

Analisis Karakteristik Campuran Aspal Berbasis Batu Kasar Dengan Pengganti Kandungan Aspal Menggunakan Serbuk Ban Karet

Analysis of the Characteristics of Coarse Stone-Based Asphalt Mixtures with Asphalt Content Substitutes Using Rubber Tyre Powder

Yulis Widhiastuti¹, Alfia Nur Rahmawati², Andy Yanuar Putra Riyadi³, Mohamad Irfan Alfanan⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro.
Corresponding Author: yulisorifda@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pertumbuhan infrastruktur yang pesat di Indonesia membutuhkan permukaan jalan berkualitas tinggi untuk mendukung mobilitas dan ketahanan lalu lintas. Namun, banyak jalan mengalami kerusakan dini akibat beban berlebihan dan faktor lingkungan. Salah satu alternatif yang telah dikembangkan adalah Stone Matrix Asphalt (SMA), yang memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi. Untuk meningkatkan kinerjanya, penelitian ini menggunakan bubuk ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar, sekaligus sebagai upaya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Hasil laboratorium menunjukkan bahwa agregat dan aspal yang digunakan memenuhi Spesifikasi Umum Konstruksi Jalan 2018. Uji Marshall pada campuran SMA dengan kandungan bubuk ban 3%, 4%, dan 5% menghasilkan peningkatan stabilitas, kepadatan, dan ketahanan deformasi pada kandungan optimal. Namun, kandungan bubuk ban yang terlalu tinggi mengurangi kinerja campuran akibat berkurangnya ikatan antarpartikel agregat. Oleh karena itu, bubuk ban bekas dapat menjadi aditif efektif dalam campuran SMA untuk meningkatkan kualitas permukaan jalan sambil memanfaatkan limbah secara berkelanjutan.

Kata Kunci: aspal matriks batu, serbuk ban bekas, uji marshall, stabilitas, perkerasan jalan

ABSTRACT

The rapid growth of infrastructure in Indonesia requires high-quality road surfaces to support mobility and traffic resilience. However, many roads experience premature damage due to excessive loads and environmental factors. One alternative that has been developed is Stone Matrix Asphalt (SMA), which has better resistance to deformation. To improve its performance, this study uses recycled tire powder as a partial replacement for coarse aggregate, while also serving as an environmentally friendly waste management effort. Laboratory results indicate that the aggregate and asphalt used meet the 2018 General Specifications for Road Construction. Marshall tests on SMA mixtures with 3%, 4%, and 5% tire powder content resulted in increased stability, density, and deformation resistance at optimal content. However, too high a tire powder content reduced the performance of the mixture due to reduced interparticle bonding of the aggregate. Therefore, used tire powder can be an effective additive in SMA mixtures to improve road surface quality while utilizing waste in a sustainable manner.

Key Words: Stone Matrix Asphalt, Used Tire Powder, Marshall Test, Stability, Road Pavement

PENDAHULUAN

Dengan perkembangan zaman dan pertumbuhan infrastruktur yang pesat di Indonesia, kebutuhan akan fasilitas dan infrastruktur, termasuk perkerasan jalan, terus meningkat. Tingginya permintaan akan perkerasan jalan dipicu oleh meningkatnya jumlah kendaraan dan aktivitas transportasi, sehingga pembangunan jalan di berbagai wilayah dipercepat untuk memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat. Perkerasan jalan yang berkualitas memainkan peran penting dalam mendukung kelancaran lalu lintas, meningkatkan keamanan, dan memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan. Konstruksi perkerasan jalan yang tepat dapat mengurangi risiko kecelakaan akibat permukaan jalan yang rusak atau tidak rata, sementara ketahanan terhadap beban lalu lintas yang tinggi dapat meningkatkan daya tahan, sehingga

jalan menjadi lebih awet dan tahan lama. Faktor daya tahan ini juga mempengaruhi efisiensi biaya pemeliharaan dan perbaikan jalan di masa depan, sehingga investasi dalam konstruksi jalan berkualitas sangat penting. Dengan jalan yang terawat dengan baik, pengguna jalan dapat berkendara dengan aman dan nyaman tanpa terganggu oleh kerusakan seperti lubang, gelombang, atau permukaan jalan yang licin. Oleh karena itu, pembangunan permukaan jalan yang kokoh dan berkualitas tinggi harus terus menjadi prioritas untuk mendukung mobilitas masyarakat dan mendorong pertumbuhan ekonomi di Indonesia.

