Uji Parameter Marshall Dengan Variasi Penambahan Limbah Plastik Jenis *Polyethylene Tererphthalate* (PET) Pada Aspal Betong AC-WC *(Asphalt Concrete-Wearing Course)*

Wilfri Aldi SIALLAGAN [1*] Oloan SITOHANG[2]

[1,2]Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Katolik Santo Thomas Medan, email: wilfri.siallgan@gmail.com

Sejarah artikel
Diserahkan: 09 Juli 2025 Diterima: 30 Oktober 2025
Dalam bentuk revisi: 30 Oktober 2025 Tersedia *online:* 30 November 2025

Abstract

The increasing accumulation of plastic waste has encouraged the development of recycling innovations, including its use as an additive in asphalt mixtures. This study aims to analyze the effect of adding Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste on the Marshall characteristics of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) mixtures after immersion in rainwater. PET contents of 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, and 5% were used, with an immersion temperature of 60°C and durations of 30 minutes, 3 hours, 6 hours, 9 hours, and 12 hours. The research involved material preparation, specimen fabrication, Marshall testing, and data analysis. The materials consisted of coarse, medium, and fine aggregates, 60/70 penetration-grade asphalt, filler, and PET plastic waste, with an asphalt content of 6.5%. The tested parameters included stability, flow, Voids in Mix (VIM), Voids in Mineral Aggregate (VMA), Voids Filled with Bitumen (VFB), and Marshall Quotient (MQ). The results indicate that PET addition increased mixture stability up to 2%, followed by a decline at contents of 3–5%. Longer immersion durations also resulted in decreased stability. The highest stability was recorded after 30 minutes of immersion, while the lowest occurred after 12 hours. Nevertheless, the stability values remained within the applicable specifications.

Kata kunci: *Asphalt, Marshall Characteristics, Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Bottle, Soaking.*

Abstrak

Melimpahnya limbah plastik mendorong perlunya inovasi pemanfaatan melalui daur ulang, salah satunya sebagai bahan tambah pada campuran aspal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) terhadap karakteristik Marshall campuran aspal beton AC-WC setelah perendaman menggunakan air hujan. Variasi kadar PET yang digunakan adalah 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%, dengan suhu perendaman 60°C dan durasi 30 menit, 3 jam, 6 jam, 9 jam, dan 12 jam. Penelitian dilakukan melalui persiapan bahan, pembuatan benda uji, pengujian Marshall, dan analisis data. Bahan yang digunakan meliputi agregat, aspal penetrasi 60/70, filler, dan limbah plastik PET, dengan kadar aspal 6,5%. Parameter pengujian meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, dan Marshall Quotient (MQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan PET meningkatkan stabilitas hingga kadar 2%, kemudian menurun pada kadar 3–5%. Peningkatan durasi perendaman juga menyebabkan penurunan stabilitas. Stabilitas tertinggi diperoleh pada perendaman 30 menit dan terendah pada 12 jam. Meskipun demikian, nilai stabilitas masih memenuhi spesifikasi yang digunakan.

Kata kunci: *Karakteristik Marshall, Botol Plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET), Perendaman*

Volume 08 Nomor 02 Oktober 2025 p-ISSN 2614-5707 e-ISSN 2715-1581

1. Pendahuluan

Tuntutan terhadap kualitas perkerasan aspal beton semakin meningkat seiring dengan tingginya intensitas beban lalu lintas dan pengaruh kondisi lingkungan yang ekstrem selama masa pelayanan jalan. Kondisi tersebut mendorong para rekayasawan di bidang perkerasan jalan untuk mengembangkan berbagai upaya guna meningkatkan kualitas campuran beraspal, salah satunya melalui penambahan bahan aditif. Penambahan bahan aditif diharapkan dapat memperbaiki karakteristik campuran sehingga perkerasan mampu memberikan kinerja yang lebih baik dalam menghadapi beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan (Fitri dkk., 2018).

