



Pengaruh Variasi Kadar Limbah Plastik HDPE dengan Metode Kering terhadap Karakteristik Marshall Campuran AC-WC

Elsy Natalin Kawihing*, Merci Freki Hosang, Seska Nicolaas

Politeknik Negeri Manado, Indonesia

Email : mfhosang@gmail.com*

Keywords:

AC-WC; High Density Polyethylene (HDPE); Dry Process; Marshall Characteristics; Optimum Asphalt Content.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Publikasiku Publisher

Kata Kunci:

AC-WC; High Density Polyethylene (HDPE); Metode Kering; Karakteristik Marshall; Kadar Aspal Optimum.

Abstract

The increasing volume of plastic waste and the demand for improved pavement performance have encouraged the development of environmentally friendly asphalt materials. High Density Polyethylene (HDPE) waste has potential as an additive in Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) mixtures because of its strength, durability, and resistance to high temperatures. This study aims to determine the effect of variations in HDPE waste content using the dry process method on the Marshall characteristics of AC-WC mixtures and to identify the optimum HDPE content. This research employed a laboratory experimental method with a quantitative approach. The specimens were prepared using HDPE variations of 0%, 2%, 4%, and 6% by asphalt weight at an optimum asphalt content of 6.50%. Marshall testing was conducted to evaluate stability, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Asphalt (VFA), and Marshall Quotient (MQ). The results showed that HDPE addition improved the Marshall characteristics of the AC-WC mixture. The 6% HDPE variation produced the optimum performance, with stability of 1,537.50 kg, flow of 3.19 mm, VIM of 3.636%, VMA of 16.40%, VFA of 78.29%, and MQ of 481.77 kg/mm. These findings indicate that HDPE waste can be utilized as an alternative additive to enhance asphalt mixture performance while supporting plastic waste reduction. This study concludes that HDPE with a 6% content provides the best Marshall characteristics and has potential for sustainable pavement applications.

Abstrak

Peningkatan jumlah limbah plastik dan kebutuhan terhadap konstruksi perkerasan jalan yang memiliki kinerja tinggi mendorong pengembangan material aspal yang lebih ramah lingkungan. Limbah High Density Polyethylene (HDPE) memiliki potensi sebagai bahan tambah pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) karena memiliki sifat kuat, tahan terhadap suhu tinggi, dan memiliki daya tahan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar limbah HDPE dengan metode pencampuran kering (*dry process*) terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC serta menentukan kadar HDPE optimum. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Benda uji dibuat menggunakan variasi kadar HDPE sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal pada kadar aspal optimum 6,50%. Pengujian Marshall dilakukan untuk menganalisis parameter stabilitas, *flow*, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Asphalt (VFA), dan Marshall Quotient (MQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan HDPE memberikan peningkatan

terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Variasi HDPE sebesar 6% menghasilkan kinerja optimum dengan nilai stabilitas 1.537,50 kg, flow 3,19 mm, VIM 3,636%, VMA 16,40%, VFA 78,29%, dan MQ 481,77 kg/mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah HDPE dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah alternatif untuk meningkatkan kualitas campuran aspal sekaligus mengurangi permasalahan limbah plastik. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa kadar HDPE 6% memberikan karakteristik Marshall terbaik dan berpotensi diterapkan pada konstruksi perkerasan jalan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan suatu struktur konstruksi yang dibangun di atas tanah dasar (*subgrade*) untuk mendukung beban lalu lintas serta mendistribusikan beban tersebut secara bertahap ke lapisan di bawahnya sehingga tegangan yang diterima tanah dasar tidak melebihi daya dukungnya. Keberadaan perkerasan jalan sangat penting karena berfungsi memberikan permukaan yang aman, nyaman, rata, dan memiliki ketahanan terhadap beban kendaraan maupun pengaruh lingkungan (Abduljabbar et al., 2022; Cardone et al., 2022; Fonseca et al., 2022; Nisar et al., 2023). Dalam perencanaannya, suatu konstruksi perkerasan harus memenuhi aspek kekuatan struktural, kenyamanan berkendara, keamanan, kemudahan pemeliharaan, serta efisiensi biaya selama umur rencana jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020).

