J- Sipil. Vol 3 No 1. 31 Agustus 2026 **Halaman 29 - 38**

J-Sipil : Jurnal Teknologi Dan Ilmiah Teknik Sipil Dan Sains

ISSN : 3089 – 7947

http://j-sipil.unigres.ac.id

Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Campuran Pembuatan Aspal

Mochammad Fatchur Rochman[1], Hasti Suprihatin[2], Bana Ervadius[3]

[1.2] Program Studi Teknik Sipil,Fakultas Teknik,Universitas Gresik

Email: [1] fadiyasyifa1@gmail.com, [2]hasti.suprihatin007@gmail.com,[3]Bana.ervadius2023@gmail.com

Abstract

The escalating volume of plastic waste poses a critical global environmental challenge due to its non-biodegradable nature. Concurrently, the road infrastructure sector demands continuous innovation for pavements with high resistance to traffic loads and weather fluctuations. This study aims to evaluate the potential and effectiveness of utilizing various types of waste plastics as additives or substitutes in hot-mix asphalt through a comprehensive literature review approach. The research method involves a deep analysis of experimental results from ten accredited scientific journal articles regarding the application of waste polymers, including Polyethylene Terephthalate (PET), Low Density Polyethylene (LDPE), Linear Low Density Polyethylene (LLDPE), Polystyrene (PS), and plastic bag waste across diverse mixture types (AC-WC, AC-BC, HRS-WC, and Porous Asphalt). The review indicates that the integration of plastic waste significantly improves the physical characteristics of bitumen and the mechanical performance of the mixtures. The Marshall Stability parameters exhibit optimum enhancement within specific plastic content ranges, which correlates with increased resistance to permanent deformation and higher residual durability values according to the Bina Marga technical specifications.

Keywords: *Wastewater, Sugar Industry, Wastewater Treat Plant, River Pollution, Environmental Management*

Pendahuluan

Konstruksi perkerasan jalan raya di Indonesia didominasi oleh jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat agregat. Seiring dengan pertumbuhan volume kendaraan dan meningkatnya beban muatan sumbu berat, banyak ruas jalan yang mengalami kerusakan dini sebelum mencapai umur rencana, seperti alur (*rutting*), retak (*cracking*), dan pelepasan butir (*ravelling*). Kerusakan-kerusakan ini sering kali diperparah oleh kondisi iklim tropis dengan curah hujan tinggi yang dapat menurunkan ikatan adhesi antara aspal dan agregat. Guna mengatasi permasalahan tersebut, modifikasi aspal dengan menambahkan bahan aditif polimer terus dikembangkan untuk meningkatkan performa mekanis dan ketahanan durabilitas perkerasan jalan [1].

Di sisi lain, penumpukan sampah domestik, khususnya limbah plastik, telah mencapai titik yang mengkhawatirkan dan menjadi isu lingkungan nasional yang belum terselesaikan dengan optimal. Sifat plastik yang membutuhkan waktu hingga ratusan tahun untuk terurai secara alami mendorong perlunya sebuah langkah sirkular ekonomi melalui pemanfaatan kembali (*recycling*) limbah tersebut ke dalam skala industri, salah satunya sebagai material konstruksi jalan. Karakteristik polimer sintetis yang terkandung di dalam limbah plastik memiliki kemiripan sifat termoplastik dengan aspal, yaitu melunak ketika dipanaskan dan mengeras kembali saat didinginkan, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap air dan deformasi [2].

Melalui modifikasi aspal polimer menggunakan limbah plastik, diharapkan ikatan viskoelastisitas aspal murni dapat diperbaiki sehingga meningkatkan nilai stabilitas dan ketahanan campuran beraspal terhadap degradasi akibat beban dan temperatur. Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini disusun untuk menyajikan sebuah kajian komprehensif (*literature review*) berbasis data eksperimental dari sepuluh penelitian terdahulu. Fokus utama analisis diarahkan pada pengaruh

penambahan berbagai jenis polimer plastik (PET, LDPE, LLDPE, PS, dan kresek) terhadap karakteristik mekanis campuran aspal panas, guna menentukan batas kadar optimum yang memenuhi standar teknis Direktorat Jenderal Bina Marga [3-5].

