JURNAL LOCUS: Penelitian & Pengabdian
Volume 5 No. 11 November 2026, pp 10428-10443
E-ISSN 2829-7334
DOI: 10.58344/locus.v5i11.6522

Pengaruh Penggunaan Limbah *Ethylene Vinyl Acetate* dengan Limbah *Polystyrene* terhadap Stabilitas dan *Marshall Quotient* Campuran Beraspal Panas

Aulia Muttaqin* , Anwar Efendy, Adiman Fariyadin, Lalu M Farid Nabih
Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia
Email : auliamuttaqin@ummat.ac.id* , anwar.efendy@ummat.ac.id, adimansipil@gmail.com, lalufaridnabih@gmail.com

Keywords:
Flexible Pavement;
Material Engineering;
Permanent Deformation;
Polymer Modification;
Recycled Materials.

This is an open access article under the CC BY-SA license.
Copyright © 2026 by Author. Published by Publikasi Indonesia

Abstract

Tncreasing traffic loads and high temperatures in tropical regions accelerate the deterioration of flexible pavements, while plastic waste accumulation has become a growing environmental concern. This study aims to investigate the effect of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) and Polystyrene (PS) waste on the Marshall characteristics of Hot Mix Asphalt and to determine the optimum composition as a modifier. An experimental laboratory method based on the Marshall test was employed. The optimum asphalt content was determined using asphalt contents ranging from 5.0% to 7.0%, followed by modified mixtures with EVA:PS ratios of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100. The evaluated parameters included Marshall Stability, Flow, and Marshall Quotient (MQ). The results indicated that the optimum asphalt content was 6.0%. All mixtures satisfied the Indonesian Bina Marga specifications, with Stability values ranging from 1154 to 1586 kg, Flow values from 3.67 to 4.07 mm, and MQ values from 288 to 403.1 kg/mm. The EVA:PS ratio of 100:0 produced the highest performance, whereas the 75:25 ratio is recommended as the optimum hybrid formulation because it provides the best balance between strength and deformation resistance. Future studies should evaluate durability and field performance to support the practical implementation of this sustainable pavement material.

Kata Kunci:
Deformasi Permanen;
Material Daur Ulang;
Modifikasi Polimer;
Perkerasan Lentur;
Rekayasa Material.

Abstrak

Peningkatan beban lalu lintas dan suhu tinggi di wilayah tropis mempercepat penurunan kinerja perkerasan lentur, sementara akumulasi limbah plastik menjadi permasalahan lingkungan yang terus meningkat. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan limbah *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan *Polystyrene* (PS) terhadap karakteristik Marshall campuran beraspal panas serta menentukan komposisi terbaik sebagai bahan modifikasi. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan metode Marshall. Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan melalui variasi kadar aspal 5,0–7,0%, kemudian digunakan untuk membuat campuran termodifikasi dengan

variasi komposisi EVA:PS sebesar 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100. Parameter yang dianalisis meliputi stabilitas, Flow, dan Marshall Quotient (MQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa KAO diperoleh sebesar 6,0%. Seluruh variasi campuran memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai stabilitas 1154–1586 kg, Flow 3,67–4,07 mm, dan MQ 288–403,1 kg/mm. Komposisi EVA:PS 100:0 menghasilkan kinerja terbaik, sedangkan komposisi 75:25 direkomendasikan sebagai formulasi optimum untuk campuran hibrid karena memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan dan deformasi. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian durabilitas dan performa lapangan untuk mendukung penerapan material ini pada konstruksi jalan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan komponen utama sistem transportasi darat yang berperan dalam menjamin kelancaran mobilitas masyarakat, distribusi barang, dan pertumbuhan ekonomi (Cho & Choi, 2021). Sebagian besar jaringan jalan nasional di Indonesia menggunakan perkerasan lentur (*flexible pavement*) sebagai struktur perkerasan utama. *Flexible pavement* dengan *Hot Mix Asphalt* (HMA) banyak digunakan karena memiliki fleksibilitas yang baik, proses konstruksi yang relatif sederhana, serta biaya pemeliharaan yang lebih ekonomis dibandingkan jenis perkerasan lainnya(Kumar & Shukla, 2022; Milad et al., 2022). Kinerja campuran *Hot Mix Asphalt* (HMA) sangat dipengaruhi oleh interaksi antara aspal sebagai bahan pengikat (*binder*) dan agregat sebagai kerangka utama campuran. Kombinasi beban lalu lintas berat yang berulang dan temperatur permukaan perkerasan yang tinggi di wilayah tropis mempercepat terjadinya deformasi permanen (*rutting*), retak lelah (*fatigue cracking*), serta penurunan stabilitas campuran sehingga memperpendek umur layanan perkerasan (Albayati, 2023; Deng & Shi, 2023; Ji et al., 2023).

Peningkatan konsumsi plastik telah menimbulkan persoalan lingkungan yang semakin kompleks akibat rendahnya tingkat daur ulang dan meningkatnya akumulasi limbah plastik di lingkungan (N. Singh & Walker, 2024). Pengelolaan sampah plastik di Indonesia masih menjadi tantangan utama dalam mewujudkan ekonomi sirkular (Wikurendra et al., 2024). Antara berbagai jenis limbah plastik, *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) yang banyak digunakan pada sandal dan sol sepatu serta *Polystyrene* (PS) yang berasal dari kemasan makanan memiliki tingkat daur ulang yang relatif rendah karena karakteristik fisik, kontaminasi, dan keterbatasan nilai ekonominya (Santos et al., 2024). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah EVA dan PS sebagai bahan modifikasi campuran beraspal menjadi salah satu alternatif yang mendukung konsep *circular economy* sekaligus meningkatkan keberlanjutan infrastruktur jalan (Ashish et al., 2023; Mohammadi & Ameri, 2024).

Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan modifikasi aspal telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir seiring meningkatnya kebutuhan akan material perkerasan yang lebih berkelanjutan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penambahan plastik daur ulang mampu meningkatkan kekakuan, *Marshall Stability*, ketahanan terhadap deformasi permanen

(*rutting*), serta umur lelah campuran beraspal (Pan et al., 2025; S. K. Shah et al., 2025). Modifikasi menggunakan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) terbukti meningkatkan sifat viskoelastis, elastisitas, dan ketahanan terhadap deformasi suhu tinggi melalui pembentukan jaringan polimer dalam matriks aspal (Ma et al., 2023; P. M. Shah, 2025). Sementara itu, *Polystyrene* (PS) memiliki modulus elastisitas yang tinggi sehingga mampu meningkatkan kekakuan campuran dan mengurangi deformasi permanen, meskipun masih memerlukan peningkatan kompatibilitas dengan aspal (Pan et al., 2025). Selain meningkatkan performa mekanik, penggunaan limbah plastik sebagai modifier aspal juga mendukung konsep *circular economy* melalui pengurangan limbah plastik dan konsumsi material konvensional (S. K. Shah et al., 2025).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada penggunaan satu jenis polimer, terutama *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan Unplasticized Polyvinyl Chloride (UPVC) sebagai bahan modifikasi aspal (Duan et al., 2024; Wang et al., 2021; Efendy et al., 2026). Sebaliknya, penelitian mengenai penggunaan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) maupun *Polystyrene* (PS) masih relatif terbatas, sedangkan kajian yang mengombinasikan keduanya sebagai modifikasi polimer hibrid hampir belum dilaporkan dalam literatur. Berbagai studi menunjukkan bahwa penggunaan campuran polimer (*polymer blends*) berpotensi menghasilkan efek sinergis melalui kombinasi sifat elastis dan kekakuan sehingga dapat meningkatkan keseimbangan antara ketahanan deformasi permanen dan fleksibilitas campuran beraspal (Nizamuddin et al., 2021). Namun demikian, bukti eksperimental mengenai perilaku kombinasi EVA–PS pada campuran *Hot Mix Asphalt* (HMA) masih sangat terbatas, terutama pada kondisi iklim tropis dengan temperatur tinggi dan kelembapan relatif yang dapat mempercepat degradasi perkerasan (Li et al., 2024; A. Singh & Gupta, 2024).

Penelitian di Indonesia mengenai pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan modifikasi campuran beraspal hingga saat ini masih didominasi oleh penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), dan *Low Density Polyethylene* (LDPE), sedangkan penggunaan limbah *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) maupun *Polystyrene* (PS) masih sangat terbatas dalam publikasi nasional (Kurniasari et al., 2025; Latif & Setiawan, 2023; Pribadi et al., 2023). Sebagian besar penelitian tersebut mengevaluasi karakteristik Marshall konvensional, seperti *Stability*, *Flow*, VIM, VMA, dan VFB, sementara *Marshall Quotient* (MQ) umumnya hanya dilaporkan sebagai parameter hasil tanpa pembahasan mendalam mengenai perannya sebagai indikator keseimbangan antara stabilitas dan deformasi plastis campuran. Padahal, *Marshall Quotient* merupakan parameter penting dalam metode Marshall karena diperoleh dari rasio antara nilai stabilitas dan *Flow*, sehingga mencerminkan kekakuan campuran serta kemampuannya menahan deformasi akibat pembebanan lalu lintas (Riwibowo et al., 2023; Nugroho, 2019). Berdasarkan penelusuran literatur, kajian yang secara sistematis mengevaluasi pengaruh kombinasi limbah EVA–PS terhadap *Marshall Stability*, *Flow*, dan *Marshall Quotient* pada campuran *Hot Mix Asphalt* (HMA) untuk kondisi iklim tropis Indonesia masih sangat terbatas.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan baru melalui pemanfaatan kombinasi limbah EVA dan PS sebagai *hybrid polymer modifier* menggunakan metode *dry mix*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan satu jenis plastik atau mengevaluasi parameter Marshall secara parsial, penelitian ini mengombinasikan kedua jenis limbah dengan beberapa variasi komposisi untuk memperoleh formulasi yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekakuan dan fleksibilitas campuran. Evaluasi dilakukan menggunakan parameter stabilitas Marshall, *Flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh modifikasi polimer terhadap karakteristik mekanik campuran beraspal panas (Joumblat et al., 2023; Oguntayo et al., 2023; Othman, 2022). Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan formulasi campuran yang tidak hanya memenuhi spesifikasi teknis, tetapi juga mendukung pemanfaatan limbah plastik domestik secara lebih optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah Ethylene Vinyl Acetate (EVA) dan Polystyrene (PS) terhadap nilai stabilitas Marshall, Flow, dan Marshall Quotient campuran beraspal panas serta menentukan komposisi EVA–PS yang memberikan kinerja terbaik pada kondisi pengujian laboratorium. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan material perkerasan berbasis limbah plastik, memperkaya kajian mengenai modifikasi aspal menggunakan polimer hibrid, serta menjadi referensi awal bagi pengembangan teknologi green pavement, namun klaim mengenai ketahanan alur (rutting) dan kesesuaian untuk iklim tropis perlu dipandang sebagai indikasi laboratorium yang masih memerlukan pengujian durabilitas dan performa lapangan sebelum dapat digunakan sebagai dasar penerapan konstruksi.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental terapan (applied experimental research) yang bertujuan mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan *Polystyrene* (PS) terhadap karakteristik Marshall campuran beraspal panas (*Hot Mix Asphalt*/HMA). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Mataram.

Tahapan penelitian diawali dengan penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan metode Marshall sesuai SNI 06-2489-1991. Variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; dan 7,0%. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh KAO sebesar 6,0%, yang selanjutnya digunakan sebagai kadar aspal tetap pada campuran termodifikasi.

Penelitian menggunakan rancangan percobaan *Completely Randomized Design* (CRD) dengan satu faktor berupa variasi komposisi limbah EVA dengan PS, yaitu 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100 terhadap berat bahan modifikasi. Setiap variasi dibuat sebanyak tiga benda uji sehingga seluruh hasil diperoleh dari nilai rata-rata pengujian Marshall.

