



PENENTUAN KADAR BIOCHAR ECENG GONDOK OPTIMUM SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN AC-BC

Pyreno Aristoaji¹, Trias Rahardianto², Akhmad Suryadi³

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil²,
Dosen Jurusan Teknik Sipil³

Email: pyreno.aristoaji04@gmail.com¹, triasrahardianto@polinema.ac.id²,
akhmad.suryadi@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Peningkatan beban lalu lintas menuntut optimalisasi kinerja lapis perkerasan *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh substitusi *bio-char* eceng gondok sebagai *filler* terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC. Variasi kadar *bio-char* yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat *filler*, dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) ditetapkan sebesar 6,25%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa substitusi *bio-char* sebesar 5% memberikan kinerja struktural terbaik, dengan nilai stabilitas mencapai puncaknya pada 1245,57 kg dan *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 497,43 kg/mm. Namun, penambahan kadar *bio-char* lebih lanjut (10%-15%) memicu penurunan stabilitas, MQ, VMA, dan VIM, disertai peningkatan nilai *flow* secara konsisten (2,235 mm hingga 2,79 mm) serta peningkatan VFA pada kadar 10%-15%. Secara ekonomi, rencana anggaran biaya untuk campuran dengan kadar *bio-char* 5% adalah sebesar Rp 1.853.912,03. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *bio-char* eceng gondok efektif digunakan sebagai *filler* substitusi pada kadar optimum 5% untuk meningkatkan kinerja campuran AC-BC sekaligus mengurangi limbah lingkungan.

Kata Kunci: Aspal, AC-BC, *Bio-char* Eceng Gondok, *Filler*, Karakteristik Marshall.

ABSTRACT

Increasing traffic loads demand the optimization of *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) pavement layers. This study aims to analyze the effect of substituting water hyacinth *bio-char* as a *filler* on the Marshall characteristics of the AC-BC mixture. The *bio-char* content was varied at 0%, 5%, 10%, and 15% by weight of the *filler*, with the Optimum Asphalt Content (OAC) fixed at 6.25%. The test results indicated that a 5% *bio-char* substitution provided the best structural performance, with stability peaking at 1245.57 kg and a *Marshall Quotient* (MQ) of 497.43 kg/mm. However, further increases in *bio-char* content (10%-15%) led to a decline in stability, MQ, VMA, and VIM, accompanied by a consistent increase in flow values (from 2.235 mm to 2.79 mm) and an increase in VFA at 10%-15% levels. Economically, the estimated budget for the 5% *bio-char* mixture is IDR Rp 1.853.912,03. This study concludes that water hyacinth *bio-char* is effective as an alternative *filler* at an optimum content of 5% to enhance AC-BC mixture performance while mitigating environmental waste.

Keywords: Asphalt, AC-BC, Water Hyacinth *Bio-char*, *Filler*, Marshall Characteristics.

Article History

Received: September 2026

Reviewed: September 2026

Published: September 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed under
a [Creative Commons
Attribution-NonCommercial
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC) berperan penting mendistribusikan beban lalu lintas pada perkerasan lentur, sehingga membutuhkan stabilitas dan kekakuan optimal yang dipengaruhi oleh material *filler* [1]. Namun, ketergantungan pada *filler* konvensional seperti abu batu dan semen mendorong

perlunya material alternatif yang lebih ramah lingkungan [2]. Dalam hal ini, biochar hasil pirolisis biomassa menjadi kandidat potensial karena memiliki struktur berpori dan luas permukaan tinggi yang dapat memperkuat ikatan aspal-agregat [3][4]. Di Indonesia, eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tanaman air invasif yang melimpah dan



belum dimanfaatkan secara optimal [5]. Meskipun biochar dari berbagai biomassa telah dipelajari, pemanfaatan biochar eceng gondok secara spesifik sebagai *filler* pada campuran AC-BC masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menentukan kadar optimum substitusi *filler* biochar eceng gondok terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC sebagai upaya mewujudkan material jalan yang lebih berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan jalan dipasang di atas tanah dasar (*subgrade*) guna mendistribusikan beban kendaraan secara merata. Langkah ini krusial untuk mencegah penurunan atau deformasi permanen pada *subgrade*, sekaligus menjaga keutuhan struktur jalan sepanjang masa layan yang telah direncanakan.

