“Penggunaan *Styrofoam* dan Abu Serbuk Kayu pada Campuran Laston Lapis Aus dengan Metode Pencampuran Basah”

Ria Septiani¹Sofyan M. Saleh²Lulusi³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia.

Email: riaseptiani21@gmail.com

Abstract

Highways have different characteristics which over time will be damaged. One of the efforts to improve the quality of the mixture of wear-coated asphalt concrete (AC-WC) layer is to modify the asphalt mixture by adding polymeric materials namely styrofoam waste. The purpose of this study was to determine the Marshall Test characteristics from the substitution of the use of styrofoam as substitution for asphalt pen. 60/70 and ash of wood powder as wood powder ash filler against laston layer wear (AC-WC) and to determine the effect of soaking with variations of 30 minutes and 24 hours. The testing method is Marshall testing and durability testing at the optimum bitumen content by using the wet method. The result of this study is optimum asphalt content (KAO) which is 6.50%, the combination of the mixture of wood dust ash and Portland cement is best obtained with a ratio of 25% ASK and 75% PC with a KAO value of 6.05%, the highest stability value obtained at 9% styrofoam variation with KAO 6.50% which is 1249.01 kg. Durability values in filler combinations did not meet specifications, namely 81.76% and a combination of styrofoam mixtures with wood powder ash filler and Portland cement were obtained at 96.51% in accordance with General Specifications of Bina Marga 4th revision in 2018 which is > 90%.

Keywords: Asphalt Pen. 60/70, Styrofoam, Wood Powder Ash, Concrete Asphalt Mixture

Abstrak

Jalan raya memiliki karakteristik yang berbeda-beda yang lama-kelamaan akan mengalami kerusakan. Salah satu upaya untuk meningkatkan mutu campuran laston lapis aus (AC-WC) adalah dengan memodifikasi campuran aspal dengan menambahkan bahan polimer yaitu limbah *styrofoam*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik *Marshall Test* dari substitui penggunaan *styrofoam* sebagai substitusi aspal pen. 60/70 dan abu serbuk kayu sebagai *filler* abu serbuk kayu terhadap campuran laston lapis aus (AC-WC) dan untuk mengetahui pengaruh rendaman dengan variasi waktu 30 menit dan 24 jam. Metode pengujian yaitu pengujian Marshall dan durabilitas pada kadar aspal optimum terbaik dengan menggunakan metode cara basah. Hasil penelitian diperoleh kadar aspal optimum (KAO) yaitu 6,50%, kombinasi campuran abu serbuk kayu dan semen *Portland* yang terbaik didapat dengan perbandingan 25% ASK dan 75% PC dengan nilai KAO 6,05%, nilai stabilitas tertinggi didapat pada variasi *styrofoam* 9% dengan KAO 6,50% yaitu 1249,01 kg. Nilai durabilitas pada kombinasi *filler* tidak memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 81,76 % dan kombinasi campuran *styrofoam* dengan *filler* abu serbuk kayu dan semen *Portland* didapat sebesar 96,51% sesuai dengan spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 4 tahun 2018 yaitu > 90%.

Kata kunci : Aspal Pen. 60/70, Styrofoam, Abu Serbuk Kayu, , Campuran Lapis Aspal Beton

1. Pendahuluan

Salah satu prasarana transportasi yang menunjang perkembangan dan untuk meningkatkan perekonomian suatu wilayah ialah jalan raya. Jalan raya yang sering dilalui oleh kendaraan memiliki karakteristik yang berbeda-beda maka lama-kelamaan jalan akan mengalami kerusakan berupa retak maupun bergelombang sebelum umur rencana.

Salah satu cara untuk meningkatkan mutu campuran aspal agar tahan terhadap beban kendaraan adalah dengan memodifikasi campuran aspal dengan menambahkan bahan polimer untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanik aspal.

