

PENGARUH LIMBAH ABU KAYU BAKAR SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL CONCREAT-BINDER COURSE (AC-BC) Studi Kasus di Industri Pabrik Tahu Ledok Kulon, Kecamatan Bojonegoro

Ayu Kurnia Ratnasari¹, Lucky Ardhi Sutoyo², Aulia Rahmadina Putri³

Universitas Bojonegoro¹

Universitas Bojonegoro²

Universitas Bojonegoro³

Jalan Lettu Suyitno No.2 Glendeng, Kalirejo, Kecamatan Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur,
62119

E-mail: tekniksipil.univbojonegoro@gmail.com

ABSTRAK

Aspal adalah jenis bahan baku utama pembuat jalan di Indonesia yang berasal dari olahan minyak bumi. Salah satu aspal jenis hot mix yang sering dipakai di Indonesia adalah Aspal concrete(AC)/Aspal beton. Aspal terdiri dari agregat halus agregat kasar sebagai perekat dan filler sebagai bahan pengisi. Dalam proses pembuatan perkerasan jalan dapat dilakukan penggantian sejumlah bagian semen dengan bahan lain yang ramah lingkungan atau bisa juga dengan memanfaatkan limbah. Seperti halnya penggantian filler dengan Abu kayu yang merupakan material sisa hasil dari pembakaran yang berupa bubuk, Diindustri pabrik tahu Ledok kulon ini merupakan pabrik tahu yang menggunakan bahan dasar kayu untuk membakar atau menggoreng tahu tersebut. Sehingga limbah abu kayu bakar dapat berguna dan memiliki nilai jual. Fungsi filler ini adalah mengisi rongga yang berada di dalam campuran sehingga rongga tersebut tidak hanya di isi dengan bitumen/ aspal melainkan diisi dengan material yang lebih halus. Hasil dari uji laboratorium dengan persentase aspal 6.5% didapatkan tiga variasi filler dengan nilai berbeda yaitu filler variasi pertama 5.5% dengan nilai Marshall stability 3258.53, flow 1.58, vim 5.10 dan Marshall quotient 2064.64. Filler variasi kedua 6% dengan nilai Marshall stability 2734.93, flow 1.84, vim 4.09 dan Marshall quotient 1500.90. Filler variasi ketiga 6.5% dengan nilai Marshall stability 1273.87, flow 1.63, vim 7.4 dan Marshall quotient 773.19. Dari nilai diatas disimpulkan bahwa Abu kayu bakar dikatakan kurang layak sebagai pengganti filler untuk perkerasan jalan dengan presentase yang rendah. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa filler 6.17 % yang memenuhi aspal standar Bina Marga.

Kata kunci: *Aspal, Limbah Abu kayu bakar, Filler. Marshall*

ABSTRACT

Asphalt is the main type of raw material for road construction in Indonesia which comes from processed petroleum. One type of hot mix asphalt that is often used in Indonesia is asphalt concrete (AC)/asphalt concrete. Asphalt consists of fine aggregate and coarse aggregate as adhesive and filler as filling material. In the process of making pavement some parts of the cement can be replaced with other materials on the road environmentally friendly or you can also use waste. As well as replacement of filler with wood ash which is the remaining material resulting from burning in the form of powder, in the Ledok Kulon tofu factory industry is tofu factory that uses wood as a base material for grilling or frying know that. So that firewood ash waste can be useful and have selling value. The function of this filler is to fill the cavities in the mixture so that there are cavities It is not only filled with bitumen/asphalt but is filled with other materials smoother. The results of laboratory tests with an asphalt percentage of 6.5% were three variation of filler with different values, namely the first variation of filler 5.5% with value Marshall stability 3258.53, flow 1.58, vim 5.10 and Marshall quotient 2064.64. Fillers the second variation is 6% with Marshall stability values 2734.93, flow 1.84, vim 4.09 and Marshall queen 1500.90. The third variation of filler is 6.5% with Marshall stability value 1273.87, flow 1.63, vim 7.4 and Marshall quotient 773.19. From the value above it is concluded that firewood ash is said to be less suitable as a substitute for filler road pavement with a low percentage. This research can be concluded that the filler is 6.17% which meets the Bina Marga standard asphalt.

