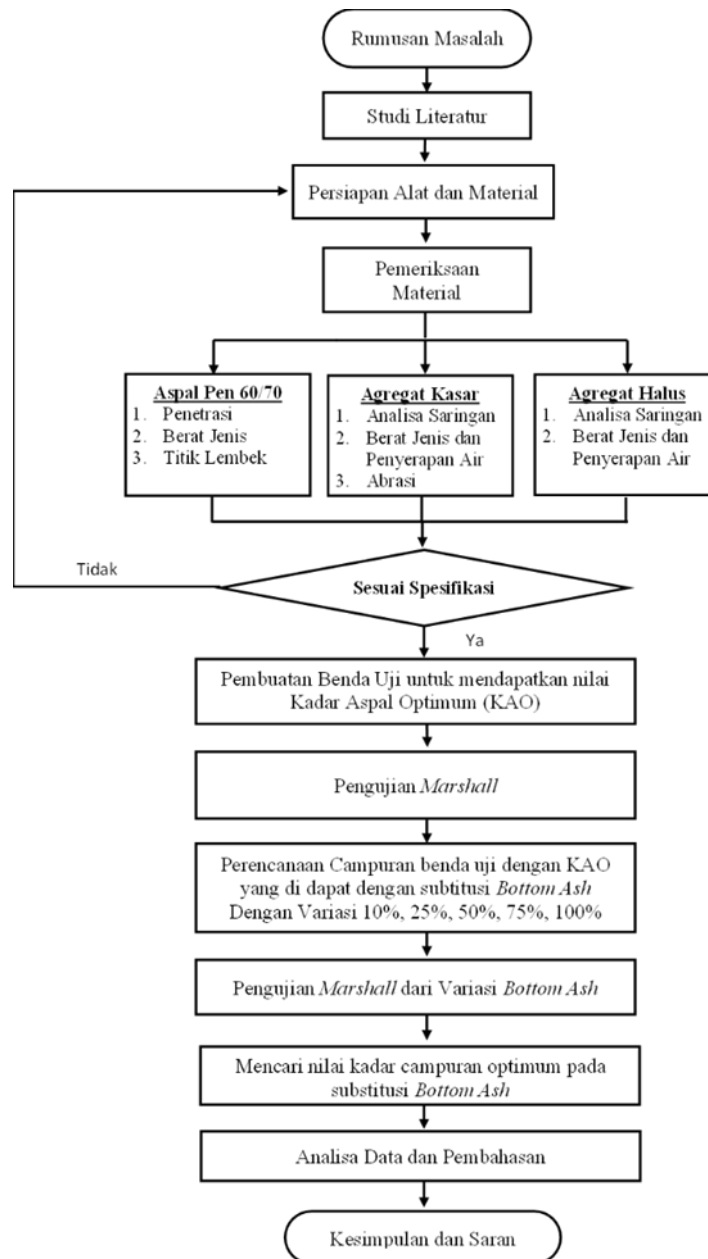
1.5. Manfaat Penelitian

1. Menambah pengetahuan tentang karakteristik Marshall dari *bottom ash* dalam fungsinya sebagai *filler* pada campuran Lataston (HRS – WC);
2. Meningkatkan penggunaan *bottom ash* sebagai bahan pengisi (*filler*) pada konstruksi jalan raya yang penggunaannya masih sangat minim;

3. Penggunaan *bottom ash* dapat mendukung pengurangan limbah batu bara agar menjadi produk ramah lingkungan.
4. Meningkatkan pengetahuan atau refrensi penggunaan *bottom ash* dibidang konstruksi jalan.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini mengikuti sesuai tahapan pada diagram alir dibawah ini yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Hasil pemeriksaan karakteristik aspal dengan Pen 60/70 berdasarkan pengujian yang dilakukan di Laboraturium Perkerasan Jalan, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Penetrasi Pada 25°C	SNI 2456:2011	67,28	60-70	0,1 mm
Titik Lembek	SNI 2434:2011	48,5	46-54	°C
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1,0453	≥1,0	-