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi aspal dengan memanfaatkan limbah plastik yaitu limbah *styrofoam* sebagai bahan pengganti. *Styrofoam* biasa dikenal dengan gabus berwarna putih yang digunakan

sebagai bahan pengepakan atau pembungkus. Pada penelitian ini digunakan limbah *styrofoam* hasil pembungkus makanan. *Styrofoam* memiliki sifat termoplastis, apabila dipanaskan maka *styrofoam* akan melunak dan kembali mengeras ketika telah dingin. Dengan adanya penggunaan *styrofoam* sebagai bahan substitusi aspal diharapkan dapat meningkatkan mutu campuran aspal lapis aus (AC-WC).

Pada penelitian terdahulu, bahan pengisi (*filler*) pada campuran lapis aspal beton biasanya menggunakan *fly ash*, abu batu, abu sekam padi, lanau sungai, dan kapur. Namun bahan-bahan tersebut susah didapatkan dan relatif mahal. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini abu serbuk kayu. Pemilihan abu serbuk kayu sebagai *filler* dikarenakan bahan yang tidak sulit didapatkan dan juga harganya yang tidak mahal. Hasil dari pembakaran serbuk kayu akan menghasilkan abu yang memiliki sifat

sama seperti semen *Portland* yaitu silika yang berfungsi sebagai bahan pengikat. Dengan memanfaatkan abu serbuk kayu sebagai bahan pengisi dapat mengurangi rongga dan meningkatkan stabilitas campuran lapisan perkerasan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC dengan kombinasi penggunaan *styrofoam* sebagai substitusi aspal dan abu serbuk kayu sebagai *filler* dengan metode pencampuran basah, meliputi: nilai stabilitas, *density*, VIM, VFA, VMA, *flow*, dan *Marshall Quotient*.

Dari hasil penelitian ini diperoleh kadar aspal optimum (KAO) yaitu 6,05%. Karakteristik Marshall yang terbaik pada campuran AC-WC dengan substitusi *styrofoam* dengan variasi 9% pada KAO 6,50% dan *filler* abu serbuk kayu didapat pada 25% ASK dan 75% PC. Adapun nilai *density* (2,43 t/m³), VIM (4,35%), VMA (19,49%), VFA (77,75%), stabilitas (1249,01 kg), *flow* (3,13 mm), *Marshall Quotient* (399,79 kg/mm), nilai durabilitas diperoleh yaitu 96,51% sesuai dengan Spesifikasi 2010 revisi 4 tahun 2018 yaitu > 90%.

2. Tinjauan Kepustakaan

2.1 Lapisan Aspal Beton (*Asphalt Concrete*, AC)

Jalan dengan beban lalu lintas yang berat umumnya digunakan beton aspal bergradasi menerus (Sukirman[3]). Lapis aspal beton dibagi menjadi tiga bagian yaitu Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), Laston Lapis Pengikat (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dan Laston Lapis Pondasi AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*). Sifat-sifat campuran lapis aspal beton dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston AC

Sifat-sifat Campuran	Laston (AC)	AC-WC Mod
Jumlah tumbukan perbidang	75	75
Rongga dalam campuran (%)	Min 3,0 Maks 5,0	3,0 5,0
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min 15	15
Rongga terisi aspal (%)	Min 65 Min 800	65 1000
Stabilitas Marshall (kg)	Maks - Min 2	- 2
Pelelehan (mm)	Maks 4	4
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min 250	-
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min 90	90
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min 2	2

Sumber: Bina Marga 2010 Revisi 4 (2018)

2.2 Bahan Campuran Aspal Beton

2.2.1 Aspal

Aspal memiliki sifat termoplastis, yaitu apabila dipanaskan akan mencair dan mengeraskan kembali apabila telah dingin. Pada saat mencair, aspal dapat menyelimuti atau membungkus agregat dalam campuran.

2.2.2 Styrofoam

styrofoam merupakan salah satu jenis polimer plastik yang dapat digunakan untuk bahan substitusi aspal. *Styrofoam* memiliki sifat yang sama seperti aspal yaitu sifat termoplastis. *Styrofoam* akan menjadi lunak jika dicampur dengan bensin dan dapat berfungsi sebagai perekat.