Keywords: *Asphalt, Firewood Ash Waste, Filler. Marshall*

PENDAHULUAN (Arial 10, Bold, Text Left)

Aspal adalah salah satu jenis bahan baku utama pembuat jalan di Indonesia yang berasal dari olahan minyak bumi. Aspal memiliki sifat yang elastis bila menerima beban kendaraan, memiliki Ketahanan mampu menahan bising dan nyaman. Campuran aspal panas atau juga disebut hot mix merupakan salah satu campuran yang sering digunakan, dihamparkan, dipadatkan dalam kondisi panas. Salah satu jenis hot mix yang sering dipakai di Indonesia adalah Aspal concrete (AC)/ Aspal beton. Aspal beton mempunyai beberapa kelebihan dibanding bahan lainnya, antara lain: mudah didapatkan, harga lebih murah dibanding beton, mampu menahan beban berat dari kendaraan, dapat dibuat dari bahan-bahan yang ada disekitar dan mampu bertahan dalam kondisi cuaca yang tinggi. Aspal terdiri dari agregat halus agregat kasar sebagai perekat dan filler sebagai bahan pengisi. Agregat kasar yang berupa batu belah besarnya kisaran 5mm hingga 40 mm dan berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam. Dalam proses pembuatan perkerasan jalan dapat dilakukan penggantian sejumlah bagian 2 semen dengan bahan lain yang ramah lingkungan atau bisa juga dengan memanfaatkan limbah. Seperti halnya penggantian filler dengan abu kayu dari hasil limbah pembakaran kayu pabrik tahu yang berada didesa Ledok kulon kabupaten Bojonegoro.

Abu kayu merupakan material sisa hasil dari pembakaran yang berupa bubuk, pada umumnya abu kayu sering dibuang dan sudah tidak dapat digunakan kembali. Industri pabrik tahu Ledok kulon ini merupakan pabrik tahu yang menggunakan bahan dasar kayu untuk membakar/ menggoreng tahu tersebut, sehingga abu hasil dari pembakaran tersebut sangat melimpah dan menimbulkan masalah bagi masyarakat disekitar. Polusi udara, polusi air dan kurangnya tempat untuk pembuangan abu kayu bakar. Dengan melimpahnya limbah abu ini maka saya mempunyai gagasan untuk memanfaatkan limbah abu kayu bakar sebagai filler dalam campuran perkerasan jalan. Sehingga dapat berguna dan memiliki nilai jual. Fungsi filler ini adalah mengisi rongga yang berada di dalam campuran sehingga rongga tersebut tidak hanya di isi dengan bitumen/ aspal melainkan diisi dengan material yang lebih halus.

METODE

Hot Rolled Asphalt (HRA)

Hot Rolled Aspal (HRA) juga disebut campuran aspal bergradasi senjang karena mengandalkan kekuatan dari ikatan anatara bahan pengikat, agregat halus dan juga filler, tidak seperti aspal beton atau aspal concrete yang mengandalkan saling kunci atara agregat kasar. Di Indonesia

metode HRA dikenal juga dengan Hot rolled sheet (HRS) ini mampu mengatasi permasalahan retak pada jaringan, namun demikian timbul masalah baru dengan terjadinya deformasi plastis dengan waktu yang sangat singkat. Adanya gap gradasi disebut menjadi penyebab timbulnya kerusakan dini tersebut, campuran agrgat aspal bergradasi senjang bersifat tahan terhadap keausan, lebih lentur tanpa mengalami fatigue cracking seta mempunyai ketahanan terhadap cuaca dan kemudahan dalam pengerjaanya.

Aspal

Aspal adalah material thermoplastis yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2007). Pada temperatur ruang aspal bersifat thermoplastis, sehingga aspal akan mencair jika dipanaskan sampai pada temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2007). KandunganAspal terdapat unsur hidokarbon yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut. Disamping itu setiap sumber dari minyak bumi menghasilkan komposisi molekul yang berbeda. Komposisi aspal terdiri dari asphaltenes dan metanes. Asphaltenes merupakan material yang berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam heptane. Maltenes larut dalam heptane, merupakan cairan kental yang terdiri dari resin dan oils. Fungsi aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai berikut :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesamaaspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada didalam butir agregat itusendiri.

