



PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI MATERIAL CAMPURAN BETON ASPAL LAPIS AUS (AC-WC)

Andi Huldayani¹, Iif Ahmad Syarif^{*2}

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan
Jl. Amal Lama No. 1 Kota Tarakan, Kalimantan Utara
e-mail: , andihuldayani@gmail.com, [*iifahmads@gmail.com](mailto:iifahmads@gmail.com)

ABSTRACT: *Burning coal produces waste in the form of fly ash and bottom ash (FABA) which can pollute the environment. This research uses FABA as a material in the wear coated asphalt concrete mixture (AC-WC) which is one way to reduce waste from burning coal with the aim of this research to determine the optimum asphalt content, marshall and volumetric characteristics, and the optimum percentage of FABA use with FABA filler variations 25%, 50%, 75% and 100%. In this research, mixture planning was carried out in two stages of manufacture with the first stage of making test objects to determine KAO without the use of FABA. The second stage is making test objects using KAO by replacing the filler using FABA according to variations. Marshall and volumetric test results showed that KAO in the Laston AC-WC mixture was 6.5%. Based on the marshall and volumetric characteristics of the use of FABA filler, the optimum density value is found at 25% FABA variation with a value range of 2,040–2,062 gr/cm³ and an average of 2,052 gr/cm³. VMA is found in the 50% FABA variation with a value range of 17.888–19.308% and an average of 18.556%. VFB is found in the 75% FABA variation with a value range of 72.224–75.262% and an average of 74.147%. VIM is found in the 50% FABA variation with a value range of 4.663–6.382% and an average of 5.509%. Stability is found in the 100% FABA variation with a value range of 1763.916–2180.989 kg and an average of 1990.767 kg. Flow is found in the 75% FABA variation with a value range of 3.6–5.4 mm and an average of 4.3 mm. MQ is found in the 100% FABA variation with a value range of 335,281–557,520 kg/mm and an average of 498,246 kg/mm. The optimum value of using FABA filler in the wear layer laston mixture (AC-WC) in terms of stability is within 100% variation..*

Keywords: AC-WC, Filler, FABA, KAO, Marshall

ABSTRAK: *Pembakaran batu bara menghasilkan limbah berupa fly ash dan bottom ash (FABA) yang dapat mencemari lingkungan. Penelitian ini menggunakan FABA sebagai bahan material pada campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) merupakan salah satu cara untuk mengurangi limbah hasil pembakaran batu bara dengan tujuan penelitian ini untuk mengetahui kadar aspal optimum, karakteristik marshall dan volumetrik, dan persentase optimum penggunaan FABA dengan variasi filler FABA 25%, 50%, 75% dan 100%. Dalam penelitian ini perencanaan campuran dilakukan dua tahap pembuatan dengan pembuatan benda uji tahap pertama menentukan KAO tanpa penggunaan FABA. Tahap kedua pembuatan benda uji menggunakan KAO dengan mengganti filler menggunakan FABA sesuai variasi. Hasil pengujian marshall dan volumetrik didapatkan KAO pada campuran laston AC-WC yaitu 6,5%. Berdasarkan karakteristik marshall dan volumetrik penggunaan filler FABA memperoleh nilai optimum density terdapat pada variasi FABA 25% dengan rentang nilai 2,040–2,062 gr/cm³ dan rata-rata 2,052 gr/cm³. VMA terdapat pada variasi FABA 50% dengan rentang nilai 17,888–19,308% dan rata-rata 18,556%. VFB terdapat pada variasi FABA 75% dengan rentang nilai 72,224–75,262% dan rata-rata 74,147%. VIM terdapat pada variasi FABA 50% dengan rentang nilai 4,663–6,382% dan rata-rata 5,509%. Stabilitas terdapat pada variasi FABA 100% dengan rentang nilai 1763,916–2180,989 kg dan rata-rata 1990,767 kg. Flow terdapat pada variasi FABA 75% dengan*

rentang nilai 3,6–5,4 mm dan rata-rata 4,3 mm. MQ terdapat pada variasi FABA 100% dengan rentang nilai 335,281–557,520 kg/mm dan rata-rata 498,246 kg/mm. Nilai optimum penggunaan filler FABA pada campuran lastón lapis aus (AC-WC) ditinjau dari stabilitas terdapat pada variasi 100%.

