

KARAKTERISTIK MARSHALL DAN INDEKS KEKUATAN SISA (IKS) PADA CAMPURAN BUTONITE MASTIC ASPHALT (BMA)

Wahjoedi

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang (POLINES)
Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang, Semarang Telp. (024) 7473417

Abstract: *One of utilizing the latest technologies in this type asphalt mixture is asphalt micro mixing with asphalt in the form of oil mastic called Butonite Mastic (BM), whereas the mixed type generated by using this binder is a mixture Butonite Mastic Asphalt (BMA). Therefore, the purpose of this study is to evaluate the characteristics of the mixture Butonite Mastic Asphalt (BMA) and the Index Strength Time (IKS) BMA Mixture obtained from the Marshall immersion test (Marshall Immersion). According to the research objectives, then the object of research used a mixture of BMA and mix Asphalt Concrete Layer Bina Marga No. gradasi. IV for comparison. Type of testing is limited to testing and soaking Marshall (Marshall Immersion). While the analysis focuses on parameter analysis, Marshall and Strength Time Index (IKS) a second mixture. The research results showed that the mixture of BMA has a lower reliability than the Asphalt Concrete Layer mixture of water infiltration due to the influence of soaking process Marshall. However, BMA mixture has an endurance of more than a mixture of asphalt concrete layer to the influence of the addition or subtraction and asphalt content. In addition, the value of the mixture IKS after Marshall Immersion BMA still be above the minimum value of 75% is required by Bina Marga.*

Keywords : *layer asphalt concrete, marshall immersion, index strength time.*

Abstrak: Salah satu pemanfaatan teknologi terbaru dalam campuran aspal asbuton tipe asbuton mikro adalah pencampuran dengan aspal dalam bentuk minyak mastik yang disebut *Butonite Mastic (BM)*, sedangkan jenis campuran yang dihasilkan dengan menggunakan pengikat ini merupakan campuran *Butonite Mastic Asphalt (BMA)*. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi karakteristik dari campuran *Butonite Mastic Asphalt (BMA)* dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS). Campuran BMA diperoleh dari uji perendaman Marshall (*Marshall Immersion*). Sesuai dengan tujuan penelitian, maka objek penelitian yang digunakan adalah campuran BMA dan campuran Lapisan Beton Aspal Bina Marga No gradasi IV untuk perbandingan. Jenis pengujian terbatas pada pengujian dan perendaman Marshall (*Marshall Immersion*). Penelitian difokuskan pada analisis parameter, Marshall dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) kedua campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran BMA memiliki keandalan yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran Lapisan Beton Aspal terhadap peresapan air akibat pengaruh proses perendaman Marshall. Namun, campuran BMA memiliki daya tahan lebih dibandingkan campuran lapisan aspal beton terhadap pengaruh penambahan atau pengurangan kadar aspal. Selain itu, nilai IKS campuran setelah Perendaman Marshall, BMA masih berada di atas nilai minimal 75% yang diperlukan oleh Bina Marga.

Kata kunci: lapisan aspal beton, perendaman marshall, indeks kekuatan waktu.

PENDAHULUAN

Krisis ekonomi yang melanda Indonesia telah memaksa pemerintah untuk mengurangi biaya pembangunan fisik yang rendah skala prioritasnya. Akibat pengurangan ini, diharapkan bangsa Indonesia dapat melakukan berbagai cara kreatif dalam menghadapinya. Sebagai konsekuensinya, orang-orang yang berkecimpung dalam bidang rekayasa jalan