Permukaan jalan merupakan komponen kunci dalam konstruksi jalan yang berfungsi sebagai media transportasi dan harus tetap utuh sepanjang masa pakainya tanpa kerusakan yang signifikan. Namun, banyak jalan mengalami kerusakan dini seperti retak, distorsi, lubang, dan pengelupasan akibat beban lalu lintas dan faktor lingkungan. Untuk mengatasi hal ini, berbagai inovasi terus dikembangkan untuk meningkatkan kualitas permukaan jalan. Salah satu campuran aspal beton yang paling banyak digunakan adalah Split Mastic Asphalt (SMA), yang dikenal lebih tahan terhadap deformasi dan dapat meningkatkan ketahanan jalan.

Permukaan jalan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu permukaan jalan fleksibel, permukaan jalan kaku, dan permukaan jalan komposit. Permukaan jalan fleksibel umumnya menggunakan campuran aspal sebagai lapisan permukaan dengan material granular di bawahnya. Konstruksi ini dirancang untuk menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan dasar, sehingga dapat menyesuaikan diri dengan deformasi tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan.

Split Mastic Asphalt, atau biasa disebut SMA, merupakan campuran untuk perkerasan jalan yang punya kandungan agregat kasar yang cukup tinggi. Dengan kandungan agregat kasar yang banyak itu, butiran-butiran batu di dalamnya bisa saling mengikat lebih erat, jadi lebih efisien buat menahan beban dari roda kendaraan yang lewat. Partikel agregat kasar ini nanti tercampur dengan baik dengan filler, serat, atau bahkan polimer dalam satu lapisan aspal yang tebal. Aspal dengan jenis SMA ini dikembangkan khusus agar bisa tahan maksimal dari ausnya permukaan karena beban kendaraan, dan juga kuat melawan deformasi akibat lalu lintas yang berat.

Kandungan aspal yang tinggi dalam campuran Split Mastic Asphalt memerlukan aditif yang dapat menstabilkan dan memperkuat campuran. Aditif yang umum digunakan dalam campuran adalah bubuk ban bekas. Bubuk ban bekas adalah bahan yang diperoleh dari proses daur ulang ban kendaraan yang tidak terpakai. Ban bekas adalah bahan padat yang memiliki elastisitas dan fleksibilitas. Komposisi bubuk ban bekas terdiri dari bahan non-organik yang sebagian besar tahan terhadap pembusukan karena rantai kimia yang panjang dan kompleks.

Aspal merupakan material utama dalam konstruksi perkerasan jalan yang berfungsi sebagai pengikat agregat untuk membentuk lapisan permukaan yang kuat dan tahan lama. Aspal memiliki sifat viskoelastis, yang berarti dapat berperilaku seperti padatan elastis pada suhu rendah dan seperti cairan kental pada suhu tinggi. Sifat ini memungkinkan aspal untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Berdasarkan sumbernya, aspal dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu aspal alam dan aspal buatan. Aspal alam ditemukan di beberapa lokasi di dunia, seperti di Pulau Buton, Indonesia, sedangkan aspal buatan diperoleh dari hasil penyulingan minyak bumi.

