

JURNAL TEKNIK SIPIL
MACCA

**Analisis Durabilitas Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA)
Terhadap Penggunaan Serat Selulosa (Serat Asbes)**

Andi Alifuddin¹, Winarno Arifin²

^{1,2)} Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia
Jl. Urip Sumoharjo KM 05 Makassar, Sulawesi Selatan
Email: andhy.alif@yahoo.com; winarnoumi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salah satu upaya dalam meningkatkan kualitas perkerasan aspal adalah dengan modifikasi campuran dengan pemanfaatan bahan tambah seperti aspal-karet atau berbagai jenis serat yang memiliki viskositas yang lebih tinggi. Serat dalam beton aspal berfungsi untuk meningkatkan sifat-sifat campuran, misalnya dengan meningkatkan kekuatan material dan meningkatkan daktilitas. Penelitian ini bertujuan Menganalisis karakteristik campuran Split Mastik Asphalt (SMA) dan ketahanan serta keawetan terhadap penggunaan serat selulosa (serat asbes) dengan melakukan variasi penggunaan serat selulosa sebesar 1%,2%,3%,4% dan 5% terhadap variasi kadar aspal masing-masing 6%,6,5%,7%,7,5% dan 8%. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kadar aspal optimum sebesar 7.5% dan persentase optimum penggunaan serat selulosa sebesar 2,81% dengan karakteristik campuran sebagai berikut: stabilitas (kg) 882,62 > 750, flow (mm) 2,75, VIM (%) 3,25 > 3, VMA (%) 19,83 >15, VFA (%) 83,59 > 76 dan MQ (kg/mm) 288,15 > 190. Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) dengan penambahan serat selulosa memiliki sifat ketahanan dan durabilitas yang lebih tinggi yaitu dengan persentase kehilangan pada durasi waktu rendaman 8 hari sebesar 0,19% atau 1,47 kg dibandingkan dengan campuran SMA tanpa menggunakan serat selulosa yaitu dengan persentase kehilangan kekuatan 0,42 % atau 3,13 kg. Secara menyeluruh hasil pengujian memenuhi spesifikasi Bina Marga $\geq 75\%$.

Kata kunci : Kuat tekan, kuat lentur, dan mutu beton

ABSTRACT

One of the ways to improve the quality of asphalt pavement is by modifying the mixture with the use of added materials such as asphalt-rubber or various types of fibers that have higher viscosity. The fiber in asphalt concrete helps to improve the properties of the mixture, for example by increasing the strength of the material and increasing ductility. This study aims to analyze the characteristics of a mixture of Split Mastic Asphalt (SMA) and the durability by utilizing the cellulose fibers (asbestos fibers) with variations in the of cellulose fiber's content by 1% .2%, 3%, 4% and 5% and the variation in asphalt content respectively - each 6%, 6.5%, 7%, 7.5% and 8%. Based on the test results, it is obtained that the optimum asphalt level is 7.5% and the optimum percentage of cellulose fiber use is 2.81% with mixed charcoal point as follows: stability (kg) 882.62> 750, flow (mm) 2.75, VIM (%) 3 , 25> 3, VMA (%) 19.83> 15, VFA (%) 83.59> 76 and MQ (kg / mm) 288.15> 190. Split Mastic Asphalt (SMA) mixture with the addition of cellulose fibers has higher stability and durability with the percentage of loss by 0.19% or 1.47 kg in the duration of the immersion time of 8 days compared to the SMA mixture without using cellulose fiber that is with a percentage of strength loss of 0.42% or 3.13 kg. Overall, the test results meet the Bina Marga specifications $\geq 75\%$.

Keywords: compressive strength, flexural strength, and concrete quality

1. Pendahuluan

Melakukan berbagai usaha dalam upaya meningkatkan kualitas perkerasan aspal yang memiliki digunakan dengan pemanfaatan bahan aspal seperti modified campuran dengan penggunaan serat alam, organik dan serat lainnya, dimana memberi keuntungan dengan menerapkan modified bahan tambah kedalam campuran aspal beton, yang memiliki viskositas yang lebih tinggi, sehingga sifat campuran memiliki kemampuan ketahanan dan stabilitas yang lebih besar untuk menghindari terjadi kegagalan pada struktur lapis permukaan jalan seperti cacat permanen dan retak yang disebabkan oleh kelelahan.

