

UJI DURABILITAS CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN KOMBINASI LIMBAH PLASTIK DAN ABU CANGKANG KELAPA SAWIT

Roni Agusmaniza¹, Sofyan M. Saleh², Renni Anggraini³

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: roni.agusmaniza@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, renni.anggraini@unsyiah.ac.id³

Abstract: *The cause of damage and strength reduction on highway flexible pavement is the low strength and durability on the wear layer. To cope with this problem, it is necessary to add some particular additive that can increase the asphalt concrete performance. One of the additional material that can be used are plastic. Stone ash, cement and fly ash has been commonly used as a filler in asphalt mixture. But these kind of filler was hard to get and the price were relatively expensive. The palm oil shell ash which has a specific gravity greater than asphalt is expected to be one alternative. This research aims to determine the influence of plastic waste combination substitution into the asphalt pen. 60/70 and the use of palm oil shell ash as filler on AC-WC mixture performance. The plastic used in this research is polyethylene terephthalate, polypropylene and polystyrene. The early stages of this research is to find the optimum asphalt content (OAC). After OAC obtained, then the specimens were mixed without and with the combination substitution of plastic waste as much as 2.7%; 4.7%; 6.7% against the weight of asphalt on OAC + 0.5% with and without the palm oil shell ash as a filler. The study results showed the use of plastic waste combination and the palm oil shell ash can improve the durability value. The highest value of durability obtained at 6.7% combination substitution of plastic waste, it was 111.36%, while the lowest value which found on the use of palm oil shells ash filler was 83.61%. The durability value of AC-WC mixture with and without plastic waste combination substitution had met the requirement, those were $\geq 90\%$, while the use of palm oil shells ash as filler does not meet the requirements.*

Keywords : *Asphalt Concrete-Wearing Course, Plastic Waste Combination, Palm Oil Shell Ash*

Abstrak: Penyebab kerusakan dan penurunan kekuatan perkerasan lentur jalan raya adalah rendahnya kekuatan dan keawetan di dalam lapisan aus. Untuk menanggulangi hal ini dibutuhkan suatu bahan tambah yang dapat meningkatkan lapis aspal beton. Salah satu bahan tambah yang dapat di gunakan adalah plastik. Abu batu, semen dan *fly ash* sudah biasa digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal. Tetapi, jenis *filler* tersebut susah didapatkan dan harganya relatif mahal. Abu cangkang kelapa sawit yang memiliki berat jenis lebih besar dari aspal, diharapkan dapat menjadi alternatifnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai durabilitas campuran AC-WC menggunakan kombinasi limbah plastik dan abu cangkang kelapa sawit. Plastik yang digunakan pada penelitian ini adalah *Polyethylene Terephthalate*, *Polypropylene* dan *Polystyrene*. Tahap awal penelitian ini adalah mencari kadar aspal optimum (KAO). Setelah KAO didapat kemudian dilakukan pembuatan benda uji tanpa dan dengan substitusi kombinasi limbah plastik sebesar 2,7%; 4,7%; 6,7% terhadap berat aspal pada KAO + 0,5% tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler*. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan kombinasi limbah plastik dapat meningkatkan nilai durabilitas. Nilai durabilitas tertinggi didapat pada substitusi kombinasi limbah plastik 6,7% yaitu 111,36% sedangkan yang terendah terdapat pada penggunaan *filler* abu cangkang kelapa sawit yaitu 83,61%. Nilai Durabilitas campuran AC-WC tanpa dan dengan substitusi kombinasi limbah plastik memenuhi syarat yaitu $\geq 90\%$, sedangkan penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* tidak memenuhi persyaratan.

Kata kunci : Campuran AC-WC, Kombinasi Limbah Plastik, Abu Cangkang Kelapa Sawit

Salah satu alasan utama kerusakan dan penurunan kekuatan perkerasan lentur jalan raya adalah rendahnya kekuatan dan keawetan di dalam lapisan aus dan bahan ikat konstruksi perkerasan jalan. Untuk menanggulangi hal ini dibutuhkan suatu bahan tambah yang dapat meningkatkan lapis aspal beton. Salah satu bahan tambah yang dapat di gunakan adalah plastik. plastik yang dapat digunakan adalah plastik jenis *polyethylene terephthalate* (PET), *polypropylene* (PP) dan *polystyrene* (PS).