Dalam penggunaannya, aspal harus memenuhi berbagai standar kualitas agar dapat memberikan kinerja yang optimal pada perkerasan jalan. Karakteristik aspal, seperti viskositas, titik leleh, dan ketahanan terhadap deformasi permanen, menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas campuran aspal. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan mutu aspal, salah satunya dengan modifikasi aspal menggunakan bahan tambahan, seperti polimer atau serat. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan daya tahan aspal terhadap

perubahan suhu dan beban lalu lintas yang tinggi. Dengan perkembangan teknologi, inovasi dalam campuran aspal terus berkembang guna meningkatkan ketahanan dan umur layanan perkerasan jalan.

Campuran beraspal panas adalah campuran antara agregat dan aspal panas. Aspal berperan sebagai perekat antar partikel-partikel pada agregat, sementara agregat adalah kekuatan yang paling utama dalam campuran perkerasan. Sifat mekanis dari aspal dalam campuran beraspal didapat dari 2 hal yaitu friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya. Friksi agregat didapat dari butiran-butiran agregat yang saling mengikat satu sama lain, dan kekuatannya tergantung pada gradasi ukurannya, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan. Sedangkan sifat kohesinya diperoleh dari sifat-sifat aspal yang digunakan. Oleh karena itu kinerja campuran beraspal panas sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat dan aspal serta karakteristik pada campuran padat yang sudah terbentuk dari kedua bahan tersebut.

Limbah merupakan benda buangan yang dapat berasal dari alam maupun hasil proses teknologi. Keberadaannya pada waktu dan tempat tertentu sering kali tidak diinginkan karena dianggap tidak memiliki nilai ekonomi. Sementara itu, serbuk ban bekas adalah material yang berasal dari ban kendaraan yang sudah tidak lagi digunakan. Material ini biasanya dihasilkan dari berbagai limbah, seperti bengkel. limbah ini dapat menimbulkan permasalahan lingkungan yang baru.

Untuk memanfaatkan serbuk ban bekas sebagai campuran agregat kasar pada perkerasan aspal jenis SMA, material ini harus dihancurkan hingga menjadi kepingan kecil. Ukuran yang digunakan harus mampu melewati saringan No. 1/2 atau setara dengan 12,5 mm, sesuai dengan spesifikasi agregat kasar perkerasan jalan aspal yang telah ditetapkan oleh Bina Marga pada tahun 2018.

Campuran Aspal Mastik terbelah telah diteliti dengan menambahkan beberapa jenis bahan polimer untuk memperoleh kinerja yang lebih baik. Penelitian ini menguji kinerja campuran Aspal Mastik Terbelah dengan penambahan limbah ban daur ulang untuk menentukan kapasitas beban campuran dan memahami sifat-sifat campuran agar dapat menciptakan inovasi baru, khususnya dalam pengujian Aspal Matriks Batu (Bangngalino dkk., 2022). Eksperimen ini menggunakan spesifikasi Bina Marga 2018 dengan kandungan bubuk ban yang sangat kecil, yaitu 3%, 4%, dan 5% dari berat campuran. Eksperimen ini menggunakan spesifikasi Bina Marga 2018 sebagai panduan untuk uji Marshall.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, yang memiliki fasilitas pendukung untuk pengujian material konstruksi dan analisis sifat mekanis beton. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan peralatan laboratorium yang memadai, lingkungan penelitian yang terkontrol, serta dukungan teknis yang memungkinkan seluruh tahapan penelitian dilakukan secara sistematis dan terstandar.

Metode penelitian dirancang untuk memperoleh data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan melalui serangkaian prosedur yang meliputi persiapan material, perancangan campuran, pembuatan benda uji, proses curing, hingga pengujian sifat mekanis. Seluruh tahapan eksperimen dilaksanakan dengan mengacu pada standar pengujian yang berlaku, sehingga hasil yang diperoleh memiliki validitas ilmiah dan dapat digunakan sebagai dasar analisis lebih lanjut. Dengan pelaksanaan penelitian di lingkungan laboratorium yang

