

Substitusi *Buton Rock Asphalt* dan *Polimer Ethylene Vinyl Acetate* Terhadap Durabilitas Campuran Laston Lapis Aus dengan Rendaman Air Berlumpur

Humaira¹ Sofyan M. Saleh² Fitrika Mita S.³

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

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

email: rarahumaira2@gmail.com

Abstract

Road damage cases that happened in Indonesia are generally in the form of cracks, waves, and holes. Pools of muddy water on the body of the road caused by the flood are influential on the weakening of the asphalt's adhesive potency. In addition, the acceleration of corrosion or destruction of aggregates is also happened due to oxidation and infiltration of water and particles of mud into the mix. One way to overcome road damages is to improve the performance of the mixtures by modifying pavement using additional material. In this research, the substitutions of *Buton Rock Asphalt (BRA)* as filler and *Ethylene Vinyl Acetate (EVA)* Polymer waste as the substitute of bitumen (additive) became an alternative to improve the performance of the asphalt mixture from the impact of the aforementioned problems. This research aimed to find out the Marshall parameters value of the asphalt pen 60/70 mixture with the BRA substitutions of (0%, 25%, 50%) and EVA waste of (3%, 5%, 7%) against muddy water immersion with time variations of 30 minutes, 24 hours, and 48 hours. The research results showed that the best stability value of the BRA substitution was at the percentage of BRA 50% which amounted to 1.476,34 kg in the muddy water immersion. The best stability for EVA in the muddy water immersion was at the percentage of EVA 3% which amounted to 1.695,36 kg. The durability value with and without BRA and EVA substitutions had fulfilled the specifications which had been established by Bina Marga in 2014, which was $\geq 90\%$.

Keywords: *Buton Rock Asphalt (BRA)*, *Ethylene Vinyl Acetate (EVA)* polymer waste, muddy water, Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), asphalt pen 60/70.

Abstrak

Kasus kerusakan jalan yang terjadi di Indonesia pada umumnya berupa retak-retak, gelombang, dan berupa lubang-lubang. Rendaman air berlumpur pada badan jalan yang disebabkan oleh banjir berpengaruh pada perlemahan daya lekat aspal dan percepatan pelapukan atau kehancuran agregat akibat oksidasi dan infiltrasi air serta partikel lumpur ke dalam campuran. Salah satu cara untuk mengatasi kerusakan jalan yaitu dengan memperbaiki kinerja campuran dengan memodifikasi perkerasan menggunakan bahan tambah. Pada penelitian ini substitusi *Buton Rock Asphalt (BRA)* sebagai filler dan limbah *Polimer Ethylene Vinyl Acetate (EVA)* sebagai substitusi aspal (additive) menjadi alternatif untuk memperbaiki kinerja campuran aspal dari dampak permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai parameter Marshall campuran aspal Pen 60/70 dengan substitusi BRA (0%, 25%, 50%) dan limbah EVA (3%, 5%, 7%) terhadap rendaman air berlumpur dengan variasi waktu rendaman 30 menit, 24 jam, dan 48 jam. Dari hasil penelitian, didapatkan nilai stabilitas terbaik, yaitu pada substitusi BRA 50%, senilai 1.476,34 kg pada rendaman air berlumpur. Stabilitas terbaik untuk EVA dengan rendaman air berlumpur pada persentase 3% yaitu 1.695,36 kg. Nilai durabilitas tanpa substitusi dan dengan substitusi BRA dan EVA telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan Bina Marga tahun 2014 yaitu $\geq 90\%$.

Kata kunci : *Buton Rock Asphalt (BRA)*, *Ethylene Vinyl Acetate (EVA)*, air berlumpur, laston lapis aus (AC-WC), aspal pen.60/70.

1. Pendahuluan

Jalan merupakan prasarana yang sangat menunjang bagi kebutuhan hidup masyarakat dan mempunyai peranan yang sangat penting dalam pengembangan wilayah, baik nasional, regional, maupun kabupaten/kota sesuai dengan fungsi jaringan jalan tersebut. Persyaratan suatu jalan pada hakekatnya adalah dapat menyediakan lapisan permukaan yang selalu rata dan konstruksi yang kuat sehingga dapat menjamin kenyamanan dan keamanan yang tinggi untuk pelayanan (umur jalan) yang cukup lama. Salah satu alasan utama kerusakan dan penurunan kekuatan pada perkerasan lentur jalan raya adalah rendahnya kekuatan dan keawetan pada lapisan aus (AC-WC).

