

# Evaluasi terhadap penggunaan aspal Buton sebagai bahan tambah terhadap karakteristik dan parameter campuran-beraspal modifikasi

Muhammad Karami<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145, Indonesia

<sup>2</sup> muhammad.karami@eng.unila.ac.id

**Abstrak.** Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh pemakaian aspal Buton sebagai bahan pengganti sebagian aspal semen dan agregat halus terhadap karakteristik dan parameter campuran-beraspal. Ada tujuh karakteristik dan parameter yang harus dipenuhi syaratnya agar sebuah campuran-beraspal dapat dilaksanakan, yaitu: stabilitas, kelelahan, Marshall quotient, rongga udara atau *voids in mixtures* (VIM), rongga antar agregat atau *voids in mineral aggregates* (VMA), rongga terisi aspal atau *void filled with asphalt* (VFA) dan VIM pada kondisi kepadatan mutlak atau *percentage refusal density* (VIM-PRD). Aspal keras penetrasi 60/70 produksi Pertamina dan agregat berasal dari *stone crusher* Batu Makmur di Lampung Selatan digunakan dalam penelitian ini. Aspal Buton yang digunakan berbentuk asli dari deposit tanpa ada perlakuan khusus sebelumnya, yang mengandung 32% aspal dan 68% mineral. Gradasi rapat (*dense graded*) untuk campuran-beraspal lapisan aus atau *asphalt concrete wearing course* (AC-WC), dengan kandungan aspal total dari 4,5% - 7,0% yang dibagi atas 3,0% aspal keras dan sisanya diambil dari aspal Buton. Berdasarkan hasil penelitian ini, maka proporsi material yang dapat digunakan dalam campuran-beraspal dan memenuhi semua persyaratan karakteristik dan parameter AC-WC adalah sebagai berikut: aspal keras sebesar 3%; agregat (batu pecah) sebesar 88,2% - 90,7%; dan aspal Buton sebesar 6,3% - 8,8%.

**Keywords:** Aspal Buton, campuran-beraspal, stabilitas Marshall

## 1. Latar Belakang

Deformasi permanen adalah salah satu jenis kerusakan yang terjadi pada campuran-beraspal yang mempengaruhi kinerja perkerasan jalan. Repetisi beban lalu-lintas yang terjadi dalam kurun waktu yang cukup lama menyebabkan akumulasi deformasi permanen, yang pada akhirnya akan menciptakan pengaluran (*rutting*) secara progresif. Alavi *et al.* (2011) menjelaskan bahwa pengaluran biasanya berbentuk tekanan yang memanjang sepanjang alur roda dan kemudian akan diikuti oleh naiknya permukaan campuran-beraspal pada sisi-sisi alur roda sehingga pada akhirnya akan menurunkan umur pelayanan perkerasan jalan dan menimbulkan bahaya yang serius terhadap pengguna jalan. Selain itu, pengaruh lain dari pengaluran adalah menurunkan ketebalan lapisan campuran-beraspal yang akan menjadi pemicu terjadinya retak sehingga campuran-beraspal mengalami kegagalan.

Melihat begitu pentingnya pemahaman dan akibat yang ditimbulkan oleh deformasi permanen seperti diuraikan di atas, Zhou *et al.* (2004) menyarankan untuk melakukan karakterisasi secara penuh terhadap deformasi permanen pada campuran beraspal. Saat ini evaluasi terhadap potensi terjadinya pengaluran telah banyak difokuskan untuk meningkatkan kekakuan (*stiffness*), stabilitas dan durabilitas pada campuran-beraspal. Pemakaian berbagai macam bahan tambah (*additives*) baik untuk aspal maupun agregat, telah banyak digunakan untuk campuran-beraspal yang telah dimodifikasi (*modified asphalt mixtures*) (Bahia *et al.*, 1998), dan telah berhasil untuk meningkatkan kinerja campuran beraspal (Khodaii and Mehrara, 2009).

