

Pemanfaatan Plastik LDPE dan *Recycled Aggregate Material* dalam Peningkatan Kinerja Campuran *Asphalt Concrete–Wearing Course* *Utilization of LDPE Plastic and Recycled Aggregate Material to Improve the Performance of Asphalt Concrete–Wearing Course Mixtures*

Elsa Eka Putri, Yosritzal, Bayu Martanto Adji, Farras Mufaddal, Azzahra Dienul Akhwat, Fariska Nur Haliza, Zaki Putra

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

Article Info

Article history:

Received August 10, 2025

Revised September 25, 2025

Accepted October 01, 2025

Kata Kunci

AC-WC

Kadar aspal optimum

LDPE

RAM

Uji marshall

Keywords:

AC-WC

Optimum asphalt content

LDPE

RAM

Marshall test

Abstrak

Peningkatan kebutuhan terhadap infrastruktur jalan menuntut pengembangan material perkerasan yang lebih kuat, efisien, dan berkelanjutan. Salah satu inovasi yang banyak dikaji adalah pemanfaatan limbah plastik *low density polyethylene* (LDPE) dan *recycled aggregate material* (RAM) sebagai bahan modifikasi pada campuran *asphalt concrete–wearing course* (AC–WC). Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan LDPE sebesar 5% dari berat aspal dan RAM sebesar 25% terhadap karakteristik marshall campuran AC–WC. Metode pengujian menggunakan uji marshall dengan variasi kadar aspal 6,5%, 7,0%, 7,5%, 8,0%, dan 8,5%, untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO). Parameter yang dianalisis meliputi *stability*, *flow*, *voids in mixture* (VIM), *voids in mineral aggregate* (VMA), *voids filled with bitumen* (VFB), dan *marshall quotient* (MQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran modifikasi dengan LDPE dan RAM menghasilkan peningkatan nilai *stability* dan MQ pada kadar aspal 6,5–7,0%, dengan VMA dan VFB tetap dalam batas spesifikasi. Kadar aspal optimum diperoleh pada kisaran 6,5–7,0%, yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan dan kelelahan campuran. Secara keseluruhan, penggunaan LDPE dan RAM terbukti dapat meningkatkan kinerja campuran AC–WC serta mendukung penerapan prinsip keberlanjutan dalam rekayasa perkerasan jalan.

Abstract

The increasing demand for road infrastructure requires the development of pavement materials with improved strength, efficiency, and sustainability. One promising innovation involves the use of low density polyethylene (LDPE) plastic waste and recycled aggregate material (RAM) as modifiers in asphalt concrete–wearing course (AC–WC) mixtures. This study aims to evaluate the effect of incorporating 5% LDPE by total bitumen weight and 25% RAM on the marshall characteristics of AC–WC mixtures. The marshall test method was employed with asphalt content variations of 6,5%, 7,0%, 7,5%, 8,0%, and 8,5% to determine the optimum asphalt content (OAC). Parameters evaluated included stability, flow, voids in mixture (VIM), voids in mineral aggregate (VMA), voids filled with bitumen (VFB), and marshall quotient (MQ). The results indicate that the modified and MQ values at asphalt contents of 6,5–7,0%, while VMA and VFB remained within specification limits. The optimum asphalt content was found to be between 6,5% and 7,0%, providing the best

balance between strength and flexibility. Overall, the incorporation of LDPE and RAM improved the performance of AC–WC mixtures and supported the application of sustainability principles in pavement engineering

Corresponding Author : Putri, elsaeka@eng.unand.ac.id

A. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan memiliki peranan penting dalam menunjang aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat karena berfungsi sebagai sarana utama mobilitas dan distribusi barang maupun jasa (Ng, dkk., 2019). Namun, peningkatan volume lalu lintas dan beban kendaraan berat yang terjadi secara terus-menerus menyebabkan lapisan perkerasan mengalami penurunan kinerja, seperti retak, alur, dan deformasi plastis. Kondisi tersebut sering diperparah oleh faktor eksternal seperti perubahan iklim ekstrem, drainase yang buruk, serta dampak bencana alam yang merusak struktur jalan (Wahyuni, dkk., 2022).

Tingginya biaya rehabilitasi dan pemeliharaan jalan mendorong perlunya inovasi material perkerasan yang tidak hanya memiliki performa tinggi tetapi juga berkelanjutan secara lingkungan. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pemanfaatan material hasil daur ulang seperti limbah plastik *low density polyethylene* (LDPE) dan *recycled aggregate material* (RAM). Penggunaan material daur ulang diharapkan mampu mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam yang terbatas sekaligus menekan timbulan limbah konstruksi (Prawistamandala, dkk., 2024).

Namun, meskipun banyak penelitian telah mengkaji penggunaan LDPE atau RAM secara terpisah dalam campuran aspal, studi yang mengintegrasikan keduanya secara simultan terutama pada lapisan *asphalt concrete–wearing course* (AC–WC) yang masih terbatas. Beberapa penelitian terdahulu fokus pada peningkatan stabilitas dengan LDPE (Appiah, dkk.,

2017) atau substitusi parsial dengan RAM (Putri & Wulandari, 2025), namun belum banyak yang mengevaluasi interaksi sinergis antara LDPE dan RAM terhadap karakteristik marshall campuran AC–WC dalam satu sistem modifikasi. Selain itu, penelitian yang mengaitkan pemanfaatan RAM dari material reruntuhan di daerah terdampak bencana dengan prinsip keberlanjutan dalam rekayasa perkerasan juga masih jarang dieksplorasi.

