

Potensi Pemanfaatan Limbah Plastik HDPE Sebagai Bahan Aditif untuk Meningkatkan Kinerja Perkerasan AC-BC

I Dewa Made Alit Karyawan^{1*}, Desi Widianty¹, Arlin Febriana¹

¹Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

dewaalit@unram.ac.id*

| Received: 09/06/2025 | Revised: 17/06/2025 | Accepted: 21/06/2025 |

Copyright©2025 by authors, all rights reserved. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License

Abstrak

Konstruksi perkerasan lentur secara luas menggunakan aspal sebagai bahan pengikat utama karena kemampuannya merekatkan agregat dan membentuk struktur yang kuat. Namun, tingginya permintaan aspal menimbulkan tantangan dalam penyediaannya. Karena itu, diperlukan alternatif yang dapat mengurangi ketergantungan pada aspal murni sekaligus meningkatkan kinerja campuran. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah pemanfaatan limbah plastik jenis High Density Polyethylene (HDPE), yang diketahui dapat meningkatkan stabilitas campuran, ketahanan terhadap deformasi permanen (rutting), serta ketahanan terhadap air dan kelembaban, sembari mendukung pengelolaan limbah berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan HDPE terhadap karakteristik campuran Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC). Berdasarkan analisis volumetrik dan mekanis campuran AC-BC, penambahan HDPE meningkatkan stabilitas dan kepadatan dengan penurunan VMA dan VIM serta peningkatan VFA. Stabilitas naik signifikan hingga 12%, namun flow melebihi batas spesifikasi pada kadar $\geq 8\%$, dan Marshall Quotient menurun, menandakan penurunan kekakuan. Menurut spesifikasi Bina Marga (2018), kadar HDPE maksimum yang memenuhi syarat adalah 4%. Diperlukan pendekatan multi-kriteria untuk menentukan kadar HDPE terbaik yang seimbang antara kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan deformasi jangka panjang.

Kata kunci: AC-BC, Aspal beton, HDPE, Perkerasan lentur, Uji Marshall

Abstract

Flexible pavement construction widely employs asphalt as the primary binding material due to its ability to coat aggregates and form a strong, cohesive structure. However, the growing demand for asphalt and rising prices driven by global oil market fluctuations pose significant challenges to its availability. Therefore, alternative solutions are needed to reduce reliance on pure asphalt while enhancing the performance of asphalt mixtures. One promising alternative is the utilization of waste plastic in the form of High Density Polyethylene (HDPE), which has been shown to improve mixture stability, resistance to permanent deformation (rutting),

and durability against moisture damage, while also contributing to sustainable waste management. This study aims to evaluate the effect of HDPE addition on the characteristics of Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC) mixtures. Based on the volumetric and mechanical analysis of the AC-BC mixture, adding HDPE increases stability and density with a decrease in VMA and VIM and an increase in VFA. Stability increases significantly up to 12%, but flow exceeds the specification limit at a content of $\geq 8\%$, and the Marshall Quotient decreases, indicating a decrease in stiffness. According to the Bina Marga specification (2018), the maximum HDPE content meets the requirements is 4%. A multi-criteria approach is needed to determine the best HDPE content that balances strength, flexibility, and long-term deformation resistance.

Keywords: AC-BC, Asphalt concrete, HDPE, Flexible pavement, Marshall test

1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk dan aktivitas transportasi yang semakin tinggi berdampak langsung pada peningkatan volume lalu lintas. Kondisi ini menuntut tersedianya infrastruktur jalan yang andal dan berkualitas tinggi, salah satunya melalui pembangunan perkerasan lentur yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat utama (Karyawan et al., 2023). Namun, ketersediaan aspal menjadi tantangan baru mengingat kenaikan harga yang signifikan akibat fluktuasi pasar minyak dunia (Sumantoro, 2021). Oleh karena itu, diperlukan inovasi yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap aspal minyak sekaligus meningkatkan mutu dan kinerja campuran beraspal.

