

Perbaikan Sifat Aspal Penetrasi 60-70 Menggunakan Bahan Tambah Polimer Polypropylene (PP)

* Gilang Nugraha¹, Rina Budiarti², Siegfried Syafier³

^{1,2} Universitas Langlangbuana, Jl. Karapitan No.116, Bandung 40261, Jawa Barat.

³ Jurusan sipil, FTEKNIK UNLA, Bandung

ARTICLE INFORMATION

Received: October 04, 2025

Revised: October 27, 2025

Accepted: October 29, 2025

Available online: October 30, 2025

KEYWORDS

Modified asphalt, Polypropylene, Reflux method, TFOT, Thermal stability, Storage stability

* CORRESPONDENCE

gilangnugraha@gmail.com

ABSTRACT

Asphalt modification using polymer-based additives is an effective approach to enhance the resistance of pavement binders against plastic deformation (rutting) and high-temperature softening. The present study focuses on the modification of penetration grade 60-70 asphalt using pure polypropylene (PP) to improve stiffness and thermal stability. The novelty of this study lies in the use of a reflux method to soften the polymer prior to mixing, aiming to achieve a more homogeneous blend and avoid thermal degradation. Polypropylene was added at concentrations of 0%, 1%, 3%, and 5% by weight of asphalt. Physical and thermal properties, including penetration, softening point, viscosity, ductility, flash point, solubility, specific gravity, and Thin Film Oven Test (TFOT), were evaluated in accordance with the Indonesian National Standards (SNI). The results indicate a reduction in penetration (61.8 to 49.7), an increase in softening point (49.5°C to 53.2°C), and an improvement in viscosity (424 cSt to 592 cSt), while ductility decreased from >140 cm to 122 cm. The 5% PP modification yielded the highest stiffness and thermal stability while maintaining compliance with all mandatory specifications, including post-aging properties such as penetration and ductility after TFOT. Although storage stability was not assessed due to equipment limitations, these findings highlight the potential of the reflux-based PP modification technique for producing homogeneous and high-performance asphalt binders suitable for hot climates.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia menuntut tersedianya infrastruktur jalan yang andal, tahan terhadap beban berulang, serta mampu beradaptasi dengan kondisi iklim tropis. Dalam sistem perkerasan lentur, aspal berfungsi sebagai bahan pengikat utama karena sifat termoplastisnya, yakni mampu melunak pada suhu tinggi dan mengeras kembali saat suhu rendah [1]. Namun, aspal konvensional memiliki sejumlah keterbatasan, seperti mudah mengalami deformasi plastis, retak akibat perubahan suhu, serta menurunnya performa akibat proses penuaan termal dan beban lalu lintas berulang [1].

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan performa aspal adalah modifikasi menggunakan bahan tambah berbasis polimer. Polypropylene (PP), yang merupakan polimer termoplastik dengan titik leleh tinggi dan kestabilan kimia baik, telah banyak diteliti karena potensinya dalam meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi dan suhu ekstrem [2]. Berbagai studi menunjukkan bahwa penambahan PP mampu meningkatkan titik leleh dan viskositas, serta menurunkan nilai penetrasi dan daktilitas aspal. Hal tersebut mengindikasikan peningkatan kekakuan dan stabilitas termal [3], [4], [5]. Selain pada aspal,

pemanfaatan PP juga telah diterapkan pada beton dan terbukti meningkatkan kuat tekan serta lentur material [6]. Penelitian lain juga mengemukakan bahwa bahan tambah berbasis mineral seperti nano fly ash dapat memperbaiki karakteristik termal aspal, meskipun melalui mekanisme yang berbeda [7]. Dalam konteks aspal modifikasi, peningkatan ini secara langsung ditujukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis (rutting) pada suhu tinggi, yang menjadi salah satu parameter kunci dalam kinerja perkerasan lentur tropis.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kadar PP antara 1% hingga 5% umumnya memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik fisik aspal [3], [5], [8]. Meskipun demikian, pada kadar tinggi ($\geq 5\%$) beberapa studi melaporkan penurunan homogenitas dan kelarutan, serta munculnya segregasi material dalam campuran [5], [8]. Selain itu, efek penambahan PP terhadap daktilitas dan titik lembek tidak selalu linear, karena dipengaruhi oleh metode pencampuran dan suhu proses yang digunakan. Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan metode pencampuran langsung tanpa proses pelunakan, yang sering kali menghasilkan campuran kurang homogen antara PP dan aspal.

