

Analisis Kekuatan Campuran Aspal Panas (AC-BC) dengan Variasi Kadar Limbah Plastik Multilayer Melalui Pengujian Marshall

Rizki Ridho Sanggara*, Anwar Efendy, Nurul Hidayati

Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram-83115, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

(AC-BC) limbah plastik multilayer; Marshall; perkerasan jalan; stabilitas.

*Correspondence email:

ridhosanggara80@gmail.com

Submitted: 16 Juli 2026

Revised: 27 Juli 2026

Accepted: 04 Agustus 2026

Published: 05 Agustus 2026

ABSTRAK

Peningkatan volume limbah plastik multilayer yang sulit didaur ulang mendorong perlunya inovasi pemanfaatan limbah sebagai material alternatif pada konstruksi jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar limbah plastik multilayer terhadap karakteristik Marshall campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) serta menentukan kadar penambahan yang menghasilkan karakteristik campuran terbaik. Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium melalui pengujian Marshall pada campuran AC-BC dengan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,15% dan variasi penambahan limbah plastik multilayer sebesar 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% terhadap berat aspal. Parameter yang dianalisis meliputi stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), dan Marshall Quotient (MQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi limbah plastik multilayer menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1076–1262 kg, flow sebesar 3,10–3,53 mm, dan Marshall Quotient sebesar 309–386 kg/mm yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai VMA berkisar antara 16,57–17,57% dan VFB sebesar 67,43–72,39%, sedangkan nilai VIM berada pada rentang 4,57–5,72%, di mana variasi 5%, 6%, dan 7% sedikit melebihi batas maksimum spesifikasi. Variasi penambahan limbah plastik multilayer sebesar 4% menghasilkan karakteristik campuran terbaik dengan nilai stabilitas tertinggi sebesar 1262 kg dan seluruh parameter Marshall masih memenuhi persyaratan teknis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah plastik multilayer berpotensi dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian aspal alternatif pada campuran AC-BC untuk meningkatkan kinerja perkerasan sekaligus mendukung pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan.

ABSTRACT

Keywords:

Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC); Marshall characteristics; multilayer plastic waste; pavement; stability.

The increasing volume of multilayer plastic waste, which is difficult to recycle, has encouraged the exploration of alternative applications in road construction materials. This study aimed to analyze the effect of multilayer plastic waste content on the Marshall characteristics of Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) mixtures and to determine the optimum plastic content that provides the best mixture performance. An experimental laboratory method was employed using the Marshall test on AC-BC mixtures with an optimum asphalt content (OAC) of 5.15% and multilayer plastic waste contents of 3%, 4%, 5%, 6%, and 7% by asphalt weight. The evaluated parameters included stability, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), and Marshall Quotient (MQ). The results indicated that all multilayer plastic variations produced stability values ranging from 1076 to 1262 kg, flow values from 3.10 to 3.53 mm, and Marshall Quotient values from 309 to 386 kg/mm, all of which satisfied the 2018 Bina Marga General Specifications. The VMA values ranged from 16.57% to 17.57%, while VFB values ranged from 67.43% to 72.39%. The VIM values ranged from 4.57% to 5.72%, with the 5%, 6%, and 7% mixtures slightly exceeding the maximum specification limit. The 4% multilayer plastic content exhibited the best performance, producing the highest stability value of 1262 kg while satisfying all Marshall parameters. These findings demonstrate that multilayer plastic waste has strong potential as an alternative additive in AC-BC mixtures to improve pavement performance while supporting sustainable plastic waste management.

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang berperan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat, distribusi barang, dan pertumbuhan ekonomi. Pada konstruksi perkerasan lentur, kinerja lapisan beraspal sangat dipengaruhi oleh kualitas campuran, karakteristik material penyusun, serta mutu bahan pengikat yang digunakan. *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) berfungsi sebagai lapisan pengikat yang menerima dan mendistribusikan beban lalu lintas dari lapisan permukaan menuju lapisan di bawahnya. Oleh karena itu, kinerja struktural lapisan AC-BC menjadi faktor penting dalam menentukan kekuatan, stabilitas, serta umur layan perkerasan jalan (Ghani et al., 2022). Seiring meningkatnya volume lalu lintas dan beban kendaraan, kebutuhan akan campuran

beraspal yang memiliki stabilitas tinggi, ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*), serta daya tahan yang lebih baik semakin meningkat. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan performa campuran beraspal adalah melalui modifikasi campuran menggunakan pengganti sebagian aspal (*additive*) yang mampu memperbaiki sifat fisik maupun mekanis campuran (Shah, 2024).

Pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti sebagian aspal dalam campuran beraspal merupakan salah satu inovasi yang berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Selain berpotensi meningkatkan karakteristik Marshall, penggunaan limbah plastik juga memberikan manfaat lingkungan melalui pengurangan jumlah limbah yang sulit terurai. Kajian oleh Heydari et al. (2021) menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik pada campuran beraspal umumnya meningkatkan nilai stabilitas Marshall sekitar 10–70% serta menurunkan nilai flow dibandingkan campuran konvensional, meskipun besarnya peningkatan bergantung pada jenis plastik, kadar penambahan, dan metode pencampuran yang digunakan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Shah (2024), yang menyatakan bahwa penggunaan limbah plastik melalui metode *wet process* maupun *dry process* secara umum menghasilkan peningkatan stabilitas Marshall hingga sekitar 40–70% pada kadar plastik optimum dibandingkan campuran konvensional.

