

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN LAPISAN ASPAL BETON (LASTON)

Gesang Panggayuh¹, Akhmad Suryadi², Agus Sugiarto³

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email: gpanggayuh00@gmail.com¹, akhmad.suryadi@polinema.ac.id², agus.sugiarto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya diperuntukan bagi lalu lintas yang berada diatas tanah. Susunan jalan terdiri dari beberapa termasuk beton aspal adalah salah satu bagian yang terdiri dari lapisan jalan, pada lapisan aspal beton terdiri dari beberapa material yaitu agregat kasar, halus, dan filler bitumen sebagai pengikat. Penelitian menggunakan bahan material *flyash* type c didapatkan di Probolinggo, Jawa Timur. Pasir lumajang dengan ayakan No. 12,5; 9,50; 4,75 (agregat kasar), ayakan No. 2,36; 1,00; 0,075. Pengujian menggunakan 45 benda uji ini bertujuan agar mengetahui seberapa besar nilai karakteristik Marshall campuran lapis aspal beton. Pada pengujian ini menggunakan variasi *flyash* 0%, 1%, 1,8%, dan 2%. Kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,5% sebagai acuan untuk penambahan variasi *flyash*. Fungsi *flyash* disini yaitu sebagai filler atau tambahan yang akan di mix dengan semen pada saringan No.0,075. Dengan nilai berikut adalah rata - rata VMA=51,41; 51,76; 58,44(KAO 6,5%) VIM=39,79; 46,35; 50,41(KAO 6,5%) VFA=23,02; 9,67; 13,91 Stabilitas(kg) = 3670,52; 3835,46; 3897,86(KAO 6,5%) Flow(mm)= 2,23; 2,34; 1,99 Marshall Quotient(kg/mm) = 2037,66; 2001,15; 2336,65. Dalam penelitian ini menggunakan Revisi SNI 03-1737-1989 dan Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jendral Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 sebagai acuan maka penggunaan abu terbang batu bara dapat digunakan sebagai bahan pengisi untuk campuran laston lapis aus.

Kata kunci : flyash, laston, hormix, marshall test, ac-wc

ABSTRACT

The road is a land transportation infrastructure that covers all parts of the road, including complementary buildings and equipment intended for traffic that is above the ground. Below ground level, as well as above water. The road composition consists of several materials including asphalt concrete which is one part consisting of a road layer, the asphalt concrete layer consists of several materials, namely coarse, fine aggregate, and bituminous filler as a binder. Research using type c flyash materials was found in Probolinggo, East Java. Lumajang sand with No. sieve. 12.5; 9.50; 4.75 (coarse aggregate), sieve No. 2.36; 1.00; 0.075. The test using 45 specimens aims to find out how much the Marshall characteristic value of asphalt concrete layer mixture is. In this test using flyash variations of 0%, 1%, 1.8%, and 2%. The optimum asphalt content (KAO) is 6.5% as a reference for adding flyash variations. The flyash function here is as a filler or addition which will be mixed with cement on filter No.0.075. With the following values, the average VMA = 51.41; 51.76; 58.44(KAO 6.5%) VIM=39.79; 46.35; 50.41(KAO 6.5%) VFA=23.02; 9.67; 13.91 Stability(kg) = 3670.52; 3835.46; 3897.86(KAO 6.5%) Flow(mm)= 2.23; 2.34; 1.99 Marshall Quotient(kg/mm) = 2037.66; 2001.15; 2336.65. In this study using the Revision of SNI 03-1737-1989 and the Ministry of Public Works. Directorate General of Highways, General Specifications 2018 as a reference, the use of coal fly ash can be used as a filler for wear-resistant laston mixtures.

Keywords : flyash, laston, hotmix, marshall test, ac - wc.

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah prasarana transportasi jalan yang mencakup seluruh bagian jalan, termasuk bangunan dan perlengkapan tambahan untuk lalu lintas, baik di atas tanah, di atas tanah, di bawah tanah, dan di permukaan air, dan di atas air kecuali kereta api, dan jalan kabel. Beton aspal adalah sejenis lapisan konstruksi perkerasan lunak. campuran beton Aspal terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan filler dan menggunakan bitumen sebagai pengikat.

Pemanfaatan fly ash sebagai campuran beton telah banyak diteliti dan dikembangkan di Indonesia dan negara maju penghasil batubara lainnya seperti Amerika Serikat, Australia, Yugoslavia dan lain-lain. Tetapi sedikit penggunaan atau penelitian telah dilakukan Oleskan abu terbang ke campuran aspal. Pikiran perilaku fly ash ketika dalam keadaan halus dan berair. Pada suhu kamar, senyawa terbentuk memiliki sifat perekat. Jadi dalam penelitian ini Pengaruh fly ash sebagai bahan pengisi akan dipelajari campuran perkerasan aspal beton.

