

Karakteristik beton aspal lapisan pengikat (AC-BC) yang menggunakan bahan pengisi abu terbang batubara

M. Sa'dillah^{1,*}, Galih Damar Pandalu¹, Natalino Borromeu Martins¹

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding authors: muhsad93@gmail.com

Submitted: 5 August 2023, Revised: 24 June 2024, Accepted: 27 June 2024

ABSTRACT: Coal consumption continues to increase resulting in waste in the form of rock ash (fly ash) is continuously increasing. Increased waste is a problem especially in polluting the environment. Therefore it is necessary to use coal waste. One way to utilize stone ash waste is to use it as a filler in binder-coated asphalt concrete (AC-BC). This study aims to determine the characteristics of binder-coated asphalt concrete (AC-BC) with varying grades of additives fly ash to marshall quotient. Parameters observed consisted of stability, melting (flow), air voids in the mix (VIM), voids filled with bitumen (VFA), voids between aggregates (VMA), and marshall quotient (MQ). The results of the study can be concluded 1) the results of testing the binder layer concrete asphalt layer (AC-BC) showed that the optimal asphalt content was 5.57% with a stability weight of 1,103.48 kg, flow 3.17 mm, VIM 4.55%, VFA 78.48%, VMA 16.06% and weight marshall quotient (MQ) 349.08 kg/mm; 2) The test results of the binder-coated asphalt concrete (AC-BC) showed that the optimum mixture was filler content fly ash 4.19% with a stability weight of 925.65 kg, flow 3.67 mm, VIM 4.07%, VFA 77.23%, VMA 16.46% and weight marshall quotient (MQ) 253.58 kg/mm.

KEYWORDS: AC-BC; fly ash; marshall.

ABSTRAK: Konsumsi batubara terus meningkat sehingga menghasilkan limbah berupa abu batu (*fly ash*) yang terus meningkat. Peningkatan limbah merupakan masalah terutama dalam mencemari lingkungan. Oleh karena itu perlu adanya pemanfaatan limbah batubara. Salah satu cara dalam memanfaatkan limbah abu batu adalah digunakan sebagai pengisi pada beton aspal lapis pengikat (AC-BC). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton aspal lapis pengikat (AC-BC) dengan variasi bahan tambahan kadar *fly ash* terhadap *marshall quotient*. Parameter yang diamati terdiri dari stabilitas, kelelehan (*flow*), rongga udara dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFA), rongga antar agregat (VMA), dan *marshall quotient* (MQ). Hasil penelitian dapat disimpulkan 1) hasil pengujian lapisan aspal beton lapis pengikat (AC-BC) menunjukkan bahwa kadar aspal optimum yaitu 5.57% dengan berat stabilitas 1,103.48 kg, *flow* 3.17 mm, VIM 4.55%, VFA 78.48%, VMA 16.06%, dan berat *marshall quotient* (MQ) 349.08 kg/mm; 2) Hasil pengujian lapisan aspal beton lapis pengikat (AC-BC) menunjukkan bahwa campuran optimum yaitu kadar *filler fly ash* 4.19% dengan berat stabilitas 925.65 kg, *flow* 3.67 mm, VIM 4.07%, VFA 77.23%, VMA 16.46%, dan berat *marshall quotient* (MQ) 253.58 kg/mm.

KATA KUNCI: AC-BC; abu terbang; *marshall*.

© The Author(s) 2024. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Lapisan aspal beton kerap kali didefinisikan sebagai perpaduan antara agregat dengan bahan pengikat yang diproses secara panas kemudian dihamparkan serta dipadatkan pada kondisi suhu tertentu. Umumnya bahan pengikat yang digunakan yaitu semen. Seiring berjalannya waktu, bahan utama untuk pembuatan semen akan habis (tidak dapat diperbaharui kembali). Oleh karena itu, perlu adanya bahan alternatif sebagai pengganti semen. Bahan alternatif yang hendak digunakan harus memiliki sifat mengikat, salah satunya yaitu abu yang dihasilkan pembakaran batubara. Abu batubara (*fly ash*) adalah sisa pembakaran batubara yang sangat halus yang berasal dari unit pembangkit uap (*boiler*). Menurut (Sadillah et al., 2018), *fly ash* (abu terbang) adalah

salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran industri batubara atau Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terdiri dari partikel-partikel halus yang berterbangan. *Fly ash* yang dihasilkan merupakan limbah dan memiliki potensi untuk digunakan sebagai *filler*. Sadillah juga mengungkapkan bahwa abu terbang batubara mengandung unsur *pozzolan* sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat beton aspal.

Tahun 2006 hingga 2009 PLN (Persero) mencatat kenaikan *fly ash* sebesar 1.3 juta ton (2 juta ton pada tahun 2006 dan 3.3 juta ton pada tahun 2009). Pada tahun 2016 Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memastikan akan kenaikan jumlah *fly ash* yang dikarenakan program 35,000 MW. Dimana kebutuhan batu bara untuk PLTU pada tahun 2019

diperkirakan sebesar 166.2 juta ton. Kenaikan kebutuhan akan penggunaan batu bara sejalan dengan jumlah *fly ash* yang dihasilkan yaitu 5% dari kebutuhan batu bara 166.2 juta ton akan menghasilkan *fly ash* sebesar 8.31 juta ton (Jarman, 2019). 8.31 juta ton merupakan angka yang sangat besar dan dapat mencemari lingkungan, sehingga perlu dimanfaatkan. Salah satu cara yang digunakan untuk mengurangi jumlah *fly ash* yaitu digunakan sebagai pengisi (*filler*) pada beton aspal (AC-BC). Hal ini dikarenakan abu batubara mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi sehingga limbah abu batubara mempunyai sifat pozolanik (Sulistiyowati, 2013).

