

PENGARUH PENGGUNAAN BOTTOM ASH SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL UNTUK CAMPURAN (AC-WC)

Ahmad Rahmatullah¹, Akhmad Suryadi², Agus Sugiarto³

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: ahmadrahmat9797@gmail.com¹, akhmad.suryadi@polinema.ac.id², agus.sugiarto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Bottom ash merupakan abu hasil dari pembakaran batu bara yang mengendap pada tungku api pembakaran batu bara, bottom ash dapat digunakan untuk mengelola limbah dan mengurangi dampak negatifnya terhadap masyarakat. Inovasi ini menggunakan bottom ash sebagai substitusi agregat halus dalam campuran aspal (AC-WC). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat fisik agregat kasar, agregat halus, dan aspal, menentukan KAO dari kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% tanpa substitusi bottom ash, menganalisis pengaruh bottom ash menggunakan variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% sebagai substitusi agregat halus dalam campuran laston AC-WC, dan menganalisis rencana anggaran biaya untuk membuat laston AC-WC dengan substitusi bottom ash. Metode yang digunakan melibatkan pembuatan 2 sampel benda uji untuk setiap variasi 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% tanpa substitusi bottom ash dan 3 sampel benda uji untuk setiap variasi dengan menambahkan bottom ash sebanyak 0%, 2%, 4%, dan 6% pada campuran agregat halus diikuti dengan pengujian sifat fisik dan Marshall. Hasil menunjukkan bahwa material memenuhi spesifikasi laston AC-WC dengan kadar aspal optimum 5,6%. Karakteristik Marshall untuk KAO menunjukkan VMA: 16,03%, VFA: 99,18%, VIM: 1,49%, Stabilitas: 1861,28 kg, Flow: 3,37 mm, dan MQ: 600,88 kg/mm. Dengan substitusi bottom ash, hasil karakteristik Marshall bervariasi, dengan stabilitas dan MQ tertinggi pada substitusi 6% dengan estimasi biaya termurah Rp. 1384.433,67.

Kata kunci : limbah bottom ash, substitusi, laston AC-WC, agregat halus, uji marshall

ABSTRACT

Bottom ash is the ash from burning coal that settles in the furnace, bottom ash can be used to manage waste and reduce its negative impact on society. This innovation uses bottom ash as a substitute for fine aggregate in asphalt mixtures (AC-WC). This research aims to analyze the physical properties of coarse aggregate, fine aggregate, and asphalt, determine the KAO of 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% asphalt content without bottom ash substitution, analyze the effect of bottom ash using variations of 0%, 2%, 4%, and 6% as fine aggregate substitution in AC-WC laston mix, and analyze the cost budget plan for making AC-WC laston with bottom ash substitution. The method used involved making 2 samples of specimens for each variation of 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% without bottom ash substitution and 3 samples of specimens for each variation by adding 0%, 2%, 4%, and 6% bottom ash to the fine aggregate mixture followed by physical and Marshall properties testing. The results show that the materials meet the AC-WC laston specifications with an optimum asphalt content of 5.6%. Marshall characteristics for KAO showed VMA: 16.03%, VFA: 99.18%, VIM: 1.49%, Stability: 1861.28 kg, Flow: 3.37 mm, and MQ: 600.88 kg/mm. With bottom ash substitution, the results of Marshall characteristics varied, with the highest stability and MQ at 6% substitution with the lowest estimated cost of Rp. 1384,433.67.

Keywords : bottom ash, waste, AC-WC laston, fine aggregate, marshall test

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan adalah lapisan struktur yang ditempatkan di atas tanah dasar (Subgrade). Fungsi utama lapisan perkerasan adalah untuk mendistribusikan beban dari roda kendaraan agar tanah dasar tidak mengalami deformasi selama masa pakai yang direncanakan serta melindungi tanah dasar dan lapisan-lapisan perkerasan lainnya dari kerusakan akibat beban lalu lintas. (Purwanto and Putra 2019)

Di Indonesia, mayoritas konstruksi jalan menggunakan laston (lapisan aspal beton) sebagai lapisan permukaan pada perkerasan lentur. Laston merupakan campuran agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal yang berfungsi sebagai pengikat. Ciri khas Laston adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, dengan agregat yang saling mengunci satu sama lain. Oleh karena itu, aspal beton memiliki stabilitas yang tinggi dan bersifat relatif kaku. (Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum 2018)

Terdapat inovasi dengan menggunakan bahan tambah abu batu bara (bottom ash) sebagai substitusi agregat halus pada campuran Aspal (AC - WC). Selain karena bottom ash merupakan konduktor yang baik, penggunaan bottom ash ini juga dapat menjadi salah satu upaya untuk mengelola limbah yang ada di sekitar agar mengurangi dampak negatif limbah terhadap masyarakat di masa depan. Melalui penelitian ini, karakteristik limbah abu batu bara bottom ash sebagai bahan tambah akan diuji untuk jenis campuran asphalt concrete wearing course (AC – WC). Tujuan penelitian ini adalah Mengetahui hasil dari nilai parameter Marshall pada campuran laston (AC-WC) terhadap pemakaian bottom ash dengan persentase 0%, 2%, 4%, 6% sebagai bahan substitusi agregat halus dan nilai durabilitas dari campuran laston (AC–WC) dengan penggunaan bottom ash pada nilai stabilitas Marshall optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah struktur yang ditempatkan di atas tanah dasar (Subgrade). Fungsinya adalah untuk mendistribusikan beban roda agar tanah dasar tidak mengalami deformasi selama masa rencana serta melindungi tanah dasar dan lapisan-lapisan perkerasan dari kerusakan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. (Arthono and Pransiska 2011).

