

STUDI EKSPERIMENTAL TERHADAP DAMPAK METODE PENCAMPURAN DALAM MENGOPTIMALKAN PERFORMA PERKERASAN BERGRADASI SUPERPAVE

Muhamad Abdul Hadi
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman,
Yogyakarta
muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id

Ahmad Farhan Asrorunniam
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman,
Yogyakarta
20511444@students.uui.ac.id

Humnah Rizqi Apriliyanti
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman,
Yogyakarta
20511129@students.uui.ac.id

Abstract

The performance of road pavements is significantly influenced by asphalt mix quality and mixing methods. This study aims to evaluate the impact of three mixing techniques—conventional, two-stage, and three-stage on the performance of Superpave-graded mixtures. The evaluation was based on Marshall parameters and additional tests, including Indirect Tensile Strength (ITS), Index of Retained Strength (IRS), and Cantabro Loss (CL), to assess resistance to moisture and abrasion. Results showed that the three-stage method produced an ITS value of 2,49 (16,25% higher), IRS of 93,94 (3,89% higher), and CL of 4,92 (better than the conventional method). The findings indicate that staged mixing, particularly the three-stage method, positively contributes to improved stability, density, and mechanical resistance to moisture and wear. This approach demonstrates strong potential as an effective strategy to optimize the performance of Superpave-graded pavement mixtures in the field.

Keywords: Superpave, Conventional Mixing Method, Staged Mixing Method

Abstrak

Kinerja perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh kualitas campuran aspal dan metode pencampurannya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh tiga metode pencampuran konvensional, dua tahap, dan tiga tahap terhadap performa campuran bergradasi Superpave. Evaluasi menggunakan parameter Marshall serta uji Indirect Tensile Strength (ITS), Index of Retained Strength (IRS), dan Cantabro Loss (CL) untuk menilai ketahanan terhadap kelembapan dan keausan. Hasil menunjukkan bahwa metode tiga tahap menghasilkan nilai ITS sebesar 21,49 (unggul 16,25%), IRS 93,94 (unggul 3,89%), dan CL 4,92 (lebih baik dibanding metode konvensional). Pendekatan pencampuran bertahap, terutama tiga tahap, terbukti meningkatkan stabilitas, kepadatan, serta ketahanan terhadap kelembapan dan keausan. Temuan ini menunjukkan bahwa metode pencampuran tiga tahap berpotensi menjadi strategi efektif dalam mengoptimalkan kinerja campuran bergradasi Superpave di lapangan.

Kata-kata kunci: Superpave, Metode Pencampuran Konvensional, Metode Pencampuran Bertahap

PENDAHULUAN

Kinerja dan umur layanan perkerasan jalan merupakan aspek penting dalam infrastruktur transportasi yang sangat dipengaruhi oleh kualitas campuran aspal, baik dari segi komposisi material maupun proses pencampurannya. Campuran yang tidak dirancang dengan baik rentan mengalami kerusakan prematur, terutama akibat faktor lingkungan seperti kelembapan, oksidasi, dan fluktuasi suhu ekstrem. Kelembapan berlebih, misalnya, dapat menyebabkan penurunan kekuatan dan kekakuan lapisan granular pada struktur bawah perkerasan. Hal ini memicu terjadinya deformasi permanen dan kegagalan struktural yang memperpendek masa layan jalan (Hardiyatmo, 2019). Oleh karena itu, diperlukan

pendekatan desain campuran yang tidak hanya sesuai dengan karakteristik lalu lintas, tetapi juga mampu mengakomodasi kondisi lingkungan lokal.