Salah satu sumber kekayaan alam Indonesia yang cukup potensial adalah aspal alam yang terletak di Pulau

Buton Sulawesi Tenggara disebut Asbuton. Asbuton ini mempunyai cadangan sangat besar, yang merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia yaitu sekitar 677,247 juta ton. Asbuton perlu lebih dimanfaatkan secara efektif dan efisien khususnya pada perkerasan jalan di Indonesia. Penelitian tentang pengaruh penggunaan asbuton butir Tipe 15/20 pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) menyimpulkan bahwa semakin besar kadar asbuton butir sifat durabilitas campuran semakin meningkat dengan kata lain ketahanan terhadap air, pengaruh cuaca dan suhu semakin baik [2].

Ethylene Vinyl Acetate (EVA) adalah material termoplastik yang tersusun oleh polimerisasi dari Etilen dan Vinil Asetat. EVA merupakan salah satu bahan polimer plastomer yang mempunyai sifat softness, fleksibilitas, memiliki sifat kemurnian dan kehalusan

yang baik. Semakin tinggi kadar EVA dalam aspal maka akan menurunkan nilai penetrasi dan menaikkan titik lembek. Dengan penambahan kadar EVA 3% pada aspal pen 60/70 menunjukkan ketahanan yang baik terhadap pengaruh air [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik Marshall campuran Laston (AC-WC) dengan substitusi Buton Rock Asphalt (BRA) 0%, 25%, dan 50% sebagai *filler* terhadap berat semen dan limbah Polimer Ethylene Vinyl Acetate (EVA) sebagai substitusi aspal (*additive*) pada rendaman air berlumpur dengan variasi waktu 30 menit, 24 jam, dan 48 jam.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai indeks durabilitas campuran, campuran efektif adalah campuran yang memiliki nilai indek penurunan stabilitas terkecil selama perendaman dengan air biasa dan air berlumpur, sehingga diperoleh campuran dengan substitusi limbah EVA 3% dengan rendaman air biasa merupakan campuran efektif pada rendaman 24 jam dengan nilai 98,52%. Pada rendaman air berlumpur di peroleh campuran efektif pada rendaman 24 jam dengan substitusi EVA 5% dengan nilai 98,67%.

2. Tinjauan Kepustakaan

2.1 Lapisan Aspal Beton AC-WC

Laston (Lapisan Aspal Beton) adalah beton aspal Beton Aspal Lapisan Aus (AC-WC) adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan [4]. Lapisan aspal beton yang dimodifikasi memiliki ketentuan sifat-sifat campuran Laston (AC) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC) Modifikasi [1]

Sifat-sifat Campuran		Laston (AC)	
		AC-WC	AC-WC Mod
Penyerapan Aspal (%)	Maks	1,2	1,2
Jumlah Tumbukan Perbidang		75	75
Rongga Dalam Campuran (%)	Min	3	3
	Maks	5	5
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	15
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	800	1000
	Maks	-	-
Pelelehan (mm)	Min	2	2
	Maks	4	4
Marshall Quotient (Kg/mm)	Min	250	250
Stabilitas Marshall Sisa (%) Setelah Perendaman Selama 24 Jam, 60° C	Min	90	90
Rongga Dalam Campuran (%) Pada Kepadatan Membal (refusal)	Min	2	2

2.2 Bahan Campuran Aspal Beton

2.2.1 Agregat

Agregat secara umum didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat [4]. Agregat merupakan

komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu sekitar 90-95% agregat dari persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan volume. Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dapat dibedakan atas agregat halus, agregat kasar dan bahan pengisi (*filler*). Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No. 8 (2,36 mm) dan lebih besar dari saringan No. 200 (0,075 mm). Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 8 (2,36 mm). Bahan pengisi (*filler*) adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No.200.