Metode

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif-kualitatif dan pendekatan kuantitatif sekunder melalui metode kajian literatur (*literature review* atau *systematic literature review*). Pendekatan ini dipilih guna menghimpun, menganalisis, serta menyintesis secara komprehensif data eksperimental dari berbagai hasil penelitian terdahulu yang berfokus pada pemanfaatan limbah polimer plastik dalam campuran perkerasan aspal. Penggunaan metode *literature review* ini dinilai sangat relevan karena mampu menyajikan pemahaman yang mendalam dan menyeluruh mengenai tren performa mekanis jalan tanpa harus melakukan pengujian fisik ulang di laboratorium, melainkan dengan memvalidasi serta membandingkan variabilitas hasil dari sepuluh artikel ilmiah terakreditasi nasional yang menjadi objek studi utama dalam artikel ini.

Prosedur pelaksanaan kajian literatur ini dilakukan secara sistematis melalui empat tahapan utama, yaitu: *identification* (identifikasi), *screening* (penapisan), *eligibility* (kelayakan), dan *inclusion* (penyertaan data akhir). Pada tahap awal, pencarian literatur dilakukan melalui pangkalan data akademis digital seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan repositori jurnal ilmiah nasional dengan menggunakan kata kunci spesifik seperti "limbah plastik", "stabilitas Marshall", "aspal polimer", "PET", "LDPE", "LLDPE", dan "kantong kresek". Dari hasil pencarian tersebut, diperoleh puluhan artikel yang kemudian ditapis ketat berdasarkan kriteria inklusi, antara lain: artikel diterbitkan dalam rentang waktu yang relevan, menggunakan metode eksperimen laboratorium murni, serta menyertakan pengujian parameter Marshall secara kuantitatif yang jelas. Setelah melalui proses eliminasi terhadap artikel yang tidak lengkap atau tidak menggunakan standar Bina Marga, ditetapkan sepuluh artikel ilmiah final yang dinilai memenuhi seluruh aspek kelayakan untuk dibedah.

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis isi (*content analysis*) dan analisis komparatif. Seluruh data mentah yang bersumber dari sepuluh berkas PDF jurnal objek studi diekstraksi secara cermat untuk mengidentifikasi komponen-komponen kunci perancangan, meliputi nama peneliti, tahun publikasi, variasi jenis campuran beraspal yang digunakan (seperti *Asphalt Concrete-Wearing Course*, *Asphalt Concrete-Binder Course*, *Hot Rolled Sheet-Wearing Course*, maupun Aspal Porus), karakteristik serta tipe polimer limbah plastik yang diujikan, metode pengujian fisik, hingga rentang persentase kadar variasi bahan tambah yang diaplikasikan.

Tabel 1. Artikel Objek Studi Literatur

No	Nama Pengarang	Jurnal/Tahun	Judul	Tujuan
1	[6]	Jurnal Gradasi Teknik Sipil, 2024	Pengaruh Pengisian Rongga Campuran Aspal Porus Menggunakan Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)	Untuk mengetahui karakteristik Marshall terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO) dan menganalisis pengaruh penambahan biji plastik PET terhadap kinerja aspal porus.

No	Nama Pengarang	Jurnal/Tahun	Judul	Tujuan
2	[7]	Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 2021	Analisis Penggunaan Limbah Plastik Jenis *Polystyrene* (PS) Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran (HRS-WC)	Untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah plastik jenis *Polystyrene* (PS) sebagai bahan tambah terhadap karakteristik Marshall pada campuran aspal *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).
3	[5]	Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil , 2023	Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran Aspal Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*)	Menganalisis pengaruh persentase bahan tambah berupa limbah plastik berjenis PET terhadap karakteristik campuran laston AC-WC berdasarkan parameter uji Marshall.
4	[8]	Prosiding Seminar Nasional Teknik (SENASTIKA), 2024	Studi Penggunaan Limbah Plastik Tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran Aspal Berpori	Mengevaluasi kelayakan fungsional limbah plastik jenis PET ketika digunakan sebagai bahan substitusi agregat kasar pada campuran aspal porus melalui uji Marshall dan permeabilitas.
5	[2]	Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, 2018	Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal Campuran Panas	Menentukan nilai propertis Marshall dan formulasian persentase limbah plastik daur ulang yang optimum pada campuran beton aspal panas agar memenuhi Spesifikasi Bina Marga.
6	[9]	Jurnal Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman, 2019	Pengaruh Limbah Plastik *Low Density Polyethylene* Terhadap Karakteristik Dasar Aspal	Mengetahui pengaruh modifikasi polimer plastik LDPE terhadap karakteristik fisik/dasar aspal murni (penetrasi, titik lembek, dsb.) serta menentukan kadar maksimumnya