Salah satu inovasi yang potensial adalah penggunaan limbah plastik *Polyethylene* sebagai bahan aditif. *Polyethylene* adalah polimer sintetik yang banyak digunakan karena sifatnya yang kuat dan tidak mudah larut pada suhu kamar. Berdasarkan densitasnya, *polyethylene* terbagi menjadi empat jenis. *High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki densitas tinggi (0,95–0,97 g/cm³) dan titik leleh di atas 127°C, cocok untuk produk kuat dan tahan panas. *Low Density Polyethylene* (LDPE) memiliki densitas lebih rendah (0,91–0,94 g/cm³) dan titik leleh sekitar 115°C, sering digunakan dalam kemasan plastik karena kelenturannya. *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE) memiliki densitas 0,90–0,94 g/cm³ dan diproduksi secara ramah lingkungan, digunakan untuk produk fleksibel seperti film plastik. *Very Low Density Polyethylene* (VLDPE) memiliki densitas paling rendah (0,86–0,90 g/cm³) dan sangat elastis, cocok untuk aplikasi yang memerlukan fleksibilitas tinggi. Keempat jenis ini menunjukkan bahwa *polyethylene* sangat adaptif untuk berbagai kebutuhan industri dan lingkungan.

High Density Polyethylene (HDPE) dengan telah terbukti dapat memperbaiki karakteristik aspal, seperti meningkatkan stabilitas campuran, ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*), serta resistensi terhadap kelembaban (Ahmadinia et al., 2011). Selain itu, pemanfaatan HDPE sebagai bahan tambah turut memberikan solusi terhadap permasalahan limbah plastik yang menjadi isu lingkungan global. Indonesia tercatat sebagai negara penghasil limbah plastik terbesar kedua di dunia setelah Tiongkok (Machsus et al., 2020), dengan dampak negatif yang signifikan terhadap kualitas tanah, air, udara, dan kesehatan manusia (Manurung et al., 2016).

Penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan HDPE pada campuran aspal, baik pada lapisan AC-BC maupun AC-WC, menunjukkan hanya 2-4 % limbah plastik HDPE terhadap berat aspal yang memenuhi nilai karakteristik Marshall dan tahan terhadap cuaca ekstrem pada campuran AC-BC (Sumiati et al., 2019), bahkan penelitian lainnya mendapatkan nilai optimal pada kadar 8% (Suprayitno & Mudjanarko, 2020). Perbandingan penggunaan HDPE dan PP menunjukkan bahwa HDPE dapat meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran, cocok untuk lalu lintas tinggi, meski belum memenuhi semua parameter Marshall. PP lebih elastis dan sesuai untuk daerah bersuhu ekstrem, namun cenderung meningkatkan FLOW dan memerlukan modifikasi tambahan agar memenuhi spesifikasi teknis secara keseluruhan (Nurfadila et al., 2024).

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan, maka penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar HDPE terhadap karakteristik volumetrik dan mekanis campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) menggunakan metode Marshall. Sehingga harapannya penelitian ini dapat bermanfaat dalam memberikan alternatif solusi terhadap ketergantungan aspal minyak, mendukung pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan, meningkatkan mutu dan daya tahan perkerasan jalan di Indonesia.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental di laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) terhadap karakteristik volumetrik dan mekanis campuran aspal beton (*Asphalt Concrete – Binder Course/AC-BC*). Penelitian dilakukan secara rasional, empiris, dan sistematis, sehingga diharapkan mampu menghasilkan temuan ilmiah yang mutakhir, relevan dengan isu keberlanjutan, serta dapat dijadikan rujukan dalam pengembangan teknologi perkerasan jalan berbasis material daur ulang.

2.1. Lokasi dan sifat penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Transportasi dan Rekayasa Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram. Penelitian ini bersifat kuantitatif eksperimental, menggunakan pendekatan laboratorium terkontrol untuk menguji pengaruh variasi kandungan HDPE terhadap performa campuran aspal. Pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan data empiris dan dapat direproduksi. Penelitian dilakukan dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020) dan standar pengujian laboratorium yang berlaku, seperti SNI dan ASTM.

Data yang digunakan terdiri dari: Data primer, yaitu hasil pengujian laboratorium terhadap bahan penyusun campuran dan benda uji Marshall. Data sekunder, berupa literatur ilmiah dan spesifikasi teknis sebagai pembandingan dan dasar analisis.

2.2. Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Agregat kasar dan halus, sesuai batas gradasi AC-BC. *Filler* berupa material lolos ayakan No.200 (0,075 mm). Aspal keras jenis Pen 60/70 sebagai bahan pengikat utama. Limbah plastik HDPE, yang dihancurkan dan dicacah kecil (4 mm × 4 mm) untuk dicampurkan ke dalam agregat secara kering (*dry process*).

Peralatan utama yang digunakan antara lain: oven, timbangan digital, alat Marshall, cetakan benda uji, set saringan mekanik, pemanas aspal, molen pengaduk, serta alat pengujian sifat fisik aspal dan agregat lainnya.

2.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahap sistematis meliputi: Persiapan Bahan, Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO), Pencampuran HDPE dengan Metode *Dry Process*, Pembuatan dan Pengujian Benda Uji.

