

Pemanfaatan Serat Mendong Sebagai Bahan Aditif Pada Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) Kasar

Gebion Lysje Pagoray ^{*1}, Alpius ^{*2}, Christianto Y. N ^{*3}

^{*1,2} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia alpiusnini@gmail.com dan geby_pagoray78@yahoo.co.id

^{*3} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia christiantoy6@gmail.com

Corresponding Author: christiantoy6@gmail.com

Abstrak

Serat mendong merupakan satu dari sekian tumbuhan yang ada di rawa, tumbuh dengan panjang kurang lebih 100 cm dan memiliki diameter sekitar 1,5 mm dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama pembuatan anyaman seperti tas, tikar dan lain sebagainya. Studi ini dimaksudkan agar diketahui karakteristik pencampuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar dengan bahan tambah serat mendong dan pengaruh penambahan serat mendong sebagai bahan tambah pada pencampuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar. Metode pada studi ini adalah melaksanakan beberapa pengujian untuk mengetahui nilai karakteristik pencampuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) Kasar yang menggunakan serat mendong sebagai bahan tambah terhadap SMA Kasar melalui pengujian *Marshall* Konvensional, dengan mengacu pada Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2) Kementerian Pekerjaan dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia dan Standar Pengujian SNI. Hasil penelitian dari pengujian *Marshall* Konvensional menghasilkan pencampuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar dengan variasi bahan tambah serat mendong 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dengan kadar Aspal 7%. Bahan tambah sangat mempengaruhi nilai pengujian *Marshall* dimana nilai Stabilitas, *Flow* mengalami penurunan dan untuk nilai VIM dan VMA mengalami kenaikan.

Kata kunci : Karakteristik Agregat, Serat Mendong, *Marshall*, SMA Kasar

Abstract

Mendong fiber is one of the many plants found in swamps, grows to a length of approximately 100 cm and has a diameter of around 1.5 mm and can be used as the main material for making woven materials such as bags, mats and so on. This study is intended to determine the characteristics of mixing Coarse Stone Matrix Asphalt with the added ingredient Mendong fiber and the effect of adding Mendong fiber as an additional ingredient in mixing Coarse Stone Matrix Asphalt. The method in this study is to carry out several tests to determine the value of the mixing characteristics of Coarse Stone Matrix Asphalt (SMA) which uses mendong fiber as an additive to Coarse SMA through Conventional Marshall testing, with reference to the 2018 General Specifications for Road and Bridge Construction Work (Revision 2) Ministry of Works and Public Housing of the Republic of Indonesia and SNI Testing Standards. The research results from conventional Marshall testing resulted in mixing Coarse Stone Matrix Asphalt with a variety of mendong fiber additives of 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, with an asphalt content of 7%. Added materials greatly influence the Marshall test values where the Stability, Flow values have decreased and the VIM and VMA values have increased.

Keywords : Characteristics of Aggregate, Mendong Fiber, *Marshall*, Coarse SMA

PENDAHULUAN

Stone Matrix Asphalt (SMA) adalah jenis beton aspal dengan kadar agregat kasar 70%–80% dan bahan pengisi 11%. Karena kadar agregat kasar yang tinggi, campuran SMA lebih tahan terhadap deformasi dan memiliki ketahanan skid yang tinggi. Selain itu, kadar aspal yang tinggi membuatnya lebih tahan lama. Dalam penggunaan, campuran SMA memiliki kekurangan ketika campuran cenderung mengalir dari agregat di bawah suhu tinggi, menyebabkan lapisan aspal yang menyelimuti agregat menipis. Serat mendong ialah jenis tumbuhan yang hidup di rawa, tumbuh dengan panjang kurang lebih 100 cm dan memiliki diameter sekitar 1,5 mm. Serat mendong memiliki batang berbentuk tabung yang semakin tua maka akan semakin sulit diputus. Serat mendong juga merupakan tanaman yang bisa dipakai dalam pembuatan anyaman seperti tas, tikar dan lain-lain. Mengingat manfaat dan karakteristik yang dimiliki serat mendong, menjadi salah satu alasan mengambil serat ini sebagai bahan tambah dalam penelitian guna meningkatkan kegunaan dari tanaman mendong

