



Pengaruh Variasi Suhu Ekstrem Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA)

Fabricio G. Rotikan^{#a}, Joice E. Waani^{#b}, Lucia G. J. Lalamentik^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^afabriciorotikan8@gmail.com, ^bjoicewaani@yahoo.com, ^clucia.lalamentik@unsrat.ac.id

Abstrak

Stone Matrix Asphalt (SMA) merupakan campuran beraspal bergradasi kasar yang membentuk struktur kontak batu-ke-batu sehingga memiliki ketahanan tinggi terhadap deformasi. Kinerja campuran SMA dipengaruhi oleh suhu pemadatan, karena suhu yang tidak sesuai standar dapat mengubah karakteristik mekanisnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu pemadatan ekstrem terhadap karakteristik Marshall campuran SMA. Pengujian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi menggunakan metode Marshall berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dan standar SNI. Setelah diperoleh Kadar Aspal optimum (KAO), benda uji dipadatkan pada suhu 110°C, 115°C, 120°C, 160°C, 165°C, dan 170°C dengan kadar aspal tetap. Parameter yang dianalisis meliputi Stabilitas, Flow, Density, VIM, VMA, VFB, Draindown, VC_{mic}/VC_{adrc}. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pemadatan berpengaruh signifikan terhadap karakteristik Marshall. Suhu tinggi meningkatkan stabilitas dan kepadatan, namun berpotensi menimbulkan draindown, sedangkan suhu rendah meningkatkan VIM dan VMA serta menurunkan stabilitas. Suhu pemadatan optimum berada pada kisaran 145–155°C sesuai spesifikasi yang berlaku.

Kata kunci: SMA, suhu pemadatan, Marshall, karakteristik Marshall

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan merupakan struktur yang tersusun dari agregat dan bahan pengikat seperti aspal atau semen yang berfungsi untuk menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar secara aman. Kinerja perkerasan sangat dipengaruhi oleh karakteristik campuran, sehingga diperlukan material yang memiliki stabilitas, kekuan, dan durabilitas yang memadai terhadap beban berulang serta pengaruh lingkungan. Salah satu jenis campuran beraspal yang banyak digunakan sebagai lapisan permukaan adalah Stone Matrix Asphalt (SMA). SMA merupakan campuran bergradasi kasar dengan dominasi agregat kasar (sekitar 70-80%) yang membentuk struktur kontak batu-ke-batu (stone-on-stone). Struktur tersebut memberikan ketahanan tinggi terhadap deformasi permanen (Rutting) dan meningkatkan daya tahan terhadap keausan. Selain itu, SMA memiliki ketahanan gelincir (skid resistance) yang baik serta performa yang stabil pada lalu lintas berat dan kondisi suhu ekstrem. Dibandingkan dengan campuran lain seperti Asphalt Concrete (AC) dan Hot Rolled Sheet (HRS), SMA menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi dan kerusakan akibat air. Kinerja campuran SMA dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah suhu pemadatan. Suhu pemadatan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran, namun berpotensi menyebabkan terjadinya draindown akibat kelebihan aspal bebas. Sebaliknya, suhu pemadatan yang terlalu rendah dapat menghambat proses pemadatan, meningkatkan rongga udara dalam campuran, serta menurunkan stabilitas dan kekuatan struktural. Parameter-parameter tersebut umumnya dievaluasi melalui pengujian Marshall yang meliputi stabilitas, flow, density, Void in Mix (VIM), Void in Mix Aggregate (VMA), dan Void Filled with Bitumen (VFB). Dalam praktik pelaksanaan perkerasan di lapangan, suhu pencampuran maupun pemadatan sering kali menyimpang dari ketentuan spesifikasi akibat faktor

jarak angkut, kondisi cuaca, serta keterbatasan operasional. Perbedaan antara suhu yang direkomendasikan dalam spesifikasi dan suhu aktual di lapangan menimbulkan pertanyaan mengenai sejauh mana variasi suhu ekstrem mempengaruhi karakteristik mekanis campuran SMA. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pemadatan ekstrem terhadap karakteristik Marshall campuran Stone Matrix Asphalt (SMA), sehingga dapat diperoleh evaluasi kinerja campuran yang lebih mendekati kondisi pelaksanaan di lapangan.

2. Metode Penelitian

2.1. Perkerasan jalan

Perkerasan jalan merupakan struktur berlapis di atas tanah dasar yang dirancang untuk menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas serta menyediakan permukaan yang aman dan nyaman. Berdasarkan sistem strukturnya, perkerasan dibagi menjadi perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan menyebarkan beban secara bertahap dari lapisan permukaan ke tanah dasar. Jenis ini paling umum digunakan di Indonesia karena lebih ekonomis, fleksibel, dan mudah dalam pemeliharaan.