Metode Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavement*) dikembangkan dalam kerangka Strategic Highway Research Program (SHRP) sebagai sistem desain campuran aspal modern yang menitikberatkan pada penyesuaian gradasi agregat, sifat aspal, serta kondisi iklim dan beban lalu lintas aktual. Dibandingkan dengan metode konvensional seperti AC-WC, Superpave telah terbukti mampu meningkatkan daya tahan, mengurangi potensi deformasi plastis, dan memperpanjang umur layan perkerasan (Farooq et al., 2025; Hadi dan Fauziah 2022; Tutu et al., 2022; Al-Khateeb et al., 2017; Zumwari dan Edrees, 2016). Desain gradasi Superpave memungkinkan pengendalian distribusi ukuran agregat secara presisi, sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat dan stabil terhadap beban dinamis.

Namun demikian, selain desain gradasi, proses pencampuran aspal juga merupakan faktor yang tidak kalah penting dalam menentukan performa akhir perkerasan. Metode pencampuran konvensional sering kali dilakukan secara bersamaan, di mana seluruh fraksi agregat dicampur sekaligus dengan aspal. Sementara itu, pendekatan pencampuran bertahap yang saat ini telah diadopsi secara luas di beberapa negara dengan iklim ekstrem menawarkan alternatif pencampuran yang lebih sistematis. Dalam metode ini, agregat kasar terlebih dahulu dilapisi dengan aspal sebelum agregat halus dan *filler* ditambahkan dalam tahapan berikutnya, baik dalam dua tahap maupun tiga tahap pencampuran.

Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa metode pencampuran bertahap dapat memberikan keunggulan dalam hal peningkatan daya tahan campuran terhadap keausan, kelembapan, dan gaya tarik. Yaro et al. (2021) melaporkan bahwa campuran dua dan tiga tahap memiliki ketahanan aus dan kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. Hasil serupa juga disampaikan oleh Kok dan Kologlu (2011), Hesami et al. (2015), serta Iqbal dan Fauziah (2023), yang menyimpulkan bahwa metode ini menghasilkan campuran dengan stabilitas dan kekuatan mekanis yang lebih tinggi, sehingga lebih andal dalam menghadapi beban lalu lintas dan risiko deformasi plastis.

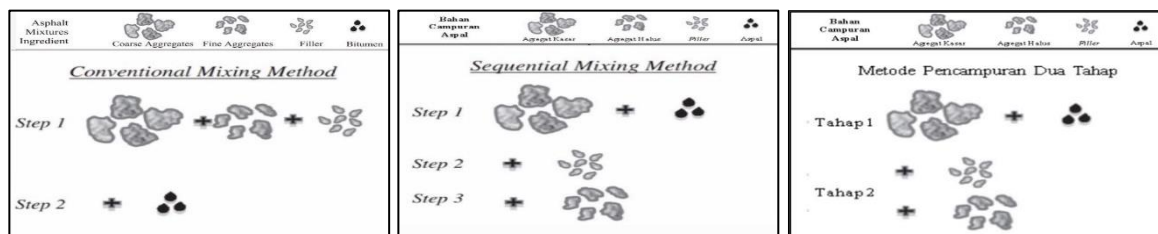
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penerapan berbagai metode pencampuran terhadap kinerja campuran bergradasi Superpave. Penilaian kinerja dilakukan berdasarkan parameter Marshall, yang mencakup stabilitas, kelelahan (*flow*), *Void In Total Mix* (VITM), *Void Filled With Asphalt* (VFWA), dan *Void in Mineral Aggregate* (VMA). Selain itu, untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap ketahanan campuran, dilakukan pula pengujian tambahan berupa *Indirect Tensile Strength* (ITS), *Index of Retained Strength* (IRS), dan Cantabro Loss (CL) guna mengevaluasi ketahanan terhadap beban tarik tidak langsung, kelembapan, serta keausan.

Campuran uji pada penelitian ini menggunakan agregat lokal dari Clereng, Kulon Progo, dan aspal penetrasi 60/70 yang umum digunakan di wilayah D.I. Yogyakarta. Dengan pendekatan eksperimental ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan rekomendasi strategis terkait metode pencampuran yang lebih optimal, sehingga dapat diterapkan dalam

praktik pembangunan jalan untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan daya tahan perkerasan aspal di lapangan.