Berdasarkan *research gap* tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan LDPE (5% dari berat aspal) dan RAM (25% dari total agregat) terhadap karakteristik marshall campuran AC–WC serta menentukan kadar aspal optimum yang menghasilkan kinerja terbaik. Kontribusi ilmiah dari penelitian ini adalah memberikan bukti empiris mengenai interaksi LDPE dan RAM dalam meningkatkan kinerja campuran AC–WC dari aspek stabilitas, kekakuan, dan kepadatan. Penelitian akan menghasilkan rekomendasi proporsi campuran yang optimal untuk aplikasi lapangan, khususnya dalam konteks pemanfaatan material lokal dan daur ulang. Penelitian juga dapat memperkuat dasar penerapan prinsip *circular economy* dalam rekayasa perkerasan jalan melalui pemanfaatan limbah plastik dan material konstruksi daur ulang, termasuk dari sumber reruntuhan pasca bencana.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan tidak hanya memperkaya ilmu material perkerasan, tetapi juga memberikan solusi praktis yang berkelanjutan bagi tantangan infrastruktur jalan di Indonesia.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Agregat

Agregat merupakan komponen utama dalam campuran perkerasan yang berfungsi sebagai pemberi kekuatan struktural pada lapisan jalan. Material ini umumnya terdiri atas butiran batuan, pasir, dan kerikil yang dapat berasal dari sumber alami atau hasil olahan industri. Proporsinya yang mencapai 90–95% dari berat campuran menjadikan agregat sangat menentukan stabilitas dan ketahanan deformasi lapisan perkerasan (Austroads., 2004; Ode, dkk., 2024).

Berdasarkan asalnya, agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat hasil proses. Agregat alam terbentuk secara alami melalui pelapukan dan pengendapan mineral, sedangkan agregat hasil proses diperoleh dari penghancuran batuan dengan tujuan mendapatkan bentuk bersudut dan tekstur kasar agar daya lekat terhadap aspal meningkat (Putra, dkk., 2019).

2. Aspal

Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat utama dalam perkerasan fleksibel. Material ini tersusun atas senyawa hidrokarbon berwarna gelap dengan kandungan utama bitumen. Aspal bersifat termoplastis, artinya akan melunak saat dipanaskan dan mengeras kembali setelah suhu menurun, menjadikannya ideal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan (Putri, dkk., 2020; Putri, dkk., 2023).

Secara umum, kadar aspal pada campuran beton aspal berkisar antara 4–10% dari berat total campuran. Jumlah tersebut berperan penting dalam menentukan ikatan antar partikel agregat serta fleksibilitas campuran agar mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan dini (Khan, 2023).

3. *Recycled Aggregate Material (RAM)*

Recycled Aggregate Material (RAM) adalah material agregat hasil daur ulang dari konstruksi lama, puing bangunan, atau material perkerasan bekas yang telah diproses ulang tanpa kandungan aspal. Penggunaan RAM menjadi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya agregat alam dan mengurangi limbah konstruksi (Putri & Wulandari, 2025).

RAM dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi teknik sipil, seperti lapis pondasi (*subbase*), bahan timbunan, atau campuran aspal panas. Selain bernilai ekonomis, penerapannya juga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan melalui konsep *reduce, reuse, dan recycle* (3R). Di wilayah terdampak bencana, penggunaan RAM dari material reruntuhan menjadi langkah strategis dalam rekonstruksi infrastruktur jalan yang efisien dan ramah lingkungan.

4. *Low-Density Polyethylene (LDPE)*

Low density polyethylene (LDPE) merupakan jenis plastik termoplastik yang banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya pada kantong belanja dan kemasan fleksibel. Karakteristik LDPE yang tahan terhadap suhu tinggi, lentur, dan tidak mudah terurai menjadikannya kandidat potensial sebagai bahan aditif pada campuran aspal (Appiah, dkk., 2017).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan LDPE ke dalam aspal mampu meningkatkan nilai stabilitas, kekakuan, serta ketahanan terhadap deformasi plastis tanpa menurunkan fleksibilitas campuran (Hariadi, dkk., 2021; Suroso, 2008). Selain itu, penerapan LDPE dalam campuran aspal juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah plastik, sehingga mendukung upaya

keberlanjutan lingkungan (Iqbal, dkk., 2024).

5. Campuran Asphalt Concrete–Wearing Course (AC–WC)

Lapisan *asphalt concrete–wearing course* (AC–WC) merupakan lapis permukaan pada perkerasan lentur yang berfungsi melindungi struktur di bawahnya dari beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Lapisan ini dirancang agar memiliki tekstur halus, kedap air, dan tahan deformasi (Setiobudi, 2017; Putra, dkk., 2019).