Pemanfaatan *fly ash* menjadi salah satu alternatif pengganti material. Penelitian tentang penggunaan *fly ash* pengganti semen maupun disubsitusi dengan semen telah dilakukan dengan menggunakan persentase perbandingan *fly ash* berbanding semen sebagai berikut 20%:80%, 40%:60% dan 60%:40% sebagai *filler* beton properti (Jatale, 2013).

Hasil ini menunjukkan bahwa *fly ash* mampu meningkatkan kemampuan kerja beton, sementara laju perkembangan kekuatan ditentukan oleh faktor air semen ($^w/c$ ratio) dan persentase *fly ash* dalam beton. Berdasarkan berbagai hal diatas, sehingga penelitian ini berjudul “Karakteristik Beton Aspal Lapisan Pengikat (AC-BC) Yang Menggunakan Bahan Pengisi *Fly Ash*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton aspal lapis pengikat (AC-BC) ditinjau dari pengujian *marshall*, dan mengetahui nilai optimum beton aspal lapis pengikat (AC-BC) ditinjau dengan bahan *fly ash* pengujian *marshall*.

2 METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dimana berdasarkan atas paradigma yang berpandangan bahwa peneliti dapat dengan sengaja mengadakan perubahan terhadap dunia sekitar dengan melakukan berbagai eksperimen. Penelitian kuantitatif memperhatikan pada pengumpulan dan analisis data dalam bentuk numerik dan bersifat obyektif. Variabel-variabel penelitian kuantitatif dapat diidentifikasi dan interkorelasi variabel dapat diukur (Abdullah et al., 2022). Variabel yang diukur adalah prosentase dari kadar *fly ash* terhadap nilai *marshall* pada campuran.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. Waktu Penelitian dimulai pada Januari 2023.

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan benda uji dan analisa hasil penelitian. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Studi eksperimental melakukan pengukuran antar variabel pada sebelum dan sesudahnya untuk melihat hubungan sebab-akibat dari fenomena yang diteliti (Sugiyono, 2022). Dengan penambahan *fly ash* ke dalam campuran dapat memperbaiki kinerja dari beton aspal (AC-BC).

Variasi penggunaan *fly ash* dengan rancangan penelitian seperti Tabel 1 dan Tabel 2.

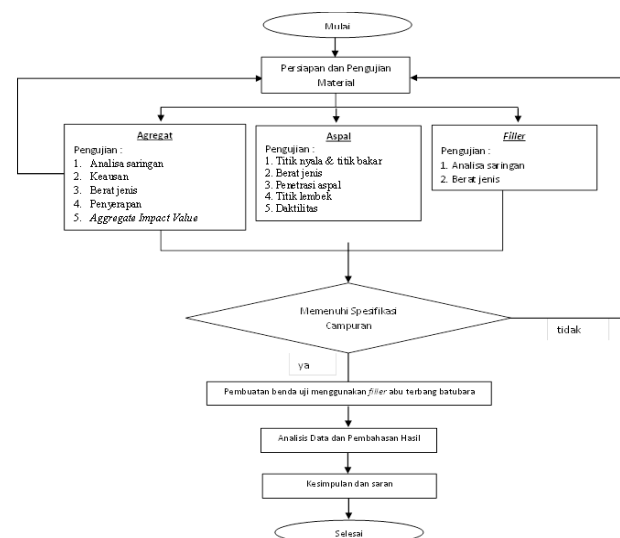
Tabel 1. Benda uji kadar aspal

Rencana Kadar Aspal	Benda Uji	Total Benda Uji
4.5%	3	15
5%	3	
5.5%	3	
6%	3	
6.5%	3	

Tabel 2. Desain rancangan variasi kadar *fly ash*

Rencana Kadar <i>Fly Ash</i> penambahan KAO	Benda Uji	Total Benda Uji
3%	5	25
4%	5	
5%	5	
6%	5	
7%	5	

Dalam penelitian ini terbagi dalam 3 (tiga) tahapan dari mulainya penelitian sampai dengan selesainya penelitian yang dijelaskan dalam sebuah diagram alir seperti Gambar 1. Tahapan tersebut yaitu tahapan pemilihan bahan meliputi: (1) pemilihan agregat; (2) pemilihan aspal; (3) perencanaan pencampuran. Tahap persiapan benda uji meliputi: (1) persiapan agregat; (2) persiapan aspal; (3) persiapan *filler fly ash*. Tahap penelitian dan analisis data meliputi: (1) pemeriksaan bahan; (2) perencanaan campuran; (3) pembuatan benda uji; (4) analisis data.