METODE

Penelitian ini menggunakan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang berasal dari wilayah Clereng, Kulon Progo, serta bahan pengikat berupa aspal keras penetrasi 60/70. Seluruh rangkaian pengujian dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan awal penelitian diawali dengan pengujian karakteristik fisik material untuk memastikan kelayakan dan kesesuaian bahan yang digunakan. Selanjutnya dilakukan perancangan proporsi campuran agregat berdasarkan gradasi Superpave yang telah ditentukan, diikuti dengan penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk masing-masing gradasi. Setelah nilai KAO diperoleh, benda uji dibuat sesuai dengan metode pencampuran yang akan diuji. Ilustrasi tahapan pencampuran disetiap metode dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Metode Pencampuran Konvensional, Dua Tahap, dan Tiga Tahap
(Sumber : Hesami et al., 2015)

Kemudian, evaluasi performa campuran dilakukan melalui pengujian *Marshall Standard* (MS) untuk memperoleh parameter stabilitas, *flow*, VITM, VFWA, dan VMA. Selain itu, dilakukan pula pengujian tambahan berupa ITS untuk menilai ketahanan tarik tidak langsung, IRS untuk mengevaluasi ketahanan terhadap kelembapan, serta CL untuk mengukur ketahanan terhadap keausan. Seluruh parameter ini dianalisis untuk menilai dampak penerapan berbagai metode pencampuran terhadap kinerja campuran perkerasan bergradasi Superpave. Dalam teknik pencampuran konvensional, seluruh agregat dipanaskan secara bersamaan hingga mencapai suhu tertentu. Kemudian, aspal yang telah dipanaskan dicampur dan diaduk secara merata Brown et al. (2009). Metode pencampuran dua tahap diawali dengan melakukan pencampuran pada agregat kasar dengan kadar aspal yang tepat yang kemudian mencampurkannya dengan agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang telah ditentukan, dengan tujuan diharapkan dapat memperkuat daya ikat antara aspal dengan agregat sehingga dapat mengurangi risiko terkelupasnya agregat apabila terkena kelembapan, dan mengurangi risiko terbentuknya debu atau kontaminan yang dapat mempengaruhi kualitas campuran aspal (Kok dan Kuloglu, 2011). Dalam metode pencampuran tiga tahap, pada kondisi awal pencampuran agregat kasar dan aspal dipanaskan kemudian dicampur secara bersamaan. Selanjutnya *filler* ditambahkan, lalu dicampur hingga merata dan terakhir dilakukan penambahan agregat halus. Kodefikasi saat penyajian

hasil adalah sebagai berikut: metode 1 untuk pencampuran konvensional, metode 2 untuk pencampuran dua tahap, dan metode 3 untuk pencampuran tiga tahap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian karakteristik bahan campuran dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1 Hasil Pengujian Aspal

Parameter	Spek.	Hasil
Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,034
Penetrasi (0,1 mm)	60-70	63,2
Daktilitas (cm)	≥ 100	165
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	320
Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	330
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48
Kelarutan <i>TCE</i> (%)	≥ 99	99,995

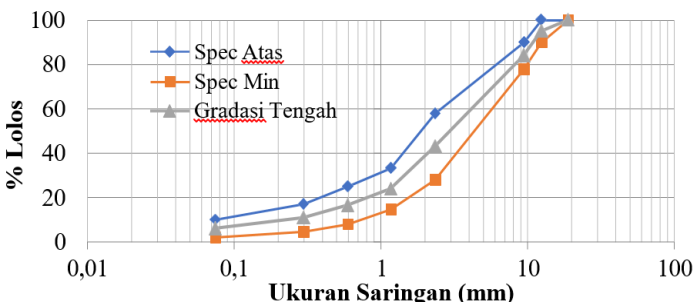
Tabel 2 Hasil Pengujian Agregat

Parameter	Spek.	Hasil
Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,771
Penyerapan Terhadap Air (%)	≤ 3	2,253
Kearifan dengan Mesin <i>Loss Angeless</i> (%)	≤ 40	19,4
<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	93,3

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah material yang telah memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018.