Hasil pengujian diperoleh terhadap aplikasi penerapan aspal-karet pada campuran dengan gradasi rapat, menunjukkan adanya beberapa peningkatan kekuatan tarik akibat pengurangan beban lalu lintasnya, serta penurunan tingkat kebisingan dan peningkatan gesekan, menyediakan rasa aman dan nyaman struktur lapis permukaan jalan untuk pengguna dan mengurangi Biaya pemeliharaan dan rehabilitasi perkerasan.

Campuran aspal dengan gradasi rapat cenderung memiliki kinerja yang lebih baik dalam hal ketahanan terhadap deformasi permanen (karena ukuran agregat), timbulnya kelelahan retak dan aus (karena ketebalan lebih besar dari aspal), bila dibandingkan dengan campuran aspal konvensional. Campuran aspal dengan gradasi terbuka dari sekitar 70% dari agregat kasar,

karena adanya bidang kontak agregat kasar yang lebih tinggi. Karena itu dianjurkan penggunaan agregat pecah dengan kualitas tinggi, baik mikro-tekstur dan masih baru, dengan kata lain, hal itu tidak dapat digunakan dari daur ulang material lapis perkerasan.

Di antara berbagai jenis serat (selulosa, mineral, dll), selulosa telah sering digunakan dengan menunjukkan hasil yang baik, meskipun mereka memiliki kelemahan dan penggunaan biaya yang relatif tinggi

Untuk menghindari terjadi penurunan dan kehilangan bahan aspal, standar Amerika dan Eropa [4] merekomendasikan untuk menambahkan serat, untuk memungkinkan kandungan bahan pengikat yang lebih tinggi dan peningkatan tebal film sekitar agregat, terjadinya oksidasi, penetrasi kelembaban dan retak serta pemisahan agregat. Keuntungan ini berfungsi melindungi pemakaian aspal campuran beton aspal.

Penguatan merupakan penggabungan bahan-bahan tertentu dengan beberapa sifat yang diinginkan dari bahan lain yang merupakan kelemahan dari bahan lainnya [13]. Akibatnya, serat penguatan dianggap memiliki dua fungsi. Satu sisi serat merupakan satu bagian kesatuan yang telah tercampur secara acak ke dalam campuran, yaitu aspal beton dan / atau Portland Semen pada campuran beton. Di sisi lain bahan yang berorientasi pada golongan tertentu, misalnya Geo-sintetis.



Gambar 1 Serat polyester (kiri), serat selulosa (kanan)

Pada dasarnya, fungsi utama dari serat sebagai penguat bahan yang memberikan kekuatan tarik tambahan hasil penggabungan unsur material; hal ini dapat meningkatkan jumlah energi strain yang bisa diserap selama kelelahan dan fraktur proses campuran [15].

Beberapa serat-serat memiliki kekuatan tarik tinggi terhadap campuran aspal, sehingga ditemukan bahwa serat-serat memiliki potensi untuk meningkatkan kekuatan kohesif dan tarik campuran aspal. Mereka diyakini untuk memberikan perubahan fisik untuk campuran aspal [16]. Penelitian dan pengalaman telah menunjukkan bahwa serat-serat cenderung berkinerja lebih baik dari polimer dalam mengurangi drain down campuran SMA

Diperkirakan bahwa dengan penambahan serat ke dalam aspal, meningkatkan kekuatan material dan karakteristik kelelahan sementara pada saat yang sama meningkatkan daktilitas karena kompatibilitas yang melekat dari

2. Metode Penelitian

2.1 Gradasi Campuran SMA

Untuk campuran aspal dingin ada dua macam gradasi, berdasarkan ukuran maksimum agregat yaitu:

serat-serat dengan aspal dan sangat baik sifat mekanik [7]. Dengan demikian, serat dapat menstabilkan aspal untuk mencegah terjadinya peningkatan rongga dalam campuran dan meningkatkan kedekatan [18].