Filler

Filler merupakan material pengisi dalam lapisan aspal. Disamping itu, kadar dan jenis filler akan berpengaruh terhadap sifat elastisitas campuran dan sensifisitas campuran (Rahaditya, 2012).

Tabel 1. Ketentuan *Filler* Pengujian Standar Nilai

Pengujian	Standart	Nilai
-----------	----------	-------

Material lolos saringan no.200	SNI 03-6723-2002	Min. 75%
--------------------------------	------------------	----------

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010 Revisi I Divisi 6

Agregat

Menurut Sukirman (2003), agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah belah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau batuan. Sedangkan secara umum agregat dapat diartikan formasi kulit bumi yang keras dan padat. Agregat, berdasarkan proses pembentukannya terdiri dari 2 jenis yaitu agregat alam dan agregat buatan. Agregat alam, berdasarkan proses pembentukannya, terbagi lagi atas batuan endapan, batuan beku dan batuan metamorph. Berdasarkan proses pengolahannya agregat dibedakan atas agregat alam yang mengalami proses pengolahan terlebih dahulu dan agregat buatan (Waani, 2013). Selain itu agregat juga dibagi berdasarkan ukuran butirannya menurut Bina Marga Tahun 2010 yaitu:

1. Agregat kasar, yakni yang tertahan saringan no.8
2. Agregat halus, yakni yang lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200
3. Bahan pengisi atau filler, termasuk agregat halus yang sebagian besar lolos saringan no.200.

Gradasi Agregat

Sesuai spesifikasi umum yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2010 revisi 3, gradasi agregat untuk campuran aspal beton berbeda-beda sesuai dengan jenis perkerasannya. Gradasi ini terbagi menjadi gradasi halus dan kasar dengan presentase lolos saringan berbeda.

Tabel 2. Ketentuan Gradasi Agregat

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran					
	Laston (AC)					
	Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
	WC	BC	Base	WC	BC	Base
37,5			100			100
25		100	90-100		100	90-100
19	100	90-100	73-90	100	90-100	73-90
12,5	90-100	74-90	61-79	90-100	71-90	55-76
9,5	72-90	64-82	47-67	72-90	58-80	45-66
4,75	54-69	47-64	39,5-50	43-63	37-56	28-39,5
2,36	39,1-53	34,6-49	30,8-37	28-39,1	23-34,6	19-26,8
1,18	31,6-40	28,3-38	24,1-28	19-25,6	15-22,3	12-18,1
0,600	23,1-30	20,7-28	17,6-22	13-19,1	10-16,7	7-13,6
0,300	15,5-22	13,7-20	11,4-16	9-15,5	7-13,7	5-11,4
0,150	9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	4,5-9
0,075	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010 Revisi I Divisi 6

Asphalt Concrete Binder Course(AC-BC)

Jenis beton aspal yang ada di Indonesia saat ini adalah Laston atau dikenal dengan nama AC (Asphalt Concrete), yaitu beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas (Waani, 2013). Pembuatan Laston/AC (Asphalt Concrete) dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya.

Sebagai lapis permukaan, lapis aspal beton harus dapat memberikan kenyamanan dan keamanan yang tinggi. Berdasarkan Fungsinya, Asphalt Concrete mempunyai tiga macam campuran, salah satunya Asphalt Concrete Binder Course(AC-BC) yang berfungsi sebagai lapisan pengikat. Berdasarkan spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010 Revisi I, setiap jenis lapisan memiliki ketebalan tersendiri yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal

Jenis Campuran	Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)	
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-Base	7,5

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010 Revisi I Divisi 6

Berdasarkan tingkat kekerasan paada umumnya di Indonesia menggunakan aspal 60-70 yang juga akan digunakan dalam penelitian ini dengan ketentuan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ketentuan Aspal Penetrasi 60-70

