

PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN BERASPAL DARI ASPAL PEN 60/70 DAN ASPAL PG DI INDONESIA

Syaripin^{1*}, Niswah Selmi Kaffa¹, Tedy Pranadiarso¹, Ahmad Farid Ardiansyah¹, Gholiquil Amroth Alawy¹, dan Rohmahillah Aviskanasya Septiandri¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Jember, Jln. Kalimantan Tegalboto No.37, Jember, Jawa Timur, Indonesia

*syaripin.teknik@unej.ac.id

Masuk: 07-09-2025, revisi: 20-10-2025, diterima untuk diterbitkan: 26-10-2025

ABSTRACT

The selection of asphalt type plays a crucial role in determining pavement performance, particularly against moisture-induced damage. This study evaluates three types of asphalt, namely Pen 60/70, PG70, and PG76, using the Marshall mix design method. The results indicate that PG76 achieved the highest stability (2179 kg at 30 minutes and 2144 kg after 24 hours of immersion), followed by PG70 (1558–1551 kg), while Pen 60/70 showed the lowest values (1395–1219 kg). The highest flow was observed in Pen 60/70 (4.2–4.9 mm), indicating a more plastic behavior, whereas PG70 had the lowest flow (3.8–4.1 mm). The highest Marshall Quotient (MQ) was obtained with PG76 (487–438 kg/mm), and the lowest with Pen 60/70 (343–249 kg/mm). Retained Marshall Stability (RMS) analysis revealed that PG70 and PG76 achieved very high values (99.55% and 98.39%), compared to only 87.38% for Pen 60/70. These findings demonstrate that modified asphalts (PG70 and PG76) exhibit superior resistance to moisture damage and are therefore recommended for medium to heavy traffic roads in tropical regions with high rainfall.

Keywords: Modified Asphalt; Marshall Test; Retained Marshall Stability; Moisture Damage Resistance; Pavement Performance.

ABSTRAK

Pemilihan jenis aspal sangat menentukan kinerja perkerasan jalan, terutama terhadap kerusakan akibat air. Penelitian ini mengevaluasi tiga jenis aspal, yaitu Pen 60/70, PG70, dan PG76 dengan perancangan menggunakan metode uji Marshall. Hasil menunjukkan bahwa PG76 memiliki stabilitas tertinggi (2179 kg pada standar 30 menit dan 2144 kg setelah perendaman 24 jam), diikuti PG70 (1558–1551 kg), sedangkan Pen 60/70 terendah (1395–1219 kg). Nilai *flow* terbesar ditunjukkan oleh Pen 60/70 (4,2–4,9 mm), menandakan sifat plastis, sedangkan PG70 memiliki *flow* terendah (3,8–4,1 mm). MQ tertinggi diperoleh pada PG76 (487–438 kg/mm) dan terendah pada Pen 60/70 (343–249 kg/mm). Analisis *Retained Marshall Stability* (RMS) memperlihatkan PG70 dan PG76 memiliki nilai sangat tinggi (99,55% dan 98,39%), sedangkan Pen 60/70 hanya 87,38%. Hal ini menunjukkan bahwa aspal modifikasi (PG70 dan PG76) lebih tahan terhadap kerusakan akibat air, sehingga direkomendasikan untuk jalan dengan lalu lintas sedang hingga berat pada wilayah beriklim tropis dengan curah hujan tinggi.

Kata kunci: Aspal Modifikasi; Uji Marshall; *Retained Marshall Stability*; Ketahanan terhadap Air; Kinerja Perkerasan Jalan.

1. PENDAHULUAN

Transportasi berkembang dengan sangat pesat sejalan dengan peningkatan ekonomi, perubahan sosial, serta pertumbuhan penduduk. Kondisi ini menuntut tersedianya sarana dan prasarana transportasi yang memadai untuk memperkuat infrastruktur, sehingga mampu mendorong pertumbuhan ekonomi sekaligus meningkatkan kualitas layanan publik (Direktur Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR, 2020). Infrastruktur jalan merupakan salah satu indikator utama kemajuan dan peradaban suatu wilayah, di mana perkerasan jalan harus dirancang agar mampu memberikan tingkat layanan yang optimal bagi pengguna. Salah satu jenis perkerasan yang banyak digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang menggunakan bitumen sebagai bahan pengikat utama. Struktur perkerasan lentur umumnya terdiri atas tiga lapisan utama, yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), dan lapisan pondasi bawah (*subbase course*). Lapisan permukaan sering kali dibagi menjadi lapis aus (*wearing course*/AC-WC) dan lapis antara (*binder course*/AC-BC), yang keduanya menggunakan campuran aspal beton (Laston) sesuai pedoman spesifikasi umum bina marga (Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR, 2020a).