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian terdiri atas:

1. Aspal keras penetrasi 60/70 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2025.
2. Agregat kasar dan agregat halus yang memenuhi SNI 03-1737-1989.
3. Limbah EVA yang berasal dari sandal dan sol sepatu bekas.
4. Limbah PS yang berasal dari kemasan makanan berbahan styrofoam.

Sebelum digunakan, limbah EVA dan PS dibersihkan, dikeringkan, kemudian dicacah hingga ukuran 2–3 mm agar mudah tercampur dalam campuran beraspal.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan meliputi:

1. Marshall Test Set (SNI 06-2489-1991).
2. Oven laboratorium.
3. Kompor pemanas dan pengaduk aspal.
4. Timbangan digital presisi 0,01 gram.
5. Marshall Mold diameter 101,6 mm.
6. Alat pemadat Marshall.
7. Termometer digital.
8. Alat ukur berat jenis agregat dan aspal.
9. Peralatan pendukung laboratorium lainnya.

Variabel Penelitian

1. Variabel bebas: Kadar kombinasi limbah EVA–PS (100% : 0%, 75% : 25%, 50% : 50% %, 25% : 75%, 0% : 100%).
2. Variabel terikat: Stabilitas Marshall, *Flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ).
3. Variabel kontrol: Jenis aspal, jenis agregat, suhu pencampuran (160–170°C), kadar aspal optimum, dan metode *dry mix*.

Desain Eksperimen

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan variasi kadar aspal 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; dan 7,0%. Berdasarkan hasil pengujian Marshall diperoleh KAO sebesar 6,0%. Selanjutnya dibuat campuran HMA dengan variasi komposisi EVA–PS pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Variasi Komposisi Limbah EVA–PS

Kode Campuran	Komposisi EVA : PS (%)
1	100 : 0
2	75 : 25
3	50 : 50
4	25 : 75
5	0 : 100

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

a. Teknik Pengumpulan Data

Data diperoleh melalui uji laboratorium dengan langkah berikut:

1) Persiapan bahan: Limbah EVA–PS dibersihkan, dicacah (2–3 mm), dikeringkan, dan ditimbang.
2) Pembuatan aspal termodifikasi: EVA–PS dicampurkan dengan aspal panas (160–170°C) menggunakan *dry mix* method hingga homogen.
3) Pembuatan benda uji HMA: Campuran aspal modifikasi dicampur dengan agregat sesuai kadar optimum dan dipadatkan dalam Marshall mold.
4) Uji Marshall: Setiap variasi kadar diuji untuk mendapatkan nilai Stabilitas (kg) dan *Flow* (mm).
5) Perhitungan *Marshall Quotient* (MQ): Nilai MQ tinggi menunjukkan campuran lebih kaku dan tahan deformasi.

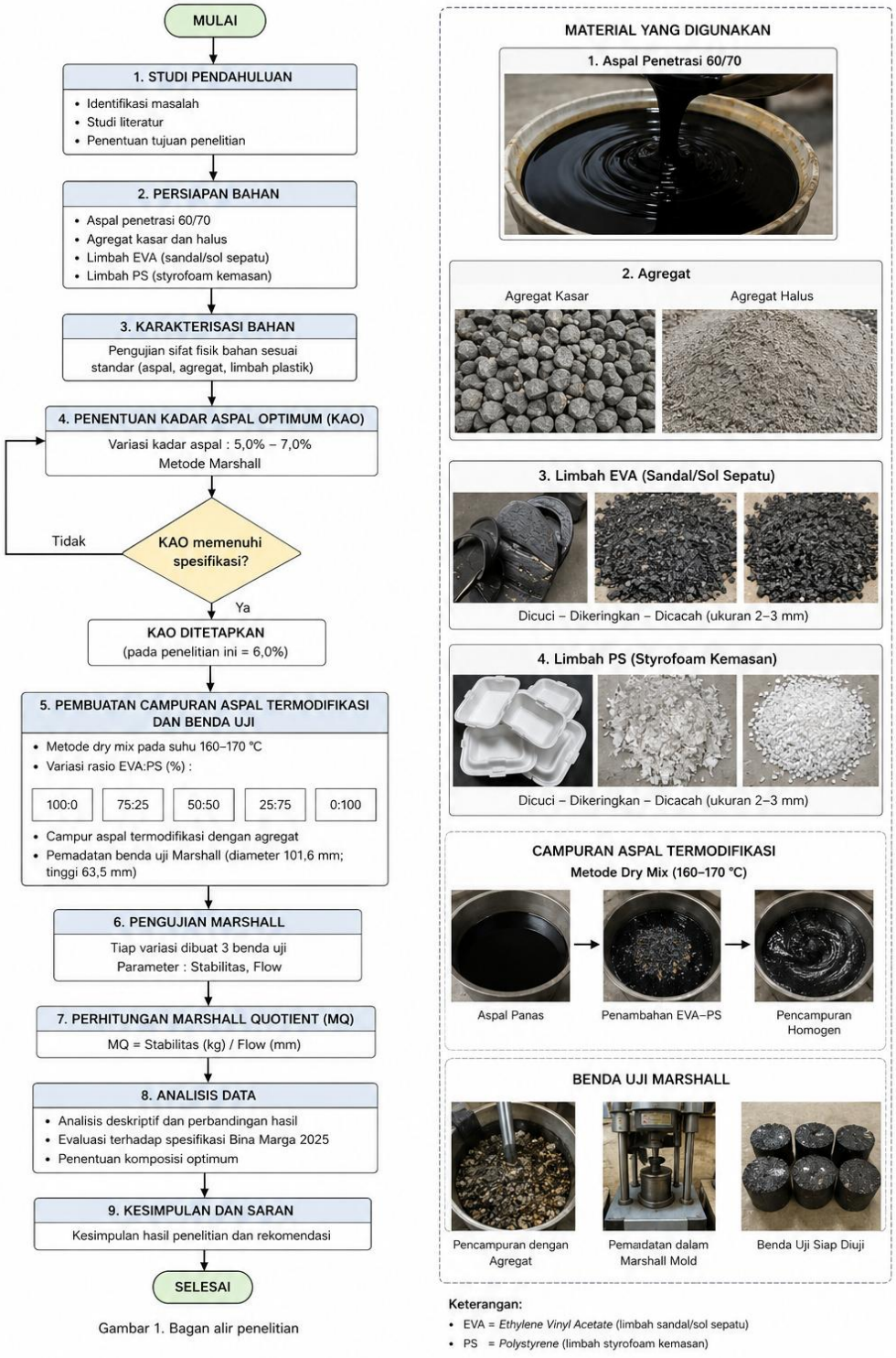
b. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif-komparatif dengan tahapan berikut:

1) Data hasil uji Marshall berupa Stabilitas (kg) dan *Flow* (mm) dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung nilai rata-rata dan kecenderungan perubahan pada setiap variasi kadar EVA–PS.
2) *Marshall Quotient* (MQ) dihitung dari rasio stabilitas terhadap *Flow* sebagai indikator empiris ketahanan deformasi permanen.
3) Hasil setiap variasi dibandingkan dengan spesifikasi teknis Bina Marga 2025 untuk menilai kelayakan campuran.
4) Kadar optimum EVA–PS ditentukan berdasarkan kombinasi stabilitas tertinggi, *Flow* dalam rentang 2–4 mm, dan nilai MQ maksimum, sehingga diperoleh formulasi campuran beraspal panas yang paling sesuai untuk iklim tropis.

Diagram Alir Penelitian

Berikut Gambar 1 diagram alir penelitian yang diawali dengan mulai dan diakhiri dengan selesai.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dasar Teori Pendukung

Metode Marshall digunakan untuk mengevaluasi kemampuan campuran beraspal dalam menahan beban lalu lintas melalui parameter stabilitas dan *Flow*. Menurut *Asphalt Institute* (MS-2), stabilitas menunjukkan kemampuan campuran menahan deformasi akibat beban, sedangkan *Flow* menunjukkan deformasi plastis yang terjadi saat beban maksimum dicapai. *Marshall Quotient* merupakan rasio stabilitas terhadap *Flow* yang digunakan sebagai indikator empiris kekakuan dan ketahanan deformasi permanen campuran beraspal. Semakin tinggi nilai MQ, semakin baik kemampuan campuran dalam menahan pembentukan alur (*rutting*) pada kondisi lalu lintas dan temperatur tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

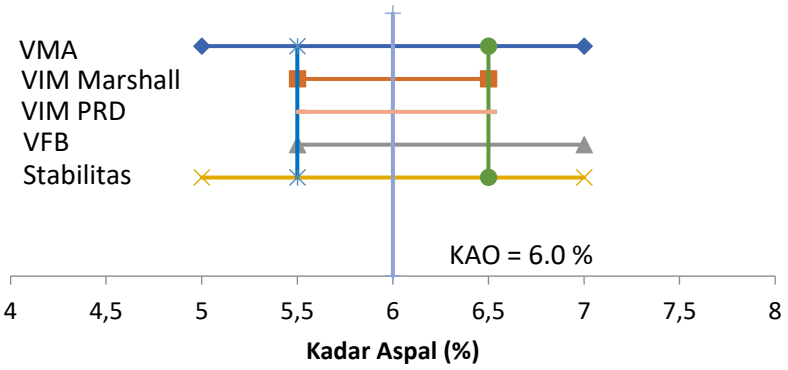
Pelaksanaan Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian telah dilaksanakan sesuai tahapan yang direncanakan dalam proposal. Kegiatan penelitian diawali dengan studi literatur, persiapan material, pembuatan campuran aspal termodifikasi *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dan *Polystyrene* (PS), pembuatan benda uji Marshall, pengujian laboratorium, analisis data, hingga penyusunan luaran penelitian. Tahap awal dilakukan melalui pengujian Marshall terhadap campuran *Hot Mix Asphalt* (HMA) dengan variasi kadar aspal rencana yaitu 5%, 5,5,%, 6%, 6,5% dan 7% untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO). Hasil pengujian berdasrkan Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar aspal 6% memenuhi seluruh parameter Marshall, dengan nilai stabilitas 1637,1 kg, *Flow* 4,00 mm, VIM 3,46%, VMA 17,02%, dan VFB 79,67%, sehingga berdasarkan Gambar 2 kurva hubungan parameter Marshall diperoleh KAO sebesar 6,0% sebagai dasar campuran modifikasi.

Tabel 2. Hasil Pengujian Marshall Campuran HMA

Kadar Aspal (%)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	1918,0	1543,7	1637,1	1665,3	1167,8	min 800
Flow (mm)	4,17	3,83	4,00	3,93	3,80	2.0 - 4.0
VIM (%)	6,57	4,46	3,46	3,30	2,67	3.0 - 5.0
VMA (%)	17,63	16,84	17,02	17,93	18,44	min14
VFB (%)	62,74	73,49	79,67	81,60	85,49	min65

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)



Gambar 2. Penentuan KAO Campuran HMA
Sumber: Hasil Analisis Data (2026)

Hasil Pengujian Campuran HMA dengan Limbah EVA-PS

Tahap berikutnya adalah pembuatan campuran HMA dengan substitusi serbuk limbah EVA-PS dengan perbandingan sebesar (EVA%:PS%) 100%:0%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, dan 0%:100% terhadap berat aspal pada KAO 6,0%. Berikut Tabel 3 hasil pengujian marshall dari campuran HMA dengan penambahan serbuk limbah EVA-PS.

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall Campuran HMA dengan Serbuk Limbah EVA-PS

Kadar EVA-PS (%)	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	1586	1415	1210	1185	1154	min. 1000
Flow (mm)	3,93	3,67	3,70	4,07	4,00	2.0 - 4.0
MQ (kg/mm)	403,1	385,8	327	292	288	min. 250

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memenuhi persyaratan minimum stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ) berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada campuran EVA:PS 100:0 sebesar 1586 kg, sedangkan nilai stabilitas terendah terjadi pada campuran EVA:PS 0:100 sebesar 1154 kg. Meskipun terjadi penurunan stabilitas seiring meningkatnya proporsi PS, seluruh campuran masih berada di atas batas minimum 1000 kg.