Penelitian-penelitian terdahulu menjelaskan bahwa penambahan plastik ke dalam campuran aspal dapat meningkatkan kualitas campuran. Widodo dkk (2014) menyatakan penambahan plastik PET dalam campuran AC-WC dengan variasi sebesar 2%; 4% dan 6% dari berat aspal dapat memperbaiki nilai stabilitas campuran. Saputra (2012) menyatakan penambahan plastik PP pada campuran aspal beton dengan variasi 0%-5% dapat meningkatkan stabilitas campuran. Aquina (2014) menjelaskan substitusi *styrofoam* ke dalam aspal penetrasi 60/70 dengan variasi 5%; 7% dan 9% cenderung meningkatkan nilai stabilitas seiring dengan peningkatan kadar *syrofoam*.

Berdasarkan beberapa penelitian tentang abu cangkang kelapa sawit (*palm oil shell ash*), terlihat adanya persamaan dengan *fly ash* yang telah banyak digunakan sebagai *filler* untuk campuran beraspal. Abu batu, semen dan *fly ash* sudah biasa digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal. Tetapi, jenis *filler* tersebut susah didapatkan dan harganya

relatif mahal. Abu cangkang kelapa sawit yang memiliki berat jenis lebih besar dari aspal, diharapkan dapat menjadi salah satu alternatifnya.

Berdasarkan hipotesa di atas, maka dilakukan penelitian terhadap nilai durabilitas menggunakan kombinasi limbah plastik dan abu cangkang kelapa sawit. Penggunaan kombinasi limbah plastik yang digunakan sebesar 2,7%; 4,7% dan 6,7% terhadap berat aspal. Nilai kombinasi limbah plastik dari ketiga jenis plastik tersebut di dapat berdasarkan penelitian yang dilakukan Widodo (2014), Aquina (2014) dan Saputra (2012) dengan mengambil sepertiga dari masing-masing kadar plastik PET 2%, 4%, 6%, PS 5%, 7%, 9% dan PP 1%, 3%, 5% untuk selanjutnya dijumlahkan.

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Laston Lapis Aus (AC-WC)

Lapisan AC-WC adalah sebagai lapis permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberika lapis kedap air yang dapat melindungi lapis di bawahnya dari rembesan air. (Sukirman, 1999). Ketentuan sifat-sifat campuran Laston (AC) dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Ketentuan Sifat-sifat Laston (AC)

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

Sumber: Bina Marga (2014)

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. Penggunaan polimer sebagai bahan untuk memodifikasi aspal terus berkembang di dalam dekade terakhir (Pei-Hung, 2000). Ketentuan sifat-sifat campuran Laston (AC-Mod) dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. 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)

Plastik adalah istilah umum bagi polimer, jenis plastik yang dapat digunakan adalah plastik *polyethylene terephthalate* (PET), *polypropylene* (PP) dan *polystyrene* (PS).

Nurminah (2002) menjelaskan PET merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik. Dengan pemanasan akan menjadi lunak dan mencair pada suhu 110 °C. PP merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik. Dengan pemanasan akan menjadi lunak dan mencair pada suhu 160°C (Nurminah, 2002). PS adalah sebuah polimer dengan monomer stirena, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat

secara komersial dari minyak bumi (Mujiarto, 2015). Pada suhu ruangan, PS biasanya bersifat termoplastik padat, dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi.

Agregat

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

Abu cangkang Kelapa Sawit

Menurut Fauziah dan Henri (2013) menyebutkan abu cangkang kelapa sawit (ACKS) adalah limbah padat yang berasal dari pembakaran cangkang kelapa sawit yang dipergunakan sebagai bakar untuk menghasilkan uap pada proses penggilingan minyak sawit.

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.