Asphalt Hotmix

Aspal beton (Hotmix) adalah suatu jenis perkerasan jalan yang terdiri atas agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan. Bahan beton aspal dicampur dalam mixing plant pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, disebar dan dipadatkan. Temperatur pencampuran ditentukan oleh jenis aspal yang digunakan (Sukirman, 2003). Aspal berasal dari minyak mentah, dan ada pula yang berasal dari sisa-sisa organisme hidup masa lalu dan tumbuhan yang telah lama terkubur dalam batuan bumi sehingga menyebabkan terbentuknya sedimen dan menumpuk di lapisan tanah. Seiring waktu, sedimen ini dimurnikan menjadi minyak bumi, yang menjadi senyawa dasar hidrokarbon. Aspal yang umumnya ditemukan berasal dari minyak bumi, namun ada juga aspal yang berasal dari bahan alam seperti fly ash atau mineral.

Tabel 1 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi	SNI 06 - 2456 - 1991	60-70
2	Titik Lembek	SNI 06 - 6434 - 1991	>48
3	Berat Jeneis	SNI 06 - 2441 - 1994	>1

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jendral Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018

Ada beberapa pengujian untuk aspal meliputi :

1. Uji Penetrasi
2. Uji Titik Lembek
3. Uji Berat Jenis

Agregat

Ada dua jenis bahan pengisi yaitu bahan kimia tidak aktif. Bahan pengisi kimia aktif seperti semen portland (disarankan untuk semen tipe I, semen portland biasa atau

OPC), kapur terhidrasi, dan amonium sulfat digunakan untuk meningkatkan kemampuan kerja dan mengontrol waktu pengerasan. Bahan pengisi kimia non-reaktif seperti debu kapur, abu terbang dan abu batu terutama digunakan untuk meningkatkan kualitas agregat campuran. Bahan pengisi harus memenuhi persyaratan SNI 03-6723-2002. Apabila diuji dengan ayakan sesuai standar SNI ASTM 136-2012, agregat harus mengandung partikel halus yang lolos saringan nomor 16 dan nomor saringan 0,075 mm (maksimal 3% dari berat agregat kering. Jika tujuan penggunaan filler ini adalah untuk mengisi skala pengisian, maka dapat digunakan filler yang tidak aktif. Namun, agregat aktif dapat digunakan untuk meringankan masa sulit. Agregat biasanya berasal dari batu pecah, kerikil, pasir atau senyawa lainnya, ada pula (agregat alam) yang berasal dari alam, (agregat buatan) merupakan hasil pengolahan dan agregat buatan (sintesis). agregat digunakan sebagai material utama permukaan jalan. Agregat yang biasa digunakan pada campuran beton aspal lapis tipis harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

-Bahan pengisi yang bagus

Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah batu pecah yang dihasilkan dari penguraian alami batu atau limbah industri penghancuran batu, dengan ukuran butir 4,75 mm (No. 4) sampai dengan 40 mm (No.). 1½ inci). Agregat kasar mematuhi AASHTO M80-13 dan Klausul Spesifikasi 7.1.2.3.

Tabel 2 Sifat – Sifat Agregat Kasar

Sifat-sifat	Metode Pengujian	Ketentuan
Kehilangan akibat abrasi Los Angeles	SNI 2417:2008	tidak melampaui 40% untuk 500 putaran
Berat isi lepas	SNI 03-4804-1998	minimum 1.200 kg/m ³
Berat jenis	SNI 1970:2016	minimum 2,2
Penyerapan oleh air	ASTM D4791-10	air cooled blast furnace slag max6%
Bentuk partikel pipih dan lojong dengan rasio 3:1	SNI 7691:2012	max 25%
Bidang Pecah, tertahan ayaka No.4	SNI 1970:2017	minimum 95/90

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jendreal Bina Marga Sesifikasi Umum 2018.

- Bahan pengisi yang bagus

Agregat halus adalah pasir alam, yang dihasilkan dari pemecahan alami batu-batu besar menjadi butiran batu kecil. Butiran batu dengan ukuran maksimal 5,0 mm atau yang jatuh pada saringan no. 4. Penguraian alami ini menghasilkan agregat halus berbentuk bulat dan tekstur kasar. Agregat yang baik harus memenuhi standar SNI 03-6820-2022 dan pasal 7.1.2.3 spesifikasinya. Agregat yang baik harus terdiri dari bahan butiran seragam yang bersih, keras, tidak dilapisi dan berukuran lebih kecil; Saringan ASTM No. 4 (4,75 mm) terdiri dari minimal 50% (berat) pasir alam, apabila mencampurkan 2 atau lebih agregat halus, masing-masing

sumber harus memenuhi persyaratan pemilihan ini. Setiap fraksi agregat halus buatan terdiri dari batu pecah yang memenuhi persyaratan Pasal 5.3.2.3) dan harus dari bahan anti lengket.