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-2011	60-70
2.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-2011	≥48
3.	Duktilitas pada 25°C, (cm)	SNI-06-2432-2011	≥100
4.	Titik Nyala (°C)	SNI-06-2433-2011	≥232
5.	Berat Jenis	SNI-06-2441-2011	≥1,0
6.	Viskositas Kinematis 135 °C	SNI 06-6441-2000	≥300

(cSt)		
-------	--	--

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 Divisi 6.3

Semen Portland

Semen Portland dibuat dari batu kapur (limestone) dan mineral yang lainnya, dicampur dan dibakar dalam sebuah alat pembakaran dan sesudah itu didapat bahan material yang berupa bubuk. Bubuk tersebut akan mengeras dan terjadi ikatan yang kuat karena suatu reaksi kimia ketika dicampur dengan air (Putrowijoyo, 2006). Komposisi senyawa kimia dari semen portland adalah sebagai berikut dalam Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi senyawa kimia semen Portland

No.	Oksidasi	Lambang	Kode	Presetase
1.	Calcium Oxide	CaO	C	60-65
2.	Magnesium Oxide	MgO	M	0-5
3.	Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	A	04-Aug
4.	Ferrous Oxide	Fe ₂ O ₃	F	02-May
5.	Silicon Oxide	SiO ₂	S	20-24
6.	Sulfur Oxide	SO ₃	S	01-Mar

Sumber : Putrowijoyo, 2006.

Abu Kayu Bakar

Abu kayu merupakan material sisa hasil dari pembakaran yang berupa bubuk, pada umumnya abu kayu sering dibuang dan sudah tidak dapat digunakan kembali. Industri pabrik tahu Ledok kulon ini merupakan pabrik tahu yang 22 menggunakan bahan dasar kayu untuk membakar/menggoreng tahu tersebut, sehingga abu hasil dari pembakaran tersebut sangat melimpah dan menimbulkan masalah bagi masyarakat disekitar. Polusi udara, polusi air dan kurangnya tempat untuk pembuangan abu kayu bakar.

Dengan melimpahnya limbah abu ini maka saya mempunyai gagasan untuk memanfaatkan limbah abu kayu bakar sebagai filler dalam campuran perkerasan jalan. Sehingga dapat berguna dan menghasilkan nilai jual. Penelitian tentang wood ash pernah dilakukan oleh (Abdullahi, 2006). Penelitian ini meneliti sifat dari abu kayu terhadap campuran beton dengan menganalisa kandungan kimia dari abu kayu, analisis ayakan (sieve analysis), specific gravity dari abu kayu dan agregat, setting time, dan slump test.

Menggunakan komposisi mix design 1PC : 2PS : 4KR dengan persentase penggantian semen dengan abu kayu sebesar 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Dari hasil analisa, kandungan kimia abu kayu tersebut memiliki komposisi (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃)

sebesar 62,14% dimana nilai tersebut lebih rendah dari yang disyaratkan ASTM C-618 yaitu sebesar 70%. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan (*Compressive Strength Test*) pada umur 28 dan 60 hari dengan benda uji kubus 150 mm x 150 mm. Hasil dari tes tersebut menunjukkan bahwa abu kayu sedikit *pozzolanic*, kebutuhan air meningkat dengan meningkatnya kadar abu kayu, setting time meningkat dengan meningkatnya kadar abu kayu, kuat tekan meningkat pada umur 60 hari dengan penggantian optimal semen dengan abu kayu sebesar 20 %.

Rancangan Campuran Aspal (Design Mix Formula)

Rancangan campuran dilaksanakan setelah pemeriksaan apakah agregat dan aspal yang akan dipergunakan memenuhi spesifikasi material campuran. Salah satu metode yang dipakai di Indonesia yaitu metode Marshall yang 14 dikembangkan oleh The Asphalt Institute. Metode Marshall Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90.