Kata kunci: AC-WC, Filler, FABA, KAO, Marshall

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan jalan adalah persyaratan mutlak untuk itu diperlukan perencanaan struktur perkerasan yang kuat dan tahan lama (Raya dkk, 2015). Salah satu perkerasan jalan yaitu lapisan aspal beton AC-WC yang pada pelaksanaannya memiliki berbagai permasalahan karena kondisi tanah yang berbeda-beda, sehingga di tuntut untuk mencari alternatif bahan campuran aspal namun menggunakan sumber daya alam yang tersedia seperti yang dilakukan Lizar dkk (2021) dengan menggunakan *filler spent bleaching earth* sebagai pengganti abu batu, lalu ada Sadillah (2018), Nawir dkk (2018), dan Santoso dkk (2003) yang menjadikan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai campuran pada lapis beton aspal dengan memanfaatkan beragam komponen limbah, limbah yang dimaksud adalah limbah batu bara yang jumlahnya semakin bertambah sehingga dapat mencemari lingkungan, namun masih kurang digunakan atau dimanfaatkan terutama sebagai bahan konstruksi jalan, karena menurut Putri dkk (2019) semakin banyaknya agregat buatan yang ditambahkan, maka akan semakin berongga campuran tersebut, maka dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan pengisi. Penggunaan FABA sebagai bahan material pada campuran beton aspal AC-WC menjadi menjadi nilai tambah dan nilai guna untuk dapat dimanfaatkan sebaik mungkin dan merupakan salah satu cara untuk mengurangi limbah dari hasil pembakaran batu bara yang berdampak buruk terhadap lingkungan serta meningkatkan nilai ekonomis dan fungsinya, dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian mengenai “Studi Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Terhadap Campuran Beton Aspal Lapisan Aus (AC-WC)”.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, penelitian ini dilakukan di laboratorium Jalan Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan dan UPT. Laboratorium Uji Bahan Konstruksi Kota Tarakan. Material untuk campuran aspal terdiri dari aspal, agregat, *filler* dan FABA sebagai bahan pengisi pengganti *filler*. Agregat yang digunakan yaitu agregat kasar dan halus, aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70, dan FABA diambil dari PLTU PT. IDEC Abadi Kayu Industri Kota Tarakan sebagai pengganti *filler* dengan variasi yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%.

2.1. Prosedur Penelitian

Pelaksanaan dari satu penelitian perlu menentukan langkah-langkah setiap tahapan pekerjaan. Beberapa tahapan pekerjaan sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu melakukan studi literatur dan mempersiapkan alat dan bahan penelitian.
2. Merancang proporsi agregat, dimana proporsi agregat tersebut dipilih dari gradasi yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2), prinsip kerja metode analitis ini adalah dengan menentukan gradasi agregat yang dipilih kemudian menghitung jumlah butiran yang lolos dan tertahan sesuai syarat yang telah ditentukan sehingga didapat komposisi agregat kasar, halus, dan *filler*.
3. Menghitung Pb atau kadar aspal rencana dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,05 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + C \quad (1)$$

Keterangan:

Pb : Perkiraan nilai kadar aspal tengah (%)

CA : Agregat dari saringan terbesar sampai dengan tertahan saringan No. 8 (%)

FA : Agregat yang lolos saringan No.8 sampai dengan tertahan saringan No.200(%)

FF : Agregat yang lolos saringan No.200 (%)

C : Koefisien untuk Laston = 0,5 sampai 1.

4. Menghitung jumlah agregat dan filler sesuai dengan komposisi yang didapat, kemudian menghitung berat aspal yang dibutuhkan sesuai dengan persentase yang telah didapatkan.
5. Melakukan pengujian marshall untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO).
6. Rancangan berat aspal yang didapat kemudian dibuat campuran variasi filler menggunakan FABA.
7. Rancangan variasi FABA pada campuran aspal AC-WC ada 4 jenis yaitu: variasi 25%, 50%, 75%, 100%.
8. Menentukan kadar FABA yang optimum terhadap campuran lapis Aus (AC-WC) ditinjau dari parameter *Marshall*.

Tabel 1. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat
ASTM	(mm)	Laston AC-WC
¾"	19	100
½"	12,5	90 - 100
3/8"	9,5	77 - 90
No. 4	4,75	53 - 69
No. 8	2,36	33 - 53
No.16	1,18	21 - 40
No. 30	0,600	14 - 30
No. 50	0,300	9 - 22
No. 100	0,150	6 - 15
No.200	0,075	4 - 9

Sumber: Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2

2.1.1. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan dua tahap, dimana tahap pertama membuat benda uji yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan, kemudian menentukan persentase tiap material yang didasarkan pada berat total campuran yaitu 1200 gram. Kadar aspal ditentukan dengan cara menghitung komposisi agregat campuran. Panaskan agregat pada suhu 28°C di atas suhu pencampuran. Aspal dipanaskan sampai mencapai suhu pencampuran, aspal yang telah cukup panas lalu timbang kadar aspal sesuai dengan *mix desain*, kemudian aspal dimasukkan ke dalam wajan dan aduk campuran sampai merata. Setelah campuran tercampur rata, masukkan campuran ke dalam mould yang telah disiapkan dengan melapisi bagian bawah mould dengan kertas dan ditusuk-tusuk hingga 25 kali agar padat lalu lapiasi permukaan dengan kertas. Letakkan benda uji diatas alat pemadat (*hammer*) untuk dilakukan pemadatan 75 kali tumbukan, kemudian balik benda uji dan padatkan lagi dengan jumlah tumbukan yang sama. Setelah itu benda uji dikeluarkan menggunakan dongkrak, ditimbang dan diukur kemudian direndam selama 1 hari. Setelah benda uji direndam, lalu timbang dalam air dan timbang berat SSD kemudian direndam kedalam *water bath*. Kemudian dilakukan pengujian dengan alat *marshall test*. Untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) tanpa penggunaan FABA yaitu dengan cara seluruh benda uji tahap pertama dilakukan pengujian *marshall* yaitu sebanyak 15 benda uji, dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2 Jumlah Benda Uji Tahap Pertama