Dalam penelitian ini digunakan metode refluks sebagai pendekatan alternatif untuk melunakkan polypropylene dalam sistem tertutup sebelum dicampurkan ke dalam aspal. Secara ilmiah, metode ini bekerja dengan memanaskan PP dalam pelarut etilen glikol di bawah sistem kondensasi tertutup, sehingga suhu pemanasan dapat dikontrol dan mencegah degradasi termal polimer. Proses ini memungkinkan pelunakan molekul PP secara merata, yang meningkatkan dispersi polimer saat pencampuran dengan aspal cair. Dengan demikian, metode refluks diharapkan dapat mengatasi keterbatasan homogenitas yang dilaporkan pada metode pencampuran langsung, serta menghasilkan campuran yang lebih stabil secara fisik dan termal. Fokus penelitian ini diarahkan pada karakteristik aspal murni (tanpa agregat), sehingga hasilnya dapat memberikan gambaran dasar mengenai perubahan sifat fisik dan termal akibat modifikasi PP sebelum diterapkan lebih lanjut pada campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan polypropylene murni terhadap sifat fisik dan termal aspal Penetrasi 60-70 dengan menggunakan metode refluks. Variasi kadar PP yang digunakan adalah 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap berat aspal. Parameter pengujian meliputi penetrasi, titik lembek, daktilitas, viskositas kinematis, berat jenis, titik nyala, kelarutan, dan kehilangan berat akibat pemanasan. Seluruh hasil pengujian dianalisis dengan membandingkan nilai setiap parameter terhadap batas spesifikasi pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 [9]. Penelitian ini tidak mencakup parameter rheologi lanjutan maupun stabilitas penyimpanan, sehingga pada tahap berikutnya diperlukan verifikasi terhadap aspek-aspek tersebut untuk memastikan kelayakan penerapan hasil modifikasi pada skala aplikasi yang lebih luas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Aspal UPTD Laboratorium Bahan Konstruksi Provinsi Jawa Barat. Fokus penelitian adalah mengamati pengaruh penambahan polypropylene (PP) terhadap sifat fisik dan termal aspal Penetrasi 60-70, dengan menggunakan metode pelunakan berbasis refluks.

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang digunakan adalah aspal keras Penetrasi 60-70 dan polypropylene (PP) murni berbentuk butiran granul. Untuk melunakkan PP digunakan pelarut ethylene glycol (EG) karena memiliki titik didih tinggi ($\pm 197^\circ\text{C}$) dan stabil secara kimia.

Peralatan utama yang digunakan antara lain:

- Perangkat refluks: labu alas bulat 500 mL, kondensor pendingin air, dan pemanas listrik dengan kontrol suhu.
- Peralatan pengujian fisik: penetrometer, alat Ring and Ball, daktilometer, Saybolt Furol viscometer, oven TFOT, Cleveland Open Cup, piknometer, dan alat uji kelarutan.



Gambar 1 Alat pelunakan polypropylene (PP) dengan metode refluks (dokumen penelitian)

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan utama sebagai berikut:

➤ Pelunakan Polypropylene (PP)

Proses pelunakan PP dilakukan menggunakan metode refluks dalam sistem tertutup untuk mencegah kehilangan pelarut dan menjaga kestabilan suhu selama pemanasan. Pendekatan ini mengacu pada penelitian terdahulu [10] dengan beberapa penyesuaian parameter proses untuk menghasilkan pelunakan yang lebih optimal dan campuran yang homogen. Pelunakan Polypropylene (PP)

Tahapan prosesnya adalah sebagai berikut:

1. Rasio pelarut-PP ditetapkan sebesar 5 mL ethylene glycol untuk setiap gram PP (5 mL/g), sehingga seluruh butiran PP terendam sempurna di dalam pelarut.
2. Campuran dimasukkan ke dalam labu refluks dan dipanaskan pada suhu 160–170 °C menggunakan pemanas listrik dengan kontrol suhu otomatis.
3. Pemanasan dilakukan selama ± 90 menit sambil menjaga sirkulasi air pendingin pada kondensor agar uap pelarut mengembun kembali ke sistem.
4. Setelah proses refluks selesai, PP yang telah melunak dibiarkan menurun suhunya hingga sekitar 130 °C sebelum dicampurkan ke dalam aspal.

Metode ini memungkinkan pelunakan molekul PP secara merata tanpa menyebabkan degradasi termal atau oksidasi, serta menghasilkan fase polimer yang lebih mudah menyatu dalam aspal cair.

➤ Pencampuran Aspal dan PP

Proses pencampuran dilakukan secara manual dalam kondisi pemanasan terkendali agar aspal tetap homogen dan tidak mengalami over-heating.

1. Aspal dipanaskan hingga mencapai suhu 150 ± 5 °C untuk memperoleh viskositas yang sesuai bagi proses pencampuran.
2. PP yang telah dilunakkan dari proses refluks ditambahkan perlahan ke dalam aspal cair sambil diaduk secara kontinu.
3. Pengadukan dilakukan selama 10–15 menit hingga campuran menjadi homogen secara visual, tanpa adanya fase terpisah atau gumpalan polimer.
4. Variasi kadar PP yang digunakan yaitu 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap berat aspal.

Metode ini memungkinkan pelunakan molekul PP secara merata tanpa menyebabkan degradasi termal atau oksidasi, serta menghasilkan fase polimer yang lebih mudah menyatu dalam aspal cair.



Gambar 2 Aspal yang dicampur polypropylene (PP) tanpa pelunakan terlebih dahulu (dokumen penelitian)

Gambar tersebut menunjukkan bahwa tanpa pelunakan, PP tidak dapat tercampur sempurna dalam aspal, sehingga metode refluks digunakan untuk menghasilkan campuran yang homogen secara fisik.

➤ **Pengujian Sifat Fisik dan Termal**

Setelah pencampuran, setiap sampel diuji terhadap delapan parameter fisik dan termal: penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, titik nyala, kelarutan, viskositas kinematis, dan kehilangan berat akibat pemanasan. Selain itu, dilakukan pengujian tambahan terhadap penetrasi dan daktilitas setelah uji penuaan menggunakan metode TFOT.

2.3 Standar Acuan dan Evaluasi

Evaluasi hasil dilakukan dengan membandingkan nilai parameter terhadap batas spesifikasi yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 [9]. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif untuk menilai pengaruh variasi kadar PP terhadap perubahan sifat fisik dan termal aspal.

Tabel 1 Tabel Pengujian Aspal (Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 revisi 2)

Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Aspal Pen 60-70	Aspal Modifikasi		Aspal Modifikasi Elastomer Sintesis
			PG70	PG76	
Penetrasi pada 25°C (0.1 mm)	SNI 2456 : 2011	60-70	Dilaporkan		Min.40
Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinδ) pada osilasi 10 rad/detik ≥ 1,0 kPa) (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70		-
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan		≥ 54
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000		≤ 3000
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-		≥ 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	> 230		≥ 232
Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99		≥ 99
Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1.0	-		≥ 1.0
Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤ 2.2		≤ 2.2
Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI-0602440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)					
Berat yang Hilang (%)	SNI-06-2440-1991	≤ 0,8	≤ 0,8		≤ 0,8
Temperatur yang menghasilkan geser dinamis (G*/sino) pada osilasi 10 rad/ det ≥ 2.2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70		60
Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54		≥ 54
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50		≥ 25

