

# KINERJA CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT* MENGUNAKAN SERAT SELULOSA ECENG GONDOK

**Dwi Esti Intari**

Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jln. Raya Palka Km 3, Sindangsari  
Pabuaran, Kota Serang, Banten 42163  
dwiesti@untirta.ac.id

**Rindu Twidi Bethary**

Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jln. Raya Palka Km 3, Sindangsari  
Pabuaran, Kota Serang, Banten 42163  
dubethary@untirta.ac.id

**Arief Budiman**

Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jln. Raya Palka Km 3, Sindangsari  
Pabuaran, Kota Serang, Banten 42163  
budiman275@yahoo.com

**Elfrida Yohana**

Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jln. Raya Palka Km 3, Sindangsari  
Pabuaran, Kota Serang, Banten 42163  
elfridayohana8@gmail.com

## Abstract

Roads are transportation infrastructure that have a very important influence on the social and economic development of society. Therefore, roads must be maintained so that they do not get damaged quickly. Road damage can be caused by excessive traffic load, temperature, and poor road quality. Road pavement must be strong, durable, and resistant to plastic deformation. This research aims to determine the effect of adding water hyacinth cellulose fiber on the performance of a type of asphalt mixtures, namely the Stone Matrix Asphalt, and to determine the optimum water hyacinth fiber content that can be added to the asphalt mixture. This study shows that a water hyacinth fiber content of 0.3% is the best water hyacinth fiber content that can be used in Stone Matrix Asphalt mixtures made with an Optimal Asphalt Content of 6.75%.

**Keywords:** road pavement; water hyacinth cellulose fiber; asphalt mixtures; Stone Matrix Asphalt

## Abstrak

Jalan merupakan suatu prasarana transportasi yang mempunyai pengaruh yang sangat penting dalam pembangunan sosial dan ekonomi masyarakat. Karena itu, jalan harus dipelihara agar tidak cepat rusak. Kerusakan jalan dapat disebabkan oleh beban lalu lintas yang berlebihan, temperatur, dan kualitas jalan yang buruk. Perkerasan jalan harus kuat, tahan lama, dan tahan terhadap deformasi plastis yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh penambahan serat selulosa eceng gondok terhadap kinerja campuran beraspal jenis Stone Matrix Asphalt dan menentukan nilai kadar optimum serat eceng gondok yang dapat ditambahkan pada campuran beraspal tersebut. Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar serat eceng gondok 0,3% merupakan kadar serat eceng gondok terbaik yang dapat digunakan pada campuran Stone Matrix Asphalt yang dibuat dengan Kadar Aspal Optimum sebesar 6,75%.

**Kata-kata kunci:** perkerasan jalan; serat selulosa eceng gondok; campuran beraspal; Stone Matrix Asphalt

## PENDAHULUAN

Prasarana jalan merupakan bagian penting sistem transportasi di Indonesia, yang sangat berperan dalam pengembangan suatu wilayah dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, sosial dan budaya (Bethary et al., 2019). Oleh karena itu diperlukan peningkatan kualitas dan kuantitas jalan agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat.

Penggunaan limbah pada sektor konstruksi jalan merupakan isu yang penting dalam beberapa tahun terakhir untuk mendapatkan konstruksi jalan yang hijau, berkelanjutan, dan ramah lingkungan, yang pada akhirnya akan melestarikan alam dengan mengurangi kebutuhan bahan yang berasal dari sumber alam (Babalghaith et al., 2020). Secara teknik, lapis perkerasan jalan sering tidak sesuai dengan umur desain jalan selama masa pelayanan, akibat adanya kerusakan, seperti *bleeding*, alur, dan retak (Abdillah et al., 2018).

Peningkatan kualitas dan kuantitas pembangunan jalan serta pemeliharaan dan pengelolaannya membutuhkan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan. Salah satunya adalah dikembangkannya teknologi lapis penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural, yaitu campuran Stone Matrix Asphalt (SMA), yang dapat digunakan sebagai lapis permukaan dengan beberapa karakteristik lapisan yang dapat memberikan keuntungan bagi pengendara, karena mempunyai tahanan gelincir yang baik (Kurniawan dan Lubis, 2019).