2.3.1. Persiapan Bahan

Aspal diperoleh dan disimpan dalam kondisi tertutup, kemudian diuji untuk mengetahui nilai penetrasi, daktilitas, titik lembek, titik nyala, berat jenis, dan kehilangan pemanasan. Agregat kasar dan halus diuji melalui analisa saringan (gradasi), berat jenis, penyerapan air, dan nilai tumbukan (*impact value*). Filler diuji untuk memastikan lolos saringan No.200. Limbah HDPE dicacah menjadi potongan kecil agar mudah tercampur dan diuji berat jenisnya.

2.3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Benda uji Marshall dibuat dengan 5 variasi kadar aspal: Pb-1%, Pb-0,5%, Pb, Pb+0,5%, dan Pb+1%. Tiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji. Nilai Pb didapatkan dengan menggunakan persamaan (1), berdasarkan Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall (Puslitbang Teknologi Prasaranan Jalan Bandung Departemen Pemukiman dan Pengembangan Wilayah, 2003).

$$Pb = 0,035(\%CA) + 0,045(FA) + 0,18 (\%FF) + k \quad (1)$$

Dimana:

- Pb : Persentase kadar aspal rencana (%) dalam campuran beraspal berdasarkan berat total campuran. Ini adalah nilai yang ingin ditentukan sebagai hasil dari rumus.
- %CA : Persentase agregat kasar (*Coarse Aggregate*) dalam campuran, dinyatakan terhadap berat total agregat. Biasanya terdiri dari agregat yang lolos saringan maksimum tetapi tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm).
- %FA : Persentase agregat halus (*Fine Aggregate*), yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 dan tertahan di saringan No. 200 (0,075 mm).
- %FF : Persentase filler (mineral pengisi), yaitu bagian agregat yang lolos saringan No. 200.
- k : Faktor koreksi empiris, yang tergantung pada jenis agregat, jenis aspal, dan pengalaman lokal, antara 0,5 hingga 1,0).

Pengujian Marshall dilakukan untuk memperoleh parameter stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), serta parameter volumetrik seperti VIM, VMA, VFA, dan kerapatan. Kadar aspal optimum ditentukan berdasarkan kombinasi nilai stabilitas tertinggi, MQ optimal, dan nilai volumetrik sesuai spesifikasi.

2.3.3. Pencampuran HDPE dengan Metode Dry Process

Pada tahap ini, HDPE ditambahkan langsung ke dalam agregat panas, sebelum pencampuran dengan aspal dilakukan. Variasi penambahan HDPE sebesar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat total aspal. Agregat dan HDPE dipanaskan hingga suhu pencampuran $\pm 160^{\circ}\text{C}$, lalu dicampur kering (*dry mix*). Setelah homogen, aspal panas dituangkan dan dilakukan pencampuran hingga merata. Proses pencampuran dilakukan menggunakan molen laboratorium.

2.3.4. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Campuran dimasukkan ke dalam cetakan Marshall dan dipadatkan sebanyak 75 tumbukan per sisi. Tiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji untuk pengujian. Benda uji didiamkan selama 24 jam sebelum diuji. Pengujian Marshall dilakukan untuk memperoleh: Stabilitas Marshall (kg), Nilai kelelahan (*flow*) dalam mm, Marshall Quotient (MQ), Karakteristik volumetrik dihitung, meliputi: Berat jenis bulk campuran (Gmb), *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Karakteristik Material Campuran

3.1.1. Karakteristik Fisik Agregat

Tabel 1. menyajikan hasil pengujian sifat fisik agregat kasar, halus, dan *filler*. Parameter yang diuji mencakup berat jenis bulk, jenuh kering permukaan, semu, dan efektif, serta penyerapan air. Semua jenis agregat menunjukkan berat jenis di atas batas minimum 2.5, sementara nilai penyerapan air seluruhnya berada di bawah batas maksimum 3%. Hal ini mengindikasikan bahwa agregat memiliki kestabilan volume dan kapasitas penyerapan air yang rendah, yang sangat penting untuk mendukung durabilitas campuran aspal (Tahir & Setiawan, 2009).

