EVALUASI PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH HDPE PADA CAMPURAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Akh. Faizal Amir [1], **Ester Prikasari** [2],**Hadi Surya Wibawanto** [3]

[1]*Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Perum Joyo Grand Kav. A-22 Malang*
Email: faizalamir134@gmail.com

ABSTRACT

Road infrastructure is one of the key components in supporting mobility and economic growth. However, the quality of road pavement often deteriorates due to high traffic loads and changes in environmental conditions. Therefore, innovative efforts are needed to improve the performance of asphalt mixtures. One approach that can be taken is the use of High Density Polyethylene (HDPE) plastic waste as an additive in asphalt mixtures. This study aims to investigate the effect of adding HDPE waste on the characteristics of AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) asphalt mixtures using the Marshall method through dry mixing. The variations in HDPE content used are 0%, 3%, 5%, 7%, and 9% of the asphalt weight. Tests were conducted to obtain Marshall parameters such as stability, flow, Marshall Quotient (MQ), Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), and Void Filled with Bitumen (VFB). The results of the study indicate that the addition of HDPE waste significantly affects the stiffness and stability of the mixture. At certain concentrations, mixtures containing HDPE can enhance stability and Marshall Quotient values, making the mixture stiffer and more resistant to traffic loads. However, excessive HDPE addition tends to reduce mixture flexibility, as indicated by decreased flow values. The optimal HDPE concentration in this study was found to be around 5%–7%, where the mixture meets Marshall specifications and provides the best performance. The use of HDPE plastic waste in asphalt mixtures not only improves road pavement quality, but also contributes positively to plastic waste management and environmental sustainability.

Keywords: *Asphalt, AC-WC, HDPE, Marshall Test, Dry Method*

ABSTRAK

Infrastruktur jalan merupakan salah satu komponen penting dalam mendukung mobilitas dan pertumbuhan ekonomi. Namun, kualitas perkerasan jalan sering mengalami penurunan akibat beban lalu lintas yang tinggi dan perubahan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya inovatif dalam peningkatan kinerja campuran beraspal. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah pemanfaatan limbah plastik High Density Polyethylene (HDPE) sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah HDPE terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) dengan menggunakan metode Marshall melalui metode pencampuran kering. Variasi kadar HDPE yang digunakan adalah 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9% dari berat aspal. Pengujian dilakukan untuk memperoleh parameter Marshall sepertiNI stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), serta Void Filled with Bitumen (VFB). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah HDPE berpengaruh signifikan terhadap kekakuan dan stabilitas campuran. Pada kadar tertentu, campuran dengan HDPE mampu meningkatkan nilai stabilitas dan Marshall Quotient sehingga campuran menjadi lebih kaku dan tahan terhadap beban lalu lintas. Namun, penambahan HDPE yang berlebihan cenderung menurunkan fleksibilitas campuran, ditandai dengan menurunnya nilai flow. Konsentrasi optimal HDPE dalam penelitian ini diperoleh pada kadar sekitar 5%–7%, di mana campuran memenuhi spesifikasi Marshall dan memberikan performa terbaik. Pemanfaatan limbah plastik HDPE dalam campuran aspal tidak hanya meningkatkan kualitas perkerasan jalan, tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap pengelolaan limbah plastik dan keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci**:** Aspal, AC-WC, HDPE, Marshall Test, Metode Kering

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Namun, kualitas perkerasan jalan sering kali menghadapi tantangan besar karena beban lalu lintas yang berat, perubahan cuaca, serta kondisi lingkungan lainnya. Untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan perkerasan jalan, diperlukan inovasi material yang dapat memperpanjang umur pakai aspal. Salah satu yang menjanjikan adalah penggunaan bahan limbah, seperti plastik, yang dimodifikasi.

High-Density Polyethylene (HDPE) merupakan salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada sisa potongan pipa, botol , kemasan makanann. Seiring meningkatnya konsumsi plastik, jumlah limbah plastik juga meningkat drastis. Adapun dasar dari penggunaan plastik HDPE dalam penelitian ini bertumpu pada karakteristik material HDPE serta pengelolaan limbah plastik. Pada karakteristik material HDPE memiliki sifat mekanis yang baik, termasuk ketahanan terhadap deformasi, air, dan panas. High-Density Poliyethylene (HDPE) adalah polimer termoplastik yang dikenal karena kekuatan dan ketahanannya terhadap berbagai bahan kimia yang mempengaruhi interaksinya dengan aspal dalam campuran perkerasan jalan. HDPE bersifat inert, artinya tidak mudah bereaksi dengan bahan kimia lain, termasuk komponen dalam aspal. Hal ini memastikan bahwa penambahan HDPE tidak menyebabkan reaksi kimia yang merugikan dalam campuran aspal. Sehingga cocok sebagai bahan tambahan untuk memperkuat aspal dan mempunyai titik leleh yang relatif rendah dengan titik leleh sekitar 140°C, plastik HDPE dapat melebur dalam suhu pencampuran aspal tanpa merusak agregat atau matriks aspal. Oleh karena itu, pemanfaatan plastik HDPE dalam kontruksi jalan dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengurangi dampak negative lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas perkerasan.