Nilai *Flow* berkisar antara 3,67–4,07 mm. Campuran EVA:PS 75:25 menghasilkan nilai *Flow* terendah sebesar 3,67 mm, sedangkan campuran EVA:PS 25:75 menghasilkan nilai *Flow* tertinggi sebesar 4,07 mm. Secara umum, nilai *Flow* masih berada pada rentang spesifikasi yang dipersyaratkan, meskipun komposisi 25:75 sedikit melebihi batas atas spesifikasi.

Nilai *Marshall Quotient* menunjukkan tren penurunan seiring berkurangnya proporsi EVA. Campuran EVA:PS 100:0 menghasilkan MQ tertinggi sebesar 403,1 kg/mm, sedangkan campuran EVA:PS 0:100 menghasilkan MQ terendah sebesar 288 kg/mm. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan campuran memiliki kekakuan dan ketahanan deformasi yang lebih baik.

1) Pengaruh Serbuk Limbah EVA-PS terhadap Stabilitas Marshall Campuran HMA

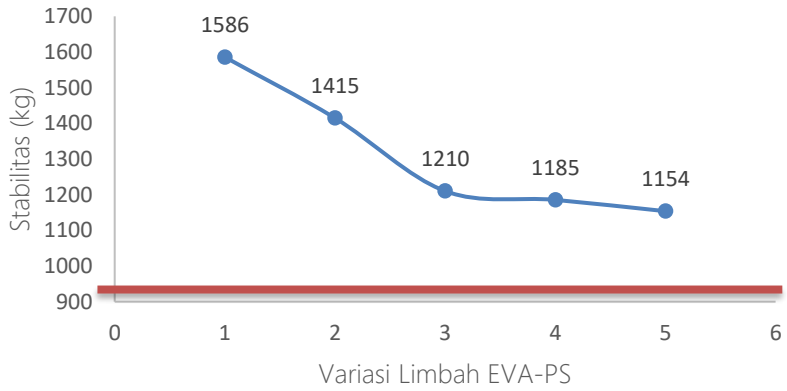
Berdasarkan hasil pengujian Marshall, nilai stabilitas campuran HMA mengalami penurunan seiring berkurangnya proporsi EVA dan meningkatnya proporsi PS. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada komposisi EVA:PS = 100:0 sebesar 1586 kg, kemudian menurun menjadi 1415 kg (75:25), 1210 kg (50:50), 1185 kg (25:75), dan 1154 kg (0:100). Meskipun demikian, seluruh variasi campuran masih memenuhi persyaratan minimum stabilitas Marshall sebesar 1000 kg sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga.

Peningkatan stabilitas pada campuran dengan proporsi EVA yang lebih tinggi menunjukkan bahwa EVA berperan sebagai elastomer yang mampu meningkatkan daya ikat (*adhesion*) antara aspal dan agregat serta memperbaiki sifat viskoelastis pengikat aspal. EVA memiliki struktur kopolimer etilena-vinil asetat yang dapat meningkatkan elastisitas dan ketahanan deformasi campuran, sehingga mampu menahan beban lalu lintas lebih baik

dibandingkan campuran dengan kandungan PS yang dominan. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh kajian terbaru Ullah et al., (2024) yang menyatakan bahwa modifikasi aspal menggunakan EVA meningkatkan stabilitas campuran, ketahanan retak, dan kemampuan menahan deformasi pada suhu tinggi.

Sebaliknya, meningkatnya proporsi PS menyebabkan penurunan nilai stabilitas. Meskipun PS dikenal sebagai polimer termoplastik yang mampu meningkatkan kekakuan (*stiffness*) aspal, sifatnya yang relatif getas (*brittle*) dapat mengurangi fleksibilitas campuran sehingga kemampuan redistribusi tegangan menjadi lebih rendah. Kondisi ini menyebabkan stabilitas campuran cenderung menurun ketika proporsi PS semakin besar. Hasil ini sesuai dengan temuan Chen et al., (2025) yang menunjukkan bahwa penggunaan polimer kaku secara dominan dapat meningkatkan kekakuan *binder*, namun berpotensi menurunkan kemampuan deformasi elastis campuran apabila tidak diimbangi oleh komponen elastomer.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa komposisi EVA:PS = 100:0 memberikan kinerja stabilitas terbaik, sedangkan penambahan PS secara bertahap menurunkan stabilitas Marshall. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi iklim tropis dan campuran HMA yang digunakan, kontribusi sifat elastomerik EVA lebih dominan dalam meningkatkan kemampuan campuran menahan beban dibandingkan sifat kekakuan yang diberikan oleh PS. Berikut Gambar 3 grafik hubungan pengaruh serbuk limbah EVA-PS terhadap stabilitas marshall campuran HMA.



Gambar 3. Hubungan antara Kadar EVA-PS dan Stabilitas
Sumber: Hasil Analisis Data (2026)

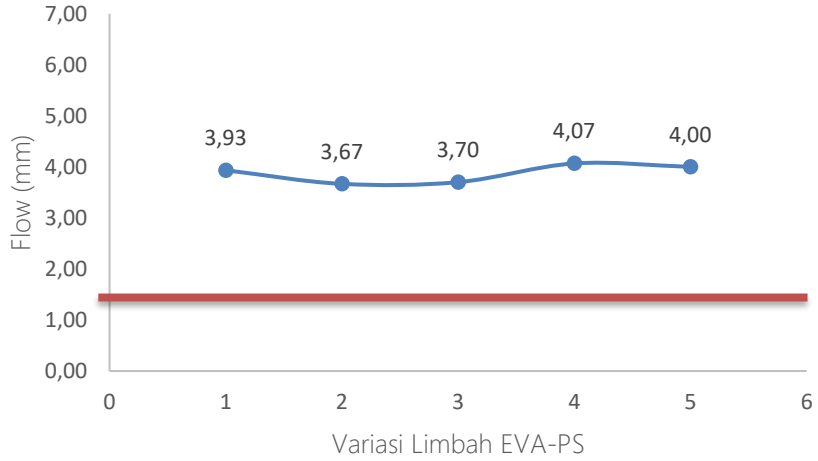
2) Hubungan Penambahan EVA-PS terhadap Nilai *Flow*