No	Nama Pengarang	Jurnal/Tahun	Judul	Tujuan
7	[4]	Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, 2018	Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC–BC	Untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah kantong plastik kresek bekas sebagai bahan substitusi aspal pen 60/70 terhadap karakteristik Marshall pada campuran Laston AC-BC.
8	[1]	Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 2019	Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek	Mengetahui kinerja durabilitas dan ketahanan terhadap deformasi alur (*wheel tracking*) dari campuran aspal AC-WC yang dimodifikasi menggunakan limbah plastik kresek.
9	[10]	Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 2023	Pemanfaatan Limbah Plastik Daur Ulang dari Polietilen Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambahan dalam Pembuatan Nanokomposit, Semen Mortar, dan Aspal	Mengkaji secara komparatif kontribusi struktural polimer daur ulang rPET dalam memperbaiki stabilitas termal, kekerasan, serta modulus penyimpanan pada aspal makro.
10	[3]	Jurnal Simetri, 2020	Pengaruh Limbah Plastik *Polyethylene* Sebagai Aspal Polimier Ditinjau Dari Uji Sifat Marshall	Menganalisis pengaruh penggunaan plastik berjenis LLDPE sebesar 5% dan 7% sebagai pensubstitusi sebagian aspal pengikat terhadap kinerja stabilitas lapis aus AC-WC.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan kajian terhadap sepuluh artikel terdahulu, analisis unit amatan dari hasil pengujian mekanis masing-masing artikel literatur memberikan visualisasi kuantitatif yang bervariasi mengenai efektivitas polimer plastik dalam memperbaiki mutu perkerasan jalan. Secara umum, parameter yang diamati mengacu pada indikator pengujian Marshall konvensional serta uji durabilitas khusus.

Tabel 2. Unit Amatan Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Campuran Pembuatan Aspal

No	Nama Pengarang	Jurnal/Tahun	Unit amatan
1	[6]	Jurnal Gradasi Teknik Sipil, 2024	• Stabilitas • Kelelehan (*flow*), • Rongga dalam campuran (*VIM*) • Durabilitas
2	[7]	Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 2021	• Limbah plastik pada campuran aspal *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).
3	[5]	Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil , 2023	• Pengaruh limbah plastik pada campuran laston AC-WC • Uji Marshall
4	[8]	Prosiding Seminar Nasional Teknik (SENASTIKA), 2024	• Uji Marshall • Permeabilitas.
5	[2]	Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, 2018	• Uji Marshall
6	[9]	Jurnal Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman, 2019	• Modifikasi polimer plastik LDPE
7	[4]	Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, 2018	• Uji Marshall pada campuran Laston AC-BC.
8	[1]	Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 2019	• Durabilitas • Ketahanan
9	[10]	Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 2023	• Polimer • Stabilitas termal, • Kekerasan, • Modulus penyimpanan pada aspal makro.

No	Nama Pengarang	Jurnal/Tahun	Unit amatan
10	[3]	Jurnal Simetri, 2020	• Stabilitas lapis aus AC-WC.

Sumber : Data olahan peneliti

Dari hasil amatan ke sepuluh jurnal maka didapat unit amatan yang selalu menjadi faktor penting dalam penelitian adalah : Stabilitas, Durabilitas, Limbah Plastik, Uji Marshall, Permeabilitas, Polimer.

A. Stabilitas

Faktor stabilitas sangat penting dalam pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal karena menentukan kemampuan perkerasan jalan dalam menahan beban lalulintas dan perubahan cuaca tanpa mengalami deformasi permanen (seperti alur atau rutting). Nilai stabilitas yang memenuhi standar menjamin keawetan struktur jalan.

Alasan Stabilitas Penting pada Aspal Plastik

- **Ketahanan Beban Berat**: Stabilitas tinggi membuat lapisan aspal tidak mudah bergelombang atau rusak saat dilewati kendaraan berat secara terus-menerus.
- **Resistensi Terhadap Suhu**: Iklim panas dapat membuat aspal lunak; penambahan polimer plastik meningkatkan titik leleh dan kekakuan struktur campuran.
- **Mencegah Deformasi**: Angka stabilitas yang optimal memastikan perkerasan jalan tahan terhadap perubahan bentuk akibat tekanan statik maupun dinamik.
- **Keamanan Spesifikasi Teknik**: Pengujian parameter Marshall memastikan penambahan limbah plastik benar-benar menaikkan mutu dan memenuhi syarat minimal Bina Marga, bukan justru melemahkan struktur.