Durabilitas

Durabilitas (keawetan) merupakan kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas, gesekan, serta keausan akibat cuaca dan iklim (Sukirman, 2003 : 77).

Gradasi agregat

Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci (*interlocking*) sehingga dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan (Bukhari, 2007). Gradasi agregat untuk campuran AC-WC seperti pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. 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)

METODE PENELITIAN

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan aspal. Setelah semua hasil dari pemeriksaan sifat-sifat fisis material dan sesuai dengan spesifikasi, maka dilakukan perencanaan pembuatan benda uji dan pengujian Marshall.

Pengujian material agregat

Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan adalah batu kali yang dipecah dengan mesin pemecah batu yang berasal dari Seulimum Kabupaten Aceh Besar, sedangkan abu cangkang kelapa sawit berasal dari pabrik PT. Fajar Baizury & Brothers yang

berlokasi di Kabupaten Nagan Raya.

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

Aspal terlebih dahulu diperiksa sifat-sifat fisisnya baik dengan maupun tanpa substitusi kombinasi limbah plastik sebelum digunakan. Aspal yang dipakai dalam penelitian ini yaitu aspal keras penetrasi 60/70. Untuk bahan substitusi kombinasi limbah plastik yang digunakan adalah PET, PP dan PS. Aspal murni dipanaskan terlebih dahulu, selanjutnya dicampur dengan kombinasi limbah plastik yang telah dihancurkan sampai ukuran maksimal 2 x 2 mm² sesuai dengan kadar substitusi yang direncanakan. Setelah aspal dan kombinasi limbah plastik menjadi homogen, selanjutnya dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisisnya yang 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. Variasi yang digunakan sebanyak 5 variasi yang

masing-masing berbeda 0,5%. Kadar aspal tengah sebesar:

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

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

$$P_b = 5,55\%$$

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

Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Benda uji campuran AC-WC yang dibuat pada penelitian ini adalah:

1. Benda uji dengan variasi kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO).
2. Benda uji tanpa substitusi kombinasi limbah plastik pada KAO dan $\pm 0,5\%$ KAO.
3. Benda uji dengan substitusi kombinasi limbah plastik sebesar 2,7%, 4,7% dan 6,7% pada KAO + 0,5% dengan *filler* semen.
4. Benda uji dengan substitusi kombinasi limbah plastik sebesar 2,7%, 4,7% dan 6,7% pada KAO + 0,5% dengan *filler* abu cangkang kelapa sawit
5. Benda uji tanpa dan dengan substitusi kombinasi limbah plastik tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* untuk menghitung nilai durabilitas.

Jumlah benda uji untuk penentuan KAO

dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Benda Uji untuk Menentukan KAO Rendaman 30 Menit

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

Setelah didapat KAO dengan metode overlapping, maka dibuat benda uji tanpa dan dengan substitusi kombinasi limbah plastik tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai filler. Jumlah benda uji tanpa substitusi kombinasi limbah plastik dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Benda Uji tanpa Substitusi Kombinasi Limbah Plastik Rendaman 30 Menit

Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah
KAO - 0,5	N ₁₁ , N ₁₂ , N ₁₃	3 buah
KAO	N ₂₁ , N ₂₂ , N ₂₃	3 buah
KAO + 0,5	N ₂₁ , N ₂₂ , N ₂₃	3 buah
Jumlah		6 buah

Jumlah benda uji dengan substitusi kombinasi limbah plastik dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Benda Uji Substitusi Kombinasi Limbah Plastik Rendaman 30 Menit

Kadar Plastik	Kadar Aspal (%)	Kode Benda Uji	Jumlah
2,7%	KAO + 0,5	S _{A11} , S _{A12} , S _{A13}	3 buah
4,7%	KAO + 0,5	S _{B21} , S _{B22} , S _{B23}	3 buah
6,7%	KAO + 0,5	S _{C31} , S _{C32} , S _{C33}	3 buah
Jumlah			9 buah

Jumlah benda uji dengan substitusi kombinasi limbah plastik dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7. Benda Uji Substitusi Kombinasi Limbah Plastik dengan Abu Cangkang Kelapa sawit sebagai *filler* Rendaman 30 Menit

