

Pengaruh Penambahan Limbah Plastik *Multilayer* terhadap Karakteristik Campuran AC-WC

Mohammad Ridha Ardiansyah Putra^{1*}, Irawati Irawati², Pujo Priyono³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, Indonesia

Corresponding Author: jink9212@gmail.com, irawati@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Peningkatan jumlah limbah plastik *multilayer* yang sulit didaur ulang menjadi permasalahan lingkungan yang massif dan perlu ditangani. Pemanfaatan limbah sebagai material alternatif merupakan strategi menekan dampak lingkungan sekaligus meningkatkan nilai guna limbah tersebut. Bidang konstruksi jalan dapat memanfaatkan limbah sebagai bahan substitusi agregat pada campuran perkerasan. Penelitian bertujuan menganalisis dampak pemanfaatan plastik *multilayer* sebagai substitusi parsial agregat karakteristik Marshall serta nilai *Cantabro Loss* campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*. Metode eksperimen laboratorium digunakan dengan variasi kadar plastik *multilayer* sejumlah 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat agregat. Proses pencampuran menggunakan metode kering (*dry process*) untuk mengevaluasi perubahan karakteristik campuran akibat penambahan material. Perancangan campuran mengacu kadar aspal optimum 5,75%. Evaluasi kinerja campuran melalui pengujian Marshall mengevaluasi beberapa parameter, yaitu stabilitas, *flow*, *Void in Mix (VIM)*, *Void in Mineral Aggregate (VMA)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, *Marshall Quotient (MQ)*, hingga uji *Cantabro Loss*. Hasil penelitian menunjukkan substitusi agregat plastik *multilayer* meningkatkan nilai stabilitas dari 3359,13 kg menjadi 4432,13 kg. Nilai *flow* meningkat dari 2,77 mm menjadi 3,91 mm, memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai VIM dari 4,18% menjadi 7,00%, sedangkan VMA menurun dari 15,24% menjadi 14,63%. Nilai VFA meningkat dari 65,60% menjadi 68,36% dan seluruh variasi memenuhi spesifikasi. Hasil *Cantabro Loss* menunjukkan nilai kehilangan terendah sebesar 1,86% pada variasi plastik 2%. Berdasarkan evaluasi seluruh parameter, kadar plastik *multilayer* optimum diperoleh variasi 2% karena memenuhi seluruh persyaratan Marshall dan menghasilkan durabilitas terbaik.

Kata Kunci: AC-WC; Plastik *Multilayer*; Marshall; *Cantabro Loss*; Perkerasan Jalan

Abstract

The increasing volume of multilayer Plastic waste, which is difficult to recycle, has become a significant environmental challenge requiring effective management. Utilizing such waste as an alternative material offers a strategy to reduce environmental impacts while enhancing its value. In road construction, waste materials can be used as aggregate substitutes in pavement mixtures. This study evaluates the effect of multilayer Plastic as a partial aggregate substitute on the Marshall characteristics and *Cantabro Loss* of *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* mixtures. A laboratory experimental method was employed using multilayer Plastic contents of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% by aggregate weight. The dry process was applied to assess changes in mixture performance, with an optimum asphalt content of 5.75%. Performance evaluation included Marshall Stability, *flow*, *Void in Mix (VIM)*, *Void in Mineral Aggregate (VMA)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, *Marshall Quotient (MQ)*, and *Cantabro Loss* tests. The results showed that multilayer Plastic substitution increased Stability from 3359.13 kg to 4432.13 kg and *flow* from 2.77 mm to 3.91 mm, satisfying the 2018 Bina Marga General Specifications. VIM increased from 4.18% to 7.00%, while VMA decreased from 15.24% to 14.63%. VFA increased from 65.60% to 68.36%, with all mixtures meeting specification requirements. The lowest *Cantabro Loss* value, 1.86%, was obtained at 2% Plastic content. Based on all performance parameters, the optimum multilayer Plastic content was 2%, as it satisfied all Marshall criteria and provided the highest durability.

Keywords: AC-WC; Multilayer Plastic; Marshall Characteristics; *Cantabro Loss*; Pavement.



This is an open-access article under the CC-BY-SA license

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan komponen penting dalam sistem transportasi yang berfungsi menunjang kelancaran mobilitas masyarakat serta distribusi barang dan jasa. Kinerja perkerasan sangat ditentukan oleh mutu material penyusun campuran aspal yang digunakan. Seiring dengan peningkatan volume lalu lintas dan beban kendaraan, diperlukan campuran perkerasan yang memiliki stabilitas dan durabilitas tinggi agar mampu mempertahankan kualitas pelayanan serta ketahanannya selama masa operasional. (Nadhifah et al, 2025).

Di sisi lain, peningkatan konsumsi produk kemasan menyebabkan jumlah limbah plastik terus bertambah setiap tahun. Salah satu jenis limbah yang sulit ditangani adalah plastik *multilayer*. Plastik *multilayer* tersusun atas beberapa lapisan material berbeda seperti *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), aluminium foil, dan bahan polimer lainnya sehingga sulit dipisahkan dan didaur ulang menggunakan metode konvensional. (Riyandini et al., 2022).

