

KAJIAN MATERIAL *STONE MATRIX ASPHALT ASBUTON* BERDASARKAN KRITERIA DEFORMASI PERMANEN (A STUDY OF *STONE MATRIX ASPHALT ASBUTON* MATERIAL BASED ON PERMANENT DEFORMATION CRITERION)

Nyoman Suaryana

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jalan A.H. Nasution no.264, Bandung, 40294
e-mail: nyoman.suaryana@pusjatan.pu.go.id
Diterima : 05 Juni 2012 ; Disetujui : 06 Agustus 2012

ABSTRAK

Pada tahun 70-an di Indonesia mulai digunakan material Asphaltic Concrete (AC), namun penggunaan AC dengan tebal minimum pada perkerasan yang belum mantap menimbulkan kerusakan berupa retak-retak. Selanjutnya pada pertengahan tahun 80-an, diperkenalkan HRS yang mempunyai kelenturan yang tinggi, selaput aspal yang lebih tebal. Permasalahan retak hilang, namun muncul masalah baru dengan terjadinya deformasi permanen, khususnya pada jalan dengan lalu-lintas berat. Pengalaman tersebut menunjukkan perlunya dikembangkan material yang dapat mengatasi masalah deformasi permanen, tanpa harus kehilangan durabilitas. Salah satu material yang dikembangkan di Indonesia adalah Stone Matrix Asphalt Asbuton (SMAB) yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari Split Mastic Asphalt atau Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan memanfaatkan bahan lokal aspal buton. Metodologi penelitian dilaksanakan dengan cara melakukan kajian literatur dan selanjutnya melaksanakan pengujian empiris dan simulasi di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan pencampuran yang sesuai untuk SMAB adalah dengan cara-basah (urutan pencampuran adalah agregat-aspal-Asbuton), dan apabila digunakan pemadat Marshall jumlah pemadatan yang disarankan adalah 2 x 50 tumbukan meskipun untuk lalu-lintas berat. Hasil pengujian menunjukkan penambahan Asbuton dapat mengurangi terjadinya pengaliran aspal sehingga dapat menggantikan fungsi serat selulosa sebagai bahan penstabil. Penambahan Asbuton juga meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen. Dalam penelitian ini telah dikembangkan rumus pendekatan untuk menghitung kadar aspal optimum SMAB.

Kata kunci: SMA, SMAB, Asbuton, serat selulosa, pengaliran aspal, deformasi permanen

ABSTRACT

In the 70's, Asphaltic Concrete (AC) material was initially used in Indonesia, but the use of AC with the minimum thickness in unstable pavement caused damage in the form of cracks. Later in the mid-80s, high flexibility and thicker asphalt film of HRS was introduced. The problem of cracks disappeared, but new problems arose with the occurrence of permanent deformation, especially in the road with heavy traffic. Such experience indicated the need to develop materials that can overcome the problem of permanent deformation, without loss of durability. The material that was developed in Indonesia is Stone Matrix Asphalt Asbuton (SMAB) which is a further development of the Split Mastic Asphalt or Stone Matrix Asphalt (SMA) with utilizing local material Asbuton (Buton asphalt). The research methodology carried out was literature study and followed by empirical and simulation testing in the laboratory. The results showed that the appropriate method of mixing SMAB is wet-method (the order of mixing is aggregate-asphalt-Asbuton), and when using Marshall' compactor, the number of recommended compaction is 2 x 50 blows even for heavy traffic. Test results showed that the addition of Asbuton can reduce the occurrence of draindown asphalt so that it can replace the function of fiber cellulose as stabilizers. The addition of Asbuton also increase the resistance to permanent deformation. The study also developed a formulation approach for calculating the optimum bitumen content for SMAB.

Keywords: SMA, SMAB, Asbuton, fiber cellulose, asphalt draindown, permanent deformation

PENDAHULUAN

Pada tahun 70-an di Indonesia mulai digunakan material *Asphaltic Concrete (AC)*, namun penggunaan *AC* dengan tebal minimum pada daerah yang belum mantap sebagai implikasi keterbatasan dana menimbulkan kerusakan berupa retak-retak. Kepekaan *AC* terhadap ketelitian pelaksanaan dan pelapukan selaput aspal diperkirakan merupakan penyumbang terbesar dalam kerusakan tersebut.

Selanjutnya pada pertengahan tahun 80-an, diperkenalkan *HRS* yang mempunyai kelenturan yang tinggi, selaput aspal yang lebih tebal, dan lebih toleran terhadap ketelitian pelaksanaan. Permasalahan retak hilang, namun muncul masalah baru dengan terjadinya deformasi permanen. Kegagalan memenuhi persyaratan gradasi senjang dan persyaratan kadar aspal diduga menjadi penyebab kegagalan tersebut.

Pengalaman di atas dan dengan makin beratnya beban lalu-lintas yang harus dilayani, menunjukkan perlunya dikembangkan material yang dapat mengatasi masalah deformasi permanen, tanpa harus mengorbankan faktor keawetan dan ketahanan campuran terhadap retak lelah. Salah satu material yang dikembangkan di Indonesia adalah *Stone Matrix Asphalt Asbuton (SMAB)* yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari *Split Mastic Asphalt* atau *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan memanfaatkan bahan lokal aspal buton.

Penelitian mengenai material *SMA* yang lebih tahan terhadap deformasi permanen menjadi penting mengingat deformasi permanen terutama pada jejak roda sangat membahayakan pengguna jalan karena dapat merubah arah kendaraan dan menimbulkan genangan air sehingga muncul efek *hydroplaning*.

KAJIAN PUSTAKA

Deformasi permanen

Mekanisme deformasi permanen dapat dibedakan menjadi dua:

1. Kompresi arah vertikal; terjadi karena masih tingginya air void atau kepadatan yang kurang pada lapisan perkerasan (densifikasi-perubahan volume).
2. Geser arah lateral; terjadi pada campuran beraspal yang mempunyai kekuatan geser relatif lemah (geser-perubahan bentuk).

Model deformasi permanen akibat perubahan volume (densifikasi) dan akibat perubahan bentuk (geser) mempunyai perilaku yang berbeda, terutama berkaitan dengan sensitivitas terhadap temperatur dan kecepatan pembebanan.

Hasil investigasi pada 15 campuran yang digunakan pada *SHRP* menunjukkan deformasi akibat perubahan bentuk jauh lebih dominan dibandingkan akibat perubahan volume.

Hasil ini serupa dengan hasil dari pengujian menggunakan *Heavy Vehicle Simulator (HVS)* di University of California sebagai bagian dari proyek Caltrans APT dimana diperoleh hasil bahwa perubahan bentuk (geser) memberikan kontribusi yang utama pada deformasi permanen, dibandingkan dengan perubahan volume (densifikasi).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa permanen deformasi pada temperatur tinggi terjadi pada permukaan perkerasan, yaitu sampai kedalaman 75 – 100 mm dan kedalaman 100 – 150 mm.

Stone Matrix Asphalt (SMA)

Campuran *Split Mastic Asphalt* atau *Stone Matrix Asphalt (SMA)* diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Zichner, seorang manajer laboratorium untuk pelaksanaan jalan di Strabag Bau AG, Jerman pada tahun 1968 dan memperoleh hak paten di Jerman tahun 1969. *SMA* dimaksudkan untuk memecahkan masalah kerusakan yang terjadi pada lapisan aus (*wearing course*) akibat dari roda bertatah (*studded tires*), namun mempunyai durabilitas yang baik sehingga umur layanannya menjadi panjang. Untuk maksud tersebut maka dibuat campuran dengan proporsi agregat kasar yang banyak sehingga membentuk rangka (*skeleton*) agregat yang kuat. Sementara rongga yang terbentuk diantara agregat kasar tersebut diisi

dengan mastik, yaitu campuran antara aspal, agregat halus dan bahan pengisi. Proporsi campuran yang digunakan adalah:

1. Agregat kasar 5-8 mm : 70 %
2. Pasir pecah 0-2 mm : 12 %
3. Bahan pengisi : 10,5 %
4. Aspal (B65) : 7,5 %

Dalam campuran tersebut tidak digunakan agregat ukuran 2 – 5 mm, sehingga menghasilkan gradasi yang senjang.