Kadar Aspal Rencana (%)	Jumlah Benda Uji
5,0	3
5,5	3
6,0	3

Kadar Aspal Rencana (%)	Jumlah Benda Uji
6,5	3
7,0	3
Total Benda Uji	15

Setelah Kadar Aspal Optimum (KAO) didapatkan maka selanjutnya dibuat benda uji tahap kedua untuk campuran FABAs dengan menggunakan persen kadar aspal optimum (KAO) yaitu 6,5%, dengan variasi *filler* FABAs 25%, 50%, 75% dan 100% dari berat total *filler*. Prosedur pembuatan benda uji sama dengan tahap pertama hanya saja pada tahap kedua ini *filler* diganti dengan *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) sesuai persentase FABAs yang telah ditentukan.

Tabel 3 Jumlah Benda Uji Tahap Kedua

Variasi Kadar FABAs (dari berat total <i>filler</i>)	Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
25%	KAO	10
50%	KAO	10
75%	KAO	10
100%	KAO	10
Total Benda Uji FABAs		40

2.1.2. Pengolahan Data

Pengolahan data yang dimaksud yaitu untuk mendapatkan hasil evaluasi nilai yang telah didapatkan dari pengujian parameter *marshall* dan perhitungan volumetrik. Data yang telah diperoleh kemudian akan dibuat dalam bentuk tabel dan grafik dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel dan tahap akhir analisis menggunakan aplikasi Minitab yang selanjutnya disimpulkan secara deskriptif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini berupa data evaluasi karakteristik *marshall* dan volumetrik pada campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) penggunaan FABAs sebagai *filler*. Penelitian ini menggunakan variasi *filler* FABAs yaitu 25%, 50%, 75% dan 100% dengan campuran aspal penetrasi 60/70.

3.1. Hasil Pengujian Aspal

Pengujian aspal meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala, dan berat jenis aspal. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4 berikut :

Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	SNI	Keterangan
Penetrasi	62,9 mm	60-70	SNI 2456-2011	Memenuhi
Titik Lembek	49,5°C	≥48	SNI 2434-2011	Memenuhi
Daktilitas	131,93 cm	≥100	SNI 2432-2011	Memenuhi
Titik nyala	332 °C	≥232	SNI 2433-2011	Memenuhi
Berat Jenis	1,0335	≥1,0	SNI 2441-2011	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian, 2022

3.2. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat kasar yang dilakukan meliputi uji keausan dengan mesin abrasi Los Angeles, uji material lolos ayakan No.200, dan uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Pengujian agregat halus yang dilakukan meliputi uji agregat lolos ayakan No.200, dan uji berat jenis dan penyerapan agregat halus. Agregat yang digunakan adalah agregat batu pecah dengan rekapitulas hasil pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 5 Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	SNI	Keterangan
Abrasi dengan Mesin Los Angeles Gradasi A	17,52%	Maks 40%	SNI 2417:2008	Memenuhi
Abrasi dengan Mesin Los Angeles Gradasi D	20,11%	Mak. 40%	SNI 2417:2008	Memenuhi
Material Lolos Ayakan No.200	1,03%	Maks. 1%	SNI ASTM C177:2012	Memenuhi
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	2,31 gr	-	SNI 19969:2008	-
Agregat Lolos Ayakan No.200 (Halus)	7,79%	Maks. 10%	SNI ASTM C177:2012	Memenuhi
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	2,40 gr/cm ³	-	SNI 1970:2008	-

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan, 2022

3.3. Hasil Pengujian Filler

3.3.1 Abu Batu

Pengujian *filler* abu batu yang dilakukan yaitu pengujian berat jenis, adapun hasil pengujiannya yaitu sebagai berikut :

Tabel 6 Pengujian Filler Abu Batu

Nomor Piknometer	Sat.	I	II
Berat Piknometer, W_1	gram	51,1	51,1
Berat Piknometer + <i>Filler</i> , W_2	gram	76,2	76,1
Berat Piknometer + Air + <i>Filler</i> , W_3	gram	164,2	164,1
Berat Piknometer + Air, W_4	gram	149,2	149,1
$BJ \text{ Filler} = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$	gram/cm ³	2,49	2,50
BJ rata – rata <i>Filler</i>			2,50

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan, 2022

3.3.2 FABA

Pengujian FABA yang dilakukan yaitu pengujian berat jenis, karena FABA pada penelitian ini hanya digunakan sebagai pengganti *filler* yaitu lolos saringan No.200. Namun FABA ini ada yang tertahan pada saringan No.200 maka dari itu untuk mendapatkan FABA sebagai pengganti *filler* dilakukan penumbukan agar FABA tersebut menjadi halus sehingga dapat lolos saringan No.200, dimana pencampuran dilakukan dengan perbandingan 50:50 antara *fly ash* dan *bottom ash*, adapun hasil pengujiannya yaitu sebagai berikut :

