



Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA Dan VFB pada Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA)

Winda P. Kojongian^{#a}, Joice E. Waani^{#b}, Mecky R. E. Manoppo^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^awindaptrc@gmail.com, ^bjoicewaani@yahoo.com, ^cmeckymanoppo@yahoo.com

Abstrak

Stone Matrix Asphalt (SMA) merupakan campuran beraspal panas dengan gradasi *gap-graded* yang dirancang membentuk rangka agregat kuat untuk menahan beban lalu lintas berat, namun kinerjanya sangat dipengaruhi oleh energi pemadatan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pemadatan kurang dan berlebih terhadap karakteristik *Marshall* campuran SMA serta menentukan jumlah tumbukan minimum yang masih memenuhi spesifikasi. Metode penelitian menggunakan enam variasi jumlah tumbukan, yaitu 2×20, 2×30, 2×40 (di bawah standar 2×50), serta 2×60 dan 2×70 (di atas standar), dengan pengujian *Marshall* untuk mengevaluasi stabilitas, *flow*, VIM, VMA dan VFB serta menentukan kadar aspal optimum (KAO). Hasil menunjukkan bahwa variasi 2×20, 2×30, 2×40 tidak memenuhi spesifikasi akibat nilai VIM melebihi batas, sedangkan pada 2×42 diperoleh VIM sebesar 4,893% yang telah berada dalam rentang spesifikasi 3-5%. Variasi 2×60 dan 2×70 seluruhnya memenuhi spesifikasi. Dengan demikian, jumlah tumbukan 2×42 direkomendasikan sebagai batas minimum pemadatan yang masih mampu menghasilkan campuran SMA sesuai spesifikasi, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi tanpa mengurangi kinerja campuran.

Kata kunci: SMA, pemadatan, Karakteristik Marshall, jumlah tumbukan

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Peningkatan beban lalu lintas di Indonesia menuntut penggunaan material perkerasan berkinerja tinggi dan tahan lama. *Stone Matrix Asphalt* (SMA) merupakan campuran beraspal panas bergradasi *gap-graded* yang dirancang membentuk rangka agregat kuat untuk menahan beban berat (Sukirman, 2007). Kinerja SMA sangat dipengaruhi oleh energi pemadatan yang direpresentasikan melalui jumlah tumbukan pada uji *Marshall*, karena variasi tumbukan berdampak langsung pada stabilitas, *flow*, VIM, VMA dan VFB (Tahir dkk., 2018). Pemadatan yang tidak tepat dapat memicu deformasi permanen, retak, bleeding, maupun penurunan durabilitas (Hariyadi & Hadiastari, 2022). Oleh sebab itu, pengendalian energi pemadatan menjadi aspal krusial dalam menjamin mutu perkerasan.

Parameter *Marshall* digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas campuran. Stabilitas dan *flow* mencerminkan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas campuran, sedangkan VIM, VMA dan VFB berkaitan dengan karakteristik rongga yang memengaruhi durabilitas, ketahanan terhadap oksidasi, serta potensi *bleeding* atau *rutting*. Direktorat Jenderal Bina Marga (2025) menetapkan jumlah tumbukan standar SMA sebesar 2×50 sebagai kompromi antara stabilitas dan fleksibilitas. Namun, penelitian terdahulu umumnya berfokus pada variasi di atas standar (*over-compaction*), sementara kajian terhadap kondisi di bawah standar (*under-compaction*) masih terbatas, padahal kondisi tersebut kerap terjadi di lapangan.