SMA berkembang pesat di Eropa setelah dipublikasikannya standar teknis Jerman untuk *SMA* (ZTV bit-StB 84). Sementara perkembangan *SMA* di luar Eropa, terutama di Amerika Serikat dimulai awal tahun 1990-an, dengan diperkenalkannya metode standar Amerika (*AASHTO*) untuk merencanakan campuran *SMA*. Keberhasilan *SMA* di Amerika Utara memicu penggunaan *SMA* di beberapa negara lain, seperti Australia, New Zealand dan China.

Kelebihan dan kekurangan *SMA* secara umum adalah seperti berikut (K. Blazejowski 2011):

1. Umur pelayanan yang tinggi.
2. Ketahanan yang tinggi terhadap deformasi sebagai akibat dari kandungan agregat kasar yang besar dan membentuk rangka agregat yang kuat.
3. Ketahanan terhadap retak lelah yang baik karena kadar aspal yang tinggi.
4. Makro tekstur yang baik dan mengurangi cipratan air akibat kendaraan pada saat permukaan basah.
5. Mengurangi kebisingan.

Disamping kelebihan seperti di atas, *SMA* mempunyai kekurangan yaitu:

1. Biaya relatif lebih mahal dibanding campuran beraspal konvensional, sekitar 10 – 20 % sebagai akibat dari penggunaan kadar aspal yang tinggi dan penambahan bahan penstabil.
2. Resiko munculnya spot – spot aspal pada permukaan sebagai akibat kesalahan atau variasi selama produksi atau pelaksanaan.

Persyaratan material *SMA* secara umum mengacu pada *EN 13108-5 (European Standard 2005)* dan standar Amerika (*AASHTO 2008*). Persyaratan untuk agregat dan gradasi *SMA* diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

SMA mengandalkan kekuatan dari rangka (*skeleton*) agregat kasar, dan rongga diantaranya diisi dengan mastik dengan kadar aspal yang tinggi untuk memberikan durabilitas yang baik. Akibat kadar aspal yang tinggi tersebut maka ada kecenderungan aspal akan mengalir (*draindown*) atau terpisah sebagian pada saat penyimpanan di silo (jika ada) dan pengangkutan. Pada saat ini dikenal dua cara untuk mengurangi pengaliran aspal yaitu:

1. Bahan tambah yang menyerap sebagian aspal (*binder absorbers*). Bahan tambah ini diantaranya adalah selulosa, mineral fiber, textile dan plastik. Diantara bahan tambah tersebut yang paling umum digunakan adalah serat selulosa.
2. Bahan tambah yang meningkatkan kekentalan aspal (*viscosity boosters*). Bahan tambah ini diantaranya adalah polimer.

Persyaratan pengaliran dan campuran *SMA* diperlihatkan pada Tabel 3.

***SMA* di Amerika Serikat**

SMA mulai dikembangkan di Amerika Serikat pada tahun 1990-an, setelah beberapa ahli Amerika melakukan kunjungan ke Eropa. Berdasarkan hasil evaluasi pemanfaatan *SMA* di Amerika yang dilakukan oleh NCAT (Ray Brown *et al* 1997), dari 86 proyek yang menggunakan *SMA* diperoleh kesimpulan antara lain: 1) lebih dari 90 % perkerasan mempunyai alur kurang dari 4 mm, 2) retak bukan menjadi masalah besar, 3) tidak terbukti terjadinya pelepasan butir (*ravelling*).

Spot aspal (*fat spot*) menjadi problem utama sebagai akibat segregasi, pengaliran (*draindown*), kadar aspal yang tinggi, atau penstabil (*stabilizer*) yang tidak memadai (Ray Brown *et al* 1997). Penstabil yang digunakan untuk mencegah terjadinya pengaliran (*draindown*) umumnya berupa serat (*fiber*) dan polimer.

Tabel 1. Persyaratan agregat SMA

No	Jenis Pengujian	Jenis Agregat		Satuan
		Agregat Kasar	Agregat Halus	
1	Abrasi	Max. 30	-	%
2	Partikel Pipih dan Lonjong (5 : 1)	Max. 2	-	%
3	Soundness	Max. 15	Max. 15	%
4	Presentase Partikel Pecah			%
	- Satu muka	Min. 100		
	- Dua muka	Min. 90		
5	Batas Cair			%
6	Indeks Plastis		Non Plastis	%

(Sumber: AASHTO 2008)

Tabel 2. Persyaratan gradasi SMA

Ukuran Saringan		Spesifikasi Gradasi									
Inc	mm	AASHTO M 325-08		European Standard EN 13108 - 5							
		Min	Maks	Germany		Slovakia		Sweden		Poland	
				Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
¾"	19,000	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-
	16,000	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
½"	12,500			-	-	-	-	-	-	-	-
	11,200			90	100	90	100	90	100	90	100
3/8"	9,500	50	80								
	8,000			50	65	-	-	35	60	50	65
	5,600			35	45					35	45
#4	4,750	20	35								
#8	2,360	16	24								
	2,000			20	30	20	35	19	30	20	30
#16	1,180										
#30	0,600										
#50	0,300										
#100	0,150										
#200	0,075	8	11								
	0,063			8	12	6	12	9	13	8	12

(Sumber: AASHTO 2008 dan EN 2005)

Tabel 3. Persyaratan campuran SMA

Karakteristik Campuran	Spesifikasi Campuran SMA									
	AASHTO M 325-08		Germany		Slovakia		Sweden		Poland	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
Ketebalan Lapisan, mm	-	-	35 - 40	-	30 - 50	-	24 - 44	-	35 - 50	-
Metode Pemasangan Energi Pemasangan	Gyropac 100	-	Marshall 50	-	Marshall 50	-	Marshall 50	-	Marshall 50	-
Kadar Aspal, %	6,0	-	6,6	-	6,4	-	6,0	-	6,0	-
VIM, %		4,0	2,5	3,0	2,5	4,5	2,0	3,5	3,0	4,0
VMA, %	17,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VFB, %	-	-	Delared	-	74,0	83,0	-	-	-	-
VCA mix, %	Less than VCA drc									
Draindown aspal, %	-	0,3	-	-	-	0,3	-	-	-	0,3
TSR, %	80,0	-	-	-	80,0	-	-	-	90,0	-

(Sumber: AASHTO M 325-08 dan EN 13108-5)

SMA di Indonesia

Pemakaian *SMA* di Indonesia diperkenalkan pada tahun 90-an, namun dianggap kurang berhasil. Kegagalan terjadi karena sulitnya mencampur serat selulosa secara merata dalam campuran *SMA*.

Dengan perkembangan teknologi pengemasan serat selulosa, pada tahun 2010 Pusjatan telah melaksanakan uji coba skala penuh teknologi *SMA* dengan serat selulosa yang dikemas berbentuk pelet pada ruas jalan Jatibarang – Palimanan (Jawa Barat), dengan tebal lapisan 5 cm padat. Sampai dengan saat ini kondisi *SMA* tersebut masih dalam kondisi baik (Iriansjah 2010).