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat

No	Berat jenis	Agregat kasar	Agregat Halus	Filler	Persyaratan
1	Berat jenis bulk	2.83	2.74	2.61	
2	Berat jenis jenuh kering permukaan	2.88	2.82	2.61	> 2.5
3	Berat jenis semu	3.00	2.97	2.61	
4	Berat jenis efektif	2.91	2.86	2.61	
5	Penyerapan air	0.02	0.03	0.06	< 3%

3.1.2. Analisis Gradasi Agregat

Distribusi ukuran partikel agregat yang digunakan dalam campuran AC-BC dianalisis melalui uji saringan, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2. Hasil analisis menunjukkan bahwa proporsi kumulatif agregat yang lolos saringan mengikuti spesifikasi AC-BC berdasarkan standar nasional. Data meliputi ukuran ayakan, persentase lolos dan tertahan, serta berat kumulatif agregat

tertahan pada setiap fraksi ukuran. Distribusi gradasi ini menjadi dasar dalam menentukan kesesuaian material terhadap kebutuhan campuran beraspal.

Tabel 2. Hasil Analisis Saringan Agregat untuk Campuran AC-BC

Ukuran ayakan (mm)	Nomor saringan	Persentase Lolos Kumulatif		Kondisi berdasarkan Nilai Tengah			
		Spesifikasi (%)	Nilai tengah (%)	Tertahan (%)	Kumulatif (%)	Tertahan (gram)	Kumulatif (gram)
25	1"	100	100	0.0	0.0	0.0	0.0
19	3/4"	90-100	95.0	5.0	5.0	50.0	50.0
12.5	1/2"	75-90	83.0	12.0	17.0	120.0	170.0
9.5	3/8"	66-82	74.0	9.0	26.0	90.0	260.0
4.75	No. 4	46-64	55.0	19.0	45.0	190.0	450.0
2.36	No. 8	30-49	40.0	15.0	60.0	150.0	600.0
1.18	No. 16	18-38	28.0	12.0	72.0	120.0	720.0
0.6	No. 30	12-28	20.0	8.0	80.0	80.0	800.0
0.3	No. 50	7-20	14.0	6.0	86.0	60.0	860.0
0.15	No. 100	5-13	9.0	5.0	91.0	50.0	910.0
0.075	No. 200	4-8	6.0	3.0	94.0	30.0	940.0
	Filler			6.0	100.0	60.0	1000.0

3.1.3. Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian aspal pen 60/70 meliputi enam parameter penting, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3. Nilai penetrasi sebesar 63.5 mm menunjukkan konsistensi yang sesuai dengan klasifikasi viskositas sedang. Titik lembek sebesar 53°C dan titik nyala mencapai 300°C menunjukkan stabilitas termal yang baik. Nilai daktilitas sebesar 149.10 cm memperlihatkan fleksibilitas tinggi, sementara berat jenis dan kehilangan berat masing-masing sebesar 1.04 dan 0.29% telah memenuhi spesifikasi teknis yang disyaratkan.

Tabel 3 Hasil Uji Aspal pen 60/70

No	Uraian	Hasil Pengujian	Persyaratan
1	Penetrasi (mm)	63.5	60-70
2	Titik Lembek (°C)	53	> 48
3	Titik (°C)	300.00	≥ 232
4	Daktilitas (cm)	149.10	≥ 100
5	Berat Jenis	1.04	≥ 1
6	Kehilangan Berat (%)	0.29	≤ 0.8

3.1.4. Karakteristik Plastik sebagai Bahan Modifikasi

Tabel 4 merangkum hasil analisis berat jenis dari *High-Density Polyethylene* (HDPE) yang digunakan sebagai bahan aditif dalam campuran. Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai berat jenis bulk (2.609), jenuh kering permukaan (2.611), semu (2.613), dan efektif (2.611). Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa HDPE memiliki kerapatan yang mendekati agregat mineral, memungkinkan material ini untuk berperan aktif dalam mengisi rongga udara pada campuran dan meningkatkan kepadatan serta ketahanan terhadap deformasi (Adibroto et al., 2022).

Tabel 4 Hasil Analisis Berat Jenis Plastik

No	Jenis Pengujian	Notasi	Rumus	Berat (gr)
1	Berat jenis bulk	Gsb	$\frac{Bk}{Ba + Bj - Bt}$	2.609
2	Berat jenis jenuh kering permukaan	Gssd	$\frac{Bj}{Ba + Bj - Bt}$	2.611
3	Berat jenis semu	Gsa	$\frac{Bk}{Bk + Ba - Bt}$	2.613
4	Berat jenis efektif	Gse	$\frac{Gsb + Gsa}{2}$	2.611

3.2. Analisis Data, Deskripsi dan Interpretasi

3.2.1. Penentuan Kadar Aspal optimum (KAO)

KAO didapatkan berdasarkan kadar aspal rencana (Pb) dengan menggunakan persamaan (1). Dengan agregat kasar (CA) = 45%, agregat halus (FA) = 49%, filler (FF) = 6%, dan k=0,75, maka didapatkan Pb= 5,6 %, dibulatkan menjadi 6%.