Tabel 3 Persyaratan Pemeriksaan Agregat halus

No.	Jenis Pengujian	Syarat
1	Sand Equivalent (SNI 03-4428 : 1997)	Min 60%
2	Kelekatan dengan aspal (SNI 2439 : 2011	<3
3	Peresapan terhadap air (SNI 03-6877 : 2022)	>2,5gr/cc

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jendral Bina Marga Sesifikasi Umum 2018.

Tabel 4 Spesifikasi Gradasi Agregat HRS

Sifat	Metode Pengujian	Syarat
Berat isi lepas	SNI 03-4804-1998	Min. 1.200kg/m ³
Penyerapan oleh air	SNI 1969:2016	Max 5%

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jendral Bina Marga Sesifikasi Umum 2018.

Kualitas Agregat

Tabel 5 Ketentuan Agregat

Saringan	% Berat Lolos Saringan
1 1/2" (3,75)	-
1" (25)	-
3/4" (19)	100
1/2" (12,5)	90-100
3/8" (9,5)	75-85
No.8 (2,3,6)	50-72
No. 30 (0,6)	35-60
No. 200 (0,075)	6

Gradasi agregat gabungan campuran lapis penutup dengan bubur aspal emulsi

Bahan pengisi harus bersih, kuat, tahan lama dan bebas dari tanah liat atau zat lain yang mengganggu. Agregat halus terdiri dari pasir alam atau buatan, agregat halus terak besi dan baja, serta agregat halus hasil pemecah batu. Agregat atau campuran agregat yang digunakan untuk menutupi campuran aspal emulsi yang ditujukan untuk lalu lintas kurang dari 1000 kendaraan/hari/arah harus mengandung batu pecah paling sedikit 50% volume.

Tabel 6 Gradasi Agregat untuk Campuran Lapis Penutup dengan Bubur Aspal Emulsi

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1 Keausan dengan Loas Angeles pada	SNI 2417 : 2008	
^-100 putaran %		Max 6
^-500 putaran %		Max 30

2 Kelekatan dengan aspal %	SNI 2439: 2011	Max 95
3 Penyerapan air agregat %	SNI 1970 : 2016	Max 3
Nilai setara pasir Uji kadar rongga tidak dipadatkan %	SNI 03-6877-2002	Min 60
Kelekatan agregat (soundness)%	SNI 3407 : 2008	
^-natrium sulfat		Max 12
^-magnesium sulfat		Max 18

Filler Abu Terbang (Fly Ash)

Dilihat dari pengertiannya, filler atau isian adalah bagian dari agregat, yang berarti bahwa beban dalam susunan hierarkis ini adalah bahan yang lewat saringan nomor 200 (0,075 mm), tidak kurang dari 75% bahan lolos saringan nomor 30 (0,600 mm) dan bukan plastik. Pengisi bekerja untuk mengisi celah (rongga atau celah di antar set). Bahan pengisi dapat berupa abu batu, abu batu kapur atau semen. Ada dua jenis bahan pengisi yaitu bahan kimia aktif dan bahan kimia tidak aktif. Bahan pengisi kimia aktif seperti semen portland (menggunakan semen tipe I, semen portland biasa atau OPC), kapur terhidrasi dan amonium sulfat digunakan untuk meningkatkan kemampuan kerja dan mengontrol waktu pengerasan. Bahan pengisi kimia inert seperti debu kapur, abu terbang dan abu batu. Bahan pengisi harus memenuhi persyaratan SNI 03-6723-2002. Apabila diuji dengan ayakan, menurut SNI ASTM C136-2012, agregat harus mengandung paling sedikit 100 dan 75% berat bahan halus yang lolos saringan No. 16 dan lolos saringan 0,075 mm (N0.200). Fly ash atau abu terbang adalah suatu material yang dihasilkan dari sisa-sisa pembakaran batu bara yang dialirkan dari ruang bakar melalui boiler dalam bentuk asap buangan (jelaga) yang digunakan sebagai bahan tambahan pada beton. Fly ash atau fly ash dikenal sebagai bubuk fly ash di Inggris. Fly ash sendiri tidak memiliki daya ikat yang sama dengan semen. Namun, dengan adanya air dan karena ukuran partikelnya yang halus, silikon dioksida yang terkandung dalam abu terbang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen dan menghasilkan zat pengikat. Berdasarkan ACI Committee 226, telah dijelaskan bahwa fly ash memiliki butiran yang cukup halus sehingga lolos saringan N0. 325 (45 milimikron) 5-27%, berat jenis antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Karakteristik pengolahan pozzolan fly ash sama dengan bahan pozzolan lainnya. Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304), fly ash didefinisikan sebagai butiran halus sisa pembakaran batubara atau bubuk batubara. Pada percobaan ini digunakan fly ash tipe F dengan persentase 1%, 1,8%, 2%. Pengujian sifat fisik Fly Ash meliputi :