Merujuk pada penelitian (Xu et al., 2022), penelitian ini memanfaatkan limbah plastik *multilayer* sebagai bahan substitusi parsial agregat terhadap kombinasi *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) menggunakan ragam kadar sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Pemilihan ragam kadar tersebut berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang mengindikasikan bahwa penambahan limbah plastik dapat memberikan pengaruh positif terhadap karakteristik Marshall serta meningkatkan ketahanan campuran terhadap terjadinya deformasi permanen (Subandi & Sartono, 2023).

Penelitian ini diproyeksikan dapat memperoleh substitusi pengolahan limbah plastik *multilayer* yang lebih bernilai guna sekaligus memberikan gambaran mengenai pengaruh penggunaannya terhadap karakteristik Marshall juga nilai *Cantabro Loss* terhadap kombinasi AC-WC. Evaluasi kinerja campuran dilakukan dengan mengacu pada ketentuan yang telah ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)

Laston AC-WC adalah lapisan teratas dalam struktur perkerasan lentur dengan fungsi untuk menahan beban lalu lintas secara langsung sekaligus menerima pengaruh berbagai faktor lingkungan. Kombinasi AC-WC tersusun atas agregat kasar, abu batu, bahan pengisi (filler), juga

aspal sebagai komponen pengikat untuk membentuk lapisan perkerasan yang stabil serta tahan terhadap kerusakan. (Aesara et al., 2019).

b. Limbah Plastik *Multilayer*

Plastik *multilayer* merupakan material kemasan yang tersusun dari beberapa lapisan berbeda yang berfungsi meningkatkan daya tahan produk terhadap udara, cahaya, dan kelembapan. Karakteristiknya yang sulit terurai menjadikan plastik *multilayer* sebagai salah satu limbah yang paling sulit didaur ulang (Soares et al., 2022).

c. Metode Pencampuran Plastik pada Campuran AC-WC

Penerapan limbah plastik dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) umumnya dilakukan melalui dua metode utama, yakni pencampuran basah (*wet process*) dan pencampuran kering (*dry process*). Menurut Jitsangiam et al., (2021), pada proses basah, limbah plastik dicampurkan terlebih dahulu ke dalam aspal panas sebelum dicampur dengan agregat, sedangkan pada proses kering limbah plastik dicampurkan dengan agregat panas sebelum penambahan aspal. Dibandingkan dengan proses basah, metode pencampuran kering dinilai lebih praktis dalam penerapannya. Namun, hingga saat ini belum tersedia standar teknis yang secara khusus mengatur prosedur maupun persyaratan pencampuran *Asphalt Concrete Plastic* (ACP). Penelitian umumnya mengacu pada metode penelitian terdahulu. Penelitian ini menerapkan metode pencampuran kering dengan penggunaan limbah plastik *multilayer* sebagai substitusi agregat terhadap kadar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% berdasarkan berat agregat. Sebagai pengikat, bahan yang digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70, sedangkan penentuan KAO dilakukan melalui pengujian Marshall. Qabur et al., (2022) menjelaskan bahwa variasi kadar plastik berdasarkan *Plastic Binder Ratio* (PBR) menggunakan metode pencampuran kering terbukti memengaruhi stabilitas Marshall, karakteristik volumetrik, dan kinerja mekanis campuran aspal. Oleh karena itu, variasi kadar plastik 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% digunakan dalam proses penelitian guna menilai pengaruh limbah plastik *multilayer* pada karakteristik Marshall dan *Cantabro Loss* pada campuran AC-WC.

d. Karakteristik Marshall

Karakteristik Marshall digunakan sebagai dasar untuk menilai kinerja campuran aspal melalui sejumlah parameter yang mempresentasikan kekuatan, fleksibilitas, serta sifat volumetrik campuran. Data yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi:

a) Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan campuran beraspal untuk menahan beban maksimum sebelum mengalami kerusakan, keruntuhan, atau deformasi permanen. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki ketahanan yang lebih baik dalam menerima beban lalu lintas. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, nilai stabilitas dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S = p \times q \quad \dots(1)$$

Dimana:

S = angka stabilitas sesungguhnya.

p = dial pembacaan $\times$ kalibrasi alat.

q = angka koreksi benda uji.

b) Kelelahan (*Flow*)

Flow merupakan besarnya deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada benda uji saat menerima beban maksimum. Menurut (Asi et al., 2024) nilai *flow* digunakan untuk menggambarkan tingkat kelenturan atau fleksibilitas campuran aspal.

c) *Void in Mix* (VIM)

Void in Mix (VIM), adalah persentase volume ruang kosong berisikan udara yang ada di dalam kombinasi aspal padat. Persentase VIM mempengaruhi durabilitas campuran karena berkaitan dengan potensi masuknya udara dan air kedalam struktur perkerasan (Sulandari et al., 2024). Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 mengatur terkait penghitungan persentase VIM menggunakan persamaan berikut:

$$VIM = \left(1 - \frac{Gmb}{GMM}\right) \times 100\% \quad \dots(2)$$

$$Gmb = \frac{W_{ssd} - W_{air}}{100}$$

$$Gmm = \frac{W_{sb} - W_b}{G_{sb} - G_b}$$

Dimana:

Gmb = berat jenis bulk campuran.

Gmm = berat jenis maksimum.

W_{udara} = berat benda uji di udara.

W_{Ssd} = berat benda uji kondisi kering permukaan.