Kadar Plastik	Kadar Aspal (%)	Kode Benda Uji	Jumlah
2,7%	KAO + 0,5	A _{A11} , A _{A12} , A _{A13}	3 buah
4,7%	KAO + 0,5	A _{B21} , A _{B22} , A _{B23}	3 buah
6,7%	KAO + 0,5	S _{C31} , S _{C32} , S _{C33}	3 buah
Jumlah			9 buah

Jumlah benda uji untuk mendapatkan nilai durabilitas seperti yang terlihat pada Tabel 8 di bawah ini:

Tabel 8. Benda Uji Pengujian Durabilitas

Jenis Campuran Efektif	Jumlah Benda Uji	
	Rendaman 30 Menit	Rendaman 24 Jam
Tanpa substitusi kombinasi limbah plastik dengan <i>filler</i> semen	3 buah	3 buah
Substitusi kombinasi limbah plastik dengan <i>filler</i> semen	3 buah	3 buah
Substitusi kombinasi limbah plastik dengan <i>filler</i> abu cangkang kelapa sawit	3 buah	3 buah
Jumlah	6 buah	6 buah
		12 buah

Total benda uji keseluruhan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Keseluruhan

Uraian	Jumlah
Benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO)	15 buah
Benda uji tanpa substitusi kombinasi limbah plastik dengan <i>filler</i> semen pada KAO dan $\pm 0,5$ KAO	9 buah
Benda uji dengan substitusi kombinasi limbah plastik dengan <i>filler</i> semen pada KAO + 0,5	9 buah
Benda uji dengan substitusi kombinasi limbah plastik dengan <i>filler</i> abu cangkang kelapa sawit pada KAO + 0,5	9 buah
Benda uji untuk pengujian Durabilitas	12 buah
Jumlah	54 buah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa sifat-sifat fisis material pembentuk campuran AC-WC dan evaluasi parameter Marshall untuk menentukan KAO, tanpa substitusi kombinasi limbah plastik pada KAO dan + 0,5% KAO serta substitusi kombinasi limbah plastik tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit pada KAO + 0,5%.

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 10.

Dari hasil penelitian, sifat-sifat fisis agregat yang digunakan telah memenuhi syarat, kecuali nilai indeks kepipihan dan kelonjongan yang berada diatas 10% yaitu sebesar 17,18% dan 15,80%, akan tetapi di dalam spesifikasi Bina Marga 2006 uraian tentang agregat kasar terdapat ketentuan yang menyatakan apabila terdapat ketidaksesuaian,

nilai tersebut dapat ditolerir.

Tabel 10. 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	%	17,18	Maks. 10
Indeks Kelonjongan	%	15,80	Maks. 10
<i>Impact</i>	%	8,94	Maks. 30
Keausan	%	15,00	Maks. 40
Kelekatan Terhadap Aspal Agregat	%	98	Min. 95

Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal pen. 60/70 murni maupun dengan substitusi kombinasi plastik dapat di lihat pada Tabel 11 berikut.:

Tabel 11. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal Pen. 60/70 dengan Subtitusi Kombinasi Limbah plastik

Sifat-sifat Fisis Aspal	Kadar Kombinasi Plastik				Syarat
	0%	2,7%	4,7%	6,7%	
Berat jenis	1,020	1,027	1,033	1,036	Min. 1
Penetrasi, 25°C; 100 g; 5 detik; 0,1 mm	63,89	62,00	53,56	51,22	50 - 70
Titik lembek, °C	48	48	49,50	52,50	Min. 48
Daktilitas, 25 °C, cm	120	63,33	56,33	50,63	Min. 50

Dari tabel di atas menunjukkan semakin bertambah kadar kombinasi limbah plastik ke dalam aspal mengakibatkan semakin besar nilai berat jenis dan titik lembek aspal.

Nilai penetrasi dan daktilitas semakin menurun pada kadar kombinasi limbah plastik yang semakin besar. Penurunan ini menunjukkan bahwa aspal semakin keras dan cenderung bersifat getas.