Salah satu bahan yang berpotensi dimanfaatkan sebagai aditif dalam campuran aspal beton adalah plastik. Penambahan plastik pada campuran beraspal diharapkan dapat memodifikasi karakteristik campuran, termasuk dalam menghadapi pengaruh air atau genangan selama masa pelayanan. Plastik memiliki sejumlah karakteristik, antara lain ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi. Selain berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambahan konstruksi, penggunaan plastik juga dapat menjadi salah satu alternatif pemanfaatan limbah yang selama ini menimbulkan permasalahan lingkungan. Limbah botol plastik, khususnya botol air mineral, sulit terdegradasi secara alami sehingga memerlukan penanganan yang tepat, salah satunya melalui proses daur ulang dan pemanfaatan kembali sebagai bahan dalam bidang konstruksi.

Salah satu jenis plastik yang banyak digunakan sebagai bahan kemasan minuman adalah *polyethylene terephthalate (PET)*. Pemanfaatan PET dalam campuran beraspal perlu dikaji berdasarkan kadar penambahannya dan karakteristik campuran yang dihasilkan. Penelitian terdahulu telah membahas penggunaan berbagai jenis plastik dalam campuran beraspal, antara lain *low-density polyethylene (LDPE), high-density polyethylene (HDPE)*, dan plastik kresek (Razak, 2016; Fitri, 2018; Suprayitno dkk., 2019; Suroso, 2008). Penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar untuk mengkaji lebih lanjut pemanfaatan limbah plastik, khususnya PET, pada campuran aspal beton lapis aus *(Asphalt Concrete–Wearing Course, AC-WC)*. Selain kadar PET, durasi perendaman juga perlu diperhatikan untuk mengetahui perubahan karakteristik Marshall campuran akibat paparan air pada kondisi pengujian tertentu.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah plastik PET dengan variasi kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC pada variasi waktu perendaman 30 menit, 3 jam, 6 jam, 9 jam, dan 12 jam pada suhu 60°C. Karakteristik Marshall yang dianalisis meliputi *stabilitas, flow, voids in mixture (VIM), voids in mineral aggregate (VMA), voids filled with bitumen (VFB), dan Marshall Quotient (MQ)*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh variasi kadar PET dan waktu perendaman terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC dalam kondisi pengujian laboratorium.

2. Metodologi

Penelitian dilakukan melalui pemilihan dan pemeriksaan bahan, persiapan alat, pembuatan benda uji, pengujian Marshall, serta analisis data. Bahan yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat sedang, agregat halus, filler, aspal keras penetrasi 60/70, dan limbah plastik PET. Agregat yang dilaporkan berasal dari PT Adhi Karya Patumbak. Benda uji dipadatkan menggunakan Marshall compaction hammer.

Tahap pertama menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; dan 7,0%, masing-masing tiga benda uji, sehingga jumlahnya 21 benda uji. Setelah KAO ditetapkan, campuran diuji dengan kadar PET 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Setiap kadar PET dipadukan dengan lima durasi perendaman, yaitu 30 menit, 3 jam, 6 jam, 9 jam, dan 12 jam, dengan tiga benda uji pada setiap kombinasi. Jumlah benda uji untuk tahap variasi PET adalah 90.

Perendaman dilakukan menggunakan air hujan pada suhu 60°C. Parameter Marshall yang dianalisis meliputi stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFB, dan MQ. Marshall Quotient dihitung sebagai rasio stabilitas terhadap *flow*, MQ = S/F, dengan S sebagai stabilitas dan F sebagai

flow. Hasil dibandingkan dengan spesifikasi Bina Marga yang dirujuk dalam naskah sumber. Rincian standar dan versi spesifikasi perlu diperiksa kembali sebelum naskah dikirimkan.