Asbuton

Seperti telah diketahui, terdapat dua jenis aspal alam yaitu aspal alam danau (*lake asphalt*) seperti yang terdapat di Kanada dan aspal alam batuan (*rock asphalt*) seperti terdeposit di Indonesia. Aspal alam di Indonesia terdeposit di Pulau Buton Sulawesi Tenggara dan biasa disebut dengan Asbuton singkatan dari Aspal Batu Buton.

Secara umum dapat dibedakan dua jenis Asbuton dengan karakteristik berbeda yaitu bersifat keras seperti dari Kabungka dan bersifat relatif lunak dari Lawele. Asbuton butir dari Kabungka dikenal dengan istilah *Buton Granular Asphalt (BGA)*, mempunyai ukuran butir maksimum 1,16 mm dan penetrasi sekitar 5 dmm dengan kadar aspal sekitar 20 %. Sementara Asbuton butir dari Lawele dikenal dengan istilah *Lawele Granular Asphalt (LGA)*, mempunyai ukuran butir maksimum 9,4 mm dengan penetrasi sekitar 50 dmm dan kadar bitumen sekitar 30 %.

Menurut hasil penelitian di Pusjatan, penambahan Asbuton butir dengan proporsi yang tepat dalam campuran beraspal *Asphaltic Concrete (AC)* akan meningkatkan ketahanan campuran tersebut terhadap deformasi permanen tanpa mengurangi ketahanan terhadap leleh.

HIPOTESIS

Asbuton butir dapat digunakan sebagai bahan penstabil untuk mengurangi pengaliran aspal dan *Stone Matrix Asphalt Asbuton (SMAB)* lebih tahan terhadap deformasi permanen dibandingkan dengan *SMA*.

METODOLOGI

Untuk mencapai tujuan penelitian, pada tahap awal dilakukan kajian pustaka untuk mengkaji teknologi *SMA* yang digunakan di beberapa negara. Selanjutnya dilaksanakan pengujian karakteristik bahan, karakteristik volumetrik dan karakteristik Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum. Pengujian pengaliran (*draindown*) dilaksanakan untuk melihat efektifitas penggunaan bahan penstabil Asbuton butir dibandingkan dengan serat selulosa. Untuk melihat ketahanan terhadap deformasi permanen digunakan alat uji simulasi *wheel tracking*.

HASIL DAN ANALISIS

Pembuatan rancangan campuran

Metode rancangan campuran dan persyaratan untuk *SMA* terdiri dari beberapa variasi, namun secara umum dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu metode yang berdasarkan standar Eropa (*EN 2005*) dan berdasarkan standar Amerika (*AASHTO 2008*). Pada penelitian ini metode rancangan campuran dan persyaratan yang digunakan mengacu kepada dua metode tersebut.

Karakteristik aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal minyak penetrasi 60 yang diproduksi oleh PT. Pertamina (Persero). Hasil pengujian karakteristik aspal minyak pen 60 diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik aspal pen 60

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian Aspal Pen 60	Satuan
1	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456-1991	62	0,1 mm
2	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	50,3	°C
3	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	317	°C
4	Daktilitas pada 25°C, 100 g, 5 cm/menit	SNI 06-2432-1991	>140	Cm
5	Berat jenis aspal	SNI 06-2441-1991	1,035	-
6	Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	SNI 06-2438-1991	99,52	% berat
7	Kehilangan berat (dengan TFOT)	SNI 06-2440-1991	0,0041	% berat
8	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-1991	76	% asli
9	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434-1991	51,3	°C
10	Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2432-1991	>140	Cm
11	Temperatur pencampuran	AASTHO-27-1990	153	°C
12	Temperatur pematatan	AASTHO-27-1990	142	°C

Tabel 5. Karakteristik Asbuton LGA (hasil pengujian bitumen Asbuton tanpa mineral)

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian Asbuton Butir	Satuan
1	Kadar aspal	SNI 06-2456-1991	23,3	0,1 mm
2	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456-1991	41	0,1 mm
3	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	58,1	°C
4	Titik nyala (COC)	SNI 06-2433-1991	-	°C
5	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-1991	>140	Cm
6	Berat jenis aspal	SNI 06-2441-1991	1,125	-
7	Berat jenis mineral Asbuton	SNI 1964-2008	2,636	-
8	Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	SNI 06-2438-1991	-	% berat
9	Kehilangan berat (dengan TFOT)	SNI 06-2440-1991	3,96	% berat
10	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-1991	67,8	% asli
11	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434-1991	68,6	°C
12	Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2432-1991	25	Cm
13	Analisa saringan (mineral Asbuton)	SNI 03-1968-1991		
	No.4		100	% lolos
	No.8		98	% lolos
	No.16		95	% lolos
	No.30		91	% lolos
	No.50		83	% lolos
	No.100		67	% lolos
	No.200		50	% lolos

Karakteristik Asbuton

Asbuton yang digunakan berupa Asbuton butir yang diproduksi oleh PT. BAI (Buton Asphalt Indonesia), berupa Asbuton butir *LGA*. Asbuton ini mempunyai nilai penetrasi yang relatif tinggi yaitu termasuk dalam klasifikasi aspal pen 40/60. Penggunaan Asbuton dengan penetrasi tinggi tersebut memungkinkan pemakaian yang lebih banyak, sementara mineral yang terkandung di dalamnya dapat bermanfaat untuk sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam *SMA* yang kebutuhannya cukup tinggi. Hasil pengujian karakteristik Asbuton diperlihatkan pada Tabel 5.

Karakteristik agregat

Agregat yang digunakan berasal dari daerah Sewo, Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat. Karakteristik agregat diperlihatkan pada Tabel 6.

Karakteristik serat selulosa

Serat selulosa yang digunakan berbentuk pelet dan merupakan produksi dari Jerman dengan nama *Arbozell*. Karakteristik dari serat selulosa tersebut berdasarkan informasi produsen, adalah sebagai berikut:

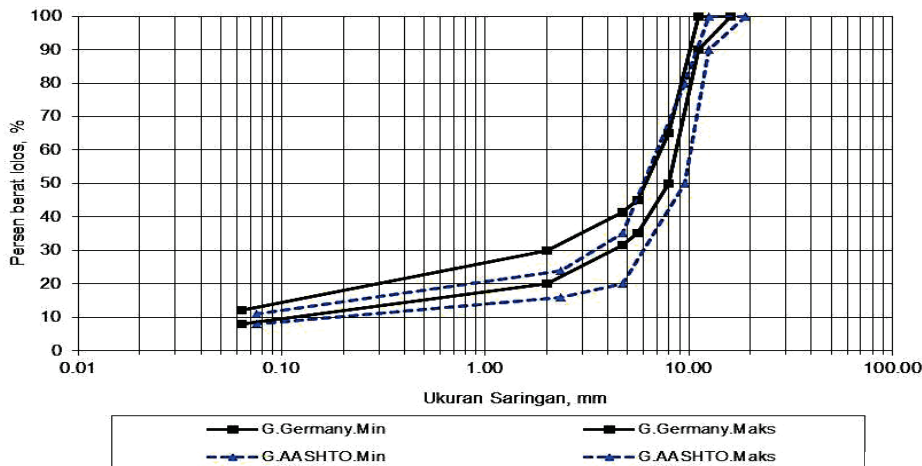
1. Panjang serat : 0,25 inci
2. Lolos saringan
3. No. 20 : 85% ($\pm 10\%$)
4. No. 40 : 40% ($\pm 10\%$)
5. No. 140 : 30% ($\pm 10\%$)
6. PH : 7,5 ($\pm 1,0$)
7. Absorpsi minyak : 5,0 ($\pm 1,0$) kali berat serat selulosa (*fiber*)
8. Kadar air : maksimal 5%