Di Indonesia, penggunaan aspal sebagai bahan utama dalam campuran beraspal sangat umum, dengan dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu Aspal Penetrasi (*Pen Grade*) dan Aspal *Performance Grade* (PG) (Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR, 2020b). Aspal Penetrasi diklasifikasikan berdasarkan nilai penetrasi jarum terhadap aspal pada suhu standar ASTM D5 (2020), yang mencerminkan kekerasan atau konsistensi aspal secara fisik. Sebaliknya, Aspal *Performance Grade* (PG) dikembangkan melalui sistem *Superpave* yang berorientasi pada kinerja aspal terhadap suhu dan kondisi lalu lintas, bukan semata-mata pada sifat fisiknya. Sistem PG mempertimbangkan kemampuan aspal dalam menghadapi *rutting* (deformasi permanen), *fatigue cracking*, dan *thermal cracking*, sehingga lebih mencerminkan kinerja aktual di lapangan (Hadi, 2021; Lu et al., 2022; Marizka, 2021). Perbedaan sistem grading ini menyebabkan karakteristik mekanik campuran beraspal berbeda secara signifikan, terutama dalam hal stabilitas, *flow*, Marshall *Quotient* (MQ), dan *Retained Marshall Stability* (RMS), yang merupakan parameter utama dalam metode uji Marshall. Aspal Pen 60/70 memiliki viskositas lebih rendah dan bersifat lebih plastis, sehingga menghasilkan stabilitas yang relatif lebih rendah dan *flow* yang lebih besar. Sebaliknya, aspal modifikasi berbasis PG seperti PG70 dan PG76 memiliki modulus kekakuan dan stabilitas yang lebih tinggi, sehingga mampu menahan beban lalu lintas berat dan suhu tinggi tanpa mengalami deformasi permanen yang signifikan (Mukhlis et al., 2021). Metode Marshall digunakan secara luas untuk mengevaluasi kinerja mekanik campuran beraspal panas, dengan parameter utama meliputi stabilitas, *flow*, dan MQ (ASTM D6927-22, 2022). Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan campuran menahan beban, *flow* menggambarkan deformasi plastis saat pembebanan, dan MQ merupakan rasio antara keduanya yang merepresentasikan kekakuan campuran. Sedangkan *Retained Marshall Stability* (RMS) digunakan untuk menilai ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat air (*moisture susceptibility*). RMS dihitung berdasarkan perbandingan antara nilai stabilitas setelah perendaman 24 jam dan 30 menit. Nilai RMS yang tinggi menunjukkan daya ikat aspal ke agregat yang baik dan ketahanan terhadap kerusakan akibat air (Syaripin et al., 2025).

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aspal modifikasi PG, terutama yang mengandung *polimer* seperti SBS, *polyurethane*, atau bahan limbah plastik, mampu meningkatkan stabilitas, elastisitas, dan ketahanan terhadap deformasi dibandingkan aspal Pen 60/70 (Eisa et al., 2021; Gunawan et al., 2023; Queiroz et al., 2023; Takaikaew et al., 2021). Selain itu, aspal PG juga memiliki nilai RMS yang lebih tinggi, menunjukkan ketahanan lebih baik terhadap air dan perubahan suhu ekstrem (Al-Saffar et al., 2024; Elnaml et al., 2023; Mahmood & Kattan, 2023).

Berdasarkan latar belakang dan teori tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja campuran beraspal yang digunakan di Indonesia, yaitu Pen 60/70, PG70, dan PG76, dengan fokus pada pemilihan jenis bitumen yang sesuai dengan kondisi wilayah dan iklim tropis. Dasar perbandingan dilakukan melalui analisis parameter *volumetric characteristic* dan *mechanical characteristic* menggunakan metode uji Marshall, serta evaluasi *Retained Marshall Stability* (RMS) untuk melihat ketahanan terhadap kerusakan akibat air. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai perbedaan kinerja antara aspal konvensional (Pen 60/70) dan aspal modifikasi (PG70 dan PG76), serta dapat memberikan rekomendasi praktis bagi perencana dan pelaksana proyek jalan dalam menentukan jenis bitumen yang paling sesuai. Dengan demikian, kualitas dan umur layan perkerasan jalan diharapkan dapat meningkat, sekaligus memberikan manfaat maksimal bagi pengguna jalan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium yang bertujuan untuk membandingkan kinerja campuran beraspal AC-BC menggunakan tiga jenis aspal yang umum digunakan di Indonesia, yaitu Aspal Pen 60/70, PG70, dan PG76. Pengujian dilakukan berdasarkan tahapan dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi ke-2 (2020) serta standar ASTM D6927-22 tentang uji Marshall. Tahapan penelitian dirancang secara berurutan dan terkendali, mulai dari persiapan material, perancangan campuran, pembuatan benda uji, hingga pengujian mekanik dan analisis hasil.