Salah satu jenis perkerasan yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur dengan lapisan permukaan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Lapisan AC-WC berfungsi sebagai lapisan aus yang secara langsung menerima beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan sehingga harus memiliki stabilitas tinggi, fleksibilitas yang baik, serta ketahanan terhadap deformasi permanen dan kerusakan akibat perubahan temperatur maupun air. Oleh karena itu, kualitas campuran AC-WC harus memenuhi persyaratan teknis sebagaimana tercantum dalam agar mampu memberikan umur layan perkerasan yang optimal (Al-Tuwayyij et al., 2023; Khadafi et al., 2023; Kumita & Jaslidan, 2021; Poetry et al., 2024; Suksiripattanapong et al., 2022; Ullah et al., 2021).

Meskipun spesifikasi teknis telah ditetapkan, kerusakan perkerasan jalan di Indonesia masih menjadi permasalahan yang dominan. Beban lalu lintas yang semakin meningkat, khususnya kendaraan bertonase tinggi, menyebabkan terjadinya deformasi, retak, alur (*rutting*), dan penurunan stabilitas campuran aspal (Amir et al., 2025; Gaus et al., 2022; Kurniasari et al., 2025; Stefany et al., 2022; Yuantika & Widayanti, 2025). Di sisi lain, permasalahan lingkungan akibat meningkatnya timbunan limbah plastik, terutama jenis *High Density Polyethylene* (HDPE), juga menjadi tantangan yang serius. Plastik HDPE banyak digunakan sebagai bahan kemasan, botol, jerigen, dan wadah rumah tangga karena memiliki sifat kuat dan tahan terhadap bahan kimia, tetapi sulit terurai secara alami sehingga berpotensi mencemari lingkungan dalam jangka panjang.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan tambah pada campuran aspal memberikan hasil yang menjanjikan melaporkan bahwa penambahan limbah plastik HDPE pada campuran AC-WC mampu meningkatkan karakteristik Marshall serta menghasilkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang memenuhi (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Penelitian yang lebih mutakhir oleh

(Amir et al., 2025) juga menunjukkan bahwa penggunaan limbah HDPE dengan metode pencampuran kering (*dry process*) berpengaruh terhadap peningkatan karakteristik Marshall campuran AC-WC. Selain itu, penelitian mengenai penggunaan limbah plastik pada campuran AC-WC oleh (Iqbal et al., 2025) memperlihatkan bahwa penambahan plastik dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall dibandingkan campuran konvensional. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa limbah plastik berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal, namun variasi kadar HDPE menggunakan metode kering pada campuran AC-WC masih memerlukan pengkajian lebih lanjut karena setiap sumber material, karakteristik agregat, kadar aspal optimum, dan kondisi laboratorium dapat menghasilkan karakteristik Marshall yang berbeda. Metode Marshall merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam perencanaan campuran beraspal panas (*hot mix asphalt*) untuk menentukan kadar aspal optimum dan mengevaluasi karakteristik campuran. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Bruce Marshall pada tahun 1930-an dan kemudian diadopsi serta dikembangkan lebih lanjut oleh U.S. Army Corps of Engineers (Santoso et al., 2025). Menurut (Arisandi et al., 2021) Dalam penelitian ini menggunakan bahan aditif plastik bekas *High-Density Polyethylene* (HDPE) memiliki ciri kuat, tidak transparan, keras, tahan terhadap suhu tinggi serta korosi. HDPE mempunyai massa jenis antara 0.95-0.97 g/mL-1 separuhnya berupa kristalin (50%- 60%) dan memiliki titik leleh 135°C.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menawarkan solusi melalui pemanfaatan limbah plastik HDPE sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC menggunakan metode kering (*dry process*). Pada metode ini, plastik HDPE yang telah dicacah dicampurkan langsung dengan agregat panas sebelum penambahan aspal sehingga diharapkan mampu membentuk ikatan yang lebih baik antara agregat dan aspal. Penelitian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi kadar limbah plastik HDPE, kemudian mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik Marshall yang meliputi Stabilitas, Flow, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Hasil penelitian diharapkan dapat menentukan variasi kadar HDPE yang memberikan performa terbaik sekaligus menjadi alternatif pemanfaatan limbah plastik yang ramah lingkungan dan sesuai dengan spesifikasi teknis perkerasan jalan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen laboratorium (*experimental research*) dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian eksperimen dipilih karena bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik campuran AC-WC akibat pemberian perlakuan berupa variasi kadar limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) menggunakan metode pencampuran kering (*dry process*). Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yang menggunakan material penyusun berupa agregat, aspal, dan bahan tambah limbah plastik HDPE. Sampel penelitian berupa benda uji campuran AC-WC dengan variasi kadar HDPE sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal pada kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,50%. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara eksperimental dengan metode *purposive sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan variasi perlakuan yang telah ditentukan untuk memperoleh hasil pengujian yang

sesuai dengan tujuan penelitian.