Tabel 1. Rencana benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum

Kadar aspal (%)	Jumlah benda uji
4,0	3
4,5	3
5,0	3
5,5	3
6,0	3
6,5	3
7,0	3
Total	21

Tabel 2. Jumlah benda uji untuk variasi kadar PET dan waktu perendaman

PET (%)	30 menit	3 jam	6 jam	9 jam	12 jam
0	3	3	3	3	3
1	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3
Total	18	18	18	18	18

3. Hasil dan Pembahasan

Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat meliputi berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar (CA), agregat sedang (MA), dan agregat halus (FA). Hasil yang dilaporkan disajikan pada Tabel 3. Nilai aprent specific gravity seluruh fraksi lebih besar dari 2,5 dan nilai penyerapan yang tercantum lebih kecil dari batas maksimum 3%. Satuan dan angka penyerapan perlu diverifikasi terhadap lembar hasil laboratorium asli karena nilai yang ditulis dalam naskah sumber sangat kecil.

Tabel 3. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1. Agregat Kasar (CA)			
a. Bulk	SNI 1969:2016	2,66	-
b. SSD		2,70	-
c. Apparent		2,77	Min 2,5
d. %Absorbsi		0,015	Max 3
2. Agregat Sedang (MA)			
a. Bulk	SNI 1969:2016	2,66	-
b. SSD		2,68	-
c. Apparent		2,71	Min 2,5
d. %Absorbsi		0,006	Max 3
3. Agregat Halus (FA)			
a. Bulk	SNI 1969:2016	2,69	-
b. SSD		2,74	-
c. Apparent		2,84	Min 2,5
d. %Absorbsi		0,02	Max 3

Pemeriksaan aspal

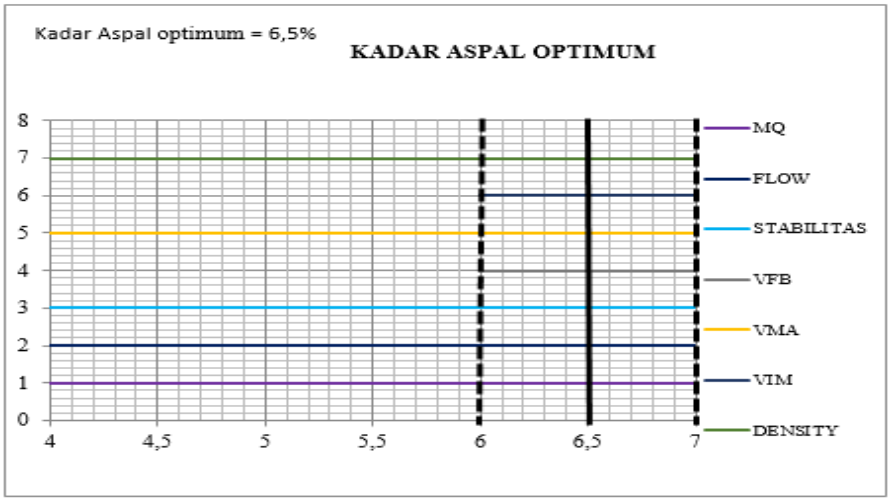
Aspal yang digunakan adalah aspal keras penetrasi 60/70 merek Pertamina. Naskah sumber mencantumkan hasil pengujian penetrasi 62,1; titik lembek 55; berat jenis 1,9; daktilitas 115

mm; titik nyala 289,3; dan titik bakar 321,3. Beberapa satuan atau penempatan angka pada tabel sumber tampak tidak konsisten, sehingga hasil ini perlu dicocokkan dengan sertifikat atau lembar pengujian sebelum publikasi.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan sifat fisik aspal penetrasi 60/70

Parameter	Metode yang dicantumkan	Hasil pada naskah	Catatan
Penetrasi	SNI 2456:2011	62,1	Satuan pada naskah perlu verifikasi
Titik lembek	SNI 2434:2011	55	Satuan pada naskah perlu verifikasi
Berat jenis	SNI 2441:2011	1,9	Periksa kembali angka dan satuan
Daktilitas	SNI 2432:2011	115 mm	—
Titik nyala	SNI 2433:2011	289,3	Periksa kembali format angka/satuan
Titik bakar	SNI 2433:2011	321,3	Periksa kembali format angka/satuan

Penentuan kadar aspal optimum



Gambar 1. Diagram Batang Hubungan Parameter Pengujian Vs Kadar Aspal

Tabel 5 memperlihatkan hasil pengujian Marshall pada tahap penentuan KAO. Berdasarkan hasil uji kadar aspal 6,0%, 6,5%, dan 7,0% dinyatakan memenuhi spesifikasi yang digunakan, sedangkan kadar 4,0% hingga 5,5% dinyatakan tidak memenuhi. Dari hsil uji KAO sebesar 6,5%. Penetapan ini perlu diselaraskan dengan prosedur penentuan KAO dan versi spesifikasi yang secara resmi dipakai dalam penelitian.