Gambar 1. Diagram alir

Penggunaan kadar aspal dalam penelitian ini yaitu: 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan 6.5% sehingga penelitian ini memperoleh 40 sampel uji. Sedangkan Jumlah aspal dalam campuran perkerasan menggunakan 4%-10% berdasarkan berat campuran atau 10%-15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2003).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan-bahan penelitian yang akan digunakan dalam penelitian perlu melalui pemeriksaan terlebih dahulu. Data pemeriksaan terdiri dari:

1. Pemeriksaan agregat
2. Pemeriksaan aspal
3. Pemeriksaan *fly ash*
4. Uji kandungan kimia *fly ash*

Pemeriksaan dilakukan untuk meninjau kelayakan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Berikut ini hasil pemeriksaan bahan penelitian. Pemeriksaan agregat bertujuan untuk mengetahui kualitas agregat sebelum digunakan dalam perencanaan campuran aspal beton. Kualitas agregat dapat ditentukan dengan cara visual dan pemeriksaan laboratorium. Data pemeriksaan agregat dalam penelitian dilakukan dengan cara pemeriksaan laboratorium. Sifat fisik atau karakteristik agregat yang diuji terdiri dari agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil pemeriksaan agregat

No	Pemeriksaan	Syarat	Agregat				Ket.
			0/5	5/10	10/10	10/20	
1	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) (g/cc)	≥ 2.5	2.60	2.64	2.68	2.69	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (g/cc)	≥ 2.5	2.65	2.69	2.71	2.72	Memenuhi
3	Penyerapan (<i>absorpsi</i>) (%)	≤ 3	1.99	1.61	1.35	1.23	Memenuhi
4	Berat isi agregat (g/cm ³)	-	1.68	1.48	1.45	1.44	Memenuhi
5	Material lolos ayakan No 200 (%)	≤ 10	9.81	-	-	-	Memenuhi
		≤ 1	-	0.58	0.11	0.34	Memenuhi
6	Keausan agregat (100 putaran) (%)	≤ 8	-	-	-	3.38	Memenuhi
7	Keausan agregat (500 putaran) (%)	< 40	-	-	-	18.62	Memenuhi

Aspal terlebih dahulu diperiksa sifat fisik sebelum digunakan. Aspal yang dipakai dalam penelitian ini yaitu aspal dengan penetrasi 60/70. Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70 merupakan data hasil pengujian laboratorium. Hasil pemeriksaan penetrasi aspal memiliki nilai yang sama dengan penelitian sebelumnya yaitu 62 (Agustian & Ridha, 2018). Pengujian aspal dilakukan pada suhu 25°C. Hasil pemeriksaan aspal disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pemeriksaan aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi	60/70	67	Memenuhi
2	Berat jenis (g/cm ³)	≥ 1	1.02	Memenuhi
3	Daktalitas (cm)	≥ 100	103	Memenuhi
4	Titik nyala (°C)	≥ 232	312	Memenuhi
5	Titik bakar (°C)	-	327	Memenuhi
6	Titik lembek (°C)	≥ 48	49.5	Memenuhi
7	Kehilangan berat (%)	≤ 0.8	0.136	Memenuhi

Pemeriksaan *fly ash* dilakukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan syarat *fly ash* sehingga dapat digunakan sebagai benda uji. Hasil pemeriksaan *fly ash* dan pengujian kandungan kimia disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Pemeriksaan *fly ash*

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis (<i>bulk</i>) (gr/cm ³)	2.5	2.84	Memenuhi
2	Berat Isi (gr/cm ³)	-	1.19	Memenuhi

Tabel 6. Uji kandungan kimia *fly ash*

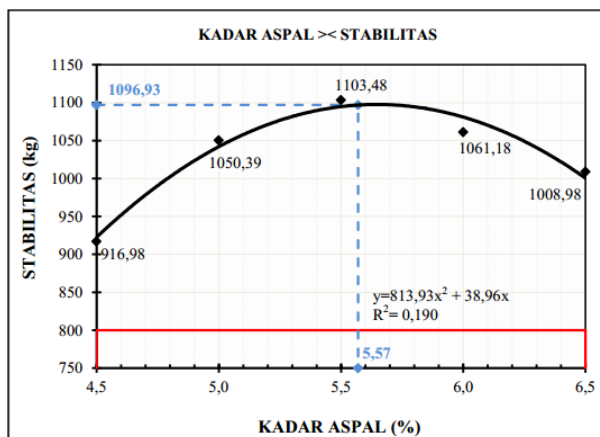
Komposisi Kimia	Satuan	Komposisi Kimia	Satuan
Fe ₂ O ₃	30.50%	Eu ₂ O ₃	0.30%
SiO ₂	26.80%	MnO	0.27%
CaO	25.60%	HgO	0.20%
AlO ₂	10.00%	Re ₂ O ₇	0.10%
K ₂ O	1.80%	Cr ₂ O ₃	0.09%
TiO ₂	1.32%	CuO	0.06%
SO ₃	1.00%	V ₂ O ₅	0.05%
MoO ₃	1.00%	ZnO	0.05%
SrO	0.31%	NIO	0.02%
BaO	0.31%	Yb ₂ O ₃	0.02%

Hasil kandungan belerang (S) yang dimiliki *fly ash* bila dibandingkan dengan syarat SNI semen portland pozolan telah memenuhi syarat yaitu belerang (S) maksimal 4% (Badan Standardisasi Nasional, 2015). Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃), kalsium (CaO) dan sisanya adalah magnesium, potasium, sodium, titanium dan belerang dalam jumlah yang sedikit (Sadillah et al., 2018). Hasil pengujian

komposisi kimia abu terbang (*fly ash*) sebelumnya mendapatkan hasil SiO_2 sebesar 57.95%; Al_2O_3 sebesar 28.15%; Fe_2O_3 sebesar 4.75%; CaO sebesar 3.74%; dan SO_3 sebesar 0.8% (Asrullah & Sukoco, 2019).