Berbagai penelitian eksperimental telah membuktikan efektivitas penggunaan limbah plastik sebagai bahan modifikasi campuran AC-BC. Yuniarti & Rachman (2020) melaporkan bahwa penambahan limbah kantong plastik pada campuran AC-BC menghasilkan nilai stabilitas Marshall yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa plastik, dengan kadar 2% masih memenuhi Spesifikasi Bina Marga. Penelitian Hidayat et al. (2019) menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik PET pada campuran AC-BC mampu meningkatkan karakteristik Marshall, dengan kadar optimum sebesar 1% yang menghasilkan stabilitas sebesar 3060,42 kg serta memenuhi parameter VIM, VMA, VFB, *flow*, dan Marshall Quotient. Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian Bilema et al. (2024) yang menunjukkan bahwa penambahan limbah botol PET melalui metode kering menghasilkan kadar optimum sebesar 0,5% dan memenuhi seluruh persyaratan Marshall. Sementara itu, Rahmadona et al. (2026) menemukan bahwa penggunaan limbah LDPE melalui metode basah menghasilkan nilai stabilitas tertinggi sebesar 2402 kg pada kadar LDPE 7% dengan kadar aspal 5%. Selain itu, Brohomo et al. (2025) melaporkan bahwa penggunaan limbah PET sebesar 7,5% mampu meningkatkan stabilitas Marshall hingga 31,8% dibandingkan campuran konvensional tanpa mengurangi kualitas parameter lainnya secara signifikan. Pada tingkat pengikat aspal, Ghani et al. (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan limbah HDPE dan LDPE mampu meningkatkan sifat reologi binder sehingga memberikan ketahanan deformasi yang lebih baik.

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan bahwa limbah plastik dapat meningkatkan karakteristik campuran beraspal, pengembangan penggunaan berbagai jenis limbah plastik masih terus dilakukan. Saputra et al. (2026) melaporkan bahwa penambahan limbah Unplasticized Polyvinyl Chloride (UPVC) sebagai bahan aditif pada Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) menghasilkan karakteristik Marshall optimum pada kadar UPVC 1% dan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga. Hasil tersebut menunjukkan potensi limbah plastik sebagai bahan modifikasi campuran beraspal. Namun, penelitian mengenai pemanfaatan limbah plastik multilayer sebagai pengganti sebagian aspal pada campuran Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) masih terbatas sehingga perlu dikaji lebih lanjut. (Tamizhdurai et al., 2024; Adam et al., 2025).

Permasalahan limbah plastik multilayer juga menjadi perhatian di Indonesia karena struktur materialnya yang kompleks menyebabkan proses pemilahan dan daur ulang menjadi lebih sulit dibandingkan plastik lapis tunggal (Anwar et al., 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, masih terbatasnya penelitian mengenai pemanfaatan limbah plastik multilayer pada campuran AC-BC menjadi dasar dilakukannya penelitian ini. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya menggunakan plastik jenis tunggal, penelitian ini mengkaji pengaruh variasi kadar limbah plastik multilayer terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC, meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, dan MQ. Penelitian ini bertujuan menentukan kadar limbah plastik multilayer yang menghasilkan karakteristik campuran terbaik sesuai spesifikasi serta mendukung pemanfaatan limbah plastik untuk pembangunan infrastruktur yang lebih berkelanjutan.

METODE

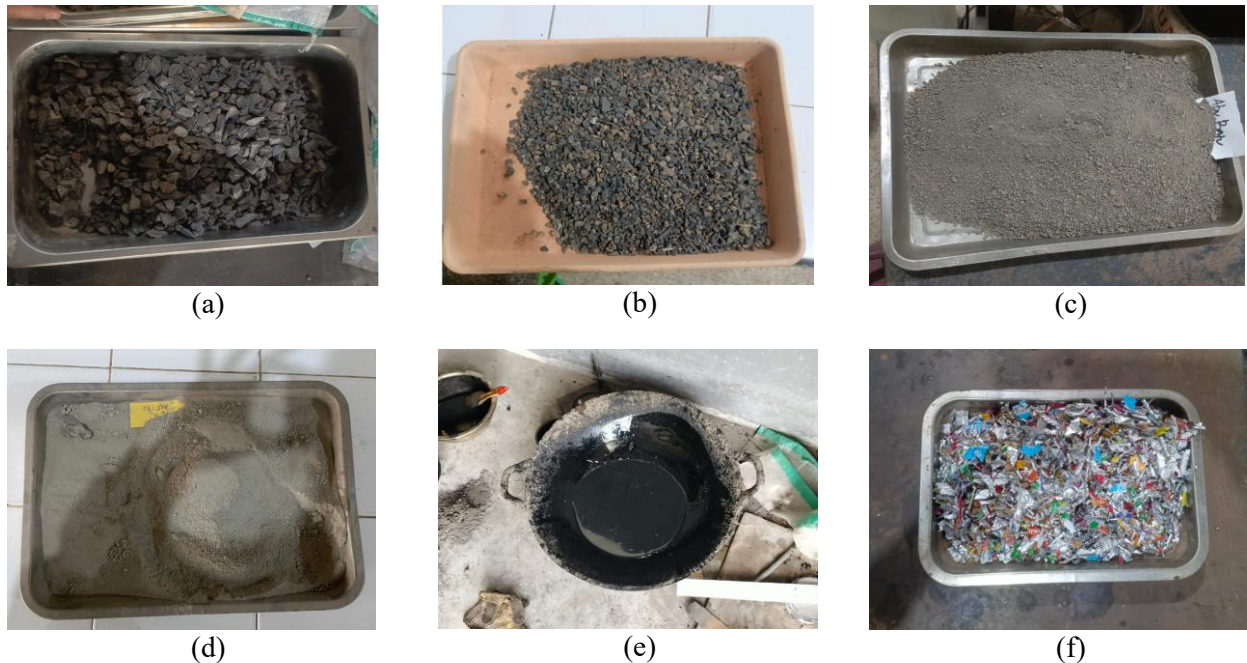
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium untuk menganalisis pengaruh variasi kadar limbah plastik multilayer sebagai pengganti sebagian aspal terhadap karakteristik Marshall campuran Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC). Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall sesuai dengan standar SNI dan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Balai Pengujian Material Konstruksi PUPR Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

Material Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Agregat kasar berupa batu pecah ukuran 3/4 inci dan 3/8 inci yang diperoleh dari PT Sinar Bali Binakarya Mujur, Kabupaten Lombok Tengah.

2. Agregat halus berupa abu batu yang berasal dari PT Sinar Bali Binakarya Mujur, Kabupaten Lombok Tengah.
3. Filler berupa semen yang digunakan sesuai dengan persyaratan campuran AC-BC berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6.
4. Aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Asphalt Mixing Plant (AMP) PT Sinar Bali Binakarya Mujur, Kabupaten Lombok Tengah.
5. Limbah plastik multilayer yang berasal dari kemasan plastik multilapis bekas, kemudian dibersihkan, dikeringkan, dan dipotong menjadi ukuran yang seragam sebelum dicampurkan ke dalam campuran beraspal.