W_{air} = berat benda uji di dalam air.

d) *Void Minerale Aggregate* (VMA)

Void Minerale Aggregate (VMA) merupakan persentase volume rongga yang terbentuk di antara butiran agregat dalam campuran beraspal, termasuk rongga udara dengan yang terisi oleh aspal. Nilai VMA digunakan untuk menunjukkan ketersediaan ruang dalam campuran bagi aspal agar dapat membentuk ikatan yang memadai antar agregat. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, nilai VMA dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb \times ps}{Gsb}\right) \quad \dots(3)$$

Dimana:

Gmb = Berat jenis bulk campuran.

Ps = Presentase berat agregat pada campuran.

Gsb = Berat jenis bulk.

e) *Void Filled Asphalt* (VFA)

Void Filled Asphalt (VFA) adalah nilai ruang kosong di dalam agregat yang telah diisi aspal. Kemampuan aspal untuk mengisi rongga antar butiran agregat, sehingga berpengaruh terhadap daya lekat, kekedapan, dan ketahanan campuran beraspal, digambarkan dalam bentuk nilai VFA. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 mengatur bahwa nilai VFA dihitung melalui persamaan berikut:

$$VFA = \left(\frac{VMA - VIM}{VMA}\right) \times 100\% \quad \dots(4)$$

f) *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. Penggunaan nilai MQ ditujukan untuk menunjukkan tingkat kekakuan hasil campuran dalam menahan deformasi akibat beban lalu lintas (Nugroho, 2019). Spesifikasi Bina Marga 2018 mengatur bahwa nilai MQ didapatkan dengan rumus:

$$MQ = \frac{S}{F} \quad \dots(5)$$

Dimana:

S = presentase stabilitas.

F = presentase *flow*.

MQ = presentase *Marshall Quotient*.

g) *Cantabro Loss*

Cantabro Loss merupakan pengujian yang digunakan untuk mengukur persentase kehilangan berat campuran beraspal akibat pengaruh tumbukan dan gesekan (Verani Rouly Sihombing et al., 2020). Nilai kehilangan berat yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki durabilitas yang lebih baik dan nilai ketahanan lebih tinggi akan pelepasan butir agregat. Nilai *Cantabro Loss* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$CL = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad \dots(6)$$

Di mana:

CL = presentase *Cantabro Loss*.

W1 = bobot benda uji sebelum.

W2 = bobot benda uji sesudah.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode penelitian yang meliputi beberapa tahapan:

a. Studi Literatur

Studi literatur adalah menelusuri dan menghimpun ragam referensi sesuai landasan teori penelitian. Kegiatan ini juga bertujuan untuk

memperoleh informasi mengenai penelitian terdahulu yang sejenis atau berkaitan dengan topik penelitian, sehingga dapat memperkuat pemahaman terhadap permasalahan yang dikaji.

b. Material Penelitian

Penelitian ini menggunakan berbagai material meliputi agregat kasar, abu batu, aspal penetrasi 60/70, bahan pengisi (filler), limbah plastik *multilayer*. Aspal penetrasi 60/70 berperan sebagai bahan pengikat dalam proses pencampuran, sedangkan limbah plastik *multilayer* digunakan sebagai elemen tambahan pada campuran AC-WC. Sebelum digunakan dalam proses pembuatan benda uji, seluruh material terlebih dahulu diuji untuk memastikan bahwa karakteristiknya memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

c. Variasi Campuran

Penelitian ini menerapkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,75% yang diperoleh melalui hasil perancangan campuran AC - WC. Variasi kadar sejumlah 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari limbah plastik *multilayer* berdasarkan berat agregat melalui metode pencampuran kering (*dry process*). Variasi penambahan tersebut diterapkan untuk menganalisis pengaruh limbah plastik *multilayer* terhadap karakteristik Marshall serta nilai *Cantabro Loss* pada campuran AC-WC. Rincian variasi kadar plastik *multilayer* yang digunakan tersaji pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji dengan Bahan Tambah Plastik *Multilayer*

Kadar Aspal	Campuran <i>Multilayer</i>				
	0%	2%	4%	6%	8%
5,75%	4	4	4	4	4
	Buah	Buah	Buah	Buah	Buah

(Sumber: Putra, 2026)

d. Pembuatan Benda Uji

Produksi benda uji diproses setelah Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,75% ditetapkan melalui perancangan campuran AC - WC. Limbah plastik *multilayer* yang telah dipotong menjadi ukuran 0,02 mm dicampurkan kedalam campuran menggunakan metode pencampuran kering (*dry process*). Pada metode ini, limbah plastik terlebih dahulu dicampurkan dengan agregat yang telah dipanaskan sebelum dilakukan penambahan aspal. Agregat dipanaskan hingga mencapai suhu 150°C, kemudian variasi kadar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari limbah plastik *multilayer* ditambahkan berdasarkan berat agregat. Setelah limbah plastik tercampur secara merata dengan agregat, aspal ditambahkan sesuai nilai KAO dan seluruh material diaduk pada suhu 160°C. Kemudian, hasil

pencampuran dituang ke dalam cetakan dan dipadatkan melalui alat pemadat (*compactor*) dengan 75 tumbukan di seluruh sisi benda uji, menyesuaikan dengan aturan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 untuk kategori lalu lintas berat. Begitu proses pemadatan selesai, barulah benda uji dilepaskan dari cetakan dan didiamkan selama 24 jam sebelum pengujian dilakukan. Jumlah benda uji yang dibuat disesuaikan dengan kebutuhan pengujian karakteristik Marshall dan *Cantabro Loss* pada setiap variasi kadar limbah plastik *multilayer*.