Lapis Aspal Beton (LASTON)

Lapis Aspal Beton (LASTON) diformulasikan dari kombinasi aspal keras, filler, serta agregat bergradasi menerus. Secara struktural, LASTON dikelompokkan menjadi tiga jenis lapisan utama: Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC), dan Asphalt Concrete-Base (AC-Base). Kajian ini berfokus pada lapisan pengikat (AC-BC) yang terletak di antara lapis aus dan lapis pondasi. Karena perannya dalam meredam konsentrasi tegangan akibat beban lalu lintas, campuran AC-BC memerlukan ketahanan deformasi yang tinggi serta tingkat stabilitas struktural yang baik.

Lapisan AC-BC

Lapisan AC-BC adalah lapisan yang berada diantara lapis pondasi dan lapis aus yang berfungsi mengurangi tegangan reaksi beban roda kendaraan.

Guna menjamin kelayakan teknis, parameter volumetrik dan sifat mekanis campuran aspal mengacu pada ambang batas minimum dan maksimum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) seperti tertera pada Tabel berikut.

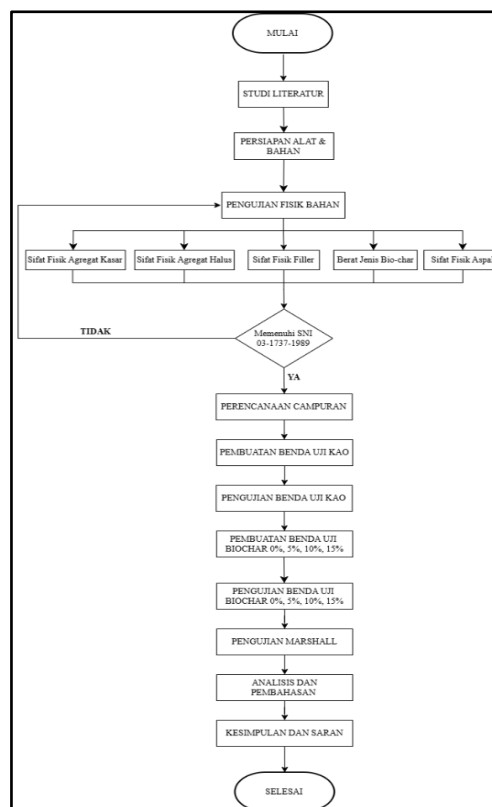
Sifat-Sifat Campuran	Campuran Laston		
	AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan per bidang	75		112
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	3,0-5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min. 15	Min. 14	Min. 13
Rongga terisi aspal (VFB) (%)	Min. 65	Min. 65	Min. 65
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 1000		Min. 1800
Flow (mm)	2,0 – 4,0		3,0 – 6,0
Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250		

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini berpatokan pada studi pustaka dan standar teknis sebagai acuan pelaksanaan. Setelah instrumen dan bahan Laston disiapkan, karakterisasi fisik terhadap aspal maupun agregat mulai dijalankan. Evaluasi agregat halus berfokus pada parameter kadar air, analisis saringan, berat jenis, penyerapan air, berat isi, dan kadar organik. Di sisi lain, kualitas agregat kasar dinilai melalui pengujian kadar air, berat jenis, penyerapan, berat isi, hingga daya tahan kekerasannya. Prosedur pengetesan komprehensif ini dilakukan guna memastikan seluruh material pembentuk lapisan AC-BC telah memenuhi toleransi standar.

Penentuan proporsi ideal campuran aspal dilakukan melalui kalkulasi *Job Mix Formula* (JMF). Hasil dari perhitungan rancangan tersebut menjadi acuan dasar pada proses fabrikasi. Benda uji kemudian dibuat dan dipadatkan dengan memanfaatkan cetakan (*mould*) standar pengujian.