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mempelajari pengaruh pemakaian aspal Buton atau material yang berasal dari aspal Buton sebagai material pengganti atau sebagai bahan tambah di dalam campuran-beraspal. Subagio *et al.* (2003) menjelaskan bahwa pemakaian mineral aspal Buton sebagai *filler* dalam *Hot Rolled Asphalt* (HRA) dapat meningkatkan nilai modulus kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi plastis. Selain itu, hasil pengujian terhadap *Hot Rolled Sheet* (HRS) yang menggunakan mineral aspal Buton sebagai *filler* yang dilakukan oleh Subagio *et al.* (2007) juga menunjukkan bahwa modulus kekakuan HRS modifikasi pada suhu 45°C lebih tinggi dibandingkan dengan HRS non-modifikasi. Pada penelitian yang lain, Zamhari *et al.* (2014) menggunakan aspal Buton berbentuk ekstrak dan granular untuk meningkatkan kinerja campuran-beraspal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa modulus kekakuan dan modulus *creep* menjadi lebih tinggi serta dapat menurunkan laju deformasi permanen.

Selanjutnya, Karami and Hamid, (2015), yang melakukan penelitian terhadap penggunaan aspal Buton granular, menjelaskan bahwa pemakaian aspal Buton granular sebagai bahan pengganti sebagian aspal dan agregat halus dapat meningkatkan modulus kekakuan campuran-beraspal untuk lapisan aus (*wearing course*) pada berbagai macam tingkat temperatur pengujian (15°C - 60°C), kecepatan pembebanan dan volume lalu-lintas. Pada pengujian terhadap kelelahan (*fatigue*), penggunaan aspal Buton granular juga dapat meningkatkan umur campuran beraspal (*fatigue life*) dibandingkan dengan campuran beraspal non-modifikasi (Karami and Nikraz, 2015). Selain itu, Karami *et al.* (2016) juga menjelaskan bahwa penambahan aspal Buton granular ke dalam campuran-beraspal dapat menurunkan total regangan permanen campuran-beraspal sehingga dapat meningkatkan ketahanan campuran-beraspal terhadap deformasi permanen.

Melihat manfaat aspal Buton yang sangat baik seperti diuraikan di atas dan ketersediaan deposit aspal Buton yang sangat besar mencapai total 677 juta ton khususnya tersebar dari Teluk Sampolawa sampai Teluk Lawele di dalam area panjang 75 km dan lebar 25 km serta cukup untuk memenuhi kebutuhan aspal untuk pekerjaan jalan di Indonesia selama 100-200 tahun mendatang (Ali and Poernomo, 2007; Kurniadji, 2007), maka penelitian tentang pemanfaatan aspal Buton untuk memperbaiki karakteristik campuran-beraspal masih sangat diperlukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh penggunaan aspal Buton sebagai bahan pengganti sebagian aspal keras dan agregat halus dalam campuran-beraspal terhadap stabilitas Marshall dan beberapa karakteristik dan parameter campuran-beraspal lainnya yang menjadi persyaratan dalam campuran-beraspal lapisan aus atau *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC).

## **2. Material dan Metode**

### **2.1 Material yang digunakan**

Batu pecah yang berasal dari pabrik pemecah batu (*stone crusher*) Batu Makmur di Lampung Selatan, digunakan dalam penelitian ini untuk semua campuran-beraspal. Selain itu, *filler* abu batu yang digunakan berupa bahan yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) juga berasal dari lokasi yang sama. Sifat-sifat agregat dan *filler* yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Sedangkan aspal keras penetrasi 60/70 yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Pertamina. Sifat fisik aspal keras disajikan pada Tabel 2.

Selanjutnya, aspal Buton yang digunakan berbentuk bongkahan berdiameter sampai 30 cm (Gambar 1). Sebelum digunakan, bongkahan aspal Buton dihaluskan terlebih dahulu dengan cara dipanaskan agar menjadi lunak, kemudian dihancurkan menggunakan alat kerja. Setelah itu, aspal Buton diayak menggunakan saringan secara mekanis (*sieve shaker*). Aspal buton yang lolos saringan 2,38 mm diambil untuk digunakan dalam campuran-beraspal, dan yang tertahan saringan dihaluskan kembali. Hasil pengujian kadar aspal, aspal Buton

mengandung aspal sebesar rata-rata 32% dan mineral 68%. Hasil pengujian sifat-sifat fisik aspal Buton disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Tabel 1. Sifat fisik agregat