Plastik HDPE umumnya diproses dalam bentuk tertentu sebelum dicampurkan dengan aspal. Proses ini dilakukan untuk memastikan kompatibilitanya dengan campuran dan meningkatkan homogenitas. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan plastik HDPE yang berupa sisa potongan pipa bekas untuk dijadikan bahan penelitian dengan variasi bentuk yang digunakan sebagai bahan campuran aspal ialah dengan menjadikannya potongan kecil atau serpihan kecil yang di saring atau di ayak pada ukuran ayakan 3/8 untuk menciptakan efek penahan deformasi pada aspal, meskipun waktu pencampuran bisa lebih lama. Cara ini memastikan bahwa HDPE dapat berfungsi optimal dalam meningkatkan karakteristik Marshall, seperti stabilitas, flow, dan parameter lainnya Sebelumnya terdapat penelitian terkait dengan penambahan limbah HDPE ini yaitu penelitian yang berjudul **"*Studi Penggunaan Plastik HDPE pada Campuran Aspal Sebagai Pengikat Kontruksi Jalan*"** (Khadafi et al., 2023). Pada hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan plastik HDPE. pada campuran aspal AC – BC yang telah dilakukan dilaboratorium Universitas Muhammadiyah Parepare maka dapat didapatkan hasil karakteristik penambahan Plastik HDPE pada campuran aspal AC – BC untuk variasi kadar plastik HDPE 4%, 5%, dan 6% dari hasil pengujian pada kadar plastik HDPE 4% dan 5% untuk nilai VIM dan FVB yang tidak memenuhi kadar HDPE 6% atau tidak lolos spesifikasi. Untuk nilai stabilitas, VNA, Flow, MQ semua memenuhi spesifikasi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar penambahan plastik HDPE dapat membuat campuran aspal tidak efektif atau kualitas aspal AC – BC tidak optimal karena semakin besar penambahan plastik HDPE dapat menurunkan kualitas AC – BC. Hasil pembuktian KAO dari nilai karakteristik yang telah diperoleh yang di uji pada kadar HDPE 0% dan tes pada kadar aspal 4,5% sampai dengan 6,5% didapatkan nilai 5,87.

Penelitian ini berfokus pada evaluasi pengaruh penambahan plastik HDPE terhadap karakteristik Marshall dari campuran aspal. Pengujian karakteristik Marshall, seperti stabilitas, kelelehan, memberikan gambaran yang jelas mengenai performa campuran aspal yang dimodifikasi dengan limbah HDPE. Dihara pkan, dengan pemanfaatan plastik HDPE, dapat ditemukan campuran aspal yang lebih kuat, lebih tahan lama, dan lebih ramah lingkungan. Hal tersebut menjadi dasar bagi penulis untuk membahas tentang ***" Evaluasi Pengaruh Penambahan Limbah HDPE pada Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall"*** sebagai Proposal Tugas Akhir

2. LANDASAN TEORI

Aspal dan Karakteristiknya

Aspal adalah salah satu jenis bahan mirip poroleum hitam atau coklat yang memiliki konsistensi bervariasi dari cairan kental hingga padatan kaca. Aspal terdiri dari senyawa ikatan *hydrogen* dan karbon dengan proporsi Nitrogen, Sulfur, dan Oksigen yang kecil. Aspal alam (disebut juga brea), yang diyakini terbentuk pada tahap awal pemecahan endapan organik laut menjadi minyak bumi, dengan ciri khas mengandung mineral, sedangkan aspal minyak sisa tidak.

Aspal yang mengandung lilin lebih peka terhadap temperatur di bandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Hal ini terlihat pada aspal yang mempunyai viskositas yang sama pada temperatur tinggi tetapi sangat berbeda viskositas pada temperatur rendah. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak ataupun mengeras.