2.2.2 Aspal

Aspal adalah material perekat bewarna hitam dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh pada residu dari pengilangan minyak bumi dan juga terdapat di alam. Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat yang memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri dan bahan pengisi, mengisi rongga antar pori-pori dan butir-butir agregat.

2.3 Asbuton Butir Tipe 5/20 (BRA)

Aspal Buton (Asbuton) adalah aspal alam yang berasal dari Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Para ahli geologi berpendapat bahwa terbentuknya asbuton berawal dari minyak bumi yang kemudian terdestilasi secara alamiah karena adanya intrusi magma. Bagian yang ringan dari minyak bumi telah menguap, residu yang berupa bitumen terdesak mengisi lapisan batuan yang ada disekitarnya melalui rekahan dan patahan.

Asbuton butir adalah hasil pengolahan dari asbuton berbentuk padat yang dipecah dengan alat pemecah batu (*Crusher*) yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. Terdapat 4 tipe jenis Asbuton butir yang diproduksi dan dipasarkan saat ini adalah Tipe 5/20 ; 15/20 ; 15/25 ; 15/25, perbedaan tipe – tipe asbuton butir tersebut berdasarkan pada penetrasi dan kandungan bitumennya. Asbuton Butir Tipe 5/20 memiliki kadar mineral 80%, kadar bitumen 20% dan nilai penetrasi 5 mm.

2.4 Aspal Modifikasi Polimer

Polimer adalah suatu rantai panjang molekul yang sangat besar, terdiri dari ribuan atom yang terbentuk melalui pengulangan dari satu atau dua bahkan lebih dari bentuk molekul-molekul yang kecil menjadi suatu rantai molekul.

Ethylene Vinyl Acetate (EVA) merupakan jenis Polimer *Plastomers* yang bersifat *Thermoplastics* yang mempunyai kemampuan yang baik untuk bersatu dengan bitumen, suhunya yang stabil dan temperatur yang mudah dikendalikan.

2.5 Perencanaan Campuran Beton Aspal

Faktor yang menentukan mutu campuran beton aspal adalah perencanaan campuran. Perencanaan campuran terdiri atas: pemilihan tipe gradasi agregat dan jenis/kadar aspal. Perencanaan campuran beraspal bertujuan untuk mendapatkan campuran efektif dari aspal dan gradasi agregat. Campuran antara aspal dan agregat yang optimal akan menghasilkan lapisan perkerasan yang optimal juga.

2.5.1 Gradasi Agregat

Berdasarkan spesifikasi umum yang dikeluarkan oleh Dinas Bina Marga mengenai spesifikasi gradasi agregat untuk perkerasan laston lapis aus (AC-WC) adalah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Gradasi Agregat Laston Lapis Aus (AC-WC)

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos
ASTM	(mm)	AC-WC
1"	25	
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

2.5.2 Kadar aspal

Pada Saat melakukan perencanaan campuran beraspal, maka dibutuhkan nilai kadar aspal untuk awal perencanaan sebelum didapatkan nilai kadar aspal optimum. Kadar aspal awal atau kadar aspal perkiraan ini merupakan kadar aspal tengah/ideal (a,%) yang nantinya divariasikan menjadi 5 variasi kadar aspal awal perencanaan, yaitu (a-1)%, (a-0,5)%, a%, (a+0,5)%, dan (a+1)%.

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

Dimana:

P_b = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran;

CA = persen agregat tertahan saringan No.8;

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

Filler = persen agregat minimal 75% lolos saringan No. 200;

K = konstanta 0,5–1 untuk lapis AC (Asphalt Concrete).

2.6 Uji Marshall

Metode campuran yang paling banyak dipergunakan di Indonesia saat ini adalah metode rancangan campuran berdasarkan pengujian empiris, yaitu dengan mempergunakan alat Marshall [4]. Uji Marshall merupakan tahapan penting dalam penentuan karakteristik campuran beraspal. Adapun parameter Marshall untuk menentukan karakteristik campuran beraspal adalah stabilitas, durabilitas, kelelahan plastis (*flow*), kepadatan, *Marshall Quotient*, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA).

