



## Kinerja Marshall pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Menggunakan Serat Selulosa Alami Tongkol Jagung <sup>1</sup>

### *Marshall Performance of Split Mastic Asphalt Mixtures (SMA) Using Natural Cellulose Fiber Corn Cob*

Agusty Maulana Bramasta <sup>a,2</sup>, Akhmad Hasanuddin <sup>b</sup>, Lutfi Amri Wicaksono <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

<sup>b</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

#### ABSTRAK

*Split Mastic Asphalt (SMA)* sebagai solusi untuk mengurangi permasalahan kerusakan lapisan perkerasan jalan sebelum berakhirnya masa layanannya akibat beban lalu lintas yang tinggi. Serat selulosa diperlukan sebagai material aditif penstabil aspal. Penelitian dilakukan dengan metode experimental murni dengan tujuan mengetahui pengaruh serat selulosa terhadap kinerja marshall. Penelitian ini digunakan campuran SMA dengan menggunakan 5 variasi penambahan serat selulosa alami dari tongkol jagung yaitu 0,15%; 0,30%; 0,45%; 0,6%; 0,75%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat selulosa tongkol jagung berpengaruh pada karakteristik marshall yaitu stabilitas, *flow*, VIM, VMA,. Namun tidak semua kadar varians serat selulosa memenuhi spesifikasi. Varians penambahan serat selulosa yang memenuhi spesifikasi karakteristik marshall adalah kadar 0,15% sampai dengan 0,45%. Untuk kadar optimum serat selulosa yang ditambahkan pada campuran SMA dipilih kadar 0,15% sampai dengan 0,3%, karena pada range tersebut terjadi peningkatan kinerja kekuatan yang terbaik, didukung seluruh karakteristik lainnya lolos spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

*Kata kunci: Split Mastic Asphalt (SMA), kinerja marshall, serat selulosa alami, tongkol jagung*

#### ABSTRACT

*Split Mastic Asphalt (SMA)* as a solution to reduce the problem of damage to the road pavement layers before the end of it's service period due to high traffic loads. Cellulose fiber is needed as an asphalt stabilizer. The study was conducted with a pure experimental method to determine the effect of cellulose fiber on the marshall performance of Split Mastic Asphalt Mixtures (SMA). This study used a mixture of SMA by using five variations of the addition of natural cellulose fibers from corn cobs that is 0.15%; 0.30%; 0.45%; 0.6%; 0.75%. The results showed that the corn cob cellulose fiber determines the characteristics of Marshall namely weakness, flow, VIM, VMA,. But not all levels of varieties meet specifications. For optimum levels of cellulose fiber added to the SMA mixture, the levels of 0.15% to 0.3% were chosen, because in that scale the increase in strength performance was supported by all other characteristics that passed the 2018 Bina Marga specifications.

*Keywords: Split Mastic Asphalt (SMA), marshall performance, natural cellulose, corn cobs*

<sup>1</sup> Info Artikel: Received: 23 Januari 2020, Accepted: 28 Agustus 2020

<sup>2</sup> Corresponding Author: [agustybramasta@gmail.com](mailto:agustybramasta@gmail.com) (A.M. Bramasta)

## **PENDAHULUAN**

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2016) mengungkapkan bahwa jalan sepanjang 180.244 km atau 33,5 persen jalan di Indonesia dalam keadaan rusak. Kerusakan jalan disebabkan oleh pergantian cuaca, panas dan hujan serta peningkatan volume lalu-lintas yang tinggi akibat berkembanyanya kepemilikan kendaraan bermotor. Tingginya beban lalu lintas memberi sumbangan kerusakan yang sangat cepat pada perkerasan jalan. Sehingga banyak ditemui jalan yang rusak sebelum habis masa layanannya akibat tidak mampu menahan beban lalu lintasnya. Diperlukan campuran perkerasan yang memiliki lapisan dengan ketebalan film aspal yang tinggi sehingga akan tahan terhadap sinar ultraviolet dan oksidasi, sehingga akan meningkatkan kekuatan dari lapisan perkerasan jalan dan aman bagi lingkungan. Salah satu campuran lapis perkerasan yang cocok sebagai solusi permasalahan ini adalah campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA).