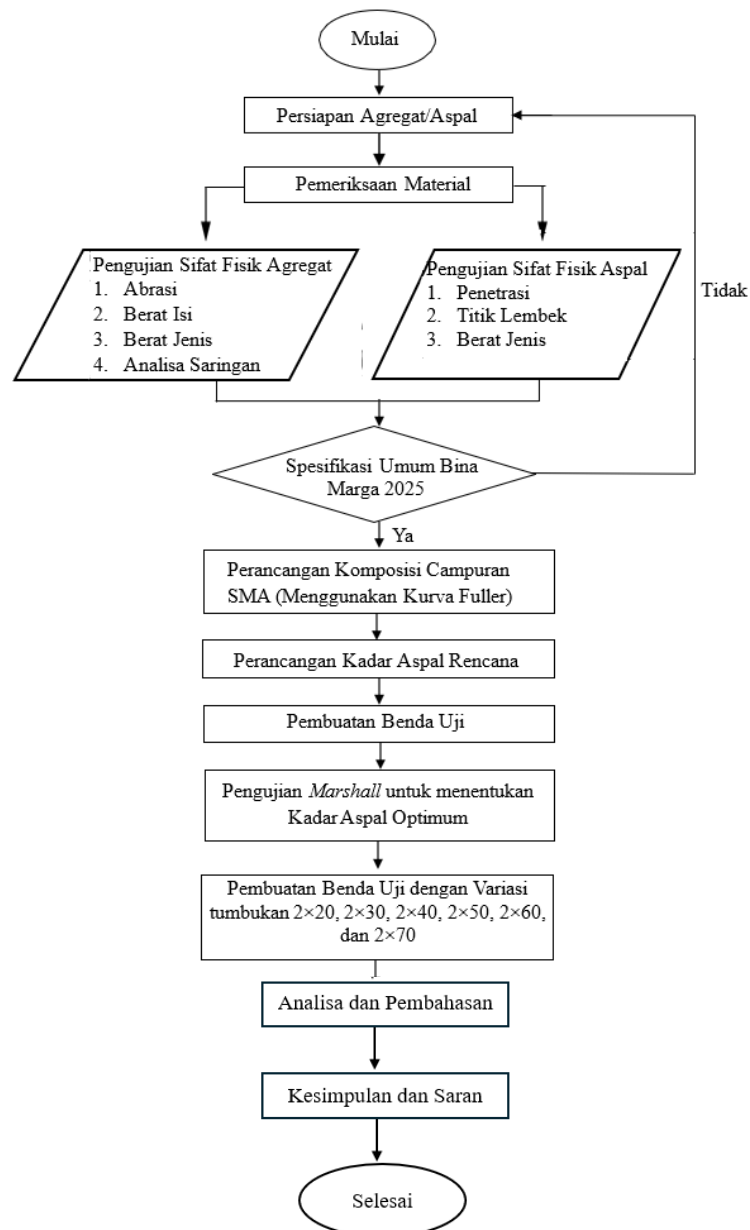
Berdasarkan kesenjangan tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah: bagaimana

pengaruh variasi jumlah tumbukan terhadap parameter *Marshall* campuran SMA, serta berapa batas minimum tumbukan yang masih memenuhi spesifikasi? Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi tumbukan 2×20 , 2×30 , 2×40 , 2×50 , 2×60 dan 2×70 terhadap stabilitas, *flow*, VIM, VMA dan VFB pada campuran SMA Halus berdasarkan spesifikasi Bina Marga (2025)

Penelitian ini berkontribusi secara ilmiah dalam memperkaya kajian kontrol energi pemadatan pada SMA dengan membandingkan kondisi di bawah, sesuai dan di atas standar. Hasilnya diharapkan memberikan evaluasi yang lebih komprehensif dalam pengendalian mutu pemadatan, baik di laboratorium maupun pada pelaksanaan konstruksi jalan.

2. Metode Penelitian

2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Material

2.2. Alur Penelitian

Berdasarkan bagan alir di atas, tahapan analisa data yang akan dilakukan yakni:

A. Persiapan dan Pemeriksaan Awal

Material yang digunakan berasal dari Kema, Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Untuk memastikan bahan agregat dan aspal yang digunakan memenuhi standar, dilakukan persiapan dan pemeriksaan. Pemeriksaan awal mencakup pemeriksaan terhadap agregat dan aspal yang akan digunakan. Pemeriksaan agregat berupa Pengujian Abrasi, Berat Isi, Berat Jenis dan Analisa Saringan. Sedangkan pemeriksaan aspal berupa Penetrasi, Titik Lembek dan Berat Jenis.

B. Perancangan Komposisi Campuran Aspal

Perancangan ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komposisi agregat dan aspal yang digunakan memenuhi standar spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga. Sebelum perencanaan campuran, terlebih dahulu pemeriksaan mutu bahan dicek terhadap spesifikasi jika telah memenuhi syarat atau tidak.

Tahapan dalam perencanaan campuran beraspal panas di laboratorium terdiri dari beberapa langkah berikut:

1. Penentuan komposisi gradasi agregat gabungan yang mengacu pada batasan gradasi *Stone Matrix Asphalt* (SMA) sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. Dalam penelitian ini kombinasi agregat akan dirancang menggunakan kurva tengah Fuller, maka setiap nilai diambil dari titik tengah rentang spesifikasi.
2. Membuat campuran rencana, terdiri dari penentuan kadar aspal rencana dan penentuan persentase kebutuhan bahan. Hasil perhitungan kadar aspal rencana kemudian akan dibuat 5 variasi kadar aspal, dimana 2 variasi di atas kadar aspal rencana dan 2 variasi di bawah rencana dengan selisih masing-masing variasi kadar aspal 1%. Tiap variasi kadar aspal akan dibuat 3 benda uji, dengan kapasitas cetakan tiap benda uji adalah 1200 gr.
3. Menunjukkan hasil dari perancangan campuran SMA yang dibuat mengikuti spesifikasi Bina Marga 2025 ke Dosen Pembimbing sebagai rencana campuran kerja yang akan dilakukan.