Perkerasan Jalan

Pataras et al. (2017). Konstruksi jalan yang menggunakan campuran agregat dan bahan pengikat yang berfungsi untuk menanggung dan mendistribusikan beban kendaraan. Agregat yang figunakan berupa batu pecah, batu belah, ataupun material lain yang sesuai dengan standar. Lapisan perkerasan berfungsi menyalurkan beban ke lapisan bawah agar struktur jalan tetap stabil.

Ichsan et al. (2023). Perkerasan jalan berfungsi menahan dan menyalurkan beban lalu lintas agar tanah dasar dapat menopang beban sesuai daya dukungnya. Tujuannya memastikan kekuatan perkerasan, kenyamanan, keamanan, serta memperpanjang usia jalan. Umumnya, perkerasan terdiri dari empat lapisan: lapisan aus (WC), Base Course, Sub-Base Course, dan Sub-Grade sebagai tanah dasar sesuai nilai CBR.

Plastik HDPE

Icshan et al. (2023). Plastik adalah salah satu makromolekul yang proses pembentukannya melalui tahap polimerisasi. Polimerisasi adalah suatu proses penggabungan dari beberapa molekul sederhana atau nomomer menjadi molekul besar yang disebut makromolekul atau polimer melalui suatu proses kimia. Plastik adalah bahan yang ada di hamper setiap sudut kota, mulai dari sampah plastic botol minuman hingga galon plastik.

Plastik HDPE (*HighDensity Polyethlene)* menjadi salah satu masalah lingkungan terbesar di dunia. Limbah HDPE digunakan secara luas dikalangan masyarakat dunia. Namun, karena sifatnya yang sulut terurai, limbah HDPE menyebabkan pencemaran lingkungan dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah HDPE dalam campuran aspal merupakan salah satu solusi untuk mengurangi akumulasi limbah plastik dan meningkatkan kenberlanjutaninfrastruktur.

Penggunaan Plastik HDPE pada Aspal

Penambahan plastik HDPE ke dalam aspal telah dilakukan dalam berbagai penelitian sebelumnya. Limbah HDPE dapat meningkatkan sifat mekanis dalam campuran aspal, seperti stabilitas, dan kekakuan yang sangat penting dalam perkerasan jalan. Plastik ini memiliki titik leleh yang tinggi, sehingga ketika digunakan dalam campuran aspal, dapat memberikan ketahanan terhadap deformasi pada suhu tinggi dan menngkatkan umur perkersan jalan. (Sengos & Isikyarakar, 2008) Aspal modifikasi merupakan aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah (*Filler)* guna untuk meningkatkan stabilitas lapis satu contoh aspal modifikasi adalah aspal modifikasi polimer. Polimer sering digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan sebagai modifikasi aspal. Penambahan bahan adiktif jenis polimer dalam jumlah kecil ke dalam aspal terbukti dapat meningkatkan kinerja aspal dan memperpanjang umur kekuatan atau masa perkerasan. (Ellis Seprian Arisandi et al. 2021) Dalam penelitian ini menggunakan bahan aditif plastik bekas *High- Density Polyehylene* (HDPE) memiliki ciri kuat, tidak transparan, keras, tahan terhadap suhu tinggi serta korosi. HDPE mempunyai massa jenis antara 0.95-0.97 gmL-1 separuhnya berupa kristalin (50%- 60%) dan memiliki titik leleh 135°C.Menurut (Stefany et al., 2021)dalam tesisnya menyimpulkan bahwa penambahan plastik dalam aspal akan memberikan pengaruh yang baik terhadap sifat-sifat aspal. Hasil pengujian Marshall terhadap campuran beraspal yang mengandung plastik menunjukkan nilai stabilitas, berat isi, kepadatan agregat yang didapatkan (*Compacted Aggregate Density*) dan *Marshall Quotient* campuran *Hot Rolled Asphalt.*

Faktor yang Mempengaruhi Penambahan Plastik HDPE

1. **Prekursor**

   Penelitian ini menggunakan plastik HDPE sebagai bahan tambah dalam campuran aspal. Bentuk awal (precursor) memengaruhi proses pencampuran dan hasil uji. Aspek yang diperhatikan meliputi: bentuk limbah (butiran, serpihan, serbuk), sumber limbah (misalnya potongan pipa), dan proses persiapan (pembersihan, pengeringan, penghancuran). Tujuannya agar material sesuai untuk homogenisasi dalam campuran aspal.

2. **Konsentrasi Plastik HDPE**

   Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi plastik HDPE untuk menilai pengaruhnya terhadap parameter Marshall. Persentase HDPE terhadap total campuran aspal umumnya meliputi: 0% (kontrol), 3% (efek awal), 5% (sering menjadi titik optimal), serta 7% dan 9% (uji batas pencampuran). Rentang ini dapat disesuaikan sesuai kebutuhan dan standar penelitian.

