

Pemanfaatan Batu Sungai Laeya Kabupaten Konawe Selatan sebagai Campuran *Stone Matrix Asphalt* Halus

Galantono Manggasa *¹, Alpius *², Elizabeth *³

*¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia galantonomanggasa26@gmail.com

*^{2,3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia alpiusnini@gmail.com dan elizabethbongga5173@gmail.com

Corresponding Author: galantonomanggasa26@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan transportasi semakin maju di dunia sehingga muncul banyak kendaraan yang melintas di jalan raya sehingga kualitas perkerasan jalan perlu ditingkatkan kualitasnya. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kualitas batu sungai Laeya Kabupaten Konawe Selatan dalam campuran *stone matrix asphalt* (SMA) halus. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu melakukan pengujian karakteristik agregat kemudian merancang komposisi campuran *stone matrix asphalt* (SMA) halus serta pengujian *marshall* konvensional dan pengujian *marshall immersion*. Hasil Penelitian disimpulkan bahwa agregat yang berasal dari sungai Laeya memenuhi persyaratan sebagai bahan yang digunakan dalam perkerasan jalan. Dari hasil pengujian *marshall* konvensional dengan menggunakan kadar aspal 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75%, 7,00% diperoleh nilai stabilitas, VIM, *flow*, VMA yang memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018. Dari pengujian *marshall immersion* nilai stabilitas marshall sisa didapatkan sebesar 98,54% dengan kadar aspal 7,00% dan memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu minimal >90%.

Kata kunci : Karakteristik, Komposisi SMA Halus

Abstract

The development of transportation is increasingly advanced in the world so that there are many vehicles that cross the highway so that the quality of road pavement needs to be improved. This study was intended to determine the quality of the Laeya river stone, Konawe Selatan Regency, in a fine mixture of stone matrix asphalt (SMA). The method used in this study is to test the characteristics of the aggregate and then design the composition of the fine stone matrix asphalt (SMA) mixture as well as the conventional Marshall test and the Marshall immersion test. The research results concluded that the aggregate originating from the Laeya river met the requirements as a material used in road pavement. From the results of the conventional marshall test using asphalt content of 6.00%, 6.25%, 6.50%, 6.75%, 7.00% the values for stability, VIM, flow, VMA were obtained which met the general specifications of the 2018 Highways. From the marshall immersion test, the residual marshall stability value was obtained at 98.54% with an asphalt content of 7.00% and met the specified standards, namely at least > 90%.

Keywords: Characteristics, Smooth SMA Composition.

PENDAHULUAN

Transportasi adalah unsur paling penting dalam memajukan kesejahteraan masyarakat. Aktivitas masyarakat yang semakin tinggi dan membutuhkan transportasi seperti di Kabupaten Konawe Selatan Sulawesi Tenggara, menuntut pembangunan untuk menyediakan prasarana transportasi yang aman, efisien, dan nyaman.

Sungai Laeya yang berada di Kabupaten Konawe Selatan Sulawesi Tenggara merupakan sungai yang mempunyai sumber daya alam berupa batuan yang diharapkan menjadi bahan utama batu pecah (*chipping*) maka dilakukan pengujian karakteristik pada agregat tersebut.

Pelaksanaan pembagunan jalan penting untuk mengetahui agregat yang akan digunakan nantinya sebagai campuran utama. Seperti pada salah satu sumber daya alam yaitu batu Sungai Laeya yang masih memiliki agregat dan di harapkan dapat di jadikan sebagai bahan utama batu pecah. Hal tersebut mendorong peneliti untuk melakukan penelitian terhadap agregat yang ada di sungai Laeya dalam campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) Halus.

Stone Matrix Asphalt adalah salah satu campuran lapisan permukaan jalan yang dapat dipertimbangkan menjadi solusi mengatasi permasalahan kerusakan jalan. Kelebihan campuran SMA adalah mempunyai umur pelayanan tinggi, tahan terhadap perubahan karena memiliki kandungan agregat kasar yang besar dan dapat membentuk rangka yang kuat, ketahanan terhadap keretakan karena kadar aspalnya tinggi, dan mengurangi kebisingan. Adapun kelemahan dari campuran ini adalah biaya yang diperlukan relatif lebih mahal yang diakibatkan dari penggunaan kadar aspal yang besar serta penambahan bahan yang dapat menstabilkan dan juga kemunculan spot aspal dipermukaan akibat dari produksi atau pelaksanaan yang salah.[1]