Guna memperoleh data komprehensif mengenai sifat volumetrik dan mekanis campuran, benda uji direndam selama 24 jam untuk mendapatkan kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD). Setelah penimbangan di dalam air, benda uji direndam pada air bersuhu 60°C selama 30 menit sebelum diuji. Prosedur uji Marshall ini dijalankan untuk menentukan indikator *flow*, VIM, VMA, VFA, serta nilai MQ.

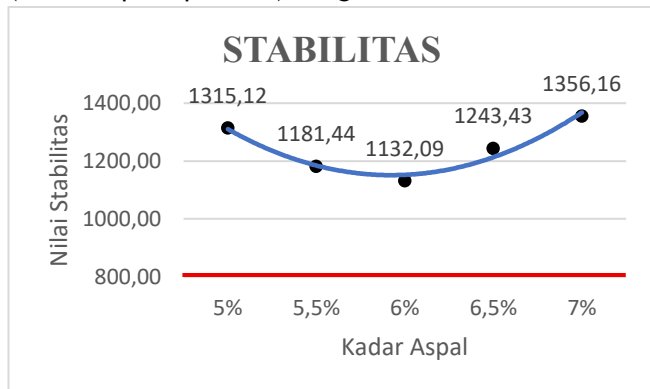


Gambar 1 Diagram Alir



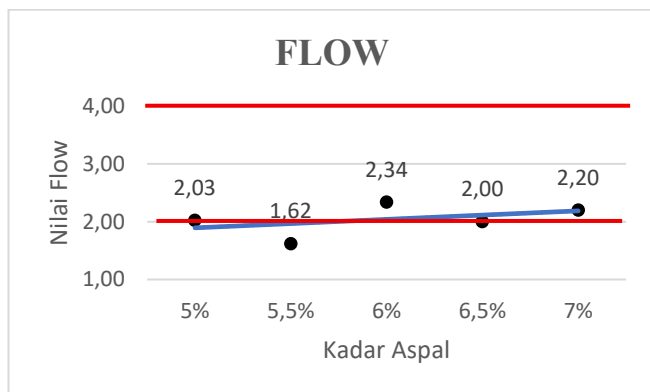
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian ini pada tahap pengujian fisik agregat dan aspal semuanya telah memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Dilanjutkan dengan penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum) dengan hasil:



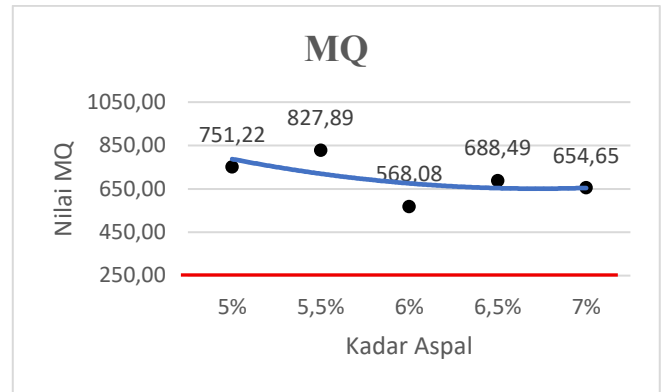
Gambar 2 Nilai Stabilitas Benda Uji Normal

Nilai stabilitas dari seluruh benda uji sudah memenuhi nilai minimum pada standar Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai minimum 800 kg, nilai yang di dapat pada parameter ini sebesar 1315,12 pada kadar aspal 5%, 1181,44 pada kadar aspal 5,5%, 1132,09 pada kadar 6%, 1243,43 pada kadar 6,5%, dan 1356,16 pada kadar 7%. Nilai tertinggi terdapat pada kadar aspal 7% dengan nilai 1208.66 kg.