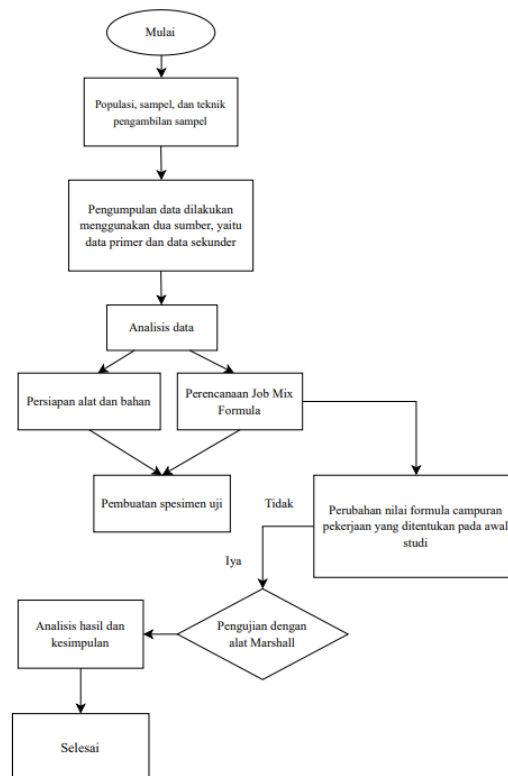
terkendali, variabel-variabel yang memengaruhi hasil pengujian dapat diminimalkan, sehingga hubungan antara parameter penelitian dan respon material dapat diamati secara lebih objektif.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Sumber: Google Maps, (2025)

Dalam penelitian ini, pengumpulan data meliputi data primer dari hasil penelitian langsung, termasuk pengujian material dan pengujian nilai KAO. 2 Data sekunder yang mendukung data primer dalam penelitian ini didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Jalan Raya Tahun 2018. Diagram alir untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Bagan Alur

Sumber: Peneliti, (2025)

Pada penelitian ini menggunakan metode cara basah, yaitu dengan cara pencampuran agregat alami, dan sudah ditambahkan dengan aspal panas. Penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal optimum 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, untuk mencari nilai KAO.

Tabel 2 Nilai gaya geser dasar dan displacement

Benda Uji	Kadar Aspal	Jumlah
1	5%	5
2	5.5%	5
3	6	5
4	6.5%	5
5	7%	5

Sumber: Perhitungan, (2025)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode trial and error. Metode trial and error adalah metode untuk mendalami materi melalui percobaan dan penemuan, di mana metode ini merujuk pada upaya untuk mencapai tujuan melalui eksperimen. Upaya-upaya ini dilakukan berulang kali hingga diperoleh hasil yang paling sesuai.

Penelitian ini dilakukan mulai dari persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian, dilanjutkan dengan pemeriksaan komponen aspal, pembuatan formula campuran, pembuatan objek uji, dan akhirnya uji Marshall di Laboratorium Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro.

Sesuai dengan referensi penelitian sebelumnya, studi ini akan fokus pada pembahasan karakteristik bubuk ban bekas sebagai pengganti agregat kasar dalam hal nilai Marshall, yang meliputi stanilitas, flow, VMA, VIM dan density

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Hasil Uji Material

Berikut ini adalah hasil pengujian agregat yang telah dilakukan, mulai dari pengujian ukuran agregat kecil hingga ukuran agregat besar :

Tabel 3 Hasil Uji Kepadatan Khusus dan Serapan Air Agregat Halus

Pengujian Penyerapan Air Agregat Halus		A	B	C	Satuan
Berta benda uji kering permukaan jenuh(SSD)		500,00	500,00	500,00	Gram
Berat benda uji kering - oven,	Bk	496,00	498,00	498,00	Gram
Berat piknometer diisi air,	B	695,00	669,46	672,23	Gram
Berta piknometer + benda uji (SSD) + Air,	Bt	979,7	985,4	988,5	Gram
Kadar air			0,54		%

Perhitungan Pengujian Penyerapan Air Agregat Halus		A	B	C	Rata-rata
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$	2,30	2,72	2,71	2,57
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$	2,31	2,72	2,72	2,58
	$\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$				