3. **Rasio Antara Agregat dengan Prekursor**

   Rasio agregat dan HDPE dalam campuran aspal dihitung berdasarkan total berat campuran. Umumnya, agregat mencapai 85%–95% dari total berat, sedangkan limbah HDPE ditambahkan

dalam jumlah kecil, yaitu sekitar 3%–9% dari berat aspal atau 0,5%–2% dari total campuran. Desain spesifik disesuaikan dengan spesifikasi teknis dan uji laboratorium untuk menjaga keseimbangan stabilitas dan fleksibilitas campuran.

4. Curing

Proses curing dilakukan setelah pencampuran dan pemadatan aspal untuk memastikan distribusi HDPE, aspal, dan agregat merata serta mencapai sifat optimal sebelum pengujian. Tahapan curing meliputi pemasakan awal (pencetakan dan pemadatan sampel), pendinginan awal pada suhu ruang, serta penyimpanan pada suhu±25 °C atau oven 60 °C untuk menghilangkan residu pelarut. Proses ini bertujuan meningkatkan stabilitas mekanis campuran dan memastikan hasil uji stabilitas, Flow, VIM, VMA, dan VFA akurat, sesuai standar SNI Bina Marga 2018 dan ASTM.

5. Komposisi Filler

Jenis filler seperti kapur atau abu batu memengaruhi adhesi antara aspal dan agregat pada campuran aspal dengan limbah HDPE. Faktor ini perlu dikontrol dan dievaluasi agar campuran memenuhi standar karakteristik Marshall.

Uji Marshall

Icshan et al. (2023). Uji Marshall adalah metode standar yang digunakan untuk menentukan stabilitas dan flow dari campuran aspal. Metode ini berdasarkan prinsip bahwa aspal elastis dapat menahan gaya luar dan pulih ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Uji Marshall melibatkan penempatan sempel aspal dalam cetakan, memberikan beban bertahap untuk mencapai deformasi tertentu, dan mengukur kekuatan aspal melalui jumlah beban yang diperlukan. Parameter yang diukur meliputi:

a. Stabilitas : kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi di bawah beban lalu lintas.

b. Flow : Pengukuran deformasi plastis campuran aspal sebelum terjadi kegagalan.

c. VIM (*Void in Mix*) : Volume rongga dalam campuran aspal.

d. VMA (*Void in Mineral Aggegate*) : volume rongga antar agregat yang diisi aspal.

e. VFA (*Void Filled with Asphalt) :* Icshan et al. (2023). Presentase rongga yang diisi aspal. Sebagai standar internasional, uji Marshall memainkan peran kunci dalam memastikan kualitas dan keselamatan kontruksi jalan raya.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi eksperimental di laboratorium yang dilakuka untuk menganalisis dampak penggunaan limbah plastik HDPE terhadap karakteristik Marshall pada campuran aspal. Variasi presentase HDPE digunakan untuk mengetahui proporsi optimal yang menghasilkan campuran dengan kualitas terbaik.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian

Eksperimen laboratorium ini bertujuan menilai pengaruh limbah plastik HDPE terhadap sifat-sifat Marshall pada campuran aspal. Seluruh proses, mulai dari pembuatan benda uji hingga pengujian karakteristik Marshall, dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang.

Waktu Penelitian

Penelitian dan analisis data dilaksanakan pada Mei hingga Juni 2025, meliputi tiga tahap utama: persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian, serta analisis data dan pelaporan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah HDPE pada campuran aspal. Sampel dengan variasi konsentrasi HDPE diuji menggunakan prosedur standar Marshall untuk menganalisis stabilitas, flow, dan kekakuan campuran. Hasil analisis digunakan untuk menentukan konsentrasi HDPE optimal guna mencapai kualitas campuran terbaik.

Tahapan Penelitian

Tahap persiapan dilakukan untuk menyiapkan bahan, alat, dan form pengujian yang diperlukan dalam penelitian. Pengujian meliputi stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFA) guna menentukan proporsi campuran yang optimal sehingga dihasilkan kualitas campuran aspal terbaik. Pada tahap persiapan material, digunakan aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang, agregat kasar berupa batu pecah (split) berukuran maksimal 25 mm, serta agregat halus berupa abu batu dan pasir dengan ukuran 0,075 mm hingga 4,75 mm.