SMA adalah campuran beraspal yang memiliki gradasi senjang dan terdapat kontak antara agregat, sehingga campuran antara agregat halus, *filler*, aspal, dan aditif penstabil memenuhi volume rongga udara agregat kasar pada campuran tersebut (Alkam dan Bugis, 2023; Miranda et al., 2019). Kelebihan campuran SMA adalah memiliki ketahanan terhadap deformasi serta durabilitas yang baik, sebagai akibat dari rangka agregat yang kuat dan rongga yang diisi mastik dengan kadar aspal yang tinggi. Tingginya kadar aspal ini juga meningkatkan fleksibilitas, yang memberikan ketahanan terhadap retak lelah (Hariyadi dan Hadiastari, 2022).

Kadar aspal yang tinggi pada campuran SMA dapat menurunkan ketahanan campuran terhadap temperatur tinggi, karena tebal lapisan film aspal tinggi mudah menyebabkan terjadinya *bleeding*. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat ditambahkan zat aditif berupa serat selulosa ke dalam campuran, yang berfungsi menstabilkan dan meningkatkan viskositas aspal (Tahir et al., 2018). Selain memiliki fungsi untuk mencegah terjadinya *bleeding*, serat selulosa juga dapat meningkatkan kemampuan atau kapasitas campuran dengan membentuk permukaan dengan kualitas yang lebih baik dan mampu menstabilkan kadar aspal yang tinggi (Metekohy et al., 2022).

Contoh bahan selulosa yang biasa digunakan pada campuran beraspal adalah Road Cell 50. Tetapi bahan ini sulit diperoleh dan harganya mahal (Widianto dan Kartikasari, 2019). Oleh karena itu, perlu dicari bahan alternatif pengganti serat selulosa Road Cell 50 tersebut.

Eceng gondok (*Eichaeia Crassipes*) adalah suatu tanaman perairan yang memiliki kemampuan berkembang biak dengan sangat cepat. Jumlah eceng gondok yang tidak terlalu banyak dapat memberikan beberapa keuntungan, seperti untuk memurnikan air, karena kemampuan akar eceng gondok menyerap kotoran pada air. Tetapi jika tidak ditangani, eceng gondok dapat tumbuh sampai 1 m dengan panjang akar mencapai 45 cm, yang dapat menyebabkan kebutuhan biota air akan oksigen dan cahaya matahari tidak terpenuhi, karena diserap oleh eceng gondok (Suryadi et al., 2014).

Pemanfaatan eceng gondok belum optimal dibandingkan dengan tingkat pertumbuhannya. Oleh karena itu, sebagai gulma pengganggu di lingkungan perairan Indonesia, sangat penting untuk dipelajari kemungkinannya sebagai sumber energi alternatif (Sukarni et al., 2019). Kandungan lignin yang tinggi menyebabkan eceng gondok memiliki kandungan serat selulosa yang cukup tinggi, yakni berkisar 60% dan kekuatan lentur tinggi yang tinggi pula. Dengan memiliki sifat-sifat tersebut, eceng gondok sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan dasar selulosa (Kurniawan dan Lubis, 2019; Widiyanto dan Kartikasari, 2019). Selain itu, eceng gondok juga merupakan serat alami yang mudah ditemukan dan harganya juga murah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh penambahan serat selulosa alami eceng gondok pada campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) yang disiapkan dengan menggunakan aspal Pen 60/70. Pengaruh serat selulosa alami eceng gondok dievaluasi terhadap parameter Marshall campuran. Selain itu, ditentukan pula Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran SMA dan kadar terbaik serat alami eceng gondok yang memberikan kinerja campuran SMA memenuhi Spesifikasi Bina Marga.

## MATERIAL DAN METODOLOGI

### Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah serat alami eceng gondok, dengan panjang serat 6,35 mm. Eceng gondok mempunyai kadar air sebesar 90% berat dengan tingkat reduksi berat 10 kg basah menjadi 1 kg kering. Dalam keadaan kering, eceng gondok mengandung protein kasar 13,03%, serat kasar 20,6%, lemak 1,1%, abu 23,8%, dan sisanya berupa vortex, yang mengandung polisakarida dan mineral-mineral dengan karakteristik seperti yang terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Karakteristik Eceng Gondok

Karakteristik	Nilai
Massa jenis (g/cm <sup>3</sup> )	0,25
Sifat Putih (whiteness) (%)	22,2
Kehalusan (fineness) (μ)	35
Kekuatan tarik (MPa)	18-33