Gambar 1. Material Penelitian: (a) Agregat Kasar 3/4 Inchi; (b) Agregat Kasar 3/8 Inchi; (c) Agregat Halus Abu Batu; (d) Filler (Semen); (e) Aspal Cair (f) Limbah Plastik Multilayer.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan meliputi alat uji Marshall beserta perlengkapannya, oven, timbangan digital, cetakan Marshall, Marshall Compactor, water bath, alat pemanas, termometer, saringan agregat, mixer pencampur, serta peralatan pendukung lainnya yang tersedia di Laboratorium Balai Pengujian Material Konstruksi PUPR Kota Mataram.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Tahap persiapan
Tahap persiapan meliputi pengadaan bahan penelitian, pemeriksaan kondisi peralatan laboratorium, serta pengujian karakteristik agregat, filler, dan aspal untuk memastikan seluruh material memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6.
2. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)
Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan terlebih dahulu melalui pengujian Marshall pada campuran AC-BC tanpa penambahan limbah plastik multilayer. Nilai KAO yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai kadar aspal tetap pada seluruh variasi campuran dalam penelitian. Tiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji. Nilai P_b didapatkan dengan menggunakan persamaan (1)

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- P_b : 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.

3. Pembuatan Benda Uji

Campuran AC-BC dibuat menggunakan total bahan pengikat sebesar 5,15% dari berat campuran. Limbah plastik multilayer digunakan sebagai pengganti sebagian aspal dengan variasi 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7%. Total bahan pengikat dipertahankan sebesar 61,8 gram pada setiap variasi, sedangkan berat aspal dikurangi sesuai dengan berat limbah plastik multilayer. Masing-masing variasi dibuat sebanyak tiga benda uji.

4. Tahap Perendaman

Benda uji yang telah dipadatkan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Selanjutnya benda uji direndam di dalam water bath dengan suhu $60 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 30 menit sebelum dilakukan pengujian Marshall.

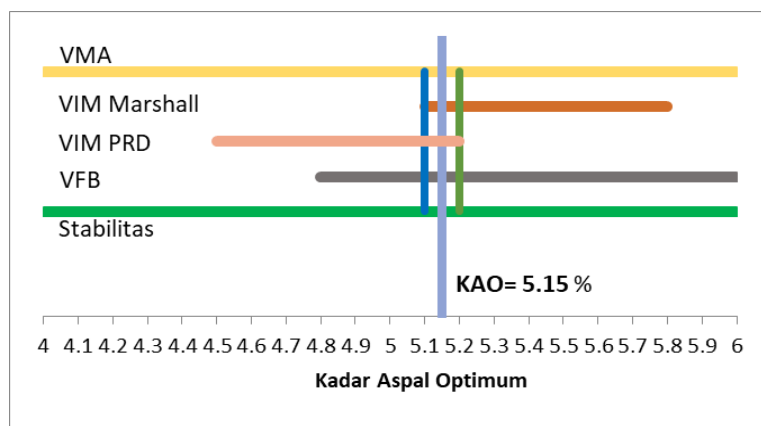
5. Pengujian Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk memperoleh nilai stabilitas (stability), kelelahan (flow), Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), serta Marshall Quotient (MQ). Hasil pengujian dibandingkan dengan persyaratan campuran AC-BC berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 sehingga dapat diketahui pengaruh variasi kadar limbah plastik multilayer terhadap karakteristik campuran.

HASIL

Penetapan Kadar Aspal Acuan

Kadar aspal sebesar 5,15% digunakan sebagai kadar bahan pengikat acuan dalam penelitian ini. Nilai tersebut mengacu pada hasil pengujian pendahuluan atau penelitian terdahulu yang menggunakan campuran AC-BC dan material dengan karakteristik yang sebanding. Kadar tersebut selanjutnya digunakan secara tetap sebagai total bahan pengikat pada seluruh variasi limbah plastik multilayer.



Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal terhadap Parameter Marshall dalam Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)
(Sumber: Pipin, 2025)

Berdasarkan kadar bahan pengikat acuan yang digunakan, total bahan pengikat ditetapkan sebesar 5,15% atau 61,8 gram dari berat campuran 1.200 gram. Nilai tersebut digunakan secara konsisten pada seluruh variasi, sedangkan proporsi aspal dan limbah plastik multilayer disesuaikan berdasarkan variasi yang diuji.

Komposisi Gradasi Agregat Campuran AC-BC

Setelah diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO), tahapan berikutnya adalah menyusun komposisi campuran Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) dengan variasi kadar limbah plastik multilayer. Penyusunan komposisi campuran dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh benda uji memiliki proporsi agregat dan kadar aspal yang seragam sehingga pengaruh yang diamati hanya berasal dari variasi kadar limbah plastik multilayer. Campuran AC-BC dibuat menggunakan total bahan pengikat sebesar 5,15% dari berat total campuran. Limbah plastik multilayer digunakan sebagai pengganti sebagian aspal dalam bahan pengikat dengan variasi sebesar 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% terhadap berat total bahan pengikat. Seiring meningkatnya proporsi limbah plastik multilayer, berat aspal dikurangi secara proporsional sehingga total bahan pengikat tetap sebesar 61,8 gram pada setiap variasi campuran. Masing-masing variasi dibuat sebanyak 3 benda uji. Pengaturan komposisi tersebut bertujuan agar perubahan karakteristik

Marshall yang diperoleh dapat dikaitkan secara langsung dengan penambahan limbah plastik multilayer tanpa dipengaruhi oleh perubahan komposisi material lainnya. Komposisi campuran untuk masing-masing variasi kadar limbah plastik multilayer disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran AC-BC dengan Variasi Kadar Limbah Plastik Multilayer