B. Durabilitas

Faktor durabilitas (ketahanan) sangat penting dalam pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal karena menentukan apakah inovasi jalan raya ini benar-benar kuat menahan beban berat, tidak mudah retak akibat perubahan cuaca ekstrem, serta memberikan nilai keekonomisan jangka panjang bagi infrastruktur.

Alasan Utama Durabilitas Sangat Penting

- **Ketahanan Beban:** Campuran polimer plastik membuat struktur perkerasan jalan lebih kaku dan tidak mudah membentuk alur atau deformasi permanen (rutting) saat dilindas kendaraan berat secara terus-menerus**.**
- **Tahan Cuaca Ekstrem:** Penambahan limbah plastik meningkatkan titik leleh binder aspal, sehingga permukaan jalan tidak mudah melunak di bawah terik matahari panas dan tidak cepat retak saat terkena air hujan**.**
- **Efisiensi Biaya Perawatan:** Tingkat durabilitas yang tinggi berarti frekuensi kerusakan seperti jalan berlubang berkurang drastis, yang otomatis menekan anggaran biaya pemeliharaan infrastruktur jalan**.**
- **Keberhasilan Ekonomi Sirkular:** Memastikan bahwa sampah plastik yang diolah menjadi *green asphalt* memiliki usia pakai yang panjang dan sebanding atau melampaui aspal konvensional, bukan sekadar memindahkan masalah timbunan limbah ke badan jalan.

- **Ketahanan Beban:** Campuran polimer plastik membuat struktur perkerasan jalan lebih kaku dan tidak mudah membentuk alur atau deformasi permanen (rutting) saat dilindas kendaraan berat secara terus-menerus**.**
- **Tahan Cuaca Ekstrem:** Penambahan limbah plastik meningkatkan titik leleh binder aspal, sehingga permukaan jalan tidak mudah melunak di bawah terik matahari panas dan tidak cepat retak saat terkena air hujan**.**
- **Efisiensi Biaya Perawatan:** Tingkat durabilitas yang tinggi berarti frekuensi kerusakan seperti jalan berlubang berkurang drastis, yang otomatis menekan anggaran biaya pemeliharaan infrastruktur jalan**.**
- **Keberhasilan Ekonomi Sirkular:** Memastikan bahwa sampah plastik yang diolah menjadi *green asphalt* memiliki usia pakai yang panjang dan sebanding atau melampaui aspal konvensional, bukan sekadar memindahkan masalah timbunan limbah ke badan jalan

C. Limbah Plastik

Limbah plastik sangat penting dalam pembuatan aspal karena jenis, kebersihan, dan kadar polimer menentukan kekuatan struktur jalan. Pemilihan jenis yang tepat seperti Low Density Polyethylene (LDPE) atau High Density Polyethylene (HDPE) meningkatkan stabilitas dan elastisitas aspal, sementara pengendalian kualitas yang ketat mencegah kerusakan lingkungan.

Dalam Peningkatan Kualitas dan Kekuatan Jalan ada faktor-faktor yang harus diperhatikan yaitu :

- **Stabilitas tinggi:** Penambahan cacahan plastik membuat ikatan antar agregat dan aspal menjadi jauh lebih kuat.
- **Tahan deformasi:** Lapisan aspal tidak mudah membentuk alur atau jejak roda saat dilalui kendaraan berat.
- **Fleksibilitas:** Sifat polimer memberikan kelenturan sehingga permukaan jalan tidak mudah retak akibat perubahan suhu.
- **Ketahanan air:** Campuran plastik mengurangi porositas, membuat aspal lebih kedap air dan tidak mudah terkelupas.