Pengujian karakteristik campuran aspal beton lapis pengikat (AC-BC) yang telah dilakukan memperoleh parameter *marshall*, sebagai berikut: stabilitas, *flow*, *marshall quotient*, *VIM*, dan *VMA*. Persyaratan yang digunakan untuk mengukur parameter *marshall* sebagai berikut: nilai stabilitas > 800 kg, *flow* minimal 2 mm dan maksimal 4 mm, *VIM* minimal 3% dan maksimal 5%, *VFA* > 65%, *VMA* > 14%, dan *marshall quotient* > 250 kg/mm (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

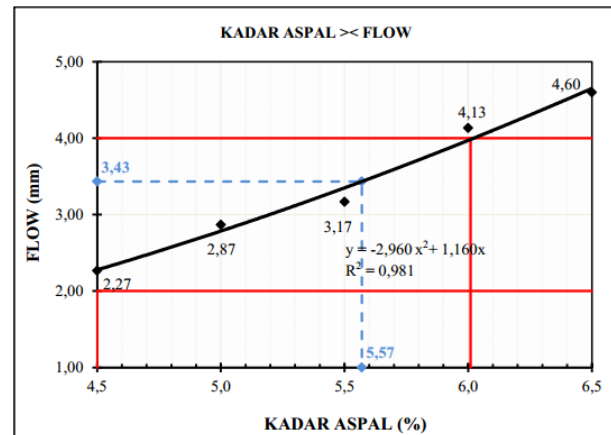
Hasil pengujian karakteristik campuran aspal beton lapis pengikat (AC-BC) berdasarkan beberapa parameter dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



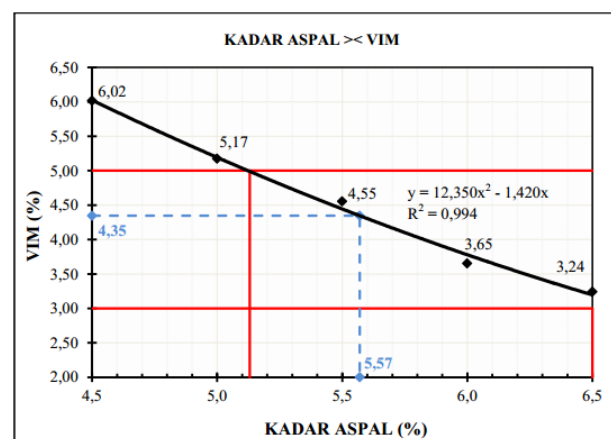
Gambar 2. Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas

Nilai stabilitas adalah kemampuan lapisan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan alur, bekas roda, gelombang dan bleeding pada pekerasan. Dari hasil pengujian didapatkan nilai stabilitas campuran aspal beton lapis pengikat (AC-BC) secara keseluruhan masih memenuhi persyaratan dengan nilai > 800 kg. Hasil temuan ini berbeda dengan hasil yang diperoleh sebelumnya bahwa penggunaan kapur sebagai *filler* pada campuran aspal AC-BC terendah adalah penggunaan kadar aspal 5.6% dengan nilai stabilitas 1,290 kg dan stabilitas tertinggi adalah 1,480 kg pada penggunaan kadar aspal 6.1% (Akbar, 2018).

Nilai *flow* yang disyaratkan adalah 2,0%-4,0% jika nilai kelelahan kurang dari 2,0 menyebabkan campuran aspal beton lapis pengikat mudah mengalami retak dan ber- alur karena sifat kaku sedangkan nilai yang lebih dari 4,0 menyebabkan campuran aspal beton lapis pengikat cenderung lembek (Sa'dillah et al., 2021).



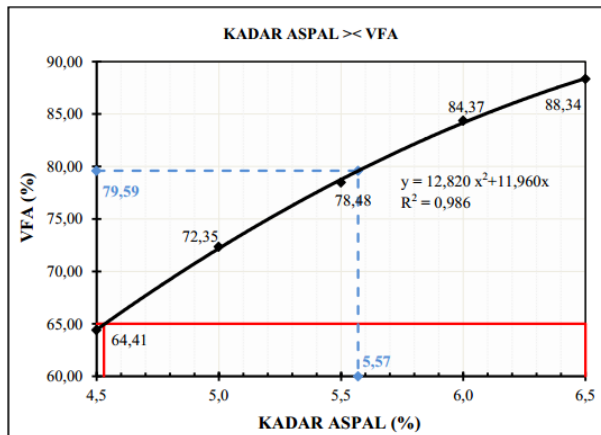
Gambar 3. Hubungan antara kadar aspal dengan *flow*



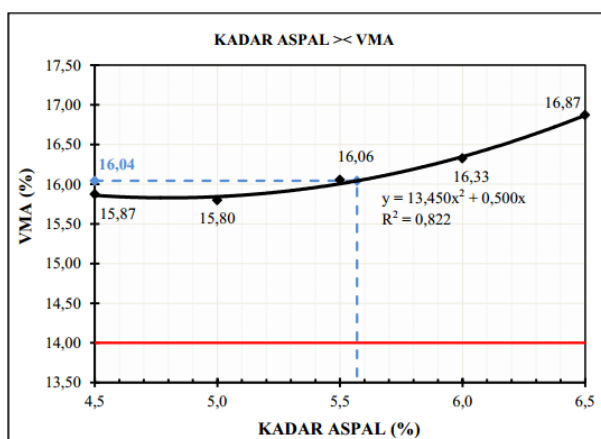
Gambar 4. Hubungan antara kadar aspal dengan *VIM*