Kinerja AC–WC sangat dipengaruhi oleh proporsi agregat, kadaraspal, serta kualitas bahan pengikat. Inovasi berupa modifikasi campuran menggunakan material seperti LDPE dan RAM telah terbukti meningkatkan stabilitas marshall, daya tahan terhadap rutting, serta memperpanjang umur pelayanan perkerasan (Iqbal, dkk., 2024; Yang & Lee, 2017).

6. Parameter Marshall Test

Uji Marshall digunakan untuk menilai karakteristik campuran aspal melalui beberapa parameter utama, yaitu stabilitas, kelelahan, *voids in mixture* (VIM), *voids in mineral Aaggregate* (VMA), *voids filled with bitumen* (VFB), dan *marshall quotient* (MQ).

- Stabilitas adalah kemampuan campuran menahan beban maksimum.
- Kelelahan adalah menggambarkan deformasi plastis saat menerima beban.
- VIM adalah volume rongga udara dalam campuran padat.
- VMA merupakan total rongga antarbutir agregat.
- VFB adalah bagian dari rongga agregat yang terisi aspal.

- MQ merupakan rasio antara stabilitas dan *flow* yang mencerminkan kekakuan campuran.

C. METODE PENELITIAN

1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Perkerasan Jalan, Departemen Teknik Sipil, Universitas Andalas, serta di Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Sumatera Barat, Padang. Kegiatan penelitian berlangsung selama tahun 2025 dan meliputi tahap persiapan bahan, pengujian sifat fisik material, perancangan campuran, serta analisis hasil uji marshall.

2. Bahan Penelitian

Bahan utama pada penelitian terlihat pada Gambar 1, yang digunakan meliputi:

- Aspal pen 60/70 sebagai bahan pengikat utama.
- Agregat alam (kasar, halus, dan *filler*) dari sumber lokal.
- Recycled aggregate material* (RAM) sebagai substitusi 25% terhadap total agregat.
- Plastik LDPE sebagai bahan tambahan dengan proporsi 5% dari berat bitumen.

Kadar LDPE 5% dipilih berdasarkan tinjauan literatur dan studi pendahuluan yang menunjukkan bahwa proporsi ini memberikan peningkatan optimal pada sifat rheologi aspal tanpa menurunkan kelekatan secara signifikan.

Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa kadar LDPE di bawah 5% tidak memberikan peningkatan kinerja yang signifikan, sementara di atas 7% dapat menyebabkan segregasi dan kesulitan dalam pencampuran (Appiah, dkk., 2017; Noviarti, dkk., 2019).

Kadar RAM 25% dipilih karena merupakan batas maksimum substitusi yang masih memenuhi persyaratan gradasi dan stabilitas berdasarkan penelitian (Riyanto & Pramesti, 2022). Kadar di atas 30% dilaporkan dapat menurunkan kekuatan campuran akibat

bentuk partikel yang tidak seragam dan kandungan debu berlebih.

Seluruh material diuji untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi Bina Marga dan standar nasional Indonesia (SNI).



(a) Agregat RAM



(b) Aspal Padat



(c) Agregat Alam



(d) Cacahan Plastik LDPE

Gambar 1. Bahan Campuran

3. Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material terdiri dari :

a. Pengujian agregat

Uji karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan berat jenis, penyerapan air, keausan menggunakan mesin Los Angeles, dan kelekatan terhadap aspal. Pengujian ini mengacu pada SNI 1970:2008, SNI 1969:2016, dan SNI 2439:2011.

b. Pengujian aspal

Aspal diuji berdasarkan parameter penetrasi, titik lembek, titik nyala, titik bakar, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Seluruh prosedur mengacu pada SNI 2432:2011, SNI

2433:2011, SNI 2434:2011, SNI 2441:2011, dan SNI 2456:2011.

Rumus kadar aspal teoritis yang digunakan untuk menentukan perkiraan awal kadar optimum ditentukan dengan persamaan berikut (SNI 03-6894-2002):

$$P_b = 0,035a + 0,045b + 0,18c \quad (1)$$

Keterangan :

- a = Persentase agregat halus
- b = Persentase agregat kasar
- c = Persentase *filler*

4. Perancangan Campuran Aspal (AC-WC)

Campuran *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC) dirancang dengan metode *mid-point gradation*

sesuai spesifikasi Bina Marga 2018. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 6,5%, 7,0%, 7,5%, 8,0%, dan 8,5%, baik untuk campuran murni maupun campuran modifikasi.

Prosedur pencampuran dilakukan pada suhu 160–170°C untuk aspal dan 170–180°C untuk agregat. Campuran dimodifikasi dengan menambahkan LDPE ke dalam aspal cair menggunakan metode *wet process* dimana LDPE dimasukan ke aspal yang dipanaskan ke suhu 100°C dan diaduk selama 15 menit.. Selanjutnya, RAM dimasukkan sebagai substitusi agregat sesuai proporsi yang ditentukan. Setiap campuran dicetak menggunakan alat pemadat Marshall dengan 75 tumbukan pada setiap sisi benda uji.