e. Pengujian Marshall

Pelaksanaan *Marshall Test* bertujuan untuk menentukan karakteristik campuran beraspal yang memuat presentase stabilitas, *flow*, *Void in Mix* (VIM), *Void Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Sebelum pelaksanaan pengujian, benda uji akan direndam dahulu di dalam *waterbath* dengan durasi 30 menit dan suhu 60°C. Pengujian setiap benda uji dilaksanakan dalam interval waktu sekitar 3 menit sesuai dengan prosedur pengujian Marshall.

f. Pengujian *Cantabro Loss*

Cantabro Loss dilakukan untuk mengukur tingkat kehilangan berat campuran beraspal yang terjadi akibat tumbukan dan gesekan. Dalam pelaksanaannya, benda uji diletakkan di dalam mesin Los Angeles tanpa memakai bola baja, kemudian diputar hingga 300 putaran. Persentase kehilangan berat ditentukan berdasarkan perbandingan selisih berat benda uji sebelum dan setelah pelaksanaan pengujian.

g. Analisis Data

Data hasil pengujian Marshall dan *Cantabro Loss* dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan karakteristik setiap variasi campuran terhadap ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Penetapan variasi campuran optimum dilakukan berdasarkan pemenuhan seluruh parameter Marshall yang dipersyaratkan serta nilai *Cantabro Loss* terendah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Stabilitas (*Stability*)

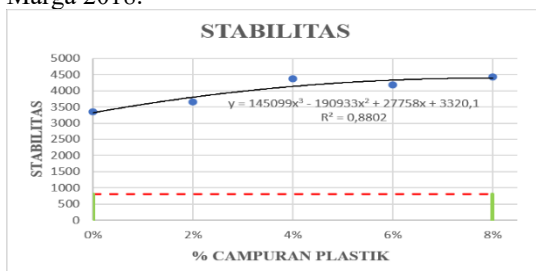
Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal dalam proses menerima beban maksimum sebelum mengalami keruntuhan atau deformasi permanen. Pengujian stabilitas dilakukan dengan tujuan menganalisis dampak pemanfaatan limbah plastik *multilayer* selaku substitusi agregat pada kekuatan kombinasi AC-WC. Hasil dari pengujian stabilitas dipaparkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengujian Stabilitas

Presentase Campuran Plastik	Stabilitas (Kg)	Spesifikasi Bina Marga 2018
0%	3359,13	> 800
2%	3643,94	
4%	4368,41	
6%	4173,48	
8%	4432,13	

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Tabel 2, angka stabilitas kombinasi AC-WC meningkat seiring bertambahnya kadar limbah plastik *multilayer*. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada variasi 8% sebesar 4432,13 kg, sedangkan nilai terendah terdapat pada campuran tanpa plastik sebesar 3359,13 kg. Keseluruhan variasi dinyatakan memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Gambar 1. Grafik stabilitas dengan variasi campuran plastik *multilayer* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO.

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Gambar 1, penambahan plastik *multilayer* cenderung meningkatkan stabilitas kombinasi *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Presentase stabilitas pada hasil kombinasi tanpa penambahan plastik sebesar 3.359,13 kg, kemudian meningkat menjadi 3.643,94 kg pada variasi 2%. peningkatan yang lebih besar terjadi pada variasi 4%, yaitu mencapai 4.368,41 kg. Pada kadar plastik 6%, nilai stabilitas mengalami penurunan menjadi 4.173,48 kg, namun kembali meningkat pada 8% hingga mencapai 4.432,13 kg. Peningkatan nilai stabilitas tersebut menunjukkan bahwa limbah plastik *multilayer* berpotensi meningkatkan kekakuan dan kekuatan yang lebih baik dalam menahan beban lalu lintas. Kondisi ini diduga terjadi karena plastik yang mengalami pelelehan selama proses pencampuran dapat membantu memperkuat ikatan antara agregat dan aspal. Dengan ketentuan nilai stabilitas di angka 800 kg, maka seluruh variasi campuran dinyatakan memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

b. Kelelahan (*Flow*)

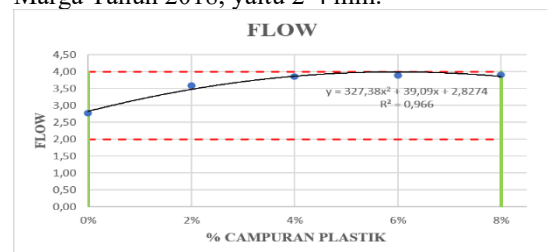
Flow yaitu presentase besaran deformasi yang dialami benda uji ketika menerima beban maksimum pada saat pengujian. Nilai *flow* digunakan untuk menggambarkan tingkat fleksibilitas campuran beraspal dalam merespon pembebanan. Hasil pengujian *flow* dipaparkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Flow*

Presentase Campuran Plastik	<i>Flow</i> (mm)	Spesifikasi Bina Marga 2018
0%	2,77	2 - 4
2%	3,60	
4%	3,86	
6%	3,89	
8%	3,91	

(Sumber: Putra, 2026)

Tabel 3 menyatakan nilai *flow* terhadap kombinasi AC-WC menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *multilayer*. Nilai *flow* tercatat 2,77 mm pada campuran tanpa penambahan plastik dan meningkat hingga 3,91 mm pada variasi kadar plastik sebesar 8%. Seluruh variasi campuran, meskipun mengalami peningkatan, namun masih tetap memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, yaitu 2-4 mm.