Dalam mendapatkan campuran aspal beton yang baik maka harus diperhatikan pencampuran agregatnya. Pencampuran agregat tersebut sangat berpengaruh pada resep komposisi campuran agar didapatkan suatu campuran yang homogen dan butir agregat yang sesuai standar spesifikasi. Salah cara yang digunakan dengan Cara Analitis Prinsip kerja dari metode ini adalah:

1. Tentukan gradasi agregat yang digunakan.
2. Tentukan campuran agregat dan *filler*. Hitung butiran agregat yang lewat saringan sesuai gradasi lapisan dengan mangalikan presentase agregat.
3. Tentukan spesifikasi ideal terhadap butiran yang lewat saringan nomor 200. Hitung kekurangan butiran yang lewat saringan nomor 200 dengan mengurangi spesifikasi ideal dengan total butiran lewat saringan nomor 200.
4. Tentukan komposisi campuran.

Dalam perencanaan suatu campuran, kadar aspal ditentukan dengan rumus berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil 2002 seperti berikut ini:

$$P=0,035(\%CA)+0,045(\%FA)+0,18(\text{filler})+K$$

Dimana:

- P :Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran
 Ca : Persen agregat tertahan saringan No 8
 FA : Persen agregat lolos saringan No 8 dan tertahan saringan No.200
 Filler : Persen agregat minimal 75% lolos No 200
 K :Konstanta; 0,5-1,0 untuk laston; 2,0 – 3,0 untuk lataston

Marshall

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh U.S Corps Engineer. Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin pengujian) berkapasitas 2500 kg. Proving ring digunakan untuk mengakumulasi stabilitas, dan flow meter untuk mengukur kelelahan plastik atau flow. Alat uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 10,2 cm dan tinggi 6,35 cm. Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

1. Penentuan berat volume benda uji
2. Pengujian nilai stabilitas, yaitu kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (flow), yaitu besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai bataskeruntuhan.
4. Perhitungan Marshall Quotient, yaitu: perbandingan antara nilai stabilitas dan flow.
5. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat
 - a. Volume pori dalam beton aspal padat (VIM).
 - b. Volume pori dalam agregat campuran (VMA).
6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Marshall Laston AC BC dengan Menggunakan Limbah Abu Kayu Sebagai Filler.

Hasil pengujian ini untuk mengetahui nilai marshall dan KAO pada campuran laston sebagai perkerasan jalan. Dari Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapatkan dari pengujian Stabilitas Marshall, Flow, Voids Filled, VIM (Porositas), VMA, MQ dan Density laston yaitu 6,6% , maka dibuatlah variasi presentase filler sebesar 5,5%, 6%, 6,5%. ditunjukkan grafik-grafik hasil pengujian campuran laston dengan limbah abu kayu bakar industri pabrik tahu sebagai filler. Berikut adalah hasil pengujian Marshall campuran laston menggunakan Filler dari limbah abu kayu bakar :

Stabilitas

Nilai stabilitas aspal beton (Laston) AC BC dengan limbah Abu kayu bakar sebagai pengganti filler dengan variasi filler 5.5 %, 6% dan 6.5% menggunakan parameter kadar aspal 6,6%, dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 6. Stabilitas variasi filler

Stabilitas (kg/mm) Filler Abu			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	3135,6	3040	11785,6
Benda Uji 2	3520	2956,8	1154,4
Benda Uji 3	3120	2208	881,6
Rata-Rata	3258,53	2734,93	1273,87

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Tabel 7. Stabilitas variasi filler Semen

Stabilitas (kg/mm) Filler Semen			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	3000	4180	4371.00
Benda Uji 2	3760	3956	3556.80
Benda Uji 3	3150	3366	3313.60
Rata-Rata	3303	3834	3747.13

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Pada Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa pada variasi 5,5 % merupakan nilai stabilitas dari hasil marshall yang paling tinggi diantara dua variasi lainnya yaitu 3258,53 Kg/mm dan pada variasi 6,5 % mendapatkan nilai stabilitas yang rendah yaitu 1273,87 Kg/mm.

Flow (Kelelahan Plastis).