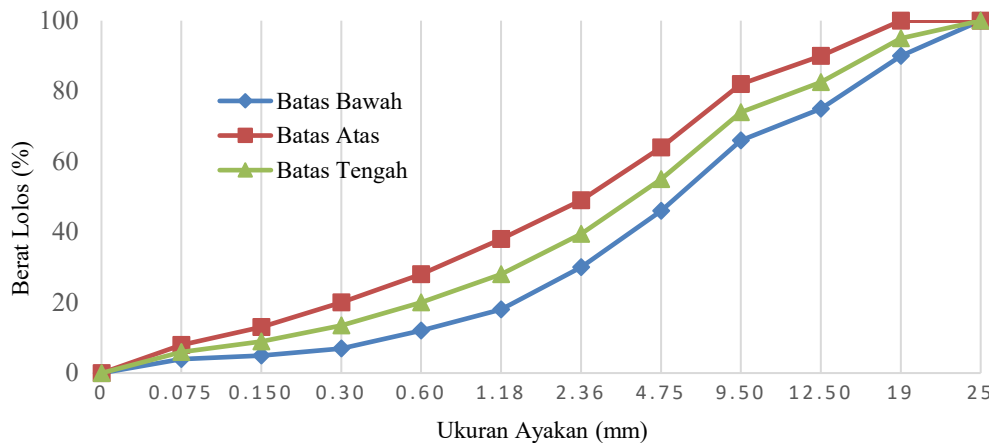
Bahan penelitian

Penelitian ini menggunakan campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dengan tiga jenis aspal: Aspal Pen 60/70, PG70, dan PG76. Ketiga jenis aspal diproduksi oleh PT Shell Indonesia melalui distributor resmi PT Buntaran Mega Inti, Bekasi. Dan agregat yang digunakan berasal dari sumber lokal yang telah memenuhi kriteria Spesifikasi Umum Bina Marga (2018 Revisi 2), meliputi: agregat kasar (tertahan saringan No.4 / 4,75 mm), agregat halus (lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200), serta *filler* (lolos saringan No.200 minimal 75%). Seluruh agregat harus dalam kondisi bersih, keras, awet, serta bebas dari lempung maupun bahan pengotor lainnya. Aspal atau bitumen digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal dengan sifat termoplastis, yang lunak pada suhu tinggi dan mengeras kembali saat suhu rendah, sehingga mampu merekatkan agregat menjadi struktur yang kompak dan kuat (ASTM D 8 - 02, 2002). Berdasarkan Asphalt Institute (2014), tiga karakteristik utama aspal meliputi kerentanan terhadap suhu, sifat viskoelastis, dan penuaan.

Tahapan penelitian campuran beraspal AC-BC

Tahapan penelitian dalam perancangan campuran beraspal:

1. Pemilihan dan Pengujian Bahan Penyusun Campuran
Tahap awal dilakukan pengujian sifat fisik agregat (analisis saringan, berat jenis, kadar air, keausan Los Angeles, dan kadar lumpur), serta pengujian sifat aspal (penetrasi, titik lembek, berat jenis, viskositas, dan duktilitas). Hanya bahan yang memenuhi standar spesifikasi yang digunakan untuk tahapan berikutnya.
2. Perancangan Gradasi Campuran
Gradasi campuran agregat ditentukan berdasarkan amplop gradasi AC-BC pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020). Proporsi agregat kasar, halus, dan *filler* diatur agar gradasi berada di antara batas bawah dan batas atas spesifikasi. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah melalui pengujian laboratorium dan terbukti memenuhi kriteria teknis yang berlaku. Campuran beraspal yang diterapkan adalah *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dengan gradasi campuran ditentukan berdasarkan rentang batas bawah dan batas atas amplop gradasi sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020). Gradasi rancangan tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gradasi target campuran

3. Penentuan Kadar Aspal Perkiraan
Berdasarkan Gambar 1, diperoleh komposisi campuran agregat yang disusun menurut ukuran dan jenisnya, yaitu agregat kasar, agregat halus, serta *filler*. Selanjutnya, ditentukan variasi kadar bahan pengikat (aspal) yang digunakan. Dalam penelitian ini dipilih lima variasi kadar aspal, masing-masing berbeda sebesar 0,5%, yang didasarkan pada perkiraan kadar aspal hasil perhitungan dari proporsi fraksi agregat sesuai gradasi rencana. Penentuan nilai kadar aspal acuan dilakukan menggunakan Persamaan 1.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \quad (1)$$

dengan:

- Pb = kadar aspal perkiraan (%).
- CA = agregat kasar tertahan ayakan No.4 (%).
- FA = agregat halus lolos ayakan No.4 dan tertahan ayakan No. 200 (%).
- Filler = agregat halus lolos ayakan No. 200 (%).
- K = konstanta, nilainya sekitar 0,5 – 1,0 untuk AC dan HRS.

Dengan menggunakan persamaan diatas didapatkan nilai kadar aspal perkiraan (Pb). Nilai tersebut divariasikan kadar aspal benda uji sebanyak 5 variasi dari masing-masing jenis aspal Pen 60/70, PG70, dan PG76 terhadap berat total campuran.

4. Desain campuran Benda Uji
Setiap campuran dibuat menggunakan agregat dan aspal yang telah dipanaskan pada suhu sesuai spesifikasi masing-masing jenis aspal. Proses pencampuran dilakukan hingga agregat terlapisi sempurna, lalu campuran dimasukkan ke dalam cetakan (*mould*) dan dipadatkan sesuai energi pemadatan standar (2×75 tumbukan) pada suhu pemadatan. Setelah didinginkan, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan dibiarkan pada suhu ruang ± 25°C selama 24 jam..
5. Pengujian Karakteristik Volumetrik
Setelah mengalami pendinginan, dihasilkan benda uji padat berbentuk silinder (*compacted paving mix*). Benda uji tersebut selanjutnya diukur dimensinya (tinggi dan diameter) serta ditimbang dalam tiga kondisi, yaitu kering, terendam air, dan *saturated surface dry* (SSD). Data penimbangan digunakan untuk menentukan parameter

volumetrik campuran, meliputi *bulk specific gravity of mix* (Gmb), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void in the Mix* (VITM), dan *Void Filled with Asphalt* (VFWA). Parameter volumetrik digunakan untuk menentukan keseimbangan antara rongga dan stabilitas campuran.

6. Pengujian Mekanik (*Marshall Test*)
Pengujian mekanik dilakukan dengan alat *Marshall Test Apparatus* berdasarkan ASTM D6927-22. Hasil pengujian memberikan parameter utama campuran, yaitu *Marshall Stability*/MS dan *Marshall Flow*/MF. Selanjutnya, nilai *Marshall Quotient*/MQ dihitung dari hasil perbandingan kedua parameter tersebut. Setiap sampel diuji dalam dua kondisi: kondisi setelah perendaman 30 menit (*Marshall Standard*), dan kondisi setelah perendaman 24 jam (*Marshall Immersion*) masing-masing sampel direndam di dalam *waterbath* pada suhu 60°C.
7. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)
Kadar aspal optimum ditentukan dengan metode *narrow range*, yaitu mengambil titik tengah berdasarkan evaluasi parameter volumetrik (*density*, VMA, VITM, dan VFWA), dan parameter mekanis (MS, MF, dan MQ) pada masing-masing variasi kadar aspal dan jenis campuran.
8. Uji Ketahanan terhadap Air (*Retained Marshall Stability*/RMS)
Untuk menilai ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat air, dihitung RMS menggunakan Persamaan 2.