Untuk itu dijadikan alasan mengapa serat-serat yang digunakan dalam campuran Split Mastic aspal (SMA) dan *open graded* gesekan-lapis aus (OGFC). Hal ini penting untuk mengetahui bahwa kuantitas penggunaan aspal yang tepat yang dibutuhkan untuk melapisi serat-serat tergantung pada tingkat penyerapan dan luas permukaan dari serat-serat dan, oleh karena itu, tidak hanya dipengaruhi oleh konsentrasi yang berbeda dari serat-serat tetapi juga oleh berbagai jenis serat-serat [19]. Pada dasarnya, serat mengubah viscoelasticity dari dimodifikasi aspal [20], meningkatkan modulus dinamis [21], kerentanan kelembaban [22], creep, rutting resistance [23] dan sekaligus mengurangi reflektif retak aspal pada campuran dan struktur pekerasan.(24).

- a) Ukuran agregat maksimum 10 mm
- b) Ukuran agregat maksimum 20 mm

Menurut spesifikasi Bina Marga untuk proyek peningkatan jalan, gradasi agregat campuran adalah sebagai berikut

Tabel 1 Spesifikasi gradasi SMA

Uraian	Satuan
Gradasi Agregat	% Lolos Saringan
12,50 mm	100
11,20 mm	90-100
8,00 mm	50-75
5,00 mm	30-50
2,00 mm	20-30
0,71 mm	13-25
0,25 mm	10-20
0,09 mm	8-13

Sumber: Bina Marga

Split Mastic Asphalt (SMA) adalah campuran beton aspal yang bergradasi terbuka. Gradasi terbuka (Open Graded) adalah gradasi agregat di mana ukuran agregat yang ada tidak menerus atau ada

fraksi agregat yang tidak ada, dan jika ada jumlahnya sedikit sekali. Oleh sebab itu gradasi ini disebut juga gradasi senjang.

Tabel 2 Spesifikasi campuran SMA

No.	SMA	Persyaratan 0/11
Agregat		
1.	<< 0,09 mm(%berat)	8-13
	>2,00 mm (%berat)	70-80
	>5,00 mm(%berat)	50-70
	>8,00 mm(%berat)	>25
	>11,20mm(%berat)	<10
Aspal		
2.	a. Jenis	AC 60/70 atau 80/100
	b. Kadar (%berat)	6-7,5
Spesifikasi Marshall		
3.	a. Pemadatan	2 x 75
	b. Stabilitas min (kg)	750
	c. VFB (% volume)	76-82
	d. VIM (% volume)	3-5
	e. Kelelahan/Flow (mm)	2-4
	f. Marshal Quotien (kg/mm)	190-300
Lapisan Aspal		
4.	a. Tebal, cm	3-5
	b Derajat Kepadatan (%)	>97

2.2 Metode Pengujian

Metode penelitian ini dengan metode ekperimental yaitu dengan melakukan beberapa percobaan yang dilakukan untuk menguji beberapa hipotesa menemukan hubungan-hubungan terhadap variabel bebas dan variabel menggantung dan melakukan kontrol sebagai perbandingan. Tipe campuran yang digunakan campuran split Mastic Asphlat (SMA)

Untuk mengetahui karakteristik dan keawetan campuran dengan menggunakan metode pendekatan dengan melakukan kajian pustaka terhadap beberapa literature yang dilanjutkan dengan melakukan pengujian dan pemeriksaan bahan dan benda uji pada laboratorium serta kajian analisis berdasarkan hasil pengujian. Pengujian kinerja campuran SMA dengan melakukan variasi penggunaan serat selulosa dengan variasi kadar aspal dengan menggunakan aspal pen 60/70 dan serat asbes. Untuk pengujian durabilitas dengan melakukan uji variasi waktu rendaman pada suhu 25°C dan pengujian pada suhu standar 60°C.

2.3 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (flow). Flow didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum dan dinyatakan dalam milimeter atau 0.01”.

2.4 Pengujian Durabilitas Campuran

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan perkerasan jalan menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antar roda kendaraan pada permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kepadatan air pada campuran beton aspal

2.4.1 Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan flow) yang dibagi

dalam dua kelompok. lompok pertama diuji stabilitas Marshall-nya setelah perendaman dalam air pada suhu 60° C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendaman pada suhu 60° C selama waktu T2 (HUNTER, 1994). Dari nilai stabilitas Marshall yang diperoleh pada kedua perendaman tersebut, ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Marshall dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (HUNTER,1994) :

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

Dimana :
S1 = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T1 menit (Kg)
S2 = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T2 menit (Kg)
IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 75%.