Lapis Aspal Beton (Laston)

Laston adalah lapisan permukaan yang terdiri dari campuran laston keras dan agregat dengan gradasi berkelanjutan, yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam kondisi panas atau suhu tertentu. Laston memiliki sifat

kedap air, nilai struktural, dan tahan lama, namun kerusakan yang biasanya terjadi adalah retak dan lepasnya butiran.

Laston terdiri dari beberapa lapisan, yaitu lapisan aus (wearing course), lapisan pengikat (binder course), dan lapisan fondasi (base course). Kerusakan jalan umumnya terjadi pada lapisan aus aspal beton, karena lapisan ini berada di bagian paling atas dan langsung terkena gesekan dari beban roda.

Karakteristik Laston (AC – WC)

1. Stabilitas

Kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan bleeding.

2. Druabilitas (keawetan)

Kemampuan beton aspal untuk menangani beban lalu lintas yang berulang, seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat faktor cuaca dan iklim seperti udara, air, dan perubahan suhu..

3. Fleksibilitas (kelenturan)

Kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan (konsolidasi/settlement) dan pergerakan dari pondasi tanah dasar tanpa menyebabkan retakan..

4. Tahan terhadap geser

Kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.

5. Tahap terhadap kelelahan

Kemampuan permukaan beton aspal terutama kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip.

6. Kedap air

Kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal.

7. Mudah dilaksanakan (workability)

Kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan

ASPAL

Aspal adalah material perekat berwarna hitam atau coklat tua yang terutama terdiri dari bitumen. Aspal dapat ditemukan secara alami atau sebagai residu dari proses pengilangan minyak bumi. Material ini umumnya digunakan sebagai pengikat agregat. Pada suhu ruang, aspal berbentuk padat hingga agak padat dan bersifat termoplastis, yang

berarti akan mencair ketika dipanaskan hingga suhu tertentu dan kembali mengeras saat suhu menurun. Bersama agregat, aspal berfungsi sebagai bahan utama dalam campuran perkerasan jalan. (Sistra, Setyawan, and Sarwono 2016).

AGREGAT

Agregat didefinisikan sebagai material keras berupa batu pecah, koral, pasir atau komposisi mineral lainnya baik hasil alam maupun hasil pengolahan (Hartanto, Sugiharto and Wulandari, 2016).

BOTTOM ASH

Sebagian besar sumber energi di Indonesia berasal dari pembangkit listrik atau industri yang menggunakan batubara. Penggunaan batubara ini menghasilkan sejumlah besar limbah, terutama fly ash dan bottom ash, yang menciptakan tantangan dalam pembuangan, berpotensi mencemari lingkungan, dan memerlukan fasilitas pembuangan yang mahal (Azka, Rani, and Katami 2023).

Dengan mengembangkan teknologi campuran aspal yang memanfaatkan limbah batubara sebagai bahan aditif atau substitusi, industri ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam penggunaan limbah, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Pendekatan ini memberikan solusi berkelanjutan untuk masalah pembuangan limbah dari industri pembangkit listrik atau industri lain yang menggunakan batubara. Komposisi kimia bottom ash sebagian besar terdiri dari unsur-unsur seperti Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na, dan unsur kimia lainnya. (Azka, Rani, and Katami 2023).

STABILITAS

Nilai stabilitas mencerminkan sejauh mana perkerasan mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi. Perkerasan dengan nilai stabilitas yang tinggi dapat mendukung beban lalu lintas yang besar. Namun, stabilitas yang terlalu tinggi bisa membuat campuran menjadi terlalu kaku, yang dapat menyebabkan retakan saat perkerasan menerima beban. Di sisi lain, stabilitas yang rendah dapat menyebabkan perkerasan cepat rusak akibat beban lalu lintas atau deformasi pada subgrade. Nilai stabilitas akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah aspal yang menutupi agregat, tetapi setelah mencapai nilai optimum, penambahan aspal lebih lanjut justru dapat menurunkan stabilitas..

PELELEHAN (FLOW)

Kelelehan (flow) digunakan untuk mengukur deformasi plastis atau fleksibilitas campuran perkerasan akibat beban. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai kelelehan meliputi gradasi agregat, kadar aspal, permukaan agregat, dan suhu pemadatan. Nilai kelelehan menggambarkan tingkat deformasi pada objek uji sebagai hasil dari pembebanan.

Dalam pengujian Marshall, nilai ini dapat diperoleh langsung dari pembacaan pada alat Marshall.

Void In Mix (VIM)

Nilai VIM menunjukkan nilai persentase rongga dalam suatu campuran aspal. Nilai VIM berpengaruh terhadap nilai dari durabilitas, Semakin besar nilai VIM menunjukkan campuran bersifat porous. Nilai VIM juga di pengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bentuk butiran, tekstur permukaan, gradasi, temperatur, dan faktor pemadatan, suhu pada saat pencampuran dan pemadatan tidak boleh terlalu dingin karena dapat menaikkan nilai VIM.