5. Pengujian Marshall

Uji marshall digunakan untuk mengevaluasi karakteristik mekanik campuran AC–WC, meliputi, stabilitas (daya tahan terhadap beban maksimum), kelelahan (deformasi plastis pada beban puncak), *voids in mixture* (VIM), *voids in mineral aggregate* (VMA), *voids filled with bitumen* (VFB), dan *marshall quotient* (MQ).

Pengujian dilakukan pada suhu 60°C dengan kecepatan pembebanan 50 mm/menit. Nilai parameter dibandingkan dengan spesifikasi AC–WC berdasarkan SNI 06-2489-1991.

6. Analisis Data

Data hasil uji marshall dianalisis untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) menggunakan pendekatan grafik hubungan antar parameter terhadap kadar aspal. Nilai KAO ditetapkan berdasarkan kesesuaian terhadap parameter Spesifikasi teknis AC–WC (Bina Marga, 2018). Dimana stabilitas ≥ 800 kg, kelelahan dengan rentang nilai 2–4 mm, VIM 3–5%, VMA harus lebih besar atau

sama 15 %, VFB 65–75% dan nilai MQ minimum 250 kg/mm

Perbandingan antara campuran murni dan campuran modifikasi digunakan untuk menilai pengaruh penambahan LDPE dan RAM terhadap performa campuran dari aspek stabilitas, fleksibilitas, dan kekakuan.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Uji Karakteristik Bahan

Hasil uji karakteristik bahan yaitu :

- a. Agregat
Agregat yang digunakan terdiri dari agregat alam dan *recycled aggregate material* (RAM). Hasil uji karakteristik fisik menunjukkan bahwa seluruh parameter masih memenuhi batas spesifikasi SNI 1970:2008 dan SNI 1969:2016. Nilai berat jenis agregat kasar sebesar 2,65, agregat halus 2,61, dan *filler* 2,58. Nilai keausan agregat RAM sebesar 36,01% masih di bawah batas maksimum 40%, yang menunjukkan ketahanan abrasi yang baik. Nilai kelekatan agregat terhadap aspal mencapai lebih dari 95%, menandakan daya adhesi yang kuat.
Karakteristik tersebut sejalan dengan temuan Yang & Lee, (2017) yang menyatakan bahwa agregat hasil daur ulang dapat digunakan sebagai substitusi sebagian agregat baru tanpa menurunkan kualitas campuran, selama nilai keausan dan berat jenisnya memenuhi spesifikasi.
- b. Aspal
Aspal Pen 60/70 yang digunakan memiliki nilai penetrasi 61,6 (0,1 mm), titik lembek 49°C, dan daktilitas 78 cm. Setelah dimodifikasi dengan 5% LDPE, nilai penetrasi menurun menjadi 56,6,

sedangkan titik lembek meningkat menjadi 58°C. Hal ini menunjukkan peningkatan kekakuan dan ketahanan terhadap suhu tinggi, sebagaimana juga dilaporkan oleh Ma, dkk., (2021). Penurunan nilai daktilitas menjadi 50 cm masih dalam batas aman (≥ 40 cm),

menunjukkan aspal masih cukup plastis untuk mempertahankan fleksibilitas campuran.

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat dan aspal dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan	Standar	Agregat Baru	Agregat RAM	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis Agregat Halus					
Berat jenis (<i>bulk</i>)		2,500	2,540	-	2,4 – 2,8
Berat jenis kering permukaan jenuh	SNI 1970:2008	2,550	2,565	-	
Berat jenis semu		2,630	2,607	-	
Penyerapan		2,040	1,010	%	Maks 3%
Berat Jenis Agregat Kasar					
Berat jenis (<i>bulk</i>)		2,500	2,546	-	2,5 – 2,7
Berat jenis kering permukaan jenuh	SNI 1969:2016	2,608	2,562	-	
Berat jenis semu		2,577	2,587	-	
Penyerapan		1,215	0,620	%	Maks 3%
Keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles	SNI 2417:2008	27,09	36,01	%	$\leq 40\%$
Kelekatatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	≥ 95	≥ 95	%	$\geq 95\%$

Tabel 2. Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Pemeriksaan	Standar	Aspal Murni	Aspal + 5% Plastik	Satuan	Spesifikasi
Penetrasi	SNI 2456:2011	61,6	56,6	0,1mm	Min 56
Titik nyala	SNI 2433:2011	356	356	°C	≥ 232
Titik bakar	SNI 2433:2011	401	376	°C	\geq Titik Nyala
Daktilitas	SNI 2432:2011	100	50	cm	≥ 100
Berat jenis	SNI 2441:2011	1,050	1,028	-	$\geq 1,0$
Titik lembek	SNI 2434:2011	49	58	°C	≥ 48
Kehilangan berat	SNI-06-2440:1991	0,151	0,055	%	$\leq 0,8$
Penetrasi kehilangan berat	SNI 2456:2011	61	56,2	0,1mm	Min 56

Dari Tabel 1 dan Tabel 2, dapat dilihat bahwa hasil pemeriksaan agregat dan aspal seluruhnya telah memenuhi spesifikasi SNI sehingga material aspal dan agregat yang digunakan layak dijadikan sebagai campuran perkerasan *asphalt concrete – wearing course*.