3.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pada penelitian ini menggunakan agregrat kasar, agregrat sedang, agregrat halus yang berasal dari desa Lansot, Kecamatan Kema, Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Pada Tabel 2 ditampilkan hasil pemeriksaan karakteristik agregrat.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

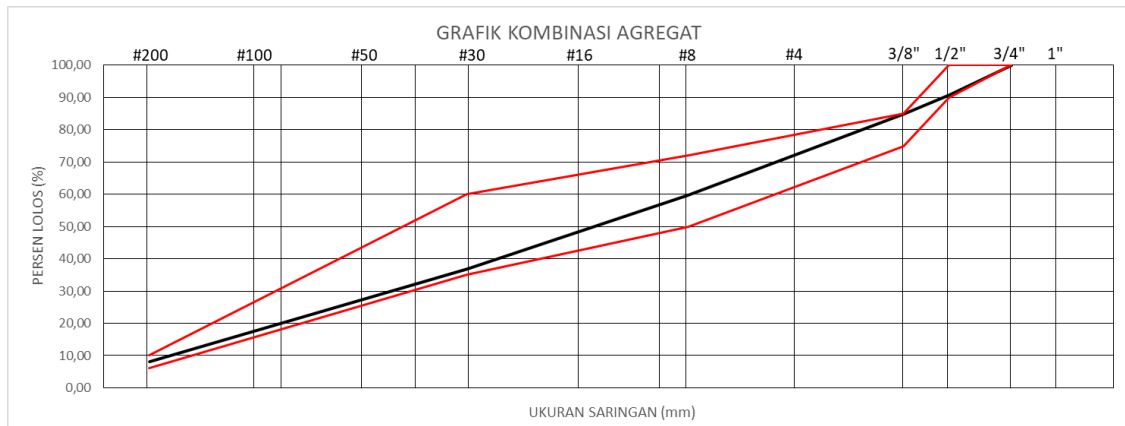
No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan
1.	Berat Jenis Bulk	SNI 1969:2016	≥2,5	2,66	gr/c
	Berat Jenis SSD	SNI 1969:2016	≥2,5	2,70	gr/c
	Agregat Berat Jenis Semu	SNI 1969:2016	≥2,5	2,79	gr/c
	Kasar Penyerapan Air	SNI 1969:2016	≥2,5	1,80	%
	Keausan Agregat	SNI 2417:2008	≤40	21,46	%
2.	Berat Jenis Bulk	SNI 1969:2016	≥2,5	2,66	gr/c
	Agregat Berat Jenis SSD	SNI 1969:2016	≥2,5	2,72	gr/c
	Sedang Berat Jenis Semu	SNI 1969:2016	≥2,5	2,81	gr/c
	Penyerapan Air	SNI 1969:2016	≤3,0	2,01	%
3.	Berat Jenis Bulk	SNI 1970:2016	≥2,5	2,48	gr/c
	Agregat Berat Jenis SSD	SNI 1970:2016	≥2,5	2,52	gr/c
	Halus Berat Jenis Semu	SNI 1970:2016	≥2,5	2,58	gr/c
	Penyerapan Air	SNI 1970:2016	≤3,0	1,46	%

3.3. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Saringan		Lolos Saringan (%)		
No. Saringan	Ukuran (mm)	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus
1"	25,400	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,100	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,700	51,47	99,88	100,00
3/8"	9,520	21,13	99,25	100,00
#4	4,750	1,14	34,86	99,35
#8	2,360	0,88	9,70	81,39
#16	1,180	0,82	6,17	63,99
#30	0,600	0,76	4,40	50,47
#50	0,300	0,50	2,96	34,33
#100	0,150	0,34	1,85	22,67
#200	0,075	0,15	0,75	11,5
Pan		0,00	0,00	0,00