Gambar 2. Grafik *flow* memuat variasi campuran plastik *multilayer* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO.

(Sumber: Putra, 2026)

Gambar 2 mencatatkan peningkatan nilai *flow* seiring meningkatnya kadar plastik dalam hasil pencampuran. Pada kombinasi tanpa plastik, nilai *flow* dicatatkan sebesar 2,77 mm, kemudian meningkat menjadi 3,60 mm pada variasi 2%. Pada variasi 4%, 6%, dan 8%, nilai *flow* masing-masing meningkat menjadi 3,86 mm, 3,89 mm, dan 3,91 mm. Hasil dari pencampuran AC-WC yang menunjukkan adanya peningkatan pada nilai *flow* merupakan bukti bahwa pencampuran ini memiliki angka fleksibilitas lebih tinggi dan mampu mengalami deformasi sebelum mengalami keruntuhan. Meskipun nilai *flow* mengalami peningkatan, seluruh variasi campuran masih memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, karena masih berada pada

rentang 2-4 mm. Dengan demikian, hasil pencampuran tetap menunjukkan keseimbangan antara kekakuan dan kelenturan.

c. *Void in Mix* (VIM)

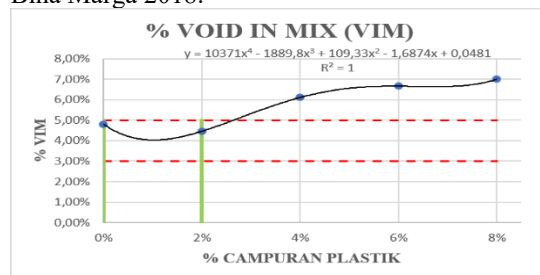
Void in Mix (VIM) merupakan besaran ruang kosong udara sisa dari kombinasi beraspal setelah proses pemadatan. Peran nilai VIM adalah untuk menentukan durabilitas campuran serta ketahanannya terhadap infiltrasi air dan udara yang dapat memicu kerusakan pada lapisan perkerasan. Hasil uji VIM tersaji dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian VIM

Presentase Campuran Plastik	VIM (%)	Spesifikasi Bina Marga 2018
0%	4,81%	3 - 5
2%	4,46%	
4%	6,11%	
6%	6,66%	
8%	7,00%	

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Tabel 4, nilai VIM mengalami perubahan pada setiap variasi penambahan plastik *multilayer*. Nilai VIM terendah diperoleh pada variasi 2% sebesar 4,46%, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada variasi 8% sebesar 7%. Variasi 0% dan 2% masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.



Gambar 3. Grafik *Void in Mix* (VIM) dengan variasi campuran plastik *multilayer* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO.

(Sumber: Putra, 2026)

Grafik hubungan kadar plastik *multilayer* terhadap nilai VIM menunjukkan bahwa cenderung meningkat setelah penambahan plastik di atas 2%. Nilai VIM pada campuran normal sebesar 4,81% kemudian menurun menjadi 4,46% pada variasi 2%. Setelah itu, nilai VIM meningkat menjadi 6,11%, 6,66%, dan 7% pada variasi 4%, 6%, dan 8%. Kenaikan nilai VIM menunjukkan semakin banyak rongga udara yang terbentuk di dalam campuran. Hal ini diduga karena distribusi plastik yang semakin banyak menyebabkan campuran menjadi kurang homogen sehingga terbentuk rongga-rongga tambahan. Berdasarkan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun

2018, hanya hasil pencampuran dengan variasi limbah plastik *multilayer* sebesar 0% dan 2% yang memenuhi persyaratan nilai *Void in Mix* (VIM), yaitu berada dalam rentang 3 - 5%.

d. *Void Mineral Aggregate* (VMA)

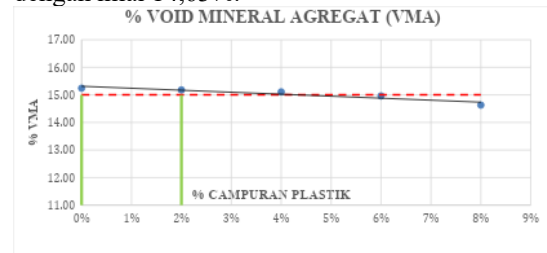
Void Mineral Aggregate (VMA) yakni besaran ruang kosong di sela-sela butiran agregat dalam kombinasi beraspal, mencakup ruang kosong berisi udara maupun ruang kosong yang terisi oleh aspal. Nilai VMA digunakan untuk mengevaluasi kecukupan ruang dalam campuran bagi aspal agar dapat membentuk ikatan yang memadai antar agregat. Hasil uji VMA tersaji dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian VMA

Presentase Campuran Plastik	VMA (%)	Spesifikasi Bina Marga 2018
0%	15,24%	> 15
2%	15,18%	
4%	15,11%	
6%	14,96%	
8%	14,63%	

(Sumber: Putra, 2026)

Tabel 5 menunjukkan adanya kecenderungan penurunan nilai *Void Mineral Agregate* (VMA) seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik *multilayer* dalam campuran. Nilai VMA tertinggi diperoleh pada campuran tanpa penambahan plastik, yaitu sebesar 15,24%, sedangkan terendah diperoleh pada variasi *multilayer* sebesar 8% dengan nilai 14,63%.