(perkerasan) hendaknya dapat menghasilkan berbagai cara pemecahan kreatif namun tetap mengacu pada filosofi dasar ilmu dan keilmuannya. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mencari material perkerasan yang merupakan produksi dalam negeri, berbiaya murah namun memenuhi standar perkerasan jalan. Dewasa ini aspal sebagai bahan pengikat lapis permukaan sangat banyak menggunakan

aspal minyak dan sedikit menggunakan aspal alam, seperti asbuton, padahal asbuton sebagai salah satu sumber alam Indonesia mempunyai potensi yang tinggi dengan deposit yang cukup besar. Pemanfaatan asbuton untuk kebutuhan bahan perkerasan jalan semakin mendesak. Disamping untuk mengimpor aspal minyak dan memberikan lapangan kerja pada masyarakat sekitar penghasil asbuton, juga akan berguna untuk masa mendatang mengingat potensi minyak yang menghasilkan aspal sebagai residu akan semakin berkurang. Sejarah campuran beraspal yang menggunakan asbuton telah dimulai pada konstruksi lapis asbuton agregat (lasbutag) konvensional. Berbagai penelitian dan percobaan telah dilakukan untuk mencari produk-produk asbuton yang dapat memenuhi standar kualifikasi material perkerasan jalan yang dapat digunakan, sehingga dengan demikian pemanfaatan asbuton akan semakin meningkat.

Dewasa ini sedang dilakukan berbagai penelitian untuk pemanfaatan asbuton antara lain, Teknobutas, ekstraksi bitumen asbuton dan lain-lain. Kemudian beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk melihat kinerja asbuton di dalam jenis campuran beraspal lainnya, seperti pada Lapis Tipis Asbuton Pasir (Latasbusir), Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir), *Hot Rolled Sheet* (HRS), Lapis Beton Aspal. Salah satu teknologi mutakhir dari pemanfaatan asbuton dalam jenis campuran beraspal yang menjadi fokus penelitian ini adalah pencampuran asbuton mikro dengan aspal minyak dalam bentuk mastik yang disebut *Butonite Mastic* (BM), sedangkan jenis campuran yang dihasilkan dengan menggunakan bahan pengikat ini adalah campuran *Butonite Mastic Asphalt* (BMA).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi karakteristik campuran *Butonite Mastic Asphalt* (BMA). Selain itu, juga dievaluasi Indeks Kekuatan Sisa (IKS) campuran BMA yang diperoleh dari pengujian perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion*). Untuk mendukung tujuan tersebut, maka penelitian dibatasi pada pengujian *Marshall* dan perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion*). Adapun obyek utama penelitian digunakan campuran *Butonite Mastic Asphalt* (BMA) dan sebagai pembanding digunakan campuran Lapis Beton Aspal dengan gradasi Bina Marga No.IV.

STUDI PUSTAKA

Butonite Mastic (BM)

Butonite Mastic (BM) merupakan teknologi paling mutakhir dari pemanfaatan asbuton. *Butonite mastic* adalah campuran antara asbuton mikro, aspal minyak, dan *short residu*/bahan peremaja dalam perbandingan tertentu sesuai dengan target angka penetrasi yang dikehendaki. Saat ini di Indonesia (di Pulau Buton dan Surabaya), BM diproduksi secara besar-besaran dengan komposisi asbuton mikro (kadar bitumen 27,4 %) = 65,5 %; aspal minyak penetrasi 60 = 29,0 % dan *flux agent* = 5,5 % .

BM dengan komposisi tersebut dibuat dengan cara mencampur aspal penetrasi 60 dan *flux agent* yang dipanaskan pada temperatur 150°C dan diaduk secara terus-menerus hingga seragam/merata. Kemudian ditambah dengan mikro asbuton secara perlahan lahan dan terus diaduk hingga campuran tampak merata yang selanjutnya mortar BM berbentuk pasta tersebut dimasukkan/dikemas pada drum atau karung dan dibiarkan pada pada suhu ruang (25° C).

Campuran *Butonite Mastic Asphalt* (BMA)

Butonite Mastic Asphalt (BMA) merupakan alternatif pemanfaatan asbuton yang menerapkan teknologi mutakhir dari asbuton, melalui pencampuran secara panas antara agregat dengan *Butonite Mastic* (*Butonite Mastic* adalah campuran antara asbuton mikro, aspal minyak dan *flux agent* (bahan peremaja) dalam perbandingan tertentu sesuai dengan target angka penetrasi yang dikehendaki).