Nilai Flow atau Kelelahan Plastis aspal beton (Laston) AC - BC dengan limbah Abu kayu bakar sebagai pengganti filler dengan variasi filler 5.5 %, 6% dan 6.5% menggunakan parameter kadar aspal 6,6%, dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 8. Flow variasi filler

Flow (mm) filler abu			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	1,53	1,88	1,78
Benda Uji 2	1,57	1,67	1,78
Benda Uji 3	1,64	1,98	1,32
Rata-Rata	1,58	1,84	1,63

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Tabel 9. Flow Variasi Filler

Flow (mm) filler semen			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	2,64	2.36	2,3
Benda Uji 2	1,8	2.36	2,5
Benda Uji 3	1,67	2.33	2,4
Rata-Rata	2.04	2.35	2,4

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Dapat dilihat bahwa nilai flow pada variasi filler Limbah abu kayu bakar mendapatkan nilai dibawah spesifikasi umum Bina Marga yaitu 2 mm dari ketiga variasi aspal beton AC BC mendapatkan nilai dari hasil uji Marshall yaitu 5,5 % = 1,58 mm. 6% = 1,84 mm. Dan 6,5 % = 1,63 mm.

VFA (Void Filled With Asphalt)

Nilai Voids filled with asphalt (VFA) campuran aspal beton AC BC dengan variasi filler 5,5 %, 6%, dan 6,5% dengan filler pengganti Limbah Abu kayu bakar industri pabrik tahu, dapat dilihat pada table sebagai berikut:

Tabel 10. VFA Variasi Filler Abu

VFA (%) FILLER ABU			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	67,42	76,71	67,65
Benda Uji 2	73,23	72,89	55,7
Benda Uji 3	73,66	77,95	65,1
Rata-Rata	71,44	75,85	62,82

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021

Tabel 11. VFA Variasi Filler Semen

VFA (%) FILLER SEMEN			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	127,65	64.49	92.62
Benda Uji 2	77,08	82.50	91.52
Benda Uji 3	59.01	70.77	73.43
Rata-Rata	87.91	72.58	85.86

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021

Nilai dari tabel 4.14 bahwa presentase kadar filler 6% mendapatkan nilai Voids filled with asphalt (VFA) yang paling tinggi di atas spesifikasi minimal 65% . Variasi filler 5,5% mendapat nilai 71,44%, variasi 6% mengalami kenaikan nilai menjadi 75,85% sedangkan variasi 6.5 % mengalami penurunan sehingga nilai menjadi dibawah spesifikasi minimum yaitu 62,82%. Hal ini disebabkan kemungkinan karena Volume agregat halus dan kadar filler terlalu besar dalam proses penumbukan atau pemadatan kurang sempurna sehingga mengurangi aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran.

Voids in Mixture (VIM)

Voids in Mixture (VIM) campuran laston AC BC dengan variasi Limbah Abu kayu bakar industri pabrik tahu ledok kulon kabupaten Bojonegoro sebagai filler dengan variasi 5.5%, 6% dan 6.5% dapat dilihat pada table dibawah ini

Tabel 12. VIM Variasi Filler Abu

VIM(%) FILLER ABU			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	6,07	3,9	6,01
Benda Uji 2	4,66	4,74	9,61
Benda Uji 3	4,56	3,64	6,69
Rata-Rata	5,1	4,09	7,44

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021

Tabel 13. VIM Variasi Filler

VIM(%) FILLER SEMEN			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	2,98	6.86	1.05
Benda Uji 2	3.82	2.76	1.22
Benda Uji 3	8.50	5.23	4.61
Rata-Rata	3.11	4.95	2.30

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021

Dapat dilihat bahwa Laston AC BC pada rongga udara dalam campuran aspal yang sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai minimum yaitu 3 %. Pada variasi filler yang menggunakan limbah abu kayu bakar dengan kadar filler 5,5% mendapatkan nilai 5,10% pada variasi filler 6% mengalami penurunan nilai VIM sehingga menjadi 4,09%. Dan pada variasi filler 6,5% mengalami kenaikan 7,44% sehingga kadar filler 6,5 % mendapatkan nilai kadar VIM yang tertinggi dibandingkan dua variasi lainnya, ketiga variasi tersebut diatas spesifikasi minimum Bina Marga 2018.