**Gambar 1** Proses Pengolahan Serat Eceng Gondok

Tahapan pembuatan serat selulosa dari serat eceng gondok adalah:

- 1) Mengumpulkan eceng gondok yang digunakan sebagai bahan serat selulosa dari tanaman liar di rawa-wara yang terdapat di Perumnas, Kota Cilegon, Provinsi Banten.
- 2) Membersihkan eceng gondok dengan air bersih, dan bagian batang eceng gondok dipisahkan dari daun dan akarnya.
- 3) Menjemur eceng gondok yang sudah dalam keadaan bersih sampai benar-benar kering.
- 4) Merajang eceng gondok yang sudah kering, lalu dihaluskan dengan menggunakan blender, seperti yang terlihat pada Gambar 1.
- 5) Menyaring eceng gondok yang telah halus sesuai dengan spesifikasi dan menyiapkan eceng gondok sebagai bahan campuran beton aspal.

### **Metode Penelitian**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan melakukan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Data yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VIM (*Void in the Mix*), VFA (*Void Filled with Asphalt*), Stabilitas Marshall, Kelelahan (*Flow*), dan MQ (*Marshall Quotient*). Standar spesifikasi dan prosedur penelitian yang digunakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) serta Spesifikasi Umum Divisi 6 Bina Marga 2018.

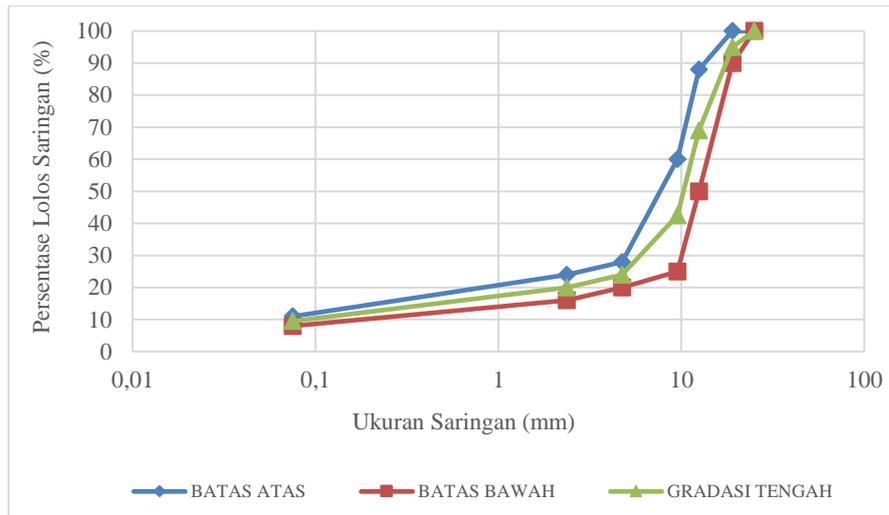
Tahapan awal penelitian yang dilakukan adalah pengambilan data sekunder mutu bahan aspal dan memeriksa mutu agregat yang digunakan pada pembuatan campuran. Data tersebut diolah terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan persyaratan atau standar spesifikasi yang digunakan sebagai acuan. Tahapan penelitian ini meliputi persiapan material, pemeriksaan material, persiapan alat, pembuatan benda uji, pengujian Marshall, dan uji nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).

Pemeriksaan terhadap agregat meliputi pemeriksaan, berat jenis agregat, penyerapan, keausan agregat, kadar lumpur, dan analisis saringan. Sedangkan pemeriksaan terhadap aspal terdiri atas uji berat jenis, penetrasi, kehilangan berat, daktilitas, titik lembek, titik nyala, dan titik bakar. Setelah diperoleh data hasil pemeriksaan agregat dan pemeriksaan aspal yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, dilakukan perhitungan perancangan campuran untuk mencari nilai perkiraan awal kadar aspal (Pb) sebelum ke tahap pembuatan benda uji untuk mencari nilai KAO.