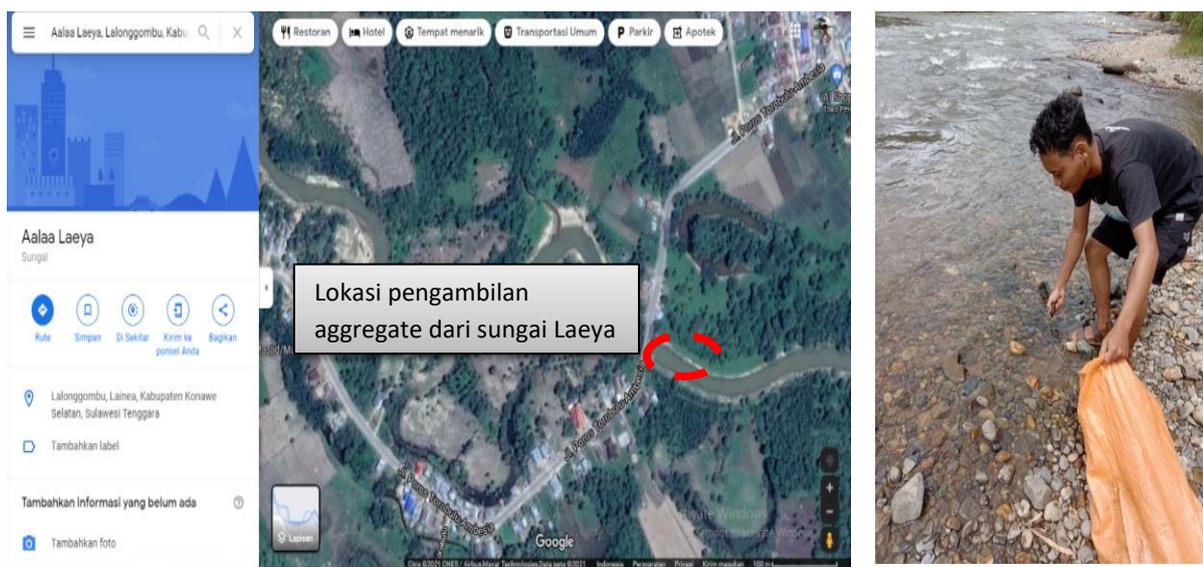
Ada berbagai penelitian tentang *stone matrix asphalt* (SMA) halus diantaranya, Pemanfaatan Batu Sungai Sa'dan Toraja Utara Sebagai Campuran *Stone Matrix Asphalt* Halus. Kadar aspal yang dapat digunakan dalam campuran ini dapat adalh 6% - 7% , tetapi untuk campuran yang lebih tahan air dapat digunakan kadar aspal 7%. Hasil pengujian perendaman Marshall dengan menggunakan bitumen 7% kadar 96,30% yang menunjukkan bahwa campuran akan tahan terhadap perendaman 24 jam. [2]. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Indrayanti sebagai Substitusi Agregat Halus terhadap Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA). Dari hasil pengujian *marshall* disimpulkan bahwa nilai stabilitas yang diperoleh selalu mengalami penurunan disetiap substitusi pasir pantai, hal ini disebabkan oleh ikatan antara pasir pantai dengan aspal yang rendah karena permukaan pasir pantai yang halus dan bentuknya yang bulat [3]. Evaluasi Penggunaan Pasir Putih sebagai Pengganti Agregat Halus pada *Split Mastic Asphalt* (SMA) *Grading* 0/11 terhadap Karakteristik Campuran. Dari penelitian ini didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan campuran agregat halus pasir putih biasa yaitu 6,75% [4]. Penggunaan Limbah Beton sebagai Agregat pada Campuran *Stone Matrix Asphalt* Halus. , Hasil pengujian dengan metode stabilitas *marshall* sisa dengan menggunakan kadar aspal 7,00% diperoleh nilai sebesar 92,02% dan telah memenuhi syarat yang telah ditentukan yaitu > 90% [5]. Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan dedak padi berpengaruh terhadap karakteristik campuran *split mastic asphalt* (SMA). Stabilitas pada campuran dengan selulosa sebagai aditif dalam campuran *split mastic asphalt* (SMA) memenuhi spesifikasi, kecuali kadar aspal 7,5% - 8% dengan kadar dedak dari 8% - 9%.Nilai *flow* pada campuran menunjukkan kecenderungan menurun. Pada kadar aspal 5,5% menunjukkan kelenturan paling tinggi dan tidak memenuhi spesifikasi kecuali kandungan dedak padi 8% -9%. yang memberikan campuran kinerja yang baik pada kadar aspal. Nilai fleksibilitas yang memberikan campuran kinerja pada kadar aspal 6,5% - 7,5% dengan kadar dedak 6% - 8%. [6]. Pengaruh Pemanfaatan Tras sebagai Bahan Pengisi Pengganti terhadap Karakteristik Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA). Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa hasil uji *marshall* diketahui bahwa campuran mampu menahan beban lalu lintas dan kelenturan [7]. Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal *Crumb Rubber*. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa dengan penggunaan aspal *crumb rubber* dan aspal pen 60/70 diperoleh nilai KAO untuk jenis aspal *crumb rubber* sebesar 6,850% dan untuk jenis aspal pen 60/70 sebesar 6,985% [8]. Karakteristik Draindown Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) yang