2.4.2 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$R = \frac{r}{100} \cdot S_o \dots\dots\dots (3)$$

dimana:
r = Indeks Penurunan Stabilitas (%)
Si+1 = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti+1
Si = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti
ti, ti+1 = Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)
R = Indeks penurunan stabilitas (kg)
So = Nilai stabilitas awal (kg)
Nilai ‘r’ yang positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ‘r’

negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

2.4.3 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_{i+1} - t_i)] \dots\dots\dots (4)$$

dimana:
Si+1 = Prosentase kekuatan sisa pada waktu ti+1
Si = Prosentase kekuatan sisa pada waktu ti
ti, ti+1 = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)
tn = total waktu perendaman
Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. Nilai ‘a’ positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ‘a’ negatif merupakan penambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai a < 100. Oleh karena itu, memungkinkan untuk menyatakan prosentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari Sa sebagai berikut:

$$S_a = (100 - a) \dots\dots\dots (5)$$

Nilai Indeks Durabilitas Kedua juga dapat dinyatakan dalam bentuk nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan sebagai berikut:

$$A = \frac{a}{100} \times S_o \dots\dots\dots (6)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pemeriksaan dan pengujian bahan penyusun campuran Split Mastik Asphalt (SMA) yang meliputi agregat kasar, agregat halus dan abu batu secara keseluruhan memenuhi persyaratan dan spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga. Sementara untuk pengujian aspal sebagai bahan pengikat dengan menggunakan aspal pen 60/70 secara keseluruhan menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan yang disyaratkan. Hasil uji karakteristik campuran dengan pengujian Marshall pada campuran SMA pada Tabel 3 dan Tabel 4, gambar 2 sampai dengan Gambar 6 menunjukkan hubungan parameter

campuran dengan kadar aspal. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ada peningkatan nilai stabilitas seiring dengan meningkatnya persentase kadar

aspal yang berbanding lurus dengan nilai rongga dalam campuran (VIM) dan Marshall Quotient (MQ)

Tabel 3 Karakteristik campuran SMA

Sifat-Sifat	Hasil Pengujian					Spec.
	Kadar	6,0	6,5	7,0	7,5	
Density	2,240	2,230	2,230	2,220	2,21	>2,2 gr/cm ³
VIM; %	5,1	4,9	4,2	4,07	3,9	>3%
V M A; %	18,55	19,28	19,66	20,51	21,35	>15 %
V FA; %	72,06	74,61	78,70	80,17	81,55	>76 %
Stabilitas; kg	240,28	536,31	750,71	739,10	692,66	>750 kg
Flow; mm	1,9	2,20	2,2	2,40	4,20	2-4 mm
Hasil Bagi Marshall;kg/mm	126,2	243,78	343,3	303,07	164,9	>250 kg/mm

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian Marshall untuk campuran SMA tanpa penambahan serat selulosa. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serat selulosa maka dilakukan pengujian

Marshall dengan komposisi campuran yang melibatkan serat selulosa dalam berbagai kadar, dan hasilnya ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4 Karakteristik campuran SMA dengan variasi serat selulosa

Karakteristik	Spesifikasi	Kadar Serat Selulosa (%)					
		0	1	2	3	4	5
Density	> 2,2gr/cm ³	2,22	2,24	2,24	2,24	2,24	2,25
VIM; %	> 3%	4,19	3,45	3,26	3,25	3,20	3,02
V M A; %	>15%	20,51	20,00	19,83	19,83	19,79	19,64
V FA; %	>76%	80,17	82,76	83,59	83,61	83,83	84,61
Stabilitas; kg	750 kg	750,71	757,24	787,35	882,27	812,62	754,58
Flow; mm	2-4 mm	2,47	2,53	2,75	3,00	3,23	4,07
Hasil Bagi Marshall;kg/mm	190 kg/mm	303,07	299,53	288,15	298,09	252,74	218,25

Jika sampel untuk pengujian di atas direndam hanya selama 30 menit, sampel pengujian dengan komposisi campuran yang sama selanjutnya