Campuran Lapis Beton Aspal

Lapis Beton Aspal merupakan jenis campuran aspal panas yang dikembangkan di Amerika oleh *The Asphalt Institute* dengan nama *Asphalt Concrete* (AC). *Asphalt Concrete* (AC) adalah suatu jenis campuran yang dikarakterisasikan dengan penggunaan agregat bergradasi menerus. Menurut Bina Marga, Lapis Beton Aspal adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. Agregatnya terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang bergradasi baik.

Karakteristik *Marshall* Campuran Beraspal

Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi keelehan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pound. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshall*. Nilai yang terbaca tersebut, kemudian dikoreksi dengan faktor koreksi terhadap alat *Marshall* yang dipakai dan faktor koreksi volume benda uji.

Flow/Kelelahan

Kelelahan adalah perubahan bentuk plastis suatu campuran aspal yang terjadi akibat beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai *flow* juga diperoleh dari hasil pembacaan pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshall*.

Voids in Mixture (VIM)

Rongga di dalam Campuran (VIM) adalah parameter yang menunjukkan volume rongga yang berisi udara didalam campuran beraspal, dinyatakan dalam % volume.

Void in Mineral Aggregate (VMA)

(Rongga didalam Agregat (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk didalamnya adalah rongga udara dan rongga yang terisi aspal efektif, dinyatakan dalam % volume.

Void Filled with Bitumen (VFB)

VFB (Rongga terisi aspal) adalah bagian dari volume rongga di dalam agregat (VMA) yang terisi aspal efektif, dinyatakan dalam % VMA.

Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Nilai MQ diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi terhadap nilai keelehan (*flow*), dan dinyatakan dalam satuan kg/mm atau kN/mm.

Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks Kekuatan Sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat

mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji Stabilitas Marshallnya dengan perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T_1 dan kelompok kedua diuji setelah perendaman pada suhu 60°C selama T_2 (Hunter, 2005). kemudian ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Marshall dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Hunter, 2005) :

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

S_1 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T_1 menit (Kg)

S_2 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T_2 menit (Kg)

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%).

Studi Terdahulu

Studi mengenai kinerja sifat-sifat dari campuran *Butonite Mastic Asphalt* (BMA) dan dibandingkan dengan campuran konvensional memperlihatkan bahwa campuran BMA yang telah diteliti memenuhi kriteria campuran Marshall sesuai dengan ketentuan Bina Marga. Ketahanan BMA terhadap kerusakan akibat air lebih rendah dari campuran konvensional (Dhimas Mahardhika, 2007). Studi lebih lanjut dilakukan dengan penambahan *Roadcell 50* variasi 0,1–0,4% yang diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat campuran BMA. Hasil studi menunjukkan bahwa campuran BMA dengan penambahan *Roadcell 50* dapat memperbaiki sifat campuran pada kadar 0,1 % (Fabian J. Manoppo, 2009).

KEGIATAN PENELITIAN

Pengujian Sifat Bahan Campuran Beraspal

Bahan campuran beraspal yang digunakan pada penelitian ini meliputi agregat kasar (tertahan saringan no.4), agregat halus (lolos saringan no.4), aspal minyak penetrasi 60/70, dan *filler* dari abu batu untuk bahan campuran Laston. Sedangkan untuk bahan campuran BMA digunakan agregat yang sama, dan *Butonite Mastic 40/50* (BM 40/50, yaitu penetrasi 40 dan kadar aspal 50%) dengan komposisi: asbuton mikro 65,5%, aspal minyak 29%, dan *flux agent* 5,5%. Pengujian sifat-sifat bahan senantiasa mengikuti metode pengujian bahan yang selalu digunakan, seperti *British Standard* (BS), *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Berdasarkan AASTHO (1998), bahwa hasil pengujian sifat bahan harus memenuhi spesifikasi sebagai bahan campuran beraspal.