Menggunakan *Filler* Abu-Batu dan Semen. Dari hasil pengujian disimpulkan semakin semakin banyak kadar semen yang doigunakan maka nilai *draindown* semakin besar, dan juga sama halnya dengan penggunaan kadar aspal untuk kadar semen yang tetap akan meningkatkan niali *draindown* [9]. Pengaruh Penggunaan *Filler* Abu Batu Apung terhadap Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) dengan Uji *Marshall*. Dari hasil penelitian dengan uji iMarshall disimpulkan bahwa hasil pengujian pada tahap I nilai KAO yang diperoleh sebesar 7,2%, kadar *filler* sebesar 52%. Pada nilai kadar *filler* perendaman 60 menit nilai IKS diperoleh sebesar 91% dan perendaman 24 jam nilai IKS IKS diperoleh sebesar 83%. [10]. Pengaruh Penggunaan *Aditif Zeolit* pada *Warm Mix Asphalt* terhadap Mutu Campuran Beraspal di Laboratorium. Dari penelitian menggunakan kadar *zeolit* 0%, 2%, 3%, 4% dapat disimpulkan bahwa pada kadar *zeolit* 0%, 2% dan 3% memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, akan tetapi pada kadar *zeolit* 4% tidak memenuhi persyaratan. [11]

METODOLOGI

1. Lokasi Pengambilan Material

Lokasi pengambilan agregat batu sungai Laeya kabupaten konawe selatan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar. Penelitian ini dimulai dari 02 Desember 2021 – 23 Februari 2022.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Agregat

2. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

a. Karakteristik Agregat

Tabel 1. Karakteristik Agregat

No	Pengujian	Spesifikasi umum 2018		Hasil Penelitian
		Min	Max	
1	Keausan			
	A			2,1
	B			2,42
	C	-	40	2,08
	D			2,54
2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat			

	Kasar			
	<i>Bulk</i>	2,5	-	2,60
	<i>SSD</i>	2,5	-	2,66
	<i>Apparent</i>	2,5	-	2,75
	Penyerapan	-	3	2,11
	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus			
	<i>Bulk</i>	2,5	-	2,56
	<i>SSD</i>	2,5	-	2,59
	<i>Apparent</i>	2,5	-	2,64
	Penyerapan	-	3	1,21
	Analisa Saringan			
	3/4"		100	100
	1/2"	90	100	93,33
	3/8"	50	80	80,00
3	No.4	20	35	34,38
	No.8	16	24	21,05
	No.200	8	11	10,13
	PAN			0,00
4	Material Lolos Saringan 200	0	10	7,0
	Nilai setara pasir			
5	<i>Sand EquivaLent</i>	60	-	
	Kadar Lumpur	-	5	97,78
	Indeks Kepipihan			2,22
	1"			0,00
	3/4"			9,00
	1/2"	-	10	8,80
	3/8"			8,40
	1/4"			0,00
6	Indeks Kelonjongan			
	1"			0,00
	3/4"			9,70
	1/2"	-	10	9,20
	3/8"			8,10
	1/4"			0,00
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal			98