Pemeriksaan abu cangkang kelapa sawit

Penggunaan abu cangkang kelapa sawit pada penelitian ini hanya fraksi yang lolos saringan no. 200 saja. Abu cangkang kelapa sawit yang tidak lolos saringan no. 200 dapat dilakukan perlakuan khusus yaitu dengan cara ditumbuk agar dapat lolos saringan no. 200.

Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian, nilai parameter Marshall dari variasi kadar aspal pen. 60/70, selanjutnya dianalisa untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO).

KAO yang diperoleh adalah sebesar 5,301% yang memenuhi semua persyaratan parameter Marshall. Nilai KAO tersebut selanjutnya divariasikan menjadi tiga kadar aspal menjadi 5,31% dan 5,81%. kadar aspal tersebut digunakan untuk pengujian karakteristik campuran AC-WC tanpa dan dengan substitusi kombinasi limbah plastik tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai filler.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) campuran AC-WC disajikan pada Tabel 12.

Hasil pengujian Marshall tanpa dan dengan substitusi kombinasi plastik tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit

limbah plastik tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada variasi kadar aspal disajikan pada Tabel 13 s.d. Tabel 15.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk variasi persentase substitusi kombinasi

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal Pen. 60/70

Karakteristik Cam- puran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Dept. PU
	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,42	2,45	2,47	2,49	2,48	-
VIM (%)	7,07	5,05	3,52	1,89	1,67	3 - 5
VMA (%)	22,49	21,88	21,70	21,45	22,34	Min. 15
VFA (%)	68,60	76,91	83,79	91,23	92,54	Min. 65
Stabilitas (kg)	14,79	1276,61	1451,07	1427,89	1485,33	Min. 800
<i>Flow</i> (mm)	2,85	3,40	2,35	2,78	3,16	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	552,64	375,26	622,09	565,65	470,53	Min. 250

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall tanpa substitusi kombinasi plastik dengan *Filler* Semen pada KAO dam ± 0,5% KAO

Karakteristik Campuran	Kadar PS (%)			Spesifikasi Dept. PU (2014)
	4,81%	5,31%	5,81%	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,44	2,46	2,49	-
VIM (%)	5,78	4,18	2,35	3 - 5
VMA (%)	22,08	21,83	21,42	Min. 15
VFA (%)	73,83	80,85	89,02	Min. 65
Stabilitas (kg)	1591,33	1602,84	1488,16	Min. 800
<i>Flow</i> (mm)	3,23	3,13	3,37	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	492,44	512,29	442,07	Min. 250

Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan substitusi kombinasi plastik dengan *Filler* Semen pada Kadar Aspal 5,81%

Karakteristik Campuran	Kadar kombinasi plastik (%)			Spesifikasi Dept. PU (2014)
	2,70%	4,70%	6,70%	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,47	2,46	2,45	-
VIM (%)	3,00	3,59	3,87	3 - 5
VMA (%)	21,86	22,27	22,46	Min. 15
VFA (%)	86,28	83,88	82,79	Min. 65
Stabilitas (kg)	2012,02	2136,10	2173,31	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	3,00	2,97	2,93	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	673,94	723,26	744,58	Min. 300

Tabel 15. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada Substitusi Kombinasi Plastik dengan *Filler* Abu Cangkang Kelapa sawit pada Kadar Aspal 5,81%

Karakteristik Campuran	Kadar Kombinasi Plastik (%)			Spesifikasi Dept. PU (2014)
	2,70%	4,70%	6,70%	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,37	2,37	2,37	-
VIM (%)	4,69	4,82	4,94	3 - 5
VMA (%)	25,10	25,14	25,20	Min. 15
VFA (%)	81,34	80,83	80,42	Min. 65
Stabilitas (kg)	2175,18	2213,57	2318,98	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	2,90	2,73	2,63	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	754,24	813,78	889,56	Min. 300

Pembahasan Hasil Pengujian Marshall

Dari hasil perhitungan menunjukkan nilai *density* pada semua jenis variasi persentase substitusi limbah plastik dan penggunaan abu cangkang kelapa sebagai memenuhi persyaratan yaitu $\geq 2 \text{ gr/cm}^3$.