Void Filled With Aspal (VFA)

Ruang kosong antara butiran campuran dapat menyebabkan terbentuknya rongga dalam campuran tersebut. Pada kondisi kering, rongga ini akan diisi oleh udara, sementara pada kondisi basah, rongga akan terisi oleh air. Dengan menetapkan batasan yang tepat, persyaratan VFA (Voids Filled with Asphalt) bertujuan untuk memastikan keawetan campuran perkerasan..

Void In Mineral Agregate (VMA)

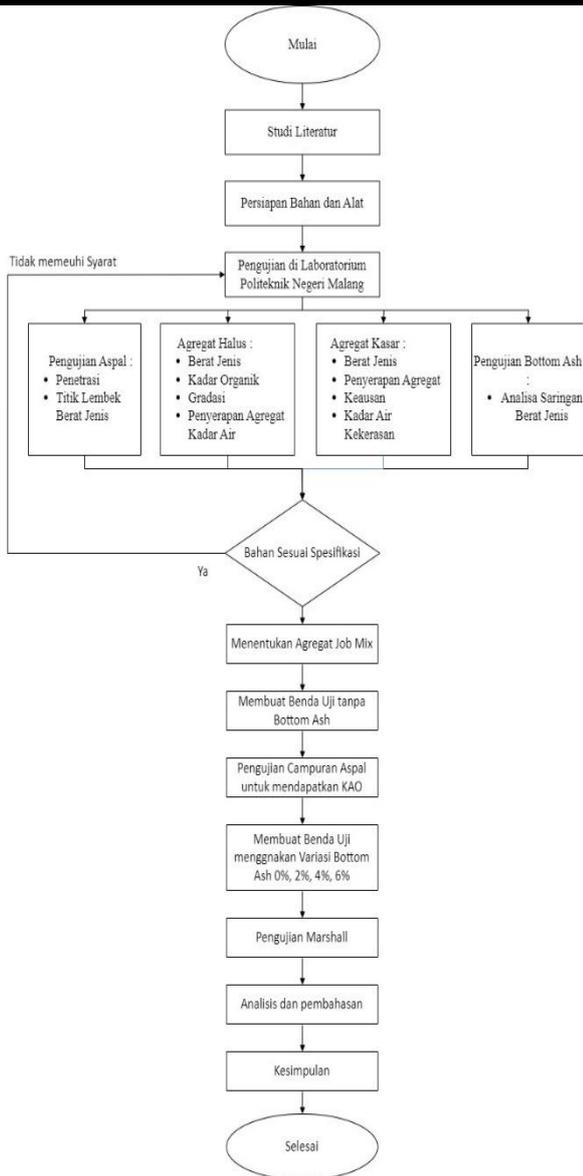
VMA atau yang lebih dikenal dengan rongga dalam agregat merupakan salah satu parameter penting dalam rancangan campuran aspal, karena pengaruhnya terhadap ketahanan dari campuran aspal. Kuantitas tumbukan, gradasi agregat, dan kadar aspal adalah variabel yang mempengaruhi VMA. Kekakuan campuran serta ketahanan dan daya tahan terhadap air dan udara bebas juga dipengaruhi oleh nilai VMA. Untuk meningkatkan kedekatan campuran terhadap air dan udara, nilai VMA harus semakin tinggi.

Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio antara stabilitas dan kelelehan yang digunakan untuk mengukur kekakuan campuran. Nilai MQ membantu memperkirakan tingkat fleksibilitas dan kekakuan campuran tersebut. Campuran dengan nilai MQ yang tinggi dapat menyebabkan permukaan retak dan pergerakan horizontal yang tidak diinginkan karena perkerasan menjadi terlalu kaku. Sebaliknya, nilai MQ yang rendah membuat perkerasan lebih fleksibel, lentur, dan plastis, sehingga lebih rentan terhadap deformasi saat menerima beban.

2. METODE PENELITIAN

Adapun tahapan diagram alir yang akan dilakukan dalam penelitian dengan judul “Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Marshall Untuk Campuran (AC-WC)” sebagai berikut :



Gambar 1 Flow Chart

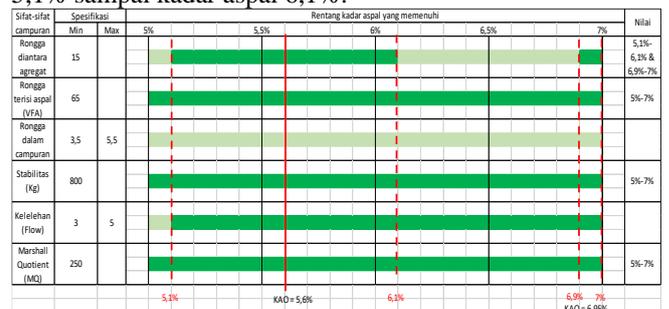
3. HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)

Nilai kadar aspal optimum (KAO) diperoleh melalui pengujian parameter marshall yang meliputi nilai-nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ. Variasi Kadar aspal yang digunakan untuk penelitian ini adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