2.2. Stone Matrix Asphalt (SMA)

Stone Matrix Asphalt merupakan campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt) yang terdiri atas agregat kasar dominan, agregat halus, filler, aspal. Dan bahan pemstabil serat, komposisi khas SMA meliputi 70-80% agregat kasar, 8-12% filler, 6-7% aspal, serta 0,3% serat. Dominasi agregat kasar membentuk struktur kontak batu ke batu yang memberikan ketahanan tinggi terhadap deformasi permanen (rutting).

Berdasarkan ukuran maksimum agregat, SMA dibagi menjadi SMA Tipis (12,5mm), SMA Halus (19mm), dan SMA Kasar (25mm). Dalam penelitian ini digunakan SMA Halus sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, dengan variasi suhu pemadatan di atas dan di bawah rentang suhu standar untuk menganalisis pengaruh terhadap karakteristik Marshall.

2.3. Pengujian Marshall

Pengujian Marshall merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi performa campuran beraspal, khususnya dalam hal stabilitas dan kelelahan (flow). Selain itu, pengujian ini juga memberikan informasi penting terkait tingkat kepadatan dan porositas dari campuran padat yang terbentuk. Hasil pengujian Marshall menghasilkan data kuantitatif yang dapat digunakan untuk menyusun grafik hubungan antara kadar aspal atau dalam penelitian kali ini variasi suhu dan berbagai parameter teknis campuran. Dalam konteks campuran SMA, pengujian ini memungkinkan identifikasi sejumlah karakteristik penting seperti Kestabilan, Density, Flow, VIM, VMA, VFB, VCmix/VCA_{drc}.

2.4. Suhu Pencampuran dan Pemadatan

Dalam spesifikasi Bina Marga dan SNI 8129:2015, campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) mempunyai standar suhu yang perlu diperhatikan agar hasilnya optimal. Saat pencampuran, suhu aspal dan agregat biasanya dijaga pada kisaran 150-160°C, tergantung Jenis aspal yang digunakan. Setelah itu, proses pemadatan dilakukan saat campuran masih cukup panas, sekitar 135-145°C untuk suhu optimal pemadatan awal di lapangan dan sekitar 145-165°C untuk suhu optimal pemadatan benda uji Marshall, supaya ikatan antar agregat bisa terbentuk dengan baik.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan persiapan dan pemeriksaan awal material agregat dan aspal guna memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Selanjutnya dilakukan perancangan komposisi campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) melalui penentuan gradasi berdasarkan batas spesifikasi dan pendekatan kurva fuller, serta penetapan kadar aspal rencana untuk memperoleh 2 Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah KAO ditentukan

melalui pengujian marshall, dibuat benda uji dan dilakukan pengujian kepadatan maksimum serta parameter Marshall. Tahap berikutnya adalah pengujian dengan variasi suhu 110°C, 115°C, 120°C, 160°C, 165°C, dan 170°C dengan kadar aspal tetap, sehingga pengaruh suhu terhadap karakteristik campuran dapat dianalisis secara objektif. Parameter yang dievaluasi meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, dan parameter volumetrik lainnya.