Standar Teknis dan Pengelolaan Limbah yang digunakan adalah sebagai berikut :

- **Polimer spesifik:** Hanya jenis tertentu seperti LDPE (kantong kresek), HDPE, atau Polypropylene (PP) yang kompatibel dengan sifat viskositas aspal panas.
- **Kondisi bersih dan kering:** Cacahan plastik harus bebas dari kotoran, minyak, dan bahan organik agar tidak merusak ikatan kimia campuran beraspal.
- **Kontrol kadar optimal:** Penggunaan umumnya berkisar antara 4% hingga 6% dari berat aspal (atau variasi riset hingga 13% HDPE) guna menghindari sifat aspal yang terlalu kaku atau getas.

Dampak Lingkungan dan Ekonomi

- **Reduksi sampah:** Mengalihkan volume besar limbah plastik rumah tangga dari tempat pembuangan akhir atau lautan langsung menjadi infrastruktur publik yang berkelanjutan.
- **Efisiensi jangka panjang:** Daya tahan umur rencana jalan yang lebih panjang menekan anggaran biaya pemeliharaan rutin dalam jangka panjang

D. Uji Marshall

Dalam pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal maka perlu Uji Marshall karena metode ini mengukur nilai stabilitas dan karakteristik volumetrik secara akurat. Pengujian ini memastikan bahwa sampah plastik yang ditambahkan benar-benar meningkatkan kekuatan struktur jalan tanpa menurunkan tingkat fleksibilitas ataupun ketahanan terhadap retak dan deformasi.

Alasan Utama Uji Marshall harus dilakukan yaitu :

- **Mengukur Stabilitas**: Mengetahui tingkat kemampuan campuran aspal menahan beban berat kendaraan tanpa mengalami perubahan bentuk permanen.
- **Menilai Nilai Flow (Kelelehan):** Memastikan kelenturan aspal tetap terjaga sehingga tidak terlalu kaku atau mudah retak akibat perubahan suhu.
- **Analisis Rongga (VIM, VMA, VFB):** Menghitung besar rongga dalam campuran untuk menjamin kedap air dan udara agar perkerasan tidak cepat rusak.
- **Menentukan Kadar Optimum:** Menemukan komposisi persentase limbah plastik dan kadar aspal paling ideal sesuai standar teknis yang berlaku

E. Permeabilitas

Faktor permeabilitas sangat penting dalam pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal karena menentukan tingkat porositas atau kemampuan air meresap ke dalam perkerasan jalan. Penambahan serpihan atau polimer plastik (seperti HDPE atau LDPE) berfungsi mengisi rongga kosong antar-agregat, sehingga menurunkan nilai permeabilitas dan membuat struktur aspal lebih padat serta kedap air**.**

Faktor Permeabilitas pada Aspal Plastik sangat penting karena :

- **Mencegah Masuknya Air:** Penurunan tingkat permeabilitas berarti air hujan atau genangan sulit meresap ke dalam lapisan fondasi jalan.
- **Menghindari Kerusakan Dini:** Air yang terjebak di dalam rongga aspal dapat melemahkan ikatan antara bitumen dan agregat, yang memicu pengelupasan (raveling) atau retak.
- **Meningkatkan Ketahanan Beban:** Struktur rongga yang rapat dan kedap air membuat konstruksi jalan tidak mudah mengalami alur (rutting) atau deformasi saat dilalui kendaraan berat.
- **Kontrol Kualitas Campuran:** Menguji nilai permeabilitas memastikan bahwa komposisi daur ulang plastik yang dicampurkan tidak berlebihan atau kurang, sehingga memenuhi spesifikasi teknis jalan raya yang awet dan tahan

F. Polimer

Faktor polimer sangat penting karena struktur kimia plastik (seperti HDPE atau LDPE) mengubah sifat reologi bitumen. Polimer meningkatkan elastisitas, ketahanan terhadap alur (rutting), dan stabilitas termal campuran aspal. Hal ini membuat jalan raya jauh lebih kuat, tidak mudah lembek saat panas, dan memperpanjang umur pakai perkerasan jalan**.**

Keunggulan Teknis Polimer dalam Aspal.