Aquina[1], telah melakukan penelitian mengenai karakteristik campuran aspal porous dengan substitusi *styrofoam* pada aspal pen. 60/70. Variasi kombinasi *styrofoam* yang digunakan adalah 5%, 7%, dan 9%. Dari hasil penelitian, variasi *styrofoam* yang terbaik didapat pada variasi 9% dengan KAO 6,26%.

Isnanda[2], juga telah melakukan penelitian mengenai pengaruh substitusi *polystyrene* (Ps) dan abu arang tempurung kelapa sebagai *filler* terhadap campuran AC-WC. Variasi kombinasi *styrofoam* yang digunakan 7%, 9%, dan 11%. Dari hasil penelitian, variasi *styrofoam* yang terbaik didapat pada variasi 11% dengan KAO 4,70% yaitu 1497,85%.

2.2.3 Agregat

Agregat merupakan batuan dari hasil alam atau buatan yang berupa butir batu pecah, pasir, dan kerikil. Agregat berfungsi sebagai bahan campuran beraspal yang dapat menahan beban pada bagian perkerasan jalan, sehingga mutu agregat sangat berpengaruh terhadap kemampuan campuran aspal.

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan merupakan campuran dari diameter-diameter butiran agregat yang menggunakan satu set saringan, untuk menunjukkan gradasi agregat atau klasifikasi agregat digunakan suatu grafik dalam skala logaritma. Menurut Bukhari, et al.[4], gradasi agregat merupakan gradasi yang saling mengunci akibat adanya distribusi partikel agregat yang dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan.

2.2.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi adalah partikel yang berbutir halus yang mempunyai ukuran partikelnya < 0,075 mm (lolos saringan No. 200). *Filler* berfungsi sebagai pengisi antar rongga agregat kasar untuk mengurangi besar rongga, meningkatkan viskositas suatu campuran agregat, dan meningkatkan stabilitas kerapatan.

Semen *Portland* merupakan hasil dari pencampuran dan pembakaran batu kapur yang berbentuk bubuk berfungsi untuk merekatkan agregat-agregat dan mengisi antar rongga udara diantara butir agregat.

Abu serbuk kayu adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran serbuk kayu. Pada pembakaran serbuk kayu dengan suhu tertentu abu dihasilkan mengandung silika sebagai bahan pengikat dan perekat antar rongga agregat.

Cahya[5], telah melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan abu serbuk kayu sebagai *filler* pada campuran pada campuran laston lapis aus (AC-WC). Penggunaan variasi abu serbuk kayu dan semen *Portland* sebagai *filler* masing-masing sebesar 75%-25%, 50%-50%, 25%-75%, dan 0%-100%. Dari

penelitian, KAO terbaik didapat pada variasi *filler* 0% ASK-100% SP dengan nilai 5,31%.

2.2.5 Aspal Modifikasi Polimer

Pencampuran antara aspal keras dengan suatu bahan tambahan lainnya disebut dengan aspal modifikasi. Persyaratan sifat-sifat fisis aspal modifikasi polimer dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Persyaratan Sifat-Sifat Fisis Aspal Modifikasi Polimer

Sifat-sifat Fisis Aspal	Standar	Syarat
Berat jenis (25°C)	SNI 06-2441-2011	$\geq 1,0$
Penetrasi (25°C; 5 detik; 0,1 mm; 100gr)	SNI 2456:2011	≥ 50
Daktilitas (25°C; 5 cm/detik)	SNI 2432-2011	≥ 50
Titik lembek, °C	SNI 2434-2011	≥ 48

Sumber: Bina Marga 2010 Revisi 4 (2018)