Apperent specific gravity		2,34	2,74	2,74	2,61
Absorption	$\frac{500-Bk}{Bk} \times 100\%$	0,81	0,40	0,40	0,54

Tabel 4 Hasil Perhitungan Kepadatan Khusus dan Serapan Air untuk MA (Agregat Sedang)

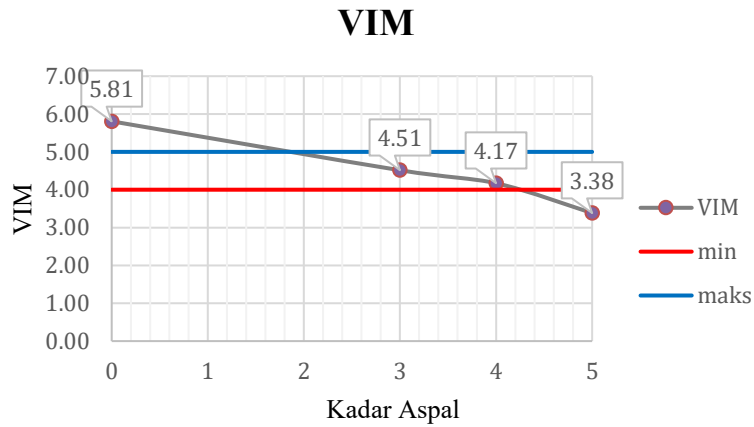
Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar		A	B	C	Satuan
Berat benda uji kering - oven,	Bk	2000	2000	2000	Gram
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	2041	2039	2020	Gram
Berat benda didalam air	Ba	1272	1278	1262	Gram
Kadar air		1,67			%

Tabel 5 Hasil Perhitungan untuk Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat Kasar

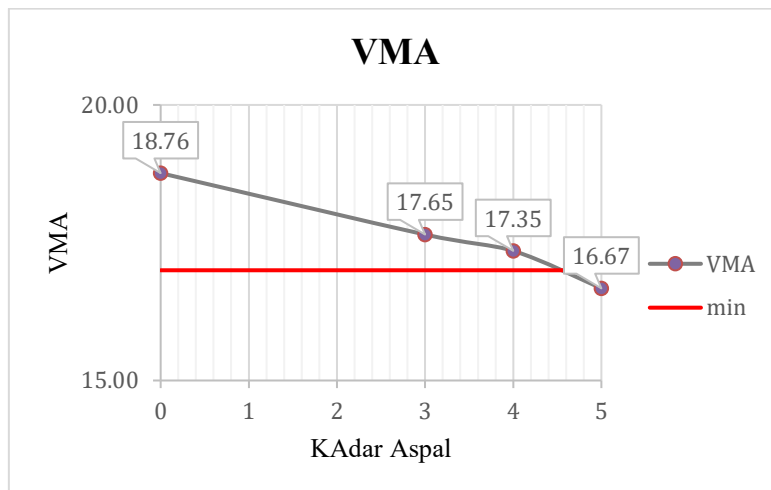
Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar		A	B	C	Satuan
Berat benda uji kering – oven,	Bk	200	200	200	Gram
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	204	205	202	Gram
Berat benda didalam air	Ba	122	123	121	Gram
Kadar air		2,00			%

Perhitungan Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar		A	B	C	Rata-rata
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	2,43	2,44	2,47	2,45
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	2,49	2,50	2,50	2,50
Berat jenis semu (apperent)	$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	2,57	2,61	2,54	2,57
Penyerapan	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$	2,20	2,75	1,05	2,00

