



ANALISIS MARSHALL CAMPURAN AC-WC DENGAN BUTON GRANULAR ASPHALT DAN ABU CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI

Rahmadi^{a,*}, Sofyan M. Saleh^b, Renni Anggraini^c

^aMagister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^{b,c}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Corresponding author, email address: rahmadidekgam@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received 20 May 2018

Received in revised form 23 July 2018

Accepted 07 August 2018

Kata kunci :

Flexible Pavement, modify the asphalt, Buton Granular Asphalt (BGA), palm kernel shell

ABSTRACT

Flexible Pavement often experiences an early collapse resulting from high temperatures and heavy loads in the field. One way to overcome the damage, by using added materials to modify the asphalt. In this study the added ingredients used were Buton Granular Asphalt (BGA) as asphalt and aggregate substitution on AC-WC mixture and utilization of ash waste of palm kernel shell (APKS) as filler substitution material. The purpose of this research is to know the comparison of AC-WC mixture's characteristics with and without BGA and APKS as substitution materials. The first step of this research was to examine the physical properties of bitumen and aggregate, then made the specimens for determination of Optimum Asphalt Content (OAC) either without or with variations of BGA percentage of 4%, 6%, and 8%. After OAC using the BGA acquired then OAC were varied to OAC-0,5; OAC and OAC+0,5 for subsequent test specimens with APKS filler and portland cement respectively 50% of total filler's weight by Marshall method. Based on the result of this research, OAC value obtained in the mixture without BGA and APKS was 5,31%, while effective asphalt content value with BGA and APKS substitution obtained at 6,54% at level of 8% BGA. The Marshall's characteristic values using APKS and BGA tended to be better than those without BGA and APKS. Stability value of asphalt mixture without substitution was 1,602.84 kg while using BGA and APKS was 2,223.93 kg. Value of density, flow, and VFA increased with increasing asphalt content in the mixture, while VIM, VMA and MQ value decreased. The durability value of AC-WC mixture with effective BGA was 95.90%, while the durability value without BGA and APKS was 92.76%. Durability value without and with the substitution of BGA and APKS had fulfilled the requirement that was >90%.

©2018 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Secara umum terdapat dua jenis keruntuhan perkerasan jalan beraspal. Pertama, ketidaktahanan perkerasan terhadap retak akibat persentase aspal dalam campuran yang relatif rendah dan tingginya persentase rongga dalam campuran. Kedua, ketidaktahanan perkerasan terhadap deformasi akibat aspal terlalu kaku, persentase aspal dalam campuran tinggi dan rongga udara dalam campuran rendah (Hermadi dan Kurniadji, 2014).

Untuk menanggulangi keruntuhan dini campuran beraspal, apabila sudah tidak dapat ditanggulangi dengan memperbaiki *properties* campuran beraspal antara lain dengan merubah proporsi aspal dan

agregat, maka dapat pula dengan menggunakan bahan tambah yang telah direkomendasikan untuk memodifikasi aspal yang sekaligus juga untuk memperbaiki kinerja campuran beraspal.

Pada penelitian ini bahan tambah yang digunakan untuk memodifikasi aspal adalah Buton Granular Asphalt (BGA). BGA adalah jenis aspal alam yang berasal dari Pulau Buton dengan kadar aspal yang bervariasi dari 10% s.d. 40%. Berbagai penelitian dan pemanfaatan BGA ini telah dilaksanakan, baik sebagai bahan substitusi maupun sebagai material dasar campuran beton aspal.

Keunggulan utama BGA yaitu tahan terhadap perubahan temperatur yang disebabkan oleh titik leleh lebih tinggi dibandingkan aspal minyak. Namun dari beberapa sumber mengenai penelitian BGA, diperlukan bahan pelunak yang berfungsi melunakkan bitumen asbuton sehingga akan mengubah sifat fisik dan keawetan bitumen mendekati aspal minyak penetrasi 60/70 (Mantong, 2014).

Selain penggunaan BGA sebagai bahan substitusi aspal, penelitian ini juga mencoba menggunakan ACKS sebagai bahan substitusi filler. ACKS merupakan hasil pembakaran dari cangkang sawit yang digunakan untuk menghasilkan uap pada penggilingan minyak sawit. Beberapa penelitian 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.