Nilai rongga udara dalam campuran mempengaruhi sifat kedekatan campuran. Nilai rongga udara dalam campuran yang besar menunjukkan banyaknya rongga pada campuran sehingga campuran kurang rapat atau kurang kedap terhadap air maupun udara sehingga oksidasi muda terjadi. Jika nilai rongga udara dalam campuran kecil menunjukkan campuran terlalu rapat atau padat dan mempunyai kekakuan tinggi yang akan mengakibatkan naiknya aspal permukaan (*bleeding*) akibat pemadatan oleh beban lalu lintas terjadi dan pergeseran permukaan aspal (*sliding*) (Sa'dillah et al., 2023).

Pengujian kadar aspal terhadap volume dalam rongga aspal (*Void Filled with Asphalt/VFA*) dengan tujuan untuk menilai kedekatan air dan udara suatu campuran. Spesifikasi parameter *VFA* yaitu $\geq 65\%$. Nilai *VFA* yang semakin tinggi menjelaskan bahwa rongga dalam campuran semakin kedap terhadap air dan udara. Nilai *VFA* yang sangat tinggi dapat menyebabkan campuran aspal menjadi *bleeding* dan bila nilai *VFA* yang tidak masuk dalam syarat dapat menyebabkan campuran aspal mudah retak dan tidak tahan lama (Sa'dillah et al., 2023).

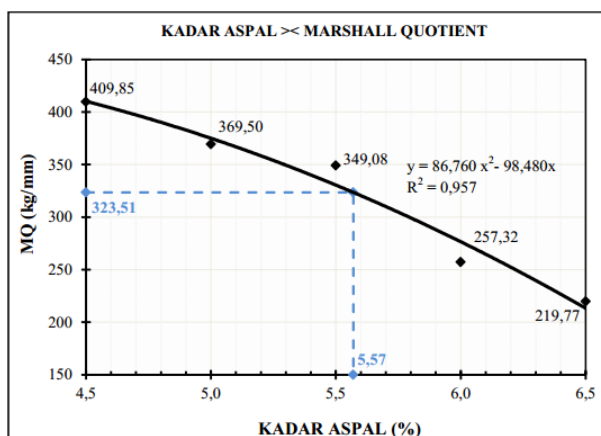


Gambar 5. Hubungan antara kadar aspal dengan VFA



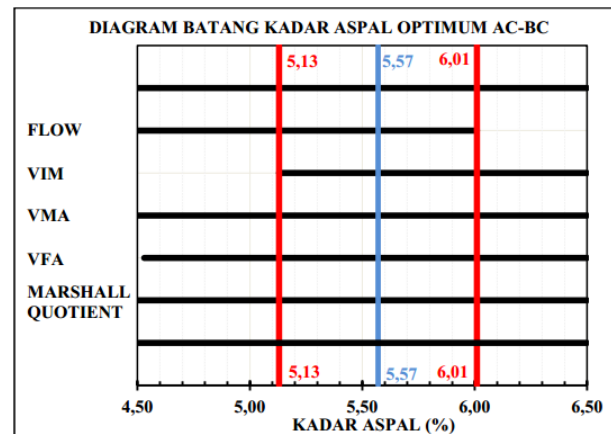
Gambar 6. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA

Nilai ini menjelaskan bahwa secara keseluruhan variasi kadar aspal memenuhi dengan syarat dari Bina Marga yaitu $\geq 14\%$. Nilai rongga udara dalam agregat yang kecil dapat mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat terbatas sehingga kemudian agregat terlepas menjadikan lapisan tidak kedap air, oksidasi mudah terjadi sehingga lapisan perkerasan mudah rusak (Sa'dillah & Leliana, 2020).



Gambar 7. Hubungan antara kadar aspal dengan marshall quotient

Nilai MQ yang menjadi syarat untuk parameter MQ adalah ≥ 250 kg/mm. Hasil penelitian dapat dilihat bahwa semakin rendah kadar aspal yang digunakan semakin tinggi nilai MQ yang didapatkan. Semakin rendah kadar aspal yang digunakan dalam campuran akan semakin kaku campuran dan semakin tinggi kadar aspal yang digunakan akan semakin lentur campuran (Pratomo et al., 2016).

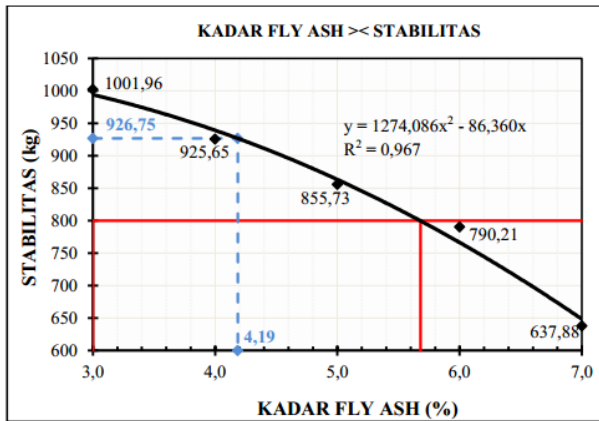


Gambar 8. Kadar Aspal Optimun (KAO)