Campuran SMA membutuhkan penambahan zat aditif berupa serat selulosa guna menstabilkan aspal dan meningkatkan kekentalannya. Serat selulosa yang banyak digunakan dalam SMA adalah serat selulosa sintesis abrocel yang dirasa cukup mahal. Untuk menggantikan penggunaan bahan tambah serat selulosa sintesis, maka dapat dicoba menggunakan bahan tambah serat selulosa alami. Salah satu alternatif serat selulosa alami yang banyak ditemui sebagai limbah hasil pertanian dan banyak dimanfaatkan sebagai pakan ternak adalah tongkol jagung. Menurut Saha (2003) tongkol jagung mempunyai komposisi kandungan selulosa mencapai 42% pada kondisi kering. Kandungan selulosa yang cukup tinggi ini membuat tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam pembuatan *Split Mastic Asphalt*.

Berangkat dari alur permasalahan diatas maka, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja marshall Campuran *Split Mastic Aspal* (SMA) dengan menggunakan bahan aditif serat selulosa alami dari tongkol jagung. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji marshall yang akan diperoleh parameter uji marshall antara lain: nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA sebagai parameter untuk mengetahui kinerja penambahan serat tongkol jagung sebagai bahan aditif terhadap *Split Mastic Aspal* (SMA) serta untuk menentukan kadar optimum penambahan selulosa dalam campuran SMA.

## **KAJIAN PUSTAKA**

### **Campuran *Split Mastic Aspal* (SMA)**

Menurut Sukirman (1999) campuran SMA tersusun atas Split (agregat kasar dengan kadar tinggi,  $\pm 75\%$ ), Mastic Asphalt (campuran agregat halus, filler dan aspal dengan kadar relatif tinggi) ditambah dengan zat additive serat selulosa.

### **Campuran Material pada *Split Mastic Asphalt* (SMA)**

Menurut Sukirman (1999) campuran SMA terdiri dari beberapa material diantaranya agregat halus, agregat kasar, aspal, dan bahan aditif. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat. Perpaduan campuran antara agregat dan aspal dapat disebut pula dengan campuran aspal panas. Aspal sebagai pengikat antar partikel agregat, sedangkan agregat adalah kekuatan utama dalam campuran perkerasan. Bahan aditif ditambahkan diperlukan karena campuran SMA memiliki lapisan aspal yang kurang tahan terhadap temperatur

tinggi sehingga cenderung terjadi bleeding atau keluarnya aspal ke permukaan, akan tetapi pengaruh negatif tersebut dapat dikurangi dengan penambahan zat additive berupa serat selulosa yang dapat berfungsi untuk menstabilkan aspal.

**Tabel 1** Spesifikasi Material dan Kinerja Marshall untuk Campuran SMA

No	Material SMA	Persyaratan Bina Marga 2018
	Agregat (SMA Kasar)	
	25 mm (Lolos % Berat)	100
	19 mm (Lolos % Berat)	90-100
1.	12.5 mm (Lolos % Berat)	50-88
	9.5 mm (Lolos % Berat)	25-60
	4.75 mm (Lolos % Berat)	20-28
	2.36 mm (Lolos % Berat)	16-24
	0.075 mm (Lolos % Berat)	8-11
	Aspal	
2.	a. Jenis	Penetrasi 60/70
	b. Kadar (% Berat)	6-7
	Additive	
3.	a. Jenis	Serat Selulosa
	b. Kadar (% Berat)	$\pm 0,3$
	Karakteristik Marshall	
	a. Tumbukan	50
4.	b. Stabilitas min (kg)	600
	c. VMA min (%)	17
	d. VIM (%)	4-5
	e. Flow (mm)	2-4,5
5.	Lapisan	
	Tebal Nominal Min (cm)	5

Sumber : Tinjauan terhadap Persyaratan Bina Marga Tahun 2018 untuk Campuran SMA

### Serat Selulosa Alami Tongkol Jagung

Mengacu AASHTO T30 (2014) serat selulosa yang digunakan pada campuran SMA penambahan kadarnya sekitar 0,3 persen terhadap berat total campuran. Menurut Saha (2003), menemukan bahwa bagian tongkol jagung mengandung sebesar 42% serat selulosa pada komposisi kering. Komposisi tersebut jauh lebih besar jika dibandingkan dengan jerami, bagas tebu, jerami gandum, dan serat jagung. Tongkol jagung sebagai serat selulosa ditambahkan guna mengurangi sifat negatif campuran SMA yang tidak tahan dengan suhu tinggi yang mengakibatkan bleeding dan untuk meningkatkan stabilitas perkerasan.