Penelitian oleh Deyana S. Musu', Pengujian campuran SMA Kasar menemukan durabilitas berkisar antara 97,99% dan 92,31%. Persentase tersebut relatif turun seiring waktu perendaman karena ada rongga atau pori-pori yang banyak pada pencampuran, yang membuatnya mudah rusak. [1]. Uji *Marshall* menemukan karakteristik SMA kasar pemakaian kadar aspal 6,00 sampai 7,00% untuk kenaikan 0,25%. 7,00% adalah K.A.O untuk campuran *Marshall Immersion* SMA dan memperoleh Stabilitas *Marshall* Sisa (SMS) sebanyak 97,53%, yang memenuhi minimal 90% sesuai dengan ketentuan. [2]. Tidak ada variasi yang menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi stabilitas; namun, ketika *fiber mesh* ditambahkan, nilai stabilitas dan MQ meningkat sampai batas tertinggi, dengan variasi panjang 0,36 cm sebesar 0,3% dari total berat campuran. Nilai stabilitas dan koefisien *Marshall* sampel tanpa *fiber mesh* meningkat 6% setelah penambahan *fiber mesh*. [3]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi sebanyak 916,54 kg, *flow* 2,56 mm, VIM 4,000%, dan VMA 17,00% mencapai ketentuan yang dijadikan acuan dalam pengujian. [4]. Uji *Marshall konvensional* menunjukkan sifat pencampuran SMA kasar dengan kadar aspal 6,00 hingga 7,00 persen. Uji *Immersion Marshall* menunjukkan stabilitas sisa *Marshall* sebanyak 94,16%, untuk 7,0 persen mencapai ketentuan, ialah lebih dari 90 %. [5]. Pengujian *marshall konvensional* dengan kadar aspal 6,00% sampai dengan 7,00% menghasilkan nilai stabilitas, VIM, *flow*, dan VMA yang memenuhi ketentuan. Angka stabilitas *marshall* sisa sebanyak 96,30% untuk kadar 7,00%, yang mencapai ketentuan yang sudah ditetapkan, ialah minimum 90%. [6]. Untuk pencampuran ini, kadar aspal dapat berkisar antara 6% dan 7%; namun, data dari uji *marshall immersion* dengan kadar aspal 7% ialah 96,30%, yang menggambarkan jika pencampuran tersebut pasti tahan dalam perendaman selama 24 jam. [7]. Kadar aspal yang dipakai untuk pemeriksaan SMA *Marshall* kasar berkisar antara 6,00 hingga 7,00 persen. Angka *immersiion Marshall* dengan angla KOA ialah 7,00 persen, dan persentase stabilitas *Marshall* sisa ialah 95,55%, yang memenuhi syarat dengan 90% sesuai ketentuan. [8]. Pengujian karakteristik campuran *Marshall Konvensional* digunakan untuk menguji pencampuran SMA halus. Data yang dihasilkan dari uji *Marshall Immersion* menunjukkan bahwa persentase Stabilitas, Kelelahan (*flow*), VIM dan VMA mencapai spesifikasi. Selain itu, IP atau Kekuatan Sisa 92,02% memperlihatkan jika pencampuran tahan kepada waktu perendaman. [9]. Hasil penelitian menunjukkan jika agregat yang bersumber dari sungai Laeya mencapai ketentuan untuk dipakai untuk pembangunan jalan baru. Uji *marshall immersion* dengan kadar aspal 6 hingga 7% menghasilkan persentase stabilitas, VIM, *flow*, dan VMA yang mencapai ketentuan Angka stabilitas *marshall* sisa sebanyak 98,54% untuk kadar 7,00%, dan mencapai aturan yang sudah ditetapkan, ialah minimum lebih dari 90%. [10].