Komposisi campuran yang dapat dilihat pada Tabel 3 untuk perkerasan modifikasi antara agregat RAM dan agregat baru dengan aspal plastik LDPE serta komposisi campuran untuk perkerasan tanpa modifikasi pada Tabel 4.

Komposisi campuran yang dapat dilihat pada Tabel 3 untuk perkerasan modifikasi antara agregat RAM dan agregat baru dengan aspal plastik LDPE

serta komposisi campuran untuk perkerasan tanpa modifikasi pada Tabel 4.

Tabel 3. Komposisi Campuran Perkerasan Modifikasi

Aspal %	6,5	7	7,5	8	8,5
Berat aspal modifikasi plastik	78	84	90	96	102
Berat plastik	3,12	3,36	3,6	3,84	4,08
Berat aspal	74,88	80,64	86,4	92,16	97,92
Berat agregat	1122	1116	1110	1104	1098
% Agregat kasar	353,43	351,54	349,65	347,76	345,87
% Agregat halus	488,070	485,460	482,850	480,240	477,630
% Agregat kasar RAM	117,810	117,180	116,550	115,920	115,290
% Agregat halus RAM	162,690	161,820	160,950	160,080	159,210

Tabel 4. Komposisi Campuran Perkerasan Tanpa Modifikasi

Aspal %	6,5	7	7,5	8	8,5
Berat aspal	78	84	90	96	102
Berat agregat	1122	1116	1110	1104	1098
% Agregat kasar	471,24	468,72	466,2	463,68	461,16
% Agregat halus	650,76	647,28	643,8	640,32	636,84

2. Hasil Pengujian Marshall

Pengujian marshall dilakukan pada lima variasi kadar aspal (6,5%; 7,0%; 7,5%; 8,0%; 8,5%). Hasil lengkap disajikan pada Tabel 5 dengan nilai rata-rata dari tiga sampel untuk setiap parameter.

a. Penentuan kadar aspal optimum untuk campuran AC-WC, yaitu :

- 1) Stabilitas: nilai tertinggi (1185 kg) pada kadar aspal 7,0%, dengan peningkatan 17,9% dibandingkan kadar 8,5% (980

kg). Standar deviasi antar sampel <5%, menunjukkan konsistensi data.

- 2) Kelelahan: mengalami peningkatan linier dari 2,4 mm (6,5%) menjadi 4,5 mm (8,5%). Pada kadar 7,5% ke atas, nilai melebihi batas spesifikasi (2-4 mm).
- 3) VIM: menurun secara konsisten dari 5,0% (6,5%) menjadi 3,1% (8,5%), menunjukkan pengaruh pengisian rongga oleh aspal.

Tabel 5. Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC Penentuan KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kg/mm)
6,5	1120	2,4	5	15,3	67,2	467
7,0	1185	2,8	4,3	15,8	72,8	423
7,5	1105	3,5	3,8	16,4	76,5	315
8,0	1030	4,1	3,4	16,9	79,8	251
8,5	980	4,5	3,1	17,2	82,1	218

- 4) MQ: nilai tertinggi 467 kg/mm pada kadar 6,5%, dengan penurunan bertahap hingga 218 kg/mm pada kadar 8,5%. Penurunan ini menunjukkan berkurangnya kekakuan seiring bertambahnya kadar aspal.
- b. Analisis perbandingan AC-WC + RAM dengan aspal murni dan aspal modifikasi
 Tabel 6 adalah hasil pengujian marshall untuk 2 jenis campuran yaitu campuran murni maksudnya adalah campuran AC-WC dengan penggunaan 25% RAM tanpa penambahan 5% LDPE pada bahan pengikat aspal. Sedangkan campuran modifikasi maksudnya adalah campuran AC-WC dengan RAM dengan menggunakan 5% LDPE pada aspal).

Berdasarkan data literatur untuk campuran konvensional AC-WC di wilayah yang sama (Hendri & Ramli, 2024), penggunaan LDPE pada

campuran dapat meningkatkan nilai parameter marshallnya.

Pada penelitian ini campuran modifikasi menunjukkan peningkatan sebagai berikut:

- 1) Stabilitas meningkat 18-25%
- 2) MQ meningkat 22-30%
- 3) VIM lebih rendah 15-20%

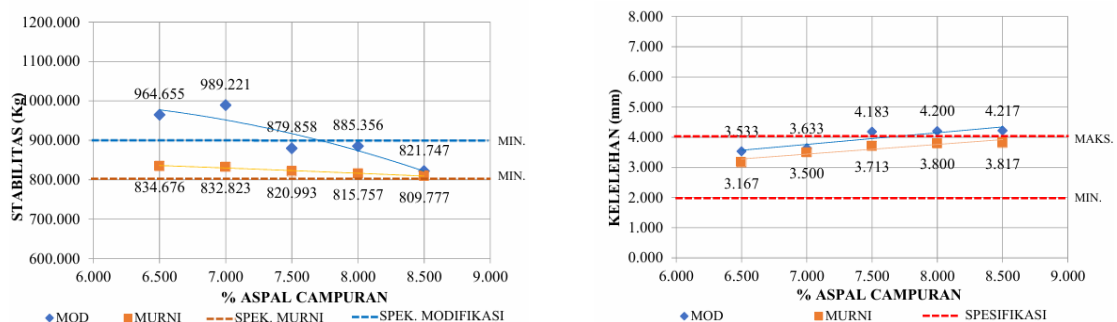
Peningkatan ini signifikan secara teknis dan menunjukkan keefektifan modifikasi LDPE dan RAM. Hasil uji Marshall dari masing-masing komposisi kemudian dianalisis untuk menentukan campuran dengan kinerja terbaik, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.