$$RMS = \frac{MS \text{ 24 jam}}{MS \text{ 30 menit}} \times 100\% \quad (2)$$

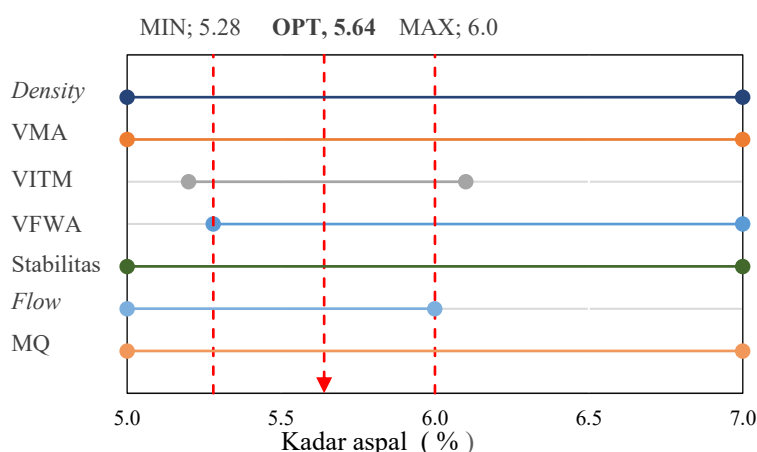
Nilai $RMS \geq 90\%$ menunjukkan ketahanan yang baik terhadap pengaruh air.

9. Analisis Statistik
Untuk memastikan perbedaan kinerja antar jenis aspal bersifat signifikan secara statistik, dilakukan analisis inferensial terhadap parameter hasil uji Marshall yang meliputi MS, MF, MQ, serta RMS. Data terlebih dahulu diuji normalitasnya dengan *Shapiro-Wilk test* dan homogenitas varians dengan *Levene's test* pada taraf signifikansi 5%. Apabila asumsi terpenuhi, perbandingan antar tiga jenis aspal (Pen 60/70, PG70, dan PG76) dianalisis menggunakan *One-Way ANOVA*, dilanjutkan dengan uji *Tukey HSD* untuk mengetahui pasangan kelompok yang berbeda nyata. Analisis dilakukan menggunakan RStudio, dengan kriteria $p < 0,05$ menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar jenis aspal terhadap parameter kinerja campuran beraspal.

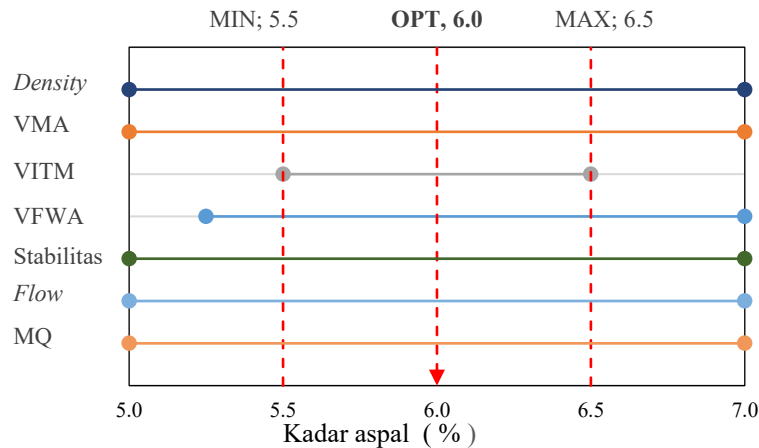
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik perancangan campuran beraspal AC-BC

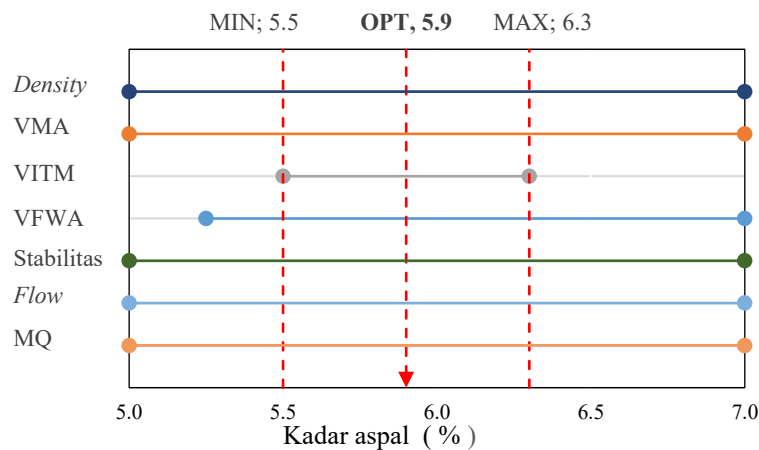
Perancangan campuran menghasilkan penentuan KAO pada lima variasi campuran. Penetapan KAO dilakukan dengan mempertimbangkan parameter karakteristik Marshall, meliputi aspek volumetrik dan mekanis, melalui analisis menggunakan metode *narrow range*. Metode ini menghasilkan rentang nilai KAO, kemudian nilai optimum ditentukan dengan mengambil titik tengah dari rentang tersebut pada setiap variasi campuran. Berdasarkan evaluasi terhadap karakteristik Marshall yang mencakup parameter volumetrik (*density*, VMA, VITM, dan VFWA) serta parameter mekanis (MS, MF, dan MQ) diperoleh nilai KAO untuk masing-masing variasi kadar aspal sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Penentuan KAO aspal Pen 60/70