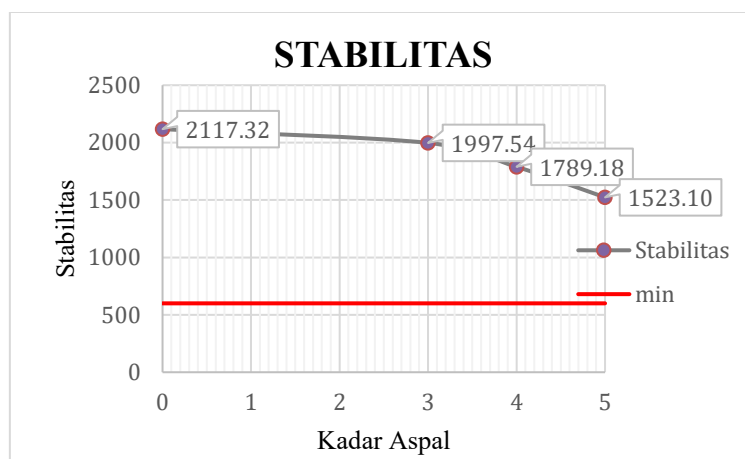
Langkah selanjutnya adalah menganalisis hasil Uji Marshall untuk kedua variasi gradasi gabungan, yaitu stabilitas, aliran, nilai VIM, dan nilai VMA. Grafik untuk Uji Marshall dijelaskan di bawah ini:



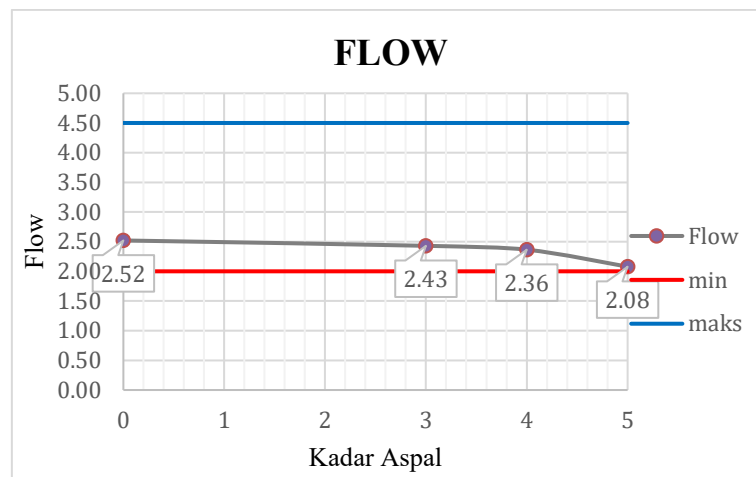
Gambar 3. Grafik Analisis Nilai VIM
Sumber: Hasil Pengujian, (2025)



Gambar 4. Grafik Analisis Nilai VMA
Sumber: Hasil Pengujian, (2025)



Gambar 5. Grafik Analisis Nilai Stabilitas
Sumber: Hasil Pengujian, (2025)



Gambar 6. Grafik Analisis Nilai Stabilitas

Sumber: Hasil Pengujian, (2025)

PEMBAHASAN

Hasil Uji Material Agregat

Hasil pengujian sifat fisik agregat menunjukkan bahwa agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai berat jenis bulk agregat halus rata-rata sebesar 2,57 dengan penyerapan air sebesar 0,54%, sedangkan agregat kasar memiliki berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,45 dengan penyerapan air sebesar 2,00%. Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang disyaratkan untuk campuran Stone Matrix Asphalt (SMA), sehingga agregat dinilai layak digunakan sebagai material penyusun campuran beraspal panas.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Bangngalino et al. (2022) yang menyatakan bahwa agregat dengan nilai penyerapan air di bawah 3% memiliki daya ikat yang baik terhadap aspal dan mampu meningkatkan stabilitas campuran SMA. Dengan karakteristik agregat yang memenuhi spesifikasi, dapat disimpulkan bahwa perubahan kinerja campuran SMA dalam penelitian ini lebih dominan dipengaruhi oleh variasi kadar aspal dan penambahan serbuk ban bekas, bukan oleh kualitas agregat. Implikasi dari hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan agregat lokal dengan karakteristik serupa dapat mendukung penerapan teknologi SMA berbasis material daur ulang tanpa mengorbankan mutu struktural perkerasan jalan.