3.1. Lokasi Penelitian dan Pengambilan Material



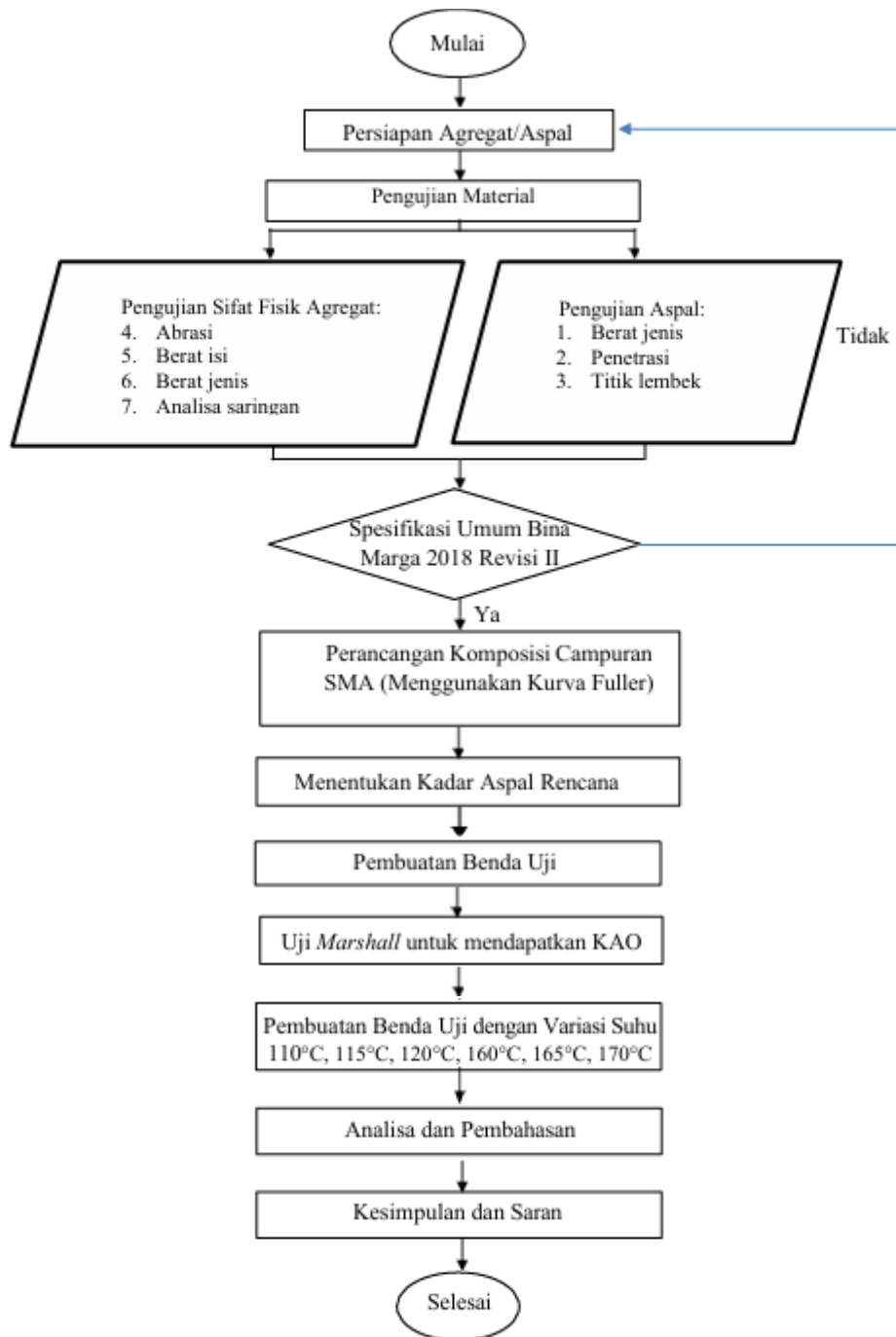
Gambar 1. Lokasi Pengambilan Material (Google Earth, 2026)



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Material (Google Earth, 2026)

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Material agregat yang digunakan berasal dari Tateli Kecamatan Mandolang Kabupaten Minahasa dan Kema Kabupaten Minahasa Utara Provinsi Sulawesi Utara. Penelitian dilakukan selama kurang lebih tiga bulan, yaitu dari September hingga November 2025.

3.2. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan sesuai dengan Gambar 3.

4. Hasil dan Pembahasan

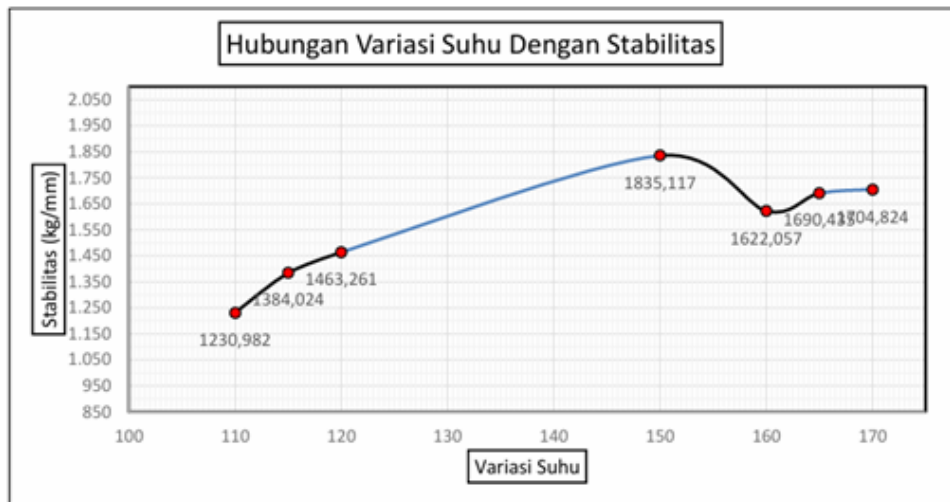
4.1. Hasil Pengujian Variasi Suhu Ekstrem

Pegujian Variasi Suhu Ekstrem dilakukan menggunakan Kadar Aspal Tetap (menggunakan KAO). Pada pengujian ini pembuatan benda uji dilakukan dengan kadar aspal tetap sebesar 7,775%. Pada setiap variasi suhu pemadatan dibuat tiga benda uji untuk memperoleh hasil yang lebih representatif serta meminimalkan kesalahan pengukuran, sehingga pengaruh suhu terhadap karakteristik campuran beraspal dapat dianalisis secara lebih akurat.