Penentuan Gradasi Rencana

Bahan pencampuran yang digunakan terdiri dari aspal, *filler*, agregat kasar, dan agregat halus yang selanjutnya akan diuji untuk mengetahui apakah sifat material tersebut memenuhi persyaratan untuk campuran aspal yang baik. Rencana gradasi yang akan digunakan tersaji pada Gambar 2 berikut.

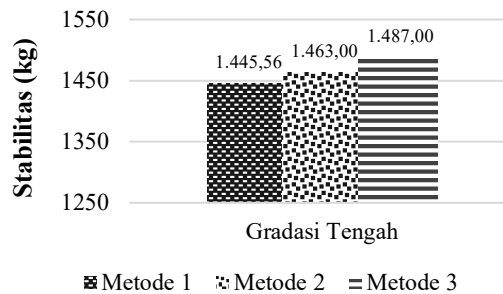


Gambar 2 Gradasi Rencana *Superpave*

Pada penelitian ini menggunakan gradasi rencana yaitu gradasi tengah yang merupakan penggabungan antara spesifikasi batas atas dan spesifikasi batas minimum dari gradasi *Superpave*. Yang mana telah didapatkan pada penelitian sebelumnya, untuk KAO pada gradasi tengah sebesar 5,3%. (Hadi et al., 2024).

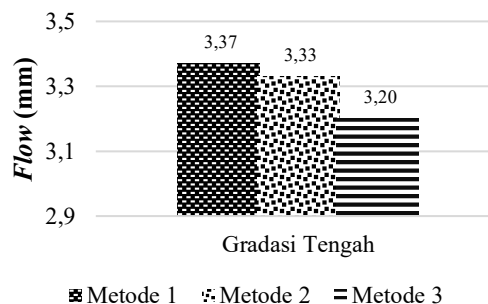
Pengujian MS

Hasil dari pengujian karakteristik *Marshall Standard* yang didapat Stabilitas, *Flow*, MQ, VITM, VMA, dan VFWA dapat dilihat sebagai berikut.



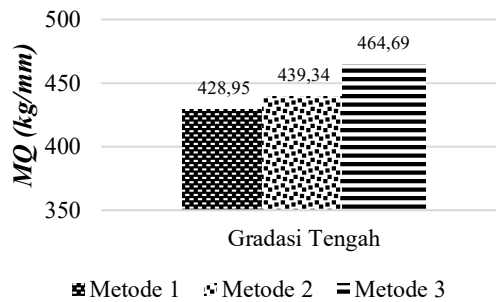
Gambar 3 Nilai Stabilitas pada Setiap Metode Pencampuran

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada campuran metode bertahap tiga cenderung memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode bertahap dua sebesar 1,61% dan metode konvensional sebesar 2,79%. Hal ini berarti penggunaan metode bertahap dalam pencampuran dapat meningkatkan nilai stabilitas sehingga campuran memiliki kekuatan yang lebih baik dalam menahan beban lalu lintas. Metode bertahap mampu menyebabkan sedikit pengurangan rongga udara dan rongga dalam agregat sehingga menghasilkan nilai *stability* yang lebih baik. (Kok dan Kuloglu, 2011).