2.3 Perencanaan Campuran Aspal Beton

2.3.1 Gradasi rencana

Gradasi menerus merupakan gradasi agregat yang digunakan untuk perencanaan campuran laston lapis aus. Spesifikasi gradasi laston lapis aus dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Spesifikasi Gradasi Agregat Laston Lapis Aus (AC-WC)

Ukuran ayakan		% Berat yang Lolos
ASTM	(mm)	AC-WC
¾"	19	100
½"	12,5	90-100
3/8"	9,5	77-90
No.4	4,75	53-69
No.8	2,36	33-53
No.16	1,18	21-40
No. 30	0,6	14-30
No. 50	0,3	9-22
No. 100	0,15	6-15
No. 200	0,075	4-9

Sumber: Bina Marga 2010 Revisi 4 (2018)

2.3.2 Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal awal dibutuhkan untuk perencanaan sebelum didapatkan kadar aspal optimum. Nilai kadar aspal rencana (P_b) dapat ditentukan oleh persamaan di bawah ini:

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \dots \dots \dots 1)$$

Dimana:

P_b = kadar aspal tengah

CA = tertahan saringan No.8;

FA = lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No. 200;

Filler = lolos saringan No. 200;

K = konstanta 0,5–1 untuk lapis AC-WC

2.4 Uji Marshall

Pengujian dengan menggunakan alat Marshall adalah metode campuran yang paling banyak digunakan di Indonesia (Sukirman[6]). Parameter Marshall meliputi, nilai stabilitas, *density*, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA), kelelahan plastis (*flow*), dan *Marshall Quotient*.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh dan di Laboratorium Material Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Aceh. Agregat yang digunakan adalah kerikil pecah yang diproduksi di PT. Perdana Dinamika Persada yang berlokasi di Leupung Baleu, Kecamatan Kuta Cot Glie, Kabupaten Aceh Besar. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. *Styrofoam* yang digunakan adalah salah satu limbah plastik pembungkus makanan yang telah dipotong kecil-kecil untuk pencampuran ke dalam aspal pen. 60/70. Abu serbuk kayu digunakan sebagai *filler* bersumber dari tempat penggergajian kayu dan yang terdapat di panglong kayu di Jl. Iskandar, Kecamatan Ulee Kareng, Banda Aceh, sedangkan *filler* yang digunakan adalah semen *Portland* dikombinasikan dengan abu serbuk kayu merupakan produksi PT. Lafarge Cement Indonesia. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina.

3.1 Variasi Kadar Aspal

Kadar aspal rencana atau kadar aspal tengah divariasikan menjadi 5 variasi yang memiliki perbedaan 0,5% di setiap variasinya. Dua kadar aspal di bawah kadar aspal rencana dan dua kadar aspal di atas kadar aspal rencana.

3.2 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan diperoleh data untuk mengetahui nilai dari karakteristik campuran laston AC-WC. Cara penentuan KAO dengan metode Marshall dan benda uji substitusi *styrofoam* dan *filler* abu serbuk kayu dengan menggunakan metode pencampuran basah dapat dilihat pada Tabel 4 sampai dengan Tabel 7.

Tabel 4 Menentukan Nilai KAO dengan Metode Marshall

Kadar:Aspal Pen 60/70	Kode Benda Uji	Total
$P_b - 1,0\%$	KA011 KA012 KA013	3
$P_b - 0,5\%$	KA021 KA022 KA023	3
P_b	KA031 KA032 KA033	3
$P_b + 0,5\%$	KA041 KA042 KA043	3
$P_b + 1,0\%$	KA051 KA052 KA053	3
Jumlah		15

Tabel 5 Benda Uji dengan Substitusi Filler Kombinasi Abu Serbuk Kayu dan Semen Portland