Pembuatan Campuran dan Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pembuatan campuran beraspal, baik campuran Lapis Beton Aspal maupun campuran BMA didasarkan pada gradasi agregat campuran yang dipilih, yaitu gradasi ideal Campuran No.IV Lapis Beton Aspal oleh Bina Marga. Penentuan kadar BM optimum (KBO) dari campuran BMA dilakukan dengan memvariasikan kadar BM dari 9% - 13% dengan tingkat kenaikan 1%. Untuk campuran Lapis Beton Aspal, kadar asmin optimum (KAO) ditentukan dengan memvariasikan kadar asmin dari 5% - 7% dengan tingkat kenaikan 0,5 %. Beberapa parameter campuran untuk dipenuhi

dalam penentuan KAO adalah stabilitas, *Marshall Quotient* (MQ), rongga udara dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Sifat Bahan Campuran Beraspal

Hasil pengujian sifat campuran beraspal yang terdiri dari bahan agregat, aspal minyak dan bahan *Butonite Mastic* disajikan secara berurutan pada Tabel.1, Tabel.2 dan Tabel.3 berikut :

Tabel 1. Sifat Bahan Agregat

No.	Karakteristik	Metode Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	
					Min.	Maks.
I Agregat Kasar						
1	Berat Jenis Curah	SNI-03-1969-1990	-	2,584	2,5	-
2	Berat Jenis SSD	SNI-03-1969-1990	-	2,641	-	-
3	Berat Jenis Semu	SNI-03-1969-1990	-	2,740	-	-
4	Penyerapan Air	SNI-03-1969-1990	%	2,205	-	3
5	Ag. Impact Value	BS-812	%	6,260	-	30
6	Ag. Crushing Value	BS-812	%	8,670	-	29
7	Abrasi Los Angeles	SNI-03-2417-1991	%	23,95	-	40
8	Indeks Kepipihan	SNI-M-25-1991-03	%	21,88	-	25
9	Indeks Kelonjongan	SNI-M-25-1991-03	%	20,21	-	25
10	Pelapukan	SNI-06-2456-1991	%	4,78	-	14
11	Kelekatan Aspal	SNI-03-2439-1991	%	95+	95	-
II Agregat Halus						
1	Berat Jenis Curah	SNI-03-1969-1990	-	2,540	2,5	-
2	Berat Jenis SSD	SNI-03-1969-1990	-	2,611	-	-
3	Berat Jenis Semu	SNI-03-1969-1990	-	2,734	-	-
4	Penyerapan Air	SNI-03-1969-1990	%	2,786	-	3
III Filler						
1	Berat Jenis Curah	SNI-15-2531-1991	-	2,736	2,5	-

Tabel 2. Sifat Bahan Aspal Minyak (Asmin)

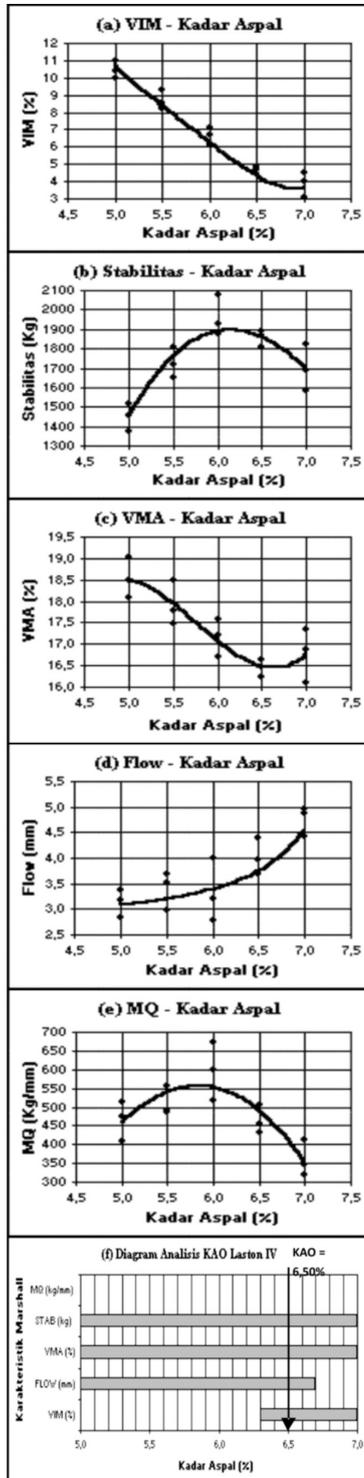
No.	Karakteristik	Metode Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	
					Min.	Maks.
1	Penetrasi (25°C, 5 dt., 100 gr.)	SNI-06-2456-1991	0,1 mm	65,63	60	79
2	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	SNI-06-2432-1991	cm	>110	100	-
3	Titik Lembek, <i>Ring and Ball</i>	SNI-06-2434-1991	°C	53,25	48	58
4	Titik Nyala, <i>Cleveland Open Cup</i>	SNI-06-2433-1991	°C	342,50	200	-
5	Titik Bakar, <i>Cleveland Open Cup</i>	SNI-06-2433-1991	°C	352	-	-
6	Berat Jenis, 25°C	SNI-06-2441-1991	-	1,0383	1	-
7	Kehilangan Berat (163°C, 5 jam)	SNI-06-2440-1991	% berat	0,0031	-	0,8
8	Penetrasi Stlh Kehilangan Berat	SNI-06-2456-1991	% semula	84,38	54	-
9	Daktilitas Stlh Kehilangan Berat	SNI-06-2432-1991	cm	>110	100	-
10	Titik Lembek Stlh Kehilgn Berat	SNI-06-2434-1991	°C	53,75	48	58
11	Kelarutan	AASHTO T-44-98	% berat	99,85	99	-