Pembuatan benda uji untuk mencari nilai KAO menggunakan 60 benda uji yang terdiri atas 5 variasi kadar aspal, yaitu 5,5%, 6%, 6,5%, 7% dan 7,5% dengan bahan tambah serat alami eceng gondok yang persentasenya 0%, 0,2%, 0,3%, dan 0,5%. Setelah diperoleh nilai KAO, dibuat benda-benda uji untuk membandingkan hasil pengujian Marshall. Selanjutnya, data yang sudah diperoleh dianalisis untuk mendapatkan nilai-nilai kepadatan, VIM, VMA, VFA, Stabilitas, kelelahan, dan MQ.

### **Perancangan Gradasi Agregat**

Pada penelitian ini digunakan campuran SMA. Gradasi agregat gabungan yang digunakan untuk membuat campuran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Gradasi Agregat Gabungan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Material

Hasil-hasil pengujian fisik terhadap agregat dapat dilihat Tabel 2. Terlihat pada Tabel 2 bahwa agregat yang digunakan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 2 Karakteristik Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2		Standar	Kriteria
			Minimal	Maksimal		
<i>Agregat Kasar Split 1-2</i>						
1.	Berat Jenis Bulk	2,63	-	-	SNI 1969:2016	Memenuhi
2.	Berat Jenis Apparent	2,78	-	-	SNI 1969:2016	Memenuhi
3.	Berat Jenis SSD	2,68	2,5	-	SNI 1969:2016	Memenuhi
4.	Penyerapan(%) Pengujian	2%	-	2	SNI 1969:2016	Memenuhi
5.	Abrasi(%)	20,18%	-	30	SNI 2417:2008	Memenuhi
<i>Agregat Kasar Screening</i>						
1.	Berat Jenis Bulk	2,53	-	-	SNI 1969:2016	Memenuhi
2.	Berat Jenis Apparent	2,61	-	-	SNI 1969:2016	Memenuhi
3.	Berat Jenis SSD	2,56	2,5	-	SNI 1969:2016	Memenuhi
4.	Penyerapan(%)	2%	-	2	SNI 1969:2016	Memenuhi
<i>Agregat Halus</i>						
1.	Berat Jenis Bulk	2,62	-	-	SNI 1970:2016	Memenuhi
2.	Berat Jenis Apparent	2,76	-	-	SNI 1970:2016	Memenuhi
3.	Berat Jenis SSD	2,67	2,5	-	SNI 1970:2016	Memenuhi
4.	Penyerapan(%)	2%	-	2	SNI 1970:2016	Memenuhi

Selain pengujian agregat, dilakukan juga pemeriksaan terhadap aspal yang digunakan. Aspal yang digunakan pada pengujian ini adalah aspal Pen 60/70, yang karakteristiknya

dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengujian terhadap sifat fisik aspal Pen 60/70 menunjukkan bahwa seluruh karakteristik aspal memenuhi Spesifikasi yang digunakan.

**Tabel 3** Karakteristik Aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Metode	Satuan	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	Hasil	Kriteria
1.	Penetrasi pada 25°C	SNI 06-2456-2011	0,1 mm	60-70	61,3	Memenuhi
2.	Berat Jenis	SNI 06-2441-2011		≥1	1,03	Memenuhi
3.	Berat yang Hilang	SNI 06-2440-1991	%	≤0,8	0,75	Memenuhi
4.	Titik Nyala				342	
5.	Titik Bakar	SNI 2433:2011	°C	≥232	350	Memenuhi
6.	Titik Lembek	SNI 2432:2011	°C	≥48	50,5	Memenuhi
7.	Daktalitas pada 25°C	SNI 2432:2011	cm	≥100	106	Memenuhi