Berdasarkan tabel hasil pengujian karakteristik agregat diatas dapat disimpulkan bahwa agregat batu sungai Laeya, Kabupaten Konawe Selatan memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018.

b. Karakteristik Aspal

Tabel 2. Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2018
Daktalitas Pada Suhu 25°C	150	≥100
Titik Lembek Aspal	53,5	≥48
Titik Nyala (°C)	240	≥232
Berat Jenis	1,016	≥1
Berat Yang Hilang (%)	0,184	≤0,8

Penetrasi pada suhu 25 °C TFOT	84,47	54
--------------------------------	-------	----

Pada tabel pengujian karakteristik aspal diatas dapat disimpulkan bahwa pada setiap pengujian karakteristik aspal nilai – nilai yang didapatkan telah memenuhi standar spesifikasi bina marga 2018

c. Karakteristik Filler

Tabel 3. Karakteristik Filler

No	Pengujian	Spesifikasi umum 2018		Hasil Penelitian
		Min	Max	
1	Pemeriksaan Berat Jenis semen	2,5	-	3,14

Dari tabel pengujian karakterisik *filler* diatas nilai *Filler* yang diperoleh adalah 3,14% dan nilai tersebut telah memenuhi standar spesifikasi bina marga 2018.

3. Kadar Aspal untuk Stone Matrix Asphalt

Dalam penelitian dengan menggunakan campuran *stone matrix asphalt* digunakan 5 (lima) variasi kadar aspal yaitu 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75%, 7,00%.

Tabel 4. Komposisi Aspal dalam Campuran *Stone Matrix Asphalt* Halus

Kadar aspal rancangan (%)	1	2	3	4	5
		6,00	6,25	6,5	6,75
Berat aspal (gr)	72	75	78	81	84

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada kadar aspal 6,00% ,6,25%, 6,50%, 6,75%, 7,00% berat aspal yang dugunkan pada masing – masing kadar aspal yaitu 72 gr, 75 gr, 78 gr, 81 gr, 84gr.

4. Pembuatan Benda Uji

Untuk benda uji yang akan digunakan dalam penelitian memiliki variasi kadar aspal. kadar aspal yaitu 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75%, 7,00%. Benda uji pada pengujian *marshall* konvensional sebanyak 15 buah yang dimana disetiap kadar aspalnya terdiri dari 3 sampel sedangkan untuk pengujian *marshall immersion* sebanyak 3 buah, jadi total sampel yang akan dibuat yaitu 18 buah.

Tabel 4. Jumlah Benda Uji

No.	Kadar Aspal (%)	Marshall	
		Konvensional	Immersion
1	6,00	3	
2	6,25	3	
3	6,50	3	3
4	6,75	3	
5	7,00	3	
Total		15	3



Gambar 2. Benda Uji

5. Pengujian Marshall Konvensional Campuran Stone Matrix Asphalt Halus

Pengujian ini dimaksudkan agar mengetahui kekuatan dan ketahanan terhadap leleh dari agregat aspal. Stabilitas ialah kesanggupan agregat aspal menyerap suatu beban sampai terjadi lelehan, yang dinyatakan dalam kg atau pounds. Aliran adalah suatu kondisi konduktif berupa agregat aspal yang terjadi akibat beban waktu terbatas yang dinyatakan dalam mm atau 0,01.

6. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Setelah tes *marshall* konvensional dilakukan perhitungan untuk tingkat aspal yang optimal. Nilai yang dihasilkan diproses dan dimasukkan kedalam tabel data desain panas *marshall*, hasil stabilitas, aliran, kepadatan campuran dan kepadatan agregat. Tingkat aspal yang optimal diperoleh dari nilai rata-rata terendah pori pori campuran (VIM) *void in mix* (%).