1. Berat Spesifik
2. Batas Cair
3. Batas Plastis
4. Persen Lolos Saringan No.200
5. Indexs Plastisitas

2. Metode

Metode uji Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall. Tujuan dari uji Marshall adalah untuk mengukur ketahanan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap lelehan (aliran) plastik. Alat Marshall merupakan alat crimping yang dilengkapi dengan cincin uji gaya (test ring) 22,2 KN (5000 lb) dan flow meter. Cincin uji digunakan untuk mengukur nilai persistensi dan pengukur aliran digunakan untuk mengukur lelehan atau aliran plastik. Benda uji Marshall standar berbentuk silinder, diameter 4 inci (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm). Stabilitas Marshall adalah kemampuan suatu campuran aspal dalam menahan suatu beban hingga terjadi aliran yang dinyatakan dalam kilogram, sedangkan kinerja adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal akibat suatu beban yang dinyatakan dalam milimeter. (SNI 06-2489-1991). Stabilitas perkerasan harus mampu menahan beban lalu lintas seperti gelombang, bekas roda atau rembesan tanpa mengalami deformasi. Uji nilai stabilitas Marshall merupakan suatu penelitian untuk mengetahui ketahanan leleh (stabilitas) (aliran) suatu campuran aspal. Untuk memperoleh campuran yang baik pada saat pencampuran dan pematatan, maka viskositas aspal harus mencukupi sehingga dapat memaksimalkan peran aspal dalam proses pencampuran dan pematatan. Informasi yang diperoleh dari uji Marshall, seperti:

1. Agregat kosong (VMA) Agregat mineral void VMA adalah ruang udara di antara butiran agregat aspal padat, termasuk pori-pori udara dan kandungan aspal efektif dalam persentase terhadap volume total.
2. Void dalam campuran (VIM) adalah persentase rongga dalam campuran.
3. Rongga terisi aspal (VFA) adalah persentase rongga terisi aspal dalam suatu campuran setelah proses pematatan, yaitu jumlah dan suhu pematatan, mutu agregat, dan kadar aspal.
4. Stabilitas mengacu pada kemampuan lapisan keras menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa deformasi permanen seperti gelombang pencucian dan kerutan.
5. Aliran luluh (yield flow) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pemberian beban sehingga kestabilannya menurun, menunjukkan deformasi yang terjadi pada lapisan akibat memikul beban yang dapat diterima.
6. Koefisien Marshall adalah perbandingan kestabilan aliran. Nilai hasil bagi Marshall memberikan nilai fleksibilitas gabungan.
7. Marshall Residual Strength Index Uji perendaman Marshall menunjukkan kemampuan suatu campuran aspal tahan terhadap kerusakan air.

Laston atau Hot Rolled Sheet

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (Bina Marga Revisi 2018), aspal beton lapis tipis (laston) merupakan lapisan penutup yang terdiri atas campuran agregat bergradasi, bahan pengisi dan aspal keras dengan perbandingan tertentu; yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas (pada suhu

tertentu minimal 124 °C) hingga ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm. Konstruksi perkerasan HRS dibagi menjadi dua kelas pemakaian yaitu kelas A dan kelas B. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan agregat butiran, aspal keras AC-WC 60-70 biasanya digunakan sebagai aspal. Tujuan pembuatan lapisan tipis aspal beton (slab) adalah untuk memberikan permukaan atau lapisan tengah pada perkerasan yang meningkatkan daya dukungnya dan berfungsi sebagai lapisan kedap air yang melindungi struktur di bawahnya. Hot Rolled Sheet bersifat fleksibel dan sangat tahan lama, karena komposisi HRS dengan lamellar armor mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap aspal dalam jumlah besar (7-8%) tanpa bocor. Dua hal mempengaruhi campuran Laston:

- a) Skalanya sangat luas.
- b) rongga udara dengan frekuensi penolakan

Tabel 7 Persyaratan HRS untuk Kepadatan Lalu Lintas Berat

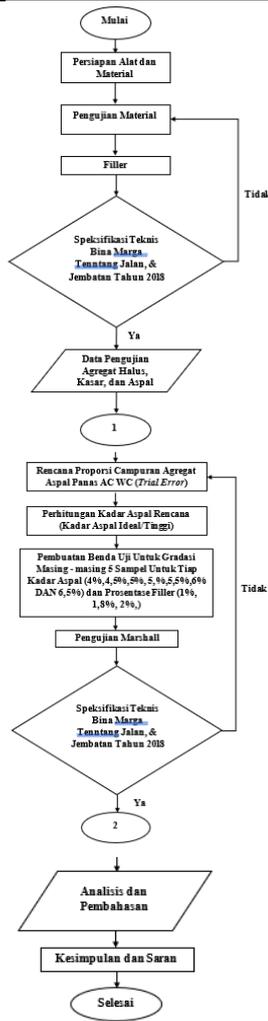
No.	Spesifikasi	Nilai
1	Jumlah Tumbukan	75 x 2
2	Densitas	-
3	VITM	3 - 6%
4	VFMA	68%
5	Stabilitas	≥800kg
6	Flow	≥3mm
7	Marshall	≥250kg/mm

Sumber:Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018.

Asphalt Concrete (AC-WC)

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) adalah aspal yang terletak di lapisan paling atas konstruksi jalan. Selain itu aspal ini memiliki tekstur yang paling halus dari jenis aspal-aspal hotmix lainnya, ketebalan aspal ini adalah 4 cm. Fungsi utama Aspal hotmix AC-WC adalah untuk peningkatan mutu perkerasan jalan supaya mutu jalan tidak turun. Sehingga biasanya terpakai oleh kontraktor jasa pengaspalan untuk melapisi aspal AC-WC atau aspal laston. Aspal AC-WC memiliki ketebalan yang sama dengan aspal AC-WC yaitu 4 cm.

Diagram Alir



Gambar 1. Flowchart

3. HASIL DAN PEMBAHASAN Pengujian Sifat Fisik Aspal

Tabel 8 Pengujian Sifat Fisik Aspal

Pemeriksaan	Benda Uji	
	I	II
Berat Pikhnometer +Penutup	A 28,8 gr/cm ³	25,3 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Air +Penutup	B 76,8 gr/cm ³	73,1 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Aspal +Penutup	C 59,4 gr/cm ³	57,2 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Aspal + Air +Penutup	D 77,8 gr/cm ³	74,2 gr/cm ³

Tabel 9 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

Pemeriksaan	Benda Uji	
	I	II
Berat Pikhnometer +Penutup	28,8 gr/cm ³	25,3 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Air +Penutup	76,8 gr/cm ³	73,1 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Aspal +Penutup	59,4 gr/cm ³	57,2 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Aspal + Air +Penutup	77,8 gr/cm ³	74,2 gr/cm ³

Berat Pikhnometer +Penutup	A	28,8 gr/cm ³	25,3 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Air +Penutup	B	76,8 gr/cm ³	73,1 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Aspal +Penutup	C	59,4 gr/cm ³	57,2 gr/cm ³
Berat Pikhnometer + Aspal + Air +Penutup	D	77,8 gr/cm ³	74,2 gr/cm ³

$$\text{Berat Jenis Aspal} = \frac{(C-A)}{(B-a)-(D-C)}$$

	1,0337	
	8	1,034745
	gr/cm ³	gr/cm ³

Berat Jenis Aspal Rata - Rata 1,034745 gr/cm³

Rata – rata benda uji (Berat Jenis Aspal)= (BJ Aspal I+BJ Aspal II)/2 =(1,03378+1,03571)/2 =2,06949/2 =1,03474 gr/cm³

Pengujian Penetrasi

Tabel 10 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

No.	Pembacaan Penetrasi (milimeter)	
	Benda Uji I	Benda Uji II
1	73 mm	63 mm
2	74 mm	63 mm
3	73 mm	69 mm
4	68 mm	64 mm
5	80 mm	57 mm
6	55 mm	62 mm
7	56 mm	67 mm
8	73 mm	65 mm
9	75 mm	59 mm
10	65 mm	60 mm
Jumlah	65 mm	62,9 mm
Rata-rata	69,2 mm	62,9 mm

Rata-rata benda uji I dan II = (rata-rata benda uji I+rata-rata benda uji II)/2 = (69,2+62,9)/2 = 132,1/2 = 66,2 mm