### Karakteristik Marshall Campuran SMA

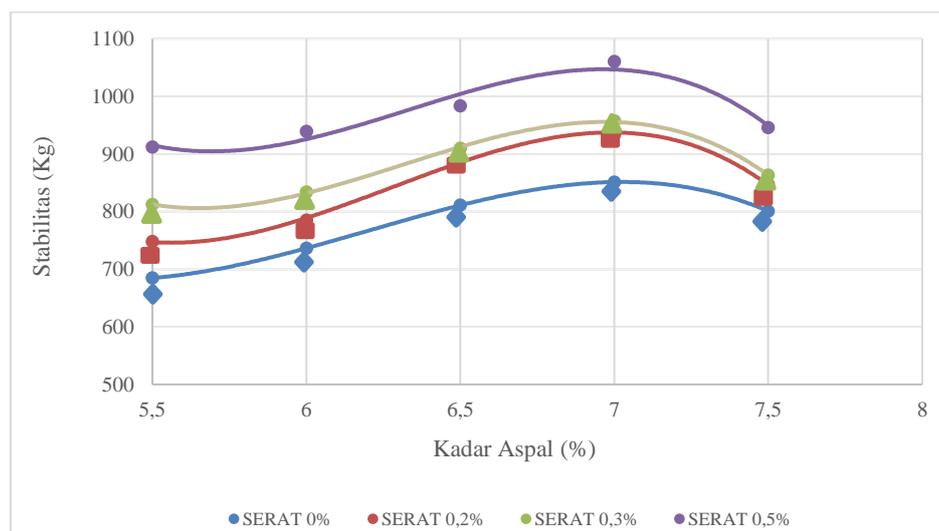
Pengujian Marshall untuk menentukan KAO dilakukan setelah didapat hasil pemeriksaan terhadap aspal dan agregat serta *mix design* campuran. Pengujian Marshall dilakukan dengan 5 variasi kadar aspal dan penambahan serat eceng gondok dengan kadar serat 0%, 0,2%, 0,3%, dan 0,5%. Hasil pengujian Marshall disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4** Hasil Pengujian Marshall

Karakteristik Marshall	Kadar Aspal	Kadar Serat Eceng Gondok				Standar Bina Marga 2018
		0%	0,2%	0,3%	0,5%	
VMA (%)	5,5	17,16	16,82	16,48	16,21	Minimum 17 %
	6	17,49	17,04	16,84	16,55	
	6,5	17,74	17,39	17,24	17,06	
	7	18,15	18,01	17,94	17,66	
	7,5	18,75	18,56	18,41	18,12	
VIM (%)	5,5	6,67	6,29	5,91	5,60	4%-5%
	6	5,87	5,35	5,13	4,80	
	6,5	4,98	4,57	4,40	4,19	
	7	4,25	4,09	4,02	3,68	
VFA (%)	7,5	3,76	3,54	3,36	3,02	Tidak diatur
	5,5	61	63	64	65	
	6	66	69	70	71	
	6,5	72	74	75	75	
Stabilitas (kg)	7	77	77	78	79	Minimum 600 kg
	7,5	80	81	82	83	
	5,5	685	748	812	912	
	6	736	785	834	939	
	6,5	811	891	910	984	
Flow (mm)	7	851	933	957	1060	2 mm-4,5 mm
	7,5	801	847	863	946	
	5,5	2,1	2,2	2,4	2,8	
	6	2,4	2,6	2,8	3,0	
	6,5	2,7	3,0	3,3	3,5	
MQ	7	3,0	3,5	3,7	4,0	Tidak diatur
	7,5	3,3	3,5	4,1	4,7	
	5,5	323	337	338	331	
	6	312	308	304	310	
	6,5	301	297	276	278	
	7	280	281	256	264	
	7,5	246	242	210	203	

Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 4, terlihat adanya hubungan antara VMA dengan kadar serat eceng gondok, yang mengalami peningkatan. Hal ini dapat terjadi karena aspal berfungsi sebagai pengikat agregat dan pengisi rongga antarbutir agregat, dan menyebabkan lapisan selimut aspal semakin tebal dan berakibat jarak di antara partikel agregat semakin renggang, sehingga rongga di antara partikel agregat berkurang. Sebaliknya, untuk nilai VIM mengalami penurunan seiring dengan penambahan aspal dan eceng gondok. Semakin banyak aspal dan serat yang ditambahkan, rongga udara dalam campuran semakin tertutup, sehingga menghasilkan nilai VIM yang semakin kecil. Terlihat bahwa VIM pada campuran dengan kadar aspal 5,5% dan dengan variasi kadar serat 0%, 0,2%, 0,3%, dan 0,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018, yaitu 4%–5%. Campuran dengan kadar serat 0,5% memiliki nilai VFA yang paling tinggi dibandingkan dengan campuran-campuran lainnya, karena serat eceng gondok yang ditambahkan pada campuran dapat mengikat dan menyerap cairan aspal. Kondisi ini dapat dijelaskan dengan melihat VIM pada campuran dengan kadar 0,5% eceng gondok, yang mempunyai nilai paling rendah dibandingkan dengan VIM pada campuran-campuran lainnya.