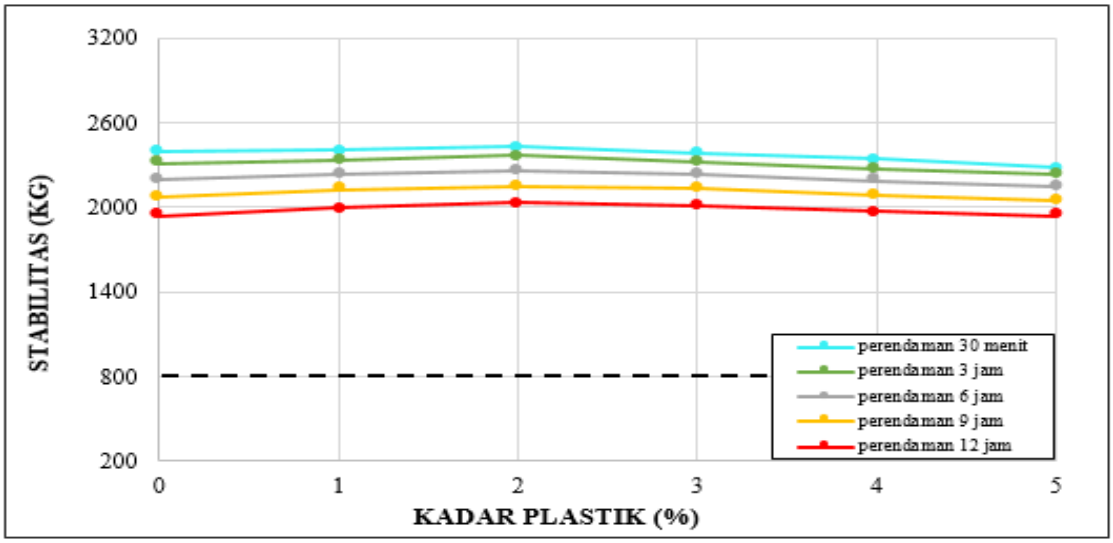
Tabel 5. Hasil Marshall untuk penentuan kadar aspal optimum

Aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	Bulk density	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VFB (%)	VMA (%)	Status pada sumber
4,0	2169,667	2,867	2,158	753,172	15,237	35,168	23,432	Tidak memenuhi
4,5	2347,756	3,500	2,272	687,305	10,084	48,138	19,435	Tidak memenuhi
5,0	2628,859	2,867	2,296	927,628	8,483	55,342	18,973	Tidak memenuhi
5,5	2344,211	2,567	2,301	939,501	7,591	60,495	19,204	Tidak memenuhi
6,0	2331,646	2,467	2,352	976,979	4,849	72,527	17,568	Memenuhi
6,5	2587,488	2,500	2,369	1061,237	3,472	79,970	17,282	Memenuhi
7,0	2516,352	2,633	2,337	968,193	4,088	78,531	18,972	Memenuhi