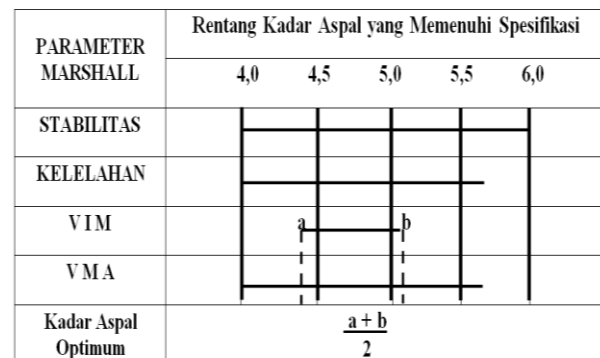
2.7 Durabilitas

Durabilitas merupakan kemampuan aspal beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat

kendaraan dan gesekan antar roda serta menahan keausan akibat cuaca dan iklim, seperti air, udara, dan perubahan temperature [4]. Nilai durabilitas adalah perbandingan antara stabilitas rendaman 24 jam dan stabilitas rendaman 30 menit dimana nilai durabilitas dikatakan baik apabila stabilitas rendaman $\geq 90\%$ [1].

2.8 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum (KAO) merupakan kadar aspal yang diperoleh dari menghitung parameter Marshall yaitu stabilitas, VIM, VMA, flow, kepadatan. Kemudian hasilnya digambarkan dalam grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall. Dari grafik tersebut dapat dilihat rentang kadar aspal mana yang memenuhi semua persyaratan, sehingga nilai KAO dapat ditentukan dari nilai tengah rentang kadar aspal tersebut. Pada Gambar 1 merupakan contoh grafik penentuan kadar aspal optimum.



Gambar 1 Contoh Grafik Penentuan KAO

3. Metode Penelitian

Metode pengujian mengikuti prosedur pengujian marshall, AASHTO, Bina Marga dan metode lain yang digunakan adalah pengujian durabilitas modifikasi. Perencanaan laston lapis aus (AC-WC) menggunakan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 (2014). Pemeriksaan stabilitas campuran aspal dilakukan dengan metode Marshall seiring lama perendaman 30 menit, 24 jam dan 48 jam pada suhu 60°C dengan metode perendaman menerus.

Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, BRA dengan variasi substitusi 0%, 25%, dan 50% terhadap berat *filler* semen yang lolos saringan No.200 (0.074 mm) dan Limbah polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) sebagai substitusi aspal.

3.1 Penentuan Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan gradasi perencanaan menghasilkan nilai kandungan untuk masing-masing fraksi sebesar: CA = 57%, FA = 36,5%, *Filler* = 6,5% dan konstanta yang diambil adalah 0,75. Maka sesuai dengan rumus persamaan 1 didapatkan nilai kadar aspal tengah sebesar 5,5%. Maka variasi kadar aspal benda uji adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% terhadap total aspal dan agregat penyusun.

3.2 Perencanaan Campuran

Berikut rekapitulasi jumlah sampel benda uji berdasarkan variasi lama waktu rendaman dan substitusi BRA dan EVA seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Jumlah Benda Uji

No.	Uraian	Jumlah
1.	Benda uji untuk menentukan KAO dengan Aspal Pen.60/70 tanpa substitusi BRA dan limbah polimer EVA	15 buah
2.	Benda uji pada KAO dengan rendaman air biasa dan rendaman Air Berlumpur selama 30 menit, 24 jam, dan 48 jam	18 buah
3.	Benda uji dengan substitusi BRA terhadap rendaman air biasa selama 30 menit	9 buah
4.	Benda uji dengan persentase BRA terbaik tanpa substitusi limbah EVA pada rendaman Air Biasa dan rendaman air belumpur selama 30 menit, 24 dan 48 jam	18 buah
5.	Benda uji BRA terbaik dengan substitusi limbah polimer EVA terhadap rendaman air biasa dan rendaman air berlumpur selama 30 menit	18 buah
6.	Benda uji BRA terbaik dengan substitusi limbah polimer EVA terhadap rendaman air biasa dan rendaman air berlumpur selama 24 Jam	18 buah
7.	Benda uji BRA terbaik dengan substitusi limbah polimer EVA terhadap rendaman air biasa dan rendaman air berlumpur selama 48 Jam	18 buah
Jumlah Total		114 Buah

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian dan pengolahan data dari penelitian di laboratorium, maka akan diuraikan pada bab ini serta dilanjutkan pembahasan hasil.