Nilai VIM, VMA, stabilitas dan MQ semakin besar seiring penambahan persentase substitusi kombinasi limbah plastik ke dalam aspal serta penggunaan *filler* abu cangkang kelapa sawit. nilai VIM besar disebabkan aspal sebagai bahan pengisi pori-pori antar agregat menjadi lebih kental. Selain itu, penggunaan abu cangkang kelapa sawit dengan berat jenis yang lebih kecil dari semen mengakibatkan volume *filler* besar sehingga aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik. Sedangkan besar kecilnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal yang menyelimuti agregat.

Peningkatan nilai stabilitas pada campuran AC-WC ini disebabkan semakin bertambahnya kadar persentase substitusi kombinasi limbah plastik ke dalam aspal, akibatnya daya lekat aspal baik terhadap

agregat maupun aspal itu sendiri semakin baik dan penggunaan *filler* Abu cangkang kelapa sawit pada kadar aspal yang cukup akan terjadi saling mengisi rongga-rongga campuran dengan baik. Nilai MQ yang terus meningkat memberikan indikasi bahwa campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur.

Nilai VFA dan *Flow* semakin menurun seiring dengan bertambahnya persentase substitusi kombinasi limbah plastik ke dalam aspal serta penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler*. Menurunnya nilai VFA karena semakin banyak penambahan plastik kedalam aspal menjadi aspal lebih kental. Nilai VFA juga dipengaruhi oleh penggunaan abu cangkang kelapa sawit yang mempunyai berat jenis lebih kecil dari semen. Nilai Flow terus menurun akibat dari penambahan kombinasi limbah plastik ke dalam aspal menjadi lebih keras dan getas. penggunaan abu cangkang kelapa sawit pada campuran mengakibatkan berkurang sifat plastisnya.

Hasil Perhitungan dan Pembahasan Nilai Durabilitas

Hasil pengujian Marshall pada campuran AC-WC yang terbaik terdapat pada tanpa substitusi kombinasi plastik yaitu kadar aspal 5,31% dan substitusi kombinasi plastik tanpa dan dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada kadar aspal 5,81% dengan substitusi kombinasi plastik 6,7%. Berdasarkan hasil tersebut, selanjutnya dibuat benda uji pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai durabilitas dari campuran aspal tersebut. Hasil perhitungan nilai durabilitas untuk kadar aspal efektif dapat dilihat pada Tabel 16 berikut:

Tabel 16. Rekapitulasi Nilai Durabilitas

Jenis Campuran Aspal	Stabilitas Rendaman 30 Menit	Stabilitas Rendaman 24 Jam	Nilai Durabilitas (%)
a	b	c	$e = \frac{c}{b} \times 100$
Tanpa substitusi plastik	1610,68	1493,81	92,74
Substitusi plastik	2185,30	2433,53	111,36
Substitusi plastik dengan ACKS	2334,59	1952,00	83,61

Tabel 16 menunjukkan bahwa nilai durabilitas campuran AC-WC yang didapatkan pada tanpa dengan substitusi kombinasi plastik dengan semen sebagai *filler* yaitu 92,74% dan 111,36% serta nilai durabilitas pada substitusi kombinasi plastik dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* yaitu 83,61%. Nilai Durabilitas pada tanpa dan dengan substitusi kombinasi plastik dengan semen sebagai *filler* memenuhi persyaratan yaitu $> 90\%$, sedangkan nilai durabilitas pada substitusi kombinasi limbah

plastik dengan abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh Dinas Bina Marga 2010 revisi 3 tahun 2014. Tetapi nilai durabilitas 83,61% ini, masih memenuhi persyaratan yang diisyaratkan oleh Dinas Bina Marga 2006 dan AASHTO 1993 yaitu $\geq 75\%$.

