

Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Karakteristik Campuran SMA Menggunakan Agregat Sungai Jeneberang Bili-Bili

Herman Welem Tanje ^{*1}, Alpius ^{*2}, Niel Adiyanto ^{*3}

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

^{*3} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia nieldevanto40@gmail.com

Corresponding Author: nieldevanto40@gmail.com

Abstrak

Salah satu jenis campuran aspal panas, juga dikenal sebagai *hotmix*, digunakan untuk membuat lapis perkerasan lentur yang sangat populer di Indonesia. Proses pembuatan pencampuran aspal panas diawali dengan menyediakan material yang mengikuti ketentuan, kemudian melakukan proses pencampuran material, penghamparan, dan pemadatan. Pemampatan menghasilkan kekuatan, stabilitas, dan rongga yang cukup pada campuran beraspal. Dalam penelitian ini, kami menggunakan Agregat Sungai Jeneberang Bili-Bili untuk mempelajari sifat campuran aspal yang menghasilkan pembebanan statis berulang (pemadatan) yang didapatkan dengan mengubah total pembebanan dengan mempertahankan suhu campuran dan gradasi agregat dalam keadaan tertentu. Dari hasil analisis penelitian campuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar dengan Kadar Aspal 6,00 %, pada variasi Jumlah Tumbukan 2x50, 2x60, dan 2x70, pengujian *Marshall Konvensional* menghasilkan persentase karakteristik pencampuran yaitu stabilitas, *flow*, VIM, VMA, seluruhnya mencapai persyaratan Umum Bina Marga 2018 merujuk pada SNI 06-2489-1991 tentang Uji pencampuran beraspal menggunakan alat *Marshall* sedangkan Jumlah Tumbukan yang tidak memenuhi terhadap stabilitas, *flow*, VIM yaitu pada tumbukan 2x30 sampai dengan 2x40. Dan untuk uji *Marshall Konvensional*, angka Stabilitas meningkat sedangkan nilai VIM, VMA, dan *Flow* menurun.

Kata kunci : Karakteristik Agregat, Tumbukan, *Marshall*, SMA

Abstract

Hot mix asphalt (Hotmix) is one type used in making flexible pavement layers which is widely used in Indonesia. In making hot asphalt mix, it starts from providing the material according to specifications, the process of mixing the material, spreading it and finally the compaction process. Compaction is a compression process so that strength, stability and sufficient voids are obtained in the asphalt mixture. This research was conducted to examine the characteristics of asphalt mixtures using Jeneberang Bili-Bili River Aggregate resulting in repeated static loading (compaction) which is produced through varying the amount of loading by maintaining the mixture temperature at the temperature and aggregate gradation under certain conditions. From the results of the research analysis of the Coarse Stone Matrix Asphalt mixture with an asphalt content of 6.00%, with variations in the number of collisions of 2x50, 2x60, and 2x70, conventional Marshall testing obtained mixture characteristic values, namely stability, flow, VIM, VMA, all of which meet the General Bina Marga Specifications 2018 refers to SNI 06-2489-1991 concerning Testing of asphalt mixtures using the Marshall Tool, while the number of collisions that do not meet stability, flow, VIM is 2x30 to 2x40 collisions. And for the Conventional Marshall test, the Stability value increased while the VIM, VMA and Flow values decreased.

Keywords : Aggregate Characteristics, Collision, *Marshall*, SMA

PENDAHULUAN

Campuran aspal panas, juga dikenal sebagai *hotmix*, adalah satu dari sekian jenis yang banyak dipakai di Indonesia untuk membuat lapis perkerasan lentur. Proses pembuatan dimulai dengan penyediaan bahan menurut persyaratan, pencampuran bahan, penghampanan, dan pemadatan. Untuk mendapatkan kekuatan, stabilitas, dan rongga yang cukup dalam pencampuran beraspal, pemampatan harus dilakukan. Jika tidak dilakukan dengan benar, pemampatan bisa menimbulkan pencampuran aspal menjadi tidak rata dan gampang retak, yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap kinerja, umur pakai, dan kenyamanan. Maksud dari studi ini adalah untuk mencari pelajaran tentang sifat pencampuran aspal yang dihasilkan oleh pembebanan statis berulang, atau pemadatan, yang didapatkan dengan mengubah jumlah beban sambil mempertahankan suhu campuran dan gradasi agregat dikeadaan tertentu. Harapan dari studi ini bisa memberikan gambaran tentang sifat pencampuran aspal, serta deformasi yang dibuat melalui pembebanan berulang di laboratorium, sehingga setidaknya dapat menunjukkan kondisi pemadatan.