Tabel 1 Hasil Pengujian Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

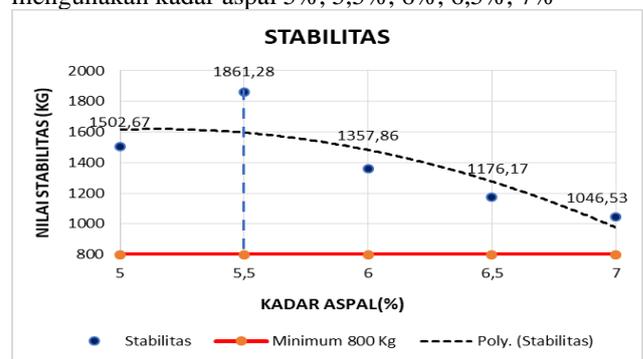
Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1502,67	1861,275	1357,855	1176,165	1046,53
Flow (mm)	Min. 3	2,90	3,24	3,27	3,18	3,37
Rongga Dalam Campuran/ VIM (%)	3,5 - 5,5	14,69	16,03	15,22	14,05	15,36
Rongga Antar Agregat/ VMA (%)	Min. 15	1,29	1,491	1,142	0,115	0,82
Rongga Terisi Aspal/ VFA (%)	Min. 65	91,40	90,52	92,36	99,18	94,63
Marshall Quotient (Kg/mm)	Min. 250	537,83	600,88	416,37	372,18	328,85

Untuk penentuan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dilihat dari nilai rata-rata stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, dan VFA yang telah memenuhi spesifikasi SNI 03-1737-1989 untuk campuran AC-WC dan ditentukan dengan diambil kadar aspal yang paling ideal dari batas kadar aspal 5,1% sampai kadar aspal 6,1%.



Gambar 2 Grafik Kadar Aspal Terpilih Benda Uji Normal Menunjukkan bahwa nilai karakteristik marshall stabilitas, *flow*, MQ, VMA, VFA dominan memenuhi syarat yang sudah ditentukan dari Spesifikasi SNI 03-1737-1989. Sehingga kadar aspal terpilih yang didapatkan dari pengujian ini adalah 5,6%.

Hasil stabilitas dari pengujian benda uji normal dengan menggunakan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%

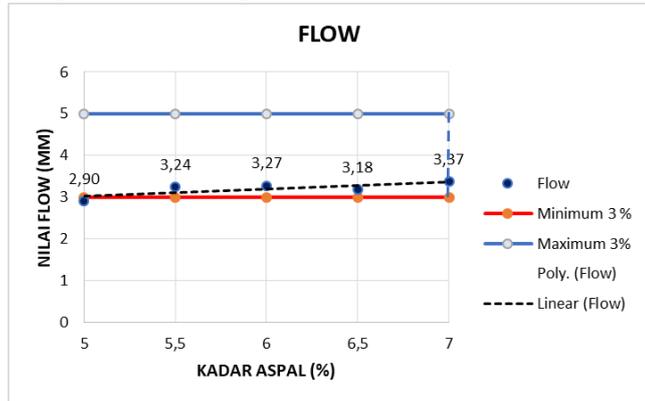


Gambar 3 Grafik Hubungan Antara Stabilitas Dengan Kadar Aspal

Nilai stabilitas marshall dalam pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum yang dilakukan pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Berdasarkan nilai grafik hubungan

antara stabilitas dengan kadar aspal, diketahui bahwa nilai stabilitas kadar aspal memenuhi persyaratan sifat laston. Dimana 5% bernilai 1502,67 kg, 5,5% bernilai 1861,28 kg, 6% bernilai 1357,86 kg, 6,5% bernilai 1176,17 kg dan 7% bernilai 1046,53. Nilai tertinggi stabilitas yaitu pada kadar aspal 5,5 %.

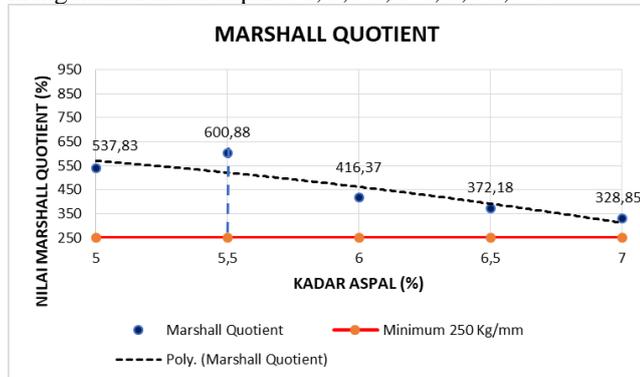
Hasil *flow* dari pengujian benda uji normal dengan menggunakan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.



Gambar 4 Grafik Hubungan Antara Flow dengan Kadar Aspal

Berdasarkan nilai grafik hubungan antara *flow* atau kelelahan dengan kadar aspal mengalami kenaikan dengan bertambahnya jumlah variasi kadar aspal. Nilai flow minimum yang disyaratkan pada SNI 03-1737-1989 sebesar 3.0 mm. Maka varian kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%.