### Kajian Penelitian Sebelumnya

Anas Tahir, Universitas Tadulako (2011), melakukan penelitian untuk mengetahui kinerja campuran SMA dengan menggunakan serat selulosa alami dedak padi dengan penambahan dalam berat campuran sebesar 0%; 5%; 6%; 7%; 8%; 9% dengan variasi kadar aspal (5,5%; 6%; 6,5%; 7%; 7,5%; 8%). Penelitian tersebut memberikan hasil nilai stabilitas

campuran perkerasan jalan menunjukkan kekuatan menahan beban lalu lintas pada campuran SMA dengan selulosa dedak padi umumnya memenuhi spesifikasi, kecuali pada kadar aspal 7,5% - 8% dengan kadar dedak padi 8% - 9%. Stabilitas tertinggi dicapai pada kadar aspal 5,5 % dan kadar dedak padi 7%.

## METODE PENELITIAN

### Jenis dan Lokasi Penelitian

Data penelitian didapatkan dari hasil pengujian di laboratorium Transportasi Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember mengacu pada spesifikasi dari Bina Marga (2018). Peralatan yang digunakan adalah alat uji tekan *Marshall* kemudian dapat diketahui kuat tekan pada aspal dan parameter-parameter yang akan dicari yaitu nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA.

### Persiapan dan Pengujian Bahan Material

Sebelum memulai penelitian ini maka dibutuhkan material guna kelancaran penelitian. Material yang dibutuhkan meliputi aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina, agregat halus dan agregat kasar yang didapat dari PT.Sunan Muria, serta serat selulosa alami berupa serbuk yang didapatkan dari hasil penggilingan tongkol jagung jenis varietas Bisi-18 yang dihasilkan di Kecamatan Cerme, Kabupaten Bondowoso.

Pengujian material dikaukan dengan tujuan mendapatkan karakteristik dari masing masing bahan penyusun lapis perkerasan mengacu pada standar yang sudah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 yang tersaji dalam Tabel 2.

**Tabel 2** Jenis Pengujian dan Acuan dalam Persyaratan Bina Marga 2018

No	Jenis Pengujian	Persyaratan Bina Marga 2018
1.	Pengujian Agregat Halus	
	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 1970 : 2016
	Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
2.	Pengujian Agregat Kasar	
	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 1969 : 2016
	Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
	Uji Keausan ( <i>Los Angeles</i> )	SNI 2417 : 2008
3.	Pengujian Aspal	
	Berat Jenis Aspal	SNI 2441 : 2011
	Daktilitas	SNI 2432 : 2011
	Penetrasi	SNI 2456 : 2011
	Kehilangan Berat Minyak	SNI 2438 : 2015
	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011
4.	Pengujian Serat Selulosa	
	Analisa Saringan	ASSHTO T305 : 2015
	Kadar Air	ASSHTO T305 : 2015

Sumber: Tinjauan terhadap Persyaratan Bina Marga Tahun 2018 untuk Campuran SMA

### **Rancangan Benda Uji**

Perencanaan gradasi dilakukan guna mendapatkan 1 kadar aspal optimum untuk campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA), perkiraan kadar aspal awal menggunakan metode dari Depkimpraswil 2002. Dari metode tersebut menghasilkan 5 variasi kadar aspal. Masing masing variasi kadar aspal dibuat 3 sampel guna mendapatkan 1 kadar aspal paling optimum untuk diuji dengan penambahan variasi serat selulosa tongkol jagung. Adapun prosentase pencampuran variasi yaitu 0,15%; 0,30%; 0,45%; 0,60%; 0,75% terhadap total berat campuran SMA. Banyaknya benda uji dibuat masing-masing 3 sampel.