Tabel 7 Pengujian Berat Jenis FABA

Nomor Piktometer	Sat.	I	II
Berat Piktometer, W_1	gram	58,2	58,4
Berat Piktometer + <i>Filler</i> , W_2	gram	108,5	108,5
Berat Piktometer + Air + <i>Filler</i> , W_3	gram	181,5	179,1
Berat Piktometer + Air, W_4	gram	158,0	158,2
$BJ \text{ Filler} = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$	gram/cm ³	1,88	1,72
BJ rata – rata FABA		1,80	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan, 2022

3.4. Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian ini untuk mengetahui nilai karakteristik *marshall* dan volumetrik yaitu *density*, VIM, VMA, VFB, stabilitas, *flow*, dan *marshall quotient*. Hasil perhitungan nilai KAO yang di peroleh dengan pembuatan benda uji sebanyak 15 benda uji yaitu terdapat pada variasi 6,5% dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini :

Tabel 8 Rekapitulasi Karakteristik Hasil Pengujian Marshall Tahap 1

Kadar Aspal	Density	Stabilitas	Flow	VFB	VIM	VMA	MQ
	(%)	(kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(kg/mm)
5.0%	2,00	1655	8,5	50	10	19,4	194,7
	2,00	1666	8,5	50	10	19,4	196,0
	2,05	1579	7,5	58	7	17,3	210,6
5.5%	2,00	1927	3,9	54	9	20,0	498,0
	1,99	1847	6,0	54	9	20,1	307,8
	2,06	1626	8,5	64	6	17,4	191,3
6.0%	2,02	1579	3,1	61	8	19,5	509,3
	2,00	1470	3,8	58	9	20,4	387,0
	2,09	1475	6,0	74	4	16,7	245,8
6.5%	2,01	1764	3,0	64	7	20,3	588,0
	2,03	1735	4,0	66	7	19,6	433,9
	2,08	1631	8,5	75	4	17,6	191,9
7.0%	2,07	2624	3,9	77	4	18,6	672,8
	2,10	2180	3,9	85	3	17,1	559,1
	2,09	2218	3,9	83	3	17,5	568,6
Spesifikasi	-	Min 800	2-4	Min 65	3-5	Min 15	-

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan, 2022

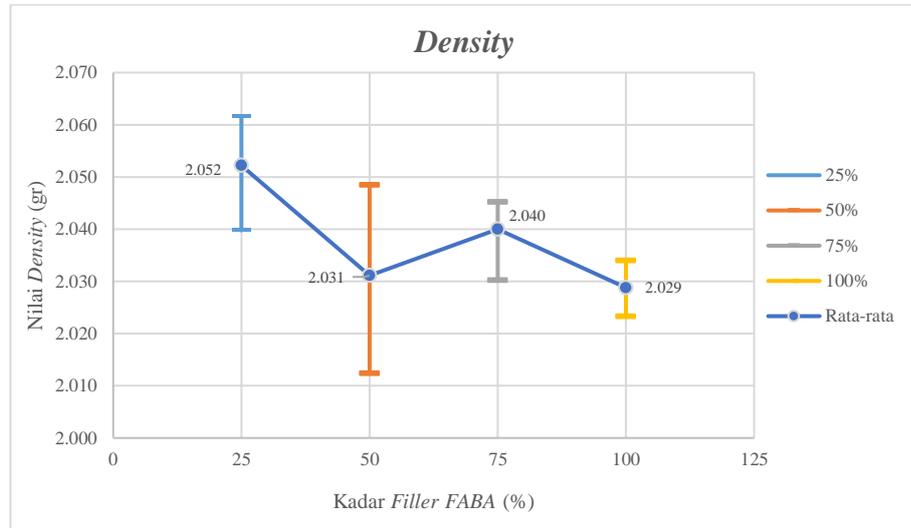
Berikut merupakan karakteristik *Marshall* aspal beton lapis aus (AC-WC) menggunakan variasi *Filler* FABA, sesuai dengan nilai rata-rata dari data yang diterima berdasarkan analisis statistik menggunakan metode distribusi-t dengan aplikasi minitab adalah sebagai berikut :

Tabel 9 Rekapitulasi Karakteristik Hasil Pengujian Marshall Tahap 2

Filler FABA	Density	VMA	VFB	VIM	Stabilitas	Flow	MQ
25 %	2,052	18,220	72,508	5,012	1873,371	4,2	432,769
50 %	2,031	18,556	70,363	5,509	1842,162	4,2	436,008
75 %	2,040	17,722	74,143	4,584	1838,366	4,3	405,295
100 %	2,029	18,099	71,973	4,621	1990,767	4,0	498,246
Spesifikasi	-	Min 800	2-4	Min 65	3-5	Min 15	-