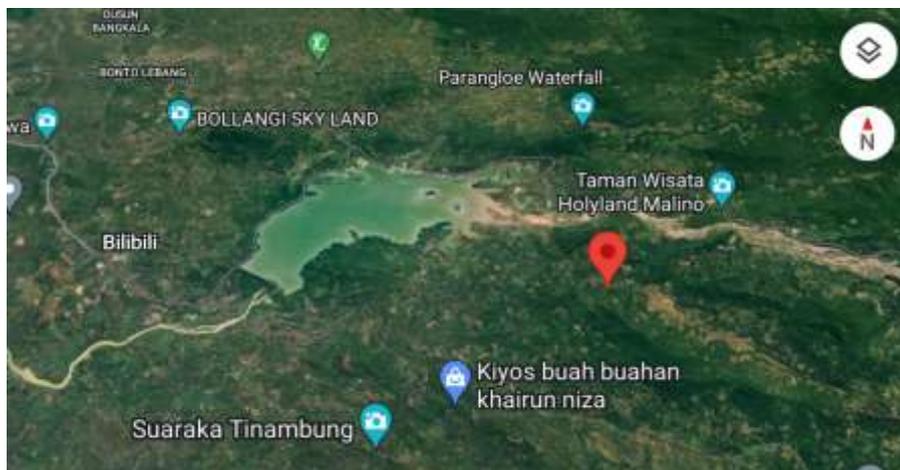
Penelitian oleh Hilda Sulaiman, Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan selulosa tongkol jagung 0% memberikan nilai stabilitas tertinggi (2737 kg) dan nilai terendah (0.45%) (2109 kg). Nilai *density* tertinggi (0%) adalah 2.11 gr/cm³, dan nilai densitas terendah (0.45%) adalah 2.03 gr/cm³. Namun, hasil penelitian ini masih perlu dipelajari lebih lanjut.[1]. Berdasarkan kinerja *Marshall*, diketahui bahwa kadar aspal antara 5,5 hingga 6,5 persen mencapai semua ketentuan, dan setelah ditarik garis tengah berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai kadar aspal optimal sebesar 6%. Pengujian menunjukkan bahwa total variasi tumbukan mencapai persyaratan Bina Marga Tahun 2018 merujuk pada SNI 06-2489-1991 tentang uji pencampuran beraspal menggunakan Alat *Marshall*, dengan kehilangan campuran maksimal 20% dari total jumlah benda uji. Nilai ketahanan terbaik dicapai dengan tumbukan 2 x 75. [2]. Persentase sifat *Marshall* memperlihatkan jika komposisi dalam pencampuran bisa memberikan peningkatannya kemampuan perkerasan karena material pencampuran akan terlalu panas dan hangus, sehingga mudah berdeformasi, tidak stabil, dan meleleh. Pemadatan saat pencampuran aspal menunjukkan rongga udara serta angka kestabilan yang mengikuti aturan dengan jumlah tumbukan yang optimum yaitu 75 dan 80. Perkerasan laston AC-BC dapat kehilangan stabilitas dan kinerja karena perubahan suhu.[3]. Pengujian *Marshall* menghasilkan karakteristik *Stone Matrix Asphalt* kasar dengan kadar aspal 6,00 hingga 7,00% dengan kenaikan 0,25%. 7,00% adalah K.A.O untuk campuran SMA *Immersion Marshall* dan Stabilitas Sisa *Marshall* (SMS) sebanyak 97,53%, yang memenuhi minimal 90% sesuai dengan standar yang ditentukan. [4]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik *Marshall* campuran tidak terpengaruh secara signifikan oleh penambahan *fiber mesh*; penambahan *fiber mesh* meningkatkan *density*, menurunkan VIM dan VMA, dan meningkatkan nilai VFA. Nilai stabilitas dan MQ meningkat sampai batas optimal, tetapi turun kembali hingga nilai yang lebih rendah dari sampel tanpa *fiber mesh*. Kadar *fiber mesh* terbaik adalah 0,3, dengan variasi panjang 0,36 cm. Namun, tidak ada satu pun variasi yang menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi stabilitas SMA modifikasi yang minimal 750 kilogram. Pada kadar *fiber mesh* terbaik, nilai stabilitas tertinggi adalah 737,916 kilogram.[5]. Variasi penambahan serat selulosa yang memenuhi spesifikasi karakteristik *Marshall* berkisar antara 0,15% hingga 0,45%. Namun, karena kinerja kekuatan meningkat pada rentang ini, kadar serat selulosa yang ideal untuk ditambahkan pada campuran SMA adalah 0,15% hingga 0,3%. [6]. Nilai *Marshall konvensional* menunjukkan sifat pencampuran *Stone Matrix Asphalt* kasar untuk kadar 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 persen. [7]. Pengujian *marshall immersion* mulai kadar 6,00% hingga 7,00% menghasilkan persentase stabilitas, VIM, *flow* 98,54% dengan kadar aspal 7,00%, dan mencapai ketentuan yang sudah ditetapkan, ialah minimum lebih dari 90%. [8]. Menurut hasil penelitian, agregat yang berasal dari sungai Laeya mencapai syarat untuk dipakai dalam pembangunan jalan baru. Uji *marshall konvensional* dengan kadar aspal 6,00%, 6,25%, 6,50%, 6,75%, dan 7,00% mencipatakan angka stabilitas, VIM, *flow*, dan VMA yang mencapai

