

PENGARUH SUBSTITUSI *POLYSTYRENE (PS)* DAN ABU ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN AC-WC

Isnanda¹, Sofyan M. Saleh², Muhammad Isya³

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111
email: ndas85@gmail.com

^{2,3)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: sofyan.saleh@unsyiah.ac.id², m_isya@unsyiah.ac.id³

Abstract: *Asphalt concrete strength is influenced by the material properties of the mixture. Asphalt mixture can be modified by adding several kinds of additives, ranging from chemical additives, natural materials, and the rest of the waste. One of the waste materials that were encountered and also difficult to disentangle by nature is plastic waste. One way to use it with the use as an additive in asphalt mixture. This mixture is also called polymer modified asphalt. In this study, the polymer material of the type used plastic Polystyrene (PS) and the use of coconut charcoal powder as filler in a mixture of AC-WC. Stone dust, cement, and fly ash hard to come by and relatively expensive. Coconut charcoal powder has the elements in the asphalt that is non-Polar Carbon by 91% is expected to be one alternative. This study aims to determine the effect of substitution of plastic using the dry process and the use of a filler combination of coconut charcoal powder and portland cement mixture on the characteristics Marshall of the AC-WC. Early stages of this research is to find the optimum asphalt content (OAC). After OAC obtained and then do the test object without substitution manufacture plastics and plastic waste substitution percentage variation PS 7%, 9%, 11% to the weight of the asphalt is substituted into the aggregate. The results showed substitution PS plastic on asphalt mix, the value of stability increased compared with no substitution of plastic. Value of stability without the plastic substitution of 1270.24 kg while the value of stability effective of PS substitution percentage of 11% with asphalt content of 4.70% which amounted to 1497.85 kg. the value of durability of a AC-WC mixture with and without substitution PS plastic by dry process not meeting the requirements of <90%.*

Keywords : *AC-WC mixture, Modified Asphalt, Polystyrene (PS), and Dry Process*

Abstrak: Kekuatan beton aspal dipengaruhi oleh sifat-sifat dari material campuran. Campuran aspal dapat dimodifikasi dengan menambah beberapa macam zat tambahan, mulai dari aditif bahan kimia, bahan alam, dan sisa limbah. Salah satu bahan limbah yang banyak ditemui dan juga sulit untuk diurai oleh alam adalah limbah plastik. Salah satu cara untuk memanfaatkannya dengan menggunakan sebagai bahan tambahan pada campuran beraspal. Campuran ini disebut juga dengan aspal modifikasi polimer. Pada penelitian ini bahan polimer yang digunakan dari jenis plastik *Polystyrene (PS)* serta penggunaan abu arang tempurung kelapa sebagai *filler* pada campuran AC-WC. Abu batu, semen dan *fly ash* susah didapatkan dan harganya relatif mahal. Abu arang tempurung kelapa memiliki unsur-unsur pada aspal yaitu Carbon non Polar sebesar 91% diharapkan dapat menjadi salah satu alternatifnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi plastik dengan cara kering serta penggunaan *filler* kombinasi abu arang tempurung kelapa dan semen *portland* terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Tahapan awal penelitian ini adalah mencari kadar aspal optimum (KAO). Setelah KAO didapat kemudian dilakukan pembuatan benda uji tanpa substitusi plastik dan dengan substitusi variasi persentase limbah plastik PS 7%, 9%, 11% terhadap berat aspal yang disubstitusikan ke dalam agregat. Hasil penelitian menunjukkan substitusi plastik PS pada campuran aspal, nilai stabilitas campuran meningkat dibandingkan dengan tanpa substitusi plastik. Nilai stabilitas tanpa substitusi plastik sebesar 1270,24 kg

sedangkan nilai stabilitas dari persentase substitusi terbaik jenis PS 11% pada kadar aspal 4,70% yaitu sebesar 1497,85 kg. Untuk nilai durabilitas campuran AC-WC dengan dan tanpa substitusi plastik PS tidak memenuhi persyaratan yaitu $\leq 90\%$.