Kombinasi Filler Abu Serbuk kayu dan Semen Portland	Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah (Buah)
25% PC : 75% ASK	KAO _(Bw)	PA11, PA12, PA13	9
	KAO	PA21, PA22, PA23	
	KAO _(At)	PA31, PA32, PA33	
50% PC : 50% ASK	KAO _(Bw)	TA11, TA12, TA13	9
	KAO	TA21, TA22, TA23	
	KAO _(At)	TA31, TA32, TA33	
75% PC : 25% ASK	KAO _(Bw)	SA11, SA12, SA13	9
	KAO	SA21, SA22, SA23	
	KAO _(At)	SA31, SA32, SA33	
0% PC : 100% ASK	KAO _(Bw)	LA11, LA12, LA13	9
	KAO	LA21, LA22, LA23	
	KAO _(At)	LA31, LA32, LA33	
Jumlah			36

Tabel 6 Benda Uji Substitusi Styrofoam dan Filler Abu Serbuk Kayu dengan Menggunakan Metode Pencampuran Basah

Kadar Styrofoam (%)	Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah (Buah)
7%	KAO _(Bw)	BA11, BA12, BA13	9
	KAO	BA21, BA22, BA23	
	KAO _(At)	BA31, BA32, BA33	
9%	KAO _(Bw)	BB11, BB12, BB13	9
	KAO	BB21, BB22, BB23	
	KAO _(At)	BB31, BB32, BB33	
11%	KAO _(Bw)	BC11, BC12, BC13	9
	KAO	BC21, BC22, BC23	
	KAO _(At)	BC31, BC32, BC33	
Jumlah			27

Tabel 7 Benda Uji dengan Rendaman 30 Menit dan 24 Jam

Variasi Benda Uji	Jumlah Benda Uji Rendaman 30 Menit (Buah)	Jumlah Benda Uji Rendaman 24 Jam (Buah)
Benda uji dengan abu serbuk kayu dan Semen Portland sebagai filler	3	3
Benda uji substitusi styrofoam dan filler abu serbuk kayu dengan menggunakan metode pencampuran basah	3	3
Jumlah	6	6
Total Benda Uji	12	

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pemeriksaan Gradasi

Agregat yang didapat tidak dapat digunakan langsung dalam campuran, karena tidak memenuhi spesifikasi gradasi. Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan untuk penyesuaian gradasi menggunakan analisa saringan. Hasil pemeriksaan gradasi rencana dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Pemeriksaan Gradasi Rencana (AC-WC)

Ukuran Saringan		Lapisan Beton Aspal (AC-WC)		
		% Berat yang lolos	% Berat yang tertahan	
Saringan	Ukuran (mm)	Spesifikasi	Gradasi Uji Rencana	Tertahan Kumulatif
3/4"	19,0	100	100,0	
1/2"	12,5	90 – 100	92,2	7,8
3/8"	9,5	77 – 90	86,4	5,8
No. 4	4,75	53 – 69	64,8	21,6
No. 8	2,36	33 – 53	43,2	21,6
No. 16	1,18	21 – 40	31,4	11,8
No. 30	0,60	14 – 30	17,9	13,5
No. 50	0,30	9 – 22	12,0	5,8
No. 100	0,15	6 – 15	8,3	3,7
No. 200	0,075	4 – 9	6,2	2,1
Filler	0	0	0	21,6
				35,25

Gambar 1 Grafik Gradasi Rencana Laston (AC-WC)

4.2 Sifat-Sifat Fisis Aspal

Pemeriksaan sifat dari fisis aspal meliputi: yaitu pemeriksaan berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 dan pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal modifikasi dapat dilihat pada Tabel 9 dan 10.

Tabel 9 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Pen. 60/70

Sifat-sifat Fisis Aspal	Standar	Satuan	Syarat	Hasil
Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	gr/cm ³	≥ 1,0	1,029
Penetrasi	SNI 06-2456-1991	(0,1 mm)	60-70	65
Daktilitas	SNI 06-2432-1991	cm	≥ 100	120
Titik lembek	SNI 06-2434-1991	°C	≥ 48	49

Tabel 10 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Modifikasi (Substitusi Styrofoam)