Pengujian Titik Lembek

Tabel 11 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

No.	Suhu (°C)	Waktu (detik)		Titik Lembek (°C)	
		I	II	I	II
1	0 °C	0 detik	0 detik		
2	5 °C	0 detik	0 detik		
3	10 °C	104 detik	104 detik		
4	15 °C	152 detik	152 detik		
5	20 °C	212 detik	212 detik		
6	25 °C	258 detik	258 detik		
7	30 °C	335 detik	335 detik		

8	35 °C	423 detik	423 detik		
9	40 °C	486 detik	486 detik		
10	45 °C	544 detik	544 detik		
11	50 °C	628 detik	626 detik	49 °C	48,5 °C
Rata-rata		627 detik		48,75 °C	

Perhitungan dan Pembahasan

Peningkatan suhu pada pengujian aspal yang dilakukan adalah 5°C/menit. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh hasil titik lembek untuk benda uji I adalah 49°C dengan waktu 628 detik dan untuk benda uji II 48,5°C dengan waktu 626 detik.

Titik lembek rata rata = $(49+48,5)/2 = 48,75$ °C

Waktu rata-rata = $(628+626)/2 = 627$ detik

Sehingga dari hasil pengujian titik lembek aspal pada benda uji I dan benda uji II di dapatkan rata-rata titik lembeknya adalah 48,75°C dengan rata-rata waktu 627 detik.

Pengujian Agregat

Pada tabel rancangan proporsi agregat diatas menggunakan saringan nomer 12,5, 9,5, 2,36, 1,00, dan 0,075 sebagai saringan untuk agregat kasar dan halus yang akan digunakan didalam penelitian ini. Sehingga variasi aspal = 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, & 6,5%. Variasi aspal tersebutlah yang digunakan sebagai acuan di penilitian ini

Tabel 12 Job Mix Formula

Saringan	Prosentase Aspal %		
	4% & 4,50%	5% & 5,5%	6% & 6,50 %
No. 12,5	8%	10%	7%
No. 9,5	45%	35%	40%
No. 2,36	40%	50%	45%
No. 0,075	7%	5%	8%

Tabel 13 Pengujian Campuran Agregat

Pengujian Campuran Agregat		
Kadar aspal %	Saringan (mm)	Jumlah (gram)
4%	No. 12,5 mm	92,16 gram
	No. 9,5 mm	518,4 gram
	No. 2,37 mm	460,8 gram
	No. 0,075 mm	80,64 gram
	No. 12,5 mm	95,95 gram
4,5%	No. 9,5 mm	539,75 gram
	No. 2,37 mm	479,78 gram
	No. 0,075 mm	83,96 gram
	No. 12,5 mm	114 gram
5%	No. 9,5 mm	399 gram
	No. 2,37 mm	570 gram
	No. 0,075 mm	57 gram

	No. 12,5 mm	113,4 gram
5,5%	No. 9,5 mm	396,9 gram
	No. 2,37 mm	567 gram
	No. 0,075 mm	56,7 gram
6%	No. 12,5 mm	78,54 gram
	No. 9,5 mm	448,8 gram
	No. 2,37 mm	504,9 gram
	No. 0,075 mm	89,76 gram
6,5%	No. 12,5 mm	78,96 gram
	No. 9,5 mm	451,2 gram
	No. 2,37 mm	507,6 gram
	No. 0,075 mm	90,24 gram

Berat Jenis Agregat

Tabel 14 Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan	Benda Uji	
	I Dari Lab.	II Dari Lab.
Bj Bulk (ov) = $B2/(B3+500-B1)$	2,56 gr	2,44 gr
Bj JPK/SSD = $500/(B3+500-B1)$	2,66 gr	2,68 gr
Bj App = $B2/(B3+B2-B1)$	2,83 gr	2,68 gr
Penyerapan / Abs = $((500-B2)(B2)$	3,69 gr	4 gr

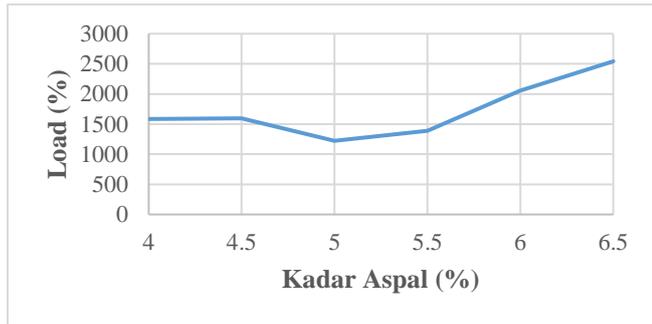
Setelah dilakukan pengujian berat jenis agregat langkah selanjutnya dilakukan pengujian penggorengan dan penumbukan agregat yang telah dicampur dengan aspal, untuk setiap tumbukanya mengiuti anjuran SNI dengan 75x setiap 1 sisi dengan total 1 benda uji 150 x tumbukan (2 sisi). Berikut hasil benda uji campuran aspal dengan acuan kadar aspal 6,5% yang telah dilakukan pengujian marhsall dan variasi flyash 1%, 1,8%, & 2%. Untuk pengujian berat benda uji campuran kadar aspal yang telah dilakukan dalam penelitian ini menggunakan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, & 6,5%. Dengan masing – masing benda uji 5 buah setiap sampel dengan total 45 buah, setelah dilakukan penumbukan kemudia benda uji diukur dan ditimbang, Setelah dilakukan pengujian berat jenis agregat untuk mendapatkan kadar aspal persampel perlu dilakukan pengujian kadar aspal untuk menentukan berapa gram agregat dan aspal dicampur pada wajan yang nantinya akan di goreng dan dicampur menjadi benda uji