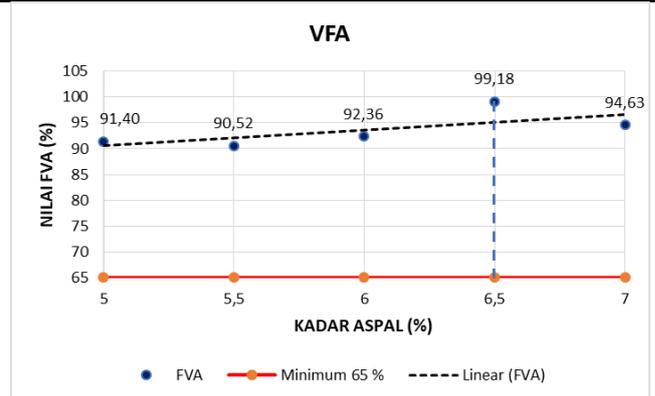
Hasil MQ dari pengujian benda uji normal dengan menggunakan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%



Gambar 5 Hubungan Marshall Quotient Dengan Kadar Aspal

Nilai grafik hubungan antara MQ dengan kadar aspal didapatkan bahwa, nilai MQ telah memenuhi syarat SNI 03-11737-1989 yaitu minimal sebesar 250 kg/mm. dimana didapatkan nilai MQ dari kadar aspal 5% bernilai 537,83 kg/mm, 5,5% bernilai 600,88 kg/mm, 6% bernilai 416,37 kg/mm, 6,5% bernilai 372,18 kg/mm, dan 7% bernilai 328,85 kg/mm. Maka varian kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

Hasil VFA dari pengujian benda uji normal dengan menggunakan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.



Gambar 6 Grafik Hubungan Antara VFA Dengan Kadar Aspal

Grafik hubungan antara VFA dan kadar aspal menunjukkan bahwa nilai VFA memenuhi standar SNI 03-1737-1989 dengan melebihi nilai minimum VFA sebesar 65%. Untuk kadar aspal 5%, nilai VFA yang diperoleh adalah 91,40%; untuk kadar aspal 5,5%, nilai VFA adalah 90,52%; untuk kadar aspal 6%, nilai VFA mencapai 92,36%; untuk kadar aspal 6,5%, nilai VFA adalah 99,18%; dan untuk kadar aspal 7%, nilai VFA adalah 94,63%. Dengan demikian, variasi kadar aspal yang memenuhi persyaratan mencakup kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

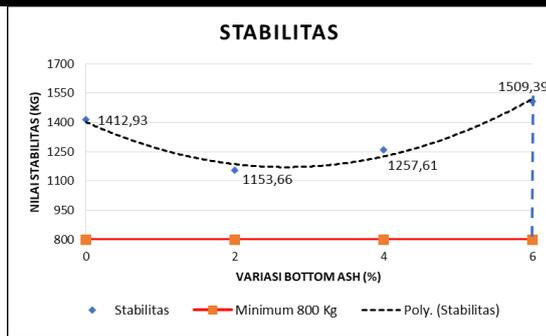
HASIL PENGUJIAN MARSHALL BENDA UJI KAO DENGAN VARIASI LIMBAH BOTTOM ASH

Hasil pengujian benda uji dengan menggunakan kadar aspal terpilih 6% dengan campuran limbah *bottom ash* dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6%.

Tabel 2 Hasil Pengujian Marshall Benda Uji dengan Variasi limbah Bottom Ash

Parameter Marshall	Spesifikasi		Kadar variasi			
	Min	Max	0%	2%	4%	6%
VMA (%)	15	-	15,14	15,89	16,12	19,19
VFA (%)	65	-	94,72	93,69	90,52	94,23
VIM (%)	3,5	5,5	0,76	1,01	1,53	1,12
Stabilitas (Kg)	800	-	1412,93	1153,66	1257,61	1509,39
Flow (mm)	3	5	3,15	2,51	2,25	2,30
MQ (Kg/mm)	250	-	447,02	420,72	564,95	703,94

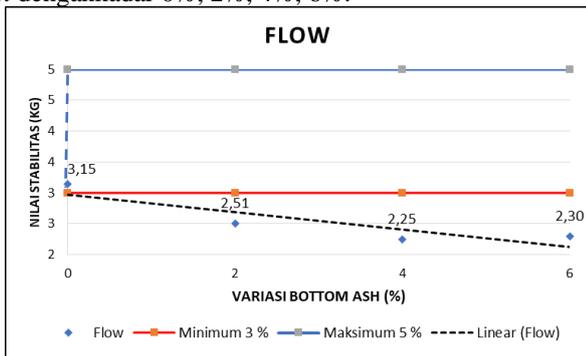
Hasil stabilitas dari pengujian benda uji dengan menggunakan kadar aspal terpilih 5,6% dengan campuran limbah *bottom ash* dengan variasi kadar 0%, 2%, 4%, 6%.



Gambar 7 Grafik Hubungan Substitusi Agregat Halus Bottom Ash Terhadap Stabilitas

Nilai parameter stabilitas mengalami penurunan dari kondisi normal dan keseluruhan nilai stabilitas pada setiap variasi berada diatas batas minimum syarat SNI yaitu sebesar 800 kg. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai tertinggi pada variasi substitusi 6% sedangkan nilai stabilitas terendah pada variasi 2%, dengan substitusi bottom ash 0% diperoleh nilai 1412,93 Kg, substitusi bottom ash 2% diperoleh nilai 1153,66 Kg, substitusi bottom ash 4% diperoleh nilai 1257,61 Kg, dan substitusi bottom ash 6% diperoleh nilai 1509,39 Kg.