Properties	Nilai	SD	CV (%)	Persyaratan SNI
Berat jenis <i>bulk</i> agregat kasar	2,76	0,12	4,3	-
Berat jenis <i>bulk</i> agregat halus	2,74	0,17	6,4	-
Berat jenis <i>bulk filler</i>	2,74	0,14	5,3	-
Penyerapan agregat kasar (%)	0,51	0,006	1,1	Maks 3%
Penyerapan agregat halus (%)	1,60	0,19	12,2	Maks 3%
Abrasi <i>Los Angeles</i> (%)	16,9	0,60	3,5	Maks 40%
Kelekatan terhadap aspal (%)	100	0,00	0,0	Min 95%
Kelonjongan partikel (%)	8,26	0,49	5,9	Maks 10%
Kepipihan partikel (%)	8,18	0,32	3,9	Maks 25%
Lolos saringan No. 200 (Ag. Kasar) (%)	0,08	0,005	6,9	Maks 1%
Lolos saringan No. 200 (Ag. Halus) (%)	0,80	0,07	9,3	Maks 8%
Setara pasir (agregat halus) (%)	81,9	0,49	0,6	Min50%

Tabel 2. Sifat fisik aspal keras

Jenis Pengujian	Nilai	SD	CV (%)	Persyaratan SNI
Penetrasi 25°C, 100 gr, (0,1 mm)	67	0,19	0,3	60 – 79
Titik Lembek (°C)	48,0	0,60	1,2	48 – 58
Daktilitas, 25°C (cm)	> 100	-	-	Min 100
Berat jenis	1,023	0,001	0,2	Min 1,0
Kehilangan berat (TFOT) (% berat)	0,17	0,01	6,1	Mak 0,8
Penetrasi setelah TFOT (% semula)	86,6	0,7	1,2	Min 54
Titik lembek setelah TFOT (% semula)	100	0,6	1,2	-
Daktilitas setelah TFOT (% semula)	100	-	-	Min 50
Titik nyala dan titik bakar (°C)	298	1,6	0,6	Min 200
Titik bakar (°C)	302,5	1,8	0,6	Min 200



Gambar 1. Material aspal Buton (a) berbentuk bongkahan, dan (b) setelah dihaluskan

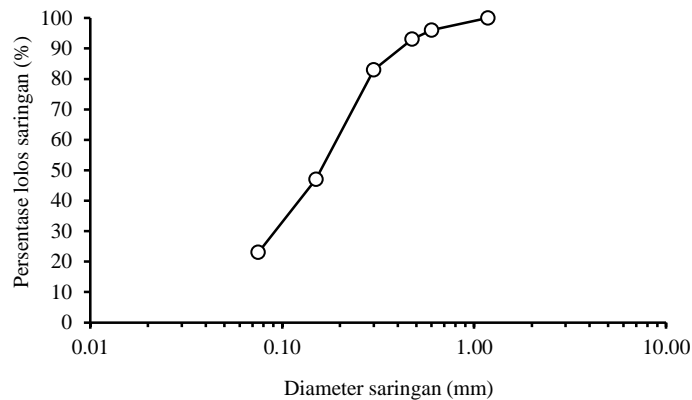
Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisik aspal Buton

Pengujian	Rata-rata	SD	CV (%)
Kadar air (%)	0,90	0,015	1,73
Kadar aspal (%)	32	0,51	1,62
Berat jenis bulk (%)	1,42	0,02	1,22
Penyerapan air (%)	11,10	0,10	0,91

## 2.2 Desain campuran dan persiapan benda uji

Gradasi rapat (*dense graded*) untuk lapisan AC-WC digunakan dalam penelitian ini seperti disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3. Gradasi tersebut menggunakan titik kontrol,

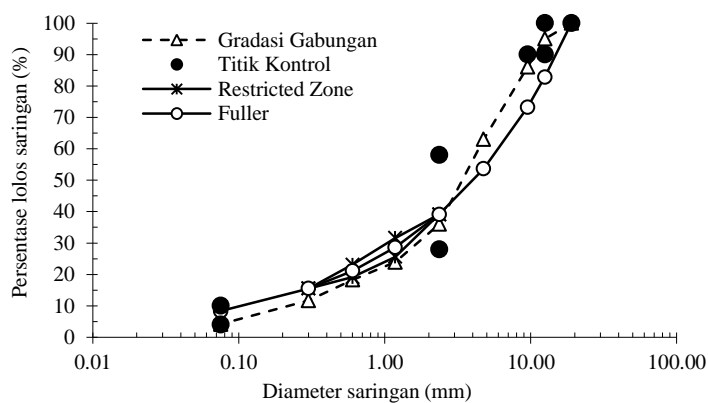
zona terlarang (*restricted zone*) untuk mengontrol jumlah agregat halus dan kurva *Fuller* (sebagai garis yang memiliki kepadatan tertinggi). Berdasarkan hasil pengujian kadar aspal pada Tabel 3, aspal Buton mengandung rata-rata 32% aspal dan 68% mineral. Oleh karena itu, agregat gabungan yang ada pada Tabel 4 adalah gabungan dari agregat (batu pecah) dan mineral aspal Buton. Seperti terlihat pada Gambar 3, persentase lolos saringan agregat gabungan masuk di dalam spesifikasi AC-WC, tidak memotong daerah *restricted zone* serta memotong satu kali gradasi *Fuller* di daerah antara diameter 2,36 mm dan 4,75 mm.



Gambar 2. Gradasi mineral Aspal Buton

Tabel 4. Gradasi agregat AC-WC

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos Saringan (%)			
	Titik kontrol	<i>Restricted Zone</i>	Gradasi <i>Fuller</i>	Agregat Gabungan
19,00	100		100	100
12,50	90-100		82,8	95,0
9,50	maks 90		73,2	86,0
4,75			53,6	63,0
2,36	28-58	39,1	39,1	36,0
1,18		25,6 - 31,6	28,6	23,9
0,60		19,1 - 23,1	21,1	18,3
0,30		15,5	15,5	11,7
0,075	4 - 10		8,3	4,1



Gambar 3. Gradasi agregat AC-WC

*Design Mix Formula* (DMF) dilakukan dengan metode skala laboratorium, sehingga pencampuran agregat dan mineral aspal Buton berdasarkan pada persentase agregat di masing-masing diameter saringan. Tabel 5 memperlihatkan kandungan aspal total dalam campuran-

beraspal adalah dari 4,5% sampai 7%, dengan perbedaan dalam setiap 0,5%, terhadap berat total campuran-beraspal. Kandungan aspal total tersebut berasal dari aspal keras sebesar 3% dan selebihnya diambil dari aspal Buton. Selain itu, bisa juga dilihat persentase aspal Buton yang diperlukan sebagai bahan pengganti aspal keras dan agregat halus, dalam setiap kandungan aspal total dalam campuran. Agar penelitian ini tetap fokus terhadap kontribusi aspal Buton dalam campuran-beraspal, maka kandungan agregat halus yang lolos 1.18 mm dilakukan penyesuaian untuk mengakomodasi proporsi mineral aspal Buton. Sehingga, semakin tinggi proporsi aspal Buton dalam campuran-beraspal, maka proporsi agregat halus dalam campuran-beraspal yang lolos saringan 1,18 mm semakin rendah. Dengan demikian maka gradasi agregat gabungan tetap sama untuk semua campuran-beraspal.

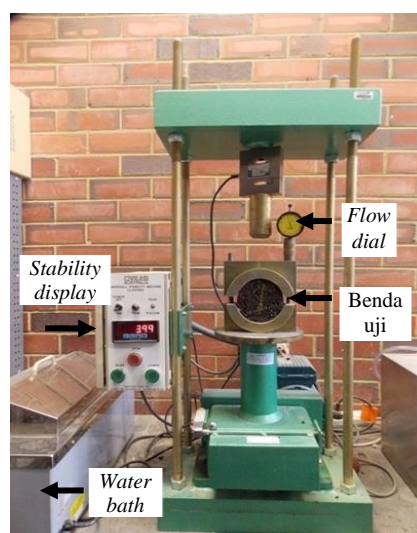
Tabel 5. Proporsi kebutuhan bahan dalam campuran-beraspal