Kata kunci : Campuran AC-WC, Aspal Modifikasi, *Polystyrene* (PS), cara kering.

Di Indonesia pada umumnya ruas-ruas jalan menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, yaitu lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada. Untuk mendukung kemampuan jalan raya, diperlukan perkerasan beraspal yang baik, material yang baik dan perawatan yang baik pula. Campuran beraspal dapat dimodifikasi dengan menambahkan beberapa macam zat tambahan, mulai dari aditif bahan kimia, bahan alam dan sisa limbah. Salah satu bahan limbah yang banyak ditemui dan juga sulit untuk diurai oleh alam adalah limbah plastik, sehingga diperlukan solusi untuk mengurangi limbah tersebut. Salah satu cara untuk memanfaatkan limbah plastik tersebut adalah dengan menggunakannya sebagai bahan tambahan pada campuran aspal. Aspal yang dicampur dengan bahan tambahan plastik disebut aspal modifikasi polimer.

Aspal modifikasi polimer yang digunakan pada campuran beraspal dapat meningkatkan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, mengatasi keretakan dan meningkatkan ketahanan dari kerusakan akibat penuaan (Polacco, 2005). Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan plastik dalam campuran aspal dapat meningkatkan kualitas campuran salah satunya jenis *polystyrene* (PS). *Styrofoam* merupakan salah satu limbah plastik dari jenis

PS.

Aquina (2014) menjelaskan substitusi *Styrofoam* ke dalam aspal penetrasi 60/70 dengan variasi 5%, 7%, dan 9%. Dari hasil yang didapat nilai stabilitas cenderung meningkatkan seiring dengan peningkatan kadar *Styrofoam*.

Mashuri dan Batti (2011) menyatakan bahwa penggunaan *styrofoam* pada rentang 6,0% sampai 12,0% cenderung meningkatkan nilai stabilitas Marshall, sementara nilai durabilitas cenderung meningkat pada kadar *styrofoam* antara 6% sampai 10% dan cenderung menurun kembali pada kadar *styrofoam* diatas 10%, dimana variasi *styrofoam* yang digunakan adalah 6%, 8%, 10% dan 12%.

Selain itu, perkembangan industry arang dari tempurung kelapa di Aceh yang terus meningkat akan berdampak pada peningkatan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran tempurung kelapa yang berupa abu arang tempurung kelapa. Potensi produksi arang dari tempurung kelapa yang besar, jika tidak dimanfaatkan secara optimal abu arang tempurung kelapa akan menjadi limbah sehingga akan mengganggu lingkungan. Adapun usaha-usaha untuk memanfaatkan limbah ini salah satunya penggunaan abu arang tempurung kelapa sebagai bahan filler dalam campuran laston. Mashuri dkk (2006)

menyatakan abu arang tempurung kelapa memiliki unsur-unsur pada aspal yaitu Carbon non Polar sebesar 91%.

Berdasarkan hipotesa diatas, maka perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh penggunaan limbah plastik PS sebagai bahan substitusi terhadap karakteristik campuran AC-WC sebesar 7%, 9% dan 11% terhadap berat aspal dengan cara kering yaitu disubstitusikan ke dalam agregat serta menggunakan *filler* kombinasi abu arang tempurung kelapa dan semen *portland* masing-masing 50% dari berat total *filler*.

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Agregat

Agregat didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Agregat merupakan komponen utama dari perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% berdasarkan persentase volume. (Sukirman, 2003).

Aspal

Menurut Sukirman (2003), aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat termoplastis. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% dari berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume.

Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai modifikasi aspal

yaitu polimer (*plastomer* dan *elastomer*).

Gradasi agregat

Gradasi agregat merupakan distribusi partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci sehingga mempengaruhi stabilitas perkerasan (Bukhari, 2007).