Instrumen penelitian yang digunakan berupa peralatan pengujian laboratorium untuk pembuatan dan pengujian benda uji campuran aspal, meliputi alat pencampuran material, alat pemadat benda uji Marshall, serta perangkat pengujian karakteristik Marshall. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi stabilitas, *flow*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Uji validitas instrumen dilakukan melalui kesesuaian alat dan prosedur pengujian dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sedangkan uji reliabilitas dilakukan melalui pengulangan pengujian terhadap benda uji untuk memastikan konsistensi hasil pengukuran. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan pengujian langsung di laboratorium terhadap setiap variasi campuran AC-WC dengan penambahan limbah HDPE. Prosedur penelitian diawali dengan pengujian karakteristik material penyusun, penentuan kadar aspal optimum, pembuatan benda uji dengan variasi kadar HDPE, kemudian dilakukan pengujian Marshall untuk memperoleh data karakteristik campuran.

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan teknik analisis kuantitatif dengan membandingkan nilai setiap parameter Marshall pada masing-masing variasi kadar HDPE. Analisis dilakukan dengan melihat perubahan nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ untuk menentukan pengaruh penambahan limbah HDPE terhadap kinerja campuran AC-WC serta menentukan kadar HDPE optimum. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data berupa aplikasi pengolah angka seperti Microsoft Excel untuk tabulasi data, perhitungan nilai parameter Marshall, dan penyajian grafik hubungan antara variasi kadar HDPE dengan karakteristik campuran. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan standar persyaratan teknis campuran AC-WC berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk mengetahui kelayakan penggunaan limbah plastik HDPE sebagai bahan tambah pada perkerasan jalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material dilakukan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian keausan agregat, berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus, berat isi agregat, serta analisis gradasi agregat.

Berdasarkan hasil pengujian keausan agregat menggunakan mesin *Los Angeles* menunjukkan nilai abrasi sebesar 28,46%. Nilai tersebut berada di bawah batas maksimum 40% yang digunakan dalam penelitian, sehingga agregat yang digunakan memenuhi persyaratan dan digunakan sebagai material campuran AC-WC.

Tabel 1. Hasil rata-rata berat jenis dan penyerapan agregat kasar 13-19, agregat kasar 5-13 dan halus 0-5mm

Sampel	Rata-rata
Agregat Kasar 13-19 mm	
Berat jenis bulk	2,625
Berat jenis SSD	2,630
Berat jenis semu	2,640
Penyerapan	0,217
Agregat 5-13 mm	
Berat jenis bulk	2,564
Berat jenis SSD	2,602
Berat jenis semu	2,667
Penyerapan	1,500
Halus 0-5 mm	
Berat jenis bulk	2,581
Berat jenis SSD	2,635
Berat jenis semu	2,730
Penyerapan	2,124

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan menunjukkan bahwa agregat kasar maupun agregat halus memiliki karakteristik yang memenuhi persyaratan. Pada agregat halus ukuran 0–5 mm diperoleh berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,581 gr/cc, berat jenis SSD sebesar 2,635 gr/cc, berat jenis semu sebesar 2,730 gr/cc, dan penyerapan sebesar 2,124 %. Pada agregat ukuran 5-13 mm diperoleh berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,564 gr/cc, berat jenis SSD sebesar 2,602 gr/cc, berat jenis semu sebesar 2,667 gr/cc, dan penyerapan sebesar 1,500 %. Pada agregat kasar ukuran 13-19 mm diperoleh berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,625 gr/cc, berat jenis SSD sebesar 2,630 gr/cc, berat jenis semu sebesar 2,640 gr/cc, dan penyerapan sebesar 0,217 %. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat memenuhi kriteria yang digunakan dalam penelitian. Untuk komposisi agregat hasil Job Mix Desain dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Jenis material dan persentase kombinasi material

Jenis Material	Persentase Mix Desain (%)
Batu Pecah 13-19	15,0 %
Batu Pecah 5-13	25,0 %
Abu Batu	59,0 %
PC	1,0 %

Hasil analisis gradasi menunjukkan bahwa kombinasi agregat yang digunakan berada dalam batas gradasi campuran AC-WC yang ditetapkan. Komposisi agregat hasil Job Mix Design terdiri atas split 13–25 mm sebesar 15,0%, split 5–13 mm sebesar 25,0%, abu batu sebesar 59,0%, dan Portland cement (PC) sebagai filler sebesar 1,0%.