METODOLOGI

A. Lokasi Pengambilan Agregat

Agregat diambil dari batu sungai Silaga yang berada di Sa'dan Ulusalu Kabupaten Toraja Utara. Batu yang sudah terkumpul di pecahkan dan diuji di Laboratorium.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Material

B. Pembuatan Benda Uji Untuk Pencampuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar

Tabel 1. Jumlah Sampel		
Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> kasar		
Kadar Aspal %	Kadar serat mendong %	Pengujian <i>Marshall Konvensional</i>
7,00	0	3
	1	3
	2	3
	3	3
	4	3
Total		15

Berdasarkan pada tabel total bahan uji di atas diperoleh banyaknya sampel ialah 15 buah dengan variasi bahan tambah serat mendong dan sebagai berikut : 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dengan kadar aspal 7,00%.



Gambar 2. Benda uji

C. Teknik Analisis Data

Analisa data yang dilaksanakan pada studi ini disajikan di beberapa bagian berikut ini :

a. Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* (Kasar)

Karakteristik pencampuran SMA kasar dengan menggunakan tambahan serat mendong dapat diketahui melalui pengujian *Marshall konvensional*, dimana hasil dari pengujian *Marshall konvensional* berupa data berat jenis campuran dan nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA.

b. Pengaruh Serat Mendong Terhadap Karakteristik Campuran SMA Kasar

Dalam penelitian ini akan diketahui pengaruh kadar serat mendong terhadap campuran SMA kasar dengan melihat hasil pengujian *Marshall* pada setiap kadar serat mendong, dengan melihat apakah nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA mengalami kenaikan atau penurunan pada setiap kadarnya.



Gambar 3. Serat Mendong

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Material

Tabel 2. Karakteristik Agregat

No	Pengujian	Metode	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018		Satuan	Hasil Penelitian	Keterangan
			Min	Max			
1	Keausan Agregat					22,6	Memenuhi
	Fraksi A	SNI				20,16	
	Fraksi B	2417:2008	-	40	%	16,36	
	Fraksi C					11,54	
	Fraksi D						
2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar			-		2,56	Memenuhi
		SNI	2,5	-		2,56	
	Bulk	1969:2016	2,5	-		2,58	
	SSD		2,5	3	%	2,62	
	Apparent Penyerapan		-			0,91	
	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus			-		2,62	

	Bulk		2,5	-	%	2,65	
	SSD	SNI	2,5	-3		2,72	Memenuhi
	Apparent Penyerapan	1970:2016	-			1,42	
Analisa Saringan							
	3/4"		90	100		97,40	
	1/2"		59	88		78,40	
	3/8"		25	60		58,40	
3	No.4		20	28		26,70	
	No.8	SNI	16	24		19,70	Memenuhi
	No.200	ASTM	4	8	%	9	
	PAN	C136:2012	0	0		0.00	
4	Uji Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	-	10	%	4,60	Memenuhi
Pemeriksaan Kadar Lumpur							
5	Sand Equivalent	SNI 03-4428-1997	60	-	%	97,76	Memenuhi
	Kadar Lumpur		-	5		4,24	
Partikel Pipih							
	3/4"					4,09	
	1/2"	ASTM D	-	10	%	3,73	
	3/8"	4791-				4,76	
6	Partikel Lonjong	10 Perbandi ngan 1:5					Memenuhi
	3/4"					4,77	
	1/2"		-	10	%	4,45	
	3/8"					3,35	
	1/4"						
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 2439-2011	95	-	%	>95	Memenuhi
8	Pemeriksaan Berat Jenis Filler Semen	SNI ASTM 136:1990	-	-	%	3,09	Memenuhi

Tabel 3. Karaktersitik *Filler*

Spesifikasi						
Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Hasil Uji	Min	Maks	Satuan	Ket
Berat Jenis Filler	SNI 2531-2015	3,06	-	-		Memenuhi standar
Rata-Rata		3,06			%	