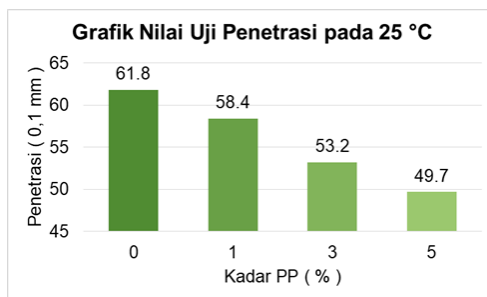
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan polypropylene (PP) terhadap sifat fisik dan termal aspal Penetrasi 60-70. Variasi kadar PP yang digunakan yaitu 0%, 1%, 3%, dan 5%. Setiap variasi diuji terhadap delapan parameter utama menggunakan metode uji standar, dan hasilnya dibandingkan dengan batas spesifikasi dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 [9].

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal (Hasil Pengujian 2025)

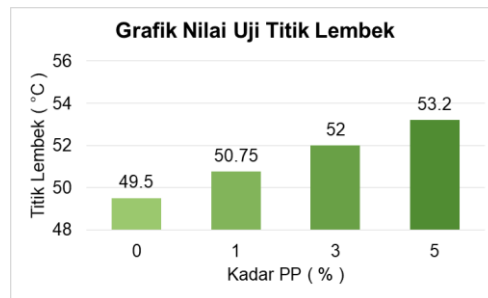
Pengujian	Hasil				Spek Aspal 60-70	Syarat Aspal Modifikasi		Spek Aspal Modifikasi Elastomer Sintesis	Satuan
	0%	1%	3%	5%		PG70	PG76		
Penetrasi	61.8	58.4	53.2	49.7	60-70	Dilaporkan		≥ 54	0,1 mm
Titik Lembek	49.5	50.8	52.0	53.2	≥ 48	Dilaporkan		≤ 3000	$^{\circ}\text{C}$
Viskositas	424	463	524	592	≥ 300	≤ 3000		≥ 100	cSt
Daktilitas	> 140	> 140	133	122	≥ 100	-		≥ 232	cm
Titik Nyala	322	318	312	305	≥ 232	> 230		≥ 99	$^{\circ}\text{C}$
Kelarutan	99.9066	99.7998	99.6011	99.3014	≥ 99	≥ 99		≥ 1.0	%
Berat Jenis	1.026	1.028	1.033	1.036	≥ 1.0	-		≥ 54	-
Kehilangan Berat (TFOT)	0.085	0.090	0.094	0.098	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$		$\leq 0,8$	%
Penetrasi setelah TFOT	74.60	74.14	73.68	73.24	≥ 54	≥ 54	≥ 54	≥ 54	%
Daktilitas setelah TFOT	> 140	136	125	106	≥ 50	≥ 50	≥ 25	≥ 25	cm

Seluruh parameter yang diuji dalam penelitian ini mengacu pada metode pengujian standar nasional Indonesia (SNI), tanpa mencakup parameter lain seperti modulus geser dinamis atau stabilitas penyimpanan. Fokus utama pengujian adalah untuk mengevaluasi perubahan karakteristik fisik dan termal aspal akibat penambahan polypropylene (PP) dalam variasi kadar tertentu. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 2 dan dibahas secara terperinci.



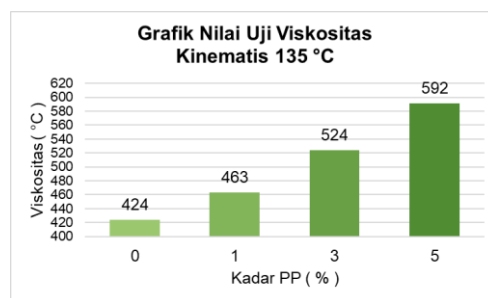
Gambar 3 Grafik Penetrasi (Hasil Pengujian 2025)

Pengujian penetrasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal dan mengacu pada metode standar [11]. Nilai penetrasi aspal murni sebesar 61,8 (0,1 mm) menurun menjadi 58,4 pada penambahan 1% PP, 53,2 pada 3% PP, dan 49,7 pada 5% PP. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan PP menyebabkan aspal menjadi lebih kaku.