3.4. Hasil Kombinasi Gradasi Agregat



Gambar 2. Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat

3.5. Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRS-WC

Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik Marshall	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4%	5%	6%	7%	8%	
Stabilitas (kg)	682,29	922,07	1015,42	1056,10	1019,90	Min. 600
Flow (mm)	3,48	3,58	3,62	3,92	4,28	-
VMA (%)	19,415	18,998	18,773	18,678	19,257	Min. 18
VIM (%)	12,931	10,326	7,871	5,508	3,893	4,0 – 6,0
VFB (%)	33,401	45,665	58,081	70,517	79,790	Min. 68
Kepadatan (gr/cc)	2,128	2,161	2,190	2,216	2,225	-
Kadar Aspal Efektif (%)	3,186	4,194	5,203	6,211	7,220	Min. 5,9
Marshall Quetient (MQ) (kg/mm)	195,863	257,874	282,776	269,712	238,323	250

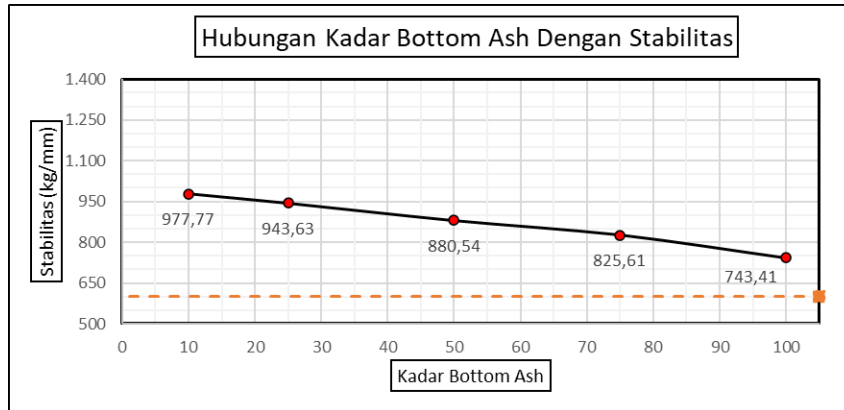
3.6. Hasil Pengujian Marshall Dengan Substitusi Bottom Ash Untuk Penentuan Kadar Campuran Optimum

Tabel 5. Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi Bottom Ash

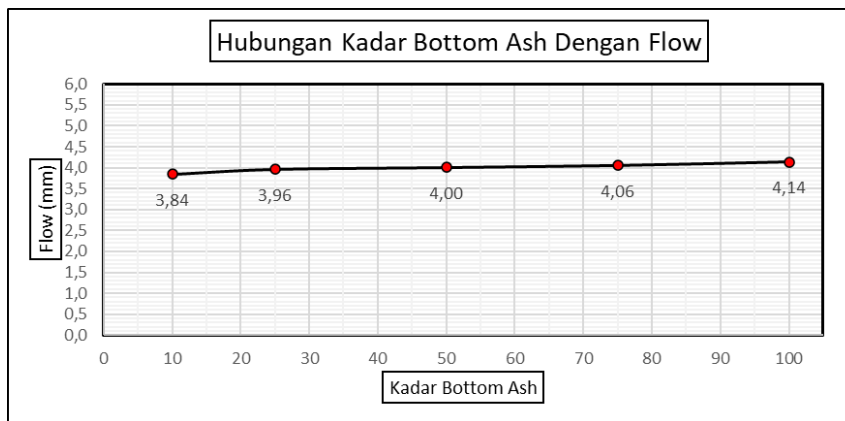
Karakteristik Marshall	Kadar Bottom Ash (%)					Spesifikasi
	10%	25%	50%	75%	100%	
Stabilitas (kg)	977,77	943,63	880,54	825,61	743,41	Min. 600
Flow (mm)	3,84	3,96	4,00	4,06	4,14	-
VMA (%)	19,453	18,941	17,965	17,227	17,042	Min. 18
VIM (%)	5,615	5,015	3,871	3,006	2,790	4,0 – 6,0
VFB (%)	71,176	73,527	78,453	82,561	83,629	Min. 68
Kepadatan (gr/cc)	2,204	2,218	2,244	2,265	2,270	-
Kadar Aspal Efektif (%)	6,564	6,564	6,564	6,564	6,564	Min. 5,9
Marshall Quetient (MQ) (kg/mm)	254,589	238,292	219,927	203,632	179,485	250