Sifat-sifat Fisis Aspal	Satuan	Variasi Persentase Kombinasi Plastik			Persyaratan
		7%	9%	11%	
Berat Jenis	-	1,035	1,04	1,05	≥ 1,0
Penetrasi	(0,1 mm)	60	54	51	≥ 50
Titik Lembek	°C	48,5	49	49,5	≥ 48
Daktilitas	cm	120	120	120	≥ 50

4.3 Penentuan Kadar Aspal

Gradasi perencanaan memiliki sebesar: Ca = 35,2%, Fa = 58,5%, Filler = 6,2% dan konstanta yang diambil adalah 0,5. Maka kadar aspal tengah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035(\% \text{CA}) + 0,045(\% \text{FA}) + 0,18(\% \text{Filler}) + \\ &\quad \text{Konstanta} \\ &= 0,035(35,2\%) + 0,045(58,5\%) + 0,18(6,2\%) + \\ &\quad 0,55 \\ &= 1,232 + 2,633 + 1,116 + 0,55 \\ &= 5,5 \end{aligned}$$

4.4 Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Didapat dari hasil analisis Marshall dengan kadar aspal sebesar 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; dan 6,5%. Dapat dilihat pada Tabel. 11.

Tabel 11 Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan KAO

Karakteristik	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi	
	Campuran	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	BM (2018)
Density (t/m ³)		2,42	2,43	2,46	2,45	2,44	-
VIM (%)		7,75	6,60	4,66	4,30	4,07	Min. 3 - 5
VMA (%)		18,31	18,39	17,79	18,56	19,44	Min 15
VFA (%)		57,85	64,18	74,39	76,95	79,16	Min. 65
Stabilitas (kg)		1157,73	1071,68	1108,75	929,05	1002,61	Min. 800
Flow (mm)		3,93	3,90	4,00	3,83	3,73	Min 2-4
MQ (kg/mm)		336,90	275,65	279,14	250,77	274,44	Min. 250

KAO yang diperoleh sebesar 6,05% yang memenuhi semua spesifikasi parameter Marshall. Nilai KAO tersebut selanjutnya divariasikan menjadi 3 (tiga) kadar aspal dengan *range* nilai KAO diperoleh lebih kecil dari 1% maka campuran akan diuji pada batas *range* bawah, tengah dan batas atas menjadi 5,6 %; 6,05% dan 6,50%. Grafik penentuan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:

Gambar 2 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.5 Pengujian Marshall Kombinasi Filler

Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall Kombinasi dapat dilihat pada Tabel 12 sampai Tabel 15.

Tabel 12 Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall Kombinasi Filler ASK 25% dan PC 75%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi
Campuran	5,60	6,05	6,50	BM (2018)
Density (t/m ³)	2,45	2,44	2,44	-
VIM (%)	487	4,39	3,86	Min. 3 – 5
VMA (%)	18,17	18,72	19,24	Min. 15
VFA (%)	73,21	76,57	79,99	Min. 65
Stabilitas (kg)	1047,95	1129,51	1119,14	Min. 1000
Flow (mm)	3,33	3,87	3,93	Min. 2 – 4
MQ (kg/mm)	315,86	292,80	284,85	Min. 300

Tabel 13 Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall Kombinasi Filler ASK 50% dan PC 50%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi
Campuran	5,6	6,05	6,50	BM (2018)
Density (t/m ³)	2,40	2,36	2,36	-
VIM (%)	6,46	7,09	6,67	Min.3 – 5
VMA (%)	19,49	20,98	21,55	Min. 15
VFA (%)	66,91	66,29	69,10	Min. 65
Stabilitas (kg)	1383,23	1210,11	1180,68	Min. 1000
Flow (mm)	3,90	4,03	3,20	Min. 2 – 4
MQ (kg/mm)	355,69	310,12	370,08	Min. 300