C. Pembuatan Benda Uji dan Uji Marshall

Setelah semua persiapan dan perancangan memenuhi spesifikasi yang ada, dilakukan pengujian *Marshall* untuk memperoleh kadar aspal optimum, yaitu kadar aspal yang menghasilkan keseimbangan terbaik antara stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan VFB sesuai dengan standar Bina Marga. Setelah kadar aspal optimum diperoleh, penelitian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji untuk mengkaji pengaruh variasi jumlah tumbukan terhadap sifat campuran SMA. Dalam penelitian ini digunakan variasi jumlah tumbukan 2×20, 2×30, 2×40, 2×50, 2×60, dan 2×70. Dalam setiap variasi akan dibuat 3 sampel uji, maka dari itu jumlah sampel uji yang akan digunakan adalah sebanyak 18 sampel.

D. Analisa Hasil Pengujian dan Pembahasan

Melalui pengujian *Marshall* didapatkan nilai parameter utama campuran, yaitu stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan VFB. Data hasil pengujian tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menganalisis bagaimana variasi jumlah tumbukan memengaruhi karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA).

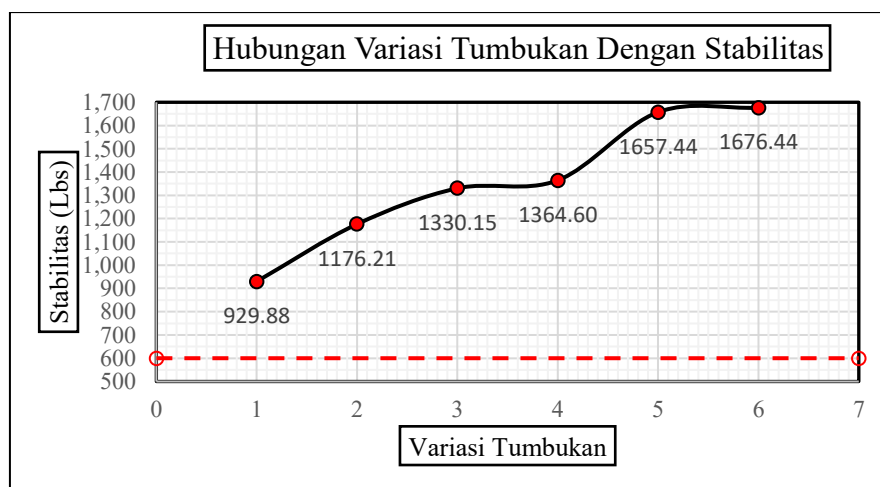
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji Marshall terhadap Variasi Jumlah Tumbukan

Tabel 1. Hasil Pengujian Marshall

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Variasi Tumbukan					
		2×20	2×30	2×40	2×50	2×60	2×70
Stabilitas (Kg/mm)	Min. 600	929,88	1176,21	1330,15	1364,60	1657,44	1676,44
Flow (mm)	2,0 - 4,5	4,101	3,629	3,506	3,375	3,349	3,302
VMA(%)	Min. 17	22,001	19,556	18,938	18,537	18,507	17,427
VIM(%)	3,0 - 5,0	8,664	5,801	5,077	4,608	4,572	3,309
VFB	-	60,648	70,337	73,200	75,205	75,376	81,043
Rasio VCmix/VC Adrc	Maks. 1,0	0,454	0,434	0,431	0,427	0,429	0,416
Draindown	Maks 0,3	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Kepadatan (gr/cc)	-	2,125	2,192	2,208	2,219	2,220	2,250

A. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Stabilitas

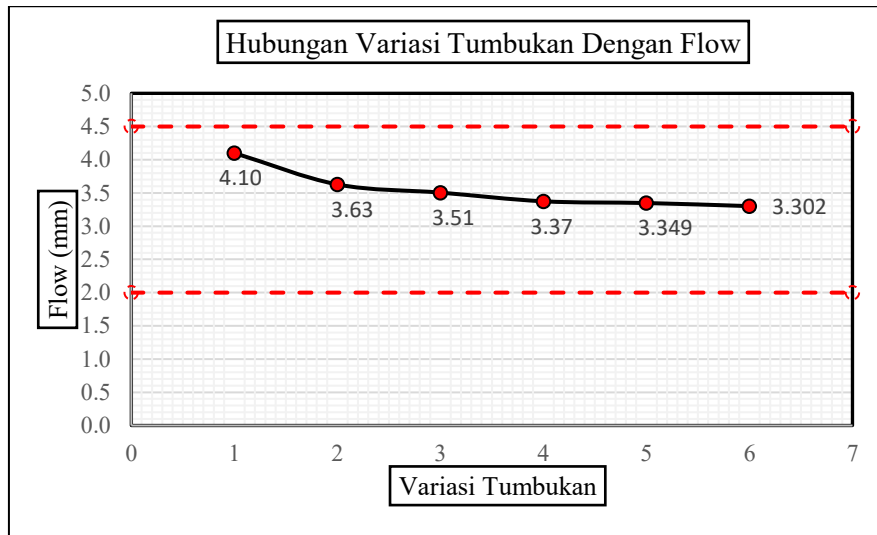


Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Stabilitas

Variasi jumlah tumbukan antara 2×20 hingga 2×70 pada campuran SMA kasar menunjukkan bahwa nilai stabilitas cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah tumbukan pemadatan. Semakin tinggi jumlah tumbukan yang diberikan, semakin kuat ikatan yang terbentuk dalam campuran, sehingga agregat dapat saling mengunci dengan lebih baik dan menghasilkan daya ikat yang lebih besar.

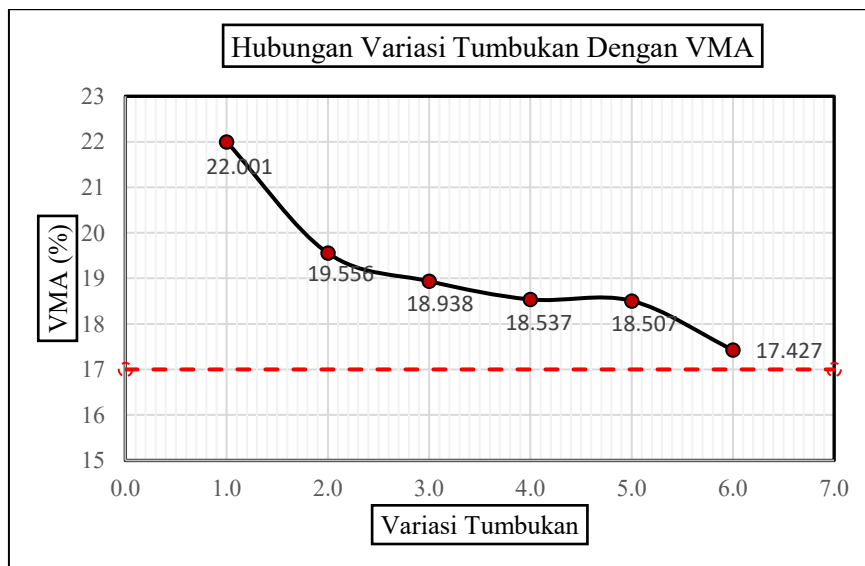
B. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Flow

Berdasarkan grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Flow (Nilai Kelelehan) cenderung menurun seiring bertambahnya tumbukan. Penurunan ini terjadi karena semakin besar jumlah tumbukan yang diberikan, campuran aspal menjadi semakin padat dan rongga udara dalam campuran semakin berkurang, sehingga fleksibilitasnya ketika menerima beban juga menurun.



Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Flow

C. Hubungan Variasi Tumbukan dengan VMA

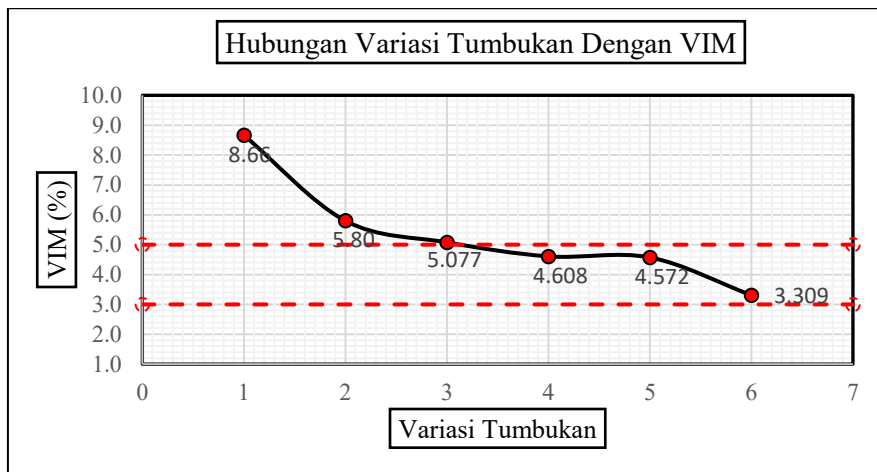


Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VMA

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase VMA pada campuran beraspal mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya jumlah tumbukan pemadatan. Untuk nilai VMA terendah sebesar 17,247 pada Variasi 6 sedangkan, nilai VMA tertinggi 22,001 pada Variasi 1. Penurunan VMA ini terjadi karena semakin banyak tumbukan yang diberikan, campuran menjadi lebih padat sehingga ruang antar butiran agregat berkurang.