3.7. Pengaruh Substitusi Bottom Ash Pada Campuran HRS-WC Terhadap Kriteria Marshall

Grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar *bottom ash* maka semakin rendah nilai stabilitas. Nilai terendah yang didapat yaitu 743,41 kg pada kadar *bottom ash* 100 % dan nilai tertinggi yaitu 977,77 kg pada kadar *bottom ash* 10%. Hal ini disebabkan karena penambahan *filler bottom ash* membuat sifat saling mengunci antar partikel agregat menjadi rendah.

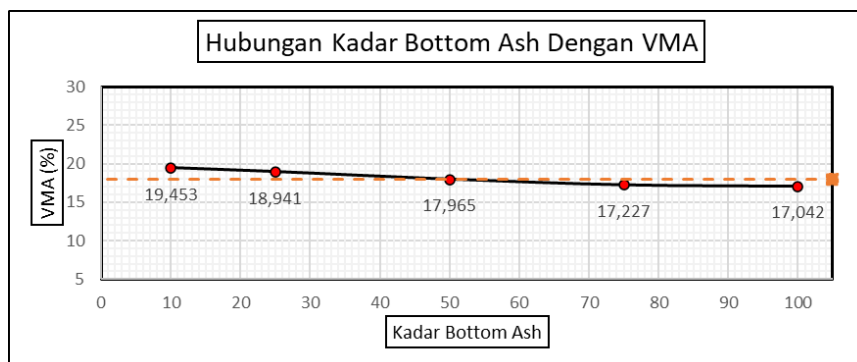


Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Bottom Ash dengan Stabilitas



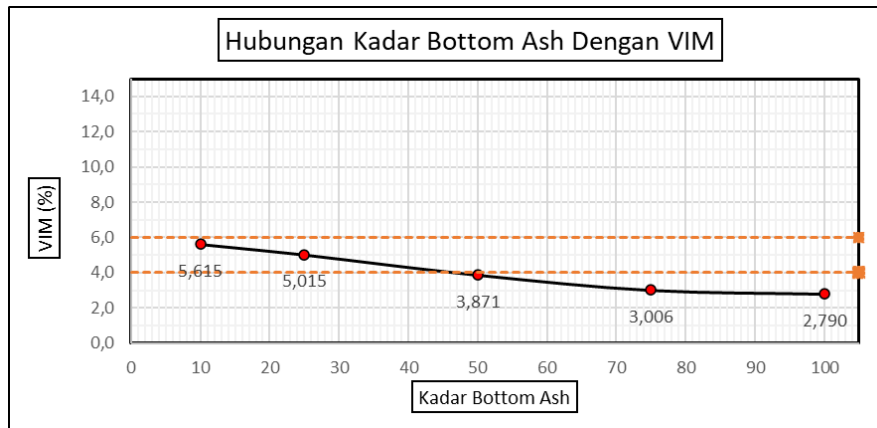
Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Bottom Ash dengan Flow

Pada grafik menunjukkan bahwa nilai flow semakin meningkat seiring bertambahnya kadar *bottom ash* dari kadar 10% sampai 100%. Hal ini disebabkan karena *filler bottom ash* membuat campuran kurang rapat sehingga menambah kelenturan atau deformasi namun peningkatan didapat tidak signifikan.



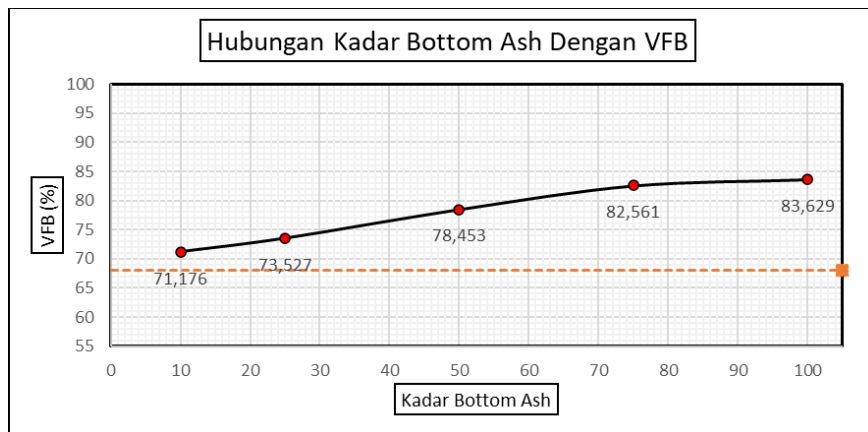
Gambar 5. Grafik Hubungan Kadar Bottom Ash dengan VMA