Nilai *Flow* menggambarkan besarnya deformasi plastis yang terjadi pada benda uji Marshall saat menerima beban maksimum sebelum mengalami keruntuhan. Semakin tinggi nilai *Flow*, campuran cenderung lebih plastis dan fleksibel, sedangkan nilai *Flow* yang terlalu rendah menunjukkan campuran menjadi lebih kaku dan berpotensi mengalami retak. Berdasarkan hasil pengujian, nilai *Flow* campuran HMA termodifikasi serbuk limbah EVA–PS berkisar antara 3,67–4,07 mm, yang secara umum masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (2,0–4,0 mm), kecuali komposisi EVA:PS = 25:75 yang sedikit melebihi batas atas spesifikasi.

Nilai *Flow* terendah diperoleh pada komposisi EVA:PS = 75:25 sebesar 3,67 mm, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada komposisi EVA:PS = 25:75 sebesar 4,07 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi PS dalam campuran cenderung meningkatkan deformasi campuran saat menerima beban. Meskipun PS dikenal sebagai polimer yang meningkatkan kekakuan *binder*, distribusi partikel PS dalam campuran beraspal dapat memengaruhi homogenitas ikatan aspal-agregat dan menyebabkan peningkatan deformasi pada saat pembebanan Marshall. Sebaliknya, EVA yang memiliki sifat elastomerik mampu meningkatkan kemampuan pemulihan elastis (*elastic recovery*) sehingga deformasi yang terjadi relatif lebih kecil.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Ye & Zhao, (2023) yang melaporkan bahwa penambahan polimer elastomer pada campuran aspal mampu menurunkan nilai *Flow* karena meningkatkan elastisitas dan kemampuan campuran mempertahankan bentuk saat menerima beban. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Ullah et al., (2024) yang menyatakan bahwa modifikasi aspal menggunakan EVA meningkatkan sifat viskoelastis *binder* sehingga deformasi permanen dapat dikurangi. Sementara itu, kajian oleh Pan et al., (2025) menjelaskan bahwa penggunaan limbah plastik termoplastik seperti PS dapat meningkatkan kekakuan pada suhu tinggi, namun pada kadar tertentu berpotensi menyebabkan perubahan struktur mikro campuran yang memengaruhi nilai *Flow* dan perilaku deformasi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi EVA–PS masih menghasilkan nilai *Flow* yang berada dalam rentang yang dipersyaratkan. Komposisi 75:25 memberikan nilai *Flow* paling ideal karena menunjukkan keseimbangan antara fleksibilitas dan kekakuan campuran. Hal ini mengindikasikan bahwa dominasi EVA masih mampu mengontrol deformasi plastis tanpa menyebabkan campuran menjadi terlalu kaku atau terlalu lentur. Berikut Gambar 4 grafik hubungan pengaruh serbuk limbah EVA-PS terhadap *Flow* marshall campuran HMA.



Gambar 4. Hubungan antara Kadar EVA-PS dan *Flow*
Sumber: Hasil Analisis Data (2026)

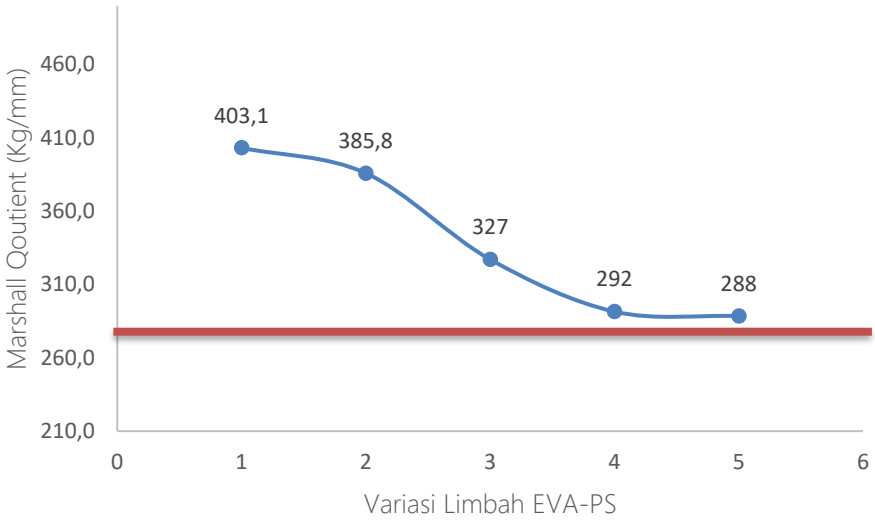
3) Hubungan Penambahan EVA-PS terhadap *Marshall Quotient*

Marshall Quotient (MQ) merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dan *Flow* yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kekakuan (*stiffness*) campuran beraspal dalam menahan deformasi akibat beban lalu lintas. Semakin tinggi nilai MQ, semakin besar kemampuan campuran dalam menahan deformasi permanen (*permanent deformation*) dan alur roda (*rutting*). Berdasarkan hasil pengujian, nilai MQ campuran HMA termodifikasi EVA–PS berkisar antara 288–403,1 kg/mm, dan seluruh variasi memenuhi persyaratan minimum Bina Marga sebesar 250 kg/mm. Nilai MQ tertinggi diperoleh pada komposisi EVA:PS = 100:0 sebesar 403,1 kg/mm, kemudian menurun menjadi 385,8 kg/mm (75:25), 327 kg/mm (50:50), 292 kg/mm (25:75), dan 288 kg/mm (0:100).