Tabel 15 Perhitungan Kadar Air

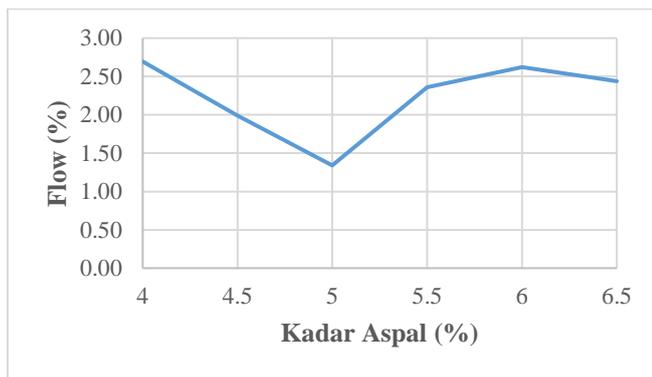
Pemeriksaan	KADAR AIR AGREGAR KASAR		BENDA UJI	
		I	II	
			I	II
Berat Cawan	W1	70,7	74,5	
Berat Cawan + benda uji	W2	847,4	747,6	

Berat Benda Uji	$W3 = W2 - W1$	776,	673,
Berat Cawan + Benda Uji kering Oven	$W4$	836,	736,
Berat Benda Uji Kering Oven	$W5$	766,	661,
Kadar air	$\frac{(W3 - W5)}{W3} \times 100\%$	1,36	1,68
Kadar air rata-rata		1,52	

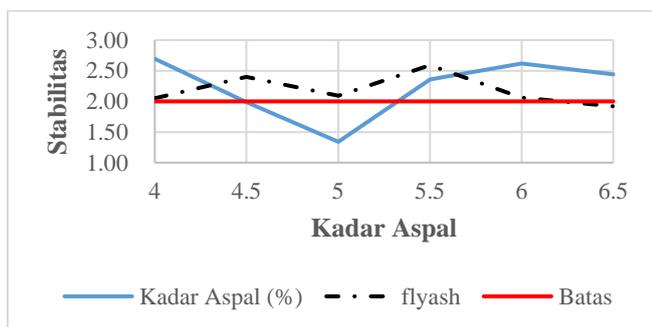
Hasil Marshall Test



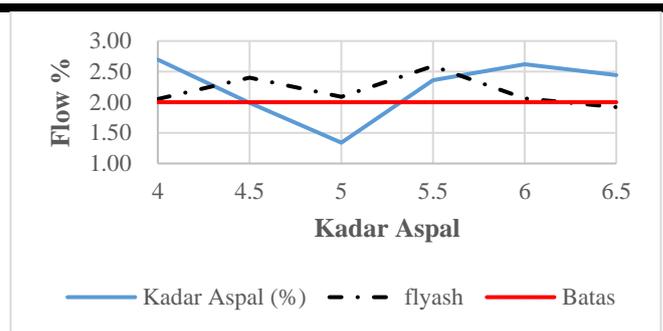
Gambar 1 Grafik Load Terhadap Kadar Aspal



Gambar 2 Grafik Flow Terhadap Kadar Aspal



Gambar 3 Grafik Stabilitas Kao 6,5% Variasi Flyash Terhadap Kadar Aspal



Gambar 4 Grafik Flow Kao 6,5% Variasi Flyash Terhadap Kadar Aspal

Rencana Anggaran Biaya

Dari studi yang telah dilakukan di atas, diperlukan penghitungan anggaran biaya untuk menentukan harga aspal per sampel. Bahan material diperoleh dari pembelian di Kota Malang, Jawa Timur, sedangkan flyash tipe C diambil dari Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Setelah tahap penelitian selesai, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan untuk menyusun Rencana Anggaran Biaya. Hal ini bertujuan untuk menghitung perbandingan bahan material dalam konteks penelitian ini. Di bawah ini terdapat tabel yang memuat daftar harga material yang digunakan :