Prosedur Penelitian

Pengujian bahan dasar dilakukan berdasarkan buku pedoman praktikum bahan jalan dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik

Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang. Pada tahap ini, agregat kasar dan halus dibersihkan dari kotoran, dikeringkan dalam oven pada suhu 110 ± 5 °C hingga mencapai berat tetap, kemudian dilakukan analisis gradasi melalui penyaringan sesuai standar SNI 03-1968-1990 dan dipisahkan berdasarkan fraksi ukuran untuk memudahkan penimbangan sesuai komposisi rancangan. Persiapan aspal dilakukan dengan memanaskan aspal hingga suhu 150 °C dan menguji karakteristiknya sesuai prosedur standar. Persiapan bahan campuran HDPE meliputi penggilingan limbah pipa paralon menggunakan mesin pencacah, pembersihan, pengeringan, serta pengayakan pada saringan 3/8 inci untuk dijadikan bahan tambahan pada agregat. Pembuatan benda uji dilakukan dengan menyusun proporsi agregat kasar, agregat halus, filler, serta variasi limbah HDPE sebesar 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9% dari total berat campuran. Aspal dipanaskan hingga 150–160 °C, kemudian dicampurkan dengan agregat, filler, dan HDPE hingga homogen, lalu dimasukkan ke dalam mold Marshall dan dipadatkan menggunakan hammer Marshall sebanyak 75 tumbukan di setiap sisi. Setelah pendinginan pada suhu ruang, sampel dilepas dari cetakan dan disimpan pada kondisi kering hingga siap diuji. Pengujian campuran aspal HDPE dilakukan menggunakan metode Marshall (metode kering) untuk mengevaluasi karakteristik fisik material serta memastikan bahwa semua bahan memenuhi spesifikasi teknis Bina Marga.

Pengujian Stabilitas

Pengujian stabilitas dan flow dilakukan menggunakan alat uji Marshall sesuai standar ASTM D1559. Sampel campuran aspal dengan variasi limbah HDPE sebesar 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9% dipanaskan dalam air bath pada suhu 60 °C selama 30–40 menit, kemudian diuji dengan pembebanan konstan 50,8 mm/menit. Hasil pengujian berupa nilai stabilitas (beban maksimum yang dapat ditahan, kg) dan flow (deformasi plastis saat beban maksimum, mm) digunakan untuk mengevaluasi kualitas campuran aspal.

Flow

Flow adalah ukuran deformasi plastis atau perubahan bentuk yang terjadi pada campuran aspal saat dikenai beban hingga titik kerusakan. Nilai ini menunjukkan seberapa jauh benda uji mengalami pergeseran atau regangan horizontal ketika stabilitas maksimum tercapai.

Dalam Metode Marshall, flow diukur menggunakan dial gauge dengan satuan mm (milimeter), yaitu jarak pergerakan horizontal yang terjadi pada benda uji mulai dari awal pembebanan hingga tercapainya beban maksimum.

VIM (*Void in Mix)*

VIM adalah persentase rongga udara (*air voids*) yang masih tersisa dalam campuran aspal setelah dipadatkan. Dengan kata lain, VIM menunjukkan volume pori yang tidak terisi oleh aspal maupun agregat di dalam campuran.

VIM dihitung berdasarkan selisih antara berat jenis bulk campuran (Bulk Density) dengan berat jenis teoritis maksimum (VIMT atau Rice Test), lalu dinyatakan dalam persen (%). VIM dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{VIM} = \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

Gmm : Berat jenis maksimum teoritis campuran (*maximum theoritical gravity*)

Gmb : Berat jenis campuran (*Bulk Spesific Gravity*)

VMA (*Void Mineral Aggregate*)

VMA adalah persentase volume rongga yang terdapat di antara butiran agregat dalam suatu campuran aspal setelah pemadatan, yang belum terisi oleh aspal. Dengan kata lain, VMA menunjukkan ruang kosong dalam kerangka agregat yang tersedia untuk diisi oleh aspal dan rongga udara (VIM). VMA dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{VMA} = \left(\frac{G_{sa} - G_{mb}}{G_{mb}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

Gsa : Berat jenis agregat

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran

VFA (*Void Filled with Asphalt*)