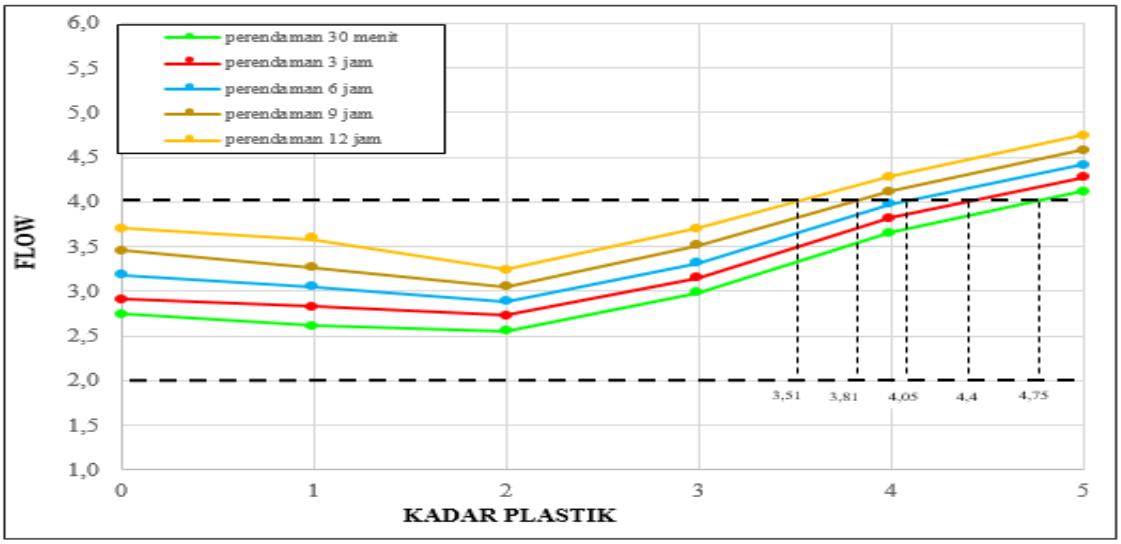
Pengaruh kadar PET dan durasi perendaman

Hasil pengujian pada menunjukkan bahwa stabilitas meningkat sampai penambahan PET 2%, lalu menurun pada kadar 3–5%. Pola MQ yang dilaporkan juga meningkat hingga PET 2% dan menurun pada kadar yang lebih tinggi. *Flow* dilaporkan turun sampai kadar PET 2%, kemudian meningkat pada kadar berikutnya. Secara umum, perendaman yang lebih lama dihubungkan dengan penurunan stabilitas dan MQ serta peningkatan *flow*.

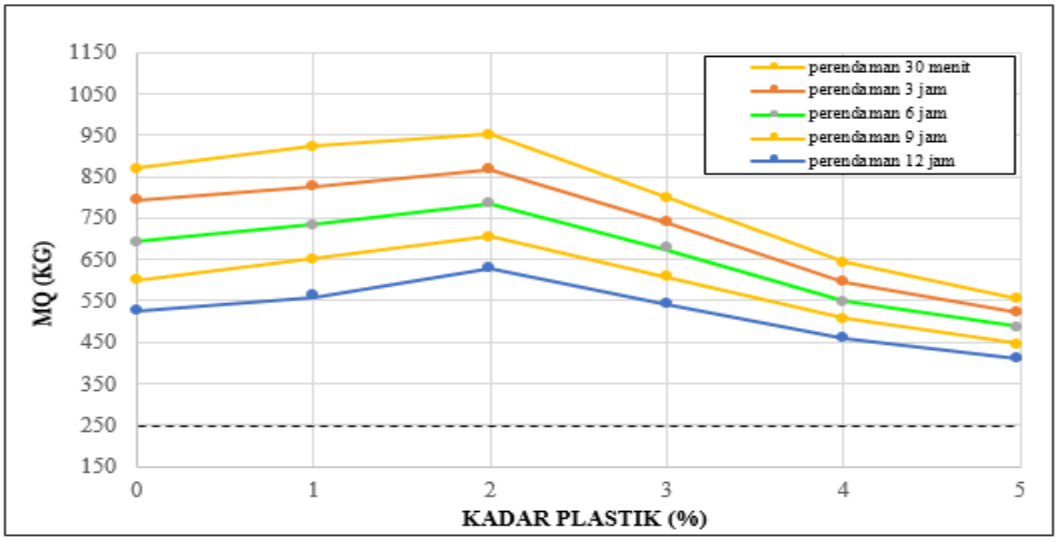
Kombinasi yang dilaporkan menghasilkan stabilitas maksimum adalah PET 2% dengan waktu perendaman 30 menit, yaitu stabilitas 2430,449 kg, *flow* 2,553 mm, VIM 4,354%, VFB 76,030%, dan MQ 951,978 kg/mm.