3. Analisis Mekanisme dan Konsistensi Hasil

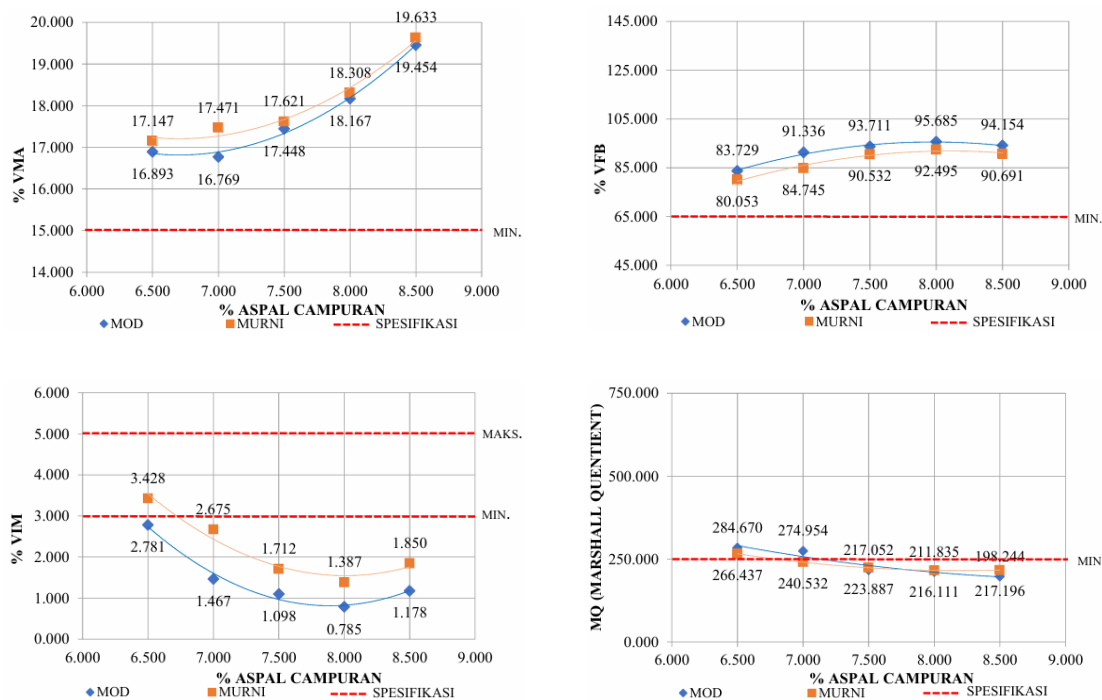
Hasil pengujian menunjukkan nilai yang lebih konsisten dengan standar deviasi rendah untuk semua parameter. Pola perubahan setiap parameter terhadap kadar aspal mengikuti tren yang terprediksi, menguatkan validitas data.

Tabel 6 Perbandingan Hasil Pengujian Marshall

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)		Kelelahan (mm)		MQ (kg/mm)		VMA (%)		VIM (%)		VFB (%)	
	Murni	Modif.	Murni	Modif.	Murni	Modif.	Murni	Modif.	Murni	Modif.	Murni	Modif.
6,5	834,676	964,655	3,533	3,167	266,437	284,670	17,147	16,893	3,428	2,781	80,053	83,729
7,0	832,823	989,221	3,633	3,500	240,532	274,954	17,471	16,769	2,675	1,467	84,745	91,336
7,5	820,993	879,858	4,183	3,713	223,887	217,052	17,621	17,448	1,712	1,098	90,532	93,711
8,0	815,757	885,356	4,200	3,800	216,111	211,835	18,308	18,167	1,387	0,785	92,495	95,685
8,5	809,777	821,747	4,217	3,817	217,196	198,244	19,633	19,454	1,850	1,178	90,691	94,154



Gambar 2. Hasil Karakteristik Marshall



Gambar 2. Hasil Karakteristik Marshall (Lanjutan)

Kombinasi LDPE dan RAM terbukti meningkatkan kinerja campuran secara signifikan, khususnya pada kadar aspal 6,5 - 7,0% yang direkomendasikan sebagai kadar optimum.

Hasil penelitian ini menunjukkan tren peningkatan *stability* dan MQ serta penurunan VIM pada campuran AC–WC termodifikasi LDPE dan RAM. Temuan ini sejalan dengan:

- Penggunaan LDPE 5% meningkatkan stabilitas hingga 12% (Appiah, dkk., 2017).
- Kombinasi plastik LDPE dan aspal meningkatkan *flow* dan fleksibilitas campuran.
- Penambahan LDPE menurunkan penetrasi dan meningkatkan titik lembek aspal (Suroso, 2008).
- Campuran LDPE memenuhi spesifikasi marshall dan meningkatkan MQ hingga 20% (Suroso, 2008).
- Kombinasi RAM dan LDPE menghasilkan campuran dengan

kepadatan lebih tinggi dan ketahanan deformasi lebih baik (Iqbal, dkk., 2024).