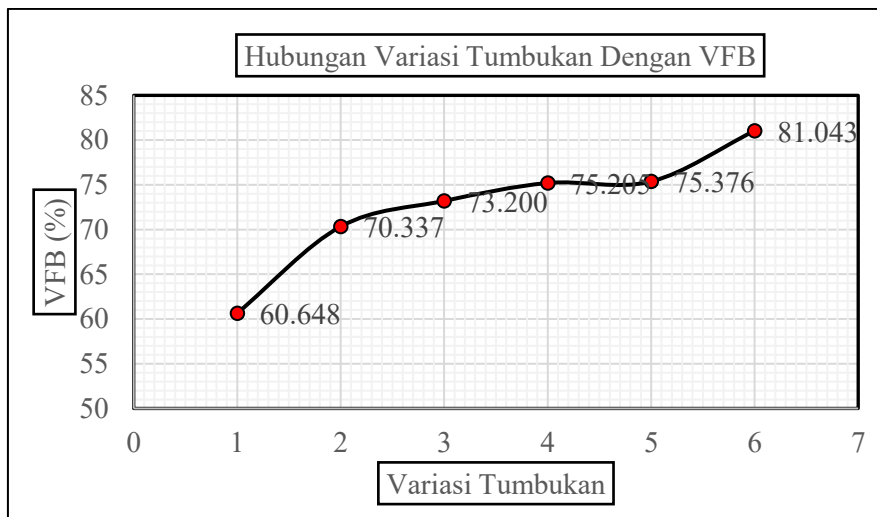
D. Hubungan Variasi Tumbukan dengan VIM

Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VIM menunjukkan bahwa nilai VIM pada campuran menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya jumlah tumbukan. Dengan kata lain, peningkatan jumlah tumbukan pemadatan menyebabkan nilai VIM semakin rendah. Hal ini dikarenakan jumlah tumbukan rendah membuat campuran menjadi kurang padat, sehingga tidak dapat menutupi rongga yang berada di dalam campuran.



Gambar 6. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VIM

E. Hubungan Variasi Tumbukan dengan VFB

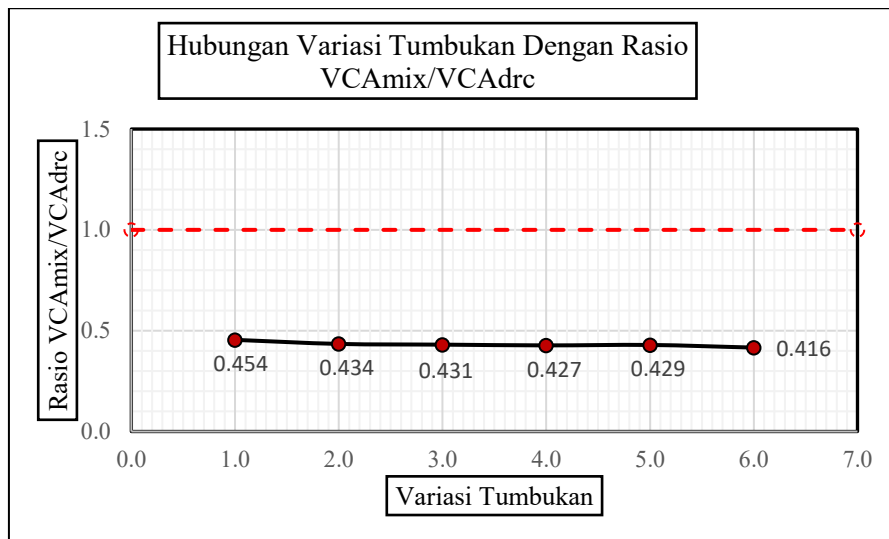


Gambar 7. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VFB

Berdasarkan grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VFB dapat dilihat bahwa semakin tinggi jumlah tumbukan maka nilai VFB cenderung naik. Kenaikan nilai VFB seiring bertambahnya jumlah tumbukan terjadi karena pemadatan yang lebih banyak membuat campuran menjadi lebih padat dan rongga udaranya berkurang. Dengan berkurangnya rongga udara, lebih banyak aspal yang mengisi ruang di antara agregat, sehingga nilai VFB menjadi lebih tinggi