### **Pelaksanaan Penelitian**

Setelah dilakukan pengujian Marshall untuk mengetahui kinerja dari penambahan serat variasi selulosa alami tongkol jagung terhadap campuran SMA. Penelitian ini menghasilkan kinerja marshall berupa nilai VMA, VIM, stabilitas, dan *flow*. Data yang diperoleh dibandingkan dengan kinerja marshall campuran SMA tanpa menggunakan serat selulosa.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil Pemeriksaan Material**

Berikut adalah hasil dari periksaan terhadap aspal, agregat dan serat selulosa sesuai peraturan dari Bina Marga tahun 2018:

**Tabel 3** Hasil Pemeriksaan Aspal

No.	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Penetrasi (25°C, 5 detik) (0,1 mm)	64,8	60 – 79	Memenuhi
2.	Titik Nyala ( <i>Cleve Open Cup</i> ) <i>Cellcius</i>	334	Min. 200	Memenuhi
3.	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit) (cm)	102	Min. 100	Memenuhi
4.	Berat Jenis	1,01	Min 1,00	Memenuhi
5.	Kehilangan Berat Minyak	0,164	Max. 0,8	Memenuhi

**Tabel 4** Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil	Persyaratan	Keterangan
1.	Keausan (%)	34,92	Max. 35	Memenuhi
2.	Penyerapan Terhadap Air (%) untuk :			
	CA	1,42		
	MA	1,34	Max. 3	Memenuhi
3.	Berat Jenis			
	Bulk :			
	CA	2,61		
	MA	2,69		
	Apparent :			
	CA	2,59		
	MA	2,69	Min. 2,5	Memenuhi
	SSD :			
	CA	2,65		
	MA	2,63		

**Tabel 5** Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Pengujian	Hasil	Persyaratan	Keterangan
1.	Berat Jenis (%)			
	Bulk	2,09		
	Apparent	2,63	Min. 1,9	Memenuhi
	SSD	2,30		

**Tabel 6** Hasil Pemeriksaan Serat Selulosa Alami Tongkol Jagung

No	Pengujian	Hasil	Persyaratan	Keterangan
1.	Analisa Saringan			
	Lolos Ayakan (%)			
	No :			
	20	75,85	85±10	
	40	40,98	40±10	Memenuhi
	140	20,18	30±10	
2.	Kadar Air (%)	4	Maks 5	Memenuhi

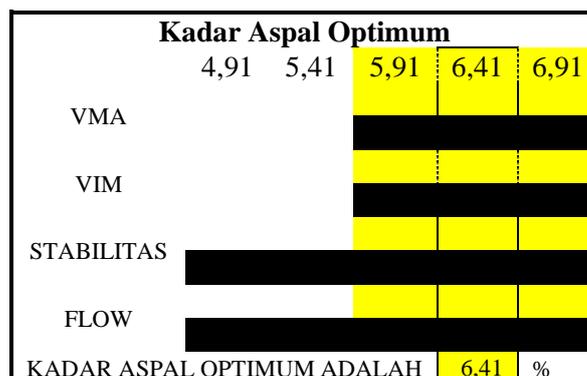
Semua material untuk campuran SMA pada penelitian ini lolos spesifikasi sehingga dapat digunakan.

### Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berikut adalah hasil penentuan kadar aspal optimum setelah dihitung menggunakan metode Depkimpraswil 2002 dan dilakukan pengujian menggunakan Marshall Test. Dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 1.

**Tabel 7** Hasil Pengujian Marshall Campuran SMA dengan 5 Kadar Aspal

% Aspal	VMA (%)	VIM (%)	STABILITAS (kg)	FLOW (mm)
4,91	16,84	6,4	1057,5	2,5
5,41	16,74	5,2	1134,3	2,6
5,91	17,12	4,6	1302,2	3,0
6,41	17,94	4,4	1260,9	3,5
6,91	18,68	4,3	1203,4	3,6
Spesifikasi	min 17	4 sd 5	600,00	2-4,5