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan menggunakan campuran AC-WC normal dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Parameter Marshall

yang dianalisis meliputi density, stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VMA, dan VFB. Di sajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Rekapitan Hasil Pengujian Marshall

Parameter Marshall	Kadar Aspal KAO Normal					Spesifikasi
	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%	
Density (gram/cm)	2,251	2,268	2,290	2,280	2,304	-
Stability (kg)	1.116,88	1.123,81	1.254,64	1.357,07	1.467,14	Min. 800
Flow (mm)	4,61	3,78	3,76	3,70	3,35	0-4 mm
MQ (kg/mm)	242,42	297,96	336,63	384,56	441,94	Min. 250
VIM (%)	8,932	7,554	5,988	5,728	4,055	3-5 %
VMA (%)	16,94	16,73	16,38	17,19	16,76	Min. 15 %
VFB (%)	47,33	55,04	63,54	66,67	75,81	Min. 65 %

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Pada kadar aspal 4,5% nilai stabilitas sebesar 1.116,88 kg, kemudian meningkat menjadi 1.123,81 kg, 1.254,64 kg, 1.357,07 kg, dan mencapai 1.467,14 kg pada kadar aspal 6,5%. Nilai flow mengalami penurunan dari 4,61 mm pada kadar aspal 4,5% menjadi 3,35 mm pada kadar aspal 6,5%. Sementara itu, nilai VIM menurun dari 8,932% menjadi 4,055%. Nilai VMA pada kadar aspal 6,5% adalah 16,76%, sedangkan nilai VFB sebesar 75,81%. Nilai-nilai tersebut telah memenuhi batas persyaratan yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan keseluruhan parameter Marshall dan hasil analisis grafik, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,50%.

Dengan KAO sebesar 6,50%, campuran selanjutnya digunakan sebagai campuran dasar untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan metode pencampuran kering.

Pengaruh Penambahan Limbah HDPE terhadap Karakteristik Marshall

Pengujian campuran dengan bahan tambah HDPE dilakukan menggunakan kadar HDPE sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal pada KAO 6,50%. Campuran tanpa HDPE digunakan sebagai campuran kontrol. Hasil pengujian Marshall disajikan pada Tabel 4 berikut.

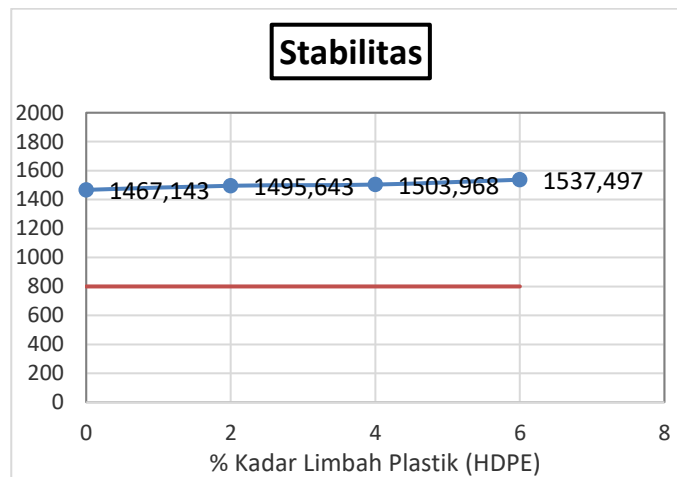
Tabel 4. Hasil pengujian marshall dengan bahan tambah HDPE Dan Mendapatkan Kadar Optimum HDPE

Kadar HDPE (% Terhadap Berat Aspal)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	MQ (kg/mm)	Memenuhi Spesifikasi
0%	1.467,14	3,35	4,055	16,76	75,81	441,94	Ya
2%	1.495,64	3,40	3,830	16,57	76,91	448,76	Ya
4%	1.503,97	3,36	3,826	16,56	77,00	450,38	Ya
6%	1.537,50	3,19	3,636	16,40	78,29	481,77	Ya