Tabel 4. Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2018	Satuan	Ket
Penetrasi pada suhu 25 °c	SNI 2456-2011	67	60-70	0,1mm	Memenuhi
Daktilitas Pada Suhu 25 °c	SNI 2432-2011	150	≥100	Cm	Memenuhi
Titik Lembek Aspal	SNI 243 4-2011	51,7	≥48	°C	Memenuhi
Titik Nyala (°c)	SNI 2433-2011	290	≥232	°C	Memenuhi
Berat Jenis	SNI 2441-2011	1,05	≥1.0		Memenuhi
Berat Yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	0,53	≤0.8	%	Memenuhi
Penetrasi pada suhu 25 °c TEOT	SNI 2456-2011	83,6	≥54	% semula	Memenuhi

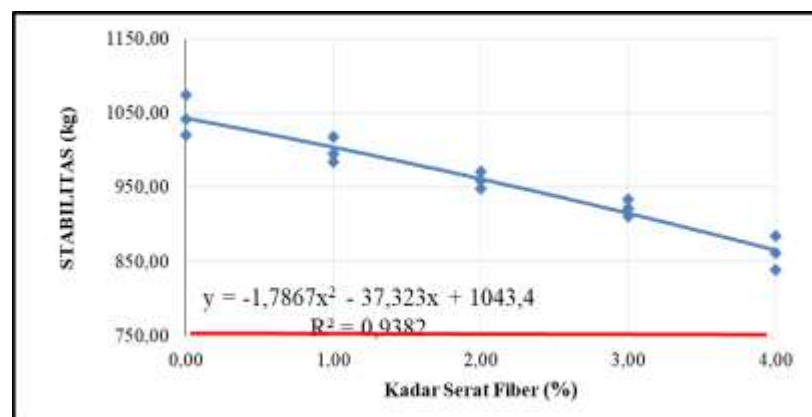
B. Sifat Campuran

a. Analisa Terhadap Stabilitas

Kekuatan dalam menopang beban lalu lintas tanpa mengubah bentuknya dikenal sebagai stabilitas, misalnya jalan, dan dinyatakan dalam satuan berat, atau kilogram.

Tabel 5. Persentase Stabilitas dari uji Sifat Pencampuran SMA Kasar

Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
Stabilitas	1075,31	1018,03	970,79	933,88	884,87
	1042,40	995,90	959,64	922,63	862,18
	1020,45	984,84	937,32	900,12	850,84
Rata-Rata	1046,05	999,59	955,92	918,88	865,97
Persyaratan	Min 750 (kg)				



Gambar 4. Hubungan Antara Kadar Aspal dan Stabilitas

Penggunaan kadar aspal 7,00 % pada SMA Kasar menghasilkan angka Stabilitas rata-rata pada kadar aspal 7,00 % yaitu 1046,05 kg – 862,18 kg, yang dimana mengalami penurunan pada kadar bahan tambah 1% - 4%. Seluruh persentase Stabilitas dalam SMA Kasar mencapai ketentuan. Menurut Gambar 4 kesimpulannya jika pemakaian jumlah bahan tambah yang kurang pada pencampuran