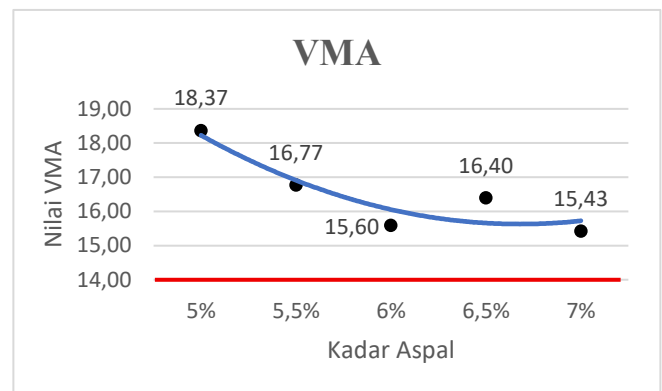
Gambar 3 Nilai Flow Benda Uji Normal

Nilai sFlow dari seluruh benda uji ada yang memenuhi dan tidak memenuhi nilai minimum pada standar Spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai Flow yang di dapat tidak mengalami konsistensi kenaikan nilai seiring bertambahnya jumlah kadar aspal dengan nilai 2,03 pada kadar aspal 5%, 1,62 pada kadar aspal 5,5%, 2,34 pada kadar aspal 6%, 2,00 pada kadar aspal 6,5%, dan 2,20 pada kadar aspal 7%. Nilai tertinggi yang didapat yaitu 2,34 mm pada kadar aspal 6%.



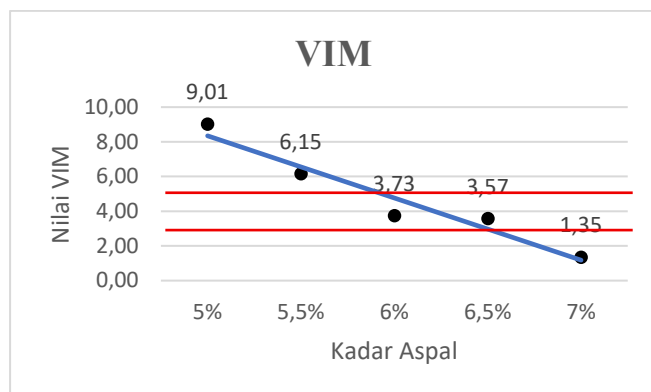
Gambar 4 Nilai MQ Benda Uji Normal

Dari Nilai Marshall Quotient di atas menunjukkan nilai yang memenuhi nilai minimum pada standar Spesifikasi Bina Marga 2018. Dengan nilai yang didapat 751,22 pada kadar 5%, 827,89 pada kadar aspal 5,5%, 568,08 pada kadar aspal 6%, 688,49 pada kadar aspal 6,5%, 654,65 pada kadar aspal 7%. dengan nilai tertinggi yang di dapat 827,89 kg/mm pada kadar aspal 6%.



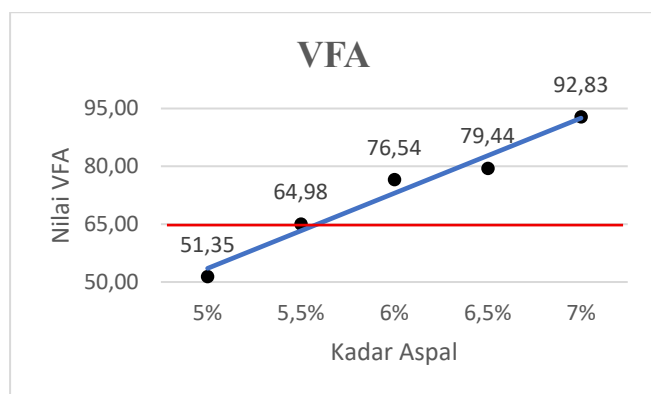
Gambar 5 Nilai VMA Benda Uji Normal

Dari nilai VMA di atas menunjukkan nilai yang memenuhi nilai minimum pada standar Spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai VMA mengalami penurunan yang tidak stabil yang seharusnya mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dengan nilai tertinggi 18,37% pada kadar aspal 5%. Fungsi dari nilai VMA adalah untuk mengetahui rongga yang terdapat pada agregat. Nilai yang rendah pada VMA mengartikan bahwa rongga yang terdapat pada agregat itu sedikit sehingga kecil kemungkinan terjadinya deformasi, dan untuk nilai VMA yang tinggi mengindikasikan bahwa banyaknya rongga yang terdapat pada agregat dan bisa berakibat menurunkan nilai kekuatan yang dimiliki oleh aspal.