Kadar Multilayer	Rekomposisi AC-BC dengan Penambahan Multilayer Terhadap Kadar Aspal					Satuan %
	3	4	5	6	7	
Kadar Aspal	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	%
Agregat 3/4	341,5	341,5	341,5	341,5	341,5	Gram
Agregat 3/8	284,6	284,6	284,6	284,6	284,6	Gram
Abu batu	500,8	500,8	500,8	500,8	500,8	Gram
Filler	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	Gram
Total Agregat	1138,2	1138,2	1138,2	1138,2	1138,2	Gram
Aspal	59,95	59,33	58,71	58,09	57,47	Gram
Multilayer	1,85	2,47	3,09	3,71	4,33	Gram
Total Bahan Pengikat	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	Gram
Total	1200	1200	1200	1200	1200	Gram
Jumlah Benda Uji	3	3	3	3	3	Buah

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa komposisi agregat kasar, agregat halus, filler, dan total agregat pada seluruh variasi campuran tetap, yaitu masing-masing sebesar 341,5 gram, 284,6 gram, 500,8 gram, 11,4 gram, dan 1138,2 gram. Perbedaan hanya terdapat pada komposisi aspal dan limbah plastik multilayer. Seiring meningkatnya kadar limbah plastik multilayer dari 3% hingga 7%, jumlah aspal mengalami penurunan dari 59,95 gram menjadi 57,47 gram, sedangkan jumlah limbah plastik meningkat dari 1,85 gram menjadi 4,33 gram. Total bahan pengikat tetap dipertahankan sebesar 61,8 gram dengan jumlah benda uji sebanyak tiga benda uji pada setiap variasi.

Karakteristik Marshall Campuran AC-BC dengan Penambahan Limbah Plastik Multilayer

Karakteristik Marshall digunakan untuk mengevaluasi kinerja campuran Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) setelah penambahan limbah plastik multilayer pada berbagai variasi kadar. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter volumetrik dan parameter mekanis yang diperoleh melalui pengujian Marshall. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memperlihatkan kecenderungan perubahan karakteristik campuran akibat penambahan limbah plastik multilayer. Analisis dilakukan terhadap nilai stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), dan Marshall Quotient (MQ) untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik terhadap performa campuran. Selanjutnya, hasil yang diperoleh dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi Bina Marga yang berlaku guna menentukan kadar limbah plastik multilayer yang mampu menghasilkan karakteristik campuran AC-BC yang optimal dan memenuhi standar teknis perkerasan jalan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Campuran AC-BC dengan Variasi Kadar Limbah Plastik Multilayer

Kadar multilayer (%)	PLASTIK MULTILAYER					SPEC
	3	4	5	6	7	
Unit Weight	2,381	2,372	2,352	2,358	2,363	
Stability (kg)	1090	1262	1185	1076	1196	min 800
Flow (mm)	3,53	3,43	3,27	3,17	3,10	2,0–4,0
Marshall Quotient (kg/mm)	309	368	363	340	386	min 250
VIM (%)	4,57	4,93	5,72	5,47	5,28	3,0–5,0
VMA (%)	16,57	16,88	17,57	17,35	17,18	min 14
VFB (%)	72,39	70,79	67,43	68,46	69,29	min 65

Berdasarkan Tabel 2, penambahan limbah plastik multilayer memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC pada setiap variasi kadar yang diuji. Secara umum, seluruh variasi kadar limbah plastik multilayer menghasilkan nilai stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), VMA, dan VFB yang masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Sementara itu, nilai VIM pada variasi penambahan limbah plastik multilayer sebesar 5%, 6%, dan 7% sedikit melebihi batas maksimum yang dipersyaratkan, yaitu 5%.

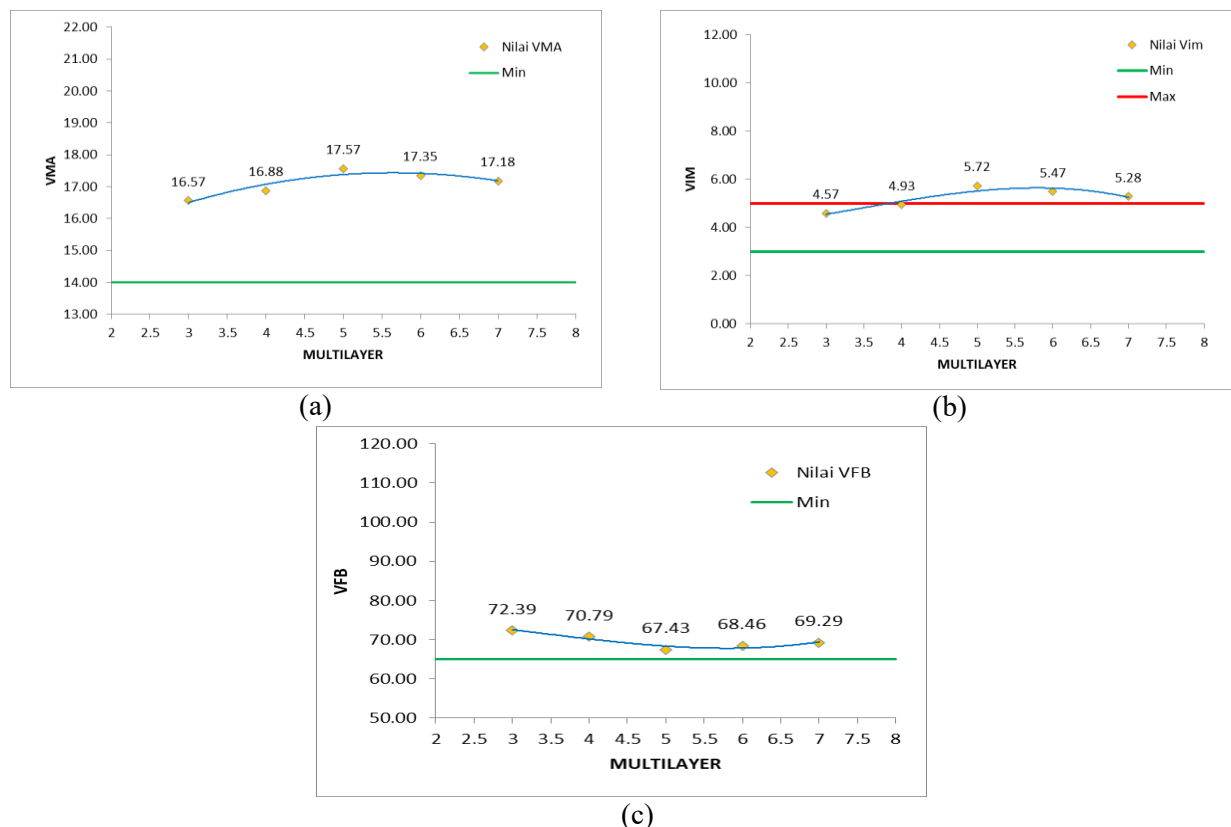
Nilai stabilitas berkisar antara 1076–1262 kg, dengan nilai tertinggi diperoleh pada variasi limbah plastik multilayer 4% sebesar 1262 kg, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi 6% sebesar 1076 kg. Nilai flow menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya kadar limbah plastik multilayer, yaitu dari 3,53 mm pada kadar 3% menjadi 3,10 mm pada kadar 7%. Penurunan nilai flow diikuti dengan peningkatan Marshall Quotient, yang berkisar antara 309–386 kg/mm, dengan nilai tertinggi diperoleh pada variasi 7%.