Tabel 16 Harga Benda Uji Persampel

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga
1	Sampel 6,5%				Rp 63.984
	-aspal	3,9	Liter	Rp 10.000	Rp 39.000
	-agregat	5,76	Kg	Rp 2.000	Rp 11.520
	-semen	4,488	Kg	Rp 3.000	Rp 13.464
Total					Rp 63.984

Berdasarkan temuan dari penelitian yang telah dilakukan menggunakan flyash tipe C dengan variasi persentase Kadar Aspal Optimum sebesar 6,5%, hasil yang tercatat dalam tabel di atas mengindikasikan bahwa harga untuk setiap sampel adalah sebesar Rp. 63.984. Informasi ini menggambarkan besaran biaya yang diperlukan untuk memproduksi atau menguji setiap sampel dalam konteks eksperimen tersebut.

Tabel 17 Harga Benda Uji Persampel Flyash

No.	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga
1	Sampel 2%				Rp 59.320
	-aspal	3,9	Liter	Rp 10.000	Rp 39.000
	-agregat	5,76	Kg	Rp 2.000	Rp 11.520
	-flyash type c	4,4	Kg	Rp 2.000	Rp 8.800
Total					Rp 59.320

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan penambahan flyash dengan prosentase 2% menghasilkan harga Rp.59.320. Dengan perbedaan harga yang mencolok, hal ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan limbah flyash telah terbukti sebagai pendekatan yang efektif dalam penelitian ini.

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian dengan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6% & 6,5% ditemukan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,5% untuk campuran flyash.
2. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan dapat disimpulkan bahwa penambahan flyash dengan prosentase 2% lebih memadai dan lebih murah dibandingkan campuran aspal tanpa flyash karena dengan penambahan flyash tersebut inilah yang menjadi alternatif sebagai konstruksi jalan.
3. Dari pengujian yang telah dilakukan hasil Rencana Anggaran Biaya jauh lebih efektif dan murah dibandingkan campuran benda uji menggunakan semen atau bahan lainnya. Karena penerapan pengujian ini yaitu mengolah bahan limbah menjadi lebih berguna dan bermanfaat. Perbandingan harga yang telah diperhitungkan penggunaan flyash lebih murah Rp.59.320 dibandingkan dengan penambahan penggunaan semen Rp. 63.984. sebagai campuran pada benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementrian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal . Bina Marga, Spesifikasi Umum (2018) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan.
- [2] Ningrum, Anindya Andana. Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) Dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Substitusi Agregat Pada Campuran Aspal Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Fly Ash Sebagai Filler. Vol 2, No 2/REKATS/18 (2018).
- [3] Wilis, A. R., & Risdianto, Y. (2018). Pengaruh Penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Lawele Granular Asphalt (LGA) Sebagai Bahan Substitusi Agregat Pada Campuran Beton Aspal Wearing Course (AC-WC) Dengan Fly Ash Sebagai Filler. Rekayasa Teknik Sipil, 2(2/REKAT/18).
- [4] Al Qurny, A. U., Puspito, I. H., & Tinumbia, N. (2022). Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Asphalt Concrete Wearing Course/Ac-Wc). Jurnal Artesis, 2(1), 87-97.
- [5] Ahmad Uwwes Al Qurny, dkk (2022) Program Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta. PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN PENGISI (FILLER) FLY ASH TERHADAP CAMPURAN

- ASPAL BETON LAPIS AUS (ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE/AC-WC)
- [6] Mohammadreza Shisheboran, Sekolah Teknik Sipil, Universitas Sains dan Teknologi Iran, Narmak, Teheran, Iran (2021) Dampak lingkungan dan mekanis limbah abu lumpur asam yang dibakar sebagai bahan pengisi aspal campuran panas.
 - [7] PENGARUH KADAR LIMBAH KACA SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Miftahul Fauziah, dkk (2018)
 - [8] Min Ju Choi, Institut Teknik Sipil dan Teknologi Bangunan Korea, Goyang-Si (2019) Evaluasi kinerja penggunaan fly ash bahan bakar yang berasal dari ban sebagai bahan pengisi mineral dalam campuran beton aspal panas.
 - [9] Evaluasi Eksperimen Abu Sekam Kopi Sebagai Bahan Pengisi Pada Produksi Beton Aspal Campuran Panas, Amare Tilahun Tessema Teknik Transportasi, Departemen Teknik Sipil, Universitas Debre Tabor, Debre Tabor, Ethiopia (2022)