4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat sebagian besar telah memenuhi persyaratan spesifikasi yang ditentukan, kecuali indeks kelonjongan yang tidak dapat memenuhi spesifikasi dengan syarat maksimal 10%, diperoleh sebesar 15,80%, serta indeks kepipihan diperoleh sebesar 17,18%, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

No	Sifat-sifat Fisis Agregat	Hasil	Syarat
1.	Berat jenis (gr/cm ³)	2,775	> 2.5
2.	Penyerapan terhadap air (%)	1,119	< 3
3.	Keausan (%)	15,00	< 40
4.	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	98	> 95
5.	Indeks Kepipihan (%)	17.18	< 10
6.	Indeks Kelonjongan (%)	15,80	< 10
7.	Tumbukan (<i>impact</i>) (%)	8.94	< 30
8.	Berat isi (kg/dm ³)	1,656	> 1

4.2 Hasil Sifat Fisis Aspal

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal diperoleh bahwa terdapat pengaruh terhadap sifat-sifat fisis aspal, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

No.	Sifat- Sifat Fisis Aspal	Hasil	Syarat
1	Penetrasi (mm)	64	60-70
2	Titik Lembek (°C)	48,25	>48
3	Berat Jenis	1,020	>1
4	Daktilitas (cm)	130	>100

4.3 Hasil Pengujian Marshall

Berdasarkan hasil pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal rencana diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5%, yang memenuhi persyaratan dari parameter marshall untuk campuran aspal beton AC-WC, selanjutnya dilakukan substitusi dengan variasi persentase BRA (25%, 50%, 100%) terhadap total *filler*, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Marshall Dengan Variasi Kadar BRA

No	Karakteristik Campuran	Kadar Substitusi BRA(%)			Spek. Bina marga (2014)
		0	25	50	
1.	Stabilitas (kg)	1241,26	1052,31	1450,78	Min. 1000
2.	Kelelehan (mm)	2.5	3.03	2.5	2 - 4
3.	Kepadatan (gr/cm ³)	514.18	378.63	583.4	Min. 2
4.	MQ (kg/m ³)	2.46	2.44	2.45	Min. 250
5.	VIM (%)	3.91	4.82	4.17	3 - 5
6.	VMA (%)	21.55	22.29	21.76	Min. 15
7.	VFA (%)	82.06	78.39	80.86	Min. 65

Berdasarkan hasil pengujian Marshall dengan variasi persentase substitusi BRA diperoleh persentase BRA terbaik sebesar 50% dari total berat *filler*, yang memiliki nilai stabilitas terbaik dan memenuhi persyaratan parameter Marshall lainnya, selanjutnya dilakukan pengujian Marshall terhadap rendaman air belumpur dengan variasi waktu rendaman 30 menit, 24 jam, dan 48 jam.

Tabel 7 Hasil Pengujian Marshall Tanpa Substitusi Terhadap Rendaman Air Biasa

No	Karakteristik Campuran	Variasi Waktu Remdaman (Jam)			Spek. Bina Marga (2014)
		0,5	24	48	
1.	Stabilitas (kg)	1476.34	Min. 800	1353.76	Min. 1000
2.	Kelelahan (mm)	2.37	2 - 4	3.23	2 - 4
3.	Kepadatan (gr/cm ³)	623.28	Min. 2	418.61	Min. 2
4.	MQ (kg/m ³)	2.47	Min. 250	2.47	Min. 250
5.	VIM (%)	3.52	3 - 5	3.70	3 - 5
6.	VMA (%)	21.23	21.89	21.38	Min. 15
7.	VFA (%)	83.44	80.28	82.82	Min. 65

Tabel 8 Hasil Pengujian Marshall Tanpa Substitusi Terhadap Rendaman Air Berlumpur