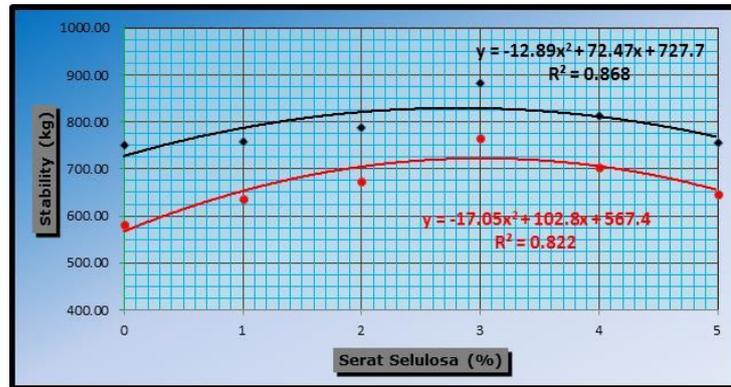
direndam selama 24 jam dengan hasil pengujian untuk setiap kadar selulosa ditunjukkan pada tabel 9

Tabel 5 Karakteristik campuran SMA dengan rendaman 24 jam pada suhu 60°C

Karakteristik	Spesifikasi	Kadar Serat Selulosa (%)					
		0	1	2	3	4	5
Density	> 2,2gr/cm ³	2,23	2,23	2,25	2,25	2,26	2,27
VIM; %	> 3%	4,18	3,92	2,70	2,63	2,97	3,93
V M A; %	>15%	21,1	20,39	19,38	19,34	19,17	18,96
V FA; %	>76%	77,09	80,77	86,07	86,29	87,21	88,43
Stabilitas; kg	750 kg	582,2	637,28	672,75	766,19	704,27	646,23
Flow; mm	2-4 mm	2,198	2,07	2,17	2,63	2,97	3,93
Hasil Bagi Marshall;kg/mm	190 kg/mm	316,18	312,03	328,80	300,01	240,31	186,14

Hasil yang diperoleh pada tabel 4 dan 5 kemudian diplot pada grafik untuk

diperoleh perbandingan secara visual sebagai berikut



Gambar 2 Grafik hubungan serat selulosa dengan stabilitas

Pada perendaman 30 menit menunjukkan bahwa secara menyeluruh variasi kadar asbes, memenuhi spesifikasi Bina Marga, Setiap penambahan kadar serat asbes pada campuran nilai stabilitas naik sampai kadar serat asbes 3%, dan setelah 3% kembali menurun. Sedangkan perendaman 24 jam, menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai stabilitas dari perendaman 30 menit. Dan hanya kadar serat 3% yang memenuhi spesifikasi.

Stabilitas terbentuk dari kondisi gesekan internal yang terjadi di antara butir-butir agregat, saling mengunci dan mengisinya butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Daya absorpsi akan menyebabkan kohesi campuran bertambah, kerapatan campuran meningkat sehingga akan meningkatkan bidang kontak antar agregat dan meningkatkan interlocking antar agregat yang pada akhirnya meningkatkan nilai stabilitas.

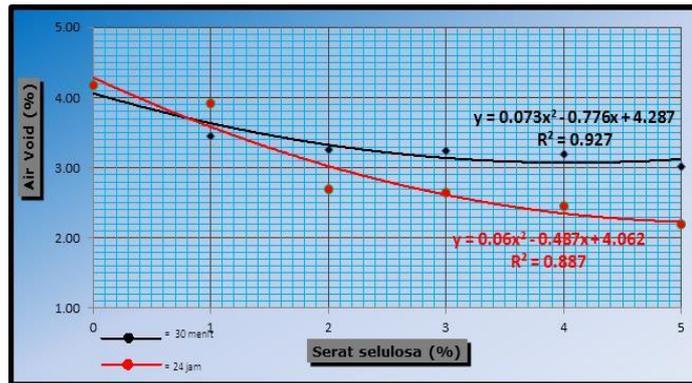


Gambar 3 Grafik hubungan serat selulosa dengan Flow

Pada gambar 3 ditunjukkan bahwa campuran SMA mengalami peningkatan nilai kelelahan (*flow*) seiring dengan bertambahnya persentase kadar serat selulosa (asbes) pada campuran.