Gambar 4. Grafik *Void Mineral Agregate* (VMA) dengan campuran plastik *multilayer* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO.

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Gambar 4, nilai VMA cenderung menurun dari 15,24% pada campuran normal menjadi 14,63% pada variasi plastik 8%. Penurunan ini menunjukkan bahwa substitusi agregat dengan plastik *multilayer* mengurangi rongga dalam campuran. Persyaratan minimum nilai *Void Mineral Agregate* (VMA) berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 masih terpenuhi karena variasi campuran dengan kadar limbah plastik *multilayer* sebesar 0%, 2%, dan 4%. Sementara itu, variasi dengan kadar plastik

multilayer sebesar 6% dan 8% belum memenuhi ketentuan nilai VMA minimum, yaitu 15%.

e. *Void Filled Asphalt* (VFA)

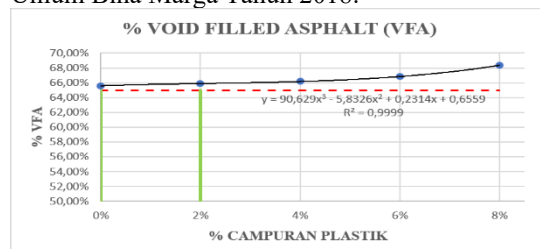
VFA memiliki fungsi untuk menunjukkan besaran ruang kosong agregat yang diisi oleh aspal. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan efektivitas aspal dalam mengisi rongga campuran. Hasil pengujian VFA terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian VFA

Presentase Campuran Plastik	VFA (%)	Spesifikasi Bina Marga 2018
0%	65,60%	> 65
2%	65,88%	
4%	66,18%	
6%	66,83%	
8%	68,36%	

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Tabel 6, nilai VFA mengalami peningkatan pada setiap variasi penambahan plastik *multilayer*. Nilai VFA berkisar antara 65,60% hingga 68,36% dan seluruh variasi campuran dapat memenuhi ketentuan minimum sebesar 65% yang dinyatakan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.



Gambar 5. Grafik *Void Filled Asphalt* (VFA) dengan campuran plastik *multilayer* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO.

(Sumber: Putra, 2026)

Grafik hubungan kadar plastik *multilayer* terhadap nilai VFA menunjukkan kecenderungan peningkatan seiring bertambahnya kadar plastik. Nilai VFA meningkat dari 65,60% pada campuran normal menjadi 68,36% pada variasi 8%. Peningkatan *Void Filled Asphalt* (VFA) menunjukkan bahwa proporsi ruang di antara agregat terisi aspal dan limbah plastik *multilayer* semakin besar. Kondisi ini menunjukkan adanya peningkatan kemampuan bahan pengikat dalam mengisi rongga campuran. Keseluruhan variasi telah dinyatakan memenuhi ketentuan Bina Marga 2018, minimum sebesar 65%.

f. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan perbandingan jarak antara angka stabilitas dan *flow* yang digunakan untuk menggambarkan nilai

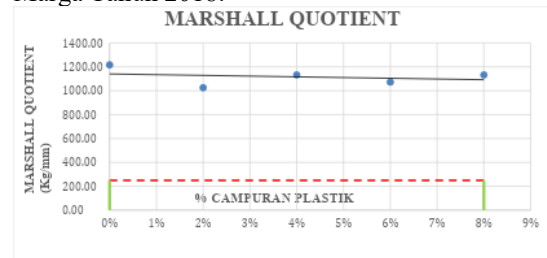
kekakuan hasil pencampuran beraspal. Hasil Uji Marshall Quotient tersaji dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian MQ

Presentase Campuran Plastik	MQ (Kg/mm)	Spesifikasi Bina Marga 2018
0%	1216,98	> 250
2%	1025,34	
4%	1133,26	
6%	1072,98	
8%	1132,72	

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Tabel 7, nilai *Marshall Quotient* mengalami fluktuasi pada setiap variasi plastik *multilayer*. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi diperoleh pada campuran tanpa penambahan limbah plastik *multilayer*, yaitu sebesar 1.216,98 kg/mm. Sementara itu, nilai MQ terendah terdapat pada variasi penambahan plastik *multilayer* sebesar 2% yaitu 1.025,34 kg/mm. Meskipun terdapat perbedaan nilai antar kadar, seluruh campuran masih memenuhi persyaratan minimum *Marshall Quotient* sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.



Gambar 6. Grafik *Marshall Quotient* (MQ) dengan variasi campuran plastik *multilayer* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO.