Nilai durabilitas yang besar pada campuran AC-WC ini bisa terjadi karena aspal yang sudah disubstitusikan dengan plastik mengakibatkan campuran aspal lebih peka terhadap perubahan temperatur sehingga menghasilkan nilai durabilitas yang tinggi. Selain itu, nilai durabilitas yang tinggi di pengaruhi oleh nilai VIM yang kecil dan juga bisa terlihat dari nilai titik lembek aspal yang meningkat. Pemakai *filler* semen portland juga bisa menjadi salah satu penyebab durabilitas yang besar. *Filler* semen yang digunakan dapat mengisi rongga-rongga yang terdapat di dalam campuran dengan baik sehingga lebih kedap air, peka terhadap pengaruh suhu dan cuaca. Selain itu adanya kandungan silika (SiO_2) yang terdapat pada semen portland yaitu suatu senyawa kimia yang apabila dicampur dengan air akan menghasilkan daya ikat yang kuat antar agregat dan aspal sehingga nilai stabilitas yang diperoleh menjadi lebih tinggi seiring dengan lamanya perendaman

Nilai durabilitas yang kecil pada campuran AC- WC ini karena nilai VIM, VMA yang didapat besar dan nilai VFA kecil. Artinya campuran AC-WC ini memiliki rongga-rongga yang besar sehingga air mudah masuk ke dalam pori campuran yang

mengakibatkan sifat adhesi dan kohesi menjadi berkurang. Selain itu, rongga yang besar didalam campuran mengakibatkan banyak udara di dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara, menjadi getas, durabilitasnya menurun.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, aspal pen. 60/70 dan aspal pen. 60/70 yang sudah disubstitusi kombinasi plastik telah memenuhi syarat
2. Berdasarkan evaluasi parameter Marshall diperoleh kadar aspal optimum (KAO) 5,31%. KAO tersebut + 0.5% untuk selanjutnya disubstitusi dengan kombinasi limbah plastik .
3. Nilai VIM, VMA, stabilitas dan MQ semakin meningkat seiring penambahan substitusi kombinasi limbah plastik serta penggunaan *filler* abu cangkang kelapa sawit, sedangkan nilai *density*, VFA dan *flow* cenderung terus menurun.
4. Nilai durabilitas tanpa dan dengan substitusi kombinasi plastik dengan filler semen memenuhi syarat, sedangkan penggunaa abu cangkang kelapa sawit sebagai *filler* tidak memenuhi syarat
5. Nilai durabilitas tertinggi terdapat pada substitusi kombinasi limbah plastik dengan semen sebagai *filler* yaitu 11,36%

Saran

1. Pada penelitian ini menggunakan kadar

aspal KAO dan + 0,5% KAO, untuk penelitian selanjutnya disarankan mengambil Kadar aspal KAO + 0,5 dan + 1.

2. Penelitian selanjutnya disaran menggunakan plastik yang lebih kompleks serta menggunakan pencampuran cara kering dan menggunakan gradasi senjang.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- AASTHO, 1990, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 15thed, AASHTO, Washington, DC.
- Bukhari, dkk, 2007, Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan, Fakultas Teknik, Universitas Syia Kuala.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 2014, Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3 Divisi 6. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Fauziah, M dan Henri, F., 2013, Pemanfaatan Limbah cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kekuatan Dan Keawetan Campuran Asphal Concrete Binder Course (AC-BC), Prodi Teknik Sipil FTSP Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Mujiarto, I, 2005, sifat dan karakteristik material plastic dan bahan aditif, Traksi Vol. 3 No. 2 Desember 2015.
- Nurminah, M, 2002, Penelitian Sifat berbagai bahan kemasan plastik dan kertas serta pengaruhnya terhadap

bahan yang di kemas, Fakultas pertanian, Jurusan Teknologi Pangan, Universitas Sumatera Utara.

Pei-Hung, Y., 2000, A study of Potensial use of Asphalt Containing Synthetic Polymers for Asphalt Paving Mixes, Hal. 2-10. USA: UMI.

Sukirman, S, 1999, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Nova, Bandung.

Sukirman, S, 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Penerbit Granit, Bandung.