Penurunan nilai MQ seiring meningkatnya proporsi PS menunjukkan bahwa dominasi EVA memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap peningkatan keseimbangan antara stabilitas dan deformasi campuran. EVA merupakan polimer elastomer yang mampu meningkatkan sifat viskoelastis aspal, memperkuat ikatan antara agregat dan *binder*, serta meningkatkan kemampuan campuran untuk menahan beban tanpa mengalami deformasi berlebihan. Nilai MQ yang tinggi pada campuran EVA 100% menunjukkan bahwa campuran memiliki kombinasi stabilitas tinggi dan deformasi yang masih terkendali, sehingga lebih tahan terhadap kerusakan struktural akibat lalu lintas berat.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Ullah et al., (2024) yang melaporkan bahwa modifikasi aspal menggunakan EVA meningkatkan modulus dan ketahanan deformasi campuran pada suhu tinggi karena terbentuknya struktur polimer yang lebih stabil dalam matriks aspal. Penelitian Ye & Zhao, (2023) juga menunjukkan bahwa penambahan polimer elastomer menghasilkan peningkatan nilai *Marshall Quotient* akibat meningkatnya stabilitas tanpa diikuti peningkatan *Flow* yang signifikan. Sebaliknya, peningkatan proporsi PS menyebabkan penurunan MQ karena meskipun PS meningkatkan kekakuan *binder*, sifatnya yang cenderung getas (*brittle*) dapat mengurangi kemampuan campuran dalam mendistribusikan tegangan secara merata sehingga peningkatan stabilitas tidak sebanding dengan perubahan deformasi yang terjadi.

Temuan ini juga didukung oleh penelitian Chen et al., (2025) yang menunjukkan bahwa campuran aspal dengan kandungan polimer elastomer lebih tinggi menghasilkan nilai *stiffness* performance index yang lebih baik dibandingkan campuran yang didominasi polimer termoplastik. Oleh karena itu, komposisi EVA:PS = 100:0 dapat dianggap sebagai formulasi yang paling efektif dalam meningkatkan nilai MQ dan ketahanan deformasi campuran HMA pada kondisi iklim tropis. Meskipun demikian, seluruh variasi yang diuji masih memenuhi spesifikasi teknis sehingga limbah EVA maupun PS tetap berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan modifikasi campuran beraspal panas yang ramah lingkungan. Berikut Gambar 5 grafik hubungan pengaruh serbuk limbah EVA-PS terhadap MQ campuran HMA.



Gambar 5. Hubungan antara Kadar EVA-PS dan MQ
Sumber: Hasil Analisis Data (2026)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh serbuk limbah Ethylene Vinyl Acetate (EVA) dan Polystyrene (PS) terhadap karakteristik Marshall campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt/HMA), dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi EVA–PS memberikan pengaruh terhadap nilai stabilitas, Flow, dan Marshall Quotient (MQ) campuran. Seluruh variasi campuran yang diuji memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga, dengan nilai stabilitas berkisar antara 1154–1586 kg, nilai Flow antara 3,67–4,07 mm, dan nilai MQ antara 288–403,1 kg/mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi EVA cenderung meningkatkan nilai stabilitas dan MQ, sedangkan peningkatan proporsi PS menyebabkan penurunan kedua parameter tersebut.

Komposisi EVA:PS = 100:0 menghasilkan kinerja Marshall terbaik dengan nilai stabilitas sebesar 1586 kg, Flow sebesar 3,93 mm, dan MQ sebesar 403,1 kg/mm, sehingga memiliki kemampuan paling baik dalam menahan beban dan deformasi. Namun, apabila mempertimbangkan konsep pemanfaatan kombinasi limbah EVA–PS secara hibrid, komposisi EVA:PS = 75:25 dapat direkomendasikan sebagai formulasi optimum karena menghasilkan stabilitas sebesar 1415 kg, Flow sebesar 3,67 mm, dan MQ sebesar 385,8 kg/mm, serta memenuhi seluruh persyaratan teknis campuran beraspal panas untuk kondisi iklim tropis.

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

Seluruh penulis berkontribusi dalam melakukan pengerjaan penulisan artikel tersebut.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF

Dalam penyusunan naskah ini, penulis menggunakan bantuan Artificial Intelligence (AI) yang terbatas hanya untuk keperluan perbaikan tata bahasa dan pengecekan penggunaan bahasa.

REFERENSI

Albayati, A. H. (2023). A review of rutting in asphalt concrete pavement. *Open Engineering*, *13*(1). https://doi.org/10.1515/eng-2022-0463

Ashish, P. K., Sreeram, A., Xu, X., Chandrasekar, P., Jagadeesh, A., Adwani, D., & Padhan, R. K. (2023). Closing the Loop: Harnessing waste plastics for sustainable asphalt mixtures – A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, *400*, 132858. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132858

Chen, W., Zhang, Z., Wei, J., Zhang, X., Gan, C., Wang, W., & Sun, Y. (2025). Research on Mechanical Performance of Porous Asphalt Mixture with High-Viscosity Modified Asphalt. *Applied Sciences*, *15*(7), 3631. https://doi.org/10.3390/app15073631

Cho, S., & Choi, K. (2021). Transport accessibility and economic growth: Implications for sustainable transport infrastructure investments. *International Journal of Sustainable Transportation*, *15*(8), 641–652. https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1774946

Deng, Y., & Shi, X. (2023). Modeling the rutting performance of asphalt pavements: a review. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, *4*(1), 17. https://doi.org/10.1186/s43065-023-00082-9

Duan, X., Zhai, W., Wang, Y., Sun, K., Wang, X., Hao, P., Meng, X., Gao, Y., & Liang, X. (2024). Effects of adding exogenous microorganisms on nitrogen conversion and its mechanism of action in pig carcass composting. *Journal of Cleaner Production*, *449*, 141734. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141734

Efendy, A., Anjani, P. M., & Chilongola, F. D. (2026). Performance Evaluation of Asphalt Concrete Binder Course Mixtures Modified with Unplasticized Polyvinyl Chloride Waste Powder. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, *14*(2), 333–346. https://doi.org/10.33558/bentang.v14i2.12571

Ji, T., Hao, P., She, H., Yang, K., Li, H., Wang, D., Kang, R., & Liu, J. (2023). Durability behavior of asphalt mixtures in regard to material properties and gradation type. *Frontiers in Materials*, *10*. https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1151479