Pada grafik menunjukkan bahwa nilai VMA menurun seiring bertambahnya kadar *bottom ash*. Nilai VMA terendah pada kadar 100% *bottom ash* yaitu 17,042% dan nilai VMA tertinggi pada kadar *bottom ash* 10% yaitu 19,453%. Penurunan disebabkan membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Hasil pengujian ini didapatkan hanya pada kadar *bottom ash* 10% dan 25% yang memenuhi syarat batas spesifikasi bina marga 2018 yaitu dengan nilai minimum VMA yaitu 18%.



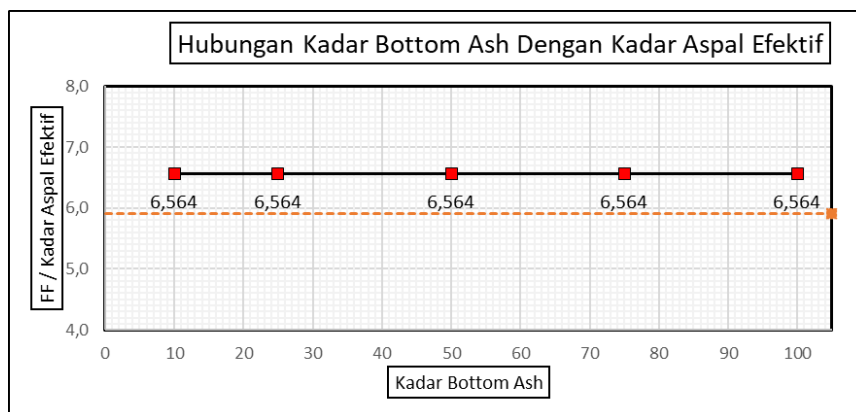
Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar Bottom Ash dengan VIM

Pada grafik menunjukkan bahwa nilai VIM menurun seiring bertambahnya kadar *bottom ash*. Hasil pengujian ini didapatkan hanya pada kadar *bottom ash* 10% dengan nilai VIM yaitu 5,615% dan kadar *bottom ash* 25% dengan nilai VIM yaitu 5,015% yang memenuhi syarat spesifikasi bina marga 2018 yaitu dengan batas minimum yaitu 4% dan batas maksimum 6%. Hal ini disebabkan karena rongga yang ada terisi oleh *filler bottom ash* lebih banyak.



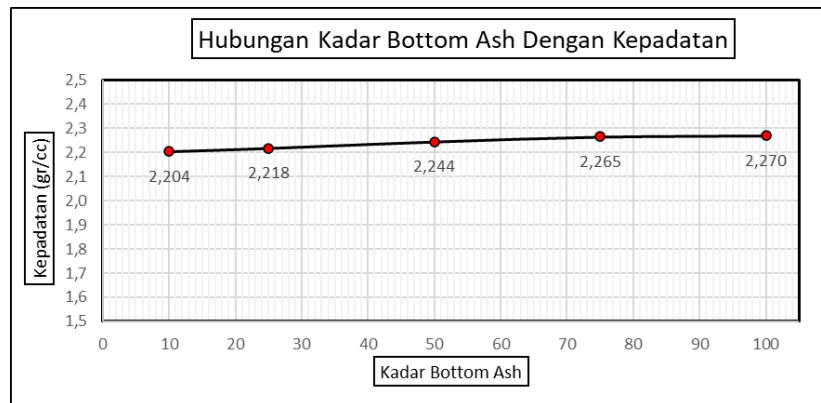
Gambar 7. Grafik Hubungan Kadar Bottom Ash dengan VFB