Berdasarkan kadar aspal rencana, dibuat 5 variasi campuran dengan kadar aspal sebagai berikut : Pb-1 = 5%; Pb-0,5 = 5,5%; Pb = 6%; Pb+0,5 = 6,5%; Pb+1 = 7%, dengan benda uji masing-masing sebanyak 3 buah. Gambar 1 menunjukkan hasil analisis pengujian sampel dengan variasi campuran rencana. Selanjutnya kadar aspal optimum didapatkan berdasarkan tengah interval yang memenuhi syarat spesifikasi, yaitu 6%.

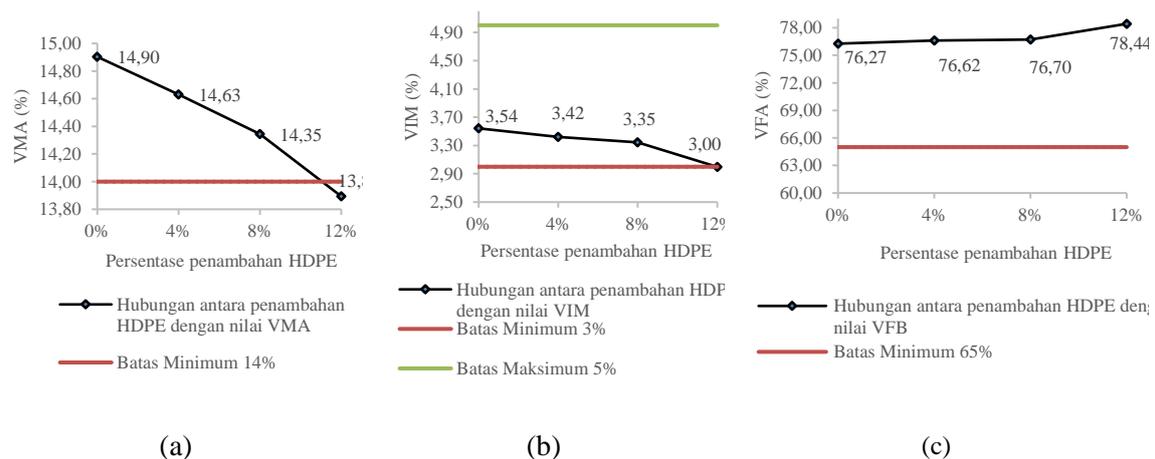
Parameter	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7%
VMA	>14%	14,07	14,27	14,90	14,95	15,82
VIM	3-5%	5,03	3,94	3,54	2,45	2,04
VFA	>65%	64,26	72,46	76,27	83,66	87,08
Stabilitas	> 800kg	2697,81	2413,68	2224,64	2211,80	1637,41
Flow	2-4 mm	1,83	1,96	2,87	3,78	3,82
MQ	>250 Kg/mm	1474,78	1230,68	777,17	585,41	429,07
		KAO 6%				

Gambar 1. Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum (k.a.o)

3.2.2. Analisis Parameter Volumetrik Campuran AC-BC

Karakteristik volumetrik merupakan indikator penting dalam menilai kepadatan dan performa jangka panjang campuran beraspal. Tiga parameter utama yang diamati dalam penelitian ini mencakup *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void in Mix* (VIM), dan *Voids Filled with Asphalt* (VFA). Evaluasi dilakukan dengan variasi penambahan plastik jenis *High-Density Polyethylene* (HDPE) pada kadar 0%, 4%, 8%, dan 12%. Gambar 2 menunjukkan hasil analisis pengujian karakteristik volumetrik campuran AC-BC dengan penambahan HDPE.

Nilai VMA menunjukkan volume rongga antar agregat dalam satuan persen terhadap volume total campuran, sebelum terisi oleh aspal dan udara. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2(a), terjadi penurunan nilai VMA seiring peningkatan kadar HDPE, dari 14,90% pada kadar 0% menjadi 13,89% pada kadar 12%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa HDPE berperan sebagai pengisi antarpartikel agregat, memperkecil celah atau pori antar butiran. Meski demikian, HDPE tidak sepenuhnya mampu menyelimuti agregat sebagaimana aspal murni, sehingga dapat menyebabkan kontak langsung antar agregat menjadi lebih rapat. Pada persentase tinggi ($\geq 12\%$), nilai VMA cenderung mendekati atau bahkan melampaui batas bawah spesifikasi teknis, yang berpotensi menurunkan fleksibilitas campuran terhadap deformasi termal.