Gradasi campuran

Gradasi campuran yang digunakan mengacu pada spesifikasi *AASHTO M 325-08* dan *EN 13108-5*. Mengingat adanya perbedaan ukuran saringan yang tersedia, maka dilakukan interpolasi dengan hasil seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Tabel 6. Karakteristik agregat

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian			Satuan
			Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus	
1	Keausan agregat dengan Mesin Abrasi	SNI 03-2417-1991	16,91	-	-	%
2	Setara pasir	SNI 03-4428-1997	-	-	74,2	%
3	Berat jenis agregat kasar & penyerapan	SNI 03-1969-1990				
	Berat jenis agregat halus & penyerapan	SNI 03-1970-1990				
	- Berat jenis curah (bulk)		2,657		2,677	-
	- Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)		2,695		2,706	-
	- Berat jenis semu (apparent)		2,762		2,758	-
	- Penyerapan		1,434		1,092	%
4	Kadar Rongga Agregat Halus	SNI 03-6877-2002	-	-	45,16	%
5	Persentase Partikel Pecah	ASTM D 5821-01	100/100	100/100	-	%
6	Kelekatan Agregat terhadap Aspal	SNI 03-2439-1991	-	95 +	-	%
7	Agregat Kasar Pipih dan Lonjong	ASTM D 4791-05	0,0	-	-	%
8	Kekekalan Bentuk	SNI 03-3407-1994	1,04	1,54	1,73	%
9	Agregat Lolos Saringan No.200	SNI 03-4142-1996	0,7	4,0	10,2	%
10	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990				
	1/2"		100			%
	3/8"		77,5	100,0	100,0	%
	No.4		1,5	38,9	99,4	%
	No.8		1,2	11,5	74,9	%
	No.16		1,1	85,0	49,4	%
	No.30		1,1	6,2	32,9	%
	No.50		1,0	5,4	21,7	%
	No.100		0,9	4,4	14,6	%
	No.200		0,8	3,4	9,7	%



Gambar 1. Gradasi SMA dan SMAB

Metode pencampuran

Metode pencampuran Asbuton kedalam campuran dapat dengan cara basah atau cara kering, urutan pencampuran dari dua metode tersebut adalah sebagai berikut:

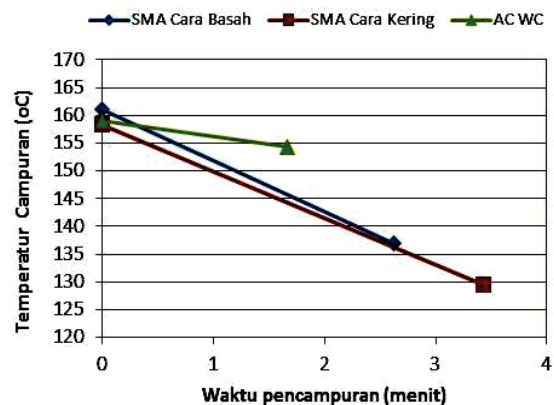
1. Cara basah: Agregat dipanaskan, masukkan serat selulosa, selanjutnya dimasukkan aspal panas dan terakhir dimasukkan Asbuton butir.
2. Cara kering: Agregat dipanaskan, masukkan serat selulosa, selanjutnya dimasukkan Asbuton butir dan terakhir aspal panas.

Hasil uji coba dengan dua metode pencampuran tersebut diperlihatkan pada Gambar 2. Jumlah contoh uji yang digunakan 12 buah pada kadar Asbuton 12,5 %. Waktu pencampuran yang dibutuhkan sampai campuran terlihat merata, untuk cara basah rata-rata adalah 2,7 menit sementara untuk cara kering rata-rata 3,5 menit. Penurunan temperatur terlihat jelas pada material SMA yang menggunakan Asbuton dan sebagai pembandingan diperlihatkan penurunan temperatur pada AC. Hasil tersebut menunjukkan metode pencampuran dengan cara basah lebih mudah dibandingkan dengan cara kering.

Energi pepadatan

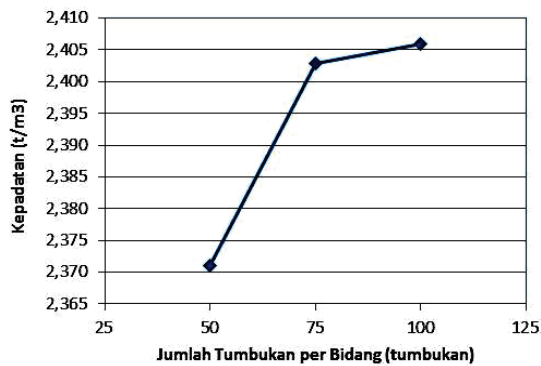
Energi pepadatan pada pengujian Marshall untuk campuran bergradasi menerus

seperti AC dipisah menjadi 35, 50 dan 75 tumbukan disesuaikan dengan beban lalu lintas rencana. Namun pada material SMA mengacu pada spesifikasi Eropa (EN 13108-5) dan NAPA QIS 122, jumlah tumbukan yang disarankan adalah 2 x 50 tumbukan Marshall atau 100 putaran *gyratory*. Penelitian di beberapa negara (Boratynski and Krzeminiski 2005, Brown and Haddock 1997) menunjukkan pemadatan yang berlebihan menyebabkan agregat pecah dan perubahan volume yang merugikan.



Gambar 2. Pengaruh metode pencampuran

Pada penelitian yang dilakukan, meskipun terjadi perubahan kepadatan seperti diperlihatkan gambar berikut, namun pada tumbukan 2 x 75 secara visual nampak agregat pecah.



Gambar 3. Pengaruh energi pemadatan terhadap kepadatan

Hasil rancangan berdasarkan metode Amerika Serikat

Metode ini dikembangkan pada tahun 1990-an setelah para ahli dari Amerika Serikat melakukan kajian ke Eropa mengenai teknologi SMA. Metode perancangan campuran telah dipublikasikan NAPA QIS 122: SMA Guidelines dan AASHTO M325. Secara ringkas langkah pembuatan rancangan campuran adalah sebagai berikut:

1. Perancangan komposisi agregat yang menjamin terjadinya kontak antar partikel. Kondisi ini terjadi jika nilai VCA (*Void in Compacted Agregat*) memenuhi persyaratan (VCA_{mix} / VCA_{drc} (*dry rodded condition*)) < 1.0 .
2. Penentuan variasi kadar aspal dalam campuran.
3. Pembuatan contoh uji dengan pemadatan sesuai T 132 pada 100 putaran.

Tabel 7. Hasil pengujian VCA

No	Jenis Pengujian	Komposisi dalam campuran											
		0% Asbuton			7,5% Asbuton			10% Asbuton			12,5% Asbuton		
		0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.	0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.	0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.	0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.
1.	Rata-rata VCA_{DRC}	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21	43,21
2.	Penentuan VCA_{mix}												
	VMA	18,40	18,80	18,50	19,20	19,80	20,10	19,50	19,70	20,90	21,00	21,60	21,60
	Volume total agregat (100-VMA)	81,60	81,20	81,50	80,80	80,20	79,90	80,50	80,30	79,10	79,00	78,40	78,20
	Volume agregat < No.8 (20%)	16,32	16,24	16,30	16,16	16,04	15,98	16,10	16,06	15,82	15,80	15,68	15,64
	VCA_{mix}	32,72	35,04	34,80	35,36	35,84	36,08	35,60	35,76	36,72	36,80	37,28	37,44
4	Rasio VCA_{mix} / VCA_{DRC}	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,82	0,83	0,85	0,85	0,86	0,87

4. Pemilihan kadar aspal optimum berdasarkan kriteria parameter:
 - *Void in Mix (VIM)* dengan persyaratan 4 %.
 - *Void in Mineral Aggregate (VMA)* dengan syarat minimum 17 %.
 - Kadar aspal campuran dengan syarat minimum 6 %.