(Sumber: Putra, 2026)

Gambar 6, menunjukkan pola yang berfluktuasi. Nilai MQ pada campuran normal sebesar 1216,98 kg/mm, kemudian menurun menjadi 1025,34 kg/mm pada variasi 2%, meningkat menjadi 1133,26 kg/mm pada variasi 4%, menurun menjadi 1072,98 kg/mm pada variasi 6%, dan kembali meningkat menjadi 1132,72 kg/mm pada variasi 8%. Fluktuasi tersebut menunjukkan adanya perubahan keseimbangan antara stabilitas dan *flow* akibat penambahan plastik *multilayer*. Meskipun terjadi perubahan nilai *Marshall Quotient* (MQ), seluruh campuran masih menunjukkan nilai yang jauh melebihi persyaratan minimum sebesar 250 kg/mm sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa campuran tetap memiliki kekakuan yang memadai serta ketahanan yang baik terhadap terjadinya deformasi permanen.

g. *Cantabro Loss*

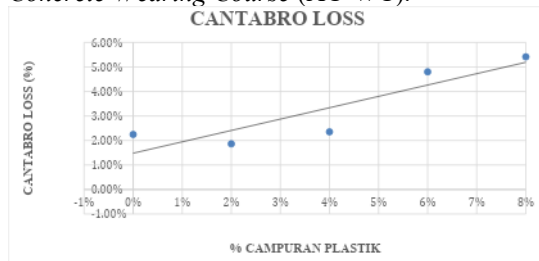
Pengujian *Cantabro Loss* dilakukan untuk mengukur tingkat kehilangan berat campuran beraspal akibat pengaruh tumbukan dan gesekan, sehingga mampu dipergunakan sebagai indikator durabilitas campuran. Hasil pengujian *Cantabro Loss* tersaji dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Cantabro Loss*

Presentase Campuran Plastik	<i>Cantabro Loss</i>		
	Sebelum	Sesudah	Kehilangan
0%	1180	1153,5	2,25%
2%	1180,5	1158,5	1,86%
4%	1189,5	1161,5	2,35%
6%	1186,5	1129,5	4,80%
8%	1145,5	1083,5	5,41%

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Tabel 8, nilai *Cantabro Loss* menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Nilai kehilangan berat terendah diperoleh pada variasi 2% sebesar 1,86%, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada variasi 8% sebesar 5,41%. Hasil tersebut menunjukkan adanya penambahan sejumlah limbah plastik *multilayer* memberikan dampak pada tingkatan durabilitas kombinasi *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).

**Gambar 7.** Grafik *Cantabro Loss* dengan variasi campuran plastik *multilayer* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO.

(Sumber: Putra, 2026)

Berdasarkan Gambar 7, hubungan kadar plastik *multilayer* terhadap nilai *Cantabro Loss* (CL) menunjukkan bahwa nilai kehilangan berat terendah diperoleh pada variasi substitusi plastik sebesar 2% dengan nilai CL sebesar 1,86%. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan campuran normal yang nilainya sebesar 2,25%. Namun, pada variasi 4%, 6%, 8%, nilai kehilangan berat meningkat menjadi 2,35%, 4,80%, dan 5,41%. Penurunan nilai *Cantabro Loss* pada variasi penambahan 2% mengindikasikan bahwa substitusi sebagian agregat dengan material tersebut mampu memperkuat ikatan agregat dan aspal. Kondisi ini menyebabkan campuran memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap pelepasan butiran. Sebaliknya, kadar plastik yang

terlalu tinggi menyebabkan durabilitas campuran menurun. Oleh karena itu, variasi 2% menghasilkan ketahanan terbaik terhadap keausan dan pelepasan agregat.

h. Analisis Variasi Optimum

Berdasarkan hasil pengujian Marshall dan *Cantabro Loss*, variasi penambahan limbah plastik *multilayer* sebesar 2% merupakan kadar optimum pada campuran AC-WC. Variasi penambahan limbah plastik *multilayer* sebesar 2% menghasilkan nilai stabilitas sebesar 3.643,94 kg, *flow* 3,60 mm. *Void in Mix* (VIM) 4,46%, *Void Mineral Agregate* (VMA) 15,18%, *Void Filled Asphalt* (VFA) 65,88%, serta *Marshall Quotient* (MQ) 1.025,34 kg/mm. Seluruh parameter tersebut telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Selain itu, variasi 2% juga menghasilkan nilai *Cantabro Loss* paling rendah, yaitu sebesar 1,86%, yang menunjukkan ketahanan terbaik terhadap pelepasan butiran agregat. Oleh karena itu, kadar plastik *multilayer* 2% dinilai mampu memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, fleksibilitas, karakteristik volumetrik, dan durabilitas campuran AC-WC.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Temuan pengujian karakteristik material menyatakan bahwa limbah plastik *multilayer* berpotensi untuk diolah menjadi material tambahan dalam proses pencampuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), khususnya karena kemampuannya dalam meningkatkan kinerja campuran terhadap parameter Marshall. Selanjutnya, hasil pengujian Marshall terhadap kombinasi AC-WC tanpa penambahan limbah plastik *multilayer*, dinyatakan kadar aspal optimum (KAO) sejumlah 5,75%. Nilai tersebut dinyatakan memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Ditemukan pula fakta bahwa penambahan limbah plastik *multilayer* berdampak pada karakteristik Marshall kombinasi AC-WC. Nilai stabilitas meningkat dari 3.359,13 kg pada campuran tanpa plastik menjadi 4.432,13 kg pada variasi plastik sebesar 8%. Nilai *flow* juga mengalami peningkatan, dari 2,77 mm pada campuran normal menjadi 3,91 mm pada variasi 8%. Presentase *Void in Mix* (VIM) meningkat dari 4,81% ke variasi 0% menjadi 7% pada kadar 8%, sedangkan *Void Mineral Agregate* (VMA) mengalami penurunan nilai dari 15,24% pada campuran normal menjadi 14,63% pada variasi 8%. Selanjutnya, nilai *Void Filled Asphalt* (VFA) mengalami peningkatan dari 65,60% pada variasi 0% menjadi 68,36% pada variasi 8%, dengan seluruh kadar memenuhi ketentuan Spesifikasi

Umum Bina Marga Tahun 2018. Selanjutnya, Nilai *Marshall Quotient* (MQ) berada di rentang 1.025,34 - 1.216,98 kg/mm dan seluruh variasi campuran telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan.