Tabel 14 Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall Kombinasi Filler ASK 75% dan PC 25%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi
Campuran	5,6	6,05	6,50	BM (2018)
Density (t/m ³)	2,36	2,37	2,36	-
VIM (%)	7,03	6,11	5,71	Min. 3 – 5
VMA (%)	19,86	20,01	20,60	Min. 15
VFA (%)	64,7	69,53	72,37	Min. 65
Stabilitas (kg)	1452,01	1206,43	1213,61	Min. 1000
Flow (mm)	3,93	3,87	3,33	Min. 2 – 4
MQ (kg/mm)	368,93	313,35	364,95	Min. 300

Tabel 15 Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall Kombinasi Filler ASK 0% dan PC 100%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi
Campuran	5,6	6,05	6,50	BM (2018)
Density (t/m ³)	2,33	2,31	2,36	-
VIM (%)	8,86	8,90	6,48	Min.3 – 5
VMA (%)	21,54	22,49	21,37	Min. 15
VFA (%)	58,86	60,48	69,72	Min. 65
Stabilitas (kg)	1131,17	973,15	1232,17	Min. 1000
Flow (mm)	3,63	3,20	3,30	Min. 2 – 4
MQ (kg/mm)	312,53	303,56	375,10	Min. 300

4.6 Hasil Marshall dengan Substitusi Styrofoam

Dari hasil pengujian Marshall maka didapatkan nilai parameter Marshall campuran terbaik kombinasi filler abu serbuk kayu dan semen Portland dengan perbandingan 25% ASK dan 75% PC yang selanjutnya akan digunakan untuk pengujian Marshall terhadap campuran substitusi styrofoam, dapat dilihat pada Tabel 15 sampai Tabel 17.

Tabel 16 Pengujian Marshall Substitusi Styrofoam 7%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi
	5,60%	6,05%	6,50%	
Campuran				BM (2018)
Density (t/m^3)	2,41	2,42	2,42	-
VIM (%)	6,28	5,29	4,57	Min. 3 – 5
VMA (%)	19,33	19,43	19,78	Min. 15
VFA (%)	67,51	72,79	76,98	Min. 65
Stabilitas (kg)	1173,32	1052,41	1075,54	Min. 1000
Flow (mm)	3,23	4,43	4,30	Min. 2 – 4
MQ (kg/mm)	363,92	237,83	253,14	Min. 300

Tabel 17 Pengujian Marshall Substitusi Styrofoam 9%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi
	5,60%	6,05%	6,50%	
Campuran				BM (2018)
Density (t/m^3)	2,43	2,41	2,43	-
VIM (%)	5,66	5,93	4,35	Min. 3 – 5
VMA (%)	18,71	19,89	19,49	Min. 15
VFA (%)	69,73	70,18	77,55	Min. 65
Stabilitas (kg)	1103,02	1175,76	1249,01	Min. 1000
Flow (mm)	3,50	3,20	3,13	Min. 2 – 4
MQ (kg/mm)	315,34	368,79	399,79	Min. 300

Tabel 18 Pengujian Marshall Substitusi Styrofoam 11%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)			Spesifikasi
	5,60%	6,05%	6,50%	
Campuran				BM (2018)
Density (t/m^3)	2,43	2,42	2,39	-
VIM (%)	5,73	5,47	6,15	Min. 3 – 5
VMA (%)	18,64	19,36	20,87	Min. 15
VFA (%)	69,26	71,73	70,51	Min. 65
Stabilitas (kg)	1079,39	1149,93	1101,14	Min. 1000
Flow (mm)	3,63	3,83	3,70	Min. 2 – 4
MQ (kg/mm)	297,59	305,42	298,04	Min. 300

Berdasarkan hasil diatas, pada kombinasi abu serbuk kayu sebagai *filler* dan substitusi *styrofoam* diperoleh kombinasi terbaik pada persentase 9% dengan kadar aspal 6,50% dan nilai stabilitas 1249,01 kg telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 4 (2018).