**Gambar 1** Penentuan Kadar Aspal Optimum

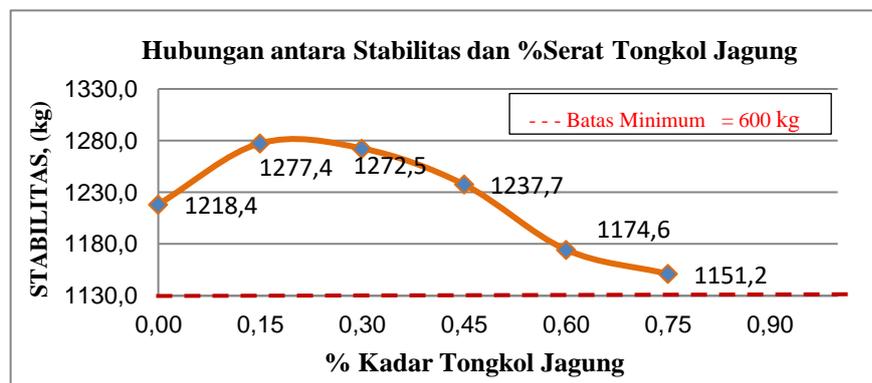
Kadar aspal optimum yang didapatkan dipakai untuk menjadi kadar aspal campuran SMA dengan menggunakan variasi kadar serat selulosa. Dalam penelitian ini didapatkan kadar aspal optimum pada prosentase 6,41% terhadap total berat campuran. Informasi mengenai penentuan kadar aspal optimum disajikan pada Gambar 1.

### Hasil Pengujian Marshall Campuran SMA dengan Serat Tongkol Jagung

Hasil pengujian ini menghasilkan karakteristik marshall berupa *stabilitas*, *flow*, VIM, VMA. Informasi mengenai hal tersebut akan disajikan dalam sub bab dibawah ini.

#### Stabilitas

Nilai stabilitas mengindikasikan kemampuan perkerasan unuk menahan deformasi. Stabilitas dapat terjadi karena hasil pergeseran antar butir sehingga terjadi penguncian antar partikel dan adanya daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Nilai stabilitas juga dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, tekstur permukaan, gradasi, bentuk butiran serta kadar aspal.



Gambar 2 Grafik Hubungan Stabilitas dan Kadar Serat Tongkol Jagung

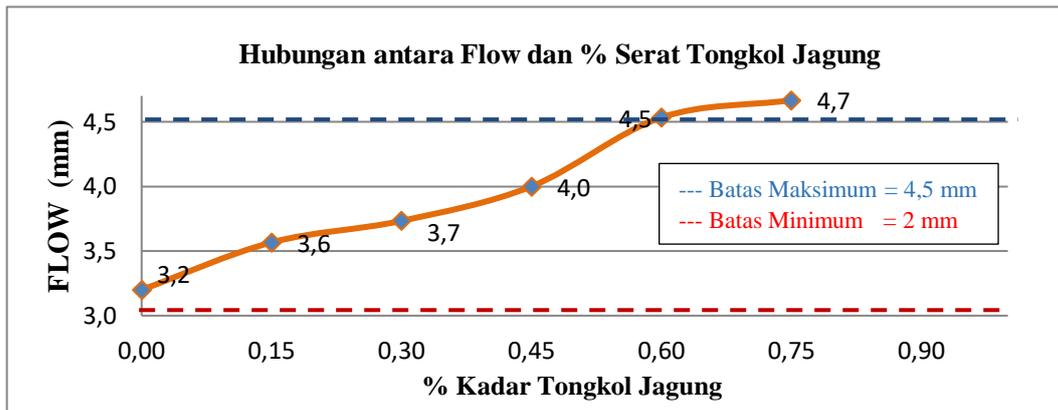
Seperti yang ditampilkan pada Gambar 2, menunjukkan bahwa stabilitas mengalami kenaikan sampai batas optimum kemudian mengalami penurunan. Untuk variasi kadar selulosa 0,15% sampai 0,30% nilai stabilitas mencapai nilai optimum dan cenderung memenuhi spesifikasi. Kenaikan nilai stabilitas pada penambahan serat selulosa 0,15% sampai 0,30% disebabkan serat selulosa yang terdapat pada serat tongkol jagung dapat menstabilkan aspal sehingga meningkatkan kekentalan aspal yang berpengaruh pada terjadinya penguncian aspal terhadap partikel agregat (*interlocking*).