No	Karakteristik Campuran	Variasi Waktu Remdaman (Jam)			Spek. Bina Marga (2014)
		0,5	24	48	
1.	Stabilitas (kg)	1098.95	1059.02	1019.89	Min. 800
2.	Kelelahan (mm)	2.87	2.33	2.67	2 - 4
3.	Kepadatan (gr/cm ³)	406.32	468.39	383.81	Min. 2
4.	MQ (kg/m ³)	2.44	2.43	2.44	Min. 250
5.	VIM (%)	4.56	4.97	4.78	3 - 5
6.	VMA (%)	22.08	22.42	22.26	Min. 15
7.	VFA (%)	79.41	78.02	78.56	Min. 65

Tabel 9 Hasil Pengujian Marshall Dengan Substitusi BRA terbaik Terhadap Rendaman Air Biasa

No	Karakteristik Campuran	Variasi Waktu Remdaman (Jam)			Spek. Bina Marga (2014)
		0,5	24	48	
1.	Stabilitas (kg)	1450,78	1359,67	1332,00	Min. 1000
2.	Kelelahan (mm)	2,50	2,70	3,13	2 - 4
3.	Kepadatan (gr/cm ³)	583,40	533,44	440,78	Min. 250
4.	MQ (kg/m ³)	2,45	2,41	2,41	-
5.	VIM (%)	4,17	5,91	5,76	3 - 5
6.	VMA (%)	21,76	23,19	23,06	Min. 15
7.	VFA (%)	80,86	74,63	75,32	Min. 65

Tabel 10 Hasil Pengujian Marshall Dengan Substitusi BRA terbaik Terhadap Rendaman Air Berlumpur

No	Karakteristik Campuran	Variasi Waktu Remdaman (Jam)			Spek. Bina Marga (2014)
		0,5	24	48	
1.	Stabilitas (kg)	1476.34	Min. 800	1353.76	Min. 1000
2.	Kelelahan (mm)	2.37	2 - 4	3.23	2 - 4
3.	Kepadatan (gr/cm ³)	623.28	Min. 2	418.61	Min. 2
4.	MQ (kg/m ³)	2.47	Min. 250	2.47	Min. 250
5.	VIM (%)	3.52	3 - 5	3.70	3 - 5
6.	VMA (%)	21.23	21.89	21.38	Min. 15
7.	VFA (%)	83.44	80.28	82.82	Min. 65

Tabel 11 Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi BRA Terbaik dan EVA 3% pada Rendaman Air Biasa

No	Karakteristik Campuran	Lama waktu rendaman			Bina Marga (2014)
		30 menit	24 jam	48 jam	
1	Stabilitas (Kg)	1655,79	1631,27	1621,85	Min. 1000
2	Flow (mm)	3,90	6,27	4,37	2 - 4
3	MQ (Kg/mm)	429,82	269,91	374,11	Min. 250
4	Density (t/m ³)	2,36	2,33	2,38	-
5	VIM (%)	7,68	8,85	7,22	3 - 5
6	VMA (%)	24,63	25,58	24,25	Min. 15
7	VFA (%)	68,84	65,44	70,25	Min. 65

Tabel 12 Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi BRA Terbaik dan EVA 3% pada Rendaman Air Berlumpur

No	Karakteristik Campuran	Lama waktu rendaman			Bina Marga (2014)
		30 menit	24 jam	48 jam	
1	Stabilitas (Kg)	1695,36	1621,16	1609,30	Min. 1000
2	Flow (mm)	3,33	3,93	4,43	2 - 4
3	MQ (Kg/mm)	509,90	411,67	364,70	Min. 250
4	Density (t/m ³)	2,42	2,36	2,42	-
5	VIM (%)	5,34	7,75	5,37	3 - 5
6	VMA (%)	22,71	24,69	22,74	Min. 15
7	VFA (%)	76,56	68,84	76,48	Min. 65

Tabel 13 Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi BRA Terbaik dan EVA 5% pada Rendaman Air Biasa

No	Karakteristik Campuran	Lama waktu rendaman			Bina Marga (2014)
		30 menit	24 jam	48 jam	
1	Stabilitas (Kg)	1425,72	1385,39	1376,72	Min. 1000
2	Flow (mm)	4,20	4,00	3,47	2 - 4
3	MQ (Kg/mm)	362,55	346,56	397,50	Min. 250
4	Density (t/m^3)	2,36	2,35	2,37	-
5	VIM (%)	7,68	8,31	7,27	3 - 5
6	VMA (%)	24,63	25,14	24,29	Min. 15
7	VFA (%)	68,84	67,03	70,08	Min. 65