Gradasi agregat untuk campuran AC-WC sesuai spesifikasi teknis Bina Marga (2014) adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Gradasi Agregat Laston Lapis Aus (AC-WC)

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos
ASTM	(mm)	AC-WC
3/4"	19	100
1/2"	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 (2014)

Lapisan Aspal Beton (Laston)

(Sukirman, 2003), menjelaskan Laston adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang berat. Berdasarkan fungsinya, Laston terdiri dari tiga macam campuran, yaitu Laston lapis aus (AC-WC), Laston lapis pengikat (AC-BC) dan Laston lapis pondasi (AC-Base).

Laston lapis aus (AC-WC) merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan. Lapisan ini juga berfungsi sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari

kerusakan akibat air dan cuaca, sebagai lapisan aus dan menyediakan permukaan jalan rata dan tidak licin.

Ketentuan mengenai sifat-sifat dari campuran Laston (AC) dan Laston (AC-Mod) dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3 di bawah ini:

Tabel 2. Ketentuan Sifat-sifat Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran (AC)	Min.	Maks.
Density (gr/cm^3)	2	-
VIM (%)	3,0	5,0
VMA (%)	15	-
VFA (%)	65	-
Stabilitas Marshall (kg)	800	-
Flow (mm)	2	4
Marshall Quotient (kg/mm)	250	-
Stabilitas Marshall sisa (%)	90	-

Sumber: Bina Marga (2014)

Tabel 3. Ketentuan Sifat-sifat Laston (AC-Mod)

Sifat-sifat Campuran (AC-Mod)	Min.	Maks.
Density (gr/cm^3)	2	-
VIM (%)	3,0	5,0
VMA (%)	15	-
VFA (%)	65	-
Stabilitas Marshall (kg)	1000	-
Flow (mm)	2	4
Marshall Quotient (kg/mm)	300	-
Stabilitas Marshall sisa (%)	90	-

Sumber: Bina Marga (2014)

Polystyrene (PS)

Polystyrene adalah sebuah polimer dengan monomer stirena, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi (Mujiarto, 2015). Pada suhu ruangan, Polystyrene biasanya bersifat termoplastik padat, dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi.

Abu arang tempurung kelapa

Abu arang tempurung kelapa mengandung senyawa karbon non polar sama seperti senyawa karbon pada aspal (Mashuri, 2008). Senyawa non polar adalah senyawa yang terbentuk akibat adanya suatu ikatan antar elektron pada unsur-unsur yang membentuknya. Hal ini terjadi karena unsur yang berikatan mempunyai nilai elektronegatifitas yang sama atau hampir sama

METODE PENELITIAN

Pengujian material agregat

Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan adalah batu kali yang dipecah dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*) diproduksi oleh PT. Ayu Lestari Indah yang berasal dari Gp. Lampanah Kec. Indrapuri Kab. Aceh Besar, sedangkan *filler* yang digunakan berupa kombinasi abu arang tempurung kelapa dan semen. Berat jenis abu arang tempurung kelapa menggunakan data sekunder berdasarkan hasil penelitian Mashuri (2008) yaitu sebesar $0,557 \text{ gr/cm}^3$.

Pemeriksaan sifat fisis agregat yang dilakukan meliputi : berat jenis dan penyerapan, berat isi, kepipihan dan kelonjongan, kekerasan, keausan dan kelekatan terhadap aspal.

Pengujian material aspal

Material aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal pen. 60/70 yang berasal dari produksi PT. Pertamina. Pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal meliputi berat jenis, penetrasi, daktilitas dan titik lembek.

Perencanaan Campuran Aspal Beton

Pemilihan gradasi agregat

Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi menerus berdasarkan nilai tengah dari spesifikasi teknis Bina Marga (2014) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Penentuan variasi kadar aspal

Variasi kadar aspal ditentukan berdasarkan pada kadar aspal awal perkiraan yang merupakan kadar aspal tengah/ ideal. Variasi yang digunakan sebanyak 5 variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5%. Untuk penelitian ini, berdasarkan gradasi perencanaan yang menghasilkan nilai kandungan untuk masing-masing fraksi sebesar : CA = 57%, FA = 36,5%, *Filler* = 6,5% dan konstanta yang diambil adalah 0,75. Maka kadar aspal tengah/ ideal sebesar:

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \quad (2.1)$$

$$P_b = 0,035(57) + 0,045(36,5) + 0,18(6,5) + 0,75$$

$$P_b = 1,99 + 1,64 + 1,17 + 0,75$$

$$P_b = 5,55\%$$

Kadar aspal tengah tersebut kemudian dibulatkan mendekati angka 0,5 sehingga menjadi 5,5%. Maka variasi kadar aspal benda uji adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% terhadap berat total campuran.

Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Benda uji campuran AC-WC yang dibuat pada penelitian ini terdiri dari empat kelompok yaitu:

1. Benda uji dengan variasi kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO).
2. Benda uji tanpa substitusi limbah plastik PS pada KAO dan $\pm 0,5\%$ KAO.
3. Benda uji dengan substitusi PS sebesar 7%, 9% dan 11% pada KAO dan $\pm 0,5\%$ KAO.
4. Benda uji dengan dan tanpa substitusi PS yang menghasilkan karakteristik Marshall terbaik untuk menghitung nilai durabilitas.

Setelah pembuatan benda uji selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan pengujian-pengujian Marshall sehingga diperoleh data untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC menggunakan aspal pen. 60/70 serta kombinasi abu arang tempurung kelapa dan semen portland sebagai *filler* masing-masing 50% dari berat total *filler*.

Banyaknya benda uji untuk mengetahui sifat-sifat campuran dan penentuan KAO dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Benda Uji untuk Menentukan KAO Rendaman 30 Menit

Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah
4,5%	A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₃	3 buah
5,0%	A ₂₁ , A ₂₂ , A ₂₃	3 buah
5,5%	A ₃₁ , A ₃₂ , A ₃₃	3 buah
6,0%	A ₄₁ , A ₄₂ , A ₄₃	3 buah
6,5%	A ₅₁ , A ₅₂ , A ₅₃	3 buah
Jumlah		15 Buah

Setelah didapat KAO dengan metode *overlapping*, maka dibuat benda uji pada KAO dan $\pm 0,5\%$ KAO tanpa substitusi PS sebagai benda uji pembanding dan dengan substitusi variasi persentase PS pada KAO dan $\pm 0,5\%$ KAO.

Untuk jumlah benda uji tanpa substitusi

PS dapat dilihat pada Tabel 5:

Tabel 5. Benda Uji tanpa Substitusi Plastik Rendaman 30 Menit

Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah
KAO – 0,5	B ₁₁ , B ₁₂ , B ₁₃	3 buah
KAO	B ₂₁ , B ₂₂ , B ₂₃	3 buah
KAO + 0,5	B ₃₁ , B ₃₂ , B ₃₃	3 buah
Jumlah		9 buah

Untuk bahan substitusi yang digunakan adalah limbah plastik *polystyrene* (PS) berupa busa pembungkus alat-alat elektronik. Metode pencampuran dilakukan dengan cara kering yaitu limbah plastik dimasukkan ke dalam agregat panas. Limbah plastik PS dihancurkan sampai ukuran maksimal 2 x 2 mm².

Jumlah benda uji dengan substitusi PS dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Benda Uji dengan Substitusi Plastik *Polystyrene* (PS) Rendaman 30 Menit

Kadar PS	Kadar Aspal (%)	Kode Benda Uji	Jumlah
7%	KAO – 0,5	S _{A11} , S _{A12} , S _{A13}	9 buah
	KAO	S _{A21} , S _{A22} , S _{A23}	
	KAO + 0,5	S _{A31} , S _{A32} , S _{A33}	
9%	KAO – 0,5	S _{B11} , S _{B12} , S _{B13}	9 buah
	KAO	S _{B21} , S _{B22} , S _{B23}	
	KAO + 0,5	S _{B31} , S _{B32} , S _{B33}	
11%	KAO – 0,5	S _{C11} , S _{C12} , S _{C13}	9 buah
	KAO	S _{C21} , S _{C22} , S _{C23}	
	KAO + 0,5	S _{C31} , S _{C32} , S _{C33}	
	Jumlah		27