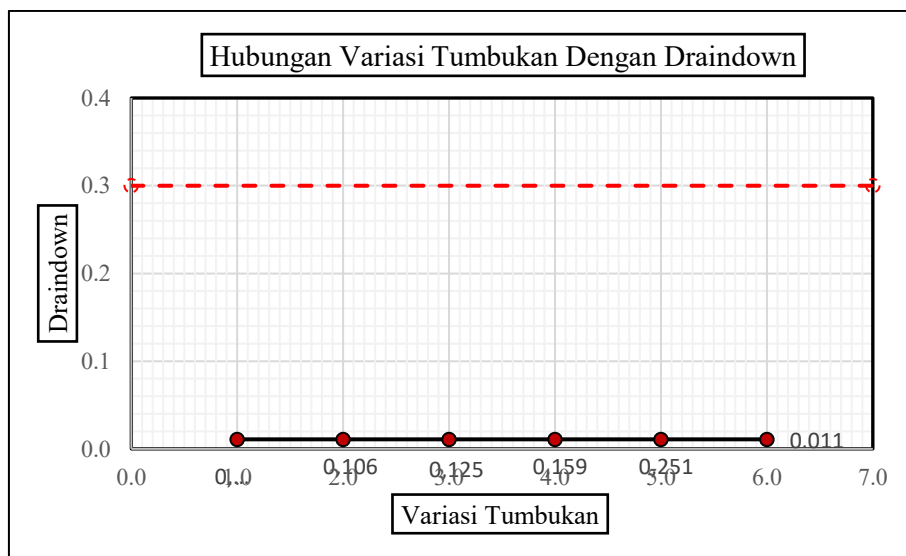
F. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Rasio VCmix/VCA_{dr}c

Pada grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Rasio VCmix/VCA_{dr}c dapat dilihat bahwa seluruh variasi menunjukkan nilai yang tidak melebihi batas atas. Penurunan nilai rasio seiring meningkatnya jumlah tumbukan terjadi karena semakin banyak tumbukan yang diberikan pada campuran, rongga udara dalam campuran semakin terkompaksi dan berkurang. Dengan berkurangnya volume rongga udara, proporsi volume aspal yang tersisa dibandingkan volume aspal maksimal VCA_{dr}c juga menurun, sehingga rasio VCmix/VCA_{dr}c menjadi lebih kecil pada variasi tumbukan yang lebih tinggi.



Gambar 8. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VCAmix/VCAdrC

G. Hubungan Variasi Tumbukan dengan *Draindown*

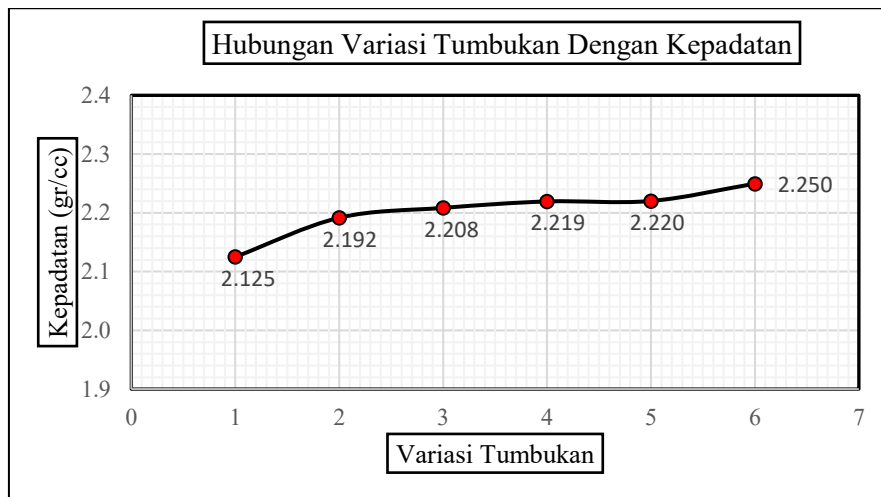


Gambar 9. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Draindown

Pada grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Draindown dapat dilihat bahwa nilai draindown tidak ada yang berubah pada variasi 1 sampai 6. Hal ini dikarenakan jumlah tumbukan tidak berpengaruh terhadap nilai draindown, karena kadar aspal yang di gunakan sama, yaitu 7,2%.

H. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kepadatan

Berdasarkan grafik Hubungan Variasi Jumlah Tumbukan dengan Kepadatan dapat dilihat bahwa nilai kepadatan cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah tumbukan. Kenaikan kepadatan seiring bertambahnya jumlah tumbukan terjadi karena semakin banyak tumbukan, campuran mengalami pemadatan yang lebih optimal. Pemadatan ini mengurangi rongga udara dalam campuran dan meningkatkan pengisian agregat serta aspal, sehingga volume total material menjadi lebih rapat dan nilai kepadatan meningkat.



Gambar 10. Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kepadatan

3.2. Variasi Kadar Aspal pada Tumbukan 2×70

Setelah diperoleh hasil pengujian *Marshall* pada variasi jumlah tumbukan, penelitian dilanjutkan dengan melakukan variasi kadar aspal pada jumlah tumbukan 2×70 . Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi kemungkinan penurunan kadar aspal tanpa mengurangi kinerja campuran, sehingga diharapkan campuran tetap memenuhi spesifikasi yang ditetapkan sekaligus berpotensi menekan biaya produksi. Pada penelitian ini kadar aspal divariasikan dari 6,5%, 6,6%, 6,7%, 6,8%, 6,9%, 7%, 7,1% dan 7,2%.