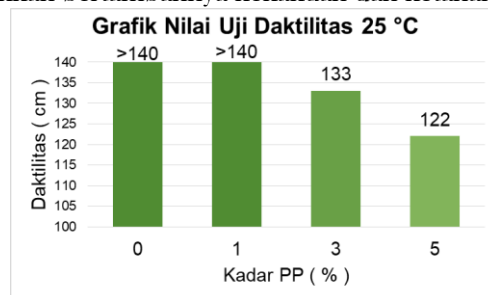
Gambar 4 Grafik Titik Lembek (Hasil Pengujian 2025)

Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui suhu minimum di mana aspal mulai melunak dan mengacu pada metode dalam pustaka [12]. Aspal murni memiliki titik lembek 49,5°C. Dengan penambahan PP, nilai meningkat menjadi 50,8°C (1%), 52,0°C (3%), dan 53,2°C (5%). Kenaikan ini mengindikasikan peningkatan ketahanan terhadap deformasi pada suhu tinggi.



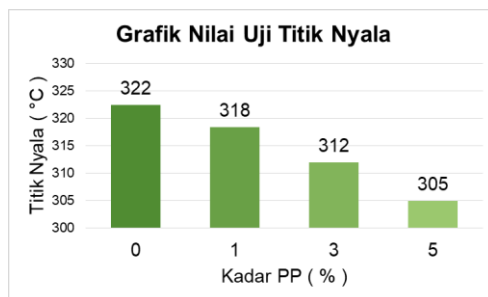
Gambar 5 Grafik Viskositas (Hasil Pengujian 2025)

Viskositas menunjukkan tingkat kekentalan aspal cair dan diukur dengan metode pada acuan [13]. Nilai viskositas meningkat dari 424 cSt menjadi 463 cSt (1%), 524 cSt (3%), dan 592 cSt (5%). Peningkatan ini menunjukkan bertambahnya kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi.



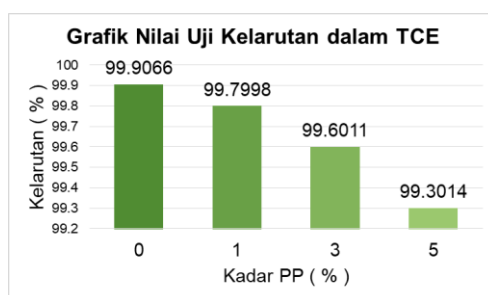
Gambar 6 Grafik Daktilitas (Hasil Pengujian 2025)

Uji daktilitas mengukur kelenturan aspal saat ditarik dan mengacu pada acuan [14]. Daktilitas aspal murni dan 1% PP menunjukkan nilai lebih dari 140 cm. Pada 3% PP turun menjadi 133 cm dan 122 cm pada 5% PP. Hasil ini menunjukkan penurunan elastisitas seiring peningkatan kadar PP.



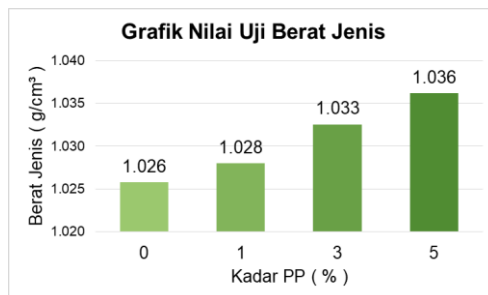
Gambar 7 Grafik Titik Nyala (Hasil Pengujian 2025)

Titik nyala menunjukkan suhu minimum saat uap aspal mulai terbakar, dan diuji menggunakan metode yang dirujuk pada pustaka [15]. Nilai menurun dari 322°C (0%) menjadi 318°C (1%), 312°C (3%), dan 305°C (5%). Meskipun menurun, semua nilai masih jauh di atas batas minimum.