Hasil pengujian VCA menunjukkan gradasi yang dipilih menghasilkan VCA_{mix} / VCA_{drc} antara 0,80 – 0,87 seperti diperlihatkan pada Tabel 7. Hasil ini menunjukkan dalam campuran SMA, terjadi kontak antar partikel agregat yang baik.

Ringkasan hasil kadar aspal optimum yang diperoleh dan karakteristik campuran SMA/SMAB diperlihatkan pada Tabel 8 dan Tabel 9. Dalam pembuatan contoh uji dipergunakan tumbukan Marshall 2 x 50 tumbukan, nilai ini berdasarkan pada persyaratan EN 13108 – 5 dan spesifikasi SMA yang digunakan di Negara bagian Amerika Serikat.

Secara umum terlihat kadar aspal optimum akan bertambah sesuai dengan bertambahnya pemakaian serat selulosa dan bertambahnya pemakaian kadar Asbuton. Nilai pengaliran (*draindown*) bertambah kecil dengan penambahan serat selulosa dan penambahan pemakaian kadar Asbuton dalam campuran.

Tabel 8. Rancangan campuran SMA/SMAB gradasi AASHTO (kadar Asbuton 0 % dan 7,5 %)

No	Properties Campuran	Komposisi dalam campuran						Spek (AASHTO M 325-08)	Satuan
		0 % Asbuton			7,5 % Asbuton				
		0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.	0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.		
1	Kadar aspal optimum	6,69	6,81	6,87	7,25	7,41	7,65	min. 6	%
2	Kepadatan	2,330	2,320	2,330	2,320	2,310	2,303	-	t/m ³
3	Rongga dalam campuran (VIM)	4,0	4,0	4,1	4,3	4,0	4,0	4,0	%
4	Rongga terisi aspal (VMA)	78,8	79,1	79,4	79,8	79,3	79,9	-	%
5	Rongga diantara min agregat (VMA)	18,4	18,8	18,5	19,2	19,8	20,1	min. 17	%
6	Stabilitas	494	503	514	550	544	530	-	Kg
7	Kelelehan	3,9	4,7	5,1	4,2	4,9	4,7	-	mm
8	F/B (fines/Ka.asp.efektif)	1,5	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	-	
9	Marshall Quetiont	126,7	107,0	100,8	130,9	111,0	112,8	-	kg/mm
10	Draindown	0,35	0,18	0,09	0,22	0,1	0,07	maks. 0,3	%

Tabel 9. Rancangan campuran SMA/SMAB gradasi AASHTO (kadar Asbuton 10 % dan 12,5 %)

No	Properties Campuran	Komposisi dalam campuran						Spek (AASHTO M 325-08)	Satuan
		10 % Asbuton			7,5 % Asbuton				
		0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.	0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.		
1	Kadar aspal optimum	7,44	7,50	8,05	8,12	8,36	8,64	min. 6	%
2	Kepadatan	2,311	2,253	2,290	2,283	2,278	2,274	-	t/m ³
3	Rongga dalam campuran (VIM)	4,0	4,0	4,3	4,2	4,4	4,0	4,0	%
4	Rongga terisi aspal (VMA)	79,2	79,4	79,8	79,8	79,8	79,3	-	%
5	Rongga diantara min agregat (VMA)	19,5	19,7	20,9	21,0	21,6	21,8	min. 17	%
6	Stabilitas	527	576	526	499	545	519	-	Kg
7	Kelelehan	4,1	4,7	5,1	4,1	4,4	4,9	-	mm
8	F/B (fines/Ka.asp.efektif)	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	-	
9	Marshall Quetiont	128,6	140,5	103,2	121,7	123,8	105,9	-	kg/mm
10	Draindown	0,13	0,1	0,09	0,19	0,15	0,07	maks. 0,3	%

Hasil rancangan metode Jerman

Seperti telah diketahui, SMA pertamakali dikembangkan di Jerman dan persyaratannya dicantumkan pada EN 13108 – 5 dan selanjutnya berkembang dan digunakan secara luas di seluruh dunia. Langkah-langkah yang digunakan dalam pembuatan rancangan campuran dengan metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perancangan komposisi agregat sesuai dengan batas-batas gradasi SMA dalam persyaratan. Proporsi agregat kasar berkisar antara 70 % sampai dengan 80 %.
2. Penentuan variasi kadar aspal dalam campuran.
3. Penyiapan contoh Marshall dengan pemadatan 2 x 50 tumbukan.
4. Penentuan parameter volumetrik.
5. Pemilihan kadar aspal optimum berdasarkan kriteria:

- Void in Mix (VIM), dengan nilai 2,5 % - 3 %
- Kadar aspal minimum 6,6 %

Hasil pengujian rancangan campuran secara lengkap dengan metode Jerman diperlihatkan pada Lampiran, ringkasan hasil kadar aspal optimum yang diperoleh dan karakteristik campuran SMA/SMAB diperlihatkan pada Tabel 10 dan Tabel 11. Secara umum kadar aspal optimum yang diperoleh akan bertambah sesuai dengan bertambahnya pemakaian serat selulosa dan bertambahnya kadar Asbuton dalam campuran. Sementara nilai pengaliran (*draindown*) bertambah kecil dengan penambahan serat selulosa dan penambahan pemakaian kadar Asbuton dalam campuran.

Tabel 10. Rancangan campuran SMA/SMAB gradasi Germany ZTV (kadar Asbuton 0 % dan 7,5 %)

No.	Properties Campuran	Komposisi dalam campuran						Spek (AASHTO M 325-08)	Satuan
		0 % Asbuton			7,5 % Asbuton				
		0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.	0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.		
1	Kadar aspal	6,44	6,52	6,66	6,83	7,18	7,64	min. 6,6	%
2	Kepadatan	2,370	2,370	2,370	2,250	2,360	2,341	-	t/m ³
3	Rongga dalam campuran (VIM)	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	2,5 - 3,5	%
4	Rongga terisi aspal (VFB)	85,1	85,1	85,2	83,0	83,9	83,9	-	%
5	Rongga diantara min agregat (VMA)	16,9	16,9	17,1	17,7	18,3	16,6	-	%
6	Stabilitas	648	641	524	714	679	563	-	Kg
7	Kelelehan	4,3	4,6	4,4	6,4	5,8	4,9	-	mm
8	F/B (fines/Ka.asp.efektif)	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	-	
9	Marshall Quetiont	150,7	139,4	119,1	111,6	117,1	114,9	-	kg/mm
10	Draindown	0,32	0,11	0,09	0,13	0,11	0,08	maks. 0,3	%

Tabel 11. Rancangan campuran SMA/SMAB gradasi Germany ZTV (kadar Asbuton 10 % dan 12,5 %)