Nilai flow menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji,

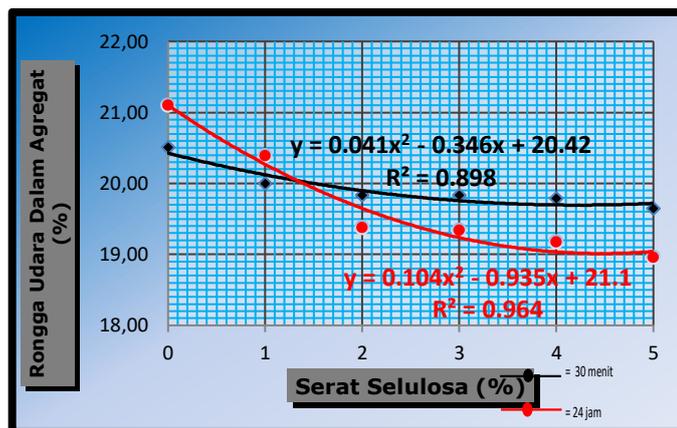
campuran yang mempunyai angka flow rendah dengan stabilitas Kelelahan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. Flow merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas



Gambar 4 Grafik hubungan serat selulosa dengan VIM

Dari analisa Gamabr 4 diatas menunjukkan menunjukkan bahwa secara menyeluruh variasi kadar serat asbes terhadap nilai VIM memenuhi spesifikasi Bina Marga. Sedangkan, untuk perendaman 24 jam, nilai VIM mengalami penurunan yaitu hanya 1% yang memenuhi spesifikasi. Pada grafik

diatas menjelaskan bahwa penambahan 1% - 5% kadar serat selulosa (asbes) pada campuran mengalami penurunan nilai VIM. Hal ini disebabkan karena semakin besar penambahan volume serat selulosa (asbes) dalam campuran maka serat berfungsi untuk mengisi rongga.



Gambar 5 Grafik hubungan serat selulosa dengan VMA

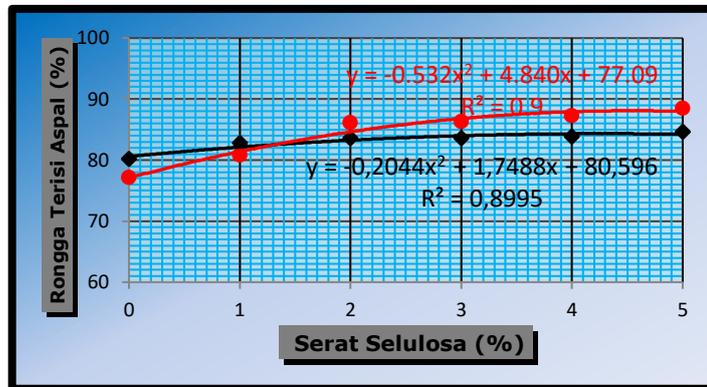
Penambahan serat persentase VMA lebih tinggi tingkat dibandingkan dengan tanpa menggunakan serat selulosa. Hal ini terjadi adanya sifat serat selulosa yang memiliki penyerapan aspal yang cukup tinggi dan menyebabkan peningkatan ketebalan flim yang cukup besar. Peningkatan tebal flim berdampak pada menurunnya tingkat kepadatan campuran atau rongga dalam campuran semakin kecil mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. Dari analisa Gambar 4 menunjukkan bahwa secara

menyeleuruh penambahan kadar serat pada campuran memenuhi telah spesifikasi Bina Marga $\geq 15\%$ baik perendaman 30 menit mapun perendaman 24 jam.

VMA (Voids in Mineral Aggregates) dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan

temperatur pemadatan. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga

udara yang menyebabkan material menjadi berpori



Gambar 6 Grafik hubungan serat selulosa dengan VFB

Nilai VFB (Gambar 6) menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Pada gambar 5 menunjukkan penambahan serat persentase VFB lebih tinggi tingkat dibandingkan dengan tanpa menggunakan serat selulosa. Hal ini terjadi adanya sifat serat selulosa yang

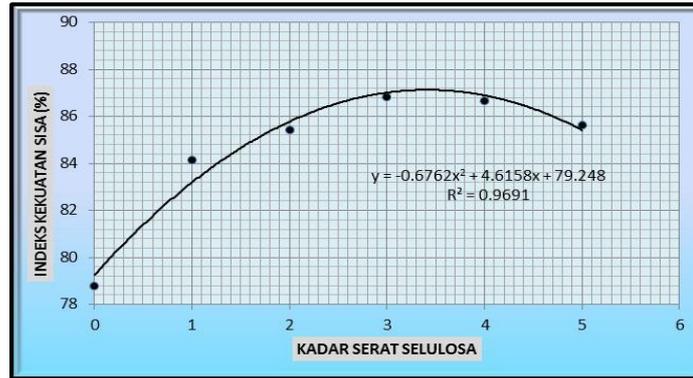
memiliki penyerapan aspal yang cukup tinggi dan menyebabkan peningkatan ketebalan flim yang cukup besar. Peningkatan tebal flim berdampak pada menurunnya tingkat kepadatan campuran atau rongga dalam campuran semakin kecil.