Penurunan nilai stabilitas setelah ditambahkan 0,45% sampai 0,75% serat selulosa pada campuran SMA dikarenakan penambahan serat selulosa yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadi *bleeding*, dan mengurangi kohesi antara aspal dan agregat. Penambahan kadar serat selulosa yang terlalu tinggi akan membuat campuran tidak stabil dan sangat rentan terjadi deformasi plastis.

Sehingga campuran SMA untuk penggunaan serat selulosa tongkol jagung dengan kinerja kekuatan yang paling baik didapatkan dengan penambahan serat selulosa 0,15% sampai 0,30%, karena pada range tersebut nilainya paling optimum jika dibandingkan dengan variasi lain.

### Flow

Nilai *Flow* atau kelelahan mengindikasikan besarnya deformasi pada suatu campuran yang diakibatkan oleh besarnya beban yang diterima suatu lapis perkerasan. Nilai *flow* dipegaruhi oleh viskositas dan kadar aspal. Dapat dilihat dalam gambar 3 yang disajikan diatas, maka dapat diketahui apabila campuran sma yang sudah ditambahkan serat tongkol jagung akan mendapati nilai yang lebih tinggi dan terus naik secara signifikan apabila dibandingkan dengan campuratan sma tanpa serat tongkol jagung. Kenaikan nilai *flow* menunjukkan bahwa karakteristik dari serat tongkol jagung cenderung plastis. Namun untuk variasi kadar serat tongkol jagung 0,6 % dan 0,75 % tidak memenuhi persyaratan bina marga dikarenakan nilainya lebih besar daripada 4,5.

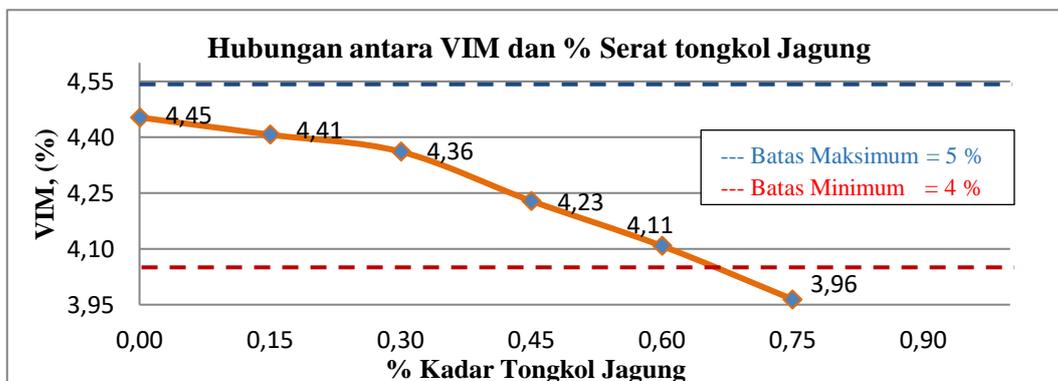


Gambar 3 Grafik Hubungan Flow dan Kadar Serat Tongkol Jagung

### VIM (Void In the Mix)

Nilai VIM mengidentifikasi prosentase rongga pada total campuran perkerasan jalan. Besarnya kadar aspal, density serta gradasi campuran SMA dapat mempengaruhi besar kecilnya kadar prosentase nilai VIM. Besar kecilnya prosentase nilai VIM berpengaruh secara langsung terhadap kekakuan campuran dan kedekatan campuran terhadap udara dan air.