Gambar 2. Gabungan Stabilitas dengan waktu perendaman dan kadar keramik



Gambar 3. Gabungan *Flow* dengan waktu perendaman dan kadar keramik



Gambar 4..Gabungan MQ dengan waktu perendaman dan kadar keramik

Temuan tersebut menunjukkan adanya kadar PET tertentu yang memberikan respons *Marshall* terbaik dalam rentang yang diuji, tetapi penambahan PET yang lebih tinggi tidak selalu meningkatkan kinerja. Penurunan stabilitas pada durasi perendaman lebih lama juga menunjukkan bahwa hasil perlu dibaca dalam konteks kondisi pengujian. Klaim mengenai ketahanan genangan di lapangan belum dapat ditarik hanya dari uji perendaman laboratorium; pengujian lanjutan dan validasi lapangan diperlukan.

Tabel 6. Parameter Marshall pada kombinasi PET 2% dan perendaman 30 menit

Parameter pada kombinasi terbaik yang dilaporkan	Nilai
Kadar PET	2%
Waktu perendaman	30 menit
Stabilitas	2430,449 kg
Flow	2,553 mm
VIM	4,354%
VFB	76,030%
MQ	951,978 kg/mm

Analisis Kuantitatif Perubahan Stabilitas, Flow, dan MQ

Pada durasi perendaman 30 menit, stabilitas meningkat dari 2395,012 kg pada campuran tanpa PET menjadi 2430,449 kg pada PET 2%, atau naik sekitar 1,48%. Pada kadar PET 3–5%, stabilitas menurun dibandingkan nilai pada PET 2%. Hal ini memperlihatkan bahwa peningkatan kadar PET tidak memberikan peningkatan stabilitas secara linier.

Pengaruh durasi perendaman terlihat pada seluruh kadar PET: stabilitas menurun ketika waktu perendaman meningkat dari 30 menit menjadi 12 jam. Pada campuran tanpa PET, stabilitas turun dari 2395,012 kg menjadi 1940,109 kg. Pada PET 2%, stabilitas turun dari 2430,449 kg menjadi 2033,094 kg. Penurunan ini menunjukkan bahwa durasi perendaman merupakan faktor penting dalam perubahan respons Marshall pada kondisi pengujian.

Flow menunjukkan kecenderungan yang berlawanan dengan stabilitas. Pada PET 2%, *flow* meningkat dari 2,553 mm pada 30 menit menjadi 3,243 mm pada 12 jam. Pada PET 5%, *flow* berada di atas batas maksimum 4 mm untuk seluruh durasi perendaman yang dilaporkan, yaitu 4,117–4,743 mm. Dengan demikian, berdasarkan kriteria *flow* yang dicantumkan pada skripsi, kadar PET 5% tidak memenuhi persyaratan. Pada PET 4%, *flow* juga melampaui 4 mm mulai perendaman 9 jam.

MQ merupakan rasio stabilitas terhadap *flow* dan pada data ini cenderung turun seiring pertambahan waktu perendaman. MQ tertinggi yang dilaporkan adalah 951,978 kg/mm pada

PET 2% selama 30 menit, sedangkan nilai terendah adalah 409,230 kg/mm pada PET 5% selama 12 jam. Meskipun nilai MQ yang tercatat masih di atas batas minimum 250 kg/mm, pemenuhan spesifikasi campuran harus dinilai berdasarkan seluruh parameter yang dipersyaratkan, bukan MQ saja.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis karakteristik *Marshall* pada campuran aspal beton lapis aus *(Asphalt Concrete–Wearing Course, AC-WC)* dengan penambahan limbah botol plastik jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)* pada berbagai kadar dan durasi perendaman, dapat disimpulkan bahwa penambahan PET memengaruhi karakteristik campuran aspal. Nilai stabilitas meningkat hingga kadar PET 2%, kemudian menurun pada kadar 3% hingga 5%. Pola serupa juga ditunjukkan oleh nilai *Marshall Quotient (MQ)*, yang meningkat hingga kadar PET 2% dan menurun pada kadar yang lebih tinggi. Sementara itu, nilai *flow* menurun hingga kadar PET 2%, kemudian meningkat kembali seiring bertambahnya kadar PET. Nilai Voids in *Mineral Aggregate (VMA)* dan *Voids in Mixture (VIM*) dilaporkan cenderung menurun, sedangkan nilai *Voids Filled with Bitumen (VFB)* meningkat seiring dengan penambahan kadar PET.