ketentuan. persentase stabilitas marshall sisa sebanyak 96,30% untuk kadar 7,00% mencapai standar yang sudah ditetapkan, yaitu minimum 90%. [9]. Hasil penelitian memperlihatkan jika total tumbukan yang baik dalam pemadatan beton aspal 2x100 untuk angka properti *Marshall* mencapai SNI 8198-2015. Jenis beton aspal ini mempunyai KAO 6%, kadar *Wetfix* Be 0,3%, total penumbukan optimum 2X100, VMA 17,50%; VFB 76,50%; VIM 4,00%; stabilitas 1800,00 kilogram, *Flow* 3,75 milimeter, dan *Marshall Quontient* 500,00 kilogram per milimeter.[10].

METODOLOGI

A. Lokasi Pengambilan Agregat

Agregat diambil di Sungai Jeneberang di wilayah Bontomarannu. Kendaraan beroda dua dan beroda empat dapat digunakan untuk mengambil material ini. Batu yang sudah terkumpul di pecahkan dan diuji di Laboratorium.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Material



Gambar 2. Proses Pengambilan Agregat

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

Ketika seluruh material yang dibutuhkan telah siap, langkah berikutnya ialah membuat Sampel. Aspal serta agregat dipanaskan sebelum menambah variasi tumbukan dengan suhu pemadatan yang sama. *filler*, aspal, dan agregat dan cetak ke dalam *mold* sebanyak 15 buah, seperti yang ditunjukkan ditabel berikut :

Tabel 1. Jumlah Sampel

Kadar Aspal (%)	Jumlah Variasi Tumbukan	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
		Jumlah Sampel (buah)
		<i>Pengujian Marshall Konvensional</i>
6,00	2x30	3
	2x40	3
	2x50	3
	2x60	3
	2x70	3
Total		15



Gambar 3. Sampel

C. Teknik Analisis Data

Terlebih dahulu, ditunjukkan hasil penelitian dalam bentuk gambar grafik serta tabel. Setelah itu, analisis dilaksanakan menurut tujuan studi dan rumusan yang telah direncanakan.

- a. Karakteristik Pencampuran *Stone Matrix Asphalt* kasar
 Pengujian *Marshall Konvensional* dapat digunakan agar diketahui sifat pencampuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar dengan batu Sungai Jeneberang. Nilai stabilitas, *flow*, VIM, dan VMA didapat.
- b. Pengaruh Penambahan Jumlah Variasi Tumbukan
 Agar diketahui apa yang mempengaruhi variasi jumlah tumbukan untuk sifat pencampuran, penelitian ini akan menyelidiki apakah nilai stabilitas, *flow*, VIM, dan VMA mencapai ketentuan Bina Marga 2018 sesuai SNI 06-2489-1991 tentang uji pencampuran beraspal menggunakan alat *Marshall*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Material