Berdasarkan hipotesa di atas, maka dilakukan penelitian terhadap pengaruh substitusi BGA pada aspal pen. 60/70 dan agregat terhadap kinerja campuran AC-WC dengan gradasi menerus berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 (2014). Untuk memodifikasi aspal dipergunakan persentase BGA sebesar 4%, 6%, dan 8% terhadap berat aspal dan agregat serta filler pada penelitian ini adalah kombinasi 50% semen portland dan 50% ACKS berdasarkan berat total filler.

2. KAJIAN PUSTAKA

Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah, penambahan ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal antara lain penetrasi, kekentalan (viskositas) dan titik leleh (Anonim, 2004).

Buton Granular Asphalt (BGA)

BGA merupakan asbuton hasil pemrosesan secara mekanis dengan ukuran butir, kadar air, kadar bitumen dan penetrasi sesuai dengan ketentuan (Dept. PU, 2008).

Beberapa ketentuan aspal alam butir yang dikutip dari Spesifikasi Aspal Alam Butir, Departemen PU (2006) disajikan pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1.

Sifat *Buton Granular Asphalt* (BGA)

Sifat-sifat Asbuton Butir	Metode Pengujian	BGA (15/25)
Kadar bitumen asbuton (%)	SNI 03-3640-1994	23-27
	Ukuran Butir Maksimum (mm)	
Lolos Ayakan No. 8 (%)	SNI 03-1968-1990	100
Lolos Ayakan No. 16 (%)	SNI 03-1968-1990	Min. 95
Kadar air (%)	SNI 03-2490-1991	Mak.2
Penetrasi (25°C; 5 detik; 0,1 mm)	SNI 03-2456-1991	10-18

Sumber: Dept. PU (2006)

Lapisan Aspal Beton (Laston)

Laston adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang berat (Sukirman, 2003). 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).

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

Tabel 2.
Ketentuan Sifat-sifat Laston (AC) dan Laston Modifikasi (AC-Mod)

Sifat-sifat Campuran (AC)	Laston (AC)		Laston (AC-Mod)	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Density (gr/cm ³)	2	-	2	-
VIM (%)	3,0	5,0	3,0	5,0
VMA (%)	15	-	15	-
VFA (%)	65	-	65	-
Stabilitas Marshall (kg)	800	-	1000	-
Flow (mm)	2	4	2	4
Marshall Quotient (kg/mm)	250	-	300	-
Stabilitas Marshall sisa(%)	90	-	90	-

Sumber: Bina Marga(2014)

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).

Abu Cangkang Kelapa Sawit (ACKS)

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

Suparma, et al (2014), menyebutkan bahwa berat jenis abu cangkang kelapa sawit sebesar 2,199 gr/cm³. Abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama silikon oksida (SiO₂) yang memiliki sifat reaktif dan aktivitas pozzolanik bagus yang bisa beraksi menjadi bahan yang keras dan kaku. Silika dioksida ini dapat meningkatkan kekuatan tekan campuran beraspal karena dapat mengurangi susut dan meningkatkan daya tahan terhadap keretakan.

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.

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).

Rincian gradasi agregat untuk campuran AC-WC sesuai spesifikasi teknis Bina Marga (2014) adalah seperti pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4.
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)

3. 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 yang berasal dari Seulimum, Aceh Besar, sedangkan *filler* yang digunakan berupa kombinasi ACKS dan semen. Berat jenis ACKS menggunakan data sekunder berdasarkan hasil penelitian Suparma (2014) yaitu sebesar 2,199 gr/cm³.

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

Pengujian sifat-sifat fisis aspal yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian penetrasi, titik lembek, daktilitas dan berat jenis aspal.

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 4.

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:

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \quad (1)$$

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

$$P_b = 5,55\%$$

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

Penentuan variasi penggunaan *Buton Granular Asphalt* (BGA)

BGA yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe 15/25 yang di produksi oleh PT. Jiangquan. Substitusi BGA ke dalam campuran aspal dilakukan dengan beberapa variasi yaitu sebesar 0%, 4%, 6% dan 8%. Tidak ada rumus tertentu untuk mendapatkan variasi substitusi BGA.

Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

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

1. Benda uji dengan variasi kadar aspal pen. 60/70 dalam campuran AC-WC dan variasi persentase BGA sebesar 0%, 4%, 6% dan 8% menggunakan *filler* 100% semen untuk penentuan KAO;
2. Benda uji pada KAO untuk 0% BGA dan benda uji dengan 4%, 6%, 8% BGA pada KAO dan $\pm 0,5$ KAO serta *filler* kombinasi 50% semen dan 50% ACKS dalam campuran AC-WC;
3. Benda uji tanpa BGA pada KAO dan dengan substitusi % BGA dan ACKS pada kadar aspal efektif serta penggunaan *filler* kombinasi 50% semen portland dan 50% ACKS dengan rendaman suhu 60°C selama 30 menit dan 24 jam untuk menghitung nilai durabilitas.

Banyaknya benda uji untuk mengetahui sifat-sifat campuran dan penentuan KAO dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5.
 Benda Uji untuk Menentukan KAO Rendaman 30 Menit

Kadar BGA	Kadar Aspal	Jumlah
0%	4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5%	15
4,0%	4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5%	15
6,0%	4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5%	15
8,0%	4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5%	15
Jumlah		60

Setelah didapat KAO, selanjutnya dibuat benda uji pada KAO dan $\pm 0,5$ KAO pada substitusi 4%, 6% dan 8% BGA, 50% *filler* semen dan 50% ACKS untuk mengetahui kadar aspal yang menghasilkan karakteristik Marshall terbaik.

Jumlah benda uji tanpa dan dengan substitusi BGA dan ACKS pada KAO dan $\pm 0,5$ KAO rendaman 30 menit dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6.
 Benda Uji dengan Substitusi BGA serta *Filler* Kombinasi ACKS dan Semen Rendaman 30 Menit

Kadar BGA	Kadar Aspal (%)	Kode Benda Uji	Jumlah
4%	KAO - 0,5	AA11, AA12, AA13	9 buah
	KAO	AA21, AA22, AA23	
	KAO + 0,5	AA31, AA32, AA33	
6%	KAO - 0,5	AB11, AB12, AB13	9 buah
	KAO	AB21, AB22, AB23	
	KAO + 0,5	AB31, AB32, AB33	
8%	KAO - 0,5	AC11, AC12, AC13	9 buah
	KAO	AC21, AC22, AC23	
	KAO + 0,5	AC31, AC32, AC33	
Jumlah			27 buah

Setelah didapat hasil pengujian dengan kadar % BGA dan ACKS pada benda uji, maka dipilih salah satu % BGA dan ACKS yang terbaik untuk diuji kembali pada rendaman 30 menit dan 24 jam sebanyak 6 buah untuk mendapatkan nilai dari durabilitas seperti yang terlihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7.
Benda Uji untuk Pengujian Durabilitas

Jenis Campuran Efektif	Jumlah Benda Uji	
	Rendaman 30 Menit	Rendaman 24 Jam
Tanpa substitusi BGA	3 buah	3 buah
Dengan % efektif BGA serta <i>filler</i> 50% ACKS	3 buah	3 buah
Jumlah	6 buah	6 buah
	12 buah	

Total benda uji keseluruhan dalam penelitian ini adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 8 di bawah ini:

Tabel 8.
Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Keseluruhan

Uraian	Jumlah
Benda uji untuk menentukan KAO dengan dan tanpa Substitusi BGA	60 buah
Benda uji substitusi BGA dan ACKS pada KAO dan $\pm 0,5$ KAO	27 buah
Benda uji untuk pengujian Durabilitas	12 buah
Jumlah	99 buah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 9 di bawah ini:

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

Dari hasil penelitian, sifat-sifat fisis agregat yang digunakan telah memenuhi syarat, kecuali nilai indeks kepipihan dan kelonjongan yang berada diatas 10%, akan tetapi di dalam spesifikasi terdapat ketentuan yang menyatakan apabila terdapat ketidaksesuaian, nilai tersebut dapat ditolerir, apabila agregat memenuhi hasil dari pengujian abrasi dan hasil pengujian *impact* telah memenuhi syarat.

Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal pen.60/70, memperlihatkan bahwa aspal tersebut dapat digunakan karena memenuhi persyaratan. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal tersebut disajikan pada Tabel 10 di bawah ini:

Tabel 10.

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

Sifat-sifat Fisis Aspal	Satuan	Hasil	Syarat
Berat Jenis	-	1,020	Min. 1
Penetrasi	(mm)	63,89	60 - 70
Titik Lembek	°C	48,00	Min. 48
Daktilitas	Cm	120,00	Min. 100

Hasil pemeriksaan abu cangkang kelapa sawit (ACKS)

Hasil analisis saringan terhadap ACKS menunjukkan bahwa bahan pengisi (*filler*) tersebut tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam campuran aspal. Hal tersebut dikarenakan material ACKS lolos saringan no. 200 hanya sebesar 16,51%, kondisi tersebut tidak memenuhi persyaratan yaitu min. 75%. Penggunaan ACKS dalam penelitian ini hanya fraksi yang lolos saringan no. 200 saja.

Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) tanpa BGA dan ACKS

Berdasarkan hasil pengujian Marshall, maka diperoleh nilai parameter Marshall. Nilai parameter Marshall selanjutnya dianalisa untuk memperoleh nilai KAO. Nilai KAO yang diperoleh adalah sebesar 5,31%.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk penentuan KAO campuran AC-WC tanpa substitusi disajikan pada Tabel 11 di bawah ini:

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)	2.42	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)	1479.70	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

Hasil pengujian Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan BGA

Kadar aspal Optimum (KAO) yang diperoleh untuk substitusi 4%, 6% dan 8% BGA adalah masing-masing sebesar 5,39%; 5,51% dan 6,14% yang memenuhi semua persyaratan parameter Marshall untuk campuran AC-WC. Nilai KAO tersebut selanjutnya divariasikan menjadi tiga kadar aspal yaitu pada KAO dan KAO ± 0,5%. Kadar aspal untuk substitusi 4% BGA menjadi 4,89%; 5,39% dan 5,89%. Substitusi 6% BGA kadar aspalnya divariasikan menjadi 5,01%; 5,51% dan 6,01% dan pada substitusi

8% BGA menjadi 5,64%; 6,14% dan 6,54%. Tahapan selanjutnya adalah pembuatan benda uji pada semua variasi kadar aspal tersebut dengan menggunakan 50% ACKS dan 50% semen sebagai *filler*.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall dengan substitusi variasi persentase BGA pada variasi kadar aspal untuk penentuan KAO disajikan pada Tabel 12 s.d. Tabel 14 di bawah ini:

Tabel 12.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada Variasi Kadar Aspal dengan Substitusi 4% BGA

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Dept. PU (2014)
	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,40	2,41	2,46	2,50	2,49	-
VIM (%)	7,47	6,40	3,85	1,46	1,34	3 - 5
VMA (%)	22,88	22,99	21,97	21,11	22,08	Min. 15
VFA (%)	67,38	72,18	82,51	93,06	94,20	Min. 65
Stabilitas (kg)	2070,68	1821,75	1867,01	1755,16	2026,80	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	2,70	4,20	2,35	5,70	5,00	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	770,94	443,42	795,20	309,62	421,59	Min. 250

Tabel 13.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada Variasi Kadar Aspal dengan Substitusi 6% BGA

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Dept. PU (2014)
	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,34	2,35	2,38	2,38	2,40	-
VIM (%)	9,81	9,10	6,93	6,43	4,74	3 - 5
VMA (%)	24,83	25,21	24,46	25,09	24,76	Min. 15
VFA (%)	60,52	63,91	71,68	74,36	80,92	Min. 65
Stabilitas (kg)	1984,51	1723,39	2087,00	2007,36	1963,84	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	3,00	3,60	2,50	3,75	5,55	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	661,53	482,49	884,00	555,20	353,83	Min. 250