Hasil pengujian *Cantabro Loss* menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik *multilayer* berpengaruh terhadap ketahanan campuran terhadap pelepasan butiran agregat. Nilai kehilangan berat terendah diperoleh pada variasi 2% sebesar 1,86%, sedangkan nilai kehilangan berat tertinggi terjadi pada variasi 8% sebesar 5,41%. Berdasarkan evaluasi seluruh parameter Marshall dan *Cantabro Loss*, variasi penambahan limbah plastik *multilayer* sebesar 2% merupakan kadar teroptimal karena memenuhi seluruh ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 serta menghasilkan durabilitas terbaik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aesara, N., Puspito, H., & Tinumbia, N. (2019). Analisis Perbandingan Material Agregat terhadap Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). *J.Infras*, 4(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v4i2.696>.
- Asi, I., Alhadidi, Y. I., & Alhadidi, T. I. (2024). *Predicting Marshall Stability and Flow Parameters in Asphalt Pavements Using Explainable Machine-Learning Models. Transportation Engineering*, 18, 100282. <https://doi.org/10.1016/J.TRENG.2024.100282>
- Hajar, F. I. (2025). Pengaruh Campuran *Fly Ash/Aspal* Porus terhadap Nilai Stabilitas dengan Metode Marshall. *Jurnal Smart Teknologi*, 6(3). <https://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST/article/view/22636017>
- Jakarta. Dirjen Bina Marga. (2020). Spesifikasi Umum 2018: untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). Diakses pada 08 Januari 2026, dari <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2-no-161sedb2020>.
- Jitsangiam, P., Nunit, K., Phenrat, T., Kumlai, S., & Pra-ai, S. (2021). *An Examination of Natural Rubber Modified Asphalt: Effects of Rubber Latex Contents Based on Macro-and Micro-Observation Analyses. Construction and Building Materials*, 289, 123158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildmat.2021.123158>
- Maulana, Fikri. (2025). Evaluasi Karakteristik Fisik dan Mekanik Aspal Porus dengan Lateks untuk Efisiensi Drainase. *Jurnal Smart Teknologi*, 6(3). <https://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST/article/view/22636011>
- Nadhifah, N., & Mahardi, P. (2025). Kinerja Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) Sebagai Agregat Halus dan Filler Abu Batu. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi* (Vol. 3, Number 2).
- Nugroho, M. S. (2019). Karakteristik Marshall Quotient pada Hot Mix Asphalt Menggunakan Agregat Alam Sungai Opak. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur* 15(2):84-91. <https://doi.org/10.21831/inersia.v15i2.28627>.
- Pradana, A. W. (2025). Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) sebagai Campuran Aspal pada Perkerasan AC-WC. *Jurnal Smart Teknologi* 6(3). <https://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST/article/view/22636016/5116>
- Qabur, A., Baaj, H., & El-Hakim, M. (2022). *Incorporation of the Multi-Layer Plastic Packaging in the Asphalt Binders: Physical, Thermal, Rheological, and Storage Properties Evaluation. Polymers*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/polym14245396>
- Riyandini, V. L., Fitrada, W., Jerry, D., Kunci, K., Multilayer, P., & Polimer, P. (2022). Pengaruh Penambahan Maleat Anhidrida (Mah) terhadap Sifat Fisik Papan Polimer Sampah Plastik Multilayer dan HDPE. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(1), 40–51.
- Soares, C. T. de M., Ek, M., Östmark, E., Gällstedt, M., & Karlsson, S. (2022). *Recycling Of Multi-Material Multilayer Plastic Packaging: Current Trends and Future Scenarios. Resources, Conservation and Recycling*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105905>.
- Subandi, A., & Sartono. (2023). Perubahan Karakteristik Campuran Aspal AC-WC dengan Penambahan Sampah Plastik. *Jurnal Teknik Sipil*, 09, 56–66. <https://doi.org/10.26760/rekaracana>

- Sulandari, E., Lestyowati, Y., Teknik Sipil, J., Tanjungpura, U., Hadari Nawawi, J., Barat, K., Dipatiukur, J., Barat, J., & Komyos Sudarso no, j. (2024). Analisis Pengaruh Sifat Volumetrik pada Campuran Aspal AC-WC. In *crane : Civil Engineering Research Journal* (Vol. 5). <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/craneEtiSulandarietal/CRANE/2024>
- Verani Rouly Sihombing, A., Siswanto, A., Febriansya, A., & Phalevi Sihombing, R. (2020). Pengaruh Metode Penggabungan Gradasi Agregat terhadap Porositas, Stabilitas, dan Permeabilitas Campuran Beraspal Porus.
- Xu, F., Zhao, Y., & Li, K. (2022). *Using Waste Plastics as Asphalt Modifier: A review*. In *Materials* (Vol. 15, Number 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma15010110>