Setelah didapat hasil pengujian dengan dan tanpa kadar % plastik PS pada benda uji, maka dipilih salah satu dari masing-masing kadar aspal dan kadar substitusi PS yang terbaik untuk diuji kembali pada rendaman 30 menit dan 24 jam untuk mendapatkan nilai durabilitas seperti yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Benda Uji untuk Pengujian Durabilitas

Jenis Campuran Efektif	Jumlah Benda Uji	
	Rendaman 30 Menit	Rendaman 24 Jam
Tanpa substitusi limbah plastik	3 buah	3 buah
Dengan substitusi limbah plastik <i>Polystyrene</i> (PS)	3 buah	3 buah
Jumlah	6 buah	6 buah
	12 buah	

Total benda uji keseluruhan dalam penelitian ini adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Keseluruhan

Uraian	Jumlah
Benda uji untuk penentuan KAO	15
Benda uji tanpa substitusi plastik <i>polystyrene</i> (PS) pada KAO dan ± 0,5 KAO	9 buah
Benda uji dengan substitusi plastik <i>polystyrene</i> (PS) pada KAO dan ± 0,5 KAO	27 buah
Benda uji untuk pengujian Durabilitas	12
Jumlah	63

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 9. Dari hasil penelitian, sifat-sifat fisis agregat yang digunakan telah memenuhi syarat, kecuali nilai indeks kelonjongan yang berada diatas 10%, akan tetapi di dalam spesifikasi terdapat ketentuan yang menyatakan apabila terdapat ketidaksesuaian, nilai tersebut dapat ditolerir, apabila agregat memenuhi semua ketentuan lainnya, terutama hasil dari pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles* dan hasil pengujian *impact* telah memenuhi syarat.

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat

Sifat-sifat Fisis yang diperiksa	Satuan	Hasil	Syarat
Berat Jenis	-	2,775	Min. 2,5
Penyerapan	%	1,119	Maks. 3
Berat Isi	kg/dm ³	1,656	Min. 1
Indeks Kepipihan	%	9,42	Maks. 10
Indeks Kelonjongan	%	10,66	Maks. 10
Impact	%	8,94	Maks. 30
Keausan	%	15,00	Maks. 40
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	%	98	Min. 95

Hasil pemeriksaan abu arang tempurung kelapa

Hasil analisis saringan terhadap abu arang tempurung kelapa menunjukkan bahwa bahan pengisi (*filler*) tersebut tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam campuran beton aspal. Hal tersebut dikarenakan material abu arang tempurung kelapa lolos saringan no. 200 hanya sebesar 6,45%. Kondisi tersebut tidak memenuhi persyaratan yaitu min. 75%, sehingga perlu perlakuan khusus yaitu dengan cara ditumbuk. Penggunaan abu arang tempurung kelapa dalam penelitian ini hanya fraksi yang lolos saringan no. 200 saja.

Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal pen. 60/70 merupakan data sekunder dari

Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Unsyiah. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal tersebut disajikan pada Tabel 10.

Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian, nilai kadar aspal optimum (KAO) diperoleh adalah sebesar 4,70% yang memenuhi semua persyaratan parameter Marshall. Nilai KAO tersebut selanjutnya divariasikan menjadi tiga kadar aspal menjadi 4,20%; 4,70%; dan 5,20%. Ketiga kadar aspal tersebut digunakan untuk pengujian karakteristik campuran AC-WC dengan dan tanpa substitusi plastik PS.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk penentuan KAO campuran AC-WC disajikan pada Tabel 11.

Hasil pengujian Marshall dengan substitusi plastik PS

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk substitusi variasi persentase plastik PS pada variasi kadar aspal dengan *filler* kombinasi abu arang tempurung kelapa dan semen portland disajikan pada Tabel 12 s.d. Tabel 14.