Gambar 3. Penentuan KAO PG70



Gambar 4. Penentuan KAO PG76

Dari Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 menunjukkan penentuan nilai KAO menggunakan metode *narrow range*. Campuran Laston AC-BC yang menggunakan aspal Pen 60/70 memiliki *range* KAO yang relatif sempit (5,28% – 6,00%) dengan nilai KAO sebesar 5,64%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan aspal konvensional membutuhkan kadar aspal lebih rendah dibanding aspal modifikasi. Nilai ini sudah memenuhi keseimbangan antara stabilitas dan rongga. Aspal PG70 menunjukkan *range* KAO yang lebih tinggi (5,50% – 6,50%) dengan nilai optimum 6,00%. Aspal dengan grade performa lebih tinggi biasanya memiliki viskositas lebih besar, sehingga dibutuhkan kadar aspal lebih banyak untuk melapisi agregat dan memenuhi syarat volumetrik. Aspal PG76 *range* KAO berada pada 5,50% – 6,30% dengan nilai optimum 5,90%. Nilai ini sedikit lebih rendah dibanding PG70, tetapi lebih tinggi dibanding Pen 60/70. PG76 yang lebih kaku (*stiff*) menyebabkan kebutuhan aspal tidak setinggi PG70 untuk mencapai keseimbangan sifat campuran. Nilai KAO berdasarkan metode *narrow range* yaitu dengan mengambil nilai tengah dari karakteristik yang memenuhi persyaratan. KAO yang diperoleh dari keseluruhan rangkaian pengujian Marshall dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil penentuan nilai range KAO campuran beraspal AC-BC

Jenis Aspal	Range KAO (%)	KAO (%)
Pen 60/70	5,28 – 6,00	5,64
PG70	5,50 – 6,50	6,00
PG76	5,50 – 6,30	5,90

Berdasarkan Tabel 1. campuran beraspal dengan aspal Pen 60/70 memiliki *range* KAO sebesar 5,28%–6,00% dengan nilai optimum 5,64%. Nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan aspal modifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa aspal Pen 60/70 membutuhkan kadar aspal yang lebih sedikit untuk mencapai kondisi seimbang antara stabilitas dan rongga

dalam campuran. Namun demikian, penggunaan kadar aspal rendah pada aspal konvensional berpotensi menurunkan ketahanan terhadap kerusakan akibat beban lalu lintas berat.

Aspal PG70 memiliki *range* KAO yang lebih tinggi, yaitu 5,50%–6,50% dengan nilai optimum 6,00%. Kebutuhan aspal yang lebih besar ini berkaitan dengan karakteristik viskositas aspal PG70 yang lebih tinggi dibanding Pen 60/70. Kandungan aspal yang lebih besar diperlukan agar mampu melapisi agregat dengan baik dan menjaga parameter volumetrik dalam batas spesifikasi. Hal ini mengindikasikan bahwa aspal PG70 dapat memberikan fleksibilitas yang lebih baik dalam menahan deformasi plastis pada kondisi lalu lintas berat.

Sementara itu, campuran dengan aspal PG76 menunjukkan *range* KAO sebesar 5,50%–6,30% dengan nilai optimum 5,90%. Nilai ini lebih rendah dibanding PG70 namun lebih tinggi daripada Pen 60/70. Aspal PG76 yang memiliki kekakuan (*stiffness*) lebih tinggi menyebabkan kebutuhan kadar aspal optimum sedikit berkurang dibanding PG70, namun tetap cukup tinggi untuk menjamin keterikatan antar agregat serta daya tahan terhadap kerusakan akibat pengaruh air.

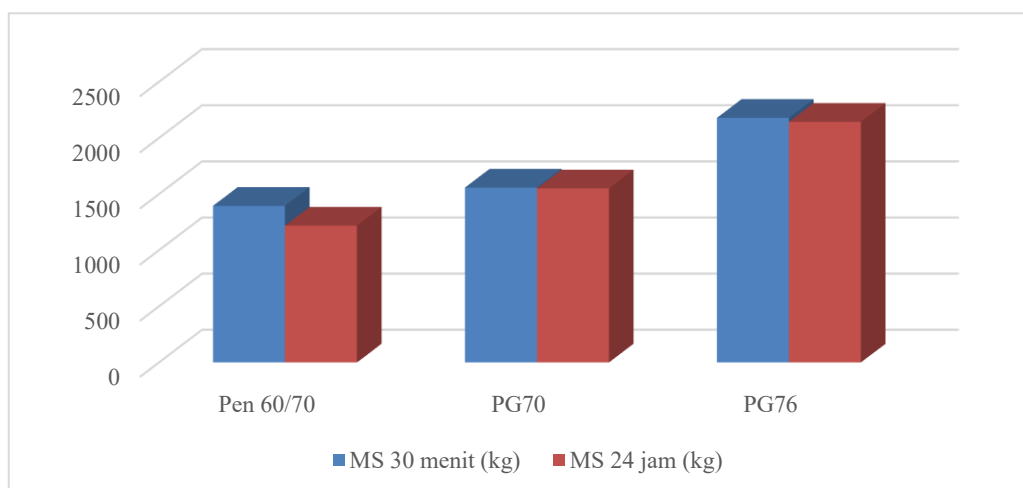
Hasil ini menunjukkan bahwa jenis aspal yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap kadar aspal optimum. Semakin tinggi *grade* performa aspal, nilai KAO cenderung meningkat untuk mencapai keseimbangan antara stabilitas, fleksibilitas, dan ketahanan campuran. Dengan demikian, pemilihan jenis aspal menjadi faktor penting dalam perancangan campuran beraspal AC-BC, khususnya pada kondisi lalu lintas dan iklim yang lebih berat.