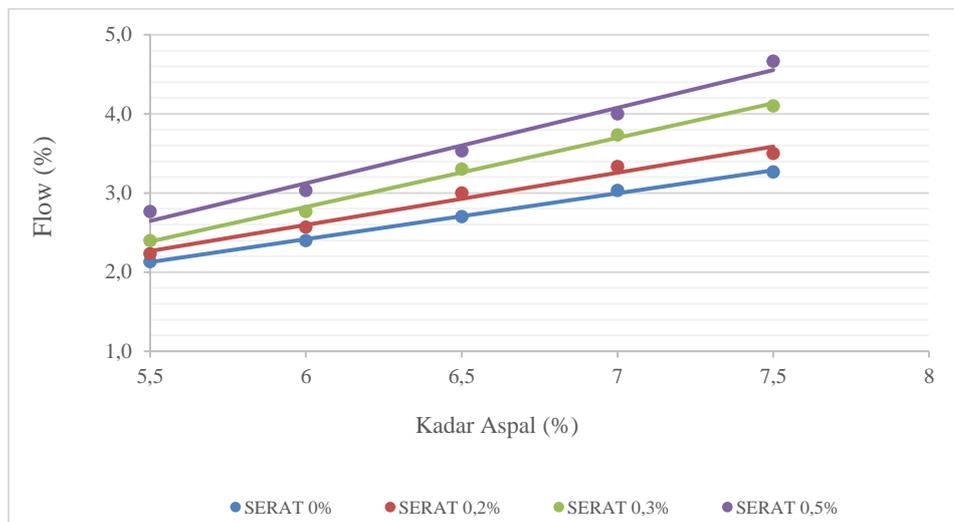
Perbandingan nilai stabilitas setiap campuran dengan kadar serat yang berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 3. Campuran dengan kadar serat eceng gondok 0,5% memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi daripada campuran yang lain. Nilai stabilitas maksimum campuran SMA dengan kadar serat eceng gondok 0,5% terdapat pada campuran dengan kadar aspal 7%, yaitu sebesar 1060 kg. Sedangkan nilai stabilitas minimum diberikan oleh campuran dengan kadar serat 0% dan kadar aspal 5,5%, yaitu sebesar 685 kg. Dengan demikian, campuran yang paling mampu menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk atau deformasi adalah campuran dengan kadar serat 0,5% dan dengan kadar aspal 7%.



**Gambar 3** Hubungan Nilai Stabilitas Terhadap Kadar Aspal

Kelelahan atau *flow* merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap perubahan bentuk plastis atau kelenturan suatu campuran beraspal akibat beban. Campuran

SMA memiliki kelelahan yang cukup besar, karena terdapatnya rongga yang cukup besar, sehingga membutuhkan kadar aspal yang lebih banyak. Perbandingan nilai kelelahan setiap campuran dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Hubungan Nilai Kelelahan (*Flow*) Terhadap Kadar Aspal

Pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai kelelahan campuran SMA yang menggunakan serat eceng gondok, pada beberapa kadar aspal, menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Tetapi untuk campuran dengan kadar aspal 7,5% dan kadar serat eceng gondok 0,5, nilai kelelehannya tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018, yang mana batas nilai kelelahan adalah 2 mm–4,5 mm.

### Kadar Optimum Aspal

Hasil perencanaan campuran berupa penentuan kadar aspal optimum (KAO). Nilai kadar aspal optimum didasarkan pada karakteristik Marshall diantaranya VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, dan marshall quotient maka didapatkan rentang kadar aspal optimum seperti disajikan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8.

No.	Kriteria	Spesifikasi		Kadar Aspal				
		Min	Max	5,5	6	6,5	7	7,5
1	VMA (%)	17	-					
2	VIM (%)	4	5					
3	VFA (%)	Tidak diatur						
4	Stabilitas Marshall (kg)	600	-					
5	Flow (mm)	2	4,5					
6	MQ (kg/mm)	Tidak diatur						
7	Batas Kadar Aspal	6	7					
Range Kadar Aspal				(6,5+7)/2				
Kadar Aspal Optimum				6,75				