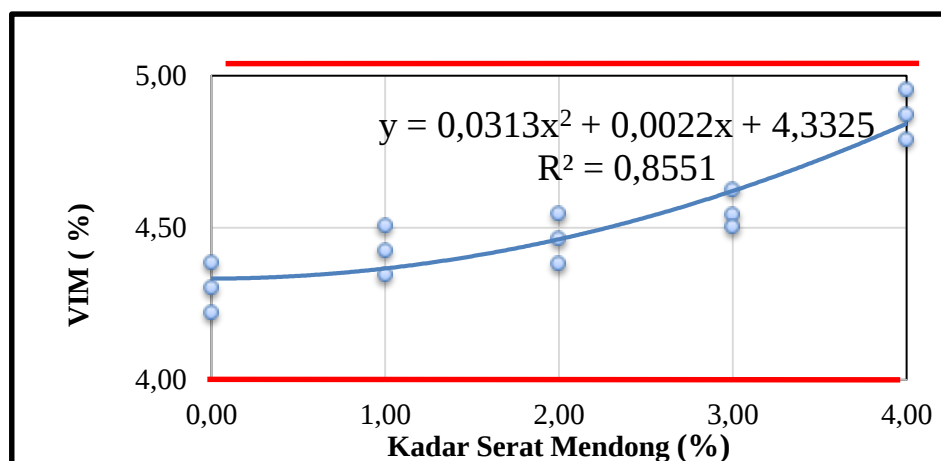
SMA Kasar pasti menciptakan selimut aspal yang tipis didasar agregat yang menimbulkan ikatan antar agregat (*Interlocking*) melemah mengakibatkan pengecilan nilai stabilitas, namun apabila kadar bahan tambah terus meningkat maka selimut aspal menebal yang mengakibatkan ikatan antar agregat menguat atau stabilitas pencampuran besar. Jika aspal ditambahkan lebih banyak lagi, selimut aspal akan menjadi lebih tebal, yang pada gilirannya akan menyebabkan ikatan antar agregat atau stabilitas campuran menurun.

b. Analisis Untuk VIM (Void In Mixture)

VIM adalah jumlah tertinggi pori yang ada pada beton aspal padat setelah campuran dipadatkan. Angka VIM yang besar dan kadar aspal sedikit menyebabkan banyaknya rongga yang timbul pada pencampuran sehingga tidak mampu menerima beban berulang. Penggunaan aspal dalam jumlah besar tidak hanya membuat volume rongga berkurang tetapi juga mengubah wujud plastis campuran, sehingga dapat mengubah kekuatan/kinerja campuran.

Tabel 6. Angka VIM dari Pengujian Campuran SMA Kasar

VIM SMA KASAR					
Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
VIM	4,42	4,30	4,38	4,54	4,79
	4,30	4,43	4,46	4,63	4,87
	4,38	4,35	4,34	4,50	4,75
Rata-Rata	4,37	4,36	4,40	4,56	4,80
Ketentuan	4 - 5 (%)				



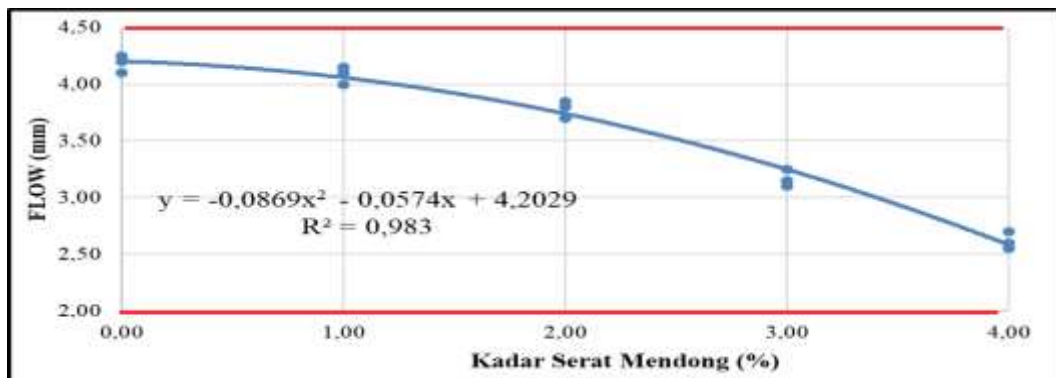
Gambar 5. Grafik Hubungan VIM terhadap Kadar Aspal