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan, 2022

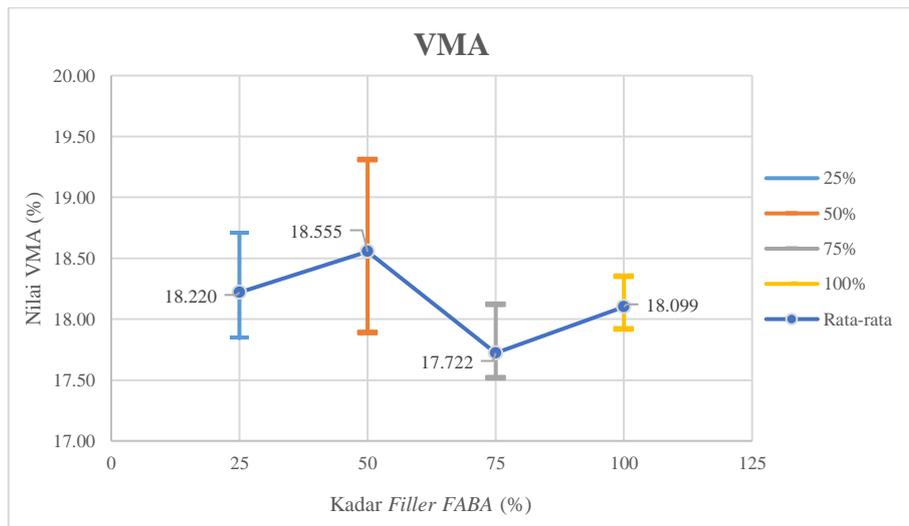
3.4.1 Density



Gambar 1 Grafik Rekapitulasi Hubungan *Density* dengan Kadar FABA

Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai *density* terendah dari komposisi campuran lainnya terdapat pada variasi FABA 100% dengan rentang nilai 2,023–2,034 gr/cm³ dan rata-rata sebesar 2,029 gr/cm³. Sedangkan untuk nilai *density* tertinggi terdapat pada variasi FABA 25% dengan rentang nilai 2,040–2,062 gr/cm³ dan rata-rata 2,052 gr/cm³. Campuran dengan kepadatan yang tinggi memiliki kekuatan menahan beban yang tinggi, karena agregat mempunyai bidang kontak yang besar, selain itu kepadatan juga mempengaruhi kekedapan.

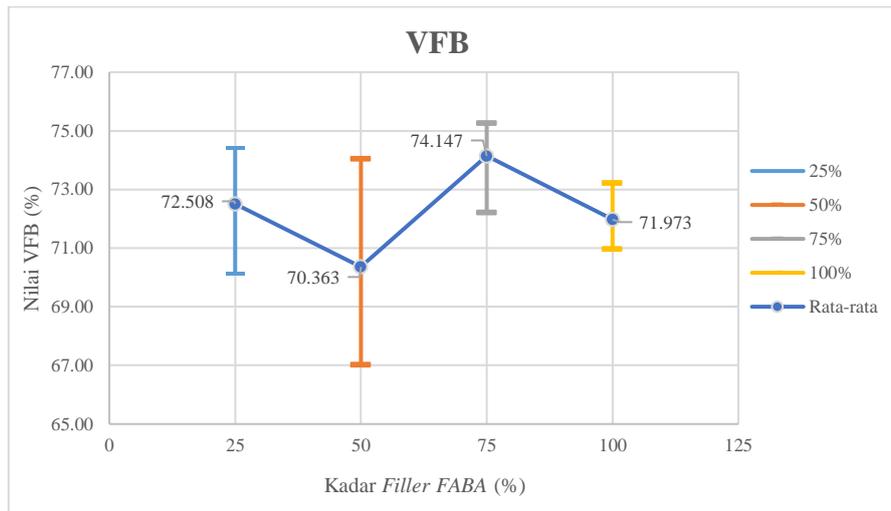
3.4.2 VMA



Gambar 2 Grafik Rekapitulasi Hubungan VMA dengan Kadar FABA

Gambar diatas menunjukkan bahwa nilai VMA terendah dari komposisi campuran lainnya terdapat pada variasi FABA 75% dengan rentang nilai 17,517–18,119% dan rata-rata sebesar 17,722%. Sedangkan untuk nilai VMA tertinggi terdapat pada variasi FABA 50% dengan rentang nilai 17,888–19,308% dan rata-rata 18,556%. Jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas/ketahanan, sedangkan VMA terlalu besar maka campuran bisa memiliki masalah pada stabilitas.