Dari hasil ini dapat dinyatakan bahwa proporsi 5% LDPE dan 25% RAM pada kadar aspal 6,5–7,0% merupakan komposisi paling optimal untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan struktural, fleksibilitas, dan keberlanjutan material seperti yang terlihat pada Tabel 7. Dimana tabel ini merupakan rekapitulasi analisa hasil pengujian karakteristik marshall.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap campuran *asphalt concrete–wearing course* (AC–WC) yang dimodifikasi dengan plastik *low density polyethylene* (LDPE) dan *recycled aggregate material* (RAM), dapat disimpulkan beberapa hal.

Tabel 7. Rekapitulasi Diskusi Hasil Pengujian Karakteristik Marshall

Karakteristik Marshall	Hasil		Spesifikasi	
	Campuran Modifikasi	Campuran Murni	Modifikasi	Murni
Stabilitas	Hanya kadar 6,5% dan 7,0% yang memenuhi	≥ 800	≥ 900	≥ 800
Kelelahan	Hanya kadar 6,5% dan 7,0% yang memenuhi	2-4 mm	2-4 mm	2-4 mm
VFB	$\geq 65\%$	$\geq 65\%$	$\geq 65\%$	$\geq 65\%$
VIM	Tidak memenuhi	Hanya kadar 6,5% yang memenuhi	3-5%	3-5%
VMA	$\geq 15\%$	$\geq 15\%$	$\geq 15\%$	$\geq 15\%$
MQ	Hanya kadar 6,5% dan 7,0% yang memenuhi	Hanya kadar 6,5% yang memenuhi	≥ 250	≥ 250

Kinerja campuran meningkat secara signifikan dengan penambahan LDPE sebesar 5% terhadap berat aspal dan RAM sebesar 25% terhadap total agregat. Modifikasi ini mampu memperbaiki sifat mekanik campuran, terutama pada parameter *stability* dan *marshall quotient* (MQ).

Kadar aspal optimum (KAO) diperoleh pada kisaran 6,5–7,0%, di mana seluruh parameter marshall, yaitu *stability*, *flow*, VIM, VMA, dan VFB, berada dalam batas spesifikasi Bina Marga (2018). Pada kadar ini, campuran menunjukkan keseimbangan terbaik antara kekuatan struktural dan fleksibilitas.

Campuran modifikasi LDPE–RAM menunjukkan peningkatan nilai kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi plastis, dengan *stability* mencapai 1185 kg dan MQ sebesar 467 kg/mm. Hasil ini menegaskan bahwa kombinasi kedua material tersebut mampu meningkatkan daya dukung perkerasan dibandingkan campuran konvensional.

Dari aspek lingkungan, pemanfaatan LDPE dan RAM mendukung penerapan prinsip keberlanjutan melalui pengurangan limbah plastik dan pemanfaatan material daur ulang dari konstruksi lama atau daerah terdampak bencana.

Dengan demikian, penggunaan LDPE dan RAM dalam campuran AC–WC tidak hanya meningkatkan kinerja teknis perkerasan tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap praktik konstruksi jalan yang ramah lingkungan dan efisien sumber daya.

2. Saran

Disarankan untuk melakukan pengujian lanjutan terhadap durabilitas dan ketahanan terhadap suhu ekstrem, seperti uji kelelahan (*fatigue test*) dan uji ketahanan *rutting*, guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif tentang kinerja jangka panjang campuran modifikasi.

Proporsi LDPE dan RAM dapat dikaji lebih lanjut pada variasi kadar berbeda (misalnya LDPE 3–7% dan RAM 15–30%) untuk menentukan batas optimum secara lebih presisi.

Untuk penerapan lapangan, perlu dilakukan studi ekonomi dan analisis dampak lingkungan (LCA) guna menilai kelayakan teknis dan manfaat keberlanjutan penggunaan material ini dalam skala proyek yang lebih luas.

Untuk penerapan lapangan, perlu dilakukan studi ekonomi dan analisis dampak lingkungan (LCA) guna menilai kelayakan teknis dan manfaat keberlanjutan penggunaan material ini dalam skala proyek yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Andalas yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui program Penelitian Luaran Buku Batch I, sesuai kontrak Nomor 450/UN16.19/PT.01.03/PLB/2025 tanggal 14 April 2025