Tabel 10. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal Pen. 60/70

Sifat-sifat Fisis Aspal	Aspal Pen. 60/70		Syarat
	satuan	Hasil	
Berat jenis	-	1,020	Min. 1
Penetrasi, 25°C; 100 g; 5 detik;	0,1 mm	64	60 - 70
Titik lembek,	° C	48	Min. 48
Daktilitas, 25° C	cm	132	Min. 100

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal Pen. 60/70

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Dept. PU (2014)
	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,26	2,30	2,31	2,31	2,29	-
VIM (%)	4,52	2,44	1,31	0,58	0,41	3 - 5
VMA (%)	27,37	26,74	26,85	27,25	28,06	Min. 15
VFA (%)	83,50	90,91	95,20	97,89	98,54	Min. 65
Stabilitas (kg)	1024,61	1185,92	1173,59	1026,56	1038,68	Min. 800
<i>Flow</i> (mm)	3,77	4,10	4,37	5,17	6,03	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	271,94	291,84	273,30	201,43	171,80	Min. 250

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal 4,20%

Karakteristik Campuran	Kadar PS (%)			Spesifikasi Dept. PU (2014)
	PS 7%	PS 9%	PS 11%	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,23	2,28	2,25	-
VIM (%)	6,42	4,24	5,65	3 - 5
VMA (%)	28,26	26,59	27,67	Min. 15
VFA (%)	77,30	84,04	79,58	Min. 65
Stabilitas (kg)	1189,98	1880,21	1565,27	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	3,83	3,63	3,40	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	314,48	522,73	466,39	Min. 300

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal 4,70%

Karakteristik Campuran	Kadar PS (%)			Spesifikasi Dept. PU (2014)
	PS 7%	PS 9%	PS 11%	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,22	2,27	2,25	-
VIM (%)	5,98	3,99	4,85	3 - 5
VMA (%)	28,85	27,35	28,00	Min. 15
VFA (%)	79,28	85,46	82,69	Min. 65
Stabilitas (kg)	1357,82	1155,56	1464,30	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	4,57	4,97	3,07	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	299,89	237,91	482,93	Min. 300

Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal 5,20%

Karakteristik Campuran	Kadar PS (%)			Spesifikasi Dept. PU (2014)
	PS 7%	PS 9%	PS 11%	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,26	2,27	2,26	-
VIM (%)	3,67	3,27	3,68	3 - 5
VMA (%)	28,04	27,74	28,05	Min. 15
VFA (%)	86,92	88,25	86,88	Min. 65
Stabilitas (kg)	996,17	1332,84	1363,84	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	4,77	5,23	4,33	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	217,03	257,47	349,54	Min. 300

Pembahasan Hasil Pengujian Marshall

Berdasarkan hasil penelitian, nilai *density*

dari semua substitusi variasi persentase limbah

PS pada variasi kadar aspal tidak jauh berbeda

pada campuran AC-WC ini. Nilai *density* pada semua substitusi plastik PS telah memenuhi persyaratan yaitu $\geq 2 \text{ gr/cm}^3$.

Nilai VIM pada campuran AC-WC cenderung fluktuatif pada substitusi limbah plastik PS sebesar 0%, dan 7% nilai VIM meningkat. Pada substitusi PS 9% terjadi penurunan nilai VIM. Pada substitusi PS 11% nilai VIM kembali naik tetapi masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai VMA dari variasi kadar aspal dengan variasi substitusi PS tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada campuran aspal beton ini. Besar kecilnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal yang menyelimuti butir agregat, kadar aspal yang besar akan membentuk selimut butir agregat yang tebal, akibatnya rongga antar agregat semakin besar.

Nilai VFA semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Meningkatnya nilai VFA disebabkan karena semakin banyak aspal yang digunakan, sehingga mengurangi komposisi agregat yang terdapat di dalam campuran.

Nilai stabilitas dengan substitusi PS cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar plastik di dalam aspal. Nilai stabilitas tertinggi didapat pada kadar aspal 4,20% dengan substitusi PS 9% yaitu 1880,21 kg. Peningkatan nilai stabilitas selain karena daya lekat aspal baik terhadap agregat maupun aspal itu sendiri semakin baik sehingga semakin kuat *interlocking* yang terjadi antar butiran.