Tabel 1. Hasil Pengujian Marshall Variasi Suhu Ekstrem

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Variasi Suhu (°C)						
		110	115	120	150	160	165	170
Stabilitas (kg)	Min. 600	1230,98	1384,02	1463,26	1835,17	1622,06	1690,43	1704,82
Flow (mm)	2 - 4,5	4,02	3,63	3,57	2,84	3,55	3,60	2,97
VMA (%)	Min. 17	25,80	25,55	24,94	20,22	22,86	22,20	21,81
VIM (%)	4,0 - 5,0	11,49	11,20	10,46	4,84	7,99	7,20	6,73
VFB (%)	-	55,46	56,18	58,04	76,09	65,05	67,56	69,21
Rasio VCAMIX/VCA DRC	Maks. 1,0	0,47	0,47	0,46	0,43	0,45	0,44	0,49
Draindown (%)	Maks. 0,3	0,14	0,15	0,17	0,08	0,18	0,21	0,21
Kepadatan (gr/cc)	-	2,07	2,08	2,09	2,23	2,15	2,17	2,18

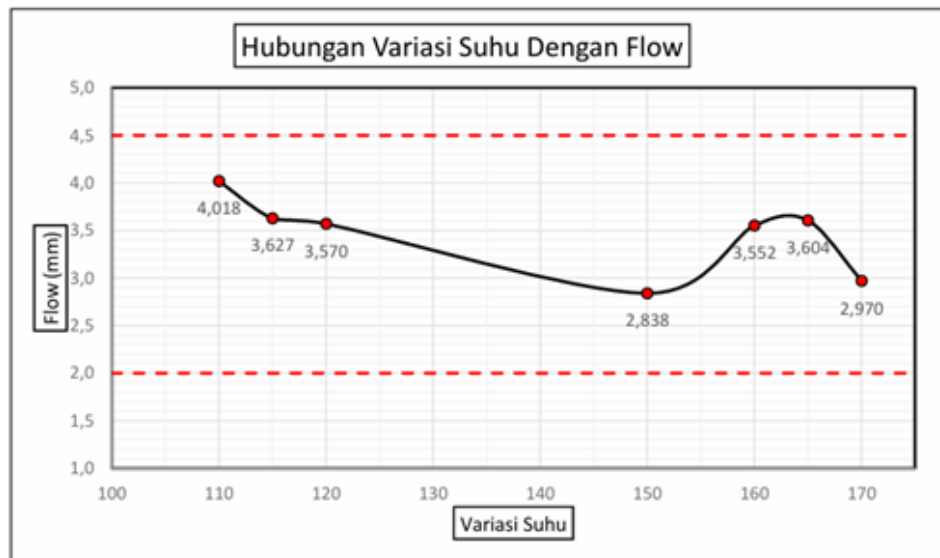
4.1.1. Hubungan Variasi Suhu dengan Stabilitas

**Gambar 4.** Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan Stabilitas

Grafik menunjukkan bahwa peningkatan suhu pemadatan dari 110°C hingga 150°C menyebabkan nilai stabilitas meningkat dari 1230,982 kg/mm menjadi 1835,117 kg/mm. Hal ini disebabkan oleh viskositas aspal yang menurun pada suhu lebih tinggi sehingga proses pemadatan menjadi lebih optimal. Namun, pada suhu di atas 150°C nilai stabilitas mengalami penurunan, yang menunjukkan bahwa suhu pemadatan yang terlalu tinggi dapat menurunkan kinerja campuran. Oleh karena itu, suhu sekitar 150°C memberikan nilai stabilitas maksimum pada campuran SMA.

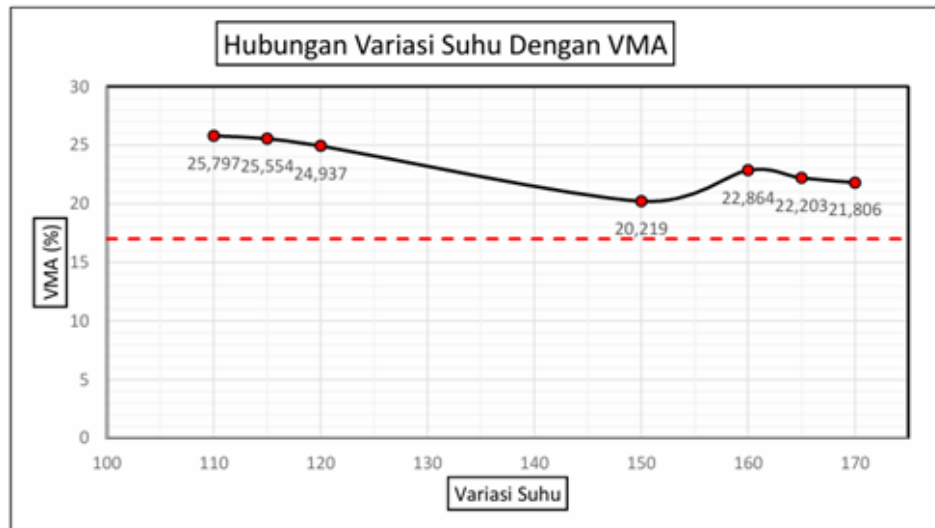
4.1.2. Hubungan Variasi Suhu dengan Flow