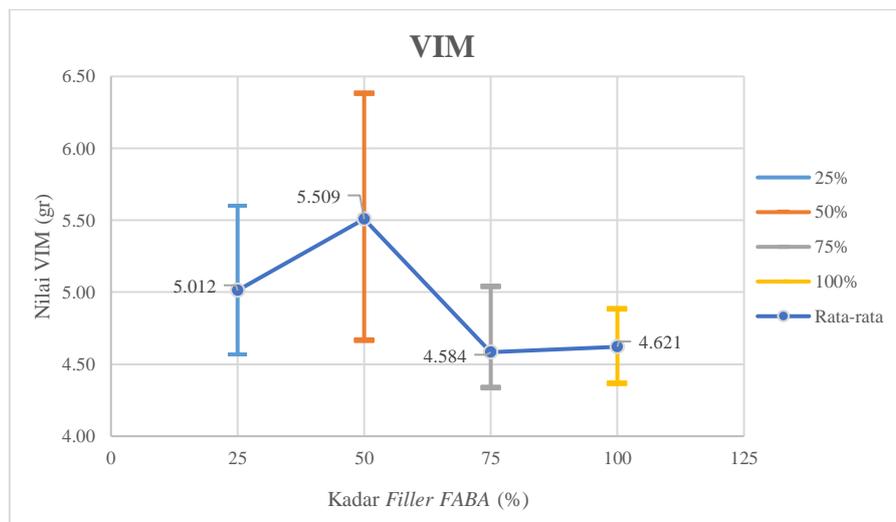
3.4.3 VFB



Gambar 3 Grafik Rekapitulasi Hubungan VFB dengan Kadar FABA

Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai VFB terendah dari komposisi campuran lainnya terdapat pada variasi FABA 50% dengan rentang nilai 67,018–74,043% dan rata-rata sebesar 70,363%. Sedangkan untuk nilai VFB tertinggi terdapat pada variasi FABA 75% dengan rentang nilai 72,224–75,262% dan rata-rata 74,147%. Nilai VFB yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aspal naik kepermukaan pada temperatur tinggi ataupun pembebanan yang tinggi, sebaliknya nilai VFB terlalu rendah maka kedekatan perkerasan akan semakin kecil karena rongga yang tersedia cukup besar sehingga mudah masuk air dan udara kedalamnya dan akan mengakibatkan mudah terjadi pelepasan butiran.

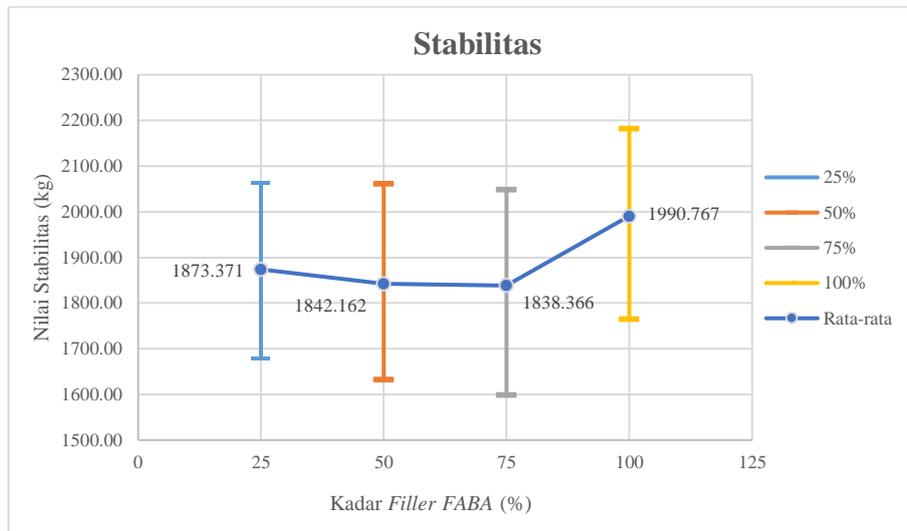
3.4.4 VIM



Gambar 4 Grafik Rekapitulasi Hubungan VIM dengan Kadar FABA

Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai VIM terendah dari komposisi campuran lainnya terdapat pada variasi FABA 75% dengan rentang nilai 4,334 – 5,039% dan rata-rata sebesar 4,584%. Sedangkan untuk nilai VIM tertinggi terdapat pada variasi FABA 50% dengan rentang nilai 4,663 – 6,382% dan rata-rata 5,509%. Nilai VIM yang kecil dari 3% akan mengakibatkan alur plastis atau jembul, sedangkan nilai VIM yang lebih besar dari 5% akan mengakibatkan terjadinya pelepasan butiran, munculnya retak dini dan pengelupasan.