Tabel 3. Sifat Bahan Butonite Mastic (BM)

No.	Karakteristik	Metode Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	
					Min.	Maks.
1	Penetrasi, 25°C, 5 dt., 100 gr.	SNI-06-2456-1991	0,1 mm	40,13	40	50
2	Daktilitas, 25°C, 5 cm/menit	SNI-06-2432-1991	cm	20,03	-	-
3	Berat Jenis, 25°C	SNI-06-2441-1991	-	1,469	1	-
4	Kadar Bitumen	AASHTO-T-164-98	%	49,538	48	52
5	Kelarutan	AASHTO T-44-98	% berat	99,499	99	-

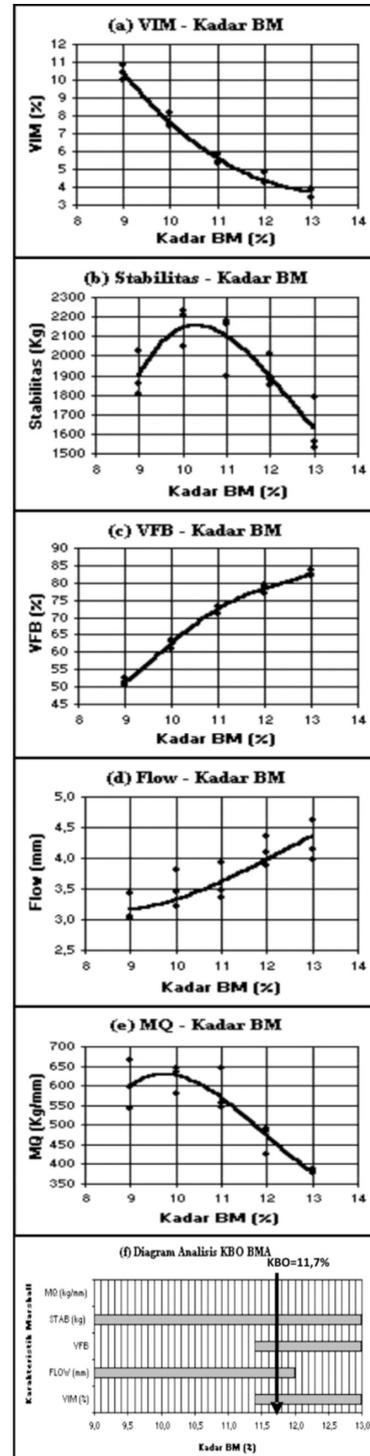
Karakteristik Marshall Campuran dan Kadar Aspal Optimum

Hasil analisis karakteristik *Marshall* jenis campuran Laston dan penentuan kadar aspal minyak disajikan pada Gambar 1. Untuk



Gambar 1. Karakteristik Campuran Lapis Beton Aspal dan Penentuan KAO.

karakteristik campuran BMA dan penentuan kadar *Butonite Mastic* disajikan pada Gambar 2. Dari hasil analisis parameter Marshall, diperoleh kadar aspal minyak (asmin) optimum dan kadar BM optimum (KBO).