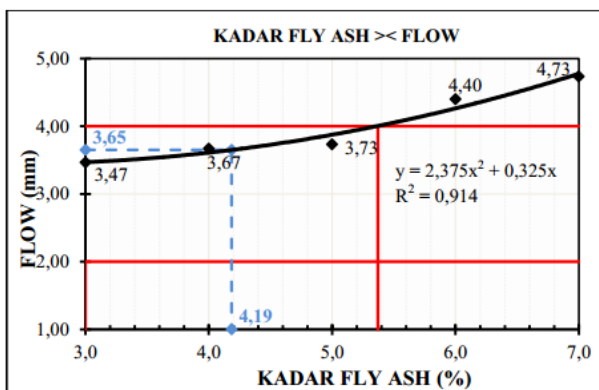
Gambar 8. diketahui bahwa secara keseluruhan benda uji yang digunakan dalam penelitian memenuhi persyaratan dari Bina Marga. Benda uji aspal yang memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu variasi kadar aspal 5.0%, variasi kadar aspal 5.5% dan variasi kadar aspal 6.0%. Variasi kadar aspal yang tidak memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu variasi kadar aspal 4.5% dan variasi kadar aspal 6.5%. Hasil penelitian KAO yang didapatkan tidak berbeda jauh dengan penelitian sebelumnya yaitu nilai KAO sebesar 5.5% (Sadillah et al., 2018); nilai KAO sebesar 6.35% (Tambunan & Pitriani, 2019) dan nilai KAO sebesar 6% (Imannurrohman, 2021) dan (Zulkarnain & Hidayat, 2023).

Karakteristik campuran aspal beton lapis pengikat (AC-BC) dengan variasi *filler fly ash* yaitu *fly ash* 3%; *fly ash* 4%; *fly ash* 5%; *fly ash* 6%; dan *fly ash* 7%. Hasil pengujian karakteristik dalam penelitian ini terdiri dari stabilitas, kelelahan (*flow*), VIM (*Void In Mix*), VFA (*Volume of voids Filled with Asphalt*), VMA (*Void in Mineral Agregate*), dan *marshall quotient*. Rangkaian pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase *filler fly ash* yang ideal berdasarkan kadar aspal 5.57%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase *filler fly ash* yang ditambahkan dalam perkerasan aspal beton lapis pengikat akan menurunkan nilai stabilitas perkerasan (Gambar 9). Tinggi dan rendahnya nilai stabilitas suatu campuran aspal beton menjelaskan bahwa baik dan buruknya campuran aspal beton dalam menerima beban lalu lintas.

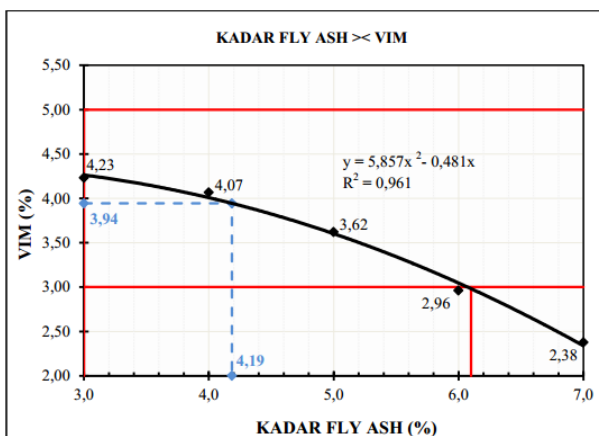


Gambar 9. Hubungan antara *filler fly ash* dengan stabilitas



Gambar 10. Hubungan antara *filler fly ash* dengan *flow*

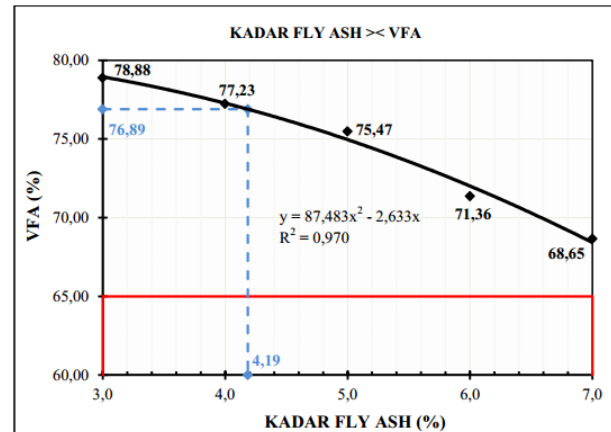
Variasi *filler fly ash* yang telah memenuhi persyaratan parameter kelelahan (*flow*) adalah *filler fly ash* 3% dengan nilai *flow* sebesar 3.47 mm, *filler fly ash* 4% dengan nilai *flow* sebesar 3.67 mm, dan *filler fly ash* 5% dengan nilai *flow* sebesar 3.73 mm. Nilai *flow* terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya persentase penambahan *filler fly ash* (Gambar 10).