Material	Kandungan aspal total dalam campuran (berdasarkan berat total campuran) (%)					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1. Kandungan aspal total	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
a. Aspal keras	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
b. Aspal dari aspal Buton	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
2. Kandungan agregat total	95,5	95,0	94,5	94,0	93,5	93,0
a. Batu pecah	92,3	90,7	89,2	87,6	86,1	84,5
b. Mineral aspal Buton	3,2	4,3	5,3	6,4	7,4	8,5
3. Aspal Buton	4,7	6,3	7,8	9,4	10,9	12,5

Selanjutnya, standar pengujian Marshall digunakan untuk mengetahui karakteristik volumetrik dan kekuatan campuran-beraspal. Tiga buah benda uji untuk masing-masing kadar aspal total dengan ukuran diameter 10,16 cm dan tinggi 6,35 cm dipadatkan dengan pemadat Marshall (*automatic Marshall compactor*) sebanyak 75 kali di setiap sisi, menggunakan penumbuk baja yang memiliki berat 4,535 kg dan jatuh bebas dari ketinggian 45,7 cm.

### 2.3 Pengujian Marshall

Tujuan pengujian Marshall adalah untuk mengetahui nilai stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) campuran-beraspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Sebelum diuji, benda uji dimasukkan ke dalam bak perendam (*water bath*) pada suhu  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Kemudian benda uji dipindahkan dari bak perendam dan diletakkan di mesin penguji Marshall untuk selanjutnya dilakukan pengujian. Gambar 4 menyajikan alat uji Marshall.



Gambar 4. Alat uji Marshall

### 3. Hasil dan Analisis

Berdasarkan persyaratan dari Departemen Pekerjaan Umum No. 025/T/BM/199, ada tujuh karakteristik dan parameter yang harus dipenuhi oleh campuran-beraspal AC-WC untuk selanjutnya dapat dilaksanakan, yaitu: stabilitas, kelelahan, Marshall *quotient* (MQ), rongga udara atau *voids in mixtures* (VIM), rongga antar agregat atau *voids in mineral aggregates* (VMA), rongga tersisi aspal atau *void filled with asphalt* (VFA) dan VIM pada kondisi kepadatan mutlak atau *percentage refusal density* (VIM-PRD). Nilai karakteristik dan parameter campuran-beraspal hasil pengujian untuk setiap kadar aspal total disajikan pada Gambar 5. Persyaratan karakteristik dan parameter yang harus dipenuhi berdasarkan disajikan pada Tabel 6.

Dari hasil perhitungan berdasarkan grafik pada Gambar 5, diperoleh kandungan aspal total 5,0% - 5,8% memenuhi persyaratan dalam setiap parameter dan karakteristik seperti pada Table 6. Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan ini, maka proporsi material yang dapat digunakan dalam campuran-beraspal adalah sebagai berikut: aspal keras sebesar 3%; agregat (batu pecah) sebesar 88,2% - 90,7%; dan aspal Buton sebesar 6,3% - 8,8%.

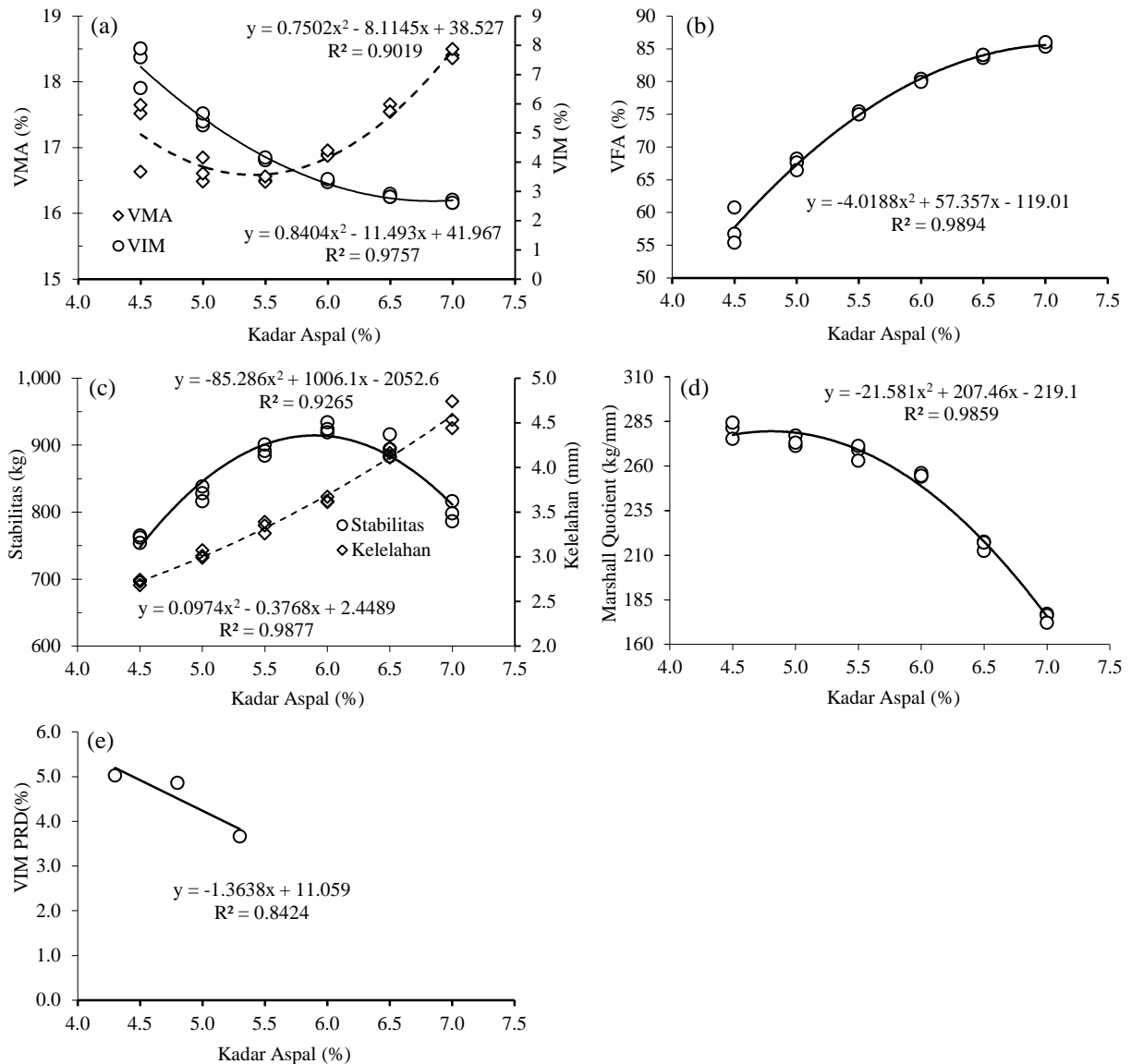
Gambar 5(a) menyajikan nilai VIM dan VMA dalam setiap kadar aspal total. Semakin tinggi kadar aspal, maka nilai VIM akan semakin menurun. Kandungan VIM memiliki pengaruh dalam ketahanan campuran-beraspal terhadap deformasi permanen. Collins *et al.* (1996) menjelaskan semakin tinggi persentase VIM akan menyebabkan ketahanan campuran-beraspal terhadap deformasi permanen semakin menurun. Sedangkan penurunan VIM di bawah 3% akan menyebabkan pelicinan sehingga menurunkan gaya gesek (*contact point*) antar agregat (Page *et al.*, 1997), akibatnya stabilitas campuran-beraspal akan menurun. Sedangkan VMA menyediakan ruang agar tersedia aspal yang cukup untuk membuat campuran-beraspal memiliki durabilitas yang tinggi. Nilai VMA akan bertambah bila kandungan aspal total dalam campuran semakin bertambah atau semakin berkurang (lihat Gambar 5(a)). Tahanan terhadap deformasi permanen akan bertambah besar bila kandungan VIM dan VMA dalam campuran beraspal bertambah kecil sampai batas-batas tertentu.