Penggunaan kadar aspal 7% dengan variasi bahan tambah 0% - 4 % pada pencampuran SMA kasar, VIM (Rongga pada pencampuran yang tidak diisi aspal) di peroleh nilai kadar variasi 0% sebesar 4,37%, dan pada kadar variasi bahan tambah 1% - 4% di peroleh nilai rata-rata antara 4,36 % – 4,80 % sehingga mencapai persyaratan dimana nilai rata-rata VIM pada kadar bahan tambah 1 % - 4 % mengalami kenaikan. Menurut grafik diatas Kesimpulannya jika kadar bahan tambah yang dipakai tinggi menghasilkan angka VIM semakin besar begitu juga sebaliknya, jika kadar bahan tambah yang dipakai semakin rendah maka angka VIM pasti menurun, kerena aspal berfungsi sebagai pengikat dan mengisi rongga pada pencampuran beraspal.

c. Analisis terhadap Flow

Tabel 7. Angka *Flow* Pemeriksaan Sifat Pencampuran SMA Kasar

Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
<i>Flow</i>	4,25	4,15	3,85	3,25	2,70
	4,20	4,10	3,80	3,15	2,60
	4,10	4,00	3,70	3,10	2,55
Rata-Rata	4,18	4,08	3,78	3,17	2,62
Persyaratan	2 - 4,5 (mm)				



Gambar 6. Grafik Hubungan *Flow* terhadap Kadar Aspal

Penggunaan kadar variasi bahan tambah 0% hingga 4% untuk SMA kasar menciptakan angka *flow* dengan variasi 0% yaitu 4,18 mm, dan pada kadar variasi bahan tambah 1% - 4% diperoleh nilai *flow* sebesar 4,08 mm – 2,62 mm dimana dalam kadar bahan tambah 1% - 4% mengalami penurunan untuk SMA kasar tetapi tetap mencapai ketentuan. Kadar bahan tambah dalam pencampuran beraspal kecil, ikatan antar agregat meningkat, menyebabkan *flow* kecil. Namun, jika kadar bahan tambah bertambah banyak, ikatan agregat menjadi lebih lemah, menyebabkan kelelahan besar. Selanjutnya, jika aspal ditambahkan lebih banyak, selimut aspal menjadi lebih tipis, yang menghasilkan kekuatan campuran meningkat tetapi *flow* meningkat.

d. Analisa Untuk VMA

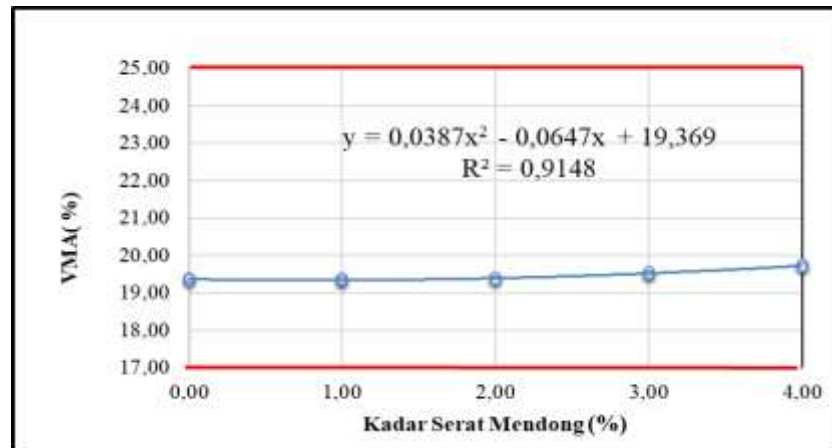
VMA merupakan volume pada pori beton aspal yang dipadatkan ketika seluruh lapisan penutup yang dipadatkan dihilangkan, dinyatakan dalam %. Aspal berfungsi untuk pengisian rongga diantara agregat.

Tabel 8. Angka VMA

Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
VMA	19,41	19,31	19,37	19,51	19,72
	19,31	19,41	19,44	19,58	19,79
	19,38	19,34	19,34	19,48	19,68
Rata-Rata	19,36	19,35	19,39	19,52	19,73
Persyaratan	Min 17 (%)				

Penggunaan kadar aspal 7% dengan variasi bahan tambah 0% - 4% dalam SMA kasar menciptakan angka VMA (rongga pada agregat diisi aspal) pada kadar variasi 0% diperoleh nilai 19,36 %, dan pada kadar 1% - 4% di peroleh nilai sebesar 19,35% – 19,73 % sehingga mencapai ketentuan. Nilai VMA terus meningkat dari 0 hingga 4 persen, seperti yang dapat dilihat dari grafik. Disebabkan oleh banyaknya aspal yang digunakan,

nilai VMA meningkat karena aspal, yang dikenal sebagai aspal efektif, juga bertanggung jawab untuk mengisi rongga di antara agregat dan dalam partikel agregat. Ini disebabkan oleh banyaknya aspal yang digunakan selama proses pencampuran dan pemadatan. Aspal akan menyelimuti agregat, mengisi rongga di antaranya, dan mengisi rongga di dalamnya.



Gambar 7. Grafik Hubungan VMA terhadap Kadar Aspal

PEMBAHASAN

a. Stabilitas

Gambar 4 dan Tabel 5 dan persamaan garis menunjukkan bahwa $y = -1,7867x^2 - 37,323x + 1043,4$ dan nilai $R^2 = 0,9382$, yang menunjukkan bahwa stabilitas menurun dengan setiap kenaikan kadar bahan tambah hingga 1% - 4%. Selanjutnya, jika kadar bahan tambah kembali meningkat, stabilitas akan mulai merendah.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Persamaan Regresi Stabilitas

Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
STABILITAS	1038,74	999,59	955,92	918,88	865,97
Persyaratan	Min 750 (kg)				

Nilai stabilitas sebesar 1038,74 kg berada pada kadar bahan tambah 0%, atau titik balik kurva, menurut hasil perhitungan persamaan regresi yang diperlihatkan dalam Tabel 9.

b. Void in Mix (VIM)

Menurut Gambar 5, Tabel 6 serta persamaan garis menunjukkan $y = 0,0313x^2 + 0,0022x + 4,3325$. Nilai $R^2 = 0,8551$ menunjukkan setiap kenaikan 1 % kadar bahan tambah, maka VIM akan bertambah/naik.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Persamaan Regresi VIM

Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
VIM	4,33	4,37	4,46	4,62	4,84
Persyaratan	4 - 5 (%)				

Dari persamaan regresi Tabel 10 memperlihatkan jika angka VIM sampai pada batas maximum yaitu 4,84 % saat bahan tambah 4 %, sedangkan VIM sampai pada batas terendah ialah 4,33 ketika tanpa bahan tambah.

c. Flow

Menurut Gambar 6 dan Tabel 7 serta persamaan garis menunjukkan $y = -0,155x^2 + 0,125x + 4,182$. Nilai $R^2 = 0,9956$ memperlihatkan bahwa pada kadar bahan tambah 0% - 4% mengalami penurunan

Tabel 11. Hasil Perhitungan Persamaan Regresi *Flow*

Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
<i>Flow</i>	4,18	4,15	3,81	3,16	2,20
Persyaratan	2 - 4,5 (mm)				

Nilai *flow* minimum adalah 2,20 mm pada kadar bahan tambah 4%, menurut hasil perhitungan persamaan regresi yang ditunjukkan pada Tabel 11.

d. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Menurut Gambar 7 dan Tabel 8 serta persamaan garis menunjukkan $y = 0,0264x^2 + 0,0018x + 19,332$. Nilai $R^2 = 0,8551$ menunjukan setiap kenaikan 1 % kadar bahan tambah, maka VMA akan terus mengalami peningkatan.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Persamaan Regresi VMA

Kadar Serat Mendong %	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
VMA	17,79	17,92	18,04	18,14	18,22

Dengan kadar bahan tambah 0 %, VMA mencapai batas minimum 17,79%, menurut hasil perhitungan persamaan regresi Tabel 12.