Pada grafik menunjukkan bahwa nilai VFB meningkat seiring bertambahnya kadar *bottom ash*. Hasil pengujian ini didapatkan nilai terendah yaitu pada kadar *bottom ash* 10% dengan nilai VFB yaitu 70,176% dan nilai tertinggi pada kadar *bottom ash* 100% dengan nilai VFB yaitu 83,629%. Peningkatan ini terjadi disebabkan karena semakin banyak rongga udara dari butiran *bottom ash* terisi aspal.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kadar Bottom Ash dengan Kadar Aspal Efektif

Pada grafik menunjukkan bahwa kadar aspal efektif memiliki nilai yang sama seiring bertambahnya kadar *bottom ash*, hal ini disebabkan karena menggunakan kadar aspal yang sama yaitu berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum.



Gambar 9. Grafik Hubungan Kadar Bottom Ash dengan Kepadatan

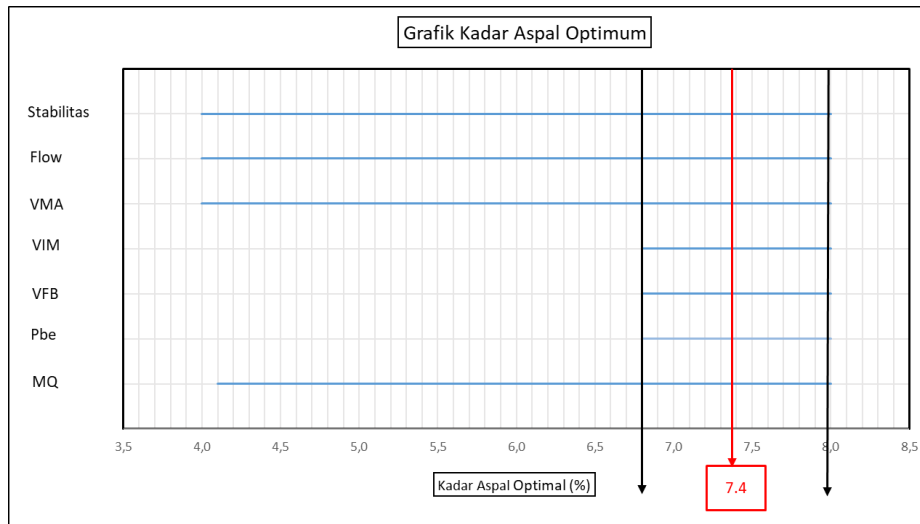
Pada grafik menunjukkan bahwa nilai kepadatan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar bottom ash yaitu dari kadar aspal 10% sampai kadar bottom ash 100%. Peningkatan ini disebabkan karena *filler bottom ash* membuat kerapatan antar campuran agregat dan aspal menjadi tinggi. Hasil pengujian ini didapatkan kenaikan yang tidak begitu signifikan seiring bertambahnya kadar *bottom ash*.

3.8. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dan Penentuan Kadar Campuran Optimum

Tabel 6. Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO)

Jenis Pengujian	Syarat Spesifikasi		Hasil	KAO
	Min	Maks		
Stabilitas (kg)	600	-	1052,453	7,4
Flow (mm)	-	-	4,047	7,4
VMA (%)	18	-	19,046	7,4
VIM (%)	4	6	5,022	7,4
VFB (%)	68	-	73,471	7,4
Kepadatan (gr/cc)	-	-	2,219	7,4
Kadar Aspal Efektif (%)	5,9	-	6,609	7,4
Marshall Quetient (MQ)	250	-	262,456	7,4

Dari hasil pengujian marshall maka dapat ditentukan Kadar Aspal optimum (KAO) yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan Tabel 5. Berdasarkan variasi kadar aspal dengan persentase 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8%. Nilai kadar aspal optimum yaitu 7,4% yang merupakan nilai tengah diantara 6.8% dan 8%.