Gambar 2. Hubungan antara Proporsi Penambahan HDPE terhadap (a) VMA (b) VIM (c) VFA

VIM mencerminkan persentase rongga udara yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan. Hasil pengujian pada Gambar 2(b) menunjukkan bahwa penambahan HDPE menghasilkan penurunan progresif nilai VIM, dari 3,54% (0%) menjadi 3,00% (12%). Seluruh nilai masih berada dalam rentang spesifikasi 3–5%. Reduksi nilai VIM menunjukkan bahwa HDPE secara efektif mengisi pori-pori udara yang tersisa dalam campuran, meningkatkan kepadatan keseluruhan. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa penambahan material termoplastik dapat mengurangi rongga dalam campuran akibat sifat viskoelastis dan kelenturannya saat proses pemadatan (Mouwlaka et al., 2024).

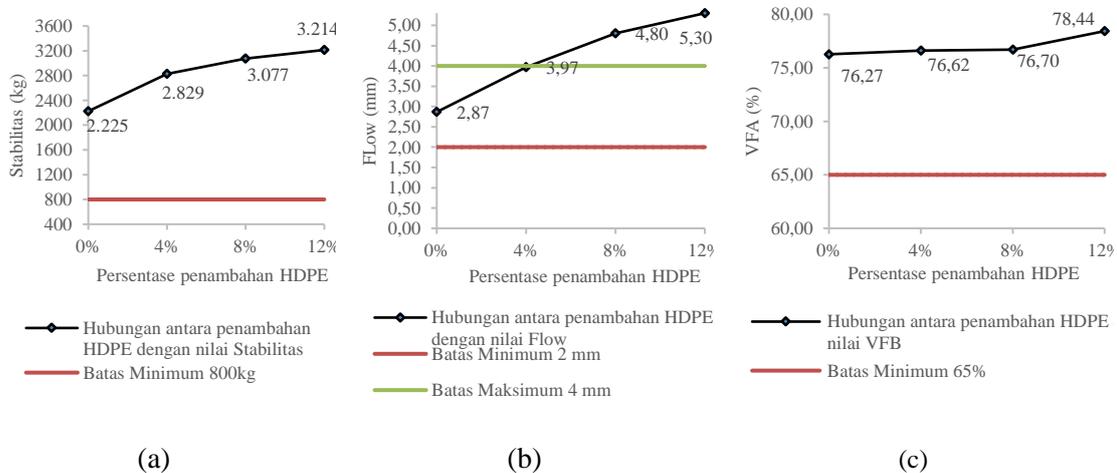
VFA mengindikasikan seberapa besar proporsi rongga antar agregat (VMA) yang telah terisi oleh aspal. Data pada Gambar 2(c) menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai VFA seiring dengan meningkatnya kadar HDPE, dari 76,27% pada 0% menjadi 78,44% pada kadar 12%. Semua nilai berada di atas batas minimum 65%, sesuai spesifikasi. Peningkatan VFA ini memperkuat asumsi bahwa HDPE turut membantu dalam mengisi ruang kosong dalam sistem

agregat tanpa banyak diserap ke dalam pori agregat. Dengan demikian, distribusi aspal dalam rongga menjadi lebih efisien. Hal ini berdampak positif terhadap kemampuan campuran dalam menahan deformasi akibat beban lalu lintas dan perubahan suhu.

3.2.3. Analisis Parameter Mekanis Campuran AC-BC

Evaluasi kinerja mekanis campuran aspal beton dilakukan melalui parameter stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ). Ketiga parameter ini mencerminkan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas campuran saat menerima beban berulang di lapangan. Variasi kadar HDPE (0%, 4%, 8%, dan 12%) diterapkan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap performa struktural campuran. Hasil selengkapnya untuk ketiga parameter mekanis ini ditunjukkan dalam Gambar 3.

Stabilitas menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen akibat beban vertikal. Hasil pengujian pada Gambar 3(a) memperlihatkan peningkatan stabilitas secara signifikan dengan bertambahnya kadar HDPE. Stabilitas meningkat dari 2224,64 kg pada campuran tanpa HDPE menjadi 3213,77 kg pada penambahan 12% HDPE. Kecenderungan peningkatan ini mengindikasikan bahwa HDPE berperan sebagai penguat struktural, membantu meningkatkan kohesi antar agregat serta resistensi terhadap deformasi plastis. HDPE juga memperbaiki interlocking antarpartikel, sehingga memperbesar daya dukung campuran. Namun demikian, nilai stabilitas yang terlalu tinggi juga berisiko menjadikan campuran terlalu kaku (Suhardi et al., 2016), yang dalam jangka panjang dapat menurunkan fleksibilitas dan meningkatkan risiko retak termal.