Gambar 11. Hubungan antara *filler fly ash* dengan VIM

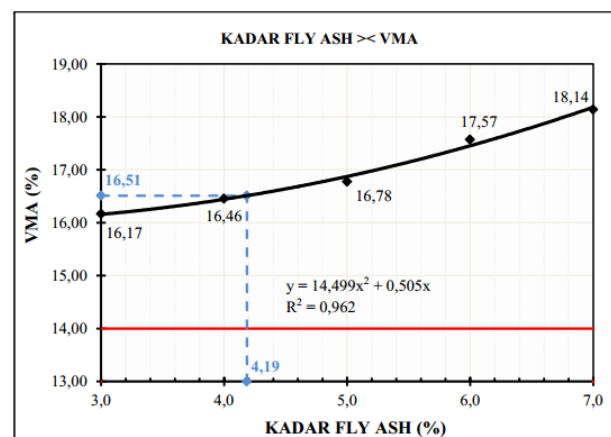
Spesifikasi untuk parameter VIM yaitu 3%-5%. Hasil penelitian menjelaskan bahwa semakin tinggi

penambahan persentase *filler fly ash* semakin rendah persentase VIM yang diperoleh (Gambar 11). Rongga udara dalam campuran yang diharapkan adalah tidak kurang dari 3% sesuai dengan spesifikasi sehingga perkerasan tidak mengalami *bleeding*.



Gambar 12. Hubungan antara *filler fly ash* dengan VFA

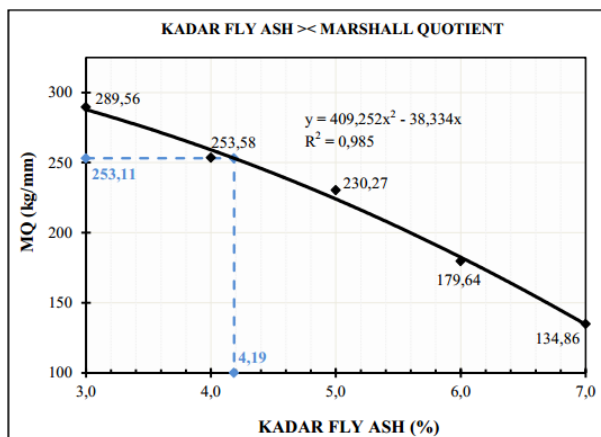
Pengujian *filler fly ash* terhadap volume dalam rongga aspal (VFA) dengan tujuan untuk menilai durabilitas, kelenturan, kedapapan air, dan ketahanan geser suatu perkerasan. Spesifikasi parameter VFA yaitu $\geq 65\%$ (Gambar 12). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase *filler fly ash* yang digunakan akan menurunkan persentase VFA perkerasan aspal beton lapis pengikat (AC-BC). Hasil ini tidak jauh berbeda dengan penggunaan *filler* parutan ban bekas bahwa semakin tinggi persentase *filler* dapat menurunkan persentase VFA (Khairani et al., 2018).



Gambar 13. Hubungan antara *filler fly ash* dengan VMA

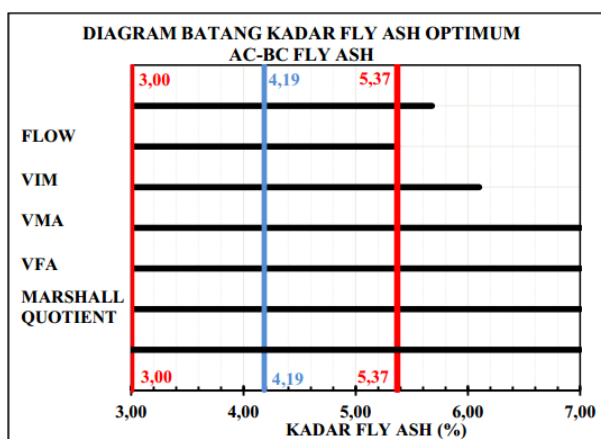
Pengujian *filler fly ash* terhadap Void in the Mineral Agregate (VMA) dengan tujuan untuk menilai keawetan suatu perkerasan. Spesifikasi parameter VMA yaitu $\geq 14\%$ (Gambar 13). Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase VMA terus meningkat seiring penambahan persentase *filler fly ash*. Hal ini

disebabkan karena penambahan persentase *filler fly ash* tidak dapat mengisi secara keseluruhan rongga diantara agregat. Besarnya persentase nilai VMA tidak menunjukkan tingkat keawetan perkerasan, apabila nilai VMA rendah mampu menjelaskan tingkat keawetan perkerasan.



Gambar 14. Hubungan antara *filler fly ash* dengan *marshall quotient*

Hasil penelitian menjelaskan bahwa semakin rendah penggunaan *filler fly ash* semakin tinggi nilai *marshall quotient* (Gambar 14). Tingginya nilai *marshall quotient* menjelaskan bahwa perkerasan semakin kaku dan kurang lentur.



Gambar 15. Kadar campuran optimum

Gambar 15 diketahui bahwa *filler fly ash* yang ideal adalah *filler fly ash* dengan persentase 4.19%. Penggunaan *fly ash* yang memenuhi syarat antara lain *filler fly ash* 3%, 4% dan 5%. Dikatakan memenuhi syarat karena penggunaan *filler fly ash*. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu penggunaan *filler fly ash* sebesar 7% (Sadillah et al., 2018) dan lebih besar dari penggunaan *filler fly ash* sebesar 4% (Bancin et al., 2021). Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penggunaan *filler fly ash* akan memberikan dampak terhadap

campuran aspal beton. Dampak yang ditimbulkan antara lain seperti ketidakseimbangan campuran aspal dalam menerima beban lalu lintas, terjadinya *bleeding*, dan keawetan perkerasan yang kurang baik serta dapat menyebabkan perkerasan menjadi lebih lentur.