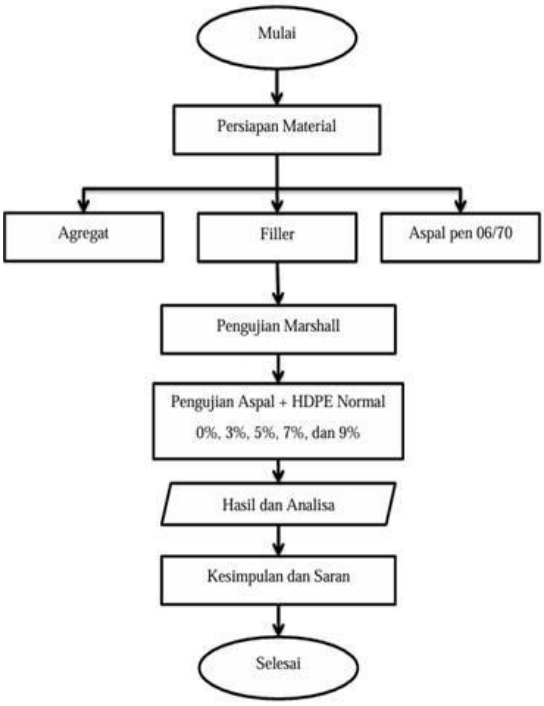
VFA adalah persentase dari volume rongga agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif dalam suatu campuran setelah proses pemadatan. Dengan kata lain, VFA menunjukkan seberapa banyak ruang kosong dalam kerangka agregat (VMA) yang berhasil diisi oleh aspal, bukan udara. VFA dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{VFA} = \left(\frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

VMA : Diperoleh dari pengujian sebelumnya
VIM : Diperoleh dari pengujian sebelumnya

Bagan Alir

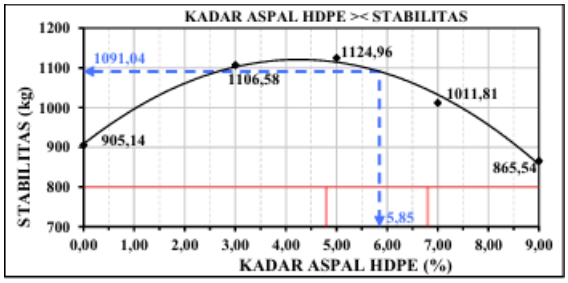


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. PEMBAHASAN

Stabilitas

Stabilitas menunjukkan kemampuan campuran aspal menahan beban tanpa mengalami deformasi permanen. Pengujian pada campuran AC-WC mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010, dan hasilnya menunjukkan bahwa penambahan plastik HDPE meningkatkan nilai stabilitas melalui penguatan ikatan antara aspal dan agregat. Hasil grafik dapat dilihat pada **gambar 2**.

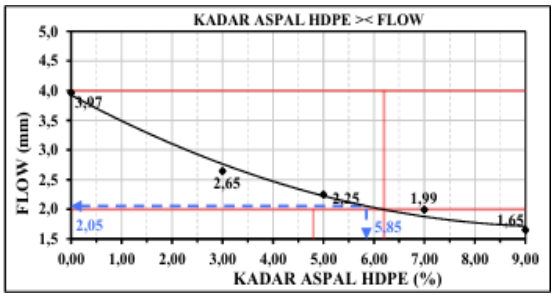


Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 2. Grafik Stabilitas Penelitian

Flow

Flow menunjukkan besarnya deformasi campuran aspal sebelum mengalami kerusakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai flow pada campuran, baik dengan maupun tanpa penambahan HDPE, tidak seluruhnya memenuhi standar. Selain itu, penambahan HDPE yang lebih tinggi cenderung menyebabkan penurunan nilai flow. Hasil grafik dapat dilihat pada **Gambar 3.**



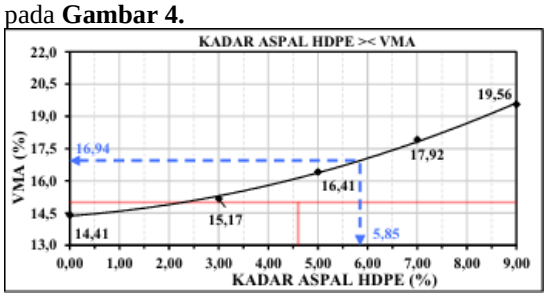
Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 3. Grafik Flow (Kelelehan)

Berdasarkan grafik, nilai flow pada campuran aspal dengan variasi HDPE berada pada kisaran 1,65 mm hingga 3,97 mm untuk kadar 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9%. Pada kadar aspal optimum 5,85%, nilai flow mencapai 2,05 mm. Peningkatan kadar HDPE cenderung menyebabkan penurunan nilai flow. Nilai flow yang terlalu tinggi atau terlalu rendah mengindikasikan campuran kurang optimal, sehingga diperlukan keseimbangan antara stabilitas dan fleksibilitas untuk memperoleh kualitas campuran terbaik.