Karakteristik campuran beraspal AC-BC pada KAO

Karakteristik campuran pada kondisi KAO diperoleh melalui hasil uji Marshall yang dilakukan setelah perendaman pada dua kondisi, yaitu *Marshall Standard* (30 menit) dan *Marshall Immersion* (24 jam) pada suhu 60°C di dalam *waterbath*. Pengujian Marshall pada kondisi KAO menghasilkan parameter utama berupa Marshall MS, MF, dan MQ. Nilai dari masing-masing parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian Marshall pada kondisi KAO

Jenis Aspal	Marshall <i>Stability</i> /MS		Marshall <i>Flow</i> /MF		Marshall <i>Quotient</i> /MQ		Satuan
	30 menit	24 jam	30 menit	24 jam	30 menit	24 jam	
Pen 60/70	1395	1219	4,2	4,9	343	249	kg
PG70	1558	1551	3,8	4,1	414	378	mm
PG76	2179	2144	4,6	4,9	487	438	kg/mm



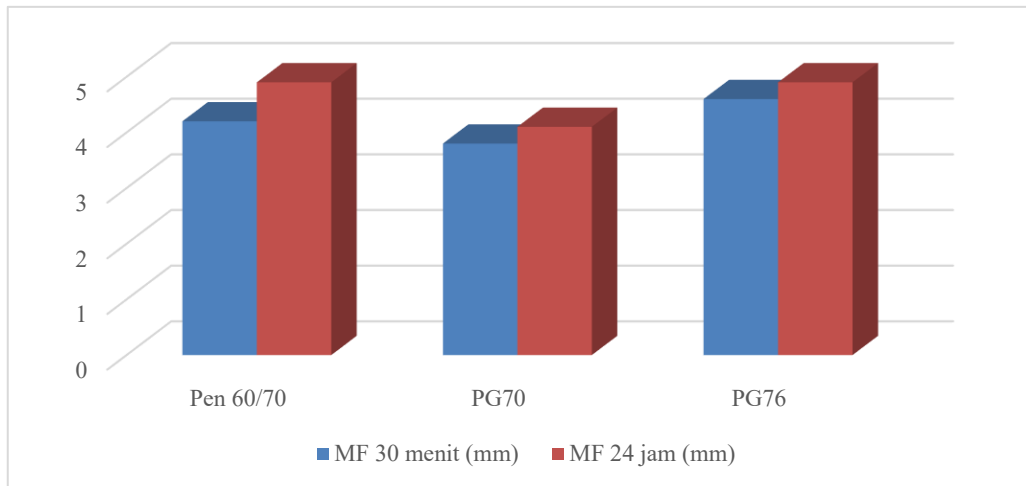
Gambar 5. Nilai marshall *stability*/MS

1. Nilai Marshall *Stability*/MS

Nilai MS menggambarkan kemampuan campuran beraspal AC-BC untuk menahan beban maksimum sebelum terjadi deformasi plastis. Berdasarkan Gambar 5 penggunaan jenis aspal yang ditinjau dari pengujian rendaman adalah:

- Pen 60/70: Nilai MS cukup rendah (1395 kg → 1219 kg setelah rendaman 24 jam), menunjukkan ketahanan beban menurun signifikan akibat pengaruh air.

- b. PG70: MS lebih tinggi (1558 kg $\rightarrow$ 1551 kg), dan penurunannya kecil, menandakan ketahanan yang lebih baik dibanding Pen 60/70.
 - c. PG76: MS paling tinggi (2179 kg $\rightarrow$ 2144 kg), menunjukkan kekuatan struktural campuran dengan aspal PG76 lebih baik, serta lebih tahan terhadap pengaruh air.
- Kesimpulannya: semakin tinggi grade aspal (PG70 dan PG76), semakin besar stabilitasnya dan lebih tahan terhadap kerusakan akibat air.



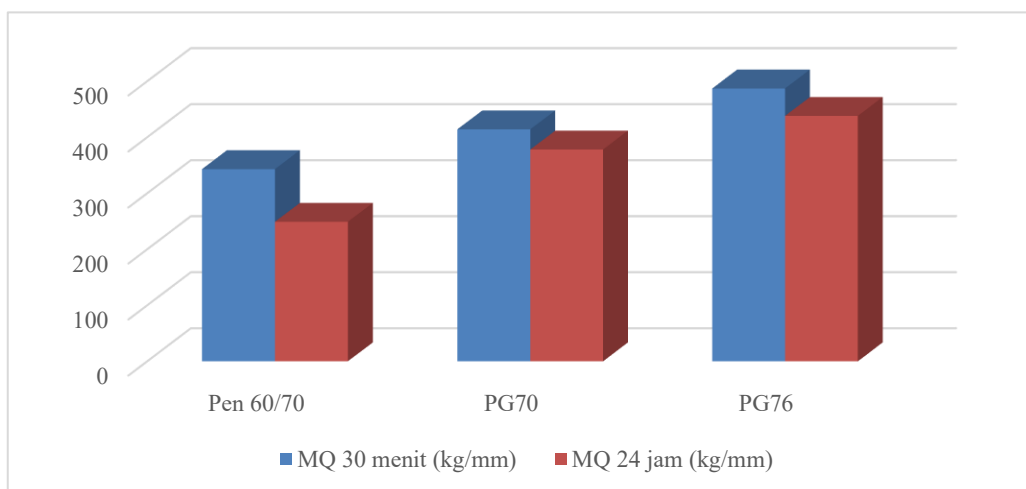
Gambar 6. Nilai marshall *flow*/MF

2. Nilai Marshall *Flow*/MF

Nilai MF mengukur besarnya deformasi plastis (mm) pada saat beban maksimum tercapai. Nilai *flow* mencerminkan kelenturan campuran beraspal. Berdasarkan Gambar 6 penggunaan jenis aspal yang ditinjau dari pengujian rendaman adalah:

- a. Pen 60/70: MF cukup besar (4,2 $\rightarrow$ 4,9 mm). Semakin lama direndam, semakin besar deformasi $\rightarrow$ campuran lebih plastis/lunak.
- b. PG70: MF lebih kecil (3,8 $\rightarrow$ 4,1 mm), artinya campuran lebih kaku namun masih dalam batas fleksibilitas yang baik.
- c. PG76: MF cukup tinggi (4,6 $\rightarrow$ 4,9 mm), mendekati Pen 60/70. Ini menunjukkan campuran dengan PG76 relatif kaku tapi masih mampu deformasi dalam batas aman.

Kesimpulan: PG70 lebih kaku dibanding Pen 60/70 dan PG76, sementara Pen 60/70 lebih rentan plastis setelah terkena air.



Gambar 7. Nilai marshall *quotient*/MQ

3. Nilai Marshall Quotient/MQ

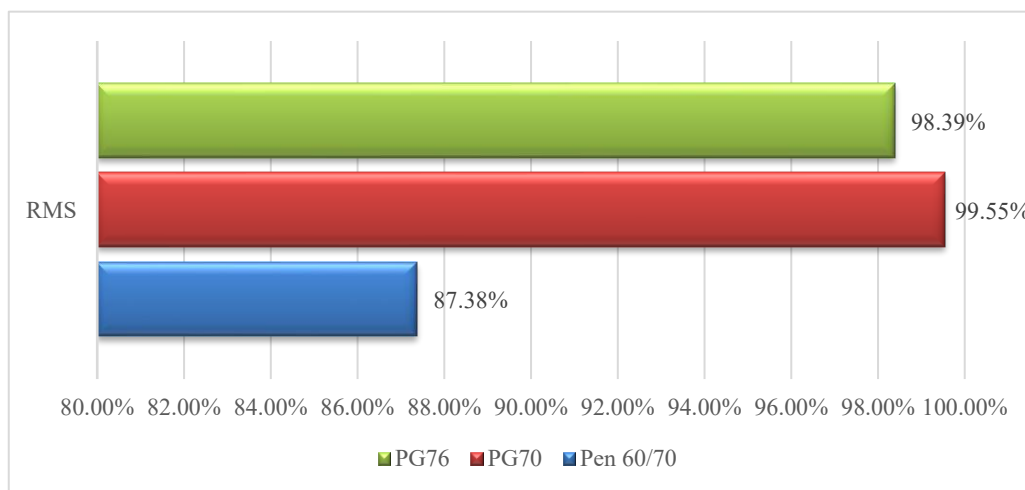
Nilai MQ adalah perbandingan antara nilai MS (kg) terhadap nilai MF (mm) yang dijadikan indikator kekakuan (*stiffness*) campuran. Nilai MQ tinggi berarti campuran kuat sekaligus relatif kaku. Berdasarkan Gambar 7 penggunaan jenis aspal yang ditinjau dari pengujian rendaman adalah:

- Pen 60/70: MQ rendah (343 → 249 kg/mm), artinya campuran kurang kaku dan ketahanannya turun signifikan setelah perendaman.
- PG70: MQ cukup tinggi (414 → 378 kg/mm), menunjukkan campuran lebih kaku dan stabil terhadap pengaruh air.
- PG76: MQ tertinggi (487 → 438 kg/mm), artinya campuran paling kaku, tahan beban, dan ketahanan terhadap air juga baik.

Kesimpulan: MQ meningkat seiring dengan peningkatan grade aspal. PG76 menghasilkan campuran dengan kekakuan dan ketahanan terbaik.

Pembahasan

Setelah diperoleh nilai stabilitas dari setiap pengujian perendaman Marshall pada kondisi KAO, hasil tersebut selanjutnya dibandingkan untuk menghitung nilai *Retained Marshall Stability* (RMS). Nilai RMS yang diperoleh dari perhitungan ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. *Retained marshall stability* (RMS)

Berdasarkan Gambar 8 membuktikan bahwa aspal modifikasi (PG70 dan PG76) memiliki performa perkerasan lebih baik dibanding aspal konvensional (Pen 60/70) dalam hal ketahanan terhadap *moisture damage*. Dari jenis-jenis aspal dapat diimplikasikan di lapangan, seperti:

- Aspal Pen 60/70 (RMS = 87,38%)
Lebih sesuai digunakan untuk jalan dengan lalu lintas ringan hingga sedang dan di daerah dengan curah hujan rendah. Namun, penggunaannya pada jalan arteri atau wilayah dengan intensitas hujan tinggi sebaiknya diminimalisasi karena berisiko mengalami kerusakan dini akibat penetrasi air.
- Aspal PG70 (RMS = 99,55%)
Menunjukkan kinerja terbaik dengan stabilitas tinggi dan kehilangan kekuatan yang sangat kecil setelah perendaman. Aspal ini sangat cocok digunakan pada jalan dengan lalu lintas sedang hingga berat, termasuk jalan perkotaan, jalan arteri, dan kawasan dengan iklim basah.
- Aspal PG76 (RMS = 98,39%)
Memiliki kombinasi antara kekuatan struktural tinggi dan ketahanan terhadap air. Campuran dengan PG76 direkomendasikan untuk jalan dengan lalu lintas sangat berat, seperti jalan tol, jalur logistik, pelabuhan, dan bandara.