DAFTAR PUSTAKA

- Appiah, J. K., Berko-Boateng, V. N., & Tagbor, T. A. (2017). Use Of Waste Plastic Materials For Road Construction In Ghana. *Case Studies In Construction Materials*, 6, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.11.001>
- Austrroads. (2004). *AGPT02-25 Guide to Pavement Technology: Part 2 – Pavement Structural Design*, Australia: Standards, Sydney. <https://austrroads.gov.au/publications/pavement/agpt02>
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 1969:2016 (Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 2432:2011 (Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 2433:2011 (Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleveland Open Cup)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 2434:2011 (Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 2439:2011 (Cara Uji Penyelimutan dan Pengelupasan pada Campuran Agregat – Aspal)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 2441:2011 (Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 2456:2011 (Cara Uji Penetrasi Aspal)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1970:2008 (Cara Uji Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 2417-2008 (Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6894-2002 (Metode Pengujian Kadar Aspal dari Campuran Beraspal dengan Cara Sentrifus)*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1991). *SNI 06-2440-1991 (Cara Uji Kehilangan Berat terhadap Aspal)*.
- Hariadi, D., Saleh, S. M., Yamin, R. A., & Aprilia, S. (2021). Utilization of LDPE Plastic Waste on The Quality of Pyrolysis Oil as an Asphalt Solvent Alternative. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100872>
- Hendri, A., & Ramli, M. (2024). Kinerja Campuran AC-WC Menggunakan Material Lokal Sumatera Barat. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 12–19. <https://doi.org/10.31849/siklus.v10i1.15678>
- Iqbal, I., Sukowati, D. G., Rusmin, M., Desembardi, F., & Sasim, K. P. (2024). 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>
- Khan, D. (2023). Effect of Recycled Aggregates and Polymer Modified Bitumen on the Marshall Properties of Hot Mix Asphalt - A Case Study. *Quaid-e-Awam University Research Journal of Engineering, Science & Technology*, 21(1), 16–26. <https://doi.org/10.52584/QRJ.2101.03>

- Ma, Y., Zhou, H., Jiang, X., Polaczyk, P., Xiao, R., Zhang, M., & Huang, B. (2021). The Utilization of Waste Plastics in Asphalt Pavements: A Review. *Cleaner Materials*, 2, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100031>
- Ng, M., Loo, Y. C., & Rahman, A. (2019). Road Infrastructure and Socio-Economic Development: a Review of Sustainable Strategies. *Transportation Research Procedia*, 37, 303–312. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012045>
- Noviarti, T., Putra, S., & Herianto, D. (2019). Potensi Fungsi RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) Sebagai Bahan Lapis Pondasi (Base). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*, 7(3), 463-474. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v7i3.1199>
- Ode, E. I., Pahlevi, M., & Rahmawati, F. (2024). Mechanical Characterization Of Recycled Aggregate Concrete For Pavement Layers. *Heliyon*, 10(5), e27315. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27315>
- Prawistamandala, A., Iskak, I. E., & Erfan, M. (2024). Pemanfaatan Limbah Perkerasan Aspal (Reclaimed Asphalt Pavement) Sebagai Bahan Pengganti Agregat 5-10 Pada Campuran AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) Terhadap Karakteristik Marshall. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Malang. <http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/14400>
- Putra, D. P., Mahardi, P., & Risdianto, Y. (2019). Analisa Campuran AC-WC dengan Agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Filler Abu Batu Sebagai Campuran untuk Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE). *Rekayasa Teknik Sipil*, 7(4), 1-8. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/31262>
- Putri, E. E., Kasyafi, F. M. R., & Ahmad, F. (2023). Performance of Rubber Asphalt in Split Mastic Asphalt Mixture. *E3S Web of Conferences*, 464. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346411009>
- Putri, E. E., Ilahi, F. K., Gungat, L., & Purnawan. (2020). The Durability Of AC-WC And HRS-Base Pavement with Styrofoam Addition. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(9), 210–216. <https://www.ijstr.org/research-paper-publishing.php?month=sep2020>
- Putri, A. Y., & Wulandari, P. S. (2025). Pengaruh Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement dan Recycled Concrete Aggregate Pada Lapis Pondasi Agregat Terhadap Kekuatan Mekanis. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil XIV*, (pp. 245-256). Surakarta, Indonesia : Program Studi Teknik Sipil. Universitas Muhammadiyah Surakarta. <https://proceedings.ums.ac.id/sipil/article/view/5611>
- Riyanto, A., & Pramesti, Y. (2022). Pemanfaatan Limbah Plastik dengan Teknologi Daur Ulang pada Hot Rolled Asphalt Ditinjau dari Aspek Properties Marshall, Nilai Ketidakrataan, dan Durabilitas. *Dinamika Teknik Sipil Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 15(1), 18-27. <https://doi.org/10.23917/dts.v1i1.18088>
- Setiobudi, A. (2017). Analisis Kadar Aspal Optimum Pada Lapis Asphalt Concrete Base Course Di Pembangunan Jalan Tol Palembang-

- Simpang Indralaya (Palindra). *Jurnal Deformasi*, 2(2), 1–13.
<https://doi.org/10.31851/deformasi.v2i2.1956>
- Suroso, T. W. (2008). Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) Cara Basah Dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 16(3), 208-222.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v16i3.3695>
- Wahyuni, R. N. T., Ikhsan, M., Damayanti, A., & Khoirunurrofik, K. (2022). Inter-District Road Infrastructure and Spatial Inequality in Rural Indonesia. *Economies*, 10(9), 1-20.
<https://doi.org/10.3390/economies10090229>
- Yang, S., & Lee, H. (2017). Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete Proportioned With Modified Equivalent Mortar Volume Method For Paving Applications. *Construction and Building Materials*, 136, 9–17.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.029>



© 2025 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)