Gambar 6 Nilai VIM Benda Uji Normal

Pengujian parameter VIM diatas menghasilkan nilai yang tidak memenuhi nilai minimum dan maksimum pada standar Spesifikasi Bina Marga 2018. Hanya kadar aspal 6% dengan nilai 3,73% dan kadar aspal 6,5% dengan nilai 3,57 yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018.



Gambar 7 Nilai VFA Benda Uji Normal

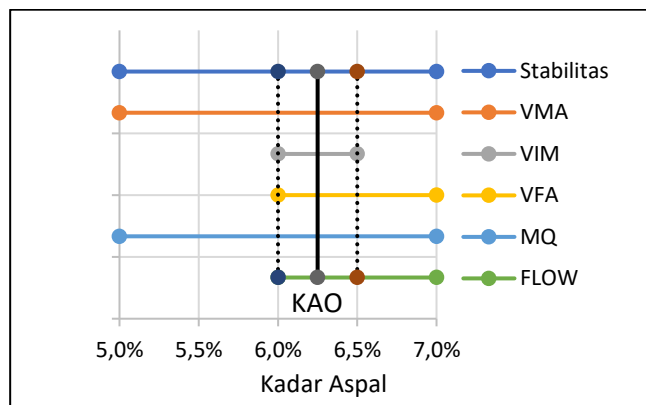
Dari Nilai VFA di atas menunjukan hanya nilai pada kadar aspal 5% yang tidak memenuhi nilai minimum pada standar Spesifikasi Bina Marga 2018. Grafik diatas menunjukan nilai yang naik dengan stabil. Pada grafik ini nilai terbesar terdapat pada kadar aspal 7% dengan nilai 92,83%.

Tabel 1 Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Normal

Parameter Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Stabilitas (kg)	Min. 800	1315.12	1181.44	1132.09	1243.43	1356.16
Flow (mm)	2,0 - 4,0	2.03	1.62	2.34	2.00	2.20
MQ (kg/mm)		751.2	827.8	568.0	688.4	654.6
VMA (%)	Min. 14	18.37	16.77	15.60	16.40	15.43
VIM (%)	3,0 - 5,0	9.01	6.15	3.73	3.57	1.35
VFA (%)	Min. 65	51.35	64.98	76.54	79.44	92.83

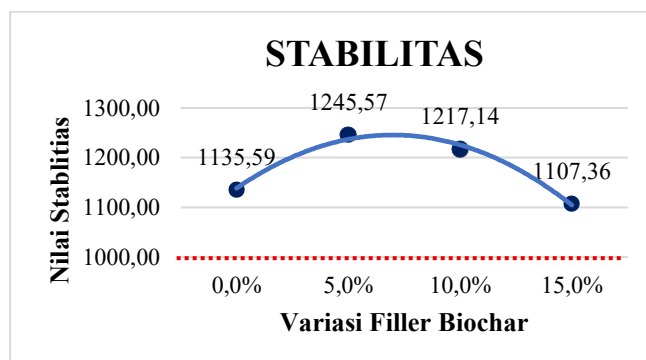
Dari hasil **Tabel 1** nilai yang didapatkan mulai dari Stabilitas, flow, VMA, VIM, VFA, MQ hanya kadar aspal 6% dan 6,5% yang memenuhi standar Bina Marga 2018.

Sehingga di dapatkan kadar aspal yang terpilih sebesar 6,25%.