Gambar 2. Karakteristik Campuran BMA dan Penentuan KBO.

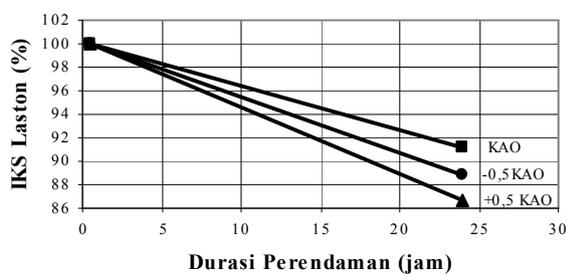
Pengujian Marshall Immersion

Hasil pengujian perendaman *Marshall* yang kemudian dianalisis untuk mendapatkan

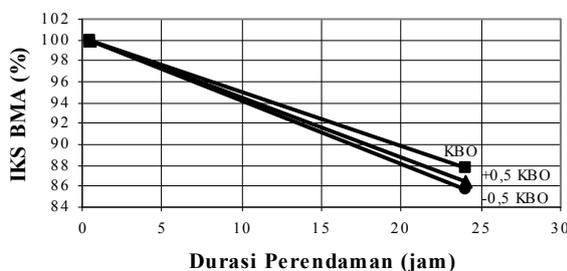
nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) campuran, disajikan pada Tabel 4, Gambar 3 dan Gambar 4 berikut :

Tabel 4. Hasil Perendaman Marshall Standar

No.	Durasi Rendaman (jam)	Kadar Aspal	Stabilitas (Kg)		IKS = RSI (%)	
			BMA	Laston	BMA	Laston
1	0,5	Optimum	1915,1	1783,1		
2	0,5	Optimum	1903,5	2026,2	100,00	100,00
3	0,5	Optimum	1917,4	1736,8		
		Rata-rata	1912,0	1848,7		
1	24	Optimum	1766,9	1479,7		
2	24	Optimum	1658,0	1771,5	87,77	91,19
3	24	Optimum	1609,4	1806,2		
		Rata-rata	1678,1	1685,8		
1	0,5	-0,5 Optimum	2061,0	1910,3		
2	0,5	-0,5 Optimum	2014,7	1976,8	100,00	100,00
3	0,5	-0,5 Optimum	2125,8	1815,0		
		Rata-rata	2067,1	1900,7		
1	24	-0,5 Optimum	1771,5	1710,8		
2	24	-0,5 Optimum	1834,0	1706,4	85,66	88,88
3	24	-0,5 Optimum	1706,7	1651,0		
		Rata-rata	1770,7	1689,4		
1	0,5	+0,5 Optimum	1829,4	1821,6		
2	0,5	+0,5 Optimum	1841,0	1866,0	100,00	100,00
3	0,5	+0,5 Optimum	1880,3	1681,2		
		Rata-rata	1850,2	1789,6		
1	24	+0,5 Optimum	1632,6	1644,3		
2	24	+0,5 Optimum	1597,8	1628,8	86,48	86,68
3	24	+0,5 Optimum	1570,0	1380,6		
		Rata-rata	1600,1	1551,3		



Gambar 3. Hubungan IKS Laston Vs Durasi Perendaman



Gambar 4. Hubungan IKS BMA Vs Durasi Perendaman

Pembahasan

Berdasarkan analisis karakteristik *Marshall* campuran Lapis Beton Aspal dan spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga, terlihat sebagaimana Gambar 1, bahwa nilai stabilitas dan VMA memenuhi spesifikasi untuk semua kadar asmin. Seluruh parameter ini memberikan perpotongan pada kadar asmin antara 6,3% sampai 6,7%, dimana kadar asmin 6,5% sebagai titik tengah ditetapkan sebagai kadar aspal minyak optimum (KAO) campuran Lapis Beton Aspal. Nilai stabilitas yang dibatasi minimum 750 kg untuk beban lalu lintas tinggi terpenuhi pada semua kadar asmin, yaitu dari kadar asmin 5,0% sampai 7,0%. Nilai stabilitas menunjukkan kecenderungan naik dengan bertambahnya kadar asmin yang dimulai pada