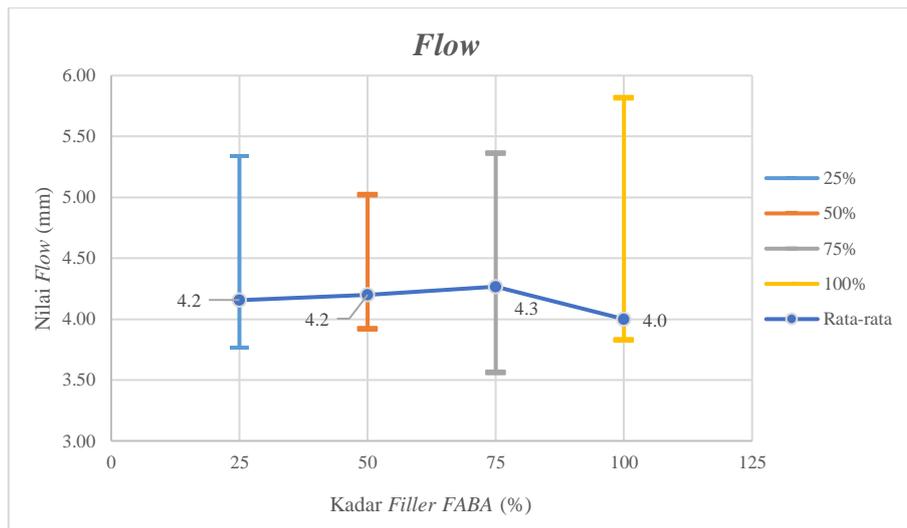
3.4.5 Stabilitas



Gambar 5 Grafik Rekapitulasi Hubungan Stabilitas dengan Kadar FAB A

Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai stabilitas terendah dari komposisi campuran lainnya terdapat pada variasi FAB A 75% dengan rentang nilai 1598,685–2048,961 kg dan rata-rata sebesar 1838,366 kg. Sedangkan untuk nilai stabilitas tertinggi terdapat pada variasi FAB A 100% dengan rentang nilai 1763,916–2180,989 kg dan rata-rata 1990,767 kg.

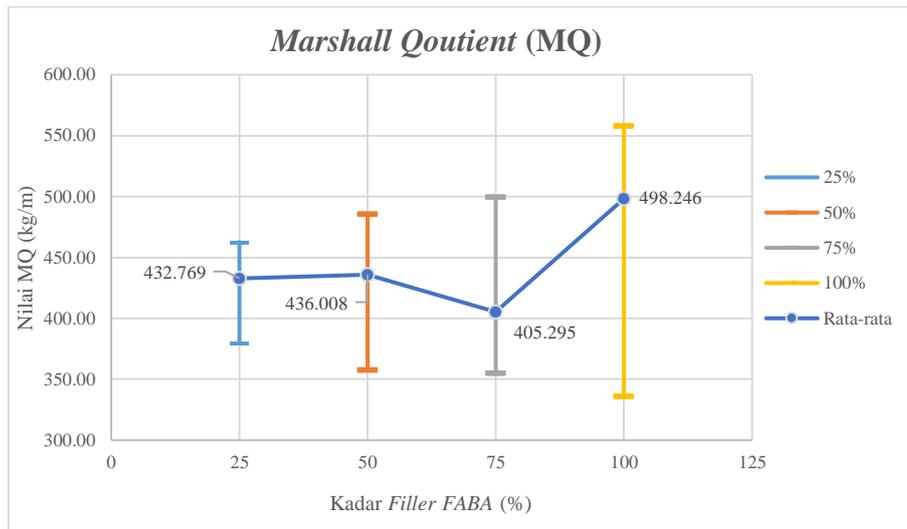
3.4.6 Flow



Gambar 6 Grafik Rekapitulasi Hubungan Flow dengan Kadar FAB A

Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai *Flow* terendah dari komposisi campuran lainnya terdapat pada variasi FAB A 25% dan 50%. Sedangkan untuk nilai *Flow* tertinggi terdapat pada variasi FAB A 75% dengan rentang nilai 3,6 – 5,4 mm dan rata-rata 4,3 mm. Nilai *flow* yang rendah dengan stabilitas tinggi akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi dengan stabilitas rendah akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur.

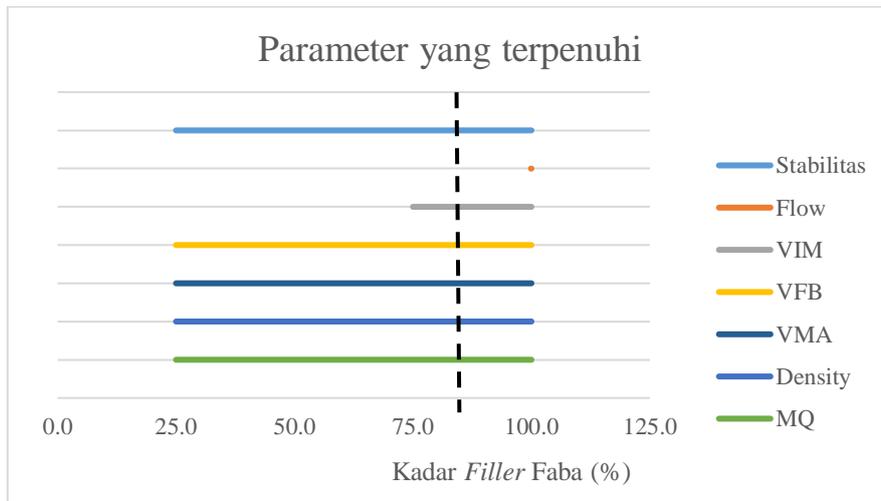
3.4.7 MQ



Gambar 7 Grafik Rekapitulasi Hubungan MQ dengan Kadar FABA

Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai MQ terendah dari komposisi campuran lainnya terdapat pada variasi 75% dengan rentang nilai 355,021–499,445 kg/mm dan rata-rata sebesar 432,769 kg/mm. Sedangkan untuk nilai MQ tertinggi terdapat pada variasi FABA 100% dengan rentang nilai 335,281–557,520 kg/mm dan rata-rata 498,246 kg/mm. Semakin besar nilai MQ membuat campuran menjadi padat dan kaku, sebaliknya jika nilai MQ semakin kecil maka campuran semakin lentur.