Gambar 3. Hubungan antara Proporsi Penambahan HDPE terhadap (a) Stabilitas (b) Flow (c) Marshall Quotient

Flow mengukur kemampuan campuran untuk mengalami deformasi horizontal saat diberi beban. Gambar 3(b) menunjukkan bahwa nilai *flow* meningkat dari 2,87 mm (HDPE 0%) menjadi 5,30 mm (HDPE 12%). Meskipun masih berada dalam batas spesifikasi pada kadar 4%, nilai *flow* pada kadar 8% dan 12% telah melampaui batas atas standar (4 mm). Kenaikan nilai *flow* mencerminkan meningkatnya plastisitas campuran akibat penambahan HDPE. Sifat termoplastik HDPE membuat campuran menjadi lebih lentur dan mudah berdeformasi. Meskipun hal ini dapat memperbaiki ketahanan terhadap retak, *flow* yang terlalu besar menunjukkan potensi deformasi berlebih di lapangan, terutama dalam bentuk rutting (alur) akibat beban lalu lintas berulang.

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio antara stabilitas dan *flow*, yang menunjukkan keseimbangan antara kekakuan dan deformabilitas. Hasil pada Gambar 3(c) memperlihatkan penurunan nilai MQ dari 777,17 kg/mm (0% HDPE) menjadi 608,63 kg/mm (12% HDPE).

Penurunan MQ menunjukkan bahwa meskipun kekuatan meningkat, deformabilitas meningkat secara proporsional lebih besar, sehingga nilai rasio menjadi lebih rendah. MQ yang tinggi cenderung mengindikasikan campuran yang kaku dan rapuh (Al Qurny et al., 2022), sedangkan penurunan MQ mencerminkan meningkatnya kemampuan campuran dalam merespons beban tanpa menunjukkan kerusakan struktural dini. Dengan demikian, penambahan HDPE memberikan efek positif terhadap fleksibilitas campuran, meskipun pada kadar tinggi tetap harus dikontrol untuk menjaga stabilitas jangka panjang.

3.3. Implikasi Penambahan HDPE terhadap Karakteristik dan Potensi Penggunaannya untuk Campuran AC-BC.

Penambahan HDPE pada campuran AC-BC mempengaruhi durabilitas campuran terhadap keausan dan kerusakan akibat siklus termal, yang ditandai dengan penurunan nilai VMA dan VIM secara konsisten, dan peningkatan VFA. Hal ini mengindikasikan bahwa HDPE berperan dalam mengisi rongga udara dan meningkatkan kepadatan campuran. Namun, jika penambahan HDPE terlalu tinggi (di atas 12%) mengakibatkan nilai VMA turun di bawah batas minimum spesifikasi,

Penggunaan HDPE hingga 8% dapat memperkuat struktur campuran dan meningkatkan daya dukung terhadap beban lalu lintas, yang ditandai dengan peningkatan nilai stabilitas. Namun di atasnya menyebabkan campuran menjadi terlalu plastis, sehingga rentan terhadap deformasi permanen. Walaupun penambahan HDPE dapat meningkatkan fleksibilitas campuran (berdasarkan nilai MQ), tetap perlu dicermati agar campuran tidak terlalu lunak dan memiliki kekakuan yang memadai. Hasil menunjukkan bahwa penambahan HDPE memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan stabilitas, dari 2224,64 kg pada campuran kontrol menjadi 3213,77 kg pada penambahan HDPE 12%. Namun demikian, peningkatan kadar HDPE juga menyebabkan kenaikan nilai *flow* secara signifikan, melebihi batas spesifikasi (2–4 mm) pada kadar 8% dan 12%, yaitu masing-masing 4,80 mm dan 5,30 mm. Hal ini menunjukkan kecenderungan deformasi plastis yang berlebihan. Selain itu, nilai VMA turun di bawah batas minimum (14%) pada kadar 12%, dan nilai MQ mengalami penurunan progresif dari 777,17 kg/mm (0%) menjadi 608,63 kg/mm (12%), yang mengindikasikan menurunnya kekakuan campuran. Berdasarkan spesifikasi teknis Bina Marga (2018, Revisi 2) (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020), kadar maksimum HDPE yang dapat digunakan tanpa melampaui batas parameter yang ditetapkan adalah 4%. Namun demikian, kadar ini bersifat maksimum dalam konteks kepatuhan terhadap spesifikasi, bukan optimum dalam hal kinerja terbaik secara menyeluruh. Untuk menentukan kadar optimum secara ilmiah, diperlukan pendekatan multi-kriteria yang mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan deformasi jangka panjang.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan terhadap hasil pengujian laboratorium, menunjukkan bahwa HDPE dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada campuran AC-BC untuk meningkatkan performa mekanis dan mengurangi porositas. Namun, kadar penambahan

harus dikontrol dengan cermat agar tidak menurunkan karakteristik volumetrik di bawah ambang batas yang dapat diterima. Temuan ini berkontribusi pada pengembangan teknologi perkerasan jalan yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai material daur ulang dalam konstruksi perkerasan jalan.