kadar asmin 5% dan mencapai puncaknya pada kadar asmin antara 6,0% dan 6,5%. Pertambahan kadar asmin berikutnya yaitu 7,0% memperlihatkan penurunan stabilitas. Kelelahan/*flow* dimana oleh Bina Marga dibatasi pada nilai 2 – 4 mm hanya terpenuhi pada kadar asmin 5,0% - 6,7%. Kecenderungan yang diperlihatkan oleh nilai-nilai parameter ini adalah bahwa nilai *flow* naik sesuai dengan pertambahan kadar asmin.

Nilai VIM dibatasi pada nilai 3% - 5%, terpenuhi pada kadar asmin 6,3% hingga 7,0%. Adapun kecenderungan yang diperlihatkan adalah nilai VIM semakin menurun dengan bertambahnya kadar asmin. Prosentase rongga dalam agregat (VMA) dibatasi sesuai dengan ukuran nominal dari gradasi agregat, dimana studi ini yang digunakan adalah $\frac{3}{4}$ ", sehingga nilai VMA dibatasi hingga minimum 14%. Nilai VMA campuran memenuhi spesifikasi untuk semua kadar asmin. Kecenderungan yang diperlihatkan adalah nilai VMA yang dimulai dari kadar asmin 5,0% turun hingga suatu nilai minimum, yaitu kadar asmin 6,5%, kemudian naik lagi sesuai dengan pertambahan kadar asmin, yaitu hingga kadar asmin 7,0%. Parameter *Marshall Quotient* (MQ) yang merupakan perbandingan antara nilai stabilitas terhadap *flow* adalah merupakan persyaratan tambahan yang dianjurkan oleh Bina Marga (1996). Nilai MQ dianjurkan berada pada nilai 200 kg/mm – 350 kg/mm. Hasil pengujian *Marshall* campuran memperlihatkan nilai batasan yang dianjurkan tidak terpenuhi. Nilai MQ yang diperoleh untuk kadar asmin 5,0% hingga 7,0%, lebih besar dari 350 kg/mm. Hal ini terjadi mengingat nilai stabilitas campuran yang terlalu tinggi. Kecenderungan yang terjadi dari nilai MQ adalah naik hingga mencapai nilai

tertentu sesuai dengan pertambahan kadar asmin, untuk kemudian turun sesuai dengan pertambahan kadar asmin berikutnya.

Karakteristik *Marshall* campuran BMA sebagaimana tersaji pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai stabilitas memenuhi spesifikasi pada semua kadar BM. Nilai kelelahan/*flow*, VFB dan VIM hanya memenuhi spesifikasi pada sebagian kadar BM. Sedangkan nilai MQ berada diluar batasan yang dianjurkan, mengingat nilai stabilitas campuran yang terlalu tinggi. Seluruh parameter ini memberikan perpotongan pada kadar BM antara 11,4% sampai 12,0%, dimana kadar BM 11,7% sebagai titik tengah ditetapkan sebagai kadar BM optimum (KBO) campuran BMA. Nilai stabilitas yang dibatasi minimum 750 kg untuk beban lalu lintas tinggi terpenuhi pada semua kadar BM, dari kadar BM 9,0% sampai 12,0%. Nilai stabilitas menunjukkan kecenderungan naik dengan bertambahnya kadar BM yang dimulai pada kadar BM 9,0% hingga mencapai puncaknya pada kadar BM antara 10,0% dan 11,0%. Pertambahan kadar BM berikutnya hingga 13,0% memperlihatkan penurunan stabilitas. Kelelahan/*flow* yang dibatasi oleh Bina Marga pada nilai 2 – 4 mm hanya dipenuhi pada kadar BM 9,0% hingga 12,0%. Kecenderungan yang diperlihatkan adalah bahwa nilai *flow* naik sesuai dengan pertambahan kadar BM.