Pada parameter volumetrik, nilai VIM berada pada rentang 4,57–5,72%, nilai VMA berkisar antara 16,57–17,57%, sedangkan nilai VFB berada pada kisaran 67,43–72,39%. Nilai VMA cenderung meningkat hingga kadar limbah plastik multilayer 5%, kemudian mengalami sedikit penurunan pada kadar yang lebih tinggi. Sebaliknya, nilai VFB menunjukkan kecenderungan menurun hingga kadar 5% sebelum kembali meningkat pada variasi 6% dan 7%. Variasi perubahan pada setiap parameter Marshall tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik multilayer memengaruhi karakteristik volumetrik maupun mekanis campuran AC-BC, yang selanjutnya dianalisis lebih rinci pada subbab berikutnya berdasarkan parameter volumetrik dan parameter mekanis.

Variasi 4% ditetapkan sebagai variasi terbaik karena menghasilkan stabilitas tertinggi sebesar 1.262 kg dan seluruh parameter Marshall masih memenuhi persyaratan. Meskipun variasi 7% menghasilkan Marshall Quotient tertinggi, nilai VIM sebesar 5,28% telah melebihi batas maksimum 5%. Oleh karena itu, variasi 4% dipilih berdasarkan pemenuhan seluruh parameter Marshall secara simultan.

Analisis Parameter Volumetrik Campuran AC-BC

Parameter volumetrik merupakan indikator yang digunakan untuk mengevaluasi struktur internal campuran AC-BC setelah penambahan limbah plastik multilayer. Parameter ini meliputi Void in Mineral Aggregate (VMA), Void in Mix (VIM), dan Void Filled with Bitumen (VFB) yang menunjukkan besarnya rongga agregat, rongga udara dalam campuran, serta persentase rongga agregat yang terisi aspal. Hubungan antara variasi kadar limbah plastik multilayer dengan ketiga parameter volumetrik tersebut disajikan pada Gambar 2.

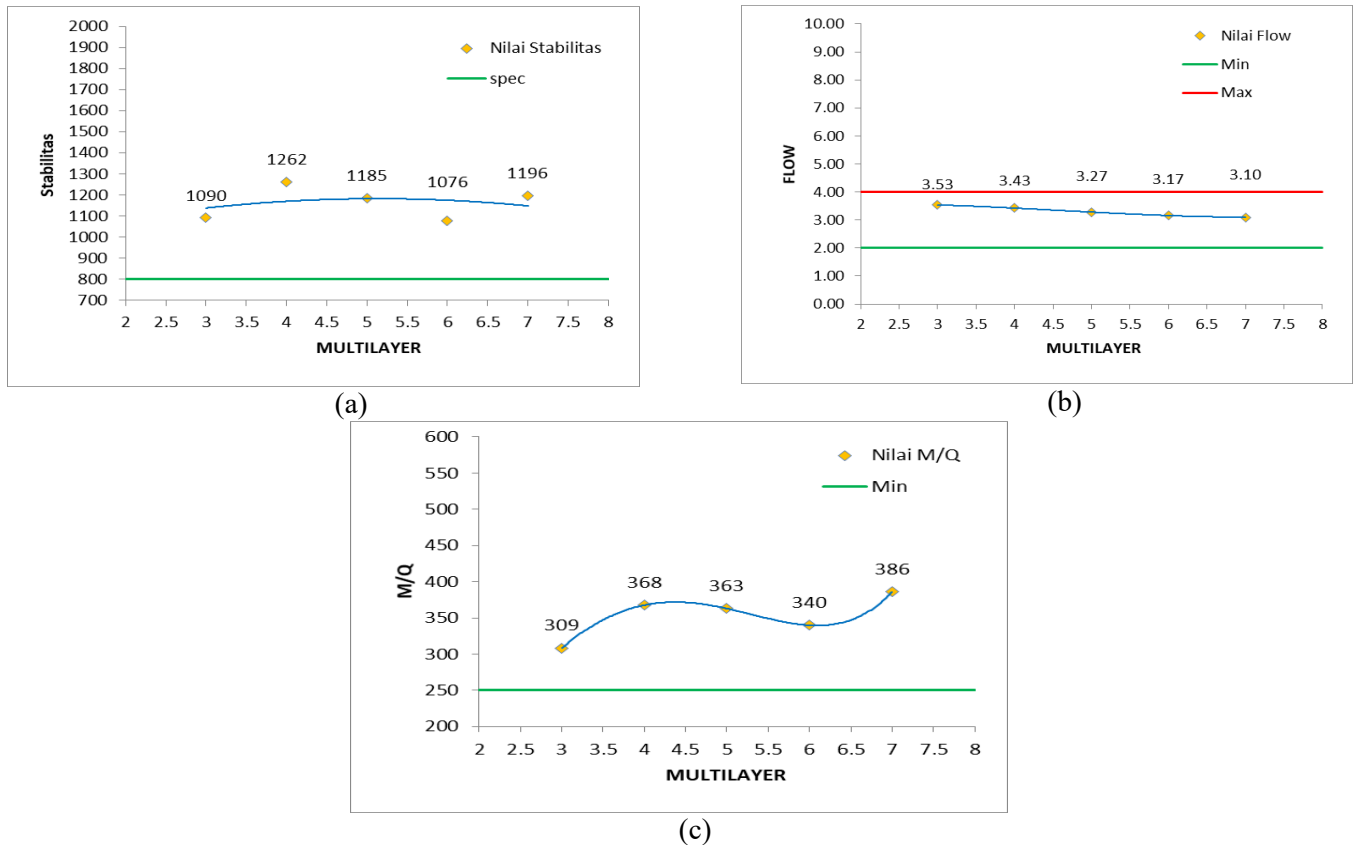


Gambar 3. Hubungan antara Proporsi Penambahan Limbah Plastik Multilayer terhadap (a) VMA, (b) VIM, dan (c) VFB