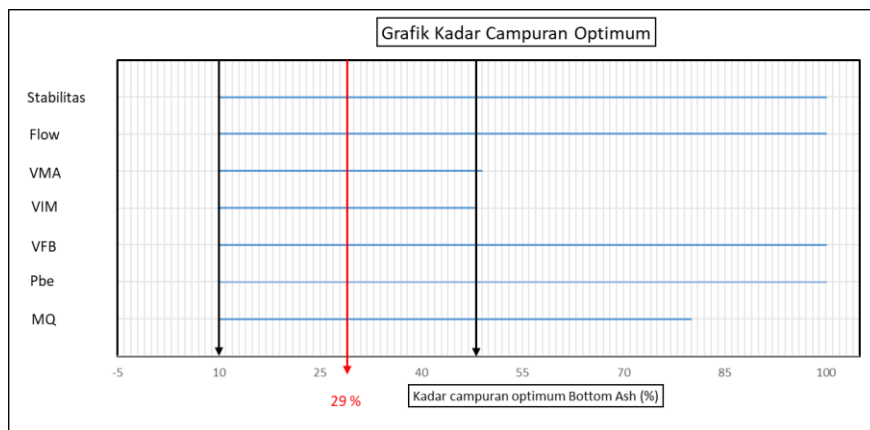


Gambar 10. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Tabel 7. Hasil Kadar Campuran Optimum

Jenis Pengujian	Syarat Spesifikasi		Hasil	Kadar campuran optimum
	Min	Maks		
Stabilitas (kg)	-	-	933,019	29%
Flow (mm)	-	-	3,932	29%
VMA (%)	18	-	4,818	29%
VIM (%)	4	6	18,773	29%
VFB (%)	68	-	74,497	29%
Kepadatan (gr/cc)	-	-	6,564	29%
Kadar Aspal Efektif (%)	5,9	-	2,222	29%
Marshall Quetient (MQ)	250	-	237,601	29%

Dari hasil pengujian marshall maka dapat ditentukan Kadar campuran optimum yang dapat dilihat pada Gambar 11 dan Tabel 7. Berdasarkan variasi kadar *bottom ash* dengan persentase 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Nilai kadar campuran optimum dengan substitusi *bottom ash* yaitu 29% yang merupakan nilai tengah antara 10% dan 48%.