**Gambar 5** Kadar Aspal Optimum pada Campuran dengan Kadar Serat 0%

No.	Kriteria	Spesifikasi		Kadar Aspal				
		Min	Max	5,5	6	6,5	7	7,5
1	VMA (%)	17	-					
2	VIM (%)	4	5					
3	VFA (%)	Tidak diatur						
4	Stabilitas Marshall (kg)	600	-					
5	Flow (mm)	2	4,5					
6	MQ (kg/mm)	Tidak diatur						
7	Batas Kadar Aspal	6	7					
Range Kadar Aspal				(6,5+7)/2				
Kadar Aspal Optimum				6,75				

Gambar 6 Kadar Aspal Optimum pada Campuran dengan Kadar Serat 0,2%

No.	Kriteria	Spesifikasi		Kadar Aspal				
		Min	Max	5,5	6	6,5	7	7,5
1	VMA (%)	17	-					
2	VIM (%)	4	5					
3	VFA (%)	Tidak diatur						
4	Stabilitas Marshall (kg)	600	-					
5	Flow (mm)	2	4,5					
6	MQ (kg/mm)	Tidak diatur						
7	Batas Kadar Aspal	6	7					
Range Kadar Aspal				(6,5+7)/2				
Kadar Aspal Optimum				6,75				

Gambar 7 Kadar Aspal Optimum pada Campuran dengan Kadar Serat 0,3%

No.	Kriteria	Spesifikasi		Kadar Aspal				
		Min	Max	5,5	6	6,5	7	7,5
1	VMA (%)	17	-					
2	VIM (%)	4	5					
3	VFA (%)	Tidak diatur						
4	Stabilitas Marshall (kg)	600	-					
5	Flow (mm)	2	4,5					
6	MQ (kg/mm)	Tidak diatur						
7	Batas Kadar Aspal	6	7					
Range Kadar Aspal				(6,5+6,5)/2				
Kadar Aspal Optimum				6,5				

Gambar 8 Kadar Aspal Optimum pada Campuran dengan Kadar Serat 0,5%

Berdasarkan data pada keempat grafik didapatkan nilai KAO pada serat 0%, 0,2%, dan 0,3% mendapatkan nilai yang sama yaitu sebesar 6,75% dari kriteria yang tertera, tetapi pada kadar serat 0,5% menghasilkan nilai KAO yang berbeda dengan serat lain yaitu 6,5% karena pada kadar tersebut nilai VMA dan juga nilai VIM tidak memenuhi standar spesifikasi Bina Marga tahun 2018 yaitu 4%–5% untuk VIM dan 17 untuk VMA. Semua kadar masuk ke dalam standar spesifikasi (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) di mana batas kadar aspal yang digunakan pada campuran SMA yaitu 6% sampai 7%.

## Karakteristik Marshall Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum

Pada penelitian ini, pengujian Marshall dilakukan dengan 2 tahap. Pengujian Marshall tahap kedua dilakukan setelah pengujian Marshall tahap pertama memberikan hasil nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) benda uji, yaitu sebesar 6,75%. Dengan menggunakan KAO sebesar 6,75%, dibuat lagi benda-benda uji dengan KAO 6,75%, dan dengan kadar serat yang bervariasi, yaitu 0%, 0,2%, 0,3%, dan 0,5%. Hasil pengujian Marshall tahap kedua ini dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5** Hasil Pengujian Marshall KAO 6,75%

Kadar Eceng Gondok	Kadar Aspal Optimum	VIM 4-5%	VMA Min. 17%	VFA	Stabilitas Min 600 kg	Kelelahan 2-4,5 mm	MQ	Stabilitas Marshall Sisa Min > 90%
0%	6,75%	4,54	17,89	74,87	913	3,2	297	904
0,2%	6,75%	4,44	17,81	75,34	930	3,5	268	917
0,3%	6,75%	4,14	17,54	76,52	1002	4,0	251	992
0,5%	6,50%	3,75	16,69	77,53	992	4,7	212	987

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, dapat ditentukan proposi ideal penambahan eceng gondok pada campuran SMA. Pada kadar serat eceng gondok 0,2% dan 0,3%, semua nilai parameter Marshall campuran memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018. Tetapi campuran dengan kadar serat eceng gondok 0,5%, nilai-nilai VIM, VMA, dan kelelahan campuran tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018. Dengan demikian, kadar eceng gondok 0,2% dan 0,3% menghasilkan parameter Marshall yang memenuhi Spesifikasi. Karena campuran dengan kadar eceng gondok 0,3% memberikan stabilitas yang paling besar, campuran ini mempunyai kinerja terbaik dalam menahan beban lalu lintas.