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa nilai VMA mengalami peningkatan dari 16,57% pada kadar multilayer 3% menjadi 17,57% pada kadar 5%, kemudian sedikit menurun menjadi 17,18% pada kadar 7%. Nilai VIM menunjukkan kecenderungan meningkat hingga mencapai 5,72% pada kadar multilayer 5%, kemudian menurun menjadi 5,28% pada kadar 7%. Sebaliknya, nilai VFB mengalami kecenderungan menurun dari 72,39% pada kadar multilayer 3% menjadi 67,43% pada kadar 5%, kemudian meningkat kembali menjadi 69,29% pada kadar 7%. Secara umum, seluruh variasi campuran memenuhi persyaratan minimum untuk parameter VMA dan VFB, sedangkan parameter VIM pada kadar multilayer 5–7% menunjukkan nilai yang sedikit melebihi batas maksimum spesifikasi.

Analisis Parameter Mekanis Campuran AC-BC

Parameter mekanis digunakan untuk mengevaluasi kemampuan campuran AC-BC dalam menerima beban lalu lintas setelah penambahan limbah plastik multilayer. Parameter yang dianalisis meliputi stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ) yang menggambarkan kekuatan, deformasi, serta tingkat kekakuan campuran beraspal. Hubungan antara variasi kadar limbah plastik multilayer dengan parameter mekanis disajikan pada Gambar 3.



Gambar 4. Hubungan antara Proporsi Penambahan Limbah Plastik Multilayer terhadap (a) Stabilitas, (b) Flow, dan (c) Marshall Quotient.

Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa nilai stabilitas berkisar antara 1076–1262 kg, dengan nilai tertinggi diperoleh pada kadar multilayer 4% sebesar 1262 kg. Nilai flow menunjukkan kecenderungan menurun secara bertahap dari 3,53 mm pada kadar 3% menjadi 3,10 mm pada kadar 7%, namun seluruhnya masih berada dalam rentang spesifikasi 2–4 mm. Nilai Marshall Quotient berkisar antara 309–386 kg/mm, dengan nilai tertinggi diperoleh pada kadar multilayer 7% sebesar 386 kg/mm. Seluruh variasi kadar limbah plastik multilayer menghasilkan nilai stabilitas, flow, dan Marshall Quotient yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga sehingga menunjukkan bahwa campuran masih memiliki karakteristik mekanis yang baik.

Pembahasan

Analisis Parameter Volumetrik Campuran AC-BC

Parameter volumetrik merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kualitas campuran Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) karena menggambarkan kondisi rongga dalam campuran yang berpengaruh terhadap durabilitas, stabilitas, dan kemampuan campuran dalam menahan beban lalu lintas. Parameter yang dianalisis meliputi Void in Mineral Aggregate (VMA), Void in Mix (VIM), dan Void Filled with Bitumen (VFB) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik multilayer terhadap struktur internal campuran AC-BC.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai VMA meningkat dari 16,57% pada kadar limbah plastik multilayer 3% menjadi 17,57% pada kadar 5%, kemudian sedikit menurun menjadi 17,18% pada kadar 7%. Seluruh nilai tersebut masih berada di atas batas minimum Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, yaitu 14%, sehingga campuran masih memiliki ruang antaragregat yang cukup untuk menampung aspal. Peningkatan nilai VMA mengindikasikan bahwa penambahan limbah plastik multilayer memengaruhi susunan agregat sehingga volume rongga antaragregat menjadi lebih besar. Namun, pada kadar yang lebih tinggi terjadi penataan kembali partikel agregat dan bahan pengikat sehingga nilai VMA sedikit menurun. Hasil ini sejalan dengan penelitian Al-Tuwayyij et al. (2023) yang melaporkan

bahwa penambahan limbah plastik pada campuran aspal meningkatkan nilai VMA akibat perubahan struktur internal campuran. Temuan serupa juga dikemukakan oleh Revelli et al. (2024) yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik non-melting menyebabkan peningkatan nilai VMA karena plastik tidak sepenuhnya mengisi rongga antaragregat. Selain itu, Shah et al. (2024) menyatakan bahwa perubahan nilai VMA dipengaruhi oleh jenis plastik, proporsi pengganti sebagian aspal, serta metode pencampuran yang digunakan.

Nilai VIM meningkat dari 4,57% pada kadar multilayer 3% menjadi 5,72% pada kadar 5%, kemudian sedikit menurun menjadi 5,28% pada kadar 7%. Nilai VIM pada kadar 3% dan 4% masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga, sedangkan kadar 5–7% sedikit melebihi batas maksimum sebesar 5%. Peningkatan nilai VIM menunjukkan bertambahnya rongga udara di dalam campuran akibat penambahan limbah plastik multilayer. Hal ini diduga terjadi karena plastik multilayer tidak sepenuhnya melebur pada suhu pencampuran sehingga proses pemadatan menjadi kurang optimal. Meskipun demikian, pada kadar 7% nilai VIM sedikit menurun yang mengindikasikan adanya distribusi campuran yang lebih homogen dibandingkan kadar 5%. Hasil penelitian ini sejalan dengan Hidayat et al. (2019) yang melaporkan bahwa peningkatan kadar plastik PET pada campuran AC-BC menyebabkan nilai VIM meningkat akibat bertambahnya rongga udara. Penelitian Aprianti et al. (2021) pada campuran porous asphalt juga menunjukkan kecenderungan peningkatan VIM setelah penambahan limbah plastik. Namun demikian, perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik volumetrik tidak hanya dipengaruhi oleh kadar pengganti sebagian aspal, tetapi juga oleh jenis plastik dan mekanisme interaksi antara plastik dengan aspal.