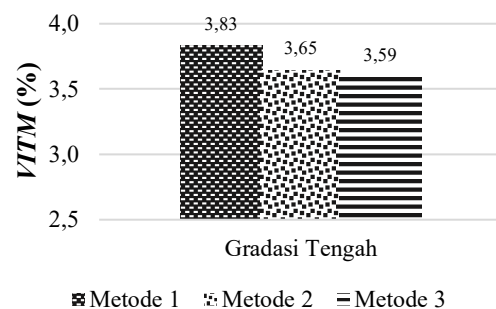
Gambar 4 Grafik *Flow* terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Nilai *flow* yang terlalu kecil dapat membuat campuran menjadi terlalu kaku dan mudah retak. Namun sebaliknya apabila nilai *flow* terlalu besar akan membuat campuran menjadi lunak dan mudah terdeformasi. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa penggunaan metode pencampuran metode bertahap 2 dan bertahap 3 cenderung memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan metode konvensional. Nilai *flow* pada metode konvensional 1,19 % lebih tinggi dibanding metode bertahap dua dan 5,40% lebih tinggi dibanding metode konvensional. Campuran dengan pencampuran metode bertahap mampu membuat daya ikat antar agregat dan aspal menjadi lebih baik sehingga mengakibatkan campuran memiliki keseimbangan antara kelenturan atau ketahanan terhadap deformasi yang lebih baik.



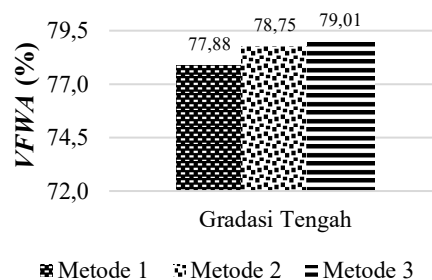
Gambar 5 Nilai MQ terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Pada Gambar 5, metode bertahap tiga memiliki nilai MQ yang lebih besar sebesar 5,45% dibandingkan dengan metode bertahap dua dan 7,69% lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional. Hal ini dikarenakan campuran aspal yang dipadatkan dengan baik dapat memiliki lebih sedikit rongga sehingga meningkatkan stabilitas tanpa menyebabkan nilai $flow$ yang meningkat secara berlebihan. Kok dan Kuloglu (2011) mengatakan metode dengan pencampuran bertahap lebih dapat membuat campuran yang tahan akan beban lalu lintas yang berat sehingga tidak mudah mengalami deformasi plastis.



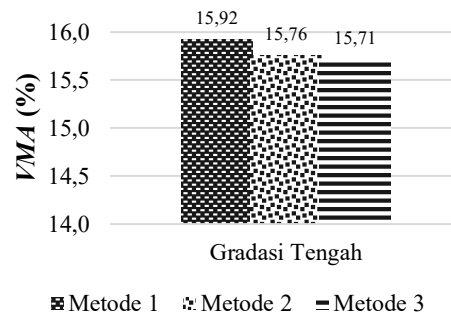
Gambar 6 Grafik VTM terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Berdasarkan Gambar 6, penggunaan metode pencampuran bertahap berdampak signifikan terhadap nilai VTM . Dengan metode konvensional campuran aspal memiliki nilai VTM yang lebih besar sebesar 4,87% dibandingkan dengan metode bertahap dua dan 6,26% dibandingkan dengan metode bertahap tiga. Metode pencampuran bertahap memiliki rongga udara yang lebih merata sepanjang campurannya dibandingkan dengan metode konvensional, sehingga campuran bertahap memiliki kepadatan yang lebih baik.



Gambar 7 Nilai $VFWA$ terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Berdasarkan hasil penyajian pada Gambar 7, metode bertahap tiga menghasilkan nilai 0,33% lebih besar dibandingkan dengan metode bertahap dua dan 1,43% lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional. Hal ini mengindikasikan pada campuran metode bertahap, aspal dan agregat dapat tercampur lebih merata sehingga dapat memberikan kesempatan aspal untuk lebih banyak terserap.