Analisis statistik perbedaan kinerja campuran

Untuk memastikan bahwa perbedaan hasil uji antara ketiga jenis aspal (Pen 60/70, PG70, dan PG76) bersifat signifikan secara statistik, dilakukan analisis menggunakan *One-Way ANOVA* terhadap parameter utama, yaitu MS, MF, MQ dan RMS. Sebelum dilakukan analisis uji ANOVA, dilakukan uji normalitas dan homogenitas. Uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk test* terhadap seluruh parameter hasil uji Marshall, yaitu MS, MF, MQ, dan RMS untuk

masing-masing jenis aspal (Pen 60/70, PG70, dan PG76). Setelah dilakukan uji homogenitas dengan menggunakan *Levene's Test* dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) untuk memastikan bahwa varians data antar kelompok jenis aspal bersifat seragam. Hasil uji normalitas dan homogenitas ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil uji normalitas

Parameter	Jenis Aspal	Nilai W	p-value	Keterangan
<i>Marshall Stability</i> (30 menit)	Pen 60/70	0.942	0.74	Normal
	PG70	1.000	0.88	Normal
	PG76	0.93	0.68	Normal
<i>Marshall Stability</i> (24 jam)	Pen 60/70	0.923	0.67	Normal
	PG70	1.000	0.91	Normal
	PG76	0.883	0.63	Normal
<i>Marshall Quotient</i> (30 menit)	Pen 60/70	0.75	0.32	Normal
	PG70	0.999	0.87	Normal
	PG76	0.93	0.65	Normal
<i>Marshall Quotient</i> (24 jam)	Pen 60/70	0.915	0.69	Normal
	PG70	0.974	0.83	Normal
	PG76	0.93	0.71	Normal
<i>Retained Marshall Stability</i> (RMS)	Pen 60/70	0.75	0.28	Normal
	PG70	0.75	0.31	Normal
	PG76	1.000	0.89	Normal

Tabel 4. Hasil uji homogenitas

Parameter	Df (antara; dalam)	F-hitung	p-value	Keterangan
<i>Marshall Stability</i> (30 menit)	2; 6	0.3395	0.725	Homogen
<i>Marshall Stability</i> (24 jam)	2; 6	0.2351	0.798	Homogen
<i>Marshall Quotient</i> (30 menit)	2; 6	0.9724	0.431	Homogen
<i>Marshall Quotient</i> (24 jam)	2; 6	0.5851	0.586	Homogen
<i>Retained Marshall Stability</i> (RMS)	2; 6	0.1667	0.85	Homogen

Dari Tabel 3. hasil uji *Shapiro Wilk* menunjukkan seluruh data memiliki $p\text{-value} > 0,05$, sehingga berdistribusi normal. Selanjutnya, dari Tabel 4. uji *Levene's Test* memperlihatkan nilai $p\text{-value}$ berkisar antara 0,43–0,85, yang berarti varians antar kelompok jenis aspal juga homogen. Dengan terpenuhinya kedua asumsi tersebut, maka data memenuhi prasyarat untuk dilakukan ANOVA satu arah (*One-Way ANOVA*). Kondisi ini menjamin bahwa hasil uji perbedaan rata-rata antar jenis aspal (Pen 60/70, PG70, dan PG76) dapat diinterpretasikan secara sah secara statistik. Setelah hasil parameter pengujian berdistribusi normal dan homogen. Selanjutnya dilakukan pengujian ANOVA. Hasil uji ANOVA ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji ANOVA

Parameter	F-hitung	p-value	η^2 (Eta-Squared)	Keterangan
<i>Marshall Stability</i> (30 menit)	566.7	$1.46 \times 10^{-7} < 0,05$	0.995	Berbeda signifikan
<i>Marshall Stability</i> (24 jam)	1190.4	$1.59 \times 10^{-8} < 0,05$	0.997	Berbeda signifikan
<i>Marshall Quotient</i> (30 menit)	44.24	$2.56 \times 10^{-4} < 0,05$	0.937	Berbeda signifikan
<i>Marshall Quotient</i> (24 jam)	65.48	$8.41 \times 10^{-5} < 0,05$	0.956	Berbeda signifikan
<i>Retained Marshall Stability</i> (RMS)	137.62	$9.71 \times 10^{-6} < 0,05$	0.978	Berbeda signifikan

Hasil uji ANOVA satu arah (*One-Way ANOVA*) menunjukkan bahwa jenis aspal (Pen 60/70, PG70, dan PG76) berpengaruh signifikan terhadap seluruh parameter kinerja campuran beraspal ($p < 0,05$). Nilai F-hitung yang tinggi (antara 44,24 hingga 1190,4) menunjukkan bahwa variasi antar jenis aspal jauh lebih besar dibanding variasi dalam

kelompok, yang menandakan adanya perbedaan nyata kinerja. Parameter *Marshall Stability* memiliki F-hitung tertinggi, baik pada kondisi 30 menit maupun 24 jam, mengindikasikan bahwa jenis aspal memberikan pengaruh paling besar terhadap kemampuan campuran menahan beban. Nilai $\eta^2 > 0,90$ pada seluruh parameter menunjukkan bahwa lebih dari 90% variasi data dijelaskan oleh jenis aspal, yang termasuk dