

PENGARUH PENAMBAHAN *BUTON GRANULAR ASPHALT* PADA CAMPURAN BETON ASPAL TERHADAP MODULUS RESILIEN DAN GRADASI

Heddy R. Agah
Departemen Teknik Sipil
Universitas Indonesia
Kampus UI – Depok 16424
agah@eng.ui.ac.id

Sigit P. Hadiwardoyo
Departemen Teknik Sipil
Universitas Indonesia
Kampus UI – Depok 16424
sigit@eng.ui.ac.id

Abstract

Buton Asphalt is a natural asphalt which has advantages because it contains minerals and asphalt, even though its asphalt content does not completely meet the specification as a binder of asphalt concrete. Various studies of the Buton Asphalt usage have been carried out. This paper presented the results of a study on asphalt concrete mixtures using materials of Buton Granular Aggregate (BGA), treating the BGA as aggregates, with the BGA content of 5% and 7%. Mixtures and specimens were analyzed to investigate the effects of BGA on the performance of asphalt concrete. The results showed that the indirect tensile strength for the mixture with BGA of 5% is higher than that obtained in the those with BGA content of 7%.

Keywords: natural asphalt, asphalt concrete, Buton Granular Asphalt, indirect tensile strength.

Abstrak

Aspal Buton merupakan aspal alam yang memiliki kelebihan karena sudah mengandung mineral dan aspal, meskipun kandungan aspal tersebut tidak sepenuhnya memenuhi syarat sebagai bahan pengikat beton aspal. Berbagai penelitian sebagai upaya optimasi penggunaan Aspal Buton telah banyak dilakukan. Pada makalah ini disajikan hasil penelitian campuran beton aspal yang menggunakan bahan Buton Granular Aggregate (BGA) sebagai bahan tambah, dengan memperlakukan BGA sebagai agregat dengan kandungan 5% dan 7%. Campuran dan benda uji dianalisis untuk mempelajari pengaruh BGA terhadap kinerja beton aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Indirect tensile strength* untuk campuran dengan kandungan BGA 5% lebih tinggi daripada yang didapat pada benda uji dengan kandungan BGA 7%.

Kata-kata Kunci: aspal alam, beton aspal, *Buton Granular Asphalt*, *indirect tensile strength*.

PENDAHULUAN

Kebutuhan aspal di Indonesia terus meningkat namun kebutuhan tersebut tidak terpenuhi karena keterbatasan kapasitas penghasil aspal. Selain bahan aspal yang berbasis minyak bumi, terdapat aspal asli atau aspal alam, seperti yang dapat ditambang di Pulau Buton, Indonesia. Jenis aspal alam yang berasal dari Pulau Buton ini dibagi menjadi dua macam, yaitu aspal keras yang ditemukan di daerah Kabungka dan aspal lembek yang

dapat ditambang di daerah Lawele. Aspal alam yang berasal dari Pulau Buton ini mempunyai kadar aspal yang bervariasi, dari 10% sampai dengan 40%, dengan rata rata sekitar 21,8%. Jumlah deposit aspal alam ini diperkirakan sebesar 350 juta ton.

Berbagai penelitian dan pemanfaatan Aspal Buton ini telah dilaksanakan, baik sebagai aditif maupun sebagai material dasar campuran beton aspal. Aspal Buton Butir merupakan hasil pengolahan Aspal Buton padat yang dipecah dengan alat pemecah (*crusher*) yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. Hingga tahun 1987 Aspal Buton Butir konvensional, yaitu berupa agregat Aspal Buton dengan ukuran butir maksimum 12,5 mm dan dikirim dalam bentuk curah, pernah digunakan di Indonesia (Affandi, 2008). Persyaratan untuk Aspal Buton Butir disajikan pada Tabel 1, yang dikelompokkan berdasarkan kelas penetrasi dan kandungan aspalnya.

Tabel 1 Persyaratan Asbuton Butir

Sifat-sifat Aspal Buton	Metode Pengujian	Tipe 5/20	Tipe 15/20	Tipe 15/25	Tipe 20/25
Kadar bitumen Aspal Buton; %	SNI 03-3640-1994	18 – 22	18 – 22	23 – 27	23 – 27
Ukuran butir					
Lolos Ayakan No 4 (4,75 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	100
Lolos Ayakan No.8 (2,36 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	Min. 95
Lolos Ayakan No.16 (1,18 mm); %	SNI 03-1968-1990	Min. 95	Min. 95	Min. 95	Min. 75
Kadar air, %	SNI 06-2490-1991	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 2
Penetrasi aspal asbuton pada 25°C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2490-1991	≤ 10	10 – 18	10 – 18	19 – 22

Keterangan:

1. Asbuton butir Tipe 5/20 : Kelas penetrasi 5 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 20%.
2. Asbuton butir Tipe 15/20 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 20%.
3. Asbuton butir Tipe 15/25 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 25%.
4. Asbuton butir Tipe 20/25 : Kelas penetrasi 20 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 25%.

Pemanfaatan Aspal Buton telah diperluas dengan berbagai optimasi melalui modifikasi bahan dasar sehingga dapat dimanfaatkan, baik sebagai aditif dalam bentuk granular maupun sebagai aspal modifikasi (Samadhi et al, 2011). Perkembangan karakteristik Aspal Buton dapat dilihat pada Tabel 2. Bahan ini memiliki sifat agregat yang mengaglomerasi selama masa penyimpanan. Proses aglomerasi ini diperburuk oleh kondisi alam di Indonesia yang lembab, yang selain menyebabkan terjadinya aglomerasi cenderung menjadikan bahan ini lebih lengket.

Sifat teknis Aspal Buton berdasarkan lokasi penambangannya disajikan pada Tabel 3. Aspal Buton ini mempunyai variasi kandungan aspal antara (20-30) % berat, dengan nilai penetrasi yang bervariasi. Aspal yang berasal dari lokasi penambangan Lawele mempunyai nilai penetrasi jauh lebih tinggi dibandingkan aspal yang berasal dari lokasi penambangan Kabungka.

Tabel 2 Perkembangan Pemanfaatan Karakteristik Dasar Aspal Buton

Tahun	Tipe Produk	Ukuran Butir Maks	Kadar Bitumen (%)	Kadar Air (%)	Kemasan	Metode campuran
1929	Asbuton Konvensional	½" (12,7 mm)	18 – 22	10 – 15	Curah	Dingin
1993	Asbuton Halus	¼" (6,35 mm)	< 6	2 ± 2	Karung Plastik @40 kg	Dingin
1993-1996	Asbuton Mikro Plus	No. 8 (2,36 mm)	25 ± ½	< 2	Karung Plastik kedap air @40 kg	Panas
1995	BMA (Butonite Mastic Asphalt)	Mineral < 600 µm	50	< 2	Bahan dasar Asbuton mikro	Panas
1997	Retona (ekstraksi aspal buton) + Aspal Minyak (20% + 80%)	-	90	< 2	Blok/curah	Panas
2002	BGA (Buton Granular Asphalt)	Mineral < 1,16 mm	20 – 25	< 2	Karung plastik 2 lapis @40 kg	Panas

Tabel 3 Properti Aspal Alam Hasil Ekstraksi dari Lokasi Kabungka dan Lawele

Properti	Unit	Kabungka	Lawele
Kadar aspal	% berat	20	30.8
Penetrasi ((25°C, 100 g, 5 detik)	0,1mm	4	36
Titik Lembek	°C	101	59
Titik Nyala	°C	-	198
Daktalitas (25°C, 5 cm/min)	cm	<140	>140
Specific Gravity		1.046	1.037
Penetrasi (LOH) (25°C, 100 g, 5 detik)	% berat		94
Titik lembek (LOH)	°C		62
Kehilangan pada pemanasan (163°C, 5jam)	% berat		0.31
Kelarutan trichloroethylene	% berat		99.6

METODE PENGUJIAN

Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan bahan pengikat aspal Pen 60/70. Bahan BGA digunakan dengan menetapkan dan menambahkannya sebagai bagian gradasi agregat. Pendekatan ini dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa BGA berbentuk agregat.

Benda uji campuran beton aspal dibuat dengan 3 tipe, yaitu 1 campuran murni tanpa bahan tambahan dan 2 campuran yang menggunakan tambahan BGA sebanyak masing-masing 5 % dan 7 % yang dihitung berdasarkan persentase berat. Benda uji dibuat untuk masing masing tipe campuran dengan menggunakan bahan pengikat dengan rentang (4,5-6,5) % dengan interval 0,5 %.

Pengujian dilakukan melalui dua tahapan, yaitu: (i) menguji kinerja dengan menggunakan metode Marshall dan (ii) menentukan modulus resilien dengan alat UMATTA. Uji modulus resilien dilakukan dengan skenario kombinasi 3 variasi pulsa beban (pulse) dan waktu pembebanan (*rise time*) serta 2 variasi temperatur. Variasi kombinasi pulsa dan *rise time* adalah: (1) 80-3000, (2) 40-1000, dan (3) 42-3000

sedangkan variasi temperatur adalah: (1) tanpa pemanasan (temperatur udara) dan (2) dipanaskan pada 40°C selama 24 jam sebelum diuji.

HASIL DAN ANALISIS

Aspal yang digunakan adalah aspal jenis AC 60/70. Hasil pemeriksaan standar terhadap aspal disajikan ada Tabel 4. Seluruh jenis pemeriksaan menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan
		Min	Maks	
Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	60	79	62,8
Titik Lembek aspal 5°C	°C	48	58	49
Titik Nyala aspal	°C	232	-	320
Kehilangan Berat aspal	% Berat	-	0,4	0,19
Kelarutan dalam CCl ₄	% Berat	99	-	99,5
Daktilitas	cm	100	-	100
Penetrasi setelah kehilangan berat	% Semula	75	-	89,17
Penetrasi setelah kehilangan berat	0,1 mm	54	-	56
Berat jenis	gram/cc	1	-	1,031

Bahan berbasis aspal Buton yang digunakan, yang merupakan jenis Buton Granular Aggregate (BGA) tipe 20/25, diuji gradasi agregat dan kadar kandungan aspalnya. Ekstraksi BGA dilakukan dengan menggunakan cairan TCE (*trichloroethylene*) dan alat ekstraktor *reflux* guna mengetahui kandungan aspal. Analisis gradasi dilakukan untuk mengetahui susunan agregat sebelum dan sesudah proses ekstraksi. Hasil analisis saringan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Analisis Saringan BGA Sebelum dan Sesudah Ekstraksi

Saringan No.	Sebelum ekstraksi			Setelah ekstraksi		
	Berat Tertahan (gram)	Tertahan %	Lolos Kumulatif %	Berat Tertahan (gram)	Tertahan %	Lolos Kumulatif %
4	118	11,8	88,19	0	0,00	100,00
8	194	19,42	68,77	1	0,10	99,90
30	258	25,83	42,94	5	0,50	99,40
50	275	27,53	15,42	51	5,06	94,34
100	123	12,31	3,10	97	9,71	84,63
200	29	2,90	0,20	82	8,16	76,48
Pan	2	0,20	0,00	159	15,87	60,61
	999			394		

Hasil uji saringan BGA (pada Tabel 5) menunjukkan bahwa setelah diekstraksi sebanyak 76,48% kumulatif agregat halus lolos saringan No. 200. Perubahan komposisi tersebut sangat nyata bila dibandingkan dengan gradasi BGA dalam bentuk aslinya.

Kinerja Marshall Campuran Beton Aspal

Pada Tabel 6 disajikan hasil uji terhadap 3 tipe campuran untuk benda-benda uji dengan kandungan aspal mulai 4,5 % hingga 6,5 % dengan interval 0,5 %. Penetapan kadar aspal optimum tidak dilakukan berdasarkan nilai optimum campuran beton aspal asli, tetapi untuk setiap komposisi kandungan BGA ditentukan masing-masing kadar aspal optimumnya.