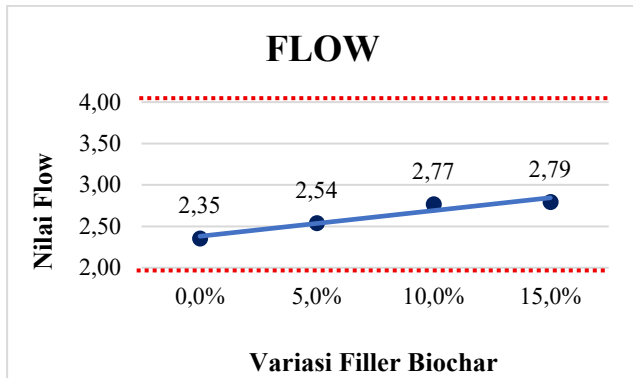
Gambar 8 Penentuan Kadar Aspal Terpilih

Dari **Gambar 8** diatas menunjukan bahwa hasil nilai karakteristik marshall terdapat nilai tidak memenuhi spesifikasi. Dari hasil yang didapatkan nilai Kadar Aspal Terpilih adalah 6,25% dengan cara merata-rata kadar aspal 6% dan 6,5% yang di dapat dengan kadar aspal tertinggi yang di dapat.



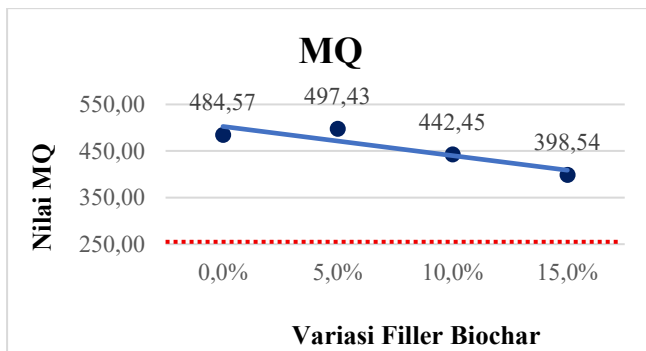
Gambar 9 Nilai Stabilitas Dengan Substitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok

Dari Nilai Stabilitas diatas menunjukan nilai yang memenuhi nilai minimum pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dengan nilai minimum 800 kg. Nilai stabilitas dengan menggunakan substitusi *filler* biochar eceng gondok mengalami peningkatan nilai pada variasi 5% dengan nilai 1245,57 kg. Dari grafik diatas dapat disimpulkan jika terlalu banyak kadar biochar yang digunakan maka akan mengalami penurunan.



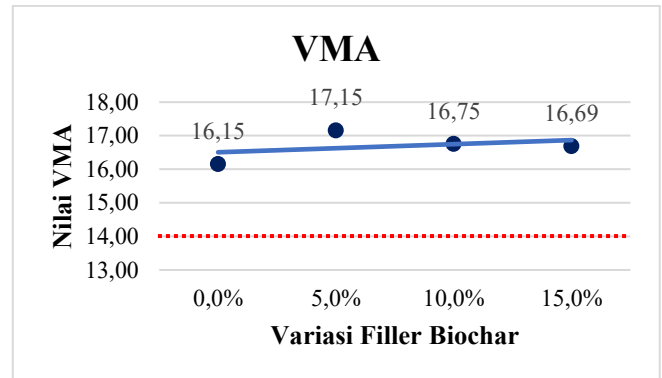
Gambar 10 Nilai Flow Dengan Subtitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok

Pengujian parameter Flow diatas menunjukan nilai yang memenuhi nilai minimum dan maksimum Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu antara 2-4 mm Dari grafik diatas didapatkan nilai 2,35 mm pada variasi 0%, 2,54 mm pada variasi 5%, 2,77 mm pada variasi 10%, dan 2,79 mm pada variasi 15%. Semakin rendah nilai flow maka akan membuat campuran menjadi kaku dan mudah retak sedangkan jika semakin tinggi nilai flow maka campuran akan mudah mengalami perubahan bentuk sehingga nilai flow yang baik berada pada variasi 5% dengan nilai 2,54 mm.