Voids in Mineral Agregate(VMA)

Voids in Mineral Agregate (VMA) campuran laston AC BC dengan Limbah abu kayu bakar industri pabrik tahu ledok kulon kabupaten Bojonegoro sebagai pengganti filler dengan variasi 5.5%. 6% dan 6.5%, dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 14. VMA Variasi Filler Abu

VMA (%) FILLER ABU			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	18,62	16,75	18,57
Benda Uji 2	17,4	17,47	21,69
Benda Uji 3	17,32	16,52	19,16
Rata-Rata	17,78	16.91	19,81

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021

Tabel 15. VMA Variasi Filler Semen

VMA (%) FILLER SEMEN			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	10.78	19.31	14.28
Benda Uji 2	16.68	15.76	14.43
Benda Uji 3	20.73	17.90	17.36
Rata-Rata	16.06	17.65	15.36

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai kadar filler variasi 5,5 %, 6% dan 6,5% memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai minimum 65 15%. Pada variasi 5,5% mendapatkan nilai VMA sebesar 17,78%, pada kadar filler 6% mengalami penurunan nilai VMA menjadi 16,91 % dan pada kadar filler 6,5% mengalami kenaikan nilai VMA tertinggi menjadi 19,81%.

Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) campuran laston AC BC dengan limbah Abu kayu bakar industri pabrik tahu ledok kulon Kabupaten Bojonegoro sebagai filler, Variasi filler sebesar 5.5%, 6% dan 6,5 %, dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 16. MQ Variasi Filler Abu

MQ (Kg/mm) FILLER ABU			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	2049,41	1617,02	1003,15
Benda Uji 2	2242,04	1770,54	648,54
Benda Uji 3	1902,44	1115,15	667,88
Rata-Rata	2064,3	1500,9	773.19

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Tabel 17. MQ Variasi Filler Semen

MQ (Kg/mm) FILLER SEMEN			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	710.23	1457.20	985.90
Benda Uji 2	1182.22	1286.44	817.14
Benda Uji 3	998.02	1.99	912.00
Rata-Rata	960.16	915.21	905.01

Dapat dilihat bahwa kadar filler 5.5% mendapatkan nilai MQ tertinggi sehingga memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, pada variasi filler 5,5% mendapatkan nilai MQ sebesar 2064,3 Kg/mm dan 6,5% mendapatkan nilai MQ terendah yaitu sebesar 773,19 Kg/mm, spesifikasi Bina Marga 2018 mempunyai nilai minimum sebesar 200.00 Kg/mm.

Dari hasil pengujian Marshall didapatkan bahwa semakin besar kadar filler pada campuran membuat nilai MQ menjadi semakin menurun, efektifitas kadar filler yang rendah mempunyai nilai Marshall Quotient tinggi, factor-faktor yang mempengaruhi nilai MQ

merupakan dari nilai stabilitas dan kelelahan plastis (flow) yang didapatkan pada pengujian Marshall test.

Density (Kepadatan)

Density atau kepadatan campuran laston AC BC dengan Limbah abu kayu bakar industri pabrik tahu ledok kulon kabupaten Bojonegoro sebagai filler. Variasi filler sebesar 5.5%. 6% dan 6,5% dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 18. Density variasi filler Abu

Density (Kg/cc) FILLER ABU			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	2,26	2,31	2,26
Benda Uji 2	2,29	2,29	2,17
Benda Uji 3	2,3	2,32	2,25
Rata-Rata	2.28	2,31	2,23

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Tabel 19. Density variasi filler Semen

Density (Kg/cc) FILLER SEMEN			
Presentase Filler	5,50%	6%	6,50%
Benda Uji 1	2.48	2.24	2.38
Benda Uji 2	2.31	2.34	2.38
Benda Uji 3	2.20	2.28	2.30
Rata-Rata	2.33	2.29	2.35

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, 2021*

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa kadar filler 5,5% mendapatkan nilai density sebesar 2,28 Kg/cc, kadar filler 6% mendapatkan nilai density sebesar 2,31 Kg/cc dan pada kadar filler 6.5% mempunyai nilai density sebesar 2.23Kg/cc. Pada nilai Density / kepadatan kadar filler 6% merupakan nilai density tertinggi.