Pembahasan mengandung interpretasi data, serta perbandingan dengan data yang diperoleh sebelumnya jika ada. Pada paragraph ini berisi tentang pembahasan hasil penelitian, yaitu dengan membandingkan temuan penelitian dengan hasil penelitian lain yang relevan sebelumnya. Paragraph ini juga wajib mengutip penelitian terdahulu, kemudian ditegaskan implikasi dari hasil penelitian.

Nilai VIM

Berdasarkan grafik hubungan kadar aspal terhadap nilai VIM, terlihat kecenderungan penurunan nilai VIM seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan aspal mampu mengisi rongga udara di antara agregat secara lebih efektif, sehingga meningkatkan kepadatan campuran. Nilai VIM yang diperoleh masih berada dalam batas spesifikasi SMA, yang mengindikasikan keseimbangan antara kepadatan dan durabilitas campuran.

Hasil ini konsisten dengan penelitian Musu' et al. (2022) serta penelitian internasional oleh Ameri et al. (2018) yang melaporkan bahwa campuran SMA dengan aditif berbasis karet menunjukkan penurunan VIM akibat peningkatan kemampuan pengisian rongga dan elastisitas campuran. Namun, nilai VIM yang terlalu rendah berpotensi menyebabkan bleeding, sehingga diperlukan pengendalian kadar aspal dan aditif secara tepat.

Nilai VMA

Nilai VMA pada campuran SMA menunjukkan kecenderungan relatif stabil dan memenuhi batas minimum yang disyaratkan. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur rangka agregat tetap terjaga meskipun terdapat penambahan serbuk ban bekas. VMA yang memadai memungkinkan aspal dan filler mengisi rongga antar agregat secara optimal tanpa mengganggu stabilitas struktural.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Waluyo dan Indra (2023) serta penelitian oleh Airey et al. (2014) yang menyatakan bahwa campuran SMA dengan bahan elastomer memiliki kemampuan mempertahankan nilai VMA akibat fleksibilitas material tambahan yang tidak merusak kontak agregat kasar.

Nilai Stabilitas Marshall

Nilai stabilitas Marshall menunjukkan peningkatan hingga mencapai nilai optimum pada kadar aspal dan kadar serbuk ban bekas tertentu, kemudian mengalami penurunan pada kadar yang lebih tinggi. Peningkatan stabilitas terjadi karena sifat elastis serbuk ban bekas yang mampu menyerap dan mendistribusikan beban lalu lintas secara lebih merata. Penurunan stabilitas pada kadar berlebih disebabkan oleh berkurangnya kontak langsung antar agregat akibat dominasi material elastis.

Hasil ini mendukung penelitian Banggalino et al. (2022) serta penelitian internasional oleh Xiao et al. (2015) yang menyatakan bahwa penambahan crumb rubber pada campuran SMA meningkatkan stabilitas hingga kadar optimum, namun berpotensi menurunkan kekuatan struktural jika digunakan secara berlebihan.

Nilai Flow Marshall

Nilai flow cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dan serbuk ban bekas. Peningkatan ini menunjukkan bahwa campuran memiliki fleksibilitas yang lebih baik dan mampu mengalami deformasi tanpa mengalami kegagalan dini. Nilai flow yang masih berada dalam batas spesifikasi mengindikasikan bahwa campuran tetap memiliki keseimbangan antara kekakuan dan kelenturan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Wuisan et al. serta studi oleh Lo Presti (2013) yang menyatakan bahwa material berbasis karet mampu meningkatkan fleksibilitas campuran aspal dan ketahanannya terhadap retak akibat beban berulang dan variasi suhu.

Implikasi dari hasil ini menunjukkan bahwa campuran SMA dengan serbuk ban bekas memiliki potensi aplikasi pada daerah dengan variasi iklim dan beban lalu lintas tinggi.