7. Pengujian *Marshall Immersion* Campuran *Stone Matrix Asphalt* Halus

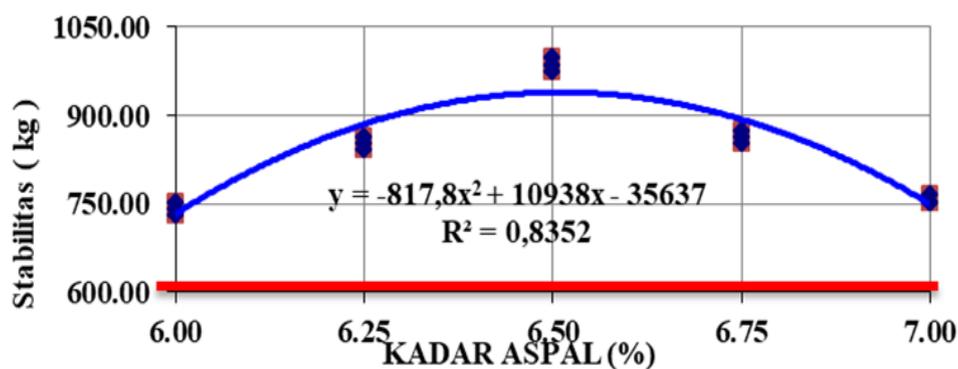
Pengujian karakteristik campuran aspal yang dilakukan setelah uji *Marshall Konvensional* dengan lama perendaman 24 jam dengan suhu 60°C. Yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan stabilitas antara campuran yang direndam selama 30 menit (*marshall* konvensional) dan nilai stabilitas campuran yang di rendam selama 24 jam.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Campuran

a. Analisis terhadap Stabilitas

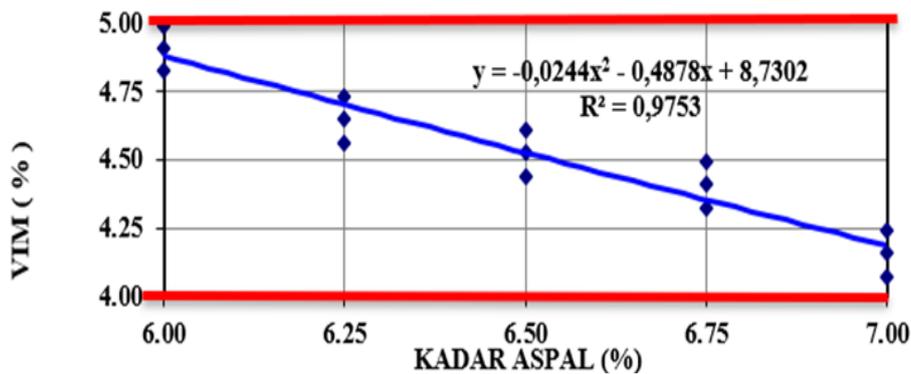
Dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal yaitu 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75% dan 7,00% untuk SMA halus didapatkan nilai stabilitas untuk masing-masing variasi kadar aspal yaitu 741,39 Kg, 825,05 Kg, 984,84 Kg, 863,11 Kg dan 984,84 Kg dan dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas yang diperoleh akan meningkat mulai dari kadar aspal 6,00% sampai 6,50% dan mengalami penurunan nilai stabilitas pada kadar aspal 6,75% sampai 7,00%. Hal ini dikarenakan kadar aspal yang terlalu banyak akan mengakibatkan banyaknya rongga agregat yang terisi aspal sehingga membuat nilai stabilitas menurun, dimana nilai stabilitas optimum terjadi pada penambahan kadar aspal 6,50%.



Gambar 3. Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

b. Analisis terhadap VIM (*Voids in Mix*)

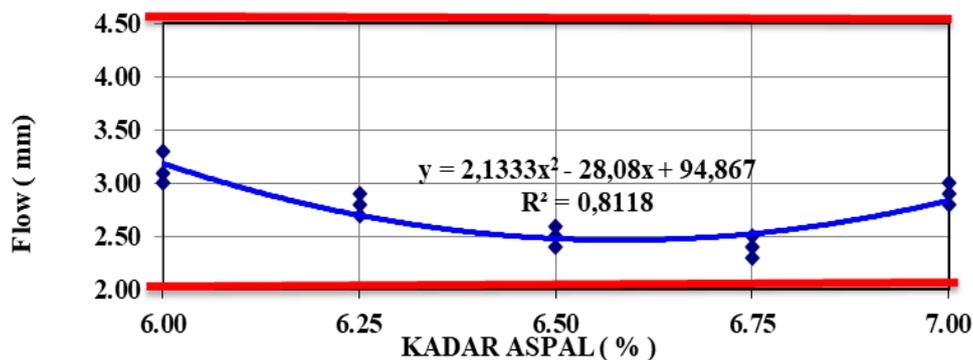
Dengan memakai kadar aspal 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75, dan 7,00% untuk SMA halus didapatkan nilai VIM 4,86%, 4,60%, 4,48%, 4,36% dan 4,11%, Dari nilai diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan aspal yang sedikit membuat nilai VIM semakin tinggi dan jika penggunaan aspal yang banyak akan membuat nilai VIM semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh aspal yang mampu menutupi rongga yang ada dalam campuran beraspal.