Selanjutnya, nilai rata-rata, standar deviasi dan koefisien variasi nilai stabilitas dan kelelahan untuk semua kadar aspal total dalam campuran disajikan pada Tabel 7. Nilai yang sama dari hasil pengujian stabilitas dan kelelahan campuran-beraspal bisa dilihat pada Gambar 5(c). Semakin tinggi kadar aspal total dalam campuran-beraspal, maka nilai stabilitas akan semakin tinggi sampai mencapai nilai stabilitas maksimum. Sedangkan untuk kelelahan, semakin tinggi kadar aspal total dalam campuran, nilai kelelahan akan semakin tinggi. Nilai stabilitas maksimum ada pada kadar aspal total 6,0%, kemudian nilai stabilitas akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Campuran-beraspal yang mengandung kadar aspal total lebih dari 6,0% menyebabkan gesekan antar agregat semakin berkurang, karena pada kondisi tersebut aspal telah berubah fungsinya, bukan hanya sebagai bahan pengikat tetapi juga berfungsi sebagai pelumas (*lubricant*). Pada kondisi ini, volume aspal telah melebihi kapasitas rongga yang ada, sehingga membuat ketahanan agregat terhadap gaya geser menjadi berkurang, menyebabkan nilai stabilitas menurun. Dengan demikian akan membuat ketahanan campuran-beraspal terhadap deformasi permanen akan menurun.

Gambar 5(d) menunjukkan nilai MQ campuran-beraspal, yang merupakan rasio nilai stabilitas terhadap nilai kelelahan. Nilai MQ menunjukkan sifat kekakuan campuran beraspal. Terlihat bahwa semakin tinggi kandungan aspal total dalam campuran-beraspal maka nilai MQ akan semakin rendah, khususnya disebabkan oleh stabilitas campuran-beraspal semakin menurun. Begitupun juga, semakin rendah kandungan aspal total dalam campuran, maka nilai MQ semakin menurun, disebabkan kandungan aspal tidak cukup untuk menyelimuti semua permukaan agregat.

Selain itu, Tabel 7 juga menyajikan nilai kepadatan maksimum campuran-beraspal pada setiap kadar aspal total. Semakin tinggi kadar aspal total dalam campuran maka kepadatan

maksimum campuran-beraspal semakin rendah. Berkurangnya nilai kepadatan maksimum disebabkan oleh kandungan agregat dalam campuran-beraspal semakin rendah. Selain itu menurunnya kepadatan maksimum juga disebabkan oleh persentase aspal Buton yang semakin tinggi. Tabel 1 dan Tabel 3 memperlihatkan bahwa berat jenis *bulk* agregat halus lebih tinggi dibandingkan dengan berat jenis *bulk* mineral aspal Buton, sehingga semakin tinggi kandungan aspal Buton dalam campuran-beraspal menyebabkan nilai kepadatan maksimum campuran-beraspal semakin menurun.



Gambar 5. Hasil pengujian karakteristik dan parameter Marshall

Tabel 6. Perhitungan nilai parameter dan karakteristik campuran beraspal

Parameter dan karakteristik campuran	Nilai	Persyaratan
Stabilitas (kg)	846 – 915	Min 800
Kelelahan (mm)	3,0 – 3,6	Min 3,00
Marshall quetion (kg/mm)	253 – 278	Min 250
VIM (%)	3,5 – 5,5	3,50 – 5,50
VMA (%)	16,7	Min 15%
VFA (%)	67 – 78	Min 65
VIM PRD (%)	3,1 – 4,2	Min 2,5

Tabel 7. Hasil pengujian stabilitas dan kelelahan

Kadar Aspal (%)	Kepadatan maksimum (t/m <sup>3</sup> )			Stabilitas (kg)			Kelelahan (mm)		
	Rata-rata	SD	CV (%)	Rata-rata	SD	CV (%)	Rata-rata	SD	CV (%)
4,5	2,507	0,003	0,11	760	5,6	0,7	2,71	0,03	1,12
5,0	2,471	0,007	0,27	827	11,0	1,3	3,02	0,04	1,37
5,5	2,435	0,007	0,28	892	8,5	0,9	3,33	0,06	1,99
6,0	2,402	0,009	0,38	925	7,6	0,8	3,63	0,03	0,88
6,5	2,369	0,008	0,32	897	16,8	1,8	4,16	0,05	1,32
7,0	2,337	0,005	0,21	800	15,0	1,8	4,57	0,15	3,37