Parameter VFB menunjukkan kecenderungan menurun dari 72,39% pada kadar multilayer 3% menjadi 67,43% pada kadar 5%, kemudian meningkat kembali menjadi 69,29% pada kadar 7%. Seluruh variasi campuran masih memenuhi persyaratan minimum Bina Marga sebesar 65%, sehingga rongga agregat masih dapat terisi aspal secara memadai. Penurunan nilai VFB sejalan dengan meningkatnya nilai VIM, karena semakin besar rongga udara maka semakin kecil persentase rongga agregat yang dapat diisi oleh aspal. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa perubahan parameter volumetrik saling berkaitan satu sama lain. Hasil ini mendukung penelitian Shah et al. (2024) yang menjelaskan bahwa peningkatan kadar limbah plastik umumnya diikuti oleh peningkatan VIM dan penurunan VFB akibat perubahan distribusi rongga dalam campuran. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Kumar dan Kumar (2024) yang menyatakan bahwa karakteristik volumetrik campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh jenis limbah plastik, kadar pengganti sebagian aspal, dan tingkat homogenitas pencampuran.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik multilayer memengaruhi karakteristik volumetrik campuran AC-BC melalui perubahan nilai VMA, VIM, dan VFB. Meskipun terjadi perubahan pada ketiga parameter tersebut, hampir seluruh variasi campuran masih memenuhi persyaratan teknis Bina Marga sehingga limbah plastik multilayer berpotensi dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian aspal pada campuran AC-BC. Perbedaan respons pada setiap kadar multilayer menunjukkan bahwa proporsi pengganti sebagian aspal menjadi faktor penting dalam menjaga keseimbangan antara rongga udara, volume agregat, dan volume aspal di dalam campuran.

Analisis Parameter Mekanis Campuran AC-BC

Parameter mekanis digunakan untuk mengevaluasi kemampuan campuran AC-BC dalam menahan beban lalu lintas dan deformasi akibat pembebanan berulang. Pada penelitian ini parameter mekanis yang dianalisis meliputi stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ) sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Ketiga parameter tersebut menggambarkan kekuatan, fleksibilitas, dan kekakuan campuran setelah penambahan limbah plastik multilayer.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai stabilitas berkisar antara 1076–1262 kg, dengan nilai tertinggi diperoleh pada kadar limbah plastik multilayer 4% sebesar 1262 kg. Seluruh variasi campuran memenuhi persyaratan minimum Bina Marga sebesar 800 kg, sehingga menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik multilayer tidak menurunkan kemampuan campuran dalam menahan beban. Nilai stabilitas tertinggi pada variasi 4% menunjukkan bahwa komposisi tersebut menghasilkan kemampuan menahan beban yang paling baik dibandingkan variasi plastik lainnya yang diuji. Namun, setelah kadar plastik ditingkatkan hingga 5% dan 6%, nilai stabilitas mengalami penurunan yang diduga disebabkan oleh distribusi plastik yang mulai mengurangi homogenitas campuran. Pada kadar 7%, stabilitas kembali meningkat meskipun belum melampaui nilai optimum pada kadar 4%. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Yuniarti & Rachman (2020) yang melaporkan bahwa penggunaan limbah kantong plastik sebagai pengganti sebagian aspal pada AC-BC mampu meningkatkan nilai stabilitas dibandingkan campuran tanpa plastik. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Rahmadona et al. (2026) yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah LDPE meningkatkan stabilitas Marshall pada campuran AC-BC. Selain itu, Mashaan et al. (2021) menjelaskan bahwa material plastik mampu meningkatkan kekakuan pengikat sehingga memperbaiki ketahanan campuran terhadap deformasi.

Nilai flow mengalami penurunan bertahap dari 3,53 mm pada kadar multilayer 3% menjadi 3,10 mm pada kadar 7%. Seluruh nilai flow masih berada dalam rentang spesifikasi Bina Marga yaitu 2–4 mm. Penurunan nilai flow menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih kaku seiring bertambahnya kadar limbah plastik multilayer. Kekakuan

tersebut terjadi karena limbah plastik meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan deformasi plastis saat menerima pembebanan Marshall. Hasil ini sesuai dengan penelitian Shah et al. (2024) yang menyatakan bahwa penambahan limbah plastik pada campuran beraspal cenderung menurunkan nilai flow karena meningkatnya kekakuan campuran. Namun demikian, Rahmadona et al. (2026) melaporkan bahwa pada campuran AC-BC dengan LDPE, peningkatan kadar plastik justru diikuti kenaikan nilai flow. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan flow dipengaruhi oleh jenis plastik, metode pencampuran, serta karakteristik material yang digunakan.

Nilai Marshall Quotient (MQ) meningkat dari 309 kg/mm pada kadar multilayer 3% menjadi 386 kg/mm pada kadar 7%. Nilai MQ yang semakin tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki tingkat kekakuan yang semakin baik sehingga lebih mampu menahan deformasi permanen akibat beban lalu lintas. Peningkatan nilai MQ terjadi karena penurunan nilai flow lebih besar dibandingkan perubahan nilai stabilitas, sehingga rasio antara stabilitas dan flow meningkat. Hasil penelitian ini mendukung penelitian Novendra et al. (2023) yang menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik pada campuran AC-BC meningkatkan nilai Marshall Quotient. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Mashaan et al. (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan limbah plastik sebagai pengganti sebagian aspal meningkatkan kekakuan campuran tanpa mengurangi kemampuan menahan beban.