Tabel 2. Karakteristik Agregat

No	Pengujian	Metode	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018		Satuan	Hasil Penelitian	Keterangan
			Min	Max			
Keausan Agregat							
1	Fraksi A	SNI 2417:2008	-	40	%	4,96	Memenuhi
	Fraksi B					4,48	
	Fraksi C					4,20	
	Fraksi D					4,90	
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar							
2	Bulk	SNI 1969:2016	2,5	-	%	2,64	Memenuhi
	SSD					2,69	
	Apparent Penyerapan					2,77	
						1,86	
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus							
		SNI 1970:2016	2,5	-	%	2,58	Memenuhi
						2,61	
						2,66	
						1,11	
Analisa Saringan							
3	3/4"	SNI ASTM C136:20 12	90	100	%	94,92	Memenuhi
	1/2"					77,97	
	3/8"					35,59	
	No.4					22,88	
	No.8					19,49	
	No.16					-	
	No.30					-	
	No.50					-	
	No.100					-	
	No.200					8	
PAN	0,00						
4	Uji Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:20 12	-	10	%	8	Memenuhi
Pemeriksaan Kadar Lumpur							
5	Sand Equivalent	SNI 03-4428-1997	60	-	%	96,26	Memenuhi
	Kadar Lumpur					3,74	
Partikel Pipih							
	3/4"	ASTM D 4791-	-	10	%	7,97	
	1/2"					8,99	
	3/8"					4,81	
	4"					0,00	

6	Partikel Lonjong	10					Memenuhi
	3/4"	Perbandingan 1:5	-	10	%	8,68	
	1/2"					9,77	
	3/8"					7,89	
	4"					0,00	
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 2439-2011	95	-	%	>98	Memenuhi
8	Pemeriksaan Berat Jenis Filler Semen	SNI ASTM 136:2012	-	-	%	3,09	Memenuhi

Tabel 3. Karakteristik Filler

Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi Bina Marga		Satuan	Ket
			Min	Maks		
Berat Jenis Filler	SNI 03-1969-1990	3,26	2.5	-	%	Memenuhi standar
Rata-Rata		3,26				

Tabel 4. Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Metode	Spesifikasi Bina Marga		Satuan	Hasil Pengujian	Keterangan
		Min	Maks			
Penetrasi pada 25°C	SNI 2456-2011	60	70	(0,1) mm	65,7	Memenuhi
Daktilitas pada 25°C	SNI 2432-2011	≥ 100		Cm	150	Memenuhi
Titik Lembek (°C)	SNI 2434-2011	≥ 48		°C	50,2	Memenuhi
Titik Nyala (°C)	SNI 2433-2011	≥ 232		°C	240	Memenuhi
Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011	≥ 1,0			1.015	Memenuhi
Berat Yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8		%	0.434	Memenuhi
Penetrasi pada TFOT	SNI 2456-2011	≥ 54		% semula	84,7	Memenuhi

B. Sifat Campuran

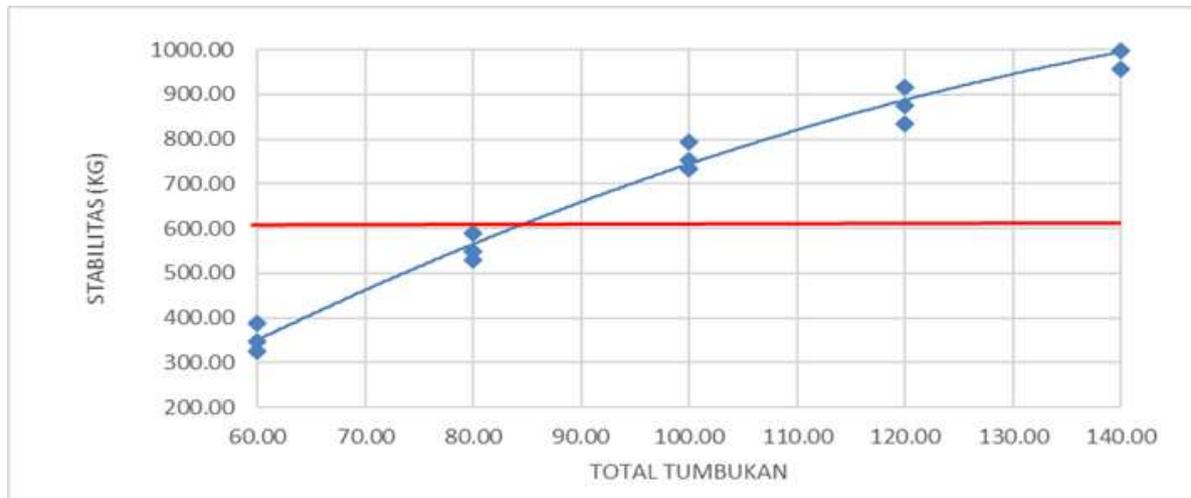
a. Analisa Terhadap Stabilitas

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

Tabel 5. Nilai Stabilitas dari uji Sifat *Marshall Konvensional Stone Matrix Asphalt Kasar*