Nilai flow tertinggi pada substitusi PS 9% dengan kadar aspal 5,2% yaitu sebesar 5,23

mm dan terendah pada substitusi PS 11% dengan kadar aspal 4,7% yaitu sebesar 3,07 mm. Hal ini disebabkan semakin tinggi kadar PS mengakibatkan campuran beraspal menjadi lebih keras.

Nilai MQ terus meningkat seiring dengan semakin besarnya kadar PS dalam aspal. Besarnya nilai MQ yang diperoleh memberikan indikasi bahwa campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur.

Hasil Perhitungan Nilai Durabilitas

Hasil pengujian dan perhitungan parameter Marshall campuran AC-WC tanpa dan dengan substitusi PS yang terbaik terdapat pada kadar aspal masing-masing 4,70% dengan substitusi 11% PS. Berdasarkan hasil tersebut, selanjutnya dibuat benda uji untuk pengujian Marshall rendaman 30 menit dan 24 jam pada suhu 60 °C untuk mendapatkan nilai durabilitas.

Durabilitas diperoleh dari perbandingan antara stabilitas rendaman 24 jam dengan stabilitas rendaman 30 menit. Hasil perhitungan nilai durabilitas untuk kadar aspal terbaik dapat dilihat pada Tabel 15 di bawah ini:

Tabel 15. Rekapitulasi Nilai Durabilitas tanpa dan dengan Substitusi PS Terbaik

Jenis Campuran Aspal	Stabilitas Rendaman	Stabilitas Rendaman	Nilai Durabilitas (%)
a	c	d	e = d/c x 100
Tanpa plastik	1270,24	874,03	68,81
Dengan plastik PS	1497,85	1109,76	74,09

Nilai durabilitas dari campuran AC-WC dengan dan tanpa substitusi plastik PS terbaik

tidak memenuhi persyaratan Dinas Bina Marga (2014) yaitu $\geq 90\%$. Nilai durabilitas yang rendah pada campuran aspal ini disebabkan karena proses pencampuran dengan cara kering dan abu arang tempurung kelapa yang digunakan sebagai filler mempunyai sifat sebagai bahan organik yang rentan dengan pengaruh air.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Nilai stabilitas semakin meningkat dengan adanya bahan substitusi PS pada campuran aspal dibandingkan dengan tanpa PS.
2. Semakin besar persentase plastik PS dalam campuran, nilai VIM cenderung fluktuatif, sedangkan nilai *flow* dan VFA semakin menurun. Nilai *density* dan VMA tidak terjadi perubahan nilai yang besar.
3. Semakin besar plastik PS dalam campuran AC-WC, semakin meningkat nilai MQ. Campuran aspal dengan plastik ini dapat meningkatkan kemampuan konstruksi jalan dalam menerima beban.

Saran

Metode pencampuran plastik PS pada campuran AC-WC ini merupakan cara kering dimana plastik dicampurkan ke dalam agregat yang telah dipanaskan dan kadar plastiknya terhadap berat aspal, disarankan untuk penelitian selanjutnya limbah plastik yang digunakan sebagai pengganti agregat yang mana kadar plastik berdasarkan berat campuran.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- AASHTO, 1990, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 15th ed, AASHTO, Washington, DC.
- Aquina, H, 2014. Pengaruh Penggunaan Styrofoam Ke Dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus, Tesis, Program Pasca Sarjana Unsyiah, Banda Aceh
- Bina Marga, 2014, Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3 Divisi 6. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Bukhari, dkk, 2007, Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- Mashuri dan Batti, 2011, Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Panas, Makalah Ilmiah Teknik Sipil Mektek, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu.
- Pei-Hung, Y., 2000, A study of Potensial use of Asphalt Containing Synthetic Polymers for Asphalt Paving Mixes, Hal. 2-10. USA: UMI.
- Polacco, G., Berlincioni, S. 2005. Asphalt Modification with Different Polyethylene Based Polymer. European Polymer Journal 41. pp 2831. Italia.
- Sukirman, S, 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Penerbit Granit, Bandung.