Grafik menunjukkan bahwa nilai flow cenderung menurun dari suhu 110°C hingga 150°C, dari 4,018 mm menjadi 2,838 mm. Penurunan ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih stabil akibat pemadatan yang lebih optimal. Pada suhu 160°C hingga 165°C nilai flow kembali meningkat, kemudian menurun lagi pada suhu 170°C. Secara umum, seluruh nilai flow masih berada dalam batas spesifikasi yang dipersyaratkan.



Gambar 5. Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan Flow

4.1.3. Hubungan Variasi Suhu dengan VMA

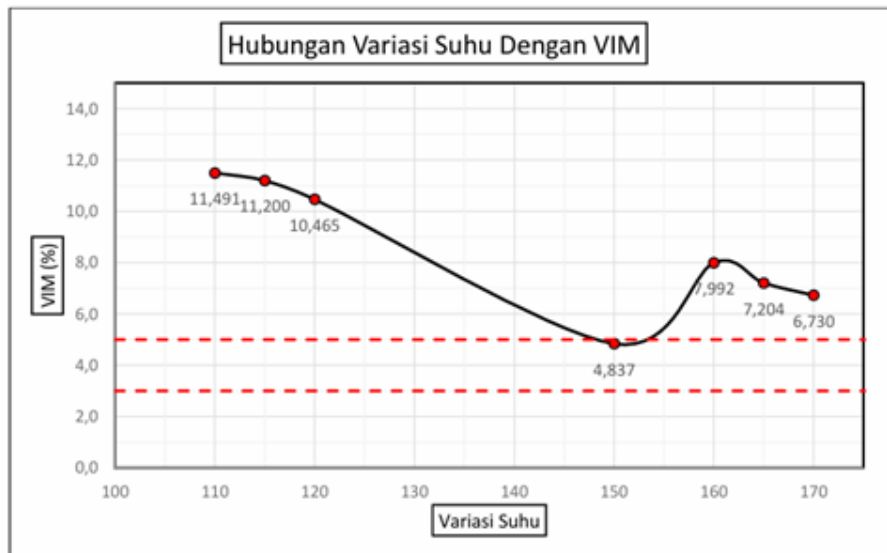


Gambar 6. Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan VMA

Grafik menunjukkan bahwa nilai VMA cenderung menurun seiring peningkatan suhu pemadatan dari 110°C hingga 150°C, yaitu dari 25,797% menjadi 20,219%, penurunan ini terjadi karena pemadatan yang lebih optimal menyebabkan rongga antar agregat semakin kecil. Pada suhu 160°C hingga 170°C nilai VMA kembali meningkat, namun seluruh nilai masih berada di atas batas minimum spesifikasi yang dipersyaratkan.

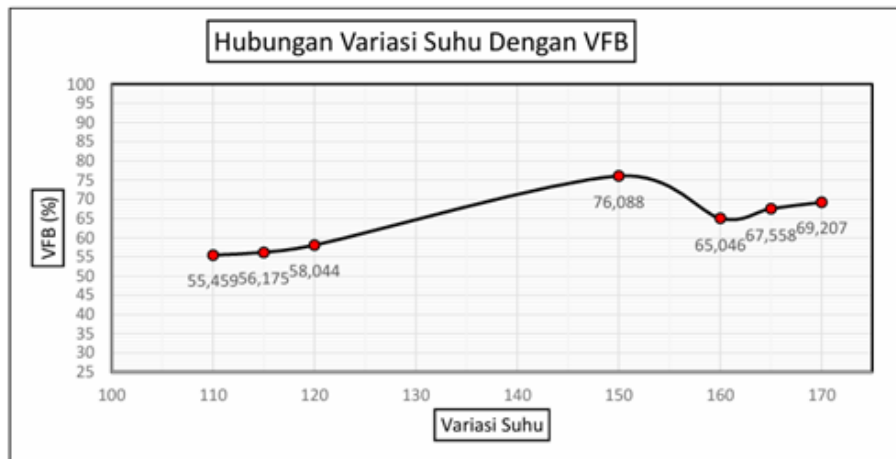
4.1.4. Hubungan Variasi Suhu dengan VIM

Grafik menunjukkan bahwa nilai VIM menurun seiring peningkatan suhu pemadatan dari 110°C hingga 150°C, yaitu dari 11,491% menjadi 4,837%. Penurunan ini terjadi karena pemadatan yang lebih tinggi mengurangi rongga udara dalam campuran. Pada suhu di atas 150°C nilai VIM kembali meningkat, kemudian sedikit menurun pada suhu 170°C. Hasil menunjukkan bahwa suhu pemadatan berpengaruh terhadap jumlah rongga udara dalam campuran SMA.