Total Tumbukan	2 x30	2 x40	2 x50	2 x60	2 x70
----------------	-------	-------	-------	-------	-------

	325.83	529.47	733.12	834.94	957.13
Stabilitas	346.19	549.84	753.48	875.67	997.85
	386.92	590.57	794.21	916.40	1038.58
Rata-Rata	352.98	556.63	760.27	875.67	997.85
Persyaratan	Min 600 (kg)				



Gambar 4. Hubungan Antara Jumlah Tumbukan dan Stabilitas

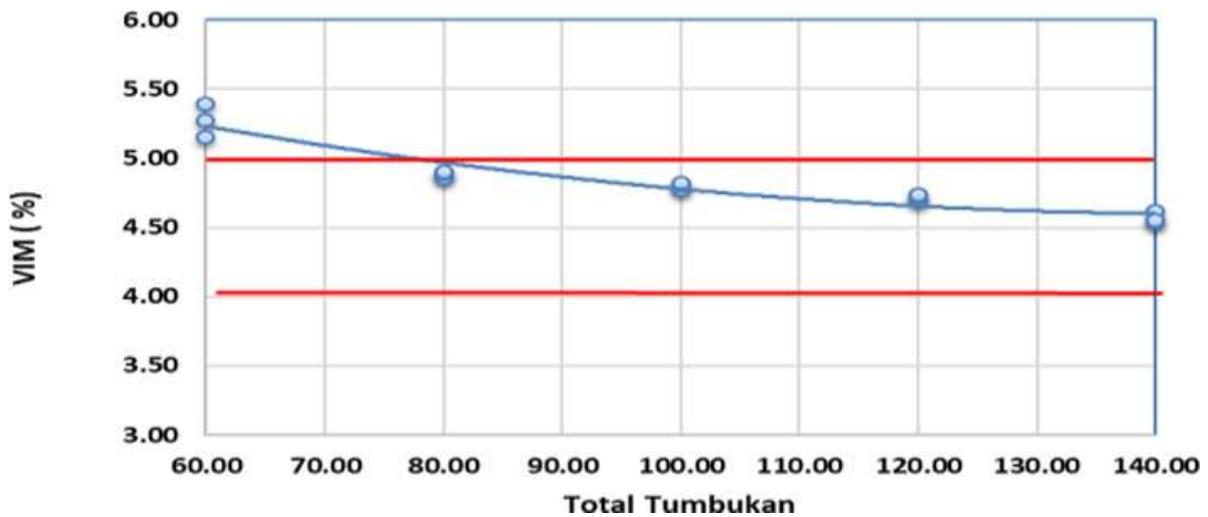
Dengan menggunakan variasi jumlah tumbukan 60 sampai 140 untuk campuran SMA kasar memperlihatkan nilai stabilitas cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah tumbukan pemadatan. Jumlah tumbukan pemadatan tinggi mengakibatkan campuran mengalami ikatan yang kuat sehingga antar agregat dapat mengunci satu dengan yang lain untuk meningkatkan daya ikat. Nilai stabilitas campuran SMA kasar tertinggi didapatkan pada total 140 tumbukan dengan nilai 997,85 kg dan nilai stabilitas terendah didapatkan pada 60 total tumbukan dengan hasil 352,98 kg. Nilai stabilitas terhadap 60 dan 80 tumbukan tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 karena tidak mencapai nilai minimal yang telah ditentukan yaitu 600 kg dikarenakan jumlah tumbukan yang rendah membuat ikatan agregat dan aspal tidak dapat mengunci satu sama lain sehingga tidak dapat meningkatkan daya ikat.