Acknowledgment

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Mataram karena data yang digunakan dalam artikel ini merupakan bagian dari data hasil penelitian yang didanai dengan dana PNBPN Tahun 2023 melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses penelitian, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Daftar Pustaka

- Adibroto, F., Ali, S., Fauzi, A., Padilah, I., Padang, P. N., Manis, L., & Barat, S. (2022). *Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Modifikasi Dengan Limbah Plastik Latar Belakang yang dipadatkan di atas tanah dasar supaya lalu lintas dapat berjalan dengan lancar Kelelahan (Flow), VIM , VMA , MQ dan Stabilitas Marshal*. 12(1), 267–280.
- Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., & Shafigh, P. (2011). Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt. *Materials and Design*, 32(10), 4844–4849. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.016>
- Al Qurny, A. U., Hagni Puspito, I., & Tinumbia, N. (2022). Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Asphalt Concrete Wearing Course/Ac-Wc). *Jurnal ARTESIS*, 2(1), 87–97. <https://doi.org/10.35814/artesis.v2i1.3766>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2). *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2*, 6.1-6.104.
- Karyawan, I. D. M. A., Kencanawati, N. N., Hariyadi, H., Hasyim, H., & Rohani, R. (2023). Karakteristik Aspal Buton Ekstraksi yang Dimodifikasi dengan Oli Bekas dan Plastik HDPE. *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 4(2), 79–86. <https://doi.org/10.22487/renstra.v4i2.596>
- Machsus, M., Mawardi, A. F., Khoiri, M., Basuki, R., & Akbar, F. H. (2020). Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Pematatan Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) dengan Menggunakan Aspal Modifikasi. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 107. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v18i1.6215>
- Manurung, R. F., Arya Thanaya, I. N., & Tjerita, A. A. K. N. (2016). Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin Dengan Penggunaan Plastik Bekas Sebagai Pengganti Sebagian Agregat. *Jurnal Ilmiah Elektronik Teknik Sipil*, July, 1–23.
- Mouwlaka, L. H. U. W., M. Sa'dillah, & Pandulu, G. D. (2024). Pengaruh Pengisian Rongga Campuran Aspal Porus Menggunakan Limbah Plastik Pet (Polyethylene Therephthalate). 8(1), 30–39.

- Nurfadila, Mustakim, & Fadly, I. (2024). Perbandingan Kinerja Marshall Pada Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Plastik Polypropilene (PP) Dan Plastik High Density Polyethylene (HDPE). *Sultra Civil Engineering Journal (SCiEJ)*, 5(2), 363–373.
- Puslitbang Teknologi Prasaranan Jalan Bandung Departemen Pemukiman dan Pengembangan Wilayah. (2003). Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall. In *Pustran-Balitbang PU*.
- Suhardi, Priyo, P., & Hadi, A. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jrsdd*, 4(2), 284–293.
- Sumantoro, I. (2021). Harga Aspal Minyak Impor Naik, Siapa Peduli? *Indonesiana*. <https://www.indonesiana.id/read/151013/harga-aspal-minyak-impor-naik-siapa-peduli>
- Sumiati, S., Mahmuda, M., & Syapawi, A. (2019). Perkerasan Aspal Beton (AC-BC) Limbah Plastik Hdpe Yang Tahan Terhadap Cuaca Ekstrem. *Construction and Material Journal*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.32722/cmj.v1i1.1322>
- Suprayitno, S., & Mudjanarko, S. W. (2020). Studi Analisis Uji Marshall Pada Pembuatan Campuran Aspal Plastik Jenis Hdpe. *E-Jurnal SPIRIT PRO PATRIA*, 5(2), 142–151. <https://doi.org/10.29138/spirit.v5i2.1004>
- Tahir, A., & Setiawan, A. (2009). Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau Dari Faktor Variasi Suhu Pematatan Dan Lama Perendaman. *Jurnal SMARTek*, 7(1), 45–61.