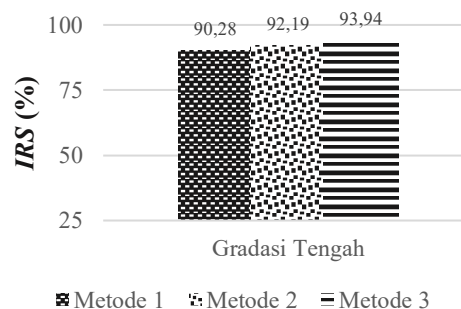


Gambar 8 Grafik VMA terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa penggunaan metode konvensional menghasilkan nilai yang lebih tinggi 1,03% dibanding metode pencampuran bertahap dua dan 0,3% dibanding metode bertahap tiga. Metode pencampuran bertahap lebih mampu membuat ikatan adhesi sehingga jarak antar butir yang ada pada campuran menjadi lebih rapat, dan memberikan kesempatan aspal untuk terserap lebih maksimal sehingga tidak adanya penumpukan aspal yang ada antar agregat.

Pengujian IRS

Hasil pengujian IRS terhadap pengaruh penerapan berbagai metode pencampuran pada kinerja campuran bergradasi Superpave dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.

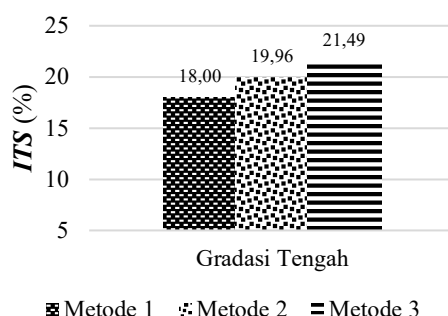


Gambar 9 Nilai IRS terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Gambar 9 memperlihatkan bahwa nilai IRS pada metode bertahap tiga menghasilkan nilai 1,86% lebih tinggi dibandingkan dengan metode bertahap dua dan 3,89% lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil ini menjelaskan bahwa nilai IRS dengan metode pencampuran bertahap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional yang artinya metode pencampuran bertahap lebih tahap terhadap perubahan suhu oleh faktor lingkungan.

Pengujian ITS

Hasil pengujian ITS terhadap pengaruh penerapan berbagai metode pencampuran pada kinerja campuran bergradasi Superpave disajikan pada Gambar 10 berikut.

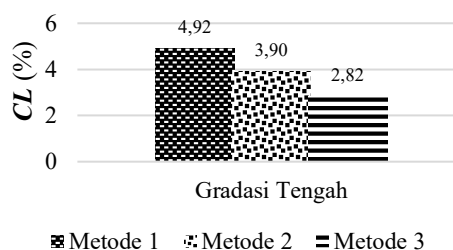


Gambar 10 Nilai ITS terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Pada Gambar 10 dapat diketahui bahwa nilai ITS pada campuran bertahap signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional, yaitu dengan dominasinya metode bertahap tiga tahap sebesar 7,14% terhadap metode bertahap dua serta 16,25% terhadap metode konvensional. Secara umum, hal ini membuktikan bahwa metode pencampuran bertahap lebih mampu menahan potensi terjadinya keretakan yang diakibatkan oleh kegagalan gaya tarik.

Pengujian CL

Hasil dari pengujian CL terhadap pengaruh penerapan berbagai metode pencampuran pada kinerja campuran bergradasi Superpave diketahui pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11 Nilai CL terhadap Berbagai Metode Pencampuran

Berdasarkan Gambar 11, campuran dengan metode bertahap menghasilkan nilai CL lebih rendah dibandingkan metode konvensional. Campuran dengan metode bertahap memiliki *interlocking* yang baik antar material sehingga dapat mempertahankan kondisi awalnya pada saat benturan diterima, hal ini terlihat dari rendahnya perbandingan antara nilai pengujian CL pada metode bertahap tiga sebesar 20,76% terhadap bertahap dua dan sebesar 42,66% terhadap metode konvensional