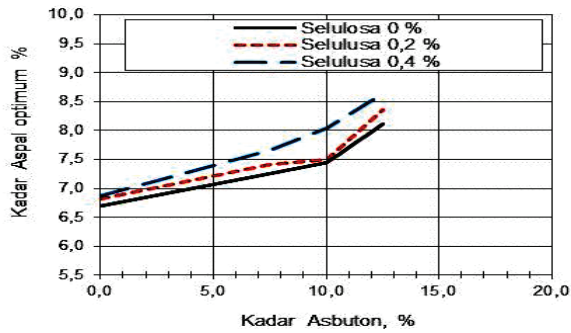
No.	Properties Campuran	Komposisi dalam campuran						Spek (AASHTO M 325-08)	Satuan
		0 % Asbuton			7,5 % Asbuton				
		0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.	0,0 sel.	0,2 sel.	0,4 sel.		
1	Kadar aspal	7,82	7,79	8,19	8,11	8,40	8,73	min. 6,6	%
2	Kepadatan	2,330	2,358	2,310	2,260	2,304	2,380	-	t/m ³
3	Rongga dalam campuran (VIM)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5 - 3,5	%
4	Rongga terisi aspal (VFB)	85,2	85,2	85,2	85,3	84,9	84,0	-	%
5	Rongga diantara min agregat (VMA)	19,3	19,3	20,2	19,6	20,7	21,7	-	%
6	Stabilitas	640	701	560	608	583	524	-	Kg
7	Kelelehan	6,3	5,4	5,8	5,1	5,9	5,9	-	mm
8	F/B (fines/Ka.asp.efektif)	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	-	
9	Marshall Quetiont	101,6	129,8	96,6	119,2	98,9	88,8	-	kg/mm
10	Draindown	0,12	0,07	0,07	0,11	0,08	0,07	maks. 0,3	%

PEMBAHASAN

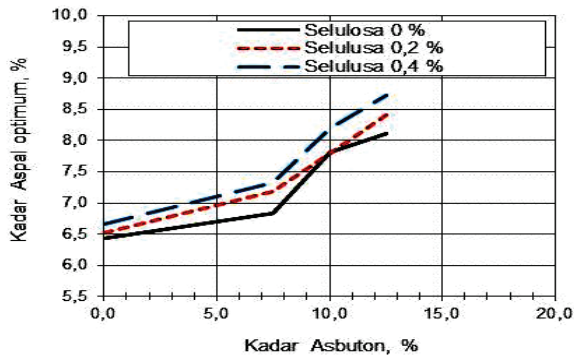
Pengaruh serat dan Asbuton pada kadar aspal optimum

Kadar aspal optimum akan bertambah sesuai dengan bertambahnya serat selulosa dalam campuran. Hal tersebut dapat dipahami mengingat dengan penambahan serat selulosa maka bidang yang harus terselimuti aspal menjadi semakin banyak, atau aspal sebagian diserap oleh serat selulosa. Penambahan kadar aspal optimum yang terjadi berkisar 0,1 % sampai 0,3 % akibat penambahan serat selulosa sebanyak 0,2 %. Kondisi ini terjadi baik untuk rancangan campuran metode Amerika maupun Jerman, seperti diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Penambahan kadar Asbuton akan menyebabkan penambahan kadar aspal optimum yang cukup jelas. Kadar aspal dihitung secara teoritis merupakan hasil penjumlahan dari aspal minyak ditambah kadar aspal dalam Asbuton. Kenyataan yang terjadi adalah aspal dalam Asbuton tidak termobilisasi keluar seluruhnya dan sebagian aspal minyak diperlukan untuk menyelimuti Asbuton. Kondisi tersebut menyebabkan kadar aspal optimum menjadi terlihat bertambah dengan bertambahnya persentase kadar Asbuton dalam campuran. Peningkatan kadar aspal optimum terjadi baik untuk rancangan campuran metode Amerika maupun Jerman.



Gambar 4. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada kadar aspal optimum (Metode Amerika)



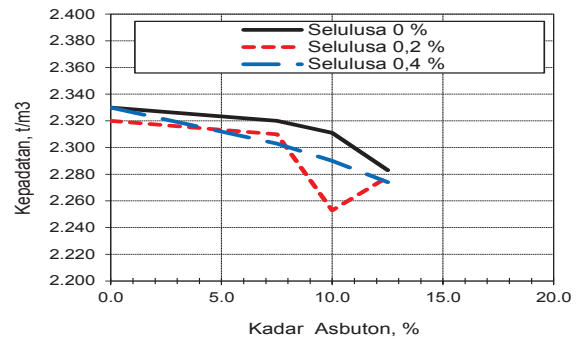
Gambar 5. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada kadar aspal optimum (Metode Jerman)

Pengaruh serat dan Asbuton pada kepadatan

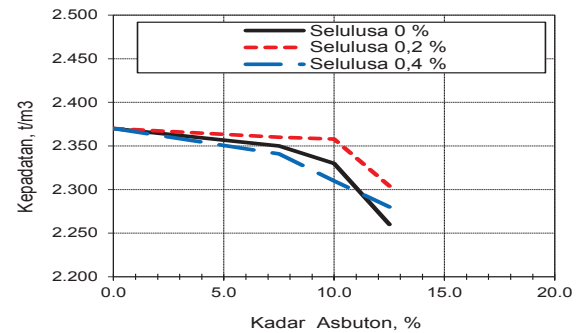
Kepadatan SMA/SMAB terlihat cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya kadar Asbuton. Hasil tersebut terjadi karena adanya penambahan kadar aspal optimum, sementara rongga dalam campuran (*VIM*) dibuat relatif tetap, yaitu sekitar 4 % untuk metode Amerika dan sekitar 3 % untuk metode Jerman. Penambahan kadar aspal pada *VIM* yang tetap menyebabkan volume aspal bertambah dan volume agregat berkurang. Kepadatan akan menurun karena berat jenis aspal jauh lebih kecil dibanding berat jenis agregat. Secara lebih jelas dapat dilihat pada rumus berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) yang merupakan fungsi dari kadar aspal/berat jenis aspal dan persentase agregat/berat jenis efektif agregat.

$$G_{mm} = 100 / (P_s / G_{se} + P_b / G_b) \dots\dots\dots (1)$$

Sementara pengaruh serat selulosa tidak terlalu kelihatan jelas. Pada Gambar 6 terlihat indikasi penurunan kepadatan akibat penambahan serat selulosa, namun indikasi tersebut tidak terlihat jelas pada Gambar 7.



Gambar 6. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada kepadatan (Metode Amerika)



Gambar 7. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada kepadatan (Metode Jerman)

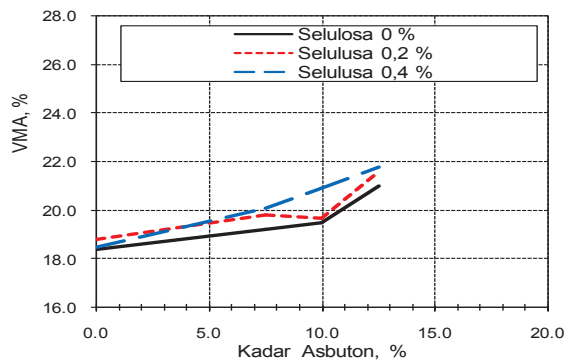
Pengaruh serat dan Asbuton pada *VIM*, *VMA* dan *VFB*

Berdasarkan metode pencampuran Amerika maupun Jerman, nilai *VIM* dibatasi dengan rentang tertentu. Sehingga pengaruh serat dan Asbuton pada sifat volumetrik campuran terlihat pada nilai *VMA* dan *VFB*. Persyaratan nilai *VIM* untuk metode Amerika disarankan 4 %, dan dalam penelitian ini nilainya berkisar antara 4 % sampai 4,4 %. Sementara untuk metode Jerman nilai *VIM* disyaratkan antara 2,5 % sampai 3,5 %, dan dalam penelitian ini nilainya antara 2,5 % sampai 3 %. Sementara hasil pengujian menunjukkan nilai *VFB* relatif seragam, yaitu antara 78,8 % sampai 79,9 % untuk metode Amerika dan antara 83 % sampai 85,3 % untuk metode Jerman.