Kadar Filler Optimum (KFO)

Kadar filler optimum menunjukkan hasil pengujian Stabilitas Marshall, Flow, Voids Filled, VIM (Porositas), VMA, dan MQ pada ketiga benda uji. Berdasarkan hasil pengujian Stabilitas Marshall, Flow, Voids Filled, VIM (Porositas), VMA, dan MQ didapatkan nilai Kadar Filler Optimum sebesar 5.86%

Kelayakan Abu Kayu Bakar Sebagai Filler

Pada penelitian ini didapatkan nilai optimum KFO filler 5.86 %, namun dinilai tersebut belum memenuhi standar Umum Bina Marga karena nilai flow yang rendah dibawah nilai minimum flow, yaitu 2% sehingga bisa disimpulkan bahwa abu kayu

bakar tiak layak sebagai pengganti filler untuk aspal AC – BC.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian Studi pengaruh limbah abu kayu bakar industri pabrik tahu ledok kulon kabupaten Bojonegoro sebagai filler pada campuran Aspal Concrete Binder Course (AC – BC) dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari uji laboratorium di dapatkan Nilai – nilai Marshall untuk semua variasi filler dilihat Dari tabel dibawah ini dapat disimpulkan bahwa nilai flow tidak memenuhi nilai kadar aspal optimum. Berikut adalah nilai kadar aspal optimum(KAO), Marshall Stability, Flow, Marshall Quentien (MQ), Air Void (VIM) yang disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Presentase Aspal	Variasi Filler	STABILITAS	FLOW	VIM	MQ
6.5 %	5.5 %	3258.53	1.58	5.10	2064.63
	6%	2734.93	1.84	4.09	1500.90
	6.5%	1273.87	1.63	7.44	773.19

2. Abu kayu bakar dikatakan tidak layak sebagai pengganti filler untuk perkerasan jalan dengan presentase yang rendah yaitu 5,86%

Bab ini berisi tentang simpulan hasil penelitian yang disusun dalam bentuk narasi dan bukan pointer. (first line 0,75cm)

DAFTAR PUSTAKA

- Priyatno, B., (2001), Perkembangan Teknologi Perkerasan Jalan, Penataran Pelatihan Dosen Teknik Sipil Pengembangan Perguruan Tinggi Swasta, Kopertis Wilayah VI, Jawa Tengah
- Sentosa, L., (2001), Kinerja Laboratorium Campuran Hot Rolled Asphalt Dengan Abu Sawit Filler, Tesis Magister, STRJR-ITB, Bandung
- Yaruddin, (2000), Kinerja Laboratorium Campuran Hot Rolled Asphalt Dengan Batu Bata Yang Dihaluskan Sebagai Filler, Tesis Magister, STRJR-ITB, Bandung
- Waani Elfrida, Joice. 2013, Evaluasi Volumetrik Marshall Campuran AC-BC (Studi Kasus Material Agregat di Minaso dan Minahasa). Jurnal Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi: Manado.
- Sukirman, S., 2007, Beton Aspal Campuran Panas, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Sukirman, S., 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Granit, Jakarta.
- Abdullahi, M. (2006)." Characteristics of Wood ASH / OPC Concrete." Leonardo Electronic Journal of Practies and Technologies, (8), 9–16.
- Bina Marga. (2010). Spesifikasi Umum. semarang: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Putrowijoyo, Rian, 2006. Kajian Laboratorium Sifat Marshall dan Durabilitas Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) dengan Membandingkan

Penggunaan Semen Portland dan Abu Batu Sebagai Filler. Semarang.

Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 Divisi 6.3

Undang-undang RI No. 38 Tahun 2004 Tentang Jalan, PT. Mediatama Saptakarsa, Jakarta, 2004.

Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 02-6820-2002 Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta

Spesifikasi umum Bina Marga 2018 perkerasan jalan dan jembatan.

SNI 06-2489-1991Metode pengujian campuran aspal dengan alat Marshall