Secara keseluruhan, parameter mekanis menunjukkan bahwa campuran AC-BC dengan penambahan limbah plastik multilayer menunjukkan karakteristik Marshall yang memenuhi persyaratan pada variasi tertentu. Seluruh variasi campuran memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga untuk parameter stabilitas, flow, dan Marshall Quotient. Hasil ini mengindikasikan bahwa limbah plastik multilayer memiliki potensi sebagai pengganti sebagian aspal alternatif pada campuran AC-BC, meskipun proporsi penambahannya perlu dikendalikan agar keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan karakteristik volumetrik tetap terjaga. Pembahasan ini juga memperlihatkan bahwa hasil penelitian ini konsisten dengan sebagian besar penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan limbah plastik pada campuran AC-BC, sekaligus memberikan kontribusi baru melalui penggunaan plastik multilayer, yang masih relatif jarang dilaporkan dalam literatur.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik multilayer sebagai pengganti sebagian aspal memengaruhi karakteristik Marshall campuran AC-BC. Total bahan pengikat dipertahankan sebesar 5,15%, dengan variasi limbah plastik multilayer sebesar 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7%.

Seluruh variasi memenuhi persyaratan stabilitas, flow, Marshall Quotient, VMA, dan VFB. Namun, nilai VIM pada variasi 5%, 6%, dan 7% melebihi batas maksimum 5%. Variasi 4% merupakan variasi terbaik karena menghasilkan stabilitas tertinggi sebesar 1.262 kg dan seluruh parameter Marshall masih memenuhi persyaratan. Dengan demikian, limbah plastik multilayer berpotensi digunakan sebagai pengganti sebagian aspal pada campuran AC-BC.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, H. B., Yousfi, M., Maazouz, A., & Lamnawar, K. (2025). *Recycling of multilayer polymeric barrier films: An overview of recent pioneering works and main challenges. Macromolecular Materials and Engineering*, 310(2). <https://doi.org/10.1002/mame.202400414>
- Al-Tuwayyij, H., Al-Mukaram, N., & Musa, S. S. (2023). Impact of plastic waste on the volumetric characteristics and resilient modulus of asphalt concrete. *Civil Engineering Journal*, 9(4), 915–926. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-04-012> (*Jurnal Teknik Sipil*)
- Anwar, M. A., Suprihatin, S., Sasongko, N., Najib, M., Pranoto, B., Firmansyah, I., & Soekotjo, E. S. A. (2025). *Sustainable waste management strategies for multilayer plastic in Indonesia. Cleaner and Responsible Consumption*, 16, 100254. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2025.100254>
- Aprianti, E., Runtulalo, D., & Zaifullah, A. M. H. (2021). The Volumetric Analysis of Porous Mixture Containing Modified Plastic Waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 921. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012075>
- Bilema, M., Mohamed, A., Atiq, I., Maftah, S., & Alsaiti, A. M. (2024). Incorporating waste plastic bottles as an additive in asphalt mixtures through a dry method. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 32(4), 42–49. <https://doi.org/10.2478/sjce-2024-0024>
- Brohomo, P., Shakik, A., & Mizan, M. H. (2025). Waste plastic utilization in asphalt mix for sustainability and enhancing rheological parameters. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 31, 101456. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101456>
- Ghani, U., Zamin, B., Bashir, M. T., Ahmad, M., Sabri, M., & Keawsawasvong, S. (2022). Comprehensive study on the performance of waste HDPE and LDPE modified asphalt binders for construction of asphalt pavements application. *Polymers*, 14(17), 3673. <https://doi.org/10.3390/polym14173673>

- Heydari, S., Hajimohammadi, A., Javadi, N., & Khalili, N. (2021). The use of plastic waste in asphalt: A critical review on asphalt mix design and Marshall properties. *Construction and Building Materials*, 310, 125185. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125185>
- Hidayat, N., Pratama, G., & Pramita, I. (2019). The effect of PET plastic addition (polyethylene terephthalate) and carbide waste filler for Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) on Marshall characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 366, 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/366/1/012024>
- Kumar, B., & Kumar, N. (2024). Enhancing asphalt mixture performance through waste plastic modification: a comprehensive analysis of optimal compositions and volumetric properties. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 9. <https://doi.org/10.1080/24705314.2024.2376804>
- Mashaan, N., Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2021). Laboratory properties of waste PET plastic-modified asphalt mixes. *Recycling*, 6(3), Article 49. <https://doi.org/10.3390/recycling6030049> (MDPI)
- Novendra, M. R., Putra, S., Herianto, D., & Sulistyorini, R. (2023). Pengaruh limbah plastik sebagai pengganti sebagian aspal pengikat aspal terhadap kekuatan campuran Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*, 11(4), 741–750. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v11i4.3802> (Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik)
- Pipin, M. A. (2025). Analisis Karakteristik Campuran Aspal (AC-BC) dengan Penambahan Serbuk Limbah Upvc sebagai Pengganti Sebagian Aspal (Disertasi doktor Universitas Muhammadiyah Mataram). <http://repository.ummat.ac.id/id/eprint/12854>.
- Rahmadona, E., Amalia, K. R., & Pradiya, N. (2026). Performance evaluation of Marshall mixed Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) using modified LDPE waste asphalt with the wet method. *Jurnal Talenta Sipil*, 9(1). <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v9i1.1214>
- Revelli, V., Ali, A., Mehta, Y., Cox, B. C., & Lein, W. (2024). Evaluating the impact of variability in the source of waste polyethylene on the design of plastic modified asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137639> (OUCI)
- Saputra, A., Efendy, A., Hidayati, N., Fitrayudha, A., & Fariyadin, A. (2026). Pemanfaatan Limbah UPVC Sebagai Bahan Aditif pada CPHMA (Cold Paving Hot Mix Asbuton). *Jurnal Talenta Sipil*, 9(1), 336-343 <http://dx.doi.org/10.33087/talentasipil.v9i1.1190>
- Shah, P. M. (2024). Study on use of recycled waste materials on the performance of asphalt binder and mixes: A comprehensive review. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 41(4), 409–439. <https://doi.org/10.1177/14777606241290857>
- Tamizhdurai, P., Mangesh, V. L., Santhosh, S., Vedavalli, R., Kavitha, C., Bhutto, J., Alreshidi, M., Yadav, K. K., & Kumaran, R. (2024). A state-of-the-art review of multilayer packaging recycling: Challenges, alternatives, and outlook. *Journal of Cleaner Production*, 453, 141403. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141403>
- Yuniarti, S., Rachman, R. (2020). Studi karakteristik campuran AC-BC berdasarkan limbah kantong plastik sebagai pengganti sebagian aspal. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(2), 70–76. <https://doi.org/10.52722/7zz8m368>