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. Nilai VIM dari Uji sifat *Marshall Konvensional Stone Matrix Asphalt Kasar*

Total Tumbukan	2x 30	2x40	2x 50	2x 60	2x 70
	5.39	4.86	4.78	4.69	4.61
VIM	5.15	4.88	4.80	4.71	4.53
	5.27	4.90	4.82	4.73	4.55
Rata-rata	5.27	4.88	4.80	4.71	4.56
Persyaratan	4 - 5 (%)				



Gambar 5. Grafik Hubungan VIM terhadap Variasi Jumlah Tumbukan

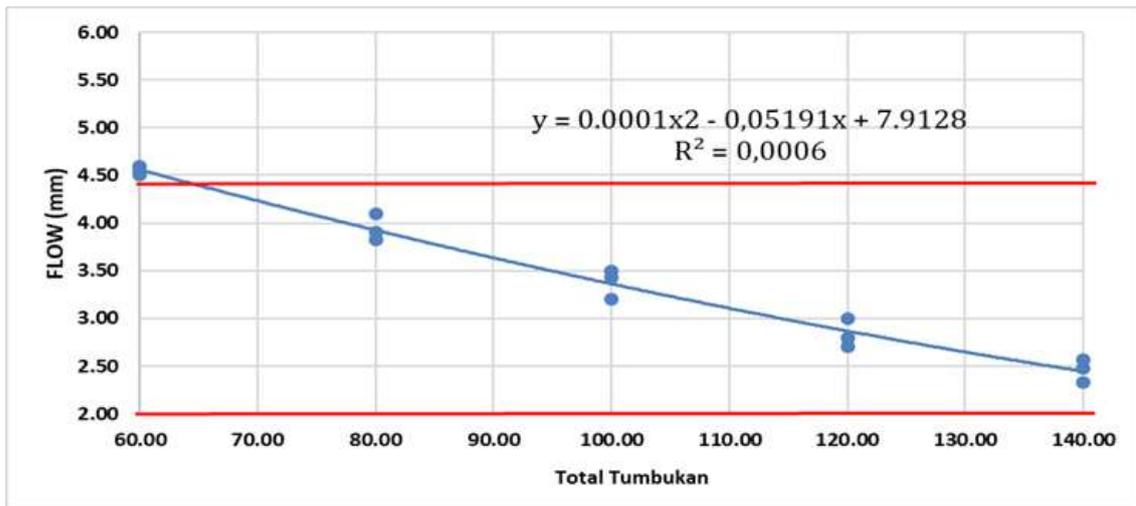
Penggunaan kadar aspal 6,00% memperlihatkan hubungan total tumbukan pemadatan terhadap nilai VIM pada campuran SMA kasar semakin menurun dengan bertambahnya jumlah tumbukan pemadatan atau dengan kata lain nilai VIM yang semakin menurun, pada jumlah tumbukan pemadatan yang meningkat. Nilai VIM pada 60 tumbukan dengan nilai rata – rata 5,27 % tidak mencapai persyaratan yang ditentukan karena melebihi batas tertinggi 5% yang telah ditetapkan dikarenakan tumbukan pemadatan rendah membuat campuran menjadi kurang padat, sehingga tidak dapat menutupi rongga yang berada di dalam campuran.

c. Analisis terhadap Flow

Persentase flow (kelelahan) mengalami penurunan dengan ditambahkannya total penumbukan pemadatan, yang berkisar antara 60 dan 140 tumbukan, dengan rata-rata 4,55% hingga 2,46%. Ini disebabkan oleh fakta bahwa semakin banyak tumbukan pemadatan yang dilakukan, campuran beton aspal menjadi lebih padat dan rongga-rongganya menjadi lebih kecil, sehingga kelenturannya menurun saat dibebani. Untuk total tumbukan 60 tidak mencapai persyaratan yang telah ditetapkan yaitu melewati minimum 4,5% Hal ini dikarenakan kurangnya tumbukan pemadatan membuat campuran tidak tercampur secara merata yang menyebabkan campuran menjadi retak.

Tabel 7. Angka Flow dari Pemeriksaan Karakteristik Marshall Konvensional Stone Matrix Asphalt Kasar

Total Tumbukan	60	80	100	120	140
Flow	4.55	4.10	3.50	3.00	2.57
	4.60	3.83	3.43	2.70	2.48
Rata-rata	4.50	3.90	3.20	2.80	2.33
Rata-rata	4.55	3.94	3.38	2.83	2.46
Ketentuan	2 - 4,5 (mm)				