Berdasarkan variasi kadar PET dan durasi perendaman yang diuji, kombinasi PET 2% dengan waktu perendaman 30 menit menghasilkan nilai stabilitas tertinggi, yaitu 2.430,449 kg, dengan nilai *flow* sebesar 2,553 mm, VIM sebesar 4,354%, VFB sebesar 76,030%, dan MQ sebesar 951,978 kg/mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar PET 2% memberikan respons Marshall terbaik di antara variasi yang diuji. Namun, peningkatan kadar PET di atas 2% tidak menghasilkan peningkatan kinerja secara berkelanjutan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilaporkan, campuran dengan kadar PET 1%, 2%, 3%, dan 4% dinyatakan memenuhi spesifikasi umum Bina Marga yang digunakan dalam penelitian, sedangkan kadar PET 5% dinyatakan tidak memenuhi spesifikasi.

Selain kadar PET, durasi perendaman juga memengaruhi karakteristik *Marshall* campuran AC-WC. Semakin lama waktu perendaman, nilai stabilitas dan MQ cenderung menurun, sedangkan nilai *flow* cenderung meningkat. Dengan demikian, pemanfaatan limbah PET sebagai bahan tambah campuran AC-WC berpotensi memengaruhi karakteristik Marshall, khususnya pada kadar 2%. Meskipun demikian, kesimpulan mengenai kinerja campuran perlu dibatasi pada kondisi pengujian laboratorium yang dilakukan dan belum dapat secara langsung dijadikan bukti peningkatan ketahanan perkerasan terhadap genangan air di lapangan.

5. Referensi

Al Fitri, S. (2018). Pengaruh penambahan limbah plastik kresek sebagai substitusi aspal Pen 60/70 terhadap karakteristik campuran AC-BC. Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. https://jurnal.usk.ac.id/JTS/article/view/10034

Razak, A. B. (2016). Karakteristik campuran AC-WC dengan penambahan limbah plastik Low Density Polyethylene (LDPE). Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang. http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/Intek/article/view/9

Suprayitno, dkk. (2019). Studi penggunaan variasi campuran material plastik jenis high density polyethylene (HDPE) pada campuran beraspal untuk lapis aus AC-WC (asphalt concrete wearing course). PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa. https://www.neliti.com/id/publications/519291/studi-penggunaan-variasi-campuran-meterial-plastik-jenis-high-density-polyethyle

Suroso, W. T. (2008). Pengaruh penambahan plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) cara basah dan cara kering terhadap kinerja campuran beraspal. Media Komunikasi Teknik Sipil. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/mkts/article/view/3695/3328

Sukirman, S. (2003). Perkerasan jalan raya. Nova.

Silvia, S. (2016). Beton aspal campuran panas. Institut Teknologi Nasional.

Bina Marga. (2018). Spesifikasi umum Bina Marga 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (Revisi 2). Direktorat Jenderal Bina Marga. https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/987/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2.pdfnahhal, W., & Aljidda, O. (2018). Flexural

Volume 08 Nomor 02 Oktober 2025 p-ISSN 2614-5707 e-ISSN 2715-1581

behavior of basalt fiber reinforced concrete beams with recycled concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, *169*, 165–178.

Hawileh, R. A., Rasheed, H. A., Abdalla, J. A., & Al-Tamimi, A. K. (2014). Behavior of reinforced concrete beams strengthened with externally bonded hybrid fiber reinforced polymer systems. *Materials & Design*, *53*, 972–982.

Ombres, L. (2015). Structural performances of reinforced concrete beams strengthened in shear with a cement based fiber composite material. *Composite Structures*, *122*, 316–329.