Gambar 7 Grafik hubungan serat selulosa dengan MQ

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan flow yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah

mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energy pemadatan, dan temperatur pemadatan.



Gambar 8 Grafik hubungan IKS dengan Persentase Serat Selulosa

Berdasarkan analisa grafik 8 hubungan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan kadar serat selulosa (asbes) diatas menunjukkan bahwa nilai Indeks Kekuatan menunjukkan adanya peningkatan seiring dengan meningkatnya persentase serat selulosa sampai pada batas maksimum sebesar 3%, hal ini menunjukkan bahwa serat selulosa memberi perkuatan ikatan atau daya lekat pada campuran akibat pengaruh rendaman pada suhu 600C, akan tetapi penambahan serat selulosa pada 3% mengalami penurunan nilai IKS.

Indikator tingkat ketahanan dan durabilitas campuran menunjukkan bahwa campuran SMA dengan penambahan serat selulosa mampu meningkatkan kinerja campuran atau ketahanan terhadap pengaruh rendaman air dibandingkan dengan campuran tanpa menggunakan serat selulosa. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi serat selulosa pada campuran SMA mampu meningkatkan ketahanan dan daya lekat akibat rendaman air dimana sifat aspal mengalami perubahan sifat.



Gambar 9 Grafik hubungan nilai IKS dengan variasi waktu rendaman

Berdasarkan Gambar 9 dan menunjukkan nilai indeks kekuatan sisa (IKS) menurun seiring dengan meningkatnya durasi (lama) rendaman. Terjadi penurunan kekuatan sisa dapat disebabkan beberapa faktor antara lain

durasi waktu rendaman semakin lama campuran aspal terendam oleh air menyebabkan menurunnya kekuatan campuran yang diakibatkan adanya perubahan sifat aspal sebagai bahan pengikat menjadi lemah yang

berdampak pada menurunnya kinerja campuran. Disamping itu factor serat selulosa pada campuran yang tingkat

penyerapan tingkat penetrasi dan titik lembek yang rendah, sehingga air yang cukup tinggi.

Tabel 6 Nilai indeks durabilitas pertama (IDP)

Suhu Rendaman °C	Suhu Pematatan °C	Stabilitas Awal (So) Kg	Lama Rendaman (hari)									
			1		2		4		6		8	
			r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)	r (%)	R (kg)
IDP untuk KAO tanpa serat												
60° C	110° C	766.19	0.06	0.49	0.03	0.24	0.13	0.97	0.00	0.00	0.44	3.39
		731.36	0.07	0.48	0.07	0.48	0.03	0.24	0.03	0.24	0.36	0.05
		754.58	0.06	0.48	0.03	0.24	0.03	0.24	0.10	0.73	0.45	0.06
Rata-rata		750.71	0.06	0.49	0.02	0.16	0.06	0.48	0.04	0.32	0.42	1.17
IDP untuk KAO serat selulosa												
60° C	110° C	789.40	0.18	1.45	0.03	0.25	0.06	0.48	0.06	0.48	0.43	3.39
		766.19	0.19	1.45	0.06	0.48	0.09	0.73	0.09	0.73	0.44	3.39
		766.19	0.06	0.48	0.06	0.48	0.06	0.48	0.06	0.48	0.41	3.14
Rata-rata		773.92	0.02	0.16	0.01	0.08	0.07	0.56	0.07	0.56	0.43	3.31

Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa perolehan hasil kekuatan dengan simbol "r" bertanda negatif memberi indikator terjadi peningkatan kekuatan sebesar 0,01 % sebesar 0,81 kg untuk penggunaan campuran SMA dengan penambahan serat selulosa pada kondisi rendaman 2 hari, selanjutnya untuk durasi waktu rendaman 3 hari sampai 8 hari rata-rata terjadi pengurangan kekuatan sebesar 0,19 % atau 1,47 kg. Sementara untuk campuran SMA tanpa menggunakan serat selulosa dari lima durasi waktu rendaman menunjukkan hasil "r" bernilai positif, menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekuatan. Penurunan kekuatan terkecil terjadi pada durasi waktu rendaman 2 hari sebesar 0,02 % atau kehilangan kekuatan 0,16 kg. Dan penurunan kekuatan terbesar terjadi pada durasi waktu rendaman 8 hari sebesar 0,42% atau kehilangan kekuatan 3,13 kg .