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan HDPE memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall campuran aspal. Nilai stabilitas meningkat dari 1.467,14 kg pada campuran kontrol menjadi 1.537,50 kg pada HDPE 6%, atau meningkat sebesar 4,79%, yang menunjukkan peningkatan kemampuan campuran dalam menahan beban. Nilai flow berkisar antara 3,19–3,40 mm dan cenderung menurun pada kadar HDPE yang lebih tinggi,

menunjukkan campuran menjadi lebih kaku. Nilai VIM menurun dari 4,055% menjadi 3,636%, sedangkan VMA menurun dari 16,76% menjadi 16,40%, namun keduanya masih memenuhi batas persyaratan. Sebaliknya, VFB meningkat dari 75,81% menjadi 78,29%, menunjukkan semakin banyak rongga yang terisi aspal. Nilai MQ juga meningkat dari 441,94 kg/mm menjadi 481,77 kg/mm, yang menunjukkan peningkatan kekakuan dan kemampuan campuran dalam menahan deformasi. Secara keseluruhan, kadar HDPE 6% memberikan hasil karakteristik Marshall yang paling baik dibandingkan variasi lainnya.

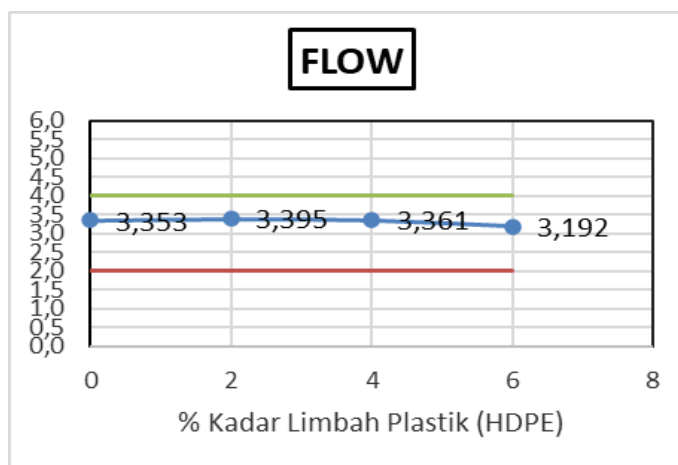
1. Stabilitas



Gambar 1. Grafik Stability Dengan Menggunakan Variasi Bahan Tambah Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

Berdasarkan Gambar 1 Bertambahnya kadar plastik nilai stabilitas juga mengalami peningkatan. Hal tersebut dipengaruhi oleh plastik yang ditambahkan berbentuk serat bersudut dan agregat yang terselimuti oleh aspal saling mengunci dengan baik. Posisi agregat tidak mudah bergeser dari tempatnya ketika diberi beban, sehingga stabilitasnya meningkat.

2. Flow

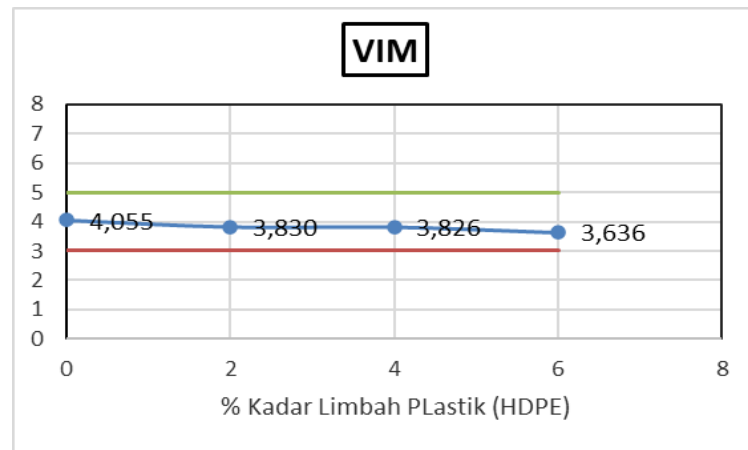


Gambar 2. Grafik Flow Dengan Menggunakan Variasi Bahan Tambah Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

Berdasarkan Gambar 2 Pada kadar plastik 2% nilai flow mengalami peningkatan sebesar

3,395% dan mengalami penurunan dikadar plastik 6%. Nilai flow berbanding lurus dengan nilai stabilitas campuran. Jika nilai flow yang rendah dan stabilitas tinggi mengindikasikan bahwa campuran mudah retak, sedangkan nilai flow yang tinggi dengan stabilitas yang rendah menyebabkan campuran mudah mengalami perubahan bentuk dalam menahan beban.