Implikasi terhadap Teknik Perencanaan Perkerasan Jalan Berkelanjutan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban bekas pada campuran SMA kasar memberikan peningkatan kinerja Marshall pada kadar optimum. Dari perspektif teknik perencanaan, temuan ini mendukung penerapan perkerasan jalan berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah ban sebagai material alternatif tanpa mengurangi kualitas struktural perkerasan.

Pemanfaatan serbuk ban bekas tidak hanya meningkatkan stabilitas dan fleksibilitas campuran, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah lingkungan dan efisiensi penggunaan sumber daya alam. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi teknis dalam pengembangan desain perkerasan SMA yang ramah lingkungan dan berumur layanan panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil diskusi tabel uji Marshall mengenai pengaruh penambahan bubuk ban bekas pada campuran SMA kasar, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan bubuk ban bekas sebagai pengganti sebagian filler dengan proporsi campuran 42% fraksi agregat sedang berukuran 5-10 mm, agregat halus 0-5 mm sebesar 56%, dan filler 2% memenuhi persyaratan gradasi untuk lapisan aspal SMA kasar. Kandungan Aspal Optimum (OAC) dalam campuran aspal SMA KASAR panas paling optimal pada 6,4%. Nilai OAC didasarkan pada rata-rata kandungan aspal yang direncanakan yang memenuhi spesifikasi setelah pengujian.
2. Variasai penambahan bubuk ban bekas yang paling optimal adalah pada tingkat penambahan 3,1%. Penentuan ini didasarkan pada pengujian Marshall dengan menggabungkan nilai VIM, VMA, Stabilitas, dan Aliran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan jurnal penelitian ini, kami telah menerima bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak Arief Januwarso, S.Sos, M.Si, Selaku Ketua Yayasan Suyitno Bojonegoro, Dr. Tri Astuti Handayani, SH., MM., M.Hum., Selaku Rektor Universitas Bojonegoro dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM), Universitas Bojonegoro. Kami menyadari bahwa jurnal penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari semua pihak demi perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Akhir kata, kami berharap semoga jurnal penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. (2018). Spesifikasi umum 2018. *Direktorat Jendral Bina Marga, 2018*(Revisi ii), 1–6.
- Umum, D. P. (1989). Sni 03-1737-1989. In *Departemen Pu*.
- Bangngalino, D., Rachman, R., & Alpius. (2022). Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar dengan Bahan Tambah Kadar Ban Bekas. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(3), 452–460. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i3.521>
- Musu', D. S. B., Mangontan, R., & Alpius. (2022). Durabilitas Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar Menggunakan Limbah Gypsum Sebagai Substitusi Filler. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(2), 209–217. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i2.449>
- Waluyo, D., & Indra, M. (2023). *Analisis Kinerja Aspal Stone Matrix Asphalt (SMA) pada Fly Over Kretek - Bumiayu*. 02(01), 24–40.
- Wuisan, Y., Gotama, K. R., Wulandari, P. S., & Patmadjaja, H. (n.d.). *Pengaruh Ukuran Serbuk Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Aspal Emulsi Dingin Dengan Filler Fly Ash Tipe-C*. 304–311.

- Airey, G. D., Rahimzadeh, B., & Collop, A. C. (2014). *Evaluation of the performance of rubberised asphalt mixtures*. *Construction and Building Materials*, 54, 101–109.
- Ameri, M., Mansourian, A., & Khavas, M. H. (2018). *Laboratory evaluation of crumb rubber modified SMA mixtures*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(4).
- Hassan, N. A., Airey, G. D., & Jaya, R. P. (2016). *Characterisation of SMA mixtures incorporating recycled materials*. *Construction and Building Materials*, 112, 1045–1054.
- Lo Presti, D. (2013). *Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures*. *Construction and Building Materials*, 49, 863–881.
- Xiao, F., Amirhanian, S., & Juang, C. H. (2015). *Rutting resistance of rubberized asphalt mixtures*. *Construction and Building Materials*, 54, 48–55.