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi laboratorium terhadap campuran bergradasi Superpave dengan penerapan berbagai metode pencampuran, ditemukan bahwa teknik pencampuran bertahap memberikan kinerja campuran yang lebih unggul dibandingkan metode konvensional. Secara khusus, metode pencampuran tiga tahap menunjukkan performa paling dominan, baik dari sisi parameter karakteristik Marshall seperti stabilitas, *flow*, dan kepadatan, maupun pada pengujian tambahan meliputi *Indirect Tensile Strength* (ITS), *Index of Retained Strength* (IRS), dan *Cantabro Loss* (CL), yang mana hasil didapat pada metode pencampuran tiga tahap sebesar 21,49 lebih unggul 16,25% pada ITS, 93,94 lebih unggul 3,89% pada IRS, dan 4,92 pada CL dibandingkan dengan metode konvensional. Keunggulan metode ini mencakup peningkatan kekuatan tarik tidak langsung, resistensi terhadap kelembapan, serta ketahanan terhadap keausan. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan pencampuran yang lebih terstruktur dan berurutan mampu meningkatkan homogenitas dan ikatan antara agregat dan aspal. Dengan demikian, metode pencampuran tiga tahap direkomendasikan sebagai strategi optimal dalam meningkatkan durabilitas dan kinerja mekanis campuran aspal Superpave, terutama dalam kondisi lingkungan tropis dan beban lalu lintas berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khateeb, G. G., Ghuzlan, K. A., and Al-Barqawi, M. O. 2017. *Effect of Superpave Restricted Zone on Volumetric and Compaction Properties of Asphalt Mixtures*. International Journal of Pavement Research and Technology, 10 (6): 488-496.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum Bina Marga, Divisi 6*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Farooq, G., Hussain, A., Yanjun, Q., Ding, H., dan Shamim, A. 2025. *Performance Evaluation of Marshall and Superpave Asphalt Mix Design Methods: A Volumetrics-Analysis Based Approach*. Australian Journal of Civil Engineering, 1-15.
- Hadi, M. A., Apriliyanti, H. R. dan Asrorunniam, A. F., 2024. *Investigasi Pengaruh Zona Larangan pada Gradasi Superpave Terhadap Standar Marshall*. Jurnal Transportasi, 24 (3): 199-208.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2022. *Studi Komparasi Prediksi Umur Pelayanan Antara Campuran Superpave dan AC-WC Menggunakan Permodelan Viskoelastik dan Elastik*. Jurnal Teknisia. 27 (2): 71-82.
- Hadi, M. A., Fauziah, M., dan Subarkah. 2021. *Comparative Study of Marshall Properties and Durability of Superpave and AC-WC Pavement by Using Starbit E-55 and Pen 60/70*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2019. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*.

- Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hesami, E., Birgisson, B., dan Kringos, N. 2015. *Effect of Mixing Sequence on The Workability and Performance of Asphalt Mixtures*. Road Materials and Pavement Design, 16 (2): 1-17.
- Iqbal, I., dan Fauziah, M. 2023. *Experimental Study of The Use of Waste Rubber Tire Additives Using The Sequential Mixing Method on The Performance of Hot-Rolled Sheet-Wearing Course Mixtures*. TEKNIK: Jurnal Ilmu Bidang Kerekayasaan, 44 (2): 167-175.
- Kok, B. V., dan Kuloglu, N. 2011. *Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt*. Road Materials and Pavement Design, 12 (4): 721-738.
- Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407. 1994. *The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays*. Strategic Highway Research Program National Research Council: Washington.
- Tutu, K.A., Ntramah, S., dan Tuffour, Y.A. 2022. *Superpave Performance Graded Asphalt Binder Selection for Asphalt Mixture Design in Ghana*. Scientific African, 17.
- Yaro, N. S. A., Napiah, M. B., Sutanto, M. H., Usman, A., dan Saeed, S. M. 2021. *Performance Evaluation of Waste Palm Oil Fiber Reinforced Stone Matrix Asphalt Mixtures Using Traditional and Sequential Mixing Processes*. Case Studies in Construction Materials, 15 (3).
- Zumrawi, M. M., dan Edrees, S. A. S. 2016. *Comparison of Marshall and Superpave Asphalt Design Methods for Sudan Pavement Mixes*. International Journal of Scientific and Technical Advancements, 2 (1): 29-35.