Tabel 2. Hasil Uji *Marshall* terhadap Variasi Kadar Aspal

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	Variasi Kadar Aspal (%) Tumbukan 70							
		6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2
Stabilitas (Kg/mm)	Min. 600	881,61	995,15	1108,70	1222,25	1335,80	1449,34	1562,89	1676,44
Flow (mm)	2,0 - 4,5	3,961	3,867	3,773	3,679	3,584	3,490	3,396	3,302
VMA(%)	Min. 17	17,825	17,769	17,712	17,655	17,598	17,541	17,484	17,427
VIM(%)	3,0 - 5,0	5,398	5,099	4,801	4,503	4,204	3,906	3,60704	3,30855
VFB	-	69,786	71,394	73,002	74,610	76,218	77,826	79,435	81,043
Rasio VCmix/VCArc	Maks. 1,0	0,426	0,424	0,423	0,422	0,420	0,419	0,417	0,416
Draindown	Maks 0,3	0,100	0,087	0,074	0,062	0,049	0,036	0,024	0,011
Kepadatan (gr/cc)	-	2,222	2,226	2,230	2,234	2,238	2,242	2,246	2,250

3.3. Variasi Jumlah Tumbukan antara 2×40 hingga 2×50

Berdasarkan hasil pengujian variasi jumlah tumbukan awal, diketahui bahwa pada jumlah tumbukan 2×40 campuran belum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, sedangkan pada jumlah tumbukan 2×50 campuran telah memenuhi persyaratan. Kondisi ini menunjukkan bahwa batas pemenuhan spesifikasi berada pada rentang jumlah tumbukan antara 2×40 hingga 2×50 . Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah tumbukan lanjutan dengan interval yang lebih kecil, yaitu mulai dari 2×40 , 2×41 , 2×42 , 2×43 hingga 2×50 dengan tetap menggunakan kadar aspal optimum sebesar 7,2%, untuk memperoleh jumlah tumbukan minimum yang masih memenuhi spesifikasi secara lebih teliti dan akurat.

Tabel 3. Hasil Uji *Marshall* terhadap Variasi Tumbukan 2×40 hingga 2×50

Jumlah Tumbukan	Stabilitas	Flow	VMA	VIM	VFB	Rasio VCmix/VCArc	Drain down	Kepadatan
40	1330,146	3,506	18,938	5,077	73,20	0,431	0,011	2,208
41	1333,591	3,492	18,897	5,030	73,40	0,430	0,011	2,210
42	1337,037	3,479	18,857	4,983	73,60	0,430	0,011	2,211
43	1340,483	3,466	18,817	4,936	73,80	0,430	0,011	2,212
44	1343,929	3,453	18,777	4,889	74,00	0,429	0,011	2,213
45	1347,374	3,440	18,737	4,842	74,20	0,429	0,011	2,214
46	1350,820	3,427	18,697	4,795	74,40	0,429	0,011	2,215
47	1354,266	3,414	18,657	4,749	74,60	0,428	0,011	2,216
48	1357,712	3,401	18,617	4,702	74,80	0,428	0,011	2,217
49	1361,158	3,388	18,577	4,655	75,00	0,427	0,011	2,218
50	1364,603	3,375	18,537	4,608	75,20	0,427	0,011	2,219
Speksifikasi	Maks. 600	2 - 4,5	Min. 17	3,0 - 5,0	-	< 1	Maks. 0,3	-