- **Kekuatan Mekanis:** Polimer meningkatkan ketahanan terhadap beban berat kendaraan sehingga aspal tidak mudah retak atau berlubang**.**
- **Stabilitas Suhu:** Plastik polimer membuat aspal lebih tahan terhadap suhu tinggi di siang hari yang biasanya membuat aspal biasa menjadi lembek.
- **Kedap Air:** Campuran polimer menutup pori-pori aspal dengan lebih rapat. Hal ini mencegah air meresap dan merusak lapisan fondasi jalan.
- **Manfaat Lingkungan dan Ekonomi Pengurangan Limbah:** Pemanfaatan ini menyerap banyak sampah plastik rumah tangga dan industri yang sulit diurai oleh alam.
- **Efisiensi Biaya:** Umur jalan yang lebih panjang mengurangi frekuensi perbaikan jalan sehingga menghemat anggaran pemerintah dalam jangka panjang.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis komparatif terhadap sepuluh jurnal ilmiah mengenai pengolahan limbah plastik menjadi bahan campuran aspal, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama, yaitu

1. Stabilitas Pemanfaatan limbah plastik (PET, LDPE, LLDPE, PS, dan kresek) terbukti secara empiris mampu meningkatkan karakteristik mekanis campuran aspal.
2. Durabilitas limbah plastik dalam campuran untuk pembuatan aspal menunjukkan kenaikan signifikan pada uji Marshal
3. Batas kadar optimum penggunaan limbah plastik pada sebagian besar jenis campuran perkerasan lentur (AC-WC, AC-BC, HRS-WC) berada pada rentang 4% hingga 6% terhadap berat aspal, sedangkan untuk jenis aspal porus direkomendasikan lebih rendah, yaitu 2% hingga 4%, guna menjaga fungsi drainase dan permeabilitas air tetap optimal. Pemanfaatan limbah plastik dalam skala industri perkerasan jalan mendukung konsep sirkular ekonomi dan pembangunan berkelanjutan melalui pengurangan polusi sampah plastik serta efisiensi biaya pemeliharaan jalan jangka Panjang.
4. Uji Marshal sangatlah penting karena mengukur nilai stabilitas dan karakteristik volumetrik secara akurat dalam pembuatan aspal/
5. Penambahan polimer plastik mengubah propertis reologi aspal murni menjadi lebih kaku dan meningkatkan titik lembek, sehingga perkerasan jalan menjadi lebih tahan terhadap deformasi permanen (*rutting*) akibat beban lalu lintas berat dan cuaca tropis.

Daftar Pustaka

[1] I. Susanto and N. Suaryana, "Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 17, no. 2, pp. 27–36, 2019.

[2] A. Susilowati, E. Wiyono, and P. Pratikto, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah pada Beton Aspal Campuran Panas," *Bangun Rekaprima*, vol. 7, no. 2, pp. 15–23, 2021.

[3] D. Suita and D. R. Dirgantara, "Pengaruh Limbah Plastik Polythylene Sebagai Aspal Polimer Ditinjau dari Uji Sifat Marshall," *Jurnal Simetri Rekayasa*, vol. 2, no. 1, pp. 129–132, 2020.

[4] S. Fitri, S. M. Saleh, and M. Isya, "Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Subsitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC – BC," *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, vol. 1, no. 3, pp. 737–748, 2018.

[5] M. Gunawan Perdana, A. Abdurrahman, and A. N. Wahyuni, "Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Lapis Aus AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course)," *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 232–246, 2023.

[6] L. H. U. W. Mouwlaka, M. Sa'dillah, and G. D. Pandulu, "Pengaruh Pengisian Rongga Campuran Aspal Porus Menggunakan Limbah Plastik PET (Polyehylene Therephthalate)," *Jurnal Gradasi Teknik Sipil* vol. 8, no. 1, pp. 30–39, 2024.

[7] P. P. Hudoyo, D. Riani, and R. Robby, "Analisis Penggunaan Limbah Plastik Jenis Polystyrene (PS) Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran (HRS-WC)," *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 25–35, 2021.

[8] M. D. Maulana, A. Surya, and T. A. Rachman, "Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik dengan Tipe Polyethlene Terephthalate (PET) Sebagai Subsitusi Agregat pada Campuran Aspal Berpori," *Jurnal Penelitian Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 61–87, 2024.

[9] B. Afriyanto, E. W. Indriyati, and P. Hardini, "Pengaruh Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Dasar Aspal," *Jurnal Transportasi*, vol. 19, no. 1, pp. 59–66, 2019.

[10] L. W. Utomo and A. Susi, "Pemanfaatan Limbah Plastik Daur Ulang dari Polietilen Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambahan dalam Pembuatan Nanokomposit, Semen Mortar, dan Aspal," *Jurnal Teknologi Lahan Basah* vol. 11, no. 1, pp. 164–179, 2023.