Tabel 14.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada Variasi Kadar Aspal dengan Substitusi 8% BGA

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Dept. PU (2014)
	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2,32	2,32	2,38	2,43	2,46	-
VIM (%)	10,83	9,93	6,82	4,24	2,48	3 - 5
VMA (%)	25,69	25,90	24,38	23,33	22,98	Min. 15
VFA (%)	57,83	61,66	72,01	81,86	89,19	Min. 65
Stabilitas (kg)	2121,60	2415,36	2491,52	2128,82	2241,39	Min. 1000
<i>Flow</i> (mm)	5,80	4,75	2,05	3,70	4,20	2 - 4
<i>MQ</i> (kg/mm)	399,02	546,77	1242,19	579,96	533,33	Min. 250

Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi Variasi Persentase BGA pada KAO dan KAO $\pm 0,5$ dengan ACKS sebagai Bahan Substitusi *Filler*

Hasil pengujian parameter Marshall dengan variasi persentase substitusi BGA pada KAO dan KAO $\pm 0,5$ dengan ACKS sebagai *filler* untuk campuran AC-WC disajikan bawah ini. Berdasarkan hasil pengujian Marshall tersebut, selanjutnya dianalisa bagaimana perbandingan masing-masing karakteristik Marshall campuran AC-WC dengan substitusi variasi persentase BGA dan ACKS sebagai *filler*.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk variasi persentase substitusi BGA pada variasi kadar aspal disajikan di Tabel 15 s.d. Tabel 17 berikut:

Tabel 15.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi 4% BGA dan 50% ACKS

Karakteristik Campuran	Variasi Kadar Aspal Berdasarkan KAO (%)			Spesifikasi Bina Marga 2014
	4,89	5,39	5,89	
Kepadatan (t/m^3)	2,37	2,40	2,42	-
VIM (%)	7,04	5,01	3,38	3 - 5
VMA (%)	24,34	23,73	23,46	Min. 15
VFA (%)	71,18	78,88	85,61	Min. 65
Stabilitas (Kg)	2075,72	2012,98	2116,87	Min. 1000
Kelelahan (mm)	3,20	2,95	3,65	2 - 4
MQ (Kg/m^3)	644,43	689,16	579,46	Min. 300

Tabel 16.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi 6% BGA dan 50% ACKS

Karakteristik Campuran	Variasi Kadar Aspal Berdasarkan KAO (%)			Spesifikasi Bina Marga 2014
	5,01	5,51	6,01	
<i>Density</i> (t/m^3)	2,37	2,39	2,41	-
VIM (%)	6,89	5,13	3,77	3 - 5
VMA (%)	24,47	24,08	24,02	Min. 15
VFA (%)	71,83	78,70	84,30	Min. 65
Stabilitas (Kg)	2342,54	2264,24	2069,43	Min. 1000
Kelelahan (mm)	2,10	2,70	3,90	2 - 4
MQ (Kg/m^3)	1120,93	844,75	531,40	Min. 300

Tabel 17.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi 8% BGA dan 50% ACKS

Karakteristik Campuran	Variasi Kadar Aspal Berdasarkan KAO (%)			Spesifikasi Bina Marga 2014
	5,64	6,14	6,54	
<i>Density</i> (t/m^3)	2,33	2,37	2,40	-
VIM (%)	7,49	5,33	3,10	3 - 5
VMA (%)	26,22	25,51	24,77	Min. 15
VFA (%)	71,44	79,12	87,50	Min. 65
Stabilitas (Kg)	2743,94	2053,71	2140,59	Min. 1000
Kelelahan (mm)	3,75	3,65	3,55	2 - 4
MQ (Kg/m^3)	742,61	562,52	605,93	Min. 300

Pembahasan Hasil Pengujian Marshall

Nilai *density* dari semua substitusi variasi % BGA pada variasi kadar aspal dengan dan tanpa ACKS sebagai *filler* cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal di dalam campuran. Nilai *density* pada semua jenis campuran telah memenuhi persyaratan yaitu $\geq 2 \text{ gr/cm}^3$.