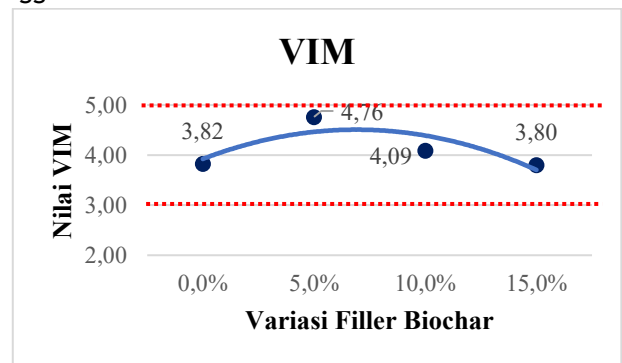
Gambar 11 Nilai MQ Dengan Subtitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok

Pengujian parameter Marshall Quotient diatas menghasilkan nilai yang memenuhi nilai minimum pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Dari grafik diatas didapatkan nilai MQ 484,57 kg/mm pada variasi 0%, 497,43 kg/mm pada variasi 5%, 442,45 kg/mm pada variasi 10%, dan 398,54 kg/mm pada variasi 15%. Terjadi kenaikan nilai MQ pada variasi 5% dan mengalami penurunan pada variasi 10% dan variasi 15%.



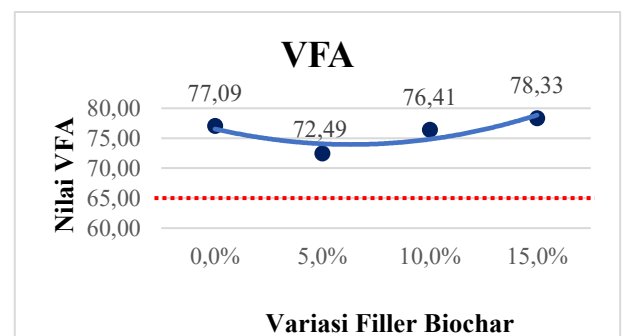
Gambar 12 Nilai VMA Dengan Subtitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok

Pengujian parameter VMA menghasilkan nilai yang memenuhi nilai minimum pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Dari grafik diatas didapatkan nilai VMA 16,17% pada variasi 0%, 17,15% pada variasi 5%, 16,75% pada variasi 10%. Dan 16,69% pada variasi 15%. Penulis memilih nilai 17,15% pada variasi 5% dikarenakan campuran AC-BC harus memiliki nilai stabilitas yang tinggi dan memenuhi standar.



Gambar 13 Nilai VIM Dengan Subtitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok

Dari nilai VIM diatas menunjukan nilai yang memenuhi nilai minimum pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Dari grafik diatas didapatkan nilai 3,82% pada variasi 0%, 4,76% pada variasi 5%, 4,09% pada variasi 10%. Dan 3,80% pada variasi 15%. Dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan nilai VIM pada kadar 5% dan mulai terjadi penurunan nilai pada variasi 10% dan variasi 15%.



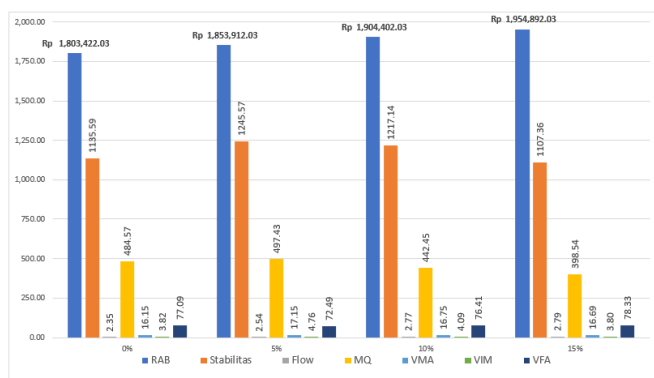
Gambar 14 Nilai VFA Dengan Subtitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok

Dari nilai VFA diatas menunjukan nilai yang memenuhi nilai minimum pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Dari

grafik diatas didapatkan nilai 77,09% pada variasi 0%, 72,49% pada variasi 5%, 76,41% pada variasi 10%. Dan 78,3% pada variasi 15%. Pada variasi 5% terjadi penurunan nilai yang signifikan kemudian terjadi kenaikan nilai pada variasi 10% dan variasi 15%. Peningkatan VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan campuran AC-BC mengalami *bleeding* pada saat terkena beban saat berada pada suhu tinggi.