Pada penelitian ini juga dikaji stabilitas sisa untuk setiap jenis campuran. Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa semua jenis campuran mempunyai nilai stabilitas sisa yang memenuhi kriteria yang terdapat pada Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu paling sedikit 90%.

## KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa serat alami eceng gondok dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat campuran Stone Matrix Asphalt (SMA). Dengan menggunakan aspal Pen 60/70, campuran SMA dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,75%, yang dibuat dengan menggunakan eceng gondok dengan kadar 0,2% dan 0,3% menghasilkan parameter Marshall yang semuanya memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018. Tetapi, bila dikehendaki campuran yang mempunyai stabilitas terbesar, campuran Stone Matrix Asphalt dengan Kadar Aspal Optimum 6,75% dan kadar eceng gondok 0,3% adalah campuran dengan kinerja yang terbaik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A.F., Pradani, N., dan Batti, J.F. 2018. *Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Viatop 66 pada Campuran Stone Matrix Asphalt terhadap Titik Lembek Aspal dan Sifat Drain Down Campuran*. Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia), 4 (1): 49–58.
- Alkam, R.B., dan Bugis. 2023. *Karakteristik Marshall Campuran Stone Matrix Asphalt dengan Penggunaan Fiber Mesh Sebagai Bahan Tambah*. Jurnal Mitra Teknik Sipil, 6 (4): 1103–1116.
- Babalghaith, A.M., Koting, S., Ramli Sulong, N.H., Karim, M.R., Mohammed, S.A., dan Ibrahim, M.R. 2020. *Effect of Palm Oil Clinker (POC) Aggregate on The Mechanical Properties of Stone Matrix Asphalt (SMA) Mixtures*. MDPI Journal of Sustainability, 12 (7): 1–19.
- Bethary, R.T., Subagio, B.S., Rahman, H., dan Suaryana, N. 2019. *Aging Effect Condition on Hot Asphalt Mixtures Marshall (AC-BC) Performance by Using Slag*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 673: 1–6.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta.
- Hariyadi, E.S. dan Hadiastari, I.G. 2022. *Evaluasi Kinerja Laboratorium Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018 yang Dipadatkan dengan Superpave Gyrotory Compactor (SGC)*. Prosiding Konferensi Regional Teknik Jalan, Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia. Bogor.
- Kurniawan, T., dan Lubis, Z. 2019. *Alternatif Penggunaan Serat Eceng Gondok pada Campuran Stone Matrix Asphalt Gradasi Halus Meningkatkan Stabilitas Campuran Aspal Panas*. Kadiri University Civil Engineering Research, 3 (1): 36–44.
- Metekohy, J.G., Amaheka, S.G., dan Latupeirissa, H.B. 2022. *Pengaruh Serat Selulosa terhadap Nilai Stabilitas Marshall pada Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Dintek Jurnal Teknik, 15 (1): 48–52.
- Miranda, H., Batista, F. A., Antunes, M. de L., dan Neves, J. 2019. *A New SMA Mix Design Approach For Optimisation of Stone-On-Stone Effect*. Road Materials and Pavement Design, 20: S462-S479.
- Sukarni, S., Zakaria, Y., Sumarli, S., Wulandari, R., Ayu Permanasari, A., dan Suhermanto, M. 2019. *Physical and Chemical Properties of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) as a Sustainable Biofuel Feedstock*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 515: 1–7.
- Suryadi, A., Nurrafidin, R., Hapsari, C.A., dan Fadilah, I. 2014. *Analisis Pengaruh Serat Limbah Enceng Gondok terhadap Kekuatan Tekan dan Lentur Beton*. Laporan Akhir Program Kreativitas Mahasiswa. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tahir, A., Mashuri, dan Arifin, S. 2018. *Karakteristik Draindown Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) yang Menggunakan Filler Abu-Batu dan Semen*. Prosiding Simposium

Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi Ke-21. Malang: Universitas Brawijaya.

Widianto, T., dan Kartikasari, D. 2019. *Pengaruh Campuran Serat Eceng Gondok pada Laston Tipe Ii Spesifikasi SNI 03-1737-1989 terhadap Nilai-Nilai Marshall*. Jurnal CIVILLA, 4 (1): 228–237.