Hasil *flow* dari pengujian benda uji dengan menggunakan kadar aspal terpilih 5,6% dengan campuran limbah *bottom ash* dengankadar 0%, 2%, 4%, 6%.

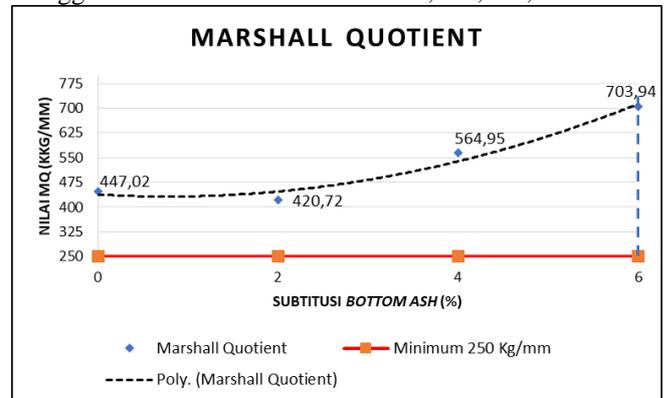


Gambar 8 Grafik Hubungan Substitusi Agregat Halus Bottom Ash Terhadap Flow

Nilai parameter flow menunjukkan penurunan dari kondisi normal 0% dengan nilai VIM 3,15 mm tanpa campuran limbah. Secara keseluruhan, nilai flow untuk campuran dengan variasi limbah berada di bawah batas minimum persyaratan SNI sebesar 3 mm. Nilai flow untuk substitusi bottom ash 0% adalah 3,15 mm; untuk substitusi bottom ash 2%, nilainya 2,51 mm; untuk substitusi bottom ash 4%, nilainya 2,25 mm; dan untuk substitusi bottom ash 6%, nilainya 2,30 mm. Grafik menunjukkan bahwa nilai flow tertinggi ditemukan pada variasi 0%, sedangkan nilai flow terendah terdapat pada variasi substitusi limbah 4%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin besar persentase substitusi agregat halus dengan limbah batubara bottom ash, semakin menurun nilai flow-nya. Dengan demikian, perkerasan akan menjadi semakin keras seiring

dengan meningkatnya persentase substitusi agregat halus dengan bottom ash.

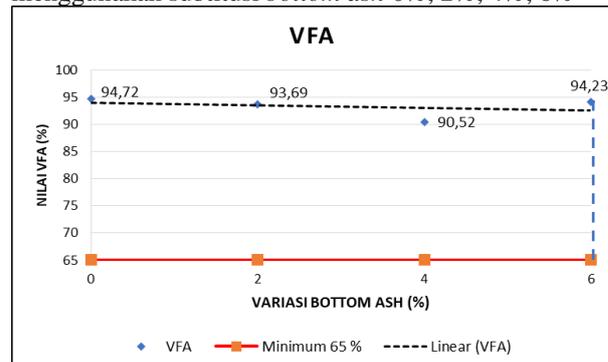
Hasil MQ dari pengujian benda uji variasi dengan menggunakan substitusi *bottom ash* 0%, 2%, 4%, 6%



Gambar 9 Grafik Hubungan Substitusi Agregat Halus Bottom Ash Terhadap MQ

Nilai parameter MQ menunjukkan peningkatan dari kondisi normal 0% tanpa campuran limbah, dengan keseluruhan nilai melebihi batas minimum syarat SNI sebesar 250 kg/mm. Grafik menunjukkan bahwa nilai MQ untuk substitusi bottom ash 0% adalah 47,02 kg/mm, untuk substitusi bottom ash 2% adalah 420,72 kg/mm, untuk substitusi bottom ash 4% adalah 564,95 kg/mm, dan untuk substitusi bottom ash 6% adalah 703,94 kg/mm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi agregat halus dengan limbah batubara bottom ash, semakin meningkat nilai MQ-nya, yang menyebabkan campuran menjadi lebih keras dan lebih rentan terhadap retakan saat diberi beban.

Hasil VFA dari pengujian benda uji variasi dengan menggunakan substitusi *bottom ash* 0%, 2%, 4%, 6%