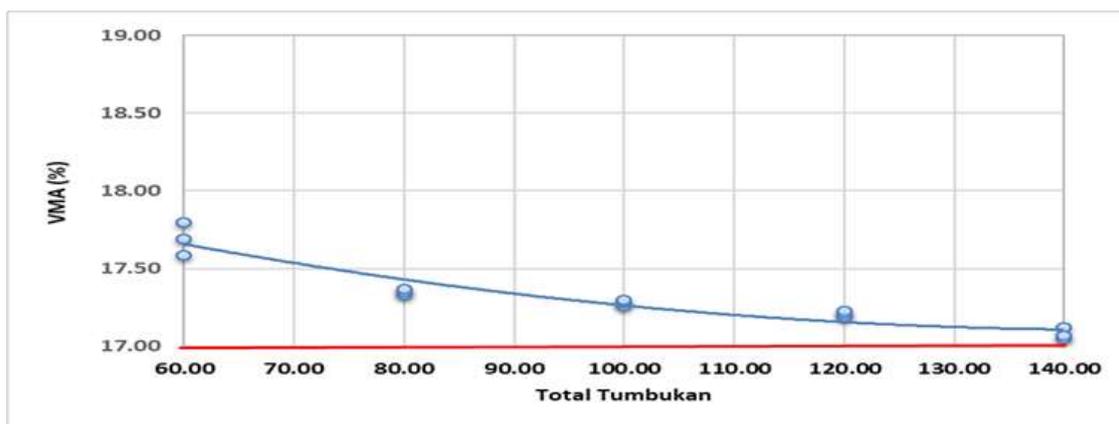
Gambar 6. Grafik Hubungan *Flow* terhadap Variasi Jumlah Tumbukan

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. Nilai VMA dari Uji Sifat *Marshall Stone Matrix Asphalt* Kasar

Total Tumbukan	2 x 30	2 x 40	2x 50	2 x 60	2x 70
VMA	17.80	17.34	17.26	17.19	17.12
	17.59	17.35	17.28	17.21	17.05
	17.69	17.37	17.30	17.23	17.07
Rata-rata	17.69	17.35	17.28	17.21	17.08
Persyaratan	Min 17 (%)				



Gambar 7. Grafik Hubungan VMA dengan Variasi Jumlah Tumbukan

Hasil penelitian memperlihatkan jika persentase VMA pada pencampuran beraspal menurun seiring dengan jumlah tumbukan total. Untuk tumbukan total 60 hingga 140, nilai VMA rata-rata 17,69% menjadi 17,08 %, yang menunjukkan bahwa nilai minimal 17% masih mencapai ketentuan.

PEMBAHASAN

1. Stabilitas

Pengaruh variasi tumbukan terhadap nilai stabilitas bisa diperhatikan dalam Gambar 4 dan Tabel 5

Nilai stabilitas meningkat dengan jumlah tumbukan pemadatan yang lebih besar, mulai dari 2x30 hingga 2x70. Ini disebabkan oleh fakta bahwa dengan tumbukan 2x70, agregat dan aspal akan lebih mengikat (konsistensi rendah) dan masuk dengan lebih baik di antara rongga agregat, menciptakan lebih banyak ruang kosong untuk agregat. Dan menimbulkan peningkatan nilai stabilitas. Stabilitas campuran pada pemadatan 2x50 hingga 2x70 memenuhi ketentuan, tetapi tidak memenuhi pada tumbukan 2x30 dan 2x40. Stabilitas maksimum ditemukan pada tumbukan 2x70 dengan nilai stabilitas sebesar 997,85 dan mencapai stabilitas minimum 600kg pada tumbukan 2x43.

2. VIM (Voids in Mix)

Pengaruh variasi tumbukan terhadap nilai VIM (*Vim in Mixture*) bisa diperhatikan dalam Gambar 5 dan Tabel 6. Nilai VIM menurun seiring dengan jumlah tumbukan karena tingkat kepadatan yang dihasilkan lebih tinggi pada jumlah tumbukan yang tinggi, yang mengakibatkan rongga dalam campuran yang lebih kecil. Dengan kata lain, dengan nilai VIM yang lebih tinggi, aspal lebih sulit menyelimuti agregat, sehingga agregat dan aspal tidak dapat menyatu dengan baik. VIM pada jumlah tumbukan 2x40 sampai 2x70 masih memenuhi persyaratan, sebesar 4% – 5%, sedangkan pada jumlah tumbukan 2x30 tidak memenuhi spesifikasi karena melewati batas maksimum yaitu dengan nilai VIM 5,27 %. Menurut persamaan garis kurva, nilai VIM memiliki batas minimum 4,00% pada jumlah tumbukan 2x74 dan batas maksimum 5,00 pada jumlah tumbukan 2x34.