Joumblat, R., Al Basiouni Al Masri, Z., Al Khateeb, G., Elkordi, A., El Tallis, A. R., & Absi, J. (2023). State-of-the-Art Review on Permanent Deformation Characterization of Asphalt Concrete Pavements. *Sustainability*, *15*(2), 1166. https://doi.org/10.3390/su15021166

Kumar, P., & Shukla, S. (2022). Flexible pavement construction using different waste materials: A review. *Materials Today: Proceedings*, *65*, 1697–1702. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.713

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), 49–60. https://doi.org/10.29103/tj.v15i1.1201

Latif, A., & Setiawan, A. (2023). Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Metode Kering. *Sainteks*, *20*(2), 153–165. https://doi.org/10.30595/sainteks.v20i2.17200

Li, H., Han, Y., Guangxun, E., Sun, Y., Wang, L., Liu, X., Ren, J., & Lin, Z. (2024). Recycling of waste polyethylene in asphalt and its performance enhancement methods: A critical literature review. *Journal of Cleaner Production*, *451*, 142072. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142072

Ma, Y., Zhou, T., Song, H., & Zhang, H. (2023). Investigation of the Rheological Properties and Storage Stability of Waste Polyethylene/Ethylene–Vinyl Acetate-Modified Asphalt with Crosslinking and a Silicone Coupling Agent. *Materials*, *16*(9), 3289. https://doi.org/10.3390/ma16093289

Milad, A., Babalghaith, A. M., Al-Sabaeei, A. M., Dulaimi, A., Ali, A., Reddy, S. S., Bilema, M., & Yusoff, N. I. M. (2022). A Comparative Review of Hot and Warm Mix Asphalt Technologies from Environmental and Economic Perspectives: Towards a Sustainable Asphalt Pavement. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(22), 14863. https://doi.org/10.3390/ijerph192214863

Mohammadi, R., & Ameri, M. (2024). A systematic review on sustainable utilization of plastic waste in asphalt: assessing environmental and health impact, performance, and economic viability. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(54), 62676–62701. https://doi.org/10.1007/s11356-024-35395-z

Nizamuddin, S., Boom, Y. J., & Giustozzi, F. (2021). Sustainable Polymers from Recycled Waste Plastics and Their Virgin Counterparts as Bitumen Modifiers: A Comprehensive Review. *Polymers*, *13*(19), 3242. https://doi.org/10.3390/polym13193242

Nugroho, M. S. (2019). KARAKTERISTIK MARSHALL QUOTIENT PADA HOT MIX ASPHALT MENGGUNAKAN AGREGAT ALAM SUNGAI OPAK. *INERSIA: LNformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik SIpil Dan Arsitektur*, *15*(2), 84–91. https://doi.org/10.21831/inersia.v15i2.28627

Oguntayo, D., Ogundipe, O., Aladegboye, O., Ogunkunbi, G., Babatunde, Y., & Aransiola, O. (2023). Performance Evaluation of Hospital Waste Ash-Modified Asphalt Mixtures. *Advances in Civil Engineering*, *2023*, 1–7. https://doi.org/10.1155/2023/6880766

Othman, K. (2022). Prediction of the hot asphalt mix properties using deep neural networks. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, *11*(1), 40. https://doi.org/10.1186/s43088-022-00221-3

Pan, J., Li, J., Shan, B., Yao, Y., & Huang, C. (2025). A Comprehensive Review of Applications and Environmental Risks of Waste Plastics in Asphalt Pavements. *Materials*, *18*(15), 3441. https://doi.org/10.3390/ma18153441

Pribadi, G., Indriasari, I., & Rahman, R. L. (2023). Analisis Subtitusi Limbah Plastik (LDPE) terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Laston AC-WC. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, *5*(02), 334–347. https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.945

Riwibowo, N., Sentauri Cahyaningrum, F., Tama, T. F., & Amelia, F. (2023). Pengaruh Suhu Perkerasan Terhadap Umur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analitis. *Rekayasa*, *16*(2), 204–211. https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i2.19043

Santos, G., Esmizadeh, E., & Riahinezhad, M. (2024). Recycling Construction, Renovation, and Demolition Plastic Waste: Review of the Status Quo, Challenges and Opportunities. *Journal of Polymers and the Environment*, *32*(2), 479–509. https://doi.org/10.1007/s10924-023-02982-z

Shah, P. M. (2025). Study on use of recycled waste materials on the performance of asphalt binder and mixes: A comprehensive review. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, *41*(4), 409–439. https://doi.org/10.1177/14777606241290857

Shah, S. K., Gao, Y., & Abdelfatah, A. (2025). Plastic-Waste-Modified Asphalt for Sustainable Road Infrastructure: A Comprehensive Review. *Sustainability*, *17*(21), 9832. https://doi.org/10.3390/su17219832

Singh, A., & Gupta, A. (2024). Upcycling of plastic waste in bituminous mixes using dry process: Review of laboratory to field performance. *Construction and Building Materials*, *425*, 136005. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136005

Singh, N., & Walker, T. R. (2024). Plastic recycling: A panacea or environmental pollution problem. *Npj Materials Sustainability*, *2*(1), 17. https://doi.org/10.1038/s44296-024-00024-w

Ullah, S., Qabur, A., Ullah, A., Aati, K., & Abdelgiom, M. A. (2024). Enhancing High-Temperature Performance of Flexible Pavement with Plastic-Modified Asphalt. *Polymers*, *16*(17), 2399. https://doi.org/10.3390/polym16172399

Wang, B., Yan, L., Fu, Q., & Kasal, B. (2021). A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, *171*, 105565. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105565

Wikurendra, E. A., Csonka, A., Nagy, I., & Nurika, G. (2024). Urbanization and Benefit of Integration Circular Economy into Waste Management in Indonesia: A Review. *Circular Economy and Sustainability*, *4*(2), 1219–1248. https://doi.org/10.1007/s43615-024-00346-w

Ye, Z., & Zhao, Y. (2023). Polyolefin Elastomer Modified Asphalt: Performance Characterization and Modification Mechanism. *Buildings*, *13*(5), 1291. https://doi.org/10.3390/buildings13051291