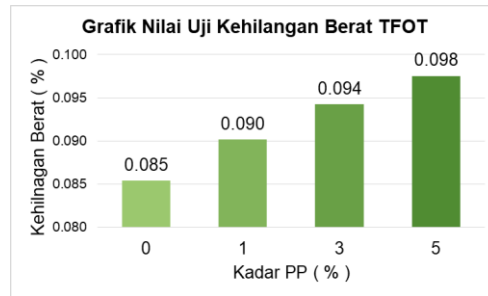
Gambar 8 Grafik Kelarutan (Hasil Pengujian 2025)

Uji kelarutan menunjukkan persentase bagian aspal yang larut sempurna dalam pelarut tertentu, mengacu pada pustaka [14]. Nilai kelarutan sedikit menurun dari 99,9066% menjadi 99,7998% (1%), 99,6011% (3%), dan 99,3014% (5%). Namun, seluruh nilai masih melebihi batas minimum.



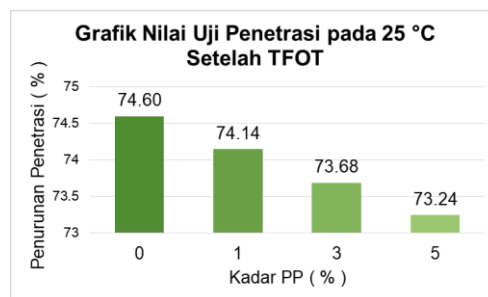
Gambar 9 Grafik Berat Jenis (Hasil Pengujian 2025)

Pengujian berat jenis bertujuan untuk mengetahui massa jenis material dan mengacu pada standar [17]. Berat jenis meningkat dari 1,026 gr/cm³ menjadi 1,028 (1%), 1,033 (3%), dan 1,036 (5%). Hal ini menunjukkan bahwa partikel PP meningkatkan kepadatan campuran.



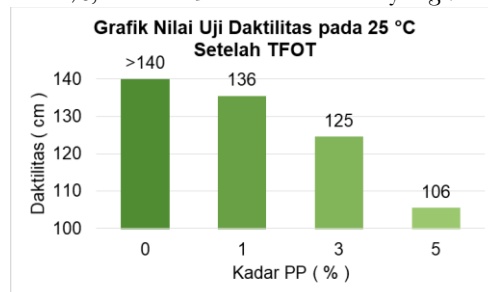
Gambar 10 Grafik Kehilangan Berat TFOT (Hasil Pengujian 2025)

Kehilangan berat akibat pemanasan (uji TFOT) menunjukkan stabilitas termal aspal setelah proses penuaan awal, dengan metode dari pustaka [18]. Nilainya meningkat dari 0,085% menjadi 0,090% (1%), 0,094% (3%), dan 0,098% (5%). Semua hasil tetap di bawah batas maksimum.



Gambar 11 Grafik Penetrasi setelah TFOT (Hasil Pengujian 2025)

Setelah TFOT, penetrasi dinyatakan dalam persentase terhadap nilai awal. Nilai penetrasi menunjukkan hasil 74,60% pada 0%, 74,14% (1%), 73,68% (3%), dan 73,24% (5%). Semua nilai masih jauh di atas batas minimum 54%, menandakan ketahanan yang baik terhadap penuaan.



Gambar 12 Grafik Daktilitas setelah TFOT (Hasil Pengujian 2025)

Daktilitas setelah TFOT menunjukkan nilai >140 cm (0%), 136 cm (1%), 125 cm (3%), dan 106 cm (5%). Meskipun terjadi penurunan, seluruh nilai masih melebihi batas minimum 50 cm, yang menunjukkan bahwa fleksibilitas tetap terjaga.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan polypropylene (PP) mempengaruhi hampir seluruh parameter fisik dan termal aspal secara signifikan. Peningkatan kadar PP menyebabkan tren penurunan nilai penetrasi dan daktilitas, serta peningkatan pada titik lembek, viskositas, dan berat jenis. Hal ini mencerminkan bahwa PP meningkatkan kekakuan dan kestabilan termal aspal. Meskipun titik nyala dan kelarutan mengalami sedikit penurunan, nilainya masih jauh di atas batas minimum spesifikasi, sehingga campuran tetap aman dan stabil dari segi kimia dan keamanan pemanasan.