KESIMPULAN

1. Karakteristik agregat yang bersumber dari sungai Silaga kabupaten Toraja Utara dalam pencampuran SMA kasar mencapai persyaratan Bina Marga 2018 sesuai SNI yang tercantum dalam tabel 2 dan 3 pada masing-masing pengujian.
2. Pengujian stabilitas, VIM, *Flow* dan VMA dengan bahan tambah serat mendong mencapai persyaratan bina marga tahun 2018 merujuk pada SNI 06-2489-1991 tentang uji pencampuran beraspal menggunakan Alat *Marshall*
3. Komposisi campuran SMA kasar ialah agregat kasar 42,45%, agregat halus 45,18%, *filler* 5,36%, serat Mendong 0% - 4%, dengan KAO 7,00%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. S. B. Musu', R. Mangontan, dan Alpius, "Durabilitas Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar Menggunakan Limbah Gypsum Sebagai Substitusi Filler," *pcej*, vol. 4, no. 2, pp. 209–217, Jun. 2022, doi: 10.52722/pcej.v4i2.449.
- [2] A. D. Sandabunga, N. Ali, dan R. Rachman, "Karakteristik Campuran SMA Kasar Menggunakan Batu Sungai Sa'dan Kecamatan Sesean Toraja Utara," *pcej*, vol. 2, no. 4, pp. 282–288, Jan. 2021, doi: 10.52722/pcej.v2i4.186.
- [3] R. B. Alkam dan B. Bulgis, "Karakteristik Marshall Campuran Stone Mastic Asphalt Dengan Penggunaan Fiber Mesh Sebagai Bahan Tambah," *j. mitra teknik sipil*, pp. 1103–1116, Nov. 2023, doi: 10.24912/jmts.v6i4.21601.
- [4] S. Andys, R. Rachman, dan Alpius, "Pemanfaatan Bahan Tambah Karet Ban Bekas Pada Campuran Stone Matrix Asphalt Halus," *pcej*, vol. 4, no. 3, pp. 472–478, Nov. 2022, doi: 10.52722/pcej.v4i3.524.
- [5] C. F. Timbonga, Alpius, dan L. E. Radjawane, "Pemanfaatan Batu Gunung Limbong Kecamatan Rantepao Dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar," *pcej*, vol. 3, no. 1, pp. 31–39, Feb. 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i1.200.
- [6] R. Palebangan, Alpius, dan Elizabeth, "Pemanfaatan Batu Sungai Lacya Kabupaten Konawe Selatan untuk Stone Matrix Asphalt Kasar," *pcej*, vol. 4, no. 4, pp. 591–599, Dec. 2022, doi: 10.52722/pcej.v4i4.542.

- [7] R. A. Jansen, N. Ali, dan R. Rachman, “Pemanfaatan Batu Sungai Sa’dan Toraja Utara Sebagai Campuran Stone Matrix Asphalt Halus,” *pcej*, vol. 2, no. 4, pp. 314–320, Jan. 2021, doi: 10.52722/pcej.v2i4.195.
- [8] F. P. Supit, R. Mangontan, dan Alpius, “Pemanfaatan Limbah Nikel Sorowako Dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar,” *pcej*, vol. 3, no. 1, pp. 63–69, Feb. 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i1.205.
- [9] Grace, R. Rachman, dan Alpius, “Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Pada Campuran Stone Matrix Asphalt Halus,” *pcej*, vol. 3, no. 4, pp. 499–506, Dec. 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i4.329.
- [10] G. Manggasa, Alpius, dan Elizabeth, “Pemanfaatan Batu Sungai Laeya Kabupaten Konawe Selatan sebagai Campuran Stone Matrix Asphalt Halus,” *pcej*, vol. 4, no. 4, pp. 571–579, Dec. 2022, doi: 10.52722/pcej.v4i4.540.