Tabel 14 Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi BRA Terbaik dan EVA 5% pada Rendaman Air Berlumpur

No	Karakteristik Campuran	Lama waktu rendaman			Bina Marga (2014)
		30 menit	24 jam	48 jam	
1	Stabilitas (Kg)	1231,25	1214,93	1206,59	Min. 1000
2	Flow (mm)	3,60	3,90	4,00	2 - 4
3	MQ (Kg/mm)	349,68	311,75	301,66	Min. 250
4	Density (t/m^3)	2,37	2,31	2,40	-
5	VIM (%)	7,29	9,95	6,38	3 - 5
6	VMA (%)	24,31	26,48	23,56	Min. 15
7	VFA (%)	70,55	62,47	72,95	Min. 65

Tabel 15 Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi BRA Terbaik dan EVA 7% pada Rendaman Air Biasa

No	Karakteristik Campuran	Lama waktu rendaman			Bina Marga (2014)
		30 menit	24 jam	48 jam	
1	Stabilitas (Kg)	1332,73	1236,69	1218,12	Min. 1000
2	Flow (mm)	4,53	4,57	4,60	2 - 4
3	MQ (Kg/mm)	302,98	270,29	266,07	Min. 250
4	Density (t/m^3)	2,34	2,29	2,32	-
5	VIM (%)	8,95	10,90	9,83	3 - 5
6	VMA (%)	25,37	26,98	26,10	Min. 15
7	VFA (%)	64,75	59,71	62,43	Min. 65

Tabel 16 Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi BRA Terbaik dan EVA 7% pada Rendaman Air Berlumpur

No	Karakteristik Campuran	Lama waktu rendaman			Bina Marga (2014)
		30 menit	24 jam	48 jam	
1	Stabilitas (Kg)	1150,09	1127,75	1108,89	Min. 1000
2	Flow (mm)	4,07	3,80	3,53	2 - 4
3	MQ (Kg/mm)	287,71	296,63	317,79	Min. 250
4	Density (t/m^3)	2,34	2,33	2,37	-
5	VIM (%)	8,82	9,42	7,74	3 - 5
6	VMA (%)	25,27	25,76	24,38	Min. 15
7	VFA (%)	65,34	63,46	68,29	Min. 65

4.4 Hasil perhitungan Indeks Durabilitas

Nilai indeks durabilitas campuran dapat dihitung setelah direndam dengan waktu yang lama untuk menentukan indeks keawetan campuran atau potensi keawetan dari campuran, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 17 dan Tabel 18.

Tabel 17 Perhitungan Indeks Durabilitas pada Campuran Air Biasa

Lama Waktu Rendaman (Jam)	Variasi Substitusi Limbah (%)				
	Air Biasa				
	Tanpa Substitusi	BRA terbaik	BRA Terbaik + EVA 3%	BRA Terbaik + EVA 5%	BRA Terbaik + EVA 7%
24	92,99	93,72	98,52	97,17	92,79
48	90,56	91,81	97,95	96,56	91,40

Tabel 18 Perhitungan Indeks Durabilitas pada Campuran Air Berlumpur

Lama Waktu Rendaman (Jam)	Variasi Substitusi Limbah (%)				
	Air Berlumpur				
	Tanpa Substitusi	BRA terbaik	BRA Terbaik + EVA 3%	BRA Terbaik + EVA 5%	BRA Terbaik + EVA 7%
24	96,37	95,49	95,62	98,67	98,06
48	92,81	91,70	94,92	98,00	96,42

4.5. Pembahasan

Penggunaan BRA sebagai *filler* dalam campuran aspal menunjukkan bahwa adanya fluktuasi pada masing – masing nilai parameter Marshall, namun demikian setiap persentase substitusi BRA memenuhi semua persyaratan. Berdasarkan hasil pengujian Marshall dengan variasi persentase substitusi BRA diperoleh persentase BRA terbaik sebesar 50% dengan nilai stabilitas tertinggi yaitu 1450,78 Kg.