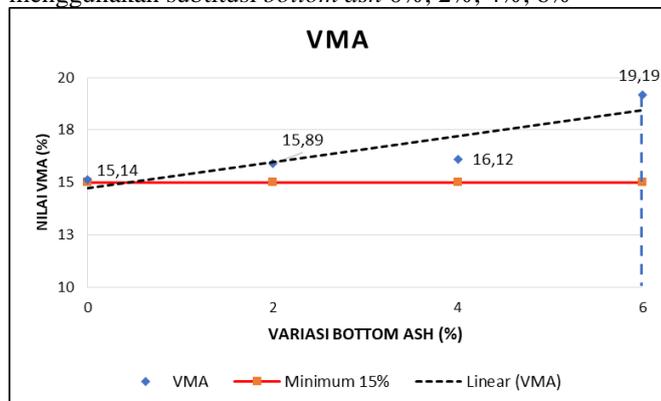


Gambar 10 Grafik Hubungan Substitusi Agregat Halus Bottom Ash Terhadap VFA

Nilai parameter VFA mengalami penurunan dari kondisi normal 0% tanpa campuran limbah batu bara bottom ash, namun keseluruhan nilai VFA pada setiap variasi limbah batu bara bottom ash berada diatas batas nilai minimum yang disyaratkan yaitu sebesar 65%, untuk kondisi normal 0% diperoleh nilai 94,72%, substitusi bottom ash 2% diperoleh nilai 93,69%, substitusi bottom ash 4% diperoleh nilai 90,52%, dan substitusi bottom ash 6% diperoleh nilai 94,23

% . Maka variasi yang memenuhi persyaratan yaitu substitusi bottom ash 0%, 2%, 4%, 6%.

Hasil VMA dari pengujian benda uji variasi dengan menggunakan substitusi *bottom ash* 0%, 2%, 4%, 6%



Gambar 11 Grafik Hubungan Substitusi Agregat Halus Bottom Ash Terhadap VMA

Nilai parameter VMA dengan substitusi limbah batu bara bottom ash 2%, 4%, dan 6% cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi normal 0%, dan keseluruhan nilai VMA pada setiap variasi berada diatas batas minimum syarat SNI yaitu sebesar 15%, dengan kondisi normal 0% diperoleh nilai 15,14%, substitusi bottom ash 2% diperoleh nilai 15,89%, substitusi bottom ash 4% diperoleh nilai 16,12, dan substitusi bottom ash 6% diperoleh nilai 19,19%.

RENCANA ANGGARAN BIAYA

Rencana Anggaran Biaya dibuat untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan jika benda uji di terapkan untuk jalan raya. Aspal variasi limbah bottom ash 6% sebesar Rp. 1384.433,67.

Tabel 3 RAB Pekerjaan Laston Variasi *Bottom Ash* 6%

Pekerjaan Laston (AC-WC) (Variasi 6%)					
NO	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A. TENAGA					
1	Pekerja	Jam	0,2410	17.484,00	4.213,64
2	Mandor	Jam	0,0201	23.690,00	476,17
JUMLAH HARGA TENAGA					4.689,81
B. BAHAN					
1	Agregat Kasar	M3	0,3341	196.106,00	65.519,01
2	Agregat Halus	M3	0,3982	323.946,00	128.990,11
4	bottom ash	Kg	0,0254	35,00	0,89
3	Filler Semen	Kg	95,880	1.350,00	12.943,80
5	Aspal	Kg	59,16	12.533,00	741.452,28
JUMLAH HARGA TENAGA					948.906,10
C. PERALATAN					
1	Wheel Loader	Jam	0,0128	538.267,20	6.889,82
2	AMP	Jam	0,0201	9.940.530,56	199.804,66
3	Genset	Jam	0,0201	437.877,68	8.801,34
4	Dump Truck	Jam	0,0945	614.377,48	58.058,67
5	Asphalt Finisher	Jam	0,0125	298.159,33	3.726,99
6	Tendem Roller	Jam	0,0286	519.129,74	14.847,11
7	p. Tyre Roller	Jam	0,0229	561.203,11	12.851,55

8	Alat Bantu	Ls	10,000	Rp -	Rp -
JUMLAH HARGA TENAGA					Rp. 304.980,15
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERLATAN (A + B + C)				Rp. 1.258.576,06
E.	OVERHEAD & PROFIT (10% X D)				Rp. 125.857,61
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)				Rp. 1.384.433,67

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penjabaran hasil penelitian penggunaan bottom ash sebagai substitusi agregat halus untuk campuran (AC-WC) dengan parameter marshall dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Hasil dari pengujian sifat fisik aspal dan agregat untuk membuat campuran laston AC – WC memenuhi persyaratan dan spesifikasi yang ditentukan. Untuk pengujian Penetrasi Aspal diperoleh nilai 65,4 mm, untuk hasil pengujian berat jenis aspal diperoleh nilai 1,035 gr/cc, dan untuk pengujian titik lembek diperoleh nilai 48°C. Sedangkan untuk pengujian berat jenis bulk dan penyerapan agregat kasar diperoleh nilai 2,708 gram/cm³ dan untuk penyerapan diperoleh nilai 2,011%, pengujian kadar air agregat kasar diperoleh nilai 1,545%, pengujian kekerasan agregat kasar diperoleh nilai 3,981%, pengujian keausan agregat kasar diperoleh nilai 16,16%. Untuk pengujian berat jenis dan penyerapan pasir Lumajang diperoleh nilai 2,687 gram/cm³ dan untuk penyerapan pasir Lumajang diperoleh nilai 0,746, pengujian kadar air pasir Lumajang diperoleh nilai 1,74%, dan untuk pengujian kadar organik pasir Lumajang diperoleh nilai 0,181%. Sedangkan untuk pengujian berat jenis bulk dan penyerapan bottom ash diperoleh nilai berat jenis 2,553 gram/cm³ untuk penyerapan diperoleh nilai 1,654%, dan untuk pengujian gradasi butiran bottom ash diperoleh nilai 8,91%.
- Penentuan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dilihat dari nilai rata-rata stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA, dan VFA yang telah memenuhi spesifikasi SNI 03-1737-1989 untuk campuran AC-WC dan ditentukan dengan diambil kadar aspal yang paling ideal dari batas kadar aspal 5,1% sampai kadar aspal 6,1%. KAO yang diperoleh adalah 5,6%.
- Pengaruh karakteristik marshall yang terjadi pada substitusi agregat halus dengan kadar bottom ash 6% pada Laston AC-WC mendapat nilai seperti berikut: VIM 1,12% nilai ini tidak memenuhi syarat dengan syarat min. 3,5 - 5,5%, VMA 19,19 % nilai ini memenuhi syarat dengan standar min. 15%, VFA 94,23% nilai ini memenuhi syarat dengan standar min. 65%, Flow 2,30% nilai ini tidak memenuhi syarat dengan standar min. 3%, tapi nilai stabilitas dan marshall quotien memenuhi standar. Nilai yang di dapat pada stabilitas 1509,39 kg dan Marshall quotien 703,94 kg/mm dengan persyaratan stabilitas min.800kg dan syarat marshall min.250kg/mm.