3. Flow

Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai *Flow* bisa diperhatikan dalam Gambar 6 dan Tabel 7 Nilai *flow* (kelelehan) menurun dengan jumlah tumbukan yang lebih besar, mulai dari 2 x 30 sampai 2 x 70. Ini disebabkan oleh fakta bahwa karena jumlah tumbukan yang lebih besar, campuran beton aspal menjadi lebih padat dan rongga-rongganya menjadi lebih kecil, sehingga kelenturannya menurun saat dibebani. Menurut persentase *flow* yang masih mencapai persyaratan yaitu pada jumlah tumbukan 2x40 sampai 2x70 maka perubahan bentuk (deformasi plastis) akibat pembebanan. Menurut persamaan garis kurva didapatkan persentase *Flow* sampai di batas terendah pada 169 tumbukan dengan nilai 2,00% sedangkan *Flow* batas maksimum berada pada 60 tumbukan dengan nilai 4,50 %.

4. VMA (Voids in Mineral Aggregate)

Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai VMA (*Void in Mineral*) bisa diperhatikan dalam Gambar 7 dan Tabel 8. *Void in mineral aggregate* (VMA), juga dikenal sebagai rongga udara di antara butiran agregat, terbentuk pada pencampuran beton aspal padat tanpa selimut aspal. Jika agregat yang digunakan bergradasi terbuka, rongga udara di antara agregat akan meningkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan jumlah tumbukan pada campuran beraspal, nilai VMA menurun. Nilai VMA yang berkisar antara 2x30 dan 2x70 masih memenuhi standar minimal 17%. Menurut garis kurva menghasilkan persentase VMA sampai dibatas minimum dengan jumlah tumbukan 2x75 dengan angka 17%.

KESIMPULAN

1. Dari hasil analisis penelitian pencampuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar untuk kadar 6,00 %, pada variasi Jumlah Tumbukan 2x50, 2x60, dan 2x70, pengujian *Marshall Konvensional* didapat persentase karakteristik pencampuran, seperti stabilitas, *flow*, VIM, dan VMA, yang mencapai persyaratan Bina Marga Tahun 2018 merujuk pada SNI 06-2489-1991 tentang uji pencampuran beraspal menggunakan Alat *Marshall* sedangkan jumlah tumbukan yang tidak memenuhi terhadap stabilitas, *flow*, VIM yaitu pada tumbukan 2x30 sampai dengan 2x40.
2. Peningkatan Jumlah Tumbukan dalam pencampuran *Stone Matrix Asphalt* dengan memakai metode *Marshall Konvensional*, di mana persentase Stabilitas bertambah sementara angka *flow*, VIM, dan

VMA mengalami penurunan.

REFERENSI

- [1] H. S. Nur dan L. M. F. Muharam, "Analisis Karakteristik Campuran Aspal Panas Split Mastic Asphalt (SMA) menggunakan Bahan Tambah Buton Granular Asphalt (BGA) dan Tongkol jagung," *JMI*, vol. 11, no. 2, pp. 59–62, Oct. 2022, doi: 10.55340/jmi.v11i2.998.
- [2] M. Y. Hutapea, "Analisis Variasi Jumlah Tumbukan Pada Karakteristik Aspal Berongga Yang Menggunakan Substitusi Limbah Beton," *SIPIL SAINS*, vol. 13, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.33387/sipilsains.v13i1.3711.
- [3] L. Yani, R. Rahmaniah, dan A. Asriani, "Analisis variasi suhu 150°C, 160°C, 170°C dalam variasi jumlah tumbukan terhadap spesifikasi Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)," *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknol.*, vol. 17, no. 2, pp. 220–225, Aug. 2023, doi: 10.24252/teknosains.v17i2.36658.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] A. M. Bramasta, A. Hasanuddin, dan L. A. Wicaksono, "Marshall Performance Of Split Mastic Asphalt Mixtures (Sma) Using Natural Cellulose Fiber Corn Cob," *JRSL*, vol. 4, no. 1, p. 51, Oct. 2020, doi: 10.19184/jrsl.v4i1.15892.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] R. Palebangan, Alpius, dan Elizabeth, "Pemanfaatan Batu Sungai Laeya Kabupaten Konawe Selatan untuk Stone Matrix Asphalt Kasar," *pcej*, vol. 4, no. 4, pp. 591–599, Dec. 2022, doi: 10.52722/pcej.v4i4.542.
- [10] E. Wiyono dan A. Susilowati, "Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pematatan Campuran Beton Aspal Menggunakan Bahan Tambah Anti Stripping," *cmj*, vol. 2, no. 1, pp. 33–39, Apr. 2020, doi: 10.32722/cmj.v2i1.2755.