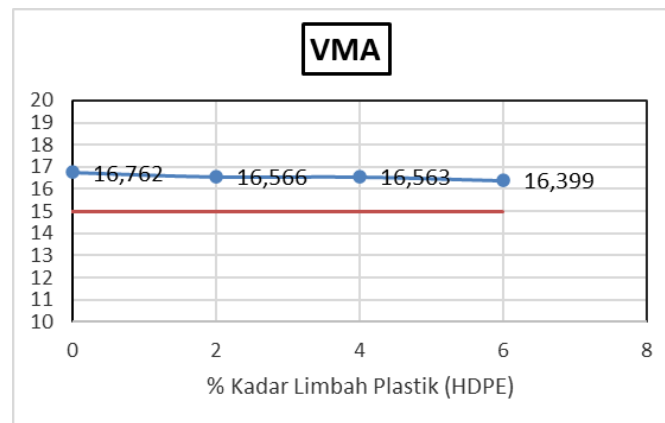
3. VIM



Gambar 3. Grafik VIM Dengan Menggunakan Variasi Bahan Tambah Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

Berdasarkan Gambar 3 Nilai VIM semakin kecil dengan bertambahnya kadar plastik, hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya kadar plastik HDPE maka akan semakin mengisi rongga didalam campuran laston AC-WC walaupun tidak terlalu signifikan.

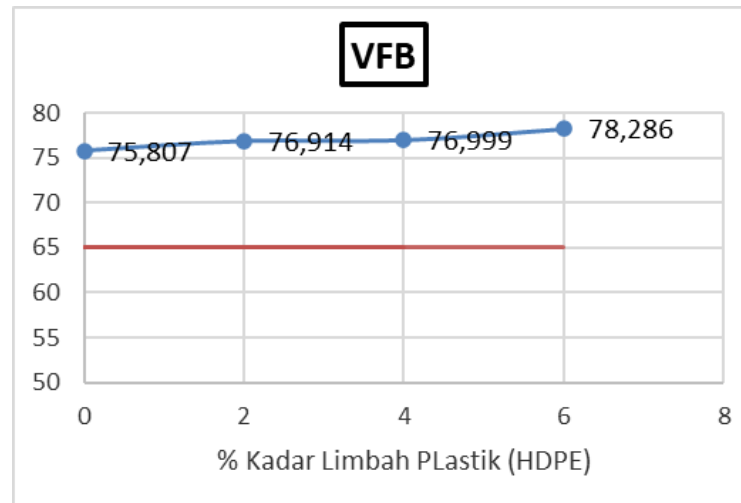
4. VMA



Gambar 4. Grafik VMA Dengan Menggunakan Variasi Bahan Tambah Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

Berdasarkan Gambar 4 Nilai VMA melebihi batas minimum dari yang disyaratkan yaitu 15%. Campuran laston yang baik harus memiliki nilai VMA yang tidak boleh kurang dari nilai minimum yang disyaratkan karena nilai VMA kecil akan menyebabkan bleeding karena tidak menyelimuti agregat dengan baik.

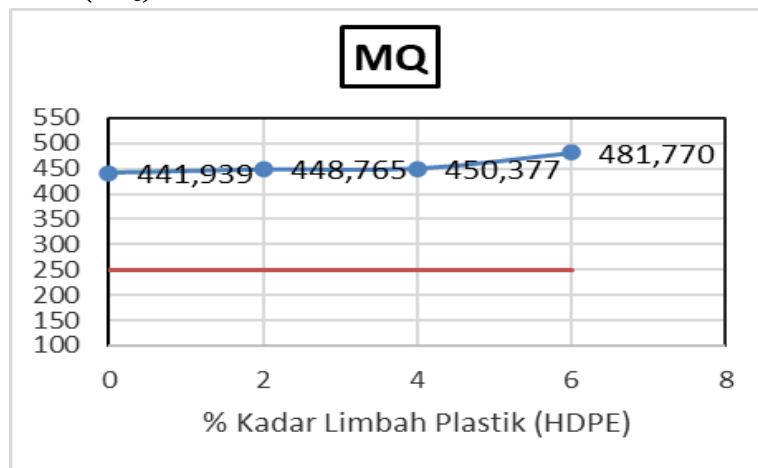
5. VFB



Gambar 5. Grafik VFB Dengan Menggunakan Variasi Bahan Tambah Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

Berdasarkan Gambar 5 nilai VFB semakin naik seiring penambahan kadar plastik, hal ini dikarenakan kadar limbah plastic bersifat seperti aspal sebagai pengisi rongga diantara agregat pada campuran lebih besar, selain itu juga pori antar agregat lebih rapat sehingga campuran kedap terhadap air dan udara yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan lebih awet.