Gambar 4. Hubungan VIM dengan Kadar Aspal

c. Analisis terhadap Flow

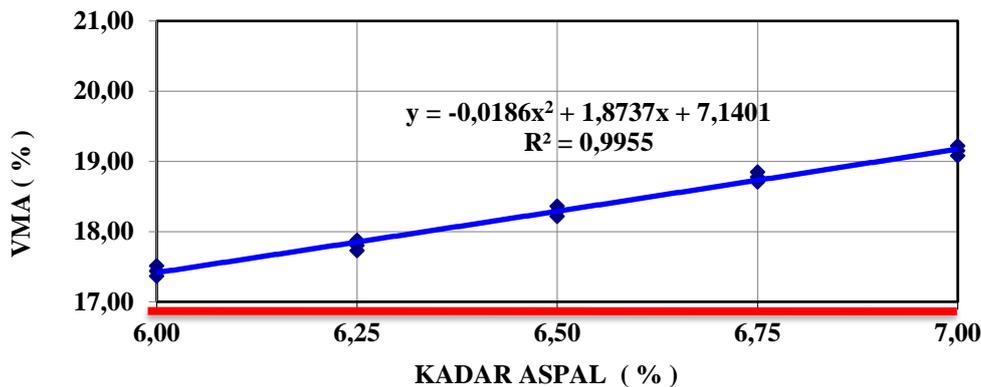
Dengan penggunaan kadar aspal 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75, dan 7,00% pada SMA Halus didapatkan nilai *flow* antara 3,13 mm, 2,80 mm, 2,50 mm, 2,40 mm dan 2,90 mm. dan dapat disimpulkan bahwa penggunaan kadar aspal 6,00% - 6,50% nilai kelelahan menjadi kecil karena ikatan agregat dan aspal menjadi kuat tetapi dengan bertambahnya kadar aspal 6,75% - 7,00% nilai kelelahan menjadi besar karena ikatan agregat dan aspal semakin berkurang karena selimut aspal yang menjadi tebal.



Gambar 5. Hubungan Flow dengan Kadar Aspal

d. Analisis terhadap VMA (Voids in Mineral Aggregate)

Dengan penggunaan Kadar aspal yang dipakai 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75, dan 7,00% sebagai SMA halus didapatkan VMA antara 17,42%, 17,79%, 18,27%, 18,76% dan 19,13% Dari grafik dapat disimpulkan bahwa jika penggunaan aspal yang sedikit maka nilai VMA akan menurun dan jika penggunaan aspal yang banyak maka nilai dari VMA akan tinggi. Hal ini disebabkan oleh aspal yang mampu menutup agregat dalam rongga udara yang ada didalam campuran.



Gambar 6. Hubungan VMA dengan Kadar Aspal

2. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal praktis yaitu rentang kadar aspal yang memenuhi semua kriteria karakteristik campuran, dalam penentuan kadar aspal optimum diambil dari kadar aspal yang memiliki nilai VIM (rongga) yang terkecil yaitu kadar aspal 7,00%. karena lapisan *stone matrix asphalt* adalah lapisan permukaan yang harus memberikan stabilitas yang kuat terhadap lapisan yang berada di bawahnya.

3. Hasil Stabilitas *Marshall* Sisa (SMS)

Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata dari Stabilitas *Marshall* sisa yaitu 98,54% dengan menggunakan kadar aspal yang paling memenuhi yaitu 7% dan hasil dari pengujian ini telah memenuhi syarat yang dikeluarkan oleh Bina Marga yaitu minimal 90%. Hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa campuran yang digunakan tahan terhadap suhu dan lamanya perendaman

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian analisa saringan agregat dari Sungai Laeya Kabupaten Konawe Selatan dapat digunakan untuk campuran *stone matrix asphalt* dan karakteristik aspal dan karakteristik *filler* memenuhi standar spesifikasi bina marga 2018.