4. Penutup

Berdasarkan hasil pengujian, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai persentase bahan tambah serat selulosa (asbes) yang digunakan terhadap campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang memenuhi persentase kadar serat optimum yaitu sebesar 2,81%
- Persentase penambahan serat selulosa terhadap campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dapat meningkatkan nilai karakteristik campuran aspal beton.
- Campuran SMA dengan penambahan serat selulosa memiliki sifat ketahanan dan durabilitas lebih tinggi dengan persentase kehilangan re pada durasi waktu rendaman 8 hari sebesar 0,19% atau 1,47 kg dibandingkan dengan campuran SMA tanpa menggunakan serat selulosa dengan persentase kehilangan kekuatan 0,42 % atau 3,13 kg. secara menyeluruh memenuhi spesifikasi Bina Marga $\geq 75\%$. Dari 5 variasi bahan tambah yang digunakan pada campuran Split Mastic Asphalt (SMA) ,nilai keawetan (Durabilitas) yang didapatkan diatas rata-rata 84% yang dinyatakan dengan Indeks

Kekuatan Sisa (IKS). Nilai IKS
Persentase bahan tambah 2,81%
yaitu 86,9%

Daftar Pustaka

- Asphalt Institute, 2007 The Asphalt Handbook, Manual Series No.4 (MS-4) Kentucky: The Asphalt Institute
- American Society for Testing And Materials (ASTM). Standard test methods, vol. 4.03. West Conshohocken, PA: ASTM; 2000.
- AASHTO MP8-01. Specification for designing SMA. American Association of State Highways Transportation Officials. AASHTO MP8-01; 2000.
- Alvaro García, José Norambuena-Contreras, Manfred N. Partl, Philipp Schuetz;(2013), Uniformity and mechanical properties of dense asphalt concrete with steel wool fibers, *Jurnal Construction and Building Materials* 43 (2013) 107–117
- Brown SF, Rowlett RD, Boucher JL. Asphalt modification. In: Proceedings of the conference on the United States strategic highway research program: sharing the benefits. London: Thomas Telford (Pub.); 1990. p. 181–203.
- Button JW, Lytton RL. Evaluation of fabrics, fibers and grids in overlays. Sixth international conference on the structural design of asphalt pavements. Ann Arbor, M; 1987.
- Chen H, Li N, Hu C, Zhang Z. Mechanical performance of fibers-reinforced asphalt mixture. *J Chan Univ (Nat Sci Ed)* 2004;24(2): 1–5.
- Echols J. New mix method for fiber-reinforced asphalt. *Public Works* 1989;119(8):72–3.
- Fitzgerald RL. Novel applications of carbon fiber for hot mix asphalt reinforcement and carbon-carbon pre-forms. MSc Thesis, Department Chemical Engineering, Michigan Technological University; 2000.
- Huang H, White TD. Dynamic properties of fiber-modified overlay mixture. *Trans Res Rec* 1996;1545:98–104.
- Maurer Dean A, Gerald M. Field performance of fabrics and fibers to retard reflective cracking. *Trans Res Rec* 1989;1248:13–23.
- Mahrez A, Karim M, Katman H. Fatigue and deformation properties of glass fiber reinforced bituminous mixes. *J East Asia Soc Trans Studies* 2005;6:997–1007.
- Mahrez A, Karim M, Katman H. Prospect of using glass fiber reinforced bituminous mixes. *J East Asia Soc Trans Studies* 2003;5:794–807.
- Neves Filho CLD. Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha. Thesis (Masters). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brazil; 2004.
- Peltonen P. Wear and deformation of characteristics of fiber reinforced asphalt pavements. *Constr Build Mater* 1991;5:18–22.
- Wu S, Ye Q, Li N, Yue H. Effects of fibers on the dynamic properties of asphalt mixtures. *J Wuhan Univ Technol – Mater Sci Ed* 2007;22:733–6.