6. Marshall Quotient (MQ)



Gambar 6. Grafik MQ Dengan Menggunakan Variasi Bahan Tambah Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

Berdasarkan Gambar 6 Nilai *Marshall* Bergantung pada Perbandingan langsung antara stabilitas dan flow, selama stabilitas meningkat dan flow menurun nilai MQ akan naik yang menandakan campuran aspal akan semakin kaku dan memiliki ketahanan deformasi yang lebih tinggi terhadap beban.

Penentuan Kadar HDPE Optimum

Berdasarkan hasil pengujian Marshall pada Tabel 4, penambahan limbah plastik HDPE sebesar 6% terhadap berat aspal menghasilkan karakteristik Marshall yang paling optimum dibandingkan dengan variasi 0%, 2%, dan 4%. Hal ini ditunjukkan oleh nilai stabilitas sebesar 1537,50 kg dan Marshall Quotient (MQ) sebesar 481,77 kg/mm, dengan nilai flow 3,19 mm, VIM 3,636%, VMA 16,40%, dan VFA 78,29%. Seluruh parameter tersebut memenuhi persyaratan campuran AC-WC yang digunakan dalam penelitian. Kadar HDPE optimum ditentukan berdasarkan variasi yang memenuhi seluruh persyaratan karakteristik Marshall dan memberikan kinerja campuran yang paling baik secara keseluruhan, dengan mempertimbangkan stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai variasi kadar limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan metode kering terhadap karakteristik Marshall campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah HDPE memberikan pengaruh terhadap perubahan karakteristik campuran aspal. Variasi kadar HDPE sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar HDPE yang ditambahkan, nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ) cenderung mengalami peningkatan, sedangkan nilai flow, VIM, dan VMA mengalami perubahan yang masih berada dalam batas persyaratan teknis. Kadar HDPE sebesar 6% menghasilkan karakteristik Marshall paling optimum dengan nilai stabilitas sebesar 1.537,50 kg, flow sebesar 3,19 mm, VIM sebesar 3,636%, VMA sebesar 16,40%, VFA sebesar 78,29%, dan MQ sebesar 481,77 kg/mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa limbah plastik HDPE berpotensi digunakan sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC untuk meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan beban serta memberikan alternatif pemanfaatan limbah plastik yang bernilai guna.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian dengan variasi kadar HDPE yang lebih beragam, termasuk kadar di atas 6% maupun variasi ukuran dan bentuk potongan plastik untuk mengetahui batas optimum penggunaan HDPE secara lebih luas. Selain itu, penelitian berikutnya dapat mempertimbangkan pengujian terhadap aspek durabilitas, ketahanan terhadap perubahan suhu, umur layanan, serta kinerja campuran pada kondisi lapangan agar hasil penelitian tidak hanya terbatas pada pengujian laboratorium. Penggunaan jenis plastik lain atau kombinasi beberapa limbah polimer juga dapat dikaji untuk memperoleh alternatif material perkerasan jalan yang lebih berkelanjutan dan memiliki performa teknis yang optimal.

PENDANAAN

Penulis menyatakan bahwa tidak ada dukungan finansial yang diterima untuk pelaksanaan penelitian ini dan/atau penerbitan artikel ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa penelitian ini dilakukan tanpa adanya hubungan komersial atau finansial yang dapat ditafsirkan sebagai potensi konflik kepentingan.

KONTRIBUSI PENULIS

Elsy Natalin Kawihing: konseptualisasi penelitian, perancangan metodologi, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan data, analisis data, penyusunan manuskrip, dan revisi manuskrip. Merci Freki Hosang dan Seska Nicolaas: supervisi penelitian, validasi hasil penelitian, pemberian masukan ilmiah, serta peninjauan dan revisi manuskrip. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir manuskrip.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF

Penulis menyatakan bahwa kecerdasan artifisial (AI) generatif digunakan dalam penyusunan manuskrip ini untuk membantu meningkatkan kejelasan bahasa, memperbaiki tata bahasa, dan menyempurnakan struktur penulisan. AI generatif tidak digunakan untuk menghasilkan, memanipulasi, atau menganalisis data penelitian. Seluruh isi manuskrip telah ditinjau dan diverifikasi oleh penulis. Penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas keakuratan, integritas, dan isi akhir manuskrip.