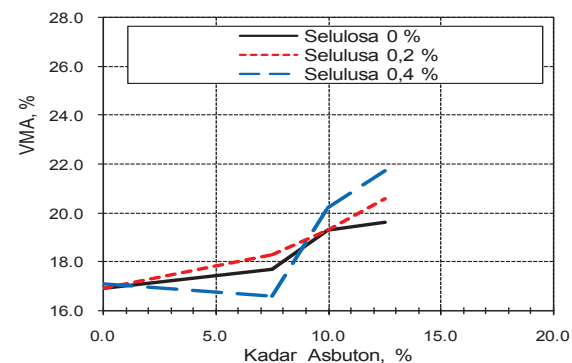
Nilai *VMA* bertambah seiring dengan bertambahnya kadar Asbuton dalam campuran. Hal dapat dimengerti karena *VMA* adalah rongga diantara mineral agregat (volume/volume), dan rongga tersebut nantinya akan terisi aspal efektif dan sisanya berupa rongga dalam campuran (*VIM*). Dengan kadar aspal efektif bertambah maka dibutuhkan rongga yang lebih banyak, maka nilai *VMA* akan bertambah. Secara lebih jelas dapat dilihat dari rumus *VMA* sebagai fungsi dari persentase agregat dikali berat jenis *bulk* campuran dibagi berat jenis *bulk* agregat.

$$VMA = 100 - (G_{mb} \cdot P_s / G_{sb}) \dots\dots\dots (2)$$

Sementara penambahan serat selulosa tidak menunjukkan indikasi yang jelas, Pada Gambar 8 terlihat indikasi kenaikan *VMA* akibat penambahan serat selulosa, namun indikasi tersebut tidak terlihat jelas pada Gambar 9.



Gambar 8. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada *VMA* dan *VFB* (Metode Amerika)

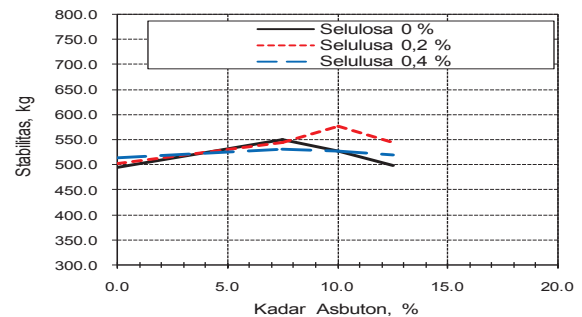


Gambar 9. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada *VMA* dan *VFB* (Metode Jerman)

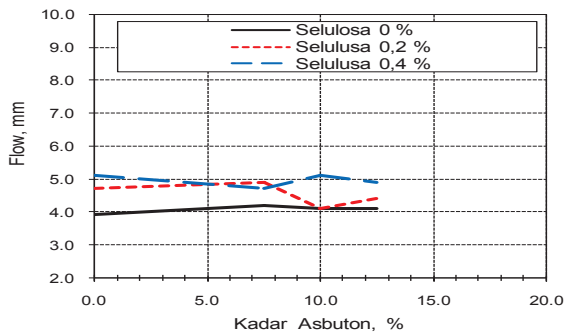
Pengaruh serat dan Asbuton pada nilai stabilitas dan kelelahan

Pengaruh penambahan serat selulosa pada stabilitas campuran tidak terlihat jelas. Pada Gambar 10 terlihat indikasi penambahan selulosa akan menurunkan nilai stabilitas, sementara pada Gambar 11 pengaruh tersebut tidak terlihat jelas. Sementara penambahan Asbuton memperlihatkan indikasi peningkatan nilai stabilitas sampai kadar Asbuton 10 % dan kemudian turun. Nilai stabilitas yang naik tersebut ada kemungkinan disebabkan karena naiknya titik lembek aspal sebagai kombinasi dari aspal minyak (pen 60) dan aspal Asbuton yang lebih keras (pen 40). Kenaikan titik lembek menyebabkan campuran kurang peka terhadap perubahan temperatur dan menjadi lebih kaku pada suhu pengujian dibandingkan dengan tanpa Asbuton. Sementara penurunan nilai kepadatan seperti yang dibahas sebelumnya akan menyebabkan penurunan nilai stabilitas. Pengaruh dari peningkatan titik lembek dan penurunan kepadatan diperkirakan menyebabkan bentuk kurva stabilitas seperti demikian.

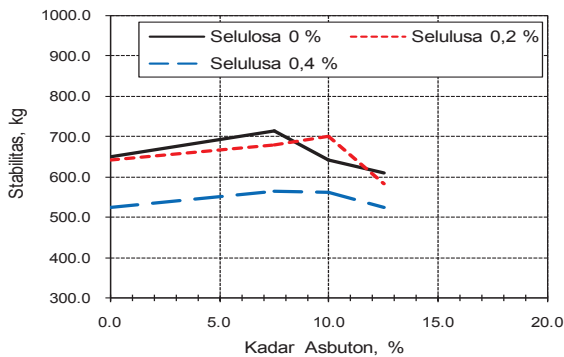
Nilai kelelahan (*flow*) seperti diperlihatkan pada Gambar 12 dan Gambar 13 tidak menunjukkan pola yang jelas. Berdasarkan hasil pengamatan selama proses pengujian Marshall ditemukan perilaku keruntuhan *SMA* yang berbeda dengan *AC*. Keruntuhan *SMA* terjadi secara bertahap sehingga pembacaan nilai kelelahan menjadi cukup sulit.



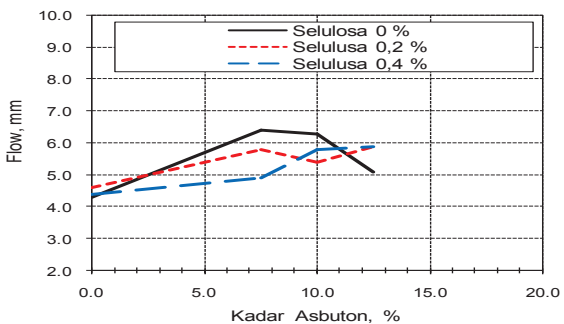
Gambar 10. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada stabilitas (Metode Amerika)



Gambar 11. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada kelelahan (Metode Amerika)



Gambar 12. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada stabilitas (Metode Jerman)



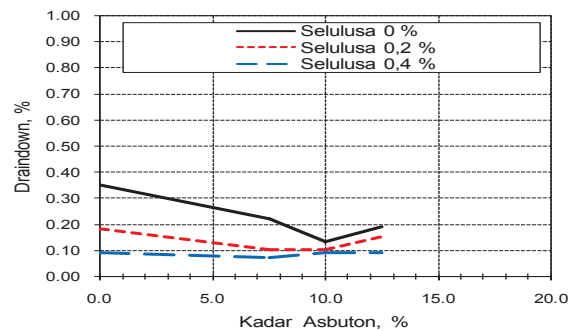
Gambar 13. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada kelelahan (Metode Jerman)

Pengaruh serat dan Asbuton pada nilai pengaliran aspal

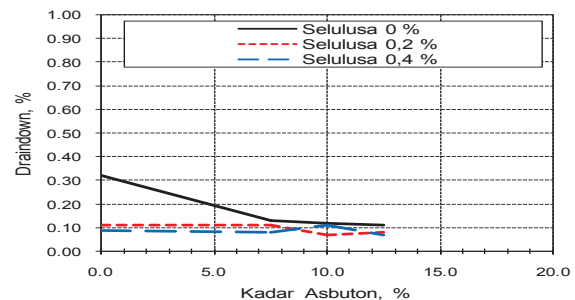
Pengaliran (*draindown*) aspal pada saat pengangkutan dan penghamparan, merupakan alasan utama ditambahkan serat selulosa pada campuran SMA. Penambahan serat selulosa akan mengurangi pengaliran aspal sampai batas yang dapat ditoleransi. Hasil pengujian dengan penambahan serat selulosa 0,2 % dan 0,4 % seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15 membuktikan

maksud tersebut. Pada gambar tersebut secara jelas terlihat penambahan serat selulosa mengakibatkan nilai pengaliran yang sebelumnya di atas 0,3 % menjadi jauh menurun.