Perubahan sifat-sifat tersebut dapat dijelaskan melalui mekanisme fungsional polypropylene (PP) di dalam matriks aspal. Selama proses pencampuran, PP yang telah dilunakkan melalui metode refluks terdispersi secara halus dalam fase malten aspal. Ketika campuran

mendingin, rantai molekul PP mengalami kristalisasi parsial dan membentuk jaringan polimer semi-kristalin yang saling terhubung (interconnected polymer network). Struktur ini berfungsi memperkuat ikatan antar molekul aspal, meningkatkan kekakuan pada suhu tinggi, serta menurunkan mobilitas molekul aspal. Akibatnya, nilai penetrasi dan daktilitas menurun, sedangkan titik leleh dan viskositas meningkat. Mekanisme ini konsisten dengan hasil penelitian terdahulu [3], [5], [8], yang melaporkan bahwa pembentukan fase polimer kontinu dalam aspal meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis (rutting) dan stabilitas termal.

Hasil TFOT memperlihatkan bahwa kehilangan berat akibat pemanasan masih jauh di bawah batas maksimal, dan nilai penetrasi serta daktilitas setelah TFOT juga tetap memenuhi persyaratan. Ini menunjukkan bahwa campuran PP dengan aspal memiliki ketahanan yang baik terhadap penuaan termal. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian lain, seperti [3] dan [5], tren perubahan karakteristik fisik yang terjadi dalam penelitian ini cenderung konsisten, di mana viskositas dan titik leleh meningkat, sedangkan fleksibilitas sedikit menurun. Namun, metode pelunakan PP yang digunakan dalam penelitian ini memberikan keuntungan berupa pencampuran yang lebih homogen.

Dengan demikian, penambahan PP, terutama hingga kadar 5%, dapat dianggap memberikan peningkatan karakteristik termal dan kekakuan tanpa mengorbankan keamanan penggunaan atau ketahanan terhadap penuaan. Akan tetapi, karena stabilitas penyimpanan belum diuji, maka aspek ini menjadi penting untuk dikaji dalam penelitian lanjutan.

4. KESIMPULAN

1. Penambahan polypropylene (PP) terbukti mempengaruhi hampir seluruh parameter fisik dan termal aspal. Peningkatan kadar PP menyebabkan penurunan nilai penetrasi dan daktilitas, serta peningkatan pada titik leleh, viskositas, dan berat jenis. Hal ini menunjukkan bahwa PP mampu meningkatkan kekakuan dan stabilitas termal aspal.
2. Kadar 5% PP menghasilkan peningkatan kekakuan tertinggi dan performa termal terbaik tanpa melampaui batas spesifikasi teknis yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Pada kadar ini, nilai penetrasi dan daktilitas setelah TFOT masih berada dalam rentang yang disyaratkan, sehingga kadar 5% dapat dianggap sebagai komposisi optimum untuk aspal modifikasi berbasis PP.
3. Penggunaan metode refluks terbukti meningkatkan homogenitas pencampuran antara PP dan aspal, menghasilkan dispersi yang lebih merata dibandingkan metode pencampuran langsung. Hal ini berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas termal dan ketahanan terhadap deformasi plastis pada suhu tinggi.
4. Stabilitas penyimpanan (storage stability) merupakan parameter penting yang belum diuji dalam penelitian ini. Aspek ini menjadi keterbatasan utama penelitian dan direkomendasikan sebagai prioritas utama untuk penelitian lanjutan, mengingat stabilitas fase polimer terhadap pemisahan selama penyimpanan merupakan faktor penentu kelayakan aspal modifikasi PP dalam skala aplikasi lapangan.

5. SARAN

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian stabilitas penyimpanan (storage stability) terhadap aspal modifikasi PP. Parameter ini merupakan aspek penting dan wajib pada aspal modifikasi untuk menilai kestabilan fase polimer selama penyimpanan, serta menentukan kelayakan material sebelum digunakan pada skala produksi atau aplikasi lapangan.