Berdasarkan grafik dari ke-7 parameter diatas, maka dapat ditentukan persentase optimum penggunaan *filler* FABA dari 25%, 50%, 75% dan 100% sebagai berikut :



Gambar 8 Grafik Parameter yang terpenuhi terhadap kadar FABA

Grafik diatas menunjukkan bahwa dari persentase *filler* FABA 25%, 50%, 75% dan 100% nilai ke-7 parameter ada beberapa yang memenuhi dan tidak memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan. Pada parameter VIM, hanya ada 2 kadar *filler* FABA yang memenuhi yaitu pada kadar *filler* FABA 75% dan 100%, pada parameter *flow* hanya pada kadar *filler* FABA 100%. Sedangkan untuk parameter stabilitas, VFB, VMA, MQ dan *density* semua kadar *filler* FABA memenuhi. Maka dari itu dapat ditentukan bahwa kadar *filler* FABA yang maksimum yaitu pada kadar 100%, karena ke-7 parameter semuanya terpenuhi pada kadar *filler* FABA 100%.

Berdasarkan tabel 10 dapat dilihat hasil perbandingan penggunaan tanpa FABA (0%) dan dengan menggunakan FABA (100%) sebagai berikut:

Tabel 10 Perbandingan Penggunaan *filler* FABA 0% dan penggunaan *filler* FABA 100%

Parameter	Rentang	
	0%	100%
Density (gr/cm ³)	2,012 - 2,078	2,023 - 2,034
VMA (%)	17,617 - 20,256	17,916 - 18,349
VFB (%)	63,603 - 75,028	70,859 - 73,207
VIM (%)	4,399 - 7,373	4,364 - 4,883
Stabilitas (kg)	1631,935 - 1764,029	1763,916 - 2180,989
Flow (mm)	3,0 - 8,5	3,8 - 5,8
Marshall Quotient (kg/mm)	191,929 - 588,010	335,281 - 557,520

Sumber : Hasil Analisis Data, 2022

Tabel diatas menunjukkan penggunaan *filler* FABA yang optimum yaitu pada kadar FABA 100% yang memiliki nilai hasil uji *marshall* dan perhitungan volumetrik yang lebih baik daripada penggunaan *filler* tanpa FABA ditinjau dari stabilitas sebagai karakteristik terpenting dalam campuran lapisan aspal beton.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujiiaan penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* terhadap campuran lapisan beton aspal lapis aus (AC-WC) sebagai bahan pengisi (*filler*) berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) tanpa penggunaan FABA yaitu kadar aspal 6,5%. Pengaruh karakteristik *marshall* dan volumetrik yang terjadi pada lapisan aspal beton AC-WC dengan penggunaan *filler* FABA dengan persentase 25%, 50%, 75% dan 100% dari berat total *filler* berdasarkan karakteristik *marshall* Stabilitas, *flow*, dan MQ serta karakteristik volumetrik *Density*, VMA, VFB, dan VIM memperoleh nilai yang mengalami fluktuasi atau kondisi naik turun yang tidak tetap dari variasi FABA 25%, 50%, 75% dan 100%. Nilai persentase optimum maksimal penggunaan FABA ditinjau dari stabilitas terdapat pada variasi *filler* FABA 100% dengan rentang nilai 1763,916-2180,989 kg dan rata-rata 1990,767 kg. sehingga penggunaan FABA sebagai pengganti *filler* pada lapisan beton aspal lapis aus (AC-WC) lebih baik dibandingkan dengan menggunakan abu batu, maka dari itu FABA ini bisa dimanfaatkan sebagai pengganti *filler* sebesar 100% dari berat total *filler*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan yang telah memfasilitasi pengujian ini dan terima kasih kepada laboran Lab. Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2015, *Spesifikasi campuran beraspal panas bergradasi menerus (Laston)*, SNI 8198:2015, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020, *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat., Jakarta.
- Lizar, Juli A.P., & Wawan W. 2021. *Karakteristik Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Filler Spent Bleaching Earth Sebagai Filler Pengganti Abu Batu*. Jurnal Teknik Sipil Terapan (JTST), 80-90.

- Nawir, D., Bakri, M. D., & Syarif, I. A. 2018. *Analisa Karakteristik Campuran Aspal Beton AC-WC Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Bottom Ash. In Prosiding Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi.*
- Putri, I. R. B., Hariyadi, H., Karyawan, I. D. M. A., & Ahyudanari, E. 2018. *Pengaruh Variasi Penambahan Agregat Buatan Terhadap Kadar Aspal Optimum untuk Perkerasan Aspal Lapis Aus.* Jurnal Teknik ITS, 7(2), E104-E113.
- Raya, E. R., Pratomo, P., Herianto, D. 2015. *Variasi Temperatur Pencampuran Terhadap Parameter Marshall pada Campuran Lapis Aspal Beton.* JRSDD, 455-468.
- Sadillah, M. Z. 2018. *Penggunaan Fly Ash Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC).* Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan, 87 - 98.
- Santoso, I., Patrick, P., Andarias, A., & Roy, S. K. 2003. *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton.* Civil Engineering Dimension, 5(2), 75-81.