VMA (*Void Mineral Aggregate*)

Volume Void in Mineral Aggregate (VMA) menggambarkan volume rongga antarbutir agregat yang terisi aspal dalam campuran. Berdasarkan hasil pengujian, nilai VMA cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Kondisi ini menunjukkan adanya peningkatan ruang antaragregat yang dapat diisi aspal pada kadar tertentu, sehingga memengaruhi kepadatan dan karakteristik campuran.Hasil grafik dapatt dilihat pada **Gambar 4.**



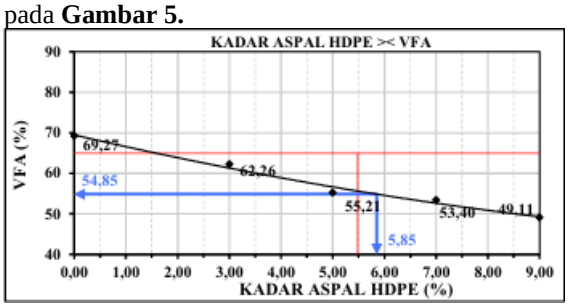
Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 4. Grafik VMA Campuran HDPE

Berdasarkan grafik, nilai VMA berada pada kisaran 14,41% hingga 19,56% dengan nilai optimum sebesar 16,94% pada kadar aspal 5,85%. Hasil ini menunjukkan bahwa VMA meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran HDPE. VMA yang optimal sangatlah penting untuk memastikan campuran ruang yang cukup bagi aspal tanda harus mengurangi stabilitas campuran.

VFA (*Void Filled With Asphalt)*

VFA menggambarkan persentase rongga antarbutir agregat yang terisi aspal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFA meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, yang menandakan semakin banyak rongga terisi dan kepadatan campuran semakin tinggi. Hasil grafik dapat dilihat pada **Gambar 5.**



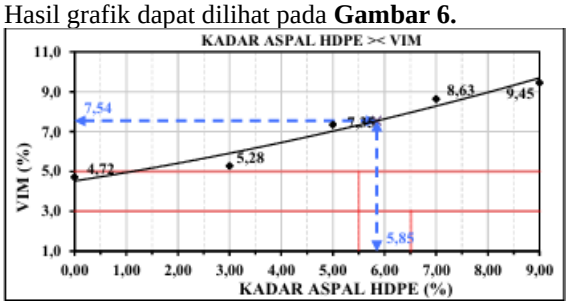
Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 5. Grafik VFA Campuran HDPE

Berdasarkan grafik, hubungan antara kadar aspal pada campuran HDPE dengan VFA menunjukkan bahwa nilai VFA berada pada rentang 49,11% hingga 69,27% untuk variasi kadar HDPE 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9%. Nilai VFA cenderung menurun seiring peningkatan kadar HDPE dalam campuran.

VIM *(Void in Mix)*

VIM menunjukkan persentase volume udara dalam campuran aspal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VIM menurun seiring peningkatan kadar aspal. Pada kadar aspal optimum, nilai VIM berada dalam batas spesifikasi, menandakan adanya keseimbangan antara ruang pori dan daya ikat aspal. Hasil grafik dapat dilihat pada **Gambar 6.**

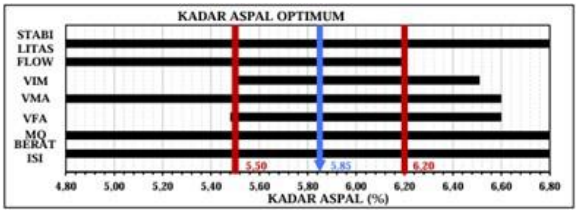


Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 6. Grafik VIM

Grafik menunjukkan hubungan kadar aspal pada campuran HDPE dengan VIM, dengan batas spesifikasi 3–5%. Nilai VIM berkisar antara 4,72%–9,45% untuk kadar HDPE 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9%, sedangkan pada kadar aspal optimum 5,85% tercatat 7,54%. Peningkatan kadar HDPE cenderung meningkatkan nilai VIM. VIM yang terlalu rendah berpotensi menyebabkan bleeding, sedangkan nilai yang terlalu tinggi dapat meningkatkan permeabilitas dan menurunkan ketahanan terhadap air.