Gambar 7. Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan VIM

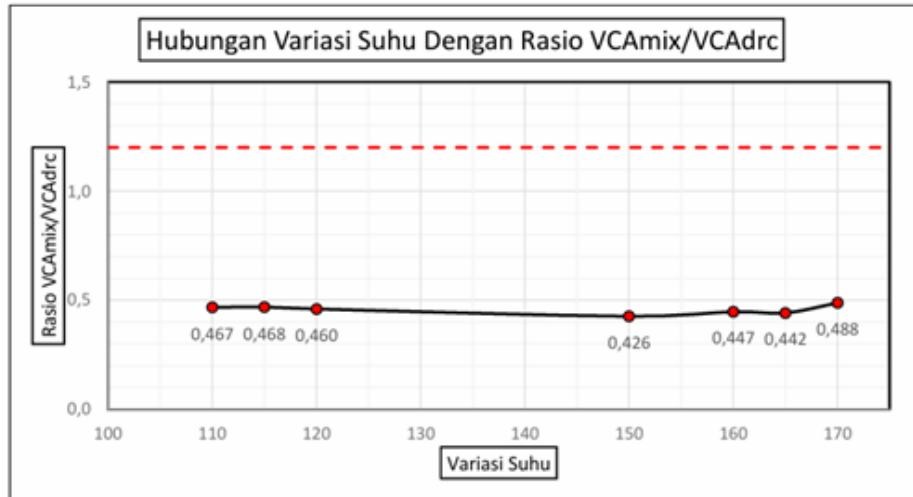
4.1.5. Hubungan Variasi Suhu dengan VFB



Gambar 8. Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan VFB

Grafik menunjukkan bahwa nilai VFB meningkat seiring peningkatan suhu pemadatan dari 110°C hingga 150°C, yaitu dari 55,459% menjadi 76,088%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemadatan, semakin besar rongga agregat yang terisi oleh aspal. Namun pada suhu 160°C nilai VFB mengalami penurunan, kemudian kembali meningkat hingga suhu 170°C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu pemadatan mempengaruhi persentase rongga yang terisi aspal pada campuran SMA.

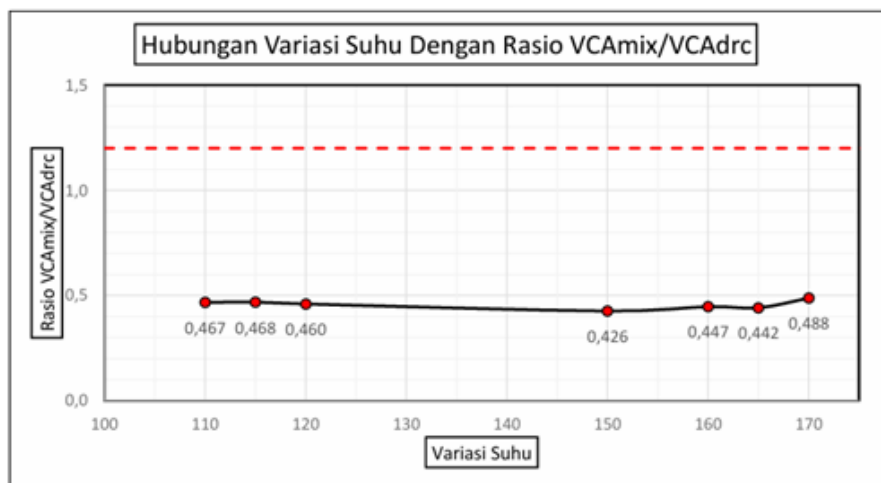
4.1.6. Hubungan Variasi Suhu dengan VCmix/VCA_{dr}



Gambar 9. Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan VCmix/VCA_{dr}

Grafik menunjukkan bahwa nilai rasio VCmix/VCA_{dr} pada variasi suhu 110°C hingga 170°C berkisar antara 0,426-0,488, dengan tren yang relatif stabil dan tidak menunjukkan perubahan signifikan akibat variasi suhu. Seluruh nilai berada jauh di bawah batas referensi 1,2 yang mengindikasikan bahwa campuran memenuhi kriteria yang disyaratkan pada semua variasi suhu yang diuji.