Komposisi campuran *stone matrix asphalt* halus yaitu agregat kasar adalah 69,00%, agregat halus adalah 15,67%, *filler* 8,33% dengan kadar aspal 7,00%.

Pengujian *marshall* konvensional dimana nilai stabilitas mengalami peningkatan sampai pada kadar aspal 6,50% dan menurun pada saat kadar aspalnya bertambah. Nilai *flow* mengalami penurunan sampai pada kadar aspal 6,50% dan akan meningkat seiring pertambahan kadar aspal, nilai VIM akan menurun seiring dengan pertambahan kadar aspal dan nilai VMA akan semakin bertambah jika kadar aspalnya bertambah

Pengujian *marshall immersion* diperoleh nilai stabilitas *marshall* sisa sebesar 98,54% memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018, minimal 90%.

SARAN

Penelitian lanjutan menggunakan agregat batu sungai Laeya Konawe Selatan untuk campuran Laston, Lataston, dan jenis perkerasan jalan lainnya. Seperti campuran AC-BASE, HRS-BASE dan HRS-WC. Hasil dari penelitian ini menjadi pertimbangan pemerintah daerah di Kabupaten Konawe Selatan untuk dapat memanfaatkan sumber daya alam dalam hal ini batu sungai Laeya, tepatnya di Desa Laiya sebagai bahan campuran perkerasan jalan agar dapat menjadi sumber mata pencarian masyarakat di daerah tersebut.

Dapat digunakan sebagai referensi atau pedoman dalam bidang ilmu teknik sipil dalam penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Blazejowski, *Stone Matrix Asphalt*. New York: CRC Press, 2011.
<https://epdf.mx/stone-matrix-asphalt-theory-and-practice.html>
- [2] R. A. Jansen, N. Ali, and R. Rachman, "Pemanfaatan Batu Sungai Sa'dan Toraja Utara sebagai Campuran Stone Matrix Asphalt Halus," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 4, pp. 314–320, 2021.
<https://doi.org/10.52722/pcej.v2i4.195>
- [3] F. Ramadhan and M. Fauziah, "Kinerja Campuran SMA dengan Menggunakan Pasir Pantai Indrayanti sebagai Pengganti Agregat Halus," *Teknisia*, vol. 25, no. 1, pp. 33–41, 2020.
<https://journal.uui.ac.id/teknisia/article/view/14895>
- [4] Zamroni and J. Marlindo, "Evaluasi Penggunaan Pasir Putih sebagai Pengganti Agregat Halus pada Split Mastic Asphalt (SMA) Grading 0/11 terhadap Karakteristik Campuran," Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 1999.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/21042>
- [5] Grace, R. Rachman, and Alpius, "Penggunaan Limbah Beton sebagai Agregat pada Campuran Stone Matrix Asphalt Halus," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 3, no. 4, pp. 499–506, 2021.
<https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.329>
- [6] A. Tahir, "Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi," *J. Rekayasa Dan Manaj. Transp.*, vol. 1, no. 1, pp. 27–41, 2011.
<https://core.ac.uk/download/pdf/292007557.pdf>
- [7] R. Aditya, "Pengaruh Pemanfaatan Tras sebagai Bahan Pengisi Pengganti terhadap Karakteristik Campuran Split Mastic Asphalt (SMA).," Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2021.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/36563>
- [8] M. I. Hidayat, "Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal Crumb Rubber," Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2021.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30072>
- [9] A. Tahir and S. Arifin, "Karakteristik Draindown Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Yang Menggunakan Filler Abu-Batu Dan Semen," *Pros. Forum Studi Transp. Antar Perguru. Tinggi*, pp. 570–584, 2018.
<https://ojs.fstpt.info/index.php/ProsFSTPT/article/view/416>
- [10] H. D. Madyani, "Pengaruh Penggunaan Filler Abu Batu Apung terhadap Kinerja Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan Uji Marshall," Skripsi, Universitas Mercu Buana, Jakarta, 2019.
<https://repository.mercubuana.ac.id/id/eprint/68987>
- [11] A. F. Siregar, "Pengaruh Penggunaan Aditif Zeolit pada Warm Mix Asphalt terhadap Mutu Campuran Beraspal di Laboratorium," *J. Tek. Sipil USU*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2016.
<https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1437754>