Nilai VIM dibatasi pada 3% - 5%, dipenuhi pada kadar BM 11,4% hingga 13,0%. Adapun kecenderungan yang diperlihatkan adalah nilai VIM semakin menurun dengan bertambahnya kadar BM. Prosentase rongga yang terisi aspal (VFB) dibatasi oleh Bina Marga dari 75% hingga 82%. Nilai batasan VFB ini dipenuhi pada kadar BM 11,4% hingga 13,0%.

Kecenderungan yang terjadi adalah nilai VFB semakin naik sesuai dengan penambahan kadar BM.

Parameter *Marshall Quotient* (MQ) yang dianjurkan sebagai syarat tambahan oleh Bina Marga yaitu nilai 183,6 kg/mm – 306 kg/mm tidak terpenuhi. Nilai MQ yang diperoleh untuk kadar BMI 9,0% hingga 13,0%, lebih besar dari 306 kg/mm. Hal ini terjadi mengingat nilai stabilitas campuran BMA yang terlalu tinggi. Kecenderungan dari nilai MQ adalah naik hingga mencapai nilai tertentu sesuai dengan penambahan kadar BM, lalu turun sesuai dengan penambahan kadar aspal berikutnya.

Indeks Kekuatan Sisa untuk periode perendaman Marshall sebagaimana terlihat pada Tabel 4, Gambar 3 dan Gambar 4, masih berada di atas nilai batas minimum yang disyaratkan yaitu 75%. Terlihat bahwa nilai IKS BMA setelah perendaman 24 jam, lebih tinggi dari campuran Lapis Beton Aspal baik pada kadar aspal optimum maupun pada $\pm 0,5$ kadar aspal.

Kecenderungan ini dapat difahami bahwa campuran BMA mempunyai keandalan yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran Lapis Beton Aspal terhadap pengaruh infiltrasi butiran air kedalam campuran. Disisi lain, terlihat juga bahwa perbedaan nilai IKS campuran BMA antara campuran KBO dengan $\pm 0,5$ KBO lebih kecil dibandingkan dengan yang terjadi pada campuran Lapis Beton Aspal. Fenomena ini menunjukkan bahwa campuran BMA mempunyai daya tahan yang lebih tinggi terhadap penambahan atau pengurangan kadar aspal dibandingkan dengan campuran Lapis Beton Aspal.

KESIMPULAN

Dari analisis dan pembahasan terhadap hasil-hasil pengujian, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Karakteristik *Marshall* campuran BMA dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, kecuali parameter MQ, mengingat nilai stabilitas-nya yang terlalu tinggi.
2. Terhadap pengaruh infiltrasi air setelah perendaman *Marshall* 24 jam, campuran BMA mempunyai keandalan yang lebih rendah dibandingkan campuran Lapis Beton Aspal.
3. Terhadap pengaruh pengurangan dan penambahan kadar aspal, campuran BMA mempunyai keandalan yang lebih tinggi dibandingkan campuran Lapis Beton Aspal.

SARAN

Beberapa hal yang dapat disarankan sehubungan dengan hasil-hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui lebih jauh mengenai karakteristik campuran BMA, maka perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai jenis campuran ini, misalnya dengan penambahan zat aditif, pemakaian tipe gradasi campuran yang berbeda, atau bisa juga dengan pemakaian berbagai jenis filler.
2. Perlu dikembangkan jenis-jenis perlakuan pengujian lainnya terhadap campuran BMA, baik perlakuan pengujian di Laboratorium maupun perlakuan pengujian di Lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials / AASHTO, (1998), "Standard specification for transportation materials and methods of sampling and testing", Washington, DC.

Bina Marga, (1996), **“Petunjuk pelaksanaan lapis aspal beton (Laston) untuk jalan raya”**, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.

Dhimas Mahardhika, (2007), **“Kajian laboratorium dari campuran lapis permukaan butonite mastic”**, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung.

Hunter, R.N, (2005), **“Bituminous mixtures in road construction”**, Thomas Telford, London.

Manoppo, FJ, (2009), **“Metode Kurva Fitting untuk mengestimasi daya dukung tanah”**, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIII-2009 Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia, Denpasar-Bali