Gambar 11. Grafik Kadar Campuran Optimum

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboraturium Perkerasan Jalan, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado, cdiperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil Kadar Aspal Optimal (KAO) pada campuran HRS-WC yang didapatkan dari hasil pengujian Marshall yaitu 7.40 %. Berdasarkan variasi kadar aspal dengan persentase 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8%.
2. Pengaruh *Filler Bottom Ash* terhadap karakteristik Marshall:
 - a. Nilai stabilitas tanpa penambahan *bottom ash* yaitu memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu 1056,10 kg pada kadar aspal 7%, sedangkan pada penambahan *bottom ash* memiliki nilai yang lebih rendah yaitu dengan nilai tertinggi 977,77 kg pada kadar 10% *bottom ash*.
 - b. Nilai flow tanpa penambahan *bottom ash* memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu 4,28 mm pada kadar aspal 8%. sedangkan pada penambahan *bottom ash* memiliki nilai flow lebih rendah yaitu dengan nilai tertinggi 4,14 mm pada kadar 100 % *bottom ash*.
 - c. Nilai VMA tanpa penambahan *bottom ash* memiliki nilai lebih rendah yaitu dengan nilai tertinggi 19,415% pada kadar aspal 4%. Sedangkan pada penambahan *bottom ash* memiliki nilai lebih tinggi yaitu 19,453 % pada kadar 10% *bottom ash*.
 - d. Nilai VIM tanpa penambahan *bottom ash* memiliki nilai VIM yang lebih rendah nilai yaitu 5,508% pada kadar aspal 7%. Sedangkan pada penambahan menggunakan *bottom ash* memiliki nilai VIM yang lebih tinggi yaitu 5,615% pada kadar *bottom ash* 10%.
 - e. Nilai VFB tanpa penambahan *bottom ash* memiliki nilai VFB yang lebih rendah yaitu 79,790% pada kadar aspal 8%. Sedangkan pada penambahan *bottom ash* memiliki nilai yang lebih tinggi dengan nilai VFB tertinggi yaitu 83,629 % pada kadar *bottom ash* 100%.
 - f. Nilai kepadatan tanpa substitusi *bottom ash* terus meningkat seiring bertambahnya kadar aspal begitu juga dengan penambahan *bottom ash* mengalami hal yang sama.
 - g. Nilai Marshall Quetient tanpa penambahan *bottom ash* didapatkan nilai MQ tertinggi yaitu 282,776 kg/mm pada kadar aspal 6%. Sedangkan pada penambahan *bottom ash* memiliki nilai yang lebih rendah dengan nilai tertinggi yaitu 254,589 kg/mm.
3. Hasil kadar campuran optimum dengan substitusi *bottom ash* yang didapat pada pengujian Marshall yaitu 29%. Berdasarkan variasi kadar *bottom ash* dengan presentase 10%, 25%, 50%, 75% dan 100%.
4. Secara keseluruhan bahwa material *filler bottom ash* sudah memenuhi syarat spesifikasi bina marga 2018 sehingga dapat digunakan sebagai fungsi pengganti bahan pengisi (*filler*). Akan tetapi tidak dapat menggunakan *filler bottom ash* dengan kadar 100% atau menggantinya secara penuh dikarenakan berdasarkan hasil nilai VIM, VMA dan MQ yang didapat tidak memenuhi persyaratan spesifikasi bina marga 2018.

Referensi

- Alif Lam Ra Sugeha, Eti sulandari, Rudi Sugiono Suyono (2018). *Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Laston*. Vol 5, No 3.
- Anas Tahir (2009). *Karakteristik Campuran Beton Aspal (Ac-Wc) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara*. Jurnal SMARTek, Vol. 7, No. 4.
- Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000.
- Daud Nawir, Muhammad Djaya Bakri, Iif Ahmad Syarif (2017). *Analisa Karakteristik Campuran Aspal Beton AC-WC Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Bottom Ash*. Prosiding Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2018). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi VI untuk Pekerjaan Aspal*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Gussyarif (2010). *Karakteristik Abu Terbang Pada Stabilitas HRS-WC*. Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR.
- Indriani Santoso, Salil Kumar Roy, Patrick, Andarias (2003). *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton*. Vol 5 No 2.
- Karunia R. Wenur, Steve Ch. N. Palenewen, Joice E. Waani (2023). *Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Filler Fly Ash Batu Bara Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lataston Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Volume 21, No. 85.
- Kinanti Bianglala (2020). *Pengaruh Kadar Bottom Ash Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC*. S1 thesis, Universitas Mataram.
- Risky Aynin Hamzah, Oscar H. Kaseke, Mecky M. Manoppo (2016). *Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.7 Juli 2016
- Lizar (2017). *Analisis Pengaruh Perbedaan Sumber Fly Ash Dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur*.
- M. Dahlan Pratama, Firdaus (2022), *Pengaruh Variasi Campuran Antara Bottom Ash Dan Fly Ash*

- Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Aspal Beton Lapis Ac-Wc.* Bina Darma Conference on Engineering Science <http://conference.binadarma.ac.id/index.php/BDCES>
- Risky Aynin Hamzah, Oscar H. Kaseke, Mecky M. Manoppo (2016). *Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang.* Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.7 Juli 2016
- Sukirman, Silvia. 1993. *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Nova, Bandung.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Nova : Bandung.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas.* Granit : Jakarta.
- Sukirman, Silvia. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas.* Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Tengku Syahilla Indriyati, Alfian Malik, Yosi Alwinda. (2019). *Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah Faba (Fly Ash Dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan.* Jurnal Teknik, Volume 13.
- Zulfhazli, Wesli, Said Jalalul Akbar (2016), *Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc.* Teras Jurnal, Vol.6.