Pada penjabaran hasil variasi di atas dapat di sampaikan sebagai berikut:

Stabilitas: nilai semakin menurun berjalan dengan bertambahnya nilai kadar substitusi bottom ash namun pada variasi 6% mengalami kenaikan. Hasil dari beberapa rata - rata variasi di setiapnya memenuhi standart dari SNI 03-1737-1989.

Flow : nilai semakin menurun dengan bertambahnya kadar substitusi bottom ash terhadap nilai 0%. Dari hasil yang didapatkan dinyatakan belum lolos atau tidak sesuai dengan spesifikasi SNI 03-1737-1989

VIM (Rongga Dalam campuran): nilai yang diperoleh pada variasi campuran 4 % mengalami kenaikan terhadap nilai variasi campuran 2%, namun pada variasi 6% mengalami penurunan terhadap nilai variasi 2%. Akan tetapi belum dinyatakan lolos standart spesifikasi SNI 03-1737-1989 dikarenakan berada di bawah ketentuan yang berlaku.

VMA (Rongga Dalam agregat): nilai yang diperoleh pada variasi 2%, 4%, 6% mengalami kenaikan terhadap nilai variasi 0%. Nilai dari seluruh variasi dinyatakan lolos standart SNI 03-1737-1989 dikarenakan berada di atas batas minimum yang di tentukan.

VFA (Rongga Terisi Aspal): nilai yang diperoleh pada variasi 2% dan 4% mengalami penurunan terhadap nilai variasi 0%, namun pada variasi 6% mengalami kenaikan kembali. akan tetapi nilai yang didapatkan dari seluruh variasi nilai tersebut memenuhi karena berada pada atas batas minimum pada standart SNI 03-1737-1989.

Marshall Qoutient: nilai yang diperoleh dari hasil variasi 2% mengalami penurunan terhadap nilai variasi 0%, namun pada variasi 4% dan 6% mengalami kenaikan ulang terhadap nilai variasi 0%. akan tetapi dari hasil seluruh variasi dinyatakan lolos standart SNI 03-1737-1989 di karenakan berada pada atas batas bawah yang telah di tentukan

4. Dari hasil perhitungan rencana anggaran biaya, bahwa estimasi biaya termurah dimiliki oleh laston AC-WC dengan substitusi limbah batu bara bottom ash 6% dengan harga Rp. 1384.433,67.

SARAN

1. Setelah melakukan penelitian dan pengujian-pengujian, didapatkan saran-saran terhadap penelitian dan perencanaan lanjutan adalah sebagai berikut:
2. Untuk penelitian selanjutnya bisa mencoba untuk melakukan pengujian XRF pada limbah bottom ash

3. Untuk penelitian selanjutnya bisa mencoba menggunakan bottom ash untuk disubstitusikan pada Filler
4. Untuk penelitian selanjutnya bisa melakukan penelitian dengan limbah batu bara bottom ash untuk lapisan selain AC – WC.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Arthono, Andri, and Dwiki Adi Pransiska. 2011. "Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode Sni1932-1989-F Dibandingkan Dengan Menggunakan Metode Aastho 1993 , Pada Ruas Jalan Raya Rangkasbitung - Citeras," no. November 2022: 1–12.
- 2) Sistra, Mawid Dwi, Ary Setyawan, and Djoko Sarwono. 2016. "Analisis Karakteristik Modifikasi Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Ethylene Vinyl Acetate (EVA)." *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 120–27.
- 3) Azka, C. N., H. A. Rani, and T. M.R. Katami. 2023. "Characteristic of Asphalt Mixture Using Fly Ash and Bottom Ash Substitution in Reducing Environment Pollution." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1140 (1). <https://doi.org/10.1088/17551315/1140/1/012018>.
- 4) Suryadi, Akhmad, and Taufiq Rochman. 2024. "Effect of the Utilization of Lightweight Brick Wastes and Silica Fume Addition on the Concrete Compressive Strength." *Civil Engineering and Architecture* 12 (4): 2577–97. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120407>.