Nilai VIM dengan substitusi variasi BGA dan 50% ACKS cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal pada campuran. Nilai VIM yang memenuhi syarat yaitu pada KAO+0,5 pada semua variasi persentase BGA.

Nilai VMA dari variasi kadar aspal dengan variasi substitusi BGA 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 cenderung mengalami penurunan dari KAO-0,5 menuju KAO, dan kembali meningkat pada KAO+0,5. Nilai stabilitas terbaik didapat pada kadar aspal 6,54% dengan substitusi BGA 8% yaitu sebesar 2223,60 kg dimana karakteristik Marshall lainnya telah memenuhi syarat.

Nilai *flow* terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal didalam campuran pada semua substitusi % BGA.

Nilai MQ terus menurun seiring dengan semakin besarnya kadar BGA dalam campuran. Nilai MQ yang semakin menurun memberikan indikasi bahwa campuran aspal semakin fleksibel dan lentur.

Hasil Perhitungan Nilai Durabilitas

Hasil pengujian dan perhitungan parameter Marshall campuran AC-WC dengan variasi persentase substitusi BGA dan 50% ACKS sebagai *filler* yang efektif terdapat pada substitusi 8% BGA yaitu kadar aspal 6,64%. Sedangkan kadar aspal efektif untuk campuran AC-WC tanpa substitusi terdapat pada kadar aspal 5,31%. 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 efektif dapat dilihat pada Tabel 18 di bawah ini:

Tabel 18.

Rekapitulasi Nilai Durabilitas tanpa dan dengan Substitusi BGA Efektif

Jenis Campuran Aspal	Stabilitas Rendaman 30 Menit	Stabilitas Rendaman 24 Jam	Nilai Durabilitas (%)
a	c	d	e = d/c x 100
Tanpa BGA dan ACKS	1610,68	1493,81	92,74
Dengan BGA dan ACKS	2170,23	2081,29	95,90

Nilai durabilitas dari campuran AC-WC dengan dan tanpa substitusi BGA efektif dan penggunaan 50% ACKS sebagai *filler* telah memenuhi persyaratan Dinas Bina Marga (2014) yaitu $\geq 90\%$.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Nilai stabilitas campuran semakin meningkat seiring bertambahnya % substitusi BGA dan ACKS dalam campuran aspal. Nilai stabilitas campuran dengan substitusi BGA cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa substitusi BGA.
2. Nilai stabilitas terbaik tanpa substitusi BGA dan ACKS pada kadar aspal 5,31% yaitu sebesar 1602,84 kg, sedangkan nilai stabilitas terbaik dengan substitusi variasi persentase BGA dan 50% *filler* ACKS diperoleh pada substitusi 8% BGA pada kadar aspal 6,54% yaitu sebesar 2223,60 kg.
3. Nilai VIM, VMA dan MQ semakin menurun dengan semakin bertambahnya kadar aspal dan % substitusi BGA dalam campuran aspal, sedangkan nilai *density*, *flow* dan VFA semakin meningkat.

Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengambil variasi kadar aspal yang selisih keatas yaitu KAO + 0,5%;1% .
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan substitusi BGA dan ACKS yang lebih kompleks dengan variasi persentase yang berbeda serta dapat menggunakan abu serabut kelapa, abu tempurung kelapa, abu batubara sebagai *filler* sehingga dapat diketahui kinerja dari campuran AC-WC.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- AASHTO, 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 Syiah 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.
- Hermadi, M dan Kurniadji, 2014, *Asbuton Pelet Sebagai Bahan Tambah Untuk Memperbaiki Sifat Aspal dan Campuran Beraspal (Asbuton Pellets As Additive For Improving Asphalt Properties and Asphalt Mixtures)*, Departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung.
- P. Mantong, Mentari C,(2014), *Pengujian Kinerja Campuran (AC-WC) Subtitusi Buton Granular Aspal Sebagai Bahan Peengikat Dengan Metode Marshall*, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Suparman, dkk 2014, *Potensi penggunaan limbah kelapa sawit sebagai agregat pengisi pada campuran Hot Rolled Sheet-Base*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit Granit, Bandung.