4.7 Pengujian Durabilitas

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian durabilitas yaitu benda uji pada pengujian Marshall dengan waktu rendaman 30 menit dan 24 jam pada suhu 60 °C. Hasil rekapitulasi pengujian durabilitas dapat dilihat pada Tabel 19 berikut:

Tabel 19 Hasil Rekapitulasi Pengujian Durabilitas

Variasi Benda Uji	Rendaman 30 Menit	Rendaman 24 Jam	Hasil
(a)	(b)	(c)	(d)=c/b
Benda uji dengan abu serbuk kayu dan semen <i>Portland</i> sebagai <i>filler</i>	1087,17	888,87	81,76%
Benda uji dengan substitusi <i>styrofoam</i> dan <i>filler</i> abu serbuk kayu dengan menggunakan metode pencampuran basah	1168,41	1127,60	96,51%

4.10 Pembahasan

Dari hasil tersebut menunjukkan nilai durabilitas untuk campuran beton aspal kombinasi *filler* abu serbuk kayu yang efektif ini tidak memenuhi syarat spesifikasi yaitu $\geq 90\%$, nilai yang didapatkan sebesar 81,76% berarti campuran tidak memiliki nilai keawetan meskipun memiliki stabilitas yang tinggi. Sedangkan pada campuran kombinasi *styrofoam* 9% dan *filler* abu serbuk kayu efektif telah memenuhi syarat spesifikasi dengan nilai 96,51%. Nilai durabilitas pada campuran laston lapis aus (AC-WC) dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 Hasil Pengujian Durabilitas Benda Uji dengan Filler ASK dan Benda Uji filler dengan Styrofoam 9%

5. Kesimpulan

1. KAO divariasikan menjadi 3 kadar aspal yaitu 5,60%, 6,05%, dan 6,50%. Berdasarkan evaluasi parameter Marshall diperoleh kadar aspal optimum (KAO) 6,05%.
2. Berdasarkan evaluasi terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC- WC dengan variasi persentase abu serbuk kayu dan semen *Portland*, maka didapatkan persentase 25% abu serbuk kayu dan 75% semen *Portland* sebagai substitusi terbaik, dengan nilai KAO sebesar 6,05%.
3. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada kadar aspal 6,50% dengan substitusi kombinasi limbah *styrofoam* 9% yaitu sebesar 1249,01 kg. Nilai stabilitas yang diperoleh sebesar 96,51% telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 4. Nilai durabilitas untuk campuran beton aspal kombinasi *filler* abu serbuk kayu yang efektif tidak memenuhi syarat menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 4 (2018) yaitu $\geq 90\%$, nilai yang didapatkan sebesar 81,76%. Pada campuran kombinasi *styrofoam* dan *filler* abu serbuk kayu efektif telah memenuhi syarat spesifikasi dengan nilai 96,51%.

6. Saran

1. Dilakukan penelitian dengan subjek yang sama namun variasi bahan tambah yang berbeda.
2. Dilakukan pengujian reaksi kimia terhadap bahan tambah sehingga dapat mengetahui pengaruh zat tersebut terhadap campuran aspal.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penelitian yang serupa namun menggunakan aspal porus.

7. Daftar Pustaka

- [1] H. Aquina, S. M. Saleh, dan R. Anggraini, *Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70*. Jurnal Teknik Sipil, Volume 1, Nomor 3, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014.
- [2] Isnanda, S. M. Saleh, dan M. Isya, *Pengaruh Substitusi Polystyrene (Ps) dan Abu Arang Tempurung Kelapa sebagai Filler terhadap Karakteristik Campuran AC-WC*, Volume 1 Special Issue, Nomor 3, Januari, 2018, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2018.
- [3] S. Sukirman, *Pekerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung, 2009.
- [4] Bukhari, et all, *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan*, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2007
- [5] C. Y. Cahya, *Pengaruh Penggunaan Abu Serbuk Kayu Sebagai Filler Pada Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC)*, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2018.
- [6] S. Sukirman, *Campuran Beraspal Panas*, Penerbit Granit, Bandung, 2003.
- [7] Direktorat Jendral Bina Marga, *Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 4 Divisi 6*, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta, 2018.