Tabel 2 Hasil Pengujian Marshall Variasi Substitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok

Parameter Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal			
		5%	5.5%	6%	6.5%
Stabilitas (kg)	Min. 1000	1135.59	1245.57	1217.14	1107.36
Flow (mm)	2,0 - 4,0	2.35	2.54	2.77	2.79
MQ (kg/mm)	Min. 250	484.57	497.43	442.45	398.54
VMA (%)	Min. 14	16.15	17.15	16.75	16.69
VIM (%)	3,0 - 5,0	3.82	4.76	4.09	3.80
VFA (%)	Min. 65	77.09	72.49	76.41	78.33



Gambar 15 Rekapitulasi Performa dan RAB Campuran AC-BC Substitusi *Filler* Biochar Eceng Gondok
Dari hasil analisis rencana anggaran biaya (RAB) dengan substitusi *filler* biochar eceng gondok pada kadar 5% didapatkan harga Rp. 1.853.912,03

4. PENUTUP

Dari penelitian ini dihasilkan kesimpulan dan saran sebagai berikut:

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kadar optimum substitusi filler biochar eceng gondok pada campuran AC-BC, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kadar substitusi *filler* biochar eceng gondok sebesar 5% merupakan kadar optimum karena memberikan performa terbaik terhadap karakteristik Marshall, ditunjukkan oleh nilai stabilitas tertinggi sebesar 1245,47 kg, nilai MQ sebesar 497,43 kg/mm, serta parameter volumetrik (VIM, VMA, dan VFA) yang masih memenuhi spesifikasi. Pada kadar tersebut,

biochar mampu meningkatkan interaksi antara aspal dan agregat sehingga menghasilkan campuran yang lebih stabil dibandingkan campuran normal.

2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar eceng gondok berpotensi dimanfaatkan sebagai filler alternatif pada campuran AC-BC. Selain mampu meningkatkan kinerja campuran pada kadar optimum, pemanfaatan biochar eceng gondok juga memberikan nilai tambah terhadap limbah biomassa tanaman invasif serta mendukung penerapan konsep *green asphalt* dan pembangunan infrastruktur jalan yang lebih berkelanjutan.
3. Untuk analisa harga penerapan di jalan pada pekerjaan pengaspalan persatuan m³ harga untuk substitusi biochar eceng gondok 5% yaitu Rp. 1.853.912,03.

Saran

Adapun saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pada penelitian lebih lanjut dapat menggunakan biochar dari bahan lainnya atau menggunakan variasi yang berbeda di harapkan mendapat hasil yang lebih baik.
2. Memperketat pengecekan spesifikasi bahan baku dan kalibrasi alat pengujian di laboratorium sesuai acuan standar Bina Marga demi menjamin presisi data.
3. Meningkatkan tingkat kehalusan gradasi biochar agar persentase yang lolos saringan No. 200 lebih optimal, sehingga peningkatannya terhadap homogenitas campuran aspal-agregat menjadi lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukirman, S. (2013). *Perkerasan lentur jalan raya*. Bandung: Nova.
- [2] Hendarsin, S. L. (2017). *Perencanaan teknik jalan raya*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [3] Lehmann, J. and Joseph, S. (2009) Taylor & Francis Not for distribution Taylor & Francis Not for distribution.
- [4] Gan, X. (2021) 'Application of biochar from crop straw in asphalt modification', pp. 1-7.
- [5] Riyanto, D. et al. (2019) 'Aplikasi Biochar dan Pupuk Hayati Dalam Meningkatkan Kualitas Lahan Sawah Tadah Hujan Serta Produktivitas Padi di Gunungkidul. *The Application of Biochar and Biofertilizer for Improving Rainfed Lowland and Rice Productivity on Gunungkidul Regency*', pp. 978-979.