Berdasarkan hasil pengujian variasi jumlah tumbukan lanjutan, diperoleh bahwa beberapa parameter *Marshall* seperti stabilitas, flow, VMA, VFB, Rasio VCmix/VCArc, Draindown dan kepadatan telah memenuhi spesifikasi pada jumlah tumbukan mulai dari 2×40. Namun parameter VIM baru memenuhi ketentuan spesifikasi pada jumlah tumbukan 2×42 yaitu sebesar 4,983. Hal ini menunjukkan bahwa pada jumlah tumbukan yang lebih rendah, rongga udara dalam campuran masih berada di luar batas yang dipersyaratkan, meskipun parameter lainnya telah terpenuhi. Karena pemenuhan spesifikasi campuran beraspal harus didasarkan pada terpenuhinya seluruh parameter *Marshall*, maka jumlah tumbukan minimum yang dinyatakan memenuhi spesifikasi pada penelitian ini adalah 2×42.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan terhadap Karakteristik Marshall:
Peningkatan jumlah tumbukan meningkatkan stabilitas dan kepadatan, serta nilai VFB, namun menurunkan flow, VMA, dan VIM. Stabilitas tertinggi sebesar 1676,44 kg dan terendah 929,88 kg, sedangkan flow menurun dari 4,10 mm menjadi 3,302 mm. Nilai VMA dan VIM juga menurun masing-masing dari 22,001 menjadi 17,247 dan dari 8,66% menjadi 3,309. Sebaliknya, VFB meningkat dari 60,648% menjadi 81,043%, dan kepadatan dari 2,125 menjadi 2,250 gr/cc. Rasio VCmix/VCArc seluruhnya memenuhi spesifikasi, sementara draindown tidak terpengaruh karena kadar aspal konstan (7,2%).
2. Pengaruh Variasi Kadar Aspal pada Tumbukan 2×70
Penurunan kadar aspal dari KAO 7,2% hanya dapat dilakukan hingga 6,7%, karena pada 6,5% dan 6,6% nilai VIM belum memenuhi spesifikasi. Nilai VIM baru memenuhi syarat pada kadar aspal 6,7% sebesar 4,8%. Oleh karena itu, 6,7% ditetapkan sebagai batas minimum kadar aspal yang masih memenuhi seluruh parameter Marshall.
3. Jumlah Tumbukan Minimum
Jumlah tumbukan minimum yang memenuhi seluruh parameter Marshall adalah 2×42. Meskipun parameter lain telah memenuhi spesifikasi pada tumbukan lebih rendah, nilai VIM baru memenuhi ketentuan pada 2×42, sehingga ditetapkan sebagai jumlah tumbukan minimum yang memenuhi kinerja campuran.

4.2 Saran

Disarankan untuk meneliti variasi jumlah tumbukan dan kadar aspal yang lebih luas guna memperoleh kombinasi optimum yang efisien tanpa menurunkan kinerja struktural campuran. Jumlah tumbukan yang terlalu rendah, seperti 2×40, menghasilkan kepadatan yang kurang optimal dan rongga udara tinggi sehingga berpotensi menurunkan stabilitas dan durabilitas, sehingga direkomendasikan penggunaan jumlah tumbukan minimal 2×42. Selain itu, penurunan kadar aspal dari Kadar Aspal Optimum (7,2%) pada tumbukan 2×70 hanya dapat dilakukan hingga 6,7%, karena penurunan lebih lanjut tidak memenuhi seluruh parameter Marshall. Oleh karena itu, untuk menjaga kualitas dan efisiensi, disarankan penggunaan jumlah tumbukan sesuai spesifikasi dengan kadar aspal optimum 7,2% agar campuran SMA mencapai kinerja volumetrik dan struktural yang optimal.

Referensi

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). *Spesifikasi Umum 2025 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. (2014). *Pedoman Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Hariyadi, A., & Hadiastari, R. (2022). *Evaluasi penggunaan Stone Matrix Asphalt (SMA) untuk perkerasan jalan*. *Jurnal Infrastruktur Sipil*, 10(2), 55–63.
- SNI 8129:2015. (2015). *Spesifikasi Campuran Beraspal Panas – Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sukirman, S. (1992). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (1993). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2007). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Nova.
- Tahir, M., dkk. (2018). *Pengaruh kadar aspal terhadap kinerja campuran Stone Matrix Asphalt*. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 7(1), 23–30.
- Wiryanto. (2011). *Perkerasan Jalan Raya*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Khanna, R., & Mathur, D. 2024. *A Study on Stone Matrix Asphalt*. *International Journal of Recent Research and Review*, 17(2)
- Putrawirawan, A., & Widiawati, D. D. (2025). *Rekayasa perkerasan lentur jalan (Flexible pavement)*. Inovasi Publishing Indonesia.
- Maharani, A., & Wasono, S. B. (2018). *Perbandingan perkerasan kaku dan perkerasan lentur (studi kasus ruas Jalan Raya Pantai Prigi – Popoh Kab. Tulungagung)*. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 1(2).
- Edi Maret, D., Situmorang, A., Pramono, P., & Harianto, D. (2016). *Variasi jumlah tambahan terhadap lapuk karakteristik lastik Marshall untuk campuran laston (AC-BC)*. *JRSD*, 4(1), 81-89. ISSN: 2337-0301.
- Panungkelan, K. S., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2017). *Pengaruh jumlah tumbukan pemadatan benda uji terhadap besaran Marshall campuran beraspal panas bergradasi menerus jenis asphalt concrete (AC)*. *Jurnal Sipil Statik*, 5(8), 541–548.
- Wróbel, M., Wozzuk, A., & Franus, W. (2020). *Laboratory methods for assessing the influence of improper asphalt mix compaction on its performance*. *Materials*, 13(11), 2476.