4.1.7. Hubungan Variasi Suhu dengan Draindown

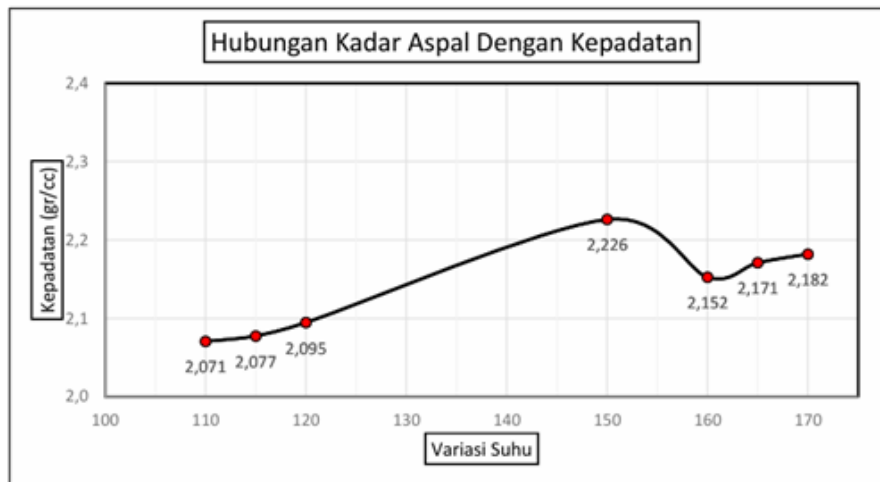


Gambar 10. Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan Draindown

Grafik menunjukkan bahwa nilai Draindown pada variasi suhu 110°C hingga 170°C berkisar antara 0,075%-0,207%, dengan nilai terendah pada suhu 150°C (0,075%) dan tertinggi pada suhu 165°C hingga 170°C (0,207%). Meskipun terdapat fluktuasi, seluruh nilai Draindown berada di bawah batas maksimum 0,3% yang menunjukkan bahwa campuran memenuhi syarat Draindown pada semua variasi suhu yang diuji.

4.1.8. Hubungan Variasi Suhu dengan Kepadatan

Grafik menunjukkan bahwa nilai kepadatan campuran meningkat seiring kenaikan suhu, mencapai puncaknya pada suhu 150°C (2,226 gr/cc), kemudian menurun pada suhu 160°C (2,152 gr/cc) dan kembali sedikit meningkat hingga 170°C (2,182 gr/cc). Hal ini mengindikasikan bahwa suhu 150°C merupakan suhu optimal yang menghasilkan kepadatan tertinggi dalam rentang pengujian yang dilakukan.



Gambar 11. Hubungan Variasi Suhu Ekstrem dengan Kepadatan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, penggunaan suhu diluar rentang standar suhu Pemadatan yang di tetapkan dalam Bina marga 2018 revisi 2, menunjukkan bahwa suhu pemadatan berpengaruh pada hasil Karakteristik Marshall khususnya VIM. Sehingga benda uji yang dipadatkan pada suhu di bawah dan di atas standar memperoleh hasil VIM yang tidak masuk dalam standar Spesifikasi campuran SMA.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Stabilitas meningkat seiring kenaikan suhu pemadatan hingga mendekati suhu tertinggi dari pengujian yang dilakukan dan menurun signifikan seiring menurunnya suhu pemadatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Campuran SMA hanya akan lebih stabil pada suhu 145°C hingga 155°C, namun harus tetap dijaga agar tidak melewati batas terlalu ekstrem >160°C dapat berpotensi merusak material;
2. Flow cenderung meningkat pada suhu tinggi >160°C dan rendah <140°C. Pada suhu dibawah standar, nilai flow yang tinggi disebabkan oleh kurangnya tingkat pencampuran dan kepadatan antara aspal dan agregat. Sementara itu, pada suhu tinggi, nilai flow yang tinggi terjadi akibat penurunan viskositas aspal yang berlebihan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa flow ideal berada pada rentang suhu 145-155°C, di luar itu campuran bisa menjadi terlalu kaku atau terlalu plastis;
3. Berdasarkan Pengujian yang dilakukan Nilai VIM hanya memenuhi syarat spesifikasi pada suhu standar yang ditetapkan dalam Bina Marga 2018 Revisi 2, dimana ini menunjukkan pentingnya melakukan kontrol suhu saat pemadatan;
4. VMA menurun pada suhu tinggi karena rongga antar agregat terisi aspal yang lebih cair akibat suhu tinggi dan meningkat pada suhu rendah akibat banyak rongga yang tidak tertutup aspal karena kurang cair sehingga sulit untuk masuk diantara rongga agregat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa VMA ideal tercapai pada suhu standar, dan variasi suhu diluar standar dapat menyebabkan deviasi dari spesifikasi;
5. VFB meningkat seiring variasi suhu yang semakin tinggi karena lebih banyak rongga yang terisi aspal, dan makin menurun seiring variasi suhu yang semakin rendah karena aspal yang tidak menyelimuti agregat dengan baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu tinggi akan meningkatkan VFB, tetapi risiko bleeding muncul jika terlalu tinggi;
6. Kepadatan meningkat pada suhu tinggi karena pemadatan yang semakin maksimal, dan menurun pada suhu rendah karena banyak rongga yang tersisa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Kepadatan Optimal dicapai pada suhu standar, dan variasi suhu diluar standar dapat menurunkan kualitas campuran;
7. Pada suhu tinggi, Drain down cenderung meningkat karena aspal menjadi lebih cair yang dimana hal ini menyebabkan aspal menjadi lebih padat dibagian bawah sehingga bagian permukaan campuran aspal menjadi berongga dan mudah terkelupas, pada suhu rendah

Draindown juga meningkat akibat viskositas aspal yang masih tinggi sehingga tidak mengikat butiran agregat dengan baik;

8. standar, rasio bisa mendekati 1 atau lebih, menandakan ikatan antar agregat melemah, sehingga disimpulkan kontrol suhu penting untuk menjaga rasio VCmix/VCA_{dr} sesuai syarat (< 1).