Dari hasil pengujian Durabilitas terhadap rendaman air berlumpur menunjukkan terjadinya

penurunan nilai stabilitas pada campuran dengan maupun tanpa substitusi BRA seiring lamanya waktu perendaman. Hasil pengujian Marshall pada campuran aspal beton AC-WC didapatkan nilai stabilitas terbaik tanpa substitusi yaitu 1098,95 Kg, dengan substitusi BRA yaitu 1476,34 Kg, dan Nilai stabilitas tanpa substitusi BRA. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan BRA berpengaruh pada nilai stabilitas dan durabilitas campuran aspal AC-WC.

Hal ini relevan dengan penelitian Rundubeli, Dkk (2006)[3] mengenai kajian dan perancangan laboratorium penggunaan asbuton butir dalam campuran aspal beton (AC-BC) menyimpulkan bahwa hasil pengkajian menunjukkan penggunaan Asbuton butir jenis Buton Rock Asphalt (BRA) tipe 5/20 dapat menurunkan kadar aspal Optimum, meningkatkan stabilitas dan memperbaiki kinerja durabilitas campuran beraspal.

Pada campuran dengan substitusi limbah EVA memiliki stabilitas sisa tertinggi selama waktu perendaman, semakin besar persentase substitusi limbah dalam campuran, menunjukkan campuran tersebut memiliki elastisitas yang rendah dan bersifat plastis, sehingga sangat berpengaruh terhadap keretakan (*crack*) terlihat bahwa durabilitas pada periode waktu perendaman yang singkat cenderung menurun, sedangkan durabilitas pada periode lama perendaman cenderung meningkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil pengujian sifat-sifat fisis aspal dengan variasi substitusi limbah EVA terhadap berat aspal pada KAO, maka diperoleh bahwa terjadi peningkatan sifat fisis aspal seiring besarnya persentase substitusi limbah EVA terhadap berat jenis, titik lembek, dan menurunkan nilai penetrasi serta daktilitas aspal. Hasil pemeriksaan masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.
2. Berdasarkan evaluasi terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-WC dengan variasi persentase variasi BRA, maka didapatkan persentase BRA terbaik sebesar 50%, karena memiliki nilai stabilitas terbaik daripada persentase BRA lainnya.
3. Persentase penambahan limbah terbaik yang bisa digunakan pada perkerasan aspal yaitu dengan menggunakan polimer EVA 3% karena memiliki nilai stabilitas terbaik daripada persentase limbah EVA lainnya.
4. Pengaruh substitusi BRA dan limbah EVA terhadap parameter marshall menunjukkan terjadinya pengaruh yang signifikan terhadap semua nilai parameter Marshall seiring lamanya waktu perendaman campuran dengan air biasa dan air berlumpur pada rendaman 30 menit, 24 jam dan 48 jam.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar menggunakan variasi substitusi BRA lebih besar

dari 50% agar dapat digunakan sebagai perbandingan untuk mendapatkan hasil yang terbaik.

2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar menggunakan limbah EVA dan dari jenis limbah lainnya yang memiliki pengaruh besar terhadap stabilitas pada temperatur rendah.
3. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan aspal yang menggunakan polimer EVA untuk direndam dalam air berlumpur dengan jangka waktu yang lebih lama atau lebih dari 48 jam secara menerus dan berkala untuk mendapatkan pengaruh kerusakan aspal terhadap rendaman air berlumpur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bina Marga 2014, *Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010, Revisi 3 Divisi 6*. Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia.
- [2] Kurnia, 2011, *Pengaruh Penggunaan Asbuton Butir pada Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC)*, Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- [3] Rundubeli dkk, 2008, *Kajian dan Perancangan Laboratorium Penggunaan Asbuton Butir dalam Campuran Aspal Beton (AC-BC)*, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- [4] Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit Granit, Bandung.
- [5] Suparma, 2015, *Pengaruh Penggunaan Aspal Modifikasi EVA (EVA-MA) pada Perancangan Campuran Beton Aspal*, The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung, 28 Agustus 2015.