4 KESIMPULAN

Hasil pengujian lapisan aspal beton lapis pengikat (AC-BC) menunjukkan bahwa kadar aspal optimum yaitu 5.57% dengan berat stabilitas 1,103.48 kg, *flow* 3.17 mm, VIM 4.55%, VFA 78.48%, VMA 16.06%, dan berat *marshall quotient* (MQ) 349.08 kg/mm. Hasil pengujian lapisan aspal beton lapis pengikat (AC-BC) menunjukkan bahwa campuran optimum yaitu kadar *filler fly ash* 4.19% dengan berat stabilitas 925.65 kg, *flow* 3.67 mm, VIM 4.07%, VFA 77.23%, VMA 16.46%, dan berat *marshall quotient* (MQ) 253.58 kg/mm.

Dari hasil pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan *filler fly ash* dapat memperbaiki kinerja perkerasan aspal beton. Tetapi hal ini harus diimbangi dengan rencana campuran (*mix design*) yang proporsional dan juga dibantu dengan alat penunjang yang terstandar. Penelitian selanjutnya diharapkan bisa mencari kadar yang proporsional untuk rencana campuran agar didapat campuran aspal beton yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Aiman, M. J. U., Fadilla, S. H. Z., Taqwin, T., Ardiawan, M. K. N., & Sari, M. E. (2022). Metodologi Penelitian Kuantitatif. In *PT Rajagrafindo Persada* (Vol. 3, Issue 2). Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Agustian, K., & Ridha, M. (2018). Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Dengan Menggunakan 6% Getah Damar Sebagai Bahan Substitusi Aspal. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.30601/unayaded.v4i1.193>
- Akbar, S. J. (2018). Penggunaan Kapur sebagai Filler pada Campuran Aspal (AC-BC) terhadap Parameter Marshall. *TERAS JURNAL*, 8(1), 367. <https://doi.org/10.29103/tj.v8i1.145>
- Asrullah, A., & Sukoco, A. (2019). Pengaruh Penggunaan Filler Asbuton dengan Filler Fly Ash terhadap Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Ditinjau dari Nilai Karakteristik Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 15–24. <https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v7i2.239>
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 2049:2015 Semen Portland Pozolan. *Badan Standardisasi Nasional*, 147.
- Bancin, E. D. L., Lubis, K., & Mahda, N. (2021). Pengaruh Penggunaan Tanah Merah sebagai Filler Pada Campuran Aspal Ac-Bc Terhadap Nilai Marshall. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 5(1), 17–25. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v5i1.5072>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). In *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018* (Revisi 4, Issue Revisi 2). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Imannurrohman, N. (2021). Pemanfaatan Limbah Beton sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (AC-WC). *Jurnal Rekayasa*

- Infrastruktur Sipil*, 2(1), 25.
<https://doi.org/10.31002/v1i2.3406>
- Isnaini Zulkarnain, & Muhammad Hidayat. (2023). Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Penambahan Filler Pada Campuran Aspal AC-BC. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 7(1), 239–251.
<https://doi.org/10.31289/jcebt.v7i1.9124>
- Jarman. (2019). Limbah Abu Batu Bara pada 2019 Capai 8.31 Juta Ton. *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*.
- Jatale, A. (2013). Effects on Compressive Strength When Cement Is Partially Replaced By Fly-Ash. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 5(4), 34–43.
<https://doi.org/10.9790/1684-0543443>
- Khairani, C., Saleh, S. M., & Sugiarto, S. (2018). Uji Marshall pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) dengan Tambahan Parutan Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 559–570.
<https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.9995>
- Pratomo, P., Ali, H., & Diansari, S. (2016). Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Plastik Low Linear Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau Dari Karakteristik Marshall Dan Uji Penetrasi Pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC). *Analisis Standar Pelayanan Minimal Pada Instalasi Rawat Jalan Di RSUD Kota Semarang*, 3, 103–111.
- Sa'dillah, M., Fajarwati, Y. E., & Primasworo, R. A. (2021). Kinerja Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Limbah Beton Sebagai Bahan Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1).
<https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/77684>
- Sa'dillah, M., & Leliana, A. (2020). Karakteristik Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Penambahan Bahan Pengisi Abu Terbang Batubara. *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur)*, 3, 1–8.
- Sa'dillah, M., Rahma, P. D., & Malo, Y. S. (2023). Pengaruh Penggunaan Biji Plastik Jenis PS (Polystyrene) sebagai Bahan Tambahan pada Campuran Aspal Porus. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 1–8.
- Sa'dillah, M., Rahma, P. D., Primasworo, R. A., & Maliq, T. M. (2023). Karakteristik Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Agregat Yang Menggunakan Limbah Plastik (Low Density Polyethylene) LDPE. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 85–94.
- Sadillah, M., Arifin, M. Z., & Wicaksono, A. (2018). Penggunaan Fly Ash Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC). *Jurnal Rekayasa Sipil & Lingkungan*, 2(1), 87–98.
<https://doi.org/https://doi.org/10.19184/jrsl.v2i01.6425>
- Sugiyono. (2022). Penelitian Kuantitatif, Penelitian Kuantitatif. In *Google Books* (Issue April 2016).
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas, Granit, Jakarta*. Granit.
- Sulistiyowati, N. A. (2013). Bata Beton Berlubang Dari Abu Batubara (Fly Ash dan Bottom Ash) Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 15(1), 87–96.
- Tambunan, H. F., & Pitriani, F. (2019). Analisis Karakteristik Marshall Pada Laston AC-BC Dengan Penggunaan Bahan Zeolit Sebagai Filler. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 151–162.
<http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft/article/view/6661>