Secara keseluruhan, Variasi suhu Ekstrem berpengaruh signifikan terhadap seluruh karakteristik Marshall pada campuran SMA, dimana Suhu Tinggi dapat meningkatkan Stabilitas, Kepadatan, dan VFB tetapi berisiko Drain down dan Bleeding. Sedangkan Suhu Rendah dapat meningkatkan VIM dan VMA, tetapi menurunkan Stabilitas, Flow, dan Kepadatan. Sehingga, Rentang suhu standar (135–150°C) tetap menjadi kondisi paling optimal untuk menghasilkan campuran SMA yang memenuhi spesifikasi Bina Marga dan SNI.

5.2. Saran

1. Proses pencampuran dan pemadatan harus dijaga dalam rentang standar (135–150°C) agar hasil sesuai spesifikasi. Hindari suhu ekstrem karena dapat menurunkan mutu campuran;
2. Suhu pemadatan perlu dijaga agar tetap berada pada rentang suhu optimal yang direkomendasikan Bina Marga dan SNI, sehingga aspal memiliki viskositas yang cukup untuk melapisi agregat secara merata tanpa menyebabkan terjadinya Draindown berlebihan;
3. Disarankan penelitian dengan variasi jenis aspal (misalnya aspal modifikasi polimer) atau aditif (Zycotherm, Sasobit) untuk melihat performa SMA pada suhu lebih rendah (Warm Mix Asphalt);
4. Hasil penelitian dapat dijadikan masukan bagi kontraktor dan Bina Marga dalam pengendalian mutu pekerjaan perkerasan jalan, khususnya di daerah dengan iklim ekstrem (panas terik atau curah hujan tinggi).

Referensi

- Aloysius, L. Y. (2010). Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt dengan Beberapa Material dari Kalimantan. REKAYASA SIPIL / Volume 4, No.3 – 2010 ISSN 1978 – 5658.
- Arie, B. D. (2024). Studi Kelayakan Penggunaan Material Lokal Berupa Agregat Kasar dan Agregat Halus di Kabupaten Jayapura Sebagai Bahan Dasar Stone Matrix Asphalt (SMA) Kasar. JURNAL SIPIL TERAPAN - VOLUME. 2, NO. 2, NOVEMBER 2024.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). Standar Nasional Indonesia (SNI 8129:2015) Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA). Bandung: BSN 2015.
- Davies, A. Y. (2013). Kajian Eksperimental Roadcell-50 Sebagai Bahan Tambah (Additive) Pada Campuran Split Mastic Aspal (SMA) Yang Menggunakan Material Lokal Batu Tangkiling. Sustainable Technology Journal.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. (2018). Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Hidayat, M. I. (2021). PENGARUH METODE PENCAMPURAN DUA TAHAP TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN STONE MATRIX ASPHALT DENGAN BAHAN IKAT ASPAL PEN 60/70 DAN ASPAL CRUMB RUBBER. TUGAS AKHIR, 11-20.
- Hutabarat, E. d. (2021). Analisa Karakteristik Split Mastic Asphalt Dengan Berbagai Jenis Filler. Jurnal Teknik Sipil Universitas Lampung.
- Jansen, R. A., Ali, N., & Rachman, R. (2020). Pemanfaatan Batu Sungai Sa'dan Toraja Utara Sebagai Campuran Stone Matrix Asphalt Halus. Paulus Civil Engineering Journal, 314-315.
- Kamagi, A. R. (2024). Karakteristik Campuran Lapisan Stone Mastic Asphalt (SMA) Memanfaatkan Quarry Kakaskasen. TEKNO (Vol. 22, No. 90).
- National Asphalt Pavement Association (NAPA), USA. (2018). Stone Matrix Asphalt - Guidelines For Use. Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- Nur, N. K., Mahyuddin, Bachtiar, E., Tumpu, M., Mukrim, M. I., Irianto, . . . Syukuriah. (2021). Perancangan Perkerasan Jalan. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Rachmanto, B. d. (2020). Studi Perbandingan Karakteristik Campuran SMA, AC- WC dan HRS-WC Dalam Perkerasan Jalan Raya. Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro / Universitas Brawijaya