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, aspal Buton dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai bahan aditif (*modifier*) pada campuran-beraspal AC-WC, dengan tujuan agar campuran-beraspal AC-WC memiliki stabilitas yang lebih tinggi, sehingga ketahanan AC-WC terhadap deformasi permanen menjadi lebih baik. Walaupun demikian, penambahan aspal yang berasal dari aspal Buton (atau persentase penambahan aspal Buton itu sendiri) harus dilakukan dengan baik karena semakin banyak persentase aspal Buton yang ditambahkan akan menyebabkan stabilitas Marshall bertambah kecil setelah mencapai titik optimal.

## 7. Daftar Pustaka

- Alavi, A. H., Ameri, M., Gandomi, A. H. & Mirzahosseini, M. R. 2011. Formulation of flow number of asphalt mixes using a hybrid computational method. *Construction and Building Materials*, 25(3), pp 1338-1355.
- Ali, A. & Poernomo. 2007. Jati diri aspal buton di era naiknya harga aspal minyak. *Majalah Teknik Jalan dan Transportasi*.
- Bahia, H. U., Hislop, W. P., Zhai, H. & Rangel, A. 1998. Classification of asphalt binders into simple and complex binders. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 67(
- Collins, R., Shami, H. & Lai, J. 1996. Use of Georgia loaded wheel tester to evaluate rutting of asphalt samples prepared by Superpave gyratory compactor. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1545), pp 161-168.
- Karami, M. & Hamid, N. 2015. The effect of granular BRA modifier binder on the stiffness modulus of modified asphalt. *Advances in Civil Engineering and Building Materials IV*. CRC Press.
- Karami, M., Nega, A., Mosadegh, A. & Nikraz, H. 2016. Evaluation of Permanent Deformation of BRA Modified Asphalt Paving Mixtures Based on Dynamic Creep Test Analysis. *Journal of Advanced Engineering*, 16(69-81).
- Karami, M. & Nikraz, H. 2015. Using Advanced Materials of Granular BRA Modifier Binder to Improve the Flexural Fatigue Performance of Asphalt Mixtures. *Procedia Engineering*, 125(452-460).
- Khodaii, A. & Mehrara, A. 2009. Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test. *Construction and Building Materials*, 23(7), pp 2586-2592.
- Kurniadji. Tinjauan Campuran Beraspal Panas untuk Simpangan dan Tanjakan (Hot Mix Asphalt used for Crossroad and Grade - an Overview). Mewujudkan Teknologi Infrastruktur Jalan yang Inovatif, 2007 Bandung - Indonesia. Pusat Penelitian and Pengembangan Jalan dan Jembatan-Departemen Pekerjaan Umum (The Center for Road Research and Development-Department of Public Work).
- Page, G., Musselman, J. & Romano, D. 1997. Effects of aggregate degradation on air voids of structural asphalt mixture in Florida. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1583), pp 19-27.



- Subagio, B. S., Rahman, H., Fitriadi, H. & Lusiana, L. Plastic Deformation Characteristics and Stiffness Modulus of Hot Rolled Sheet (HRS) containing Buton Asphalt (ASBUTON). Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2007. Eastern Asia Society for Transportation Studies, 262-262.
- Subagio, B. S., Siswosoebrotho, B. & Karsaman, R. Development of laboratory performance of indonesia rock asphalt (ASBUTON) in hot rolled asphalt mix. Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2003.
- Zamhari, K. A., Hermadi, M. & Ali, M. H. 2014. Comparing the Performance of Granular and Extracted Binder from Buton Rock Asphalt. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 7(1), pp 25-30.
- Zhou, F., Scullion, T. & Sun, L. 2004. Verification and modeling of three-stage permanent deformation behavior of asphalt mixes. *Journal of Transportation Engineering*, 130(4), pp 486-494.