Gambar 4 Grafik Hubungan VIM dan Kadar Serat Tongkol Jagung

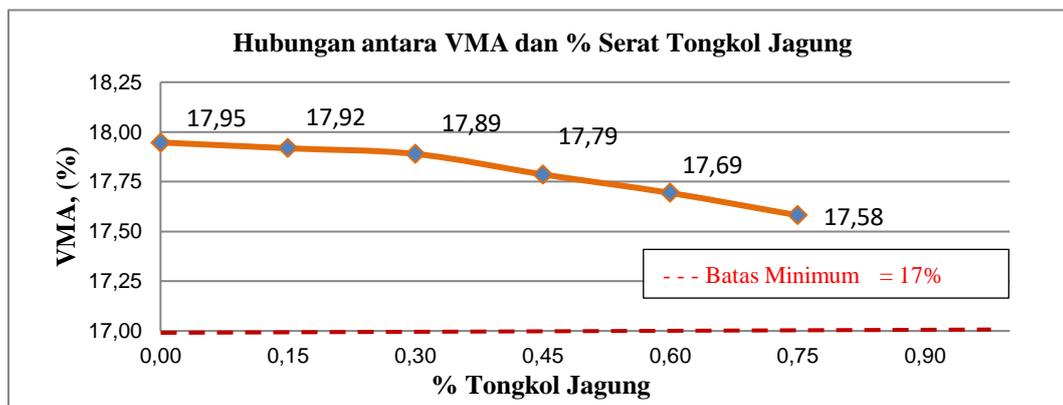


Berdasarkan Gambar 4, dapat diketahui bahwa semakin besar penambahan serat tongkol jagung maka akan berdampak pada semakin kecilnya nilai VIM. Hal ini disebabkan semakin banyaknya serat tongkol jagung yang ditambahkan dalam campuran SMA, maka

semakin menutupi rongga udara dalam campuran sehingga menghasilkan nilai VIM yang semakin kecil. Namun hanya campuran yang menggunakan serat tongkol jagung pada kadar aspal 0,75% sebesar 3,96 % yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu 4% - 5%.

### VMA (Void in Mineral Aggregates)

Nilai VMA menunjukkan besarnya prosentase volume rongga yang terdapat diantara butiran agregat dan rongga yang terisi dengan aspal efektif. Nilai VMA berperan penting dalam menentukan kekuatan untuk menahan terjadinya deformasi.



Gambar 5 Grafik Hubungan VMA dan Kadar Serat Tongkol Jagung

Dapat dilihat dari grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kadar serat tongkol jagung pada campuran SMA maka terjadi penurunan yang signifikan namun masih berkisar pada 17,4 sampai dengan 17,9 persen sehingga tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan campuran SMA tanpa menggunakan serat tongkol jagung. Seiring penambahan serat tongkol jagung, hasil yang didapat masih sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2018 yaitu lebih dari 17 % sehingga dapat dikatakan mampu menahan deformasi.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kinerja marshall yang didapatkan setelah dilakukan uji laboratorium didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Campuran *Split Mastic Asphalt* dengan menggunakan serat tongkol jagung sebagai serat selulosa alami dengan gradasi varians 0,15%; 0,30%; 0,45%; 0,60%; dan 0,75% berpengaruh terhadap karakteristik marshall yaitu stabilitas, flow, VIM, VMA.
2. Pada penambahan kadar serat selulosa 0,15% sampai dengan 0,45% nilai seluruh karakteristik marshall lolos spesifikasi Bina Marga. Sedangkan pada kadar serat selulosa 0,6% nilai karakteristik VIM tidak lolos spesifikasi, dan pada kadar serat selulosa 0,75% tidak memenuhi spesifikasi untuk karakteristik VIM dan flow.
3. Kadar optimum kadar serat selulosa yang ditambahkan untuk campuran SMA dipilih kadar 0,15% sampai dengan 0,3%. Pada range kadar tersebut terjadi peningkatan kinerja stabilitas paling baik serta seluruh karakteristik lolos spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

4. Penggunaan serat selulosa alami tongkol jagung menghasilkan nilai stabilitas yang cukup tinggi dengan kadar aspal 6,41% pada penambahan kadar serat selulosa 0,15% sampai 0,3% yaitu sebesar 1277,4 kg – 1272,5 kg, sedangkan pada penelitian sebelumnya tentang penggunaan serat selulosa alami dari dedak padi yang dilakukan tahun 2011 oleh Anas Tahir, stabilitas terbaik terjadi pada penambahan serat 7% dengan kadar aspal dalam campuran 5,5% menghasilkan nilai stabilitas  $\geq 1250$  kg.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Buku Induk Statistik*, Pusat Data dan Teknologi Informasi.
- Saha, B.C. (2003). “Hemicellulose Bioconversion”. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30, 279-291.
- Tahir, A. (2011) “Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi”. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta. (2018). Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6 (Perkerasan Aspal).
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.