2. Disarankan untuk melakukan pengujian lanjutan pada tingkat campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt - HMA) menggunakan aspal hasil modifikasi PP. Pengujian ini dapat meliputi Stabilitas Marshall, ketahanan terhadap deformasi permanen (rutting), serta ketahanan lelah (fatigue resistance) guna mengevaluasi sejauh mana peningkatan sifat aspal murni berpengaruh terhadap performa campuran di kondisi lapangan yang sesungguhnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Siegfried Syafier, Ir., M.Sc. selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya, serta kepada UPTD Laboratorium Bahan Konstruksi Bina Marga atas dukungan fasilitas dan teknis selama pelaksanaan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukirman, S., 2016, Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Ketiga, Cetakan Keempat, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- [2] Hadijah, I., dan Amrulloh, R., 2016, Pengaruh Tambahan Serat Polypropylene terhadap Campuran Aspal Beton AC-WC, TAPAK, Vol. 6, No. 1, pp. 1-5.
- [3] Sembiring, E., Rahman, H., dan Siswaya, Y.M., 2018, Utilization of Polypropylene to Substitute Bitumen for Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), International Journal of GEOMATE, Vol. 14, No. 42, pp. 97-102.
- [4] Susanto, H.A., Merdiana, K., dan Indriyati, E.W., 2021, Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Polypropylene (PP) terhadap Ketahanan Ravelling Campuran AC-WC, Jurnal Jalan-Jembatan, Vol. 38, No. 2, pp. 86-90.
- [5] Mahmood, R., Morshed, K., dan Rahma, N.M., 2018, Recycled Polypropylene to Improve Asphalt Physical Properties, International Journal of Civil Engineering and Technology, Vol. 9, No. 12, pp. 1260-1266.
- [6] Fadila, T., Khotimah, S. H., & Sudarsono, I. (2024). Effect of Adding Polypropylene Plastic Waste on Compressive Strength and Flexural Strength Concrete. CIVED, 11(3), 1098-1106.
- [7] Mulyawati, F., Jelita, F., Hanifah, W. S., & Syafier, S. (2024). Peningkatan Karakteristik Aspal Menggunakan Bahan Tambah Nano Fly Ash. Jurnal Rekayasa Infrastruktur, 10(2), 163-173.
- [8] Ullah, S., Qabur, A., Ullah, A., Aati, K., dan Abdelgiom, M.A., 2024, Enhancing High-Temperature Performance of Flexible Pavement with Plastic-Modified Asphalt, Polymers, Vol. 16, No. 2399.
- [9] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018, Spesifikasi Umum Bina Marga untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan, Revisi 2, Kementerian PUPR, Jakarta.
- [10] Fikri, H., Subagja, A., dan Manurung, A.S.D., 2020, Experimental Characteristic of PET Plastic Bottle Waste Addition on Asphalt Concrete Wearing Course Compound, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 732, Bandung.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, 2011, Cara Uji Penetrasi Aspal, SNI 2456:2011, BSN, Jakarta.

- [12] Badan Standardisasi Nasional, 2011, Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola, SNI 2434:2011, BSN, Jakarta.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, 2011, Cara uji Viskositas Aspal Pada Temperatur Tinggi Dengan Alat Saybolt Furol, SNI 7729:2011, BSN, Jakarta.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, 2011, Cara Uji Daktilitas Aspal, SNI 2432:2011, BSN, Jakarta.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, 2011, Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Alat Cleveland Open Cup, SNI 2433:2011, BSN, Jakarta.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, 2015, Cara Uji Kelarutan Aspal dalam Trikloroetilen, SNI 2438:2015, BSN, Jakarta.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, 2011, Berat Jenis Aspal, SNI 2441:2011, BSN, Jakarta.
- [18] Badan Standardisasi Nasional, 1991, Cara Uji Kehilangan Berat Aspal Akibat Pemanasan, SNI 06-2442-1991, BSN, Jakarta.