Tabel 6 Kinerja Campuran Beton Aspal

	BGA	Kadar aspal				
	(%)	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VIM (%)	0	9,5*	7,6*	5,8	4,9	5,2*
VMA (%)		19,2	18,6	17,9	18,2	19,4
Stabilitas (kg)		904,4	1061,9	911,3	911,2	827,9
Flow (mm)		2,8	2,9	3,3	3,4	3,6
MQ (kg/mm)		329,7	376,7*	280,8	271,5	230,5
VIM (%)	5	9,4*	7,5*	6,*	5,1	3,8
VMA (%)		20,5	19,9	19,7	19,9	19,8
Stabilitas (kg)		1058,7	1114,0	1132,7	1116,5	1136,2
Flow (mm)		3,3	3,50	3,5	3,53	3,9
MQ (kg/mm)		325,0	323,5	322,2	315,5	291,7*
VIM (%)	7	8,6*	6,8*	5,7*	4,9	4,7
VMA (%)		20,5	20,0	19,6	20,6	21,4
Stabilitas (kg)		1089,7	1299,1	1115,4	1211,6	1043,0
Flow (mm)		3,6	4,0	3,8	4,5	4,1
MQ (kg/mm)		305,8	325,8	307,6	239,1*	254,3*

*tidak memenuhi spesifikasi

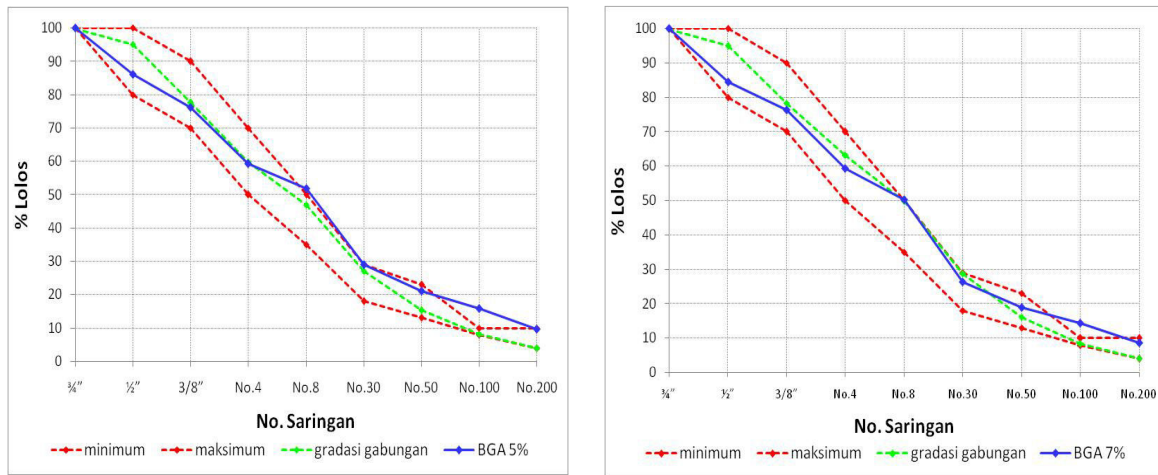
Berdasarkan pendekatan tersebut diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran tanpa BGA dan campuran dengan 5% BGA adalah masing-masing sebesar 6%. Campuran dengan 7 % BGA tidak memenuhi seluruh persyaratan untuk memperoleh nilai optimum.

Gradasi Agregat

Pada tahap perancangan campuran, unsur BGA diperhitungkan terhadap komposisi gradasi agregat secara keseluruhan sehingga dengan penambahan 5% dan 7% didapat susunan gradasi sesuai dengan spesifikasi Laston tipe IV. Tetapi karena sifat bahan dasar BGA yang memiliki kandungan mineral dan aspal, maka terdapat kecenderungan terjadinya pemisahan antara mineral dan bahan aspalnya pada saat pencampuran atau saat pelaksanaan di lapangan. Hasil ekstraksi terhadap benda uji menunjukkan bahwa terjadi perubahan komposisi agregat dibandingkan dengan komposisi agregat awal. Perubahan ini terjadi akibat degradasi agregat dengan ukuran ½ inch, 3 inch, dan ukuran saringan No. 4, yang berakibat terjadinya penambahan agregat dengan ukuran yang lebih halus pada

saringan No. 50, No. 100, dan No. 200. Perubahan komposisi agregat akibat degradasi agregat tersebut terjadi pada dua jenis campuran yang diuji, yang berarti bahwa perubahan tersebut sangat dipengaruhi oleh sifat dan komposisi BGA.

Agregat BGA awal yang digunakan sebagai masukan untuk rancangan gradasi sesungguhnya terdiri atas skeleton mineral yang terbungkus oleh lapis aspal kering di setiap agregatnya. Proses ekstraksi dilaksanakan setelah dilakukan uji tekan Marshall. Perubahan komposisi gradasi tersebut disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 1.



Gambar 1 Gradasi Agregat Campuran Beton Aspal dengan BGA sebanyak 5% dan 7%

Tabel 7 Perubahan Gradasi Setelah Ekstraksi untuk BGA 5% dan BGA 7%.

Nomor Saringan	Spec.	Campuran dengan BGA 5%			Campuran dengan BGA 7%		
		Gradasi Awal	Gradasi akhir	Perubahan Gradasi (%)	Gradasi Awal	Gradasi akhir	Perubahan Gradasi (%)
3/4"	100-100	99,80	100	0,20	99,8	100	0,18
1/2"	80-100	94,85	92,29	-2,70	95,1	87,3	-8,19
3/8"	70-90	78,23	77,74	-0,63	77,6	77,46	-0,19
No.4	50-70	63,23	60,93	-3,62	59,9	59,18	-1,11
No.8	35-50	49,79	51,84	4,12	46,8	49,8	6,32
No.30	18-29	28,80	27,14	-5,76	27,0	26,12	-3,42
No.50	13-23	16,15	19,24	19,16	15,3	18,5	21,08
No.100	8-10	8,50	14,55	71,20	8,1	13,9	71,05
No.200	4-10	4,13	9,04	119,07	4,0	8,2	107,00

Indirect Tensile Test

Uji ini digunakan untuk memperhitungkan karakteristik tarik beton aspal yang selanjutnya dapat menjadi masukan dalam melakukan kajian terhadap jenis retak lapis

perkerasan (Tayfura et al, 2007). Modulus resilient banyak digunakan untuk kepentingan perkerasan lentur dan pendekatannya bergantung pada perilaku material perkerasan yang diamati setelah beberapa jumlah kritis pembebanan siklik (N), ketika bahan mencapai kondisi *resilient* sehingga dapat dianggap bersifat elastis (Desai, 2009). Uji dilakukan dengan kombinasi antara pulsa beban dan waktu pembebanan (*rise-time*) untuk dapat menggambarkan modulus resilien pada kondisi pembebanan dengan lalulintas dan kecepatan tertentu.

Pada percobaan ini ditetapkan nilai 1000 ms dan 3000 ms untuk moda periode pulsa yang masing-masing mewakili lalulintas tinggi dan lalulintas rendah serta nilai 40 ms, 42 ms, dan 80 ms yang masing-masing mewakili kecepatan tinggi dan kecepatan rendah. Uji tersebut dilaksanakan setelah benda uji dipanaskan 40°C selama 24 jam. Khusus untuk kombinasi 42 ms – 3000 ms pengujian dilakukan pada dua jenis temperatur, yaitu temperatur udara dan 40°C. Dari kedua jenis perlakuan tersebut didapat kenaikan nilai modulus resilient benda uji yang tidak dipanaskan dan yang dipanaskan sebelum diuji. Hasil uji ini disajikan pada Tabel 7.

Pengaruh pemanasan pada 40°C selama 24 jam mengakibatkan terjadi perubahan dengan masing masing meningkat sebesar 9.96% dan 15.16% masing masing untuk campuran tipe B5 dan B7. (Tabel 8 dan 9). Dari dua tipe campuran dengan tambahan BGA, diperoleh kesimpulan kombinasi antara rise-time dan pulsa yang rendah memberikan nilai modulus resilient lebih tinggi dibandingkan dengan kombinasi sebaliknya. Pada lalulintas tinggi dan kecepatan tinggi modulus resilient meningkat.

Tabel 8 Hasil Uji *Indirect Tensile Strength*

Tipe	Force (N)	Total Recovery Strain	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 10%-90% (ms)	Load Time (ms)	Delay at 90 % (ms)	Modulus Resilien (MPa)
B5 (40 - 1000)	2398	41,28	209,1	43,8	126,4	4,4	5329,8
B5 (80 - 3000)	3217,3	71,984	280,2	81,2	188,2	9,4	4099,4
B7 (40 - 1000)	2437,7	31,474	219,1	43,8	126,8	5,4	7331,8
B7 (80 - 3000)	3062,2	51,420	275,2	81,4	185,8	10	5635,6

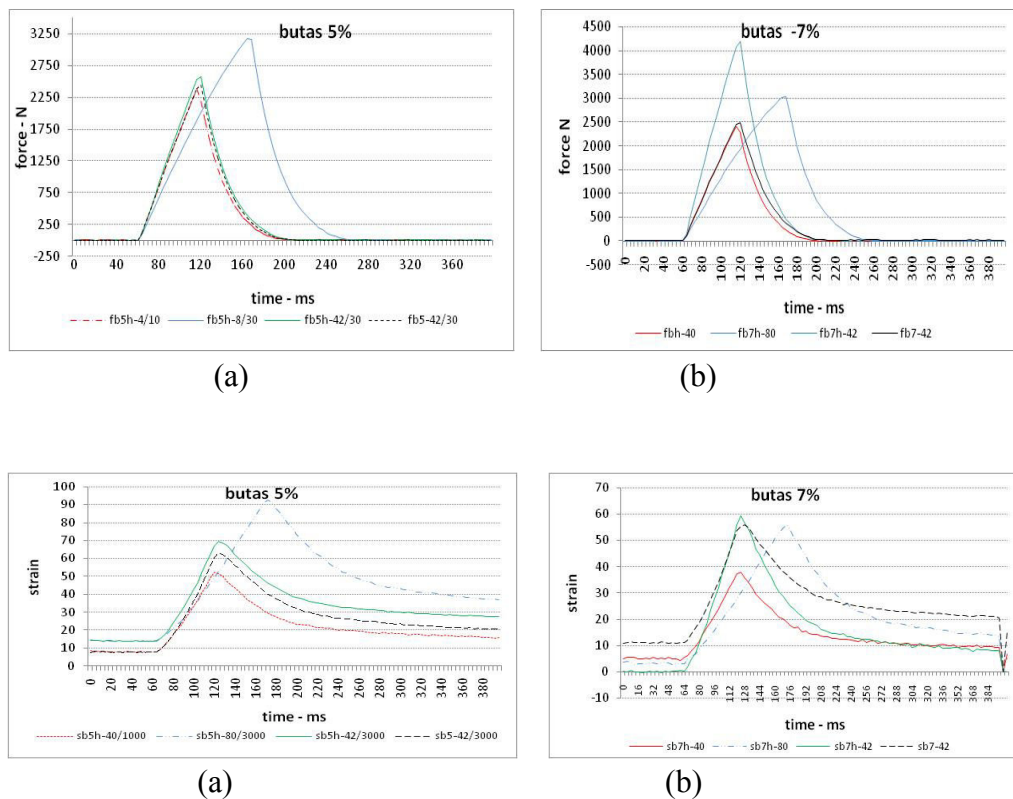
Tabel 9 Nilai Modulus Resilien Jenis Campuran Berdasar *Rise Time* dan *Pulse Mode*

Jenis Campuran	<i>Rise Time</i> dan <i>Pulse Mode</i>			
	(40-1000) H	(80-3000) H	(42-3000) H	(42-3000) H
B5	5329,8	4099,4	4306,7	4736
B7	7331,8	5635,6	5623,9	6477,2

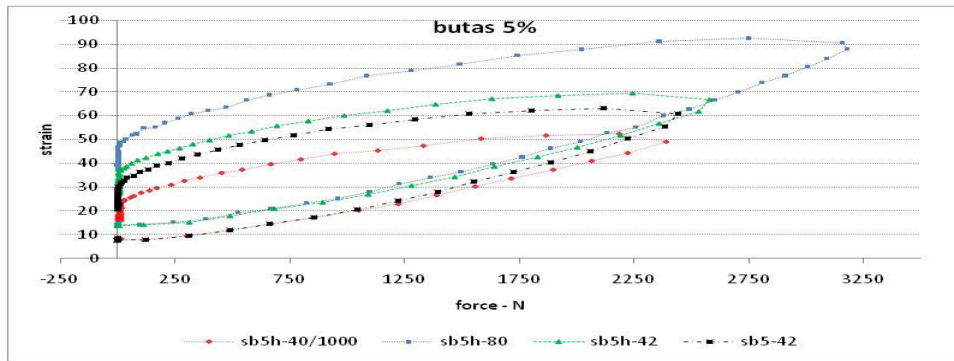
Perubahan regangan dan beban selama masa uji disajikan pada Gambar 2a dan 2b. Regangan yang terjadi pada masa pemberian pulsa beban dibaca dengan frekuensi pembacaan setiap 4 ms. Regangan yang terjadi pada campuran tipe B5 menghasilkan nilai

yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran tipe B7. Nilai regangan untuk benda uji yang dipanaskan sebelum diuji memberi angka lebih tinggi. Berdasarkan hasil pembacaan regangan dari rangkaian 5 pulsa nilai regangan untuk campuran tipe B5 diperoleh sebesar 69,94 dan 90,54 untuk variasi *rise time* 42 dan 80, sedangkan untuk campuran tipe B7 diperoleh sebesar 59,37 dan 55,9 untuk *rise time* yang sama (Gambar 3).

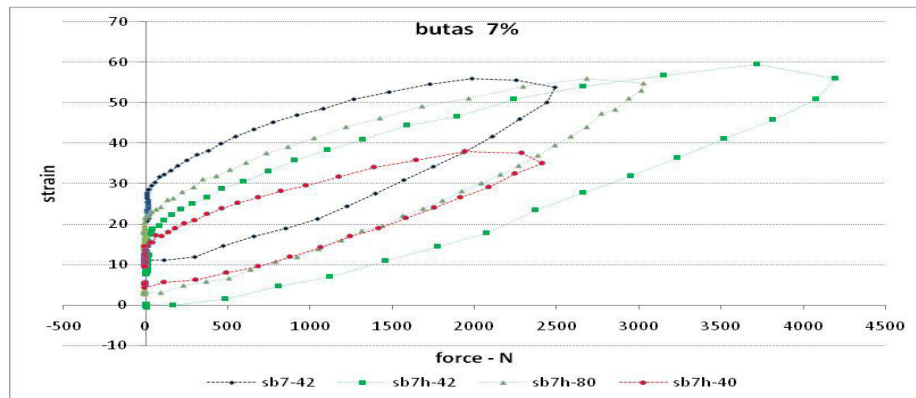
Hasil uji UMATTA dengan memperbandingkan antara parameter *total recovery strain* dengan *force* dengan 5 pulsa pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4a dan Gambar 4b, masing masing untuk campuran dengan kandungan BGA 5% dan 7%. Titik puncak hubungan ini terjadi pada kondisi gabungan *rise time* dan pulsa 40-3000 dan titik terkecil ditemukan pada kondisi pembebanan dengan *rise time* 80-1000 untuk benda uji dengan BGA 5%. Untuk benda uji dengan kandungan BGA 7%, titik puncak tertinggi pada hubungan *stress* dan *strain* terjadi pada pembebanan (40-3000) dan (42-3000) untuk masing masing nilai terendah dan tertinggi. Kedua campuran dengan angka tersebut adalah benda uji yang telah melalui pemanasan awal.



Gambar 2 Perubahan Beban (N) dan Strain Berdasarkan Waktu Pembebanan Untuk Campuran dengan BGA 5% (a) dan BGA 7% (b)



(a)



(b)

Gambar 4 Hubungan antara Pembebanan dan Strain untuk BGA 5% (a) dan BGA 7% (b)

KESIMPULAN

Aspal Buton sebagai material jenis aspal alam dapat dipergunakan untuk bahan konstruksi perkerasan beton aspal. Berdasarkan komposisi kandungan mineral dan aspal penyelimut mineral, cenderung akan terjadi degradasi atau pelepasan bahan pengikat aspal dari mineralnya. Dengan kondisi ini penambahan BGA perlu dipertimbangkan pada saat melakukan analisis gradasi perancangan campuran pada tahap awal. Pemeriksaan komposisi BGA pada tahap awal dengan melakukan ekstraksi dapat memperkirakan kontribusi agregat campuran. Perbandingan antara benda-benda uji yang dipanaskan sebelum uji pada temperatur 40⁰C menunjukkan pengaruh sifat dasar aspal akibat perubahan konsistensi dan sifat viscoelastic.

Indirect tensile strength untuk campuran dengan kandungan BGA 5% lebih tinggi daripada yang didapat pada benda uji dengan kandungan BGA 7%. Campuran dengan BGA 5% ini lebih baik daripada campuran dengan BGA 7% karena pengaruh butir-butir agregat halus.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F. 2009. *Sifat Campuran Beraspal Panas dengan Asbuton Butir*. Jurnal Jalan dan Jembatan, 26 (2): 93-106.
- Airey, G. D., Hunter, A. E., and Collop, A. C. 2008. *The Effect of Asphalt Mixture Gradation and Compaction Energy on Aggregate Degradation*. Journal of Construction and Materials, 27: 972-980.
- Amalia, M. 2012. *Analisis Penggunaan Bahan Aditif Jenis Polimer terhadap Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Tambahan Variasi BGA (Buton Granular Asphalt)*. Skripsi tidak diterbitkan. Departemen Teknik Sipil. Depok: Universitas Indonesia.
- Badan Penelitian dan Pengembangan. 2009. *Aspal Buton*. Jakarta. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Badan Penelitian dan Pengembangan. 2007. *Tata Cara Pelaksanaan Lapis Beton Aspal (LASTON) Untuk Jalan Raya*. RSNI 03-1737-1989. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Rancangan Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen*. Jakarta.
- Desai, C. S. 2009. *Unified Disturbed State Constitutive Modeling of Asphalt Concrete, in Modeling of Asphalt Concrete*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Martha, A. 2012. *Analisis Kinerja Campuran Panas dengan Menggunakan Variasi Komposisi BGA (Buton Granular Asphalt) dan Penambahan Aditif Jenis Polimer*. Skripsi tidak diterbitkan. Departemen Teknik Sipil. Depok: Universitas Indonesia.
- Sarana Karya, PT. 2001, *Buton Granular Asphalt, Aspal Alam Mutu Tinggi untuk Kinerja Jalan yang lebih baik*. Jakarta.
- Samadhi, T. W., Putrawan, I. D. G. A., Prabowo, B. E., dan Dwitawidi, A. 2011. *Statistical Evaluation on Non-agglomeration Coating for Granulated Natural Asphalt*. Journal Engineering Science, 43 (1): 41-56.
- Tayfura, S., Ozenb, H., and Aksoyc, A. 2007. *Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifier*. Journal of Construction and Building Materials, 21 (2).