Berdasarkan grafik, hubungan kadar aspal dengan densitas menunjukkan bahwa nilai densitas berada pada rentang 2,457 g/cm³ hingga 2,266 g/cm³ untuk kadar HDPE 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9%. Pada kadar aspal optimum 5,85%, densitas tercatat sebesar 2,307 g/cm³. Terlihat bahwa densitas cenderung menurun seiring peningkatan kadar HDPE, yang mengindikasikan penurunan kepadatan campuran. Hasil kadar aspal dapat dilihat pada **Gambar 9.**



Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 9. Grafik Diagram Batang Kadar Aspal Optimum untuk Campuran HDPE AC-WC

Kadar aspal optimum diperoleh dari grafik pada titik perpotongan, di mana sisi kiri menunjukkan batas atas dan sisi kanan menunjukkan batas bawah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai *Evaluasi Pengaruh Penambahan Limbah HDPE pada Campuran Aspal terhadap Karakteristik Marshall*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan limbah HDPE pada campuran aspal meningkatkan stabilitas hingga kadar 3%–5%, sehingga campuran lebih tahan terhadap beban lalu lintas dibandingkan campuran konvensional.
2. Nilai flow cenderung menurun seiring bertambahnya kadar HDPE, yang menunjukkan peningkatan kekakuan campuran. Namun, penggunaan HDPE berlebih dapat menurunkan fleksibilitas.
3. Penambahan HDPE dengan metode kering secara umum meningkatkan kekakuan campuran, ditandai dengan peningkatan stabilitas dan penurunan flow. Efek optimum terjadi pada kadar HDPE 3%–5%, sedangkan penambahan berlebih dapat menurunkan performa akibat penggumpalan atau distribusi yang tidak merata.
4. Berdasarkan pengujian laboratorium, kadar HDPE optimum berada pada kisaran 3%–5% dari berat aspal dengan metode kering.

SARAN

Penelitian lanjutan disarankan dilakukan dengan variasi kadar HDPE dan metode pencampuran yang berbeda untuk meningkatkan homogenitas campuran. Selain itu, diperlukan uji ketahanan jangka panjang terhadap pengaruh lingkungan dan beban lalu lintas, serta implementasi uji lapangan untuk menilai kinerja nyata. Evaluasi aspek ekonomi juga penting dilakukan guna menentukan kelayakan penerapan teknologi ini secara industri.

DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

Ahmad Norhadi, Akhmad Marzuki, S. (2021). Jurnal Gradasi Teknik Sipil. Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952., 5(2), 2013–2015.

Ellis Seprian Arisandi, Desriantomy, & Supiyan. (2021). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (Hrs-Wc) Menggunakan Bahan Tambah Plastik Bekas Jenis High Density Polyethylene (Hdpe). Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan, 4(2), 120–129. https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2724.

Ersa, N. S., Satria, R. T., Usrina, N., Sipil, J. T., Teknik, F., & Malikussaleh, U. (n.d.). Dengan Substitusi Limbah High Density Polyethylene (Hdpe) Menggunakan.

Karakteristik, A., Berdasarkan, M., Hdpe, P., Pengganti, S., Aspal, S., & Lapis, P. (2023). Jurnal simetrik vol 13, no. 2, desember 2023. 13(2), 716–722.

Khadafi, M., Jasman, & Fadly, I. (2023). Studi Penggunaan Plastik Hdpe (High Density Polyethylene) Pada Campuran Aspal Sebagai Bahan Pengikat Kostruksi Jalan. Jurnal Karajata Engineering, https://doi.org/10.31850/karajata.v3i2.2309.

Kumita, K., & Jaslidan, J. (2021). Analisis Kinerja Stabilitas Campuran Aspal Beton Yang Ditambah Plastik Hdpe. VARIASI : Majalah Ilmiah Universitas Almuslim, 13(3), 118–124. https://doi.org/10.51179/vrs.v13i3.854.

Nofriandi, I., Alamsyah, W., & Lydia, E. N. (2023). Studi Penambahan Variasi Campuran Plastik Jenis Hdpe Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Untuk Lapis Aus Ac-Wc. Jurnal Teknik https://doi.org/10.24815/jts.v12i2.31207.

Rahmawati, A. (2017). Perbandingan Penggunaan Polypropilene (Pp) Dan High Density Polyethylene (Hdpe) Pada Campuran Laston_Wc. Jurnal Media Teknik Sipil, 15(1), 11–19. https://doi.org/10.22219/jmts.v15i1.4414.

Sengoz, B., & Isikyakar, G. (2008). Analysis of styrene-butadiene-styrene polymer modified bitumen using fluorescent microscopy and conventional test methods. Journal of Hazardous Materials, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.122 150(2), 424–432.

Stefany, A., Elvina, I., & Desriantomy. (2021). Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Hdpe Terhadap Durabilitas Campuran Hrs-Wc. Teknika, 5(1), 56–63