Berfungsinya Asbuton sebagai bahan penstabil diperkirakan karena tidak termobilisasinya aspal dalam Asbuton secara keseluruhan dan kelas penetrasi Asbuton yang lebih rendah (pen 40) mengakibatkan lebih rendahnya kekentalan (viskositas) aspal dalam Asbuton dibandingkan dengan aspal minyak dengan kelas pen 60.



Gambar 14. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada nilai Pengaliran (Metode Amerika)



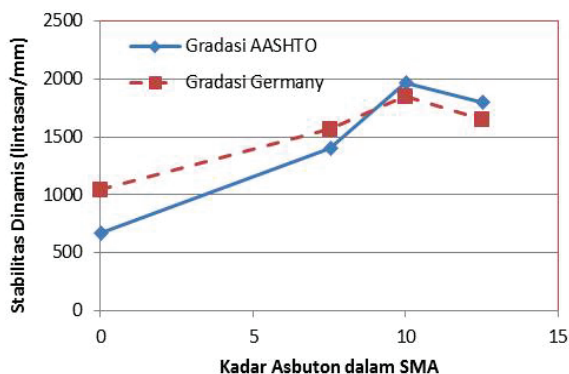
Gambar 15. Pengaruh serat selulosa dan Asbuton pada nilai pengaliran (Metode Jerman)

Pengaruh kadar Asbuton pada nilai stabilitas dinamis

Pengujian stabilitas dinamis dilaksanakan untuk melihat pengaruh penambahan Asbuton butir pada campuran SMA, dan hasil yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 16. Dalam gambar terlihat nilai stabilitas dinamis bertambah sesuai dengan bertambahnya kadar Asbuton, namun pada kadar Asbuton 12,5 % terlihat ada sedikit penurunan. Nilai stabilitas

dinamis untuk SMA dengan gradasi AASHTO lebih tinggi dibandingkan dengan gradasi Jerman pada kadar Asbuton 10 % dan 12,5 %.

Pola nilai stabilitas dinamis dengan stabilitas Marshall terlihat hampir serupa dimana penambahan Asbuton sampai dengan 10 % menyebabkan penambahan nilai stabilitas dinamis, dan kemudian menurun pada kadar Asbuton 12,5 %. Seperti halnya penjelasan sebelumnya hal ini karena penambahan Asbuton menyebabkan aspal kurang peka terhadap perubahan temperatur sehingga relatif lebih kaku pada suhu pengujian sehingga nilai stabilitasnya meningkat. Sementara penambahan kadar aspal menyebabkan kepadatan berkurang sehingga cenderung menurunkan stabilitas. Dua faktor tersebut mengakibatkan terbentuknya kurva yang mempunyai nilai puncak (kurva cembung).



Gambar 16. Pengaruh kadar Asbuton pada nilai stabilitas dinamis

Kadar aspal optimum perkiraan untuk SMAB

Untuk memperoleh rentang kadar aspal yang memadai pada pembuatan contoh uji Marshall, maka untuk AC dan HRS dibuat rumus pendekatan kadar aspal optimum, P_b yaitu:

$$P_b = 0,035 CA + 0,045 FA + 0,18 FF + K... (3)$$

Keterangan:

CA = agregat kasar tertahan ayakan No. 8

FA = agregat halus lolos ayakan No. 8 tertahan No. 200

FF = filler lolos ayakan No. 200

K = konstanta

Sementara untuk SMA pendekatan yang dapat digunakan adalah persyaratan kadar aspal minimum, yaitu berdasarkan metode Amerika sebesar 6 % dan metode Jerman sebesar 6,6 %. Untuk SMAB, perlu dibuatkan rumus pendekatan dengan mempertimbangkan faktor luas permukaan, kadar Asbuton dan kadar selulosa. Hasil penelitian dengan 24 data diperoleh rumus pendekatan kadar aspal optimum adalah sebagai berikut :

$$P_b = 0,065 CA + 0,061 MF + 0,925 P_s + 0,126 P_{asb} \text{ dengan } R^2 0,9 \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

CA = agregat kasar > No. 8

MF = agregat halus dan fille < No. 8

P_s = kadar selulosa

P_{asb} = kadar Asbuton

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari uraian sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Metode pencampuran Asbuton pada SMAB sebaiknya dilaksanakan secara basah, yaitu dengan urutan agregat-selulosa-aspal-Asbuton.
2. Apabila menggunakan pemadat Marshall, maka jumlah tumbukan yang disarankan adalah 2 x 50 tumbukan.
3. Penggunaan Asbuton butir dapat mencegah terjadinya pengaliran aspal sehingga dapat digunakan untuk menggantikan fungsi serat selulosa sebagai bahan penstabil.
4. Penambahan Asbuton dapat meningkatkan ketahanan SMAB terhadap deformasi permanen.
5. Mengingat kadar aspal optimum yang diperoleh pada material SMAB 1 sd 2 % di atas kadar aspal minimum, maka perlu dikembangkan rumus untuk menghitung kadar aspal optimum perkiraan (P_b). Hasil

penelitian menemukan persamaan yang sesuai yaitu nomor (4).

Saran

Perlu dilakukan studi lebih lanjut dengan menggunakan pengujian simulasi (deformasi permanen) dan pengujian fundamental (modulus) sebagai kriteria dalam penentuan kadar aspal optimum dan kinerja SMAB.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2008. *Standard Specification for Designing Stone Matrix Asphalt*. M 325. Washington, DC: AASHTO.
- Blazejowski, Krzysztof. 2011. *Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice*. New York: CRC Press.
- Boratynski J, Krzemiriski J. 2005. *Compaction of SMA Mixture in the Laboratory and on Building Site*, Drogownictwo
- Brown, ER. et al. 1997. *Performance of Stone Matrix Asphalt (SMA) in The United States*, NCAT Report No. 97-1, Alabama: National Center for Asphalt Technology, Auburn University.
- Brown, E.R., B.D. Powell, Randy West, and Dave Timm. 2004. *Update on NCAT Test Track*, Alabama: National Center for Asphalt Paving Technologist.
- European Standard. *Bituminous Mixture – Material Specification Part 5 : Stone Mastic Asphalt*. EN 13108-5. London: BSI.
- Iriansyah, 2010. *Laporan Akhir Uji Coba Skala Penuh SMA dan Porous Asphalt*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Kim, Richard. 2009. *Modeling of Asphalt Concrete*. Reston: American Society of Civil Engineers
- Long, Fanella Margaret. 2001. *Permanent Deformation of Asphalt Concrete Pavement : A Nonlinear Viscoelastic Approach to Mix Analysis and Design*, Ph.D. diss. University of California.
- National Asphalt Pavement Association. 2002. *Designing and Constructing SMA Mixtures*. NAPA QIS 122. Maryland: National Asphalt Pavement Association.