REFERENSI

- Abduljabbar, N., Al-Busaltan, S., Dulaimi, A., Al-Yasari, R., Sadique, M., & Al Nageim, H. (2022). The effect of waste low-density polyethylene on the mechanical properties of thin asphalt overlay. *Construction and Building Materials*, 315, 125722. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125722>
- 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>
- Amir, A. F., Priskasari, E., & Sunarwardi, H. S. W. (2025). Evaluasi Pengaruh Penambahan Limbah HDPE pada Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Cakrawala Akademika*, 2(2), 336–347. <https://doi.org/10.70182/jca.v2i2.991>
- Arisandi, E. S., 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>
- Cardone, F., Spadoni, S., Ferrotti, G., & Canestrari, F. (2022). Asphalt mixture modification with a plastomeric compound containing recycled plastic: laboratory and field investigation. *Materials and Structures*, 55(3), 89. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-01954-4>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*.
- Fonseca, M., Capitão, S., Almeida, A., & Picado-Santos, L. (2022). Influence of Plastic Waste on the Workability and Mechanical Behaviour of Asphalt Concrete. *Applied Sciences*, 12(4), 2146. <https://doi.org/10.3390/app12042146>
- Gaus, A., Hakim, R., & Seniyasmin. (2022). Pengaruh Penggunaan Limbah Polyethylene Terephthalate Terhadap Campuran Aspal Concrete Binder Course. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 131–140. <https://doi.org/10.29103/tj.v12i1.683>
- Iqbal, I., Sukowati, D. G., Rusmin, M., Desembardi, F., & Sasim, K. P. (2025). Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik LDPE Terhadap Karakteristik Laston AC-WC Dengan

- Metode Marshall. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 6(2), 216–221. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v6n2.p216-221>
- Khadafi, M., Jasman, & Fadly, I. (2023). Studi Penggunaan Plastik HDPE Pada Campuran Aspal Sebagai Bahan Pengikat Kostruksi Jalan. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(2), 102–106. <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>
- Kurniasari, F. D., Pramanda, H., & Muarif, M. A. (2025). Pemanfaatan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) sebagai substitusi Terhadap Campuran Aspal PEN 60/70. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 49. <https://doi.org/10.29103/tj.v15i1.1201>
- Nisar, J., Mir, M. S., & Vivek. (2023). Study on optimal preparation and rheological characteristics of waste low density polyethylene (LDPE)/styrene butadiene styrene (SBS) composite modified asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 407, 133459. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133459>
- Poetry, S. A., Nurdin, A. R., & Yusuf, A. R. (2024). Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Campuran Aspal Pada Perkerasan Aspal AC-WC Dengan Perendaman Air Tawar Dan Air Laut Secara Berulang. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 2(1), 34–42. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v2i1.3288>
- Santoso, T. B., Ikhwan, M. Z., Zainuddin, Z., Sujiat, S., Al Zakina, B. L., & Rendra, M. I. (2025). Analisis Kadar Aspal Optimum Melalui Marshall Test Menurut Asphalt Institute MS-2 Edisi III D. *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 13(2), 76–86. <https://doi.org/10.30742/axial.v13i2.4620>
- Stefany, A., Elvina, I., & Desriantomy. (2022). Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik HDPE Terhadap Durabilitas Campuran HRS-WC. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 5(1). <https://doi.org/10.52868/jt.v5i1.4531>
- Suksiripattanapong, C., Uraikhot, K., Tiyasangthong, S., Wonglakorn, N., Tabyang, W., Jomnonkwao, S., & Phetchuay, C. (2022). Performance of Asphalt Concrete Pavement Reinforced with High-Density Polyethylene Plastic Waste. *Infrastructures*, 7(5), 72. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7050072>
- Ullah, S., Khan, M. R., & Khan, M. T. (2021). Characterization of physical & mechanical properties of asphalt concrete containing low- & high-density polyethylene waste as aggregates. *Construction and Building Materials*, 301, 124127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124127>
- Yuantika, R., & Widayanti, A. (2025). Karakteristik Dasar Limbah Plastik HDPE dan Agregat Alam sebagai Material Ramah Lingkungan Untuk Campuran Perkerasan Lapis Antara Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC). *Mitrans: Jurnal Manajemen Rekayasa Transportasi*, 3(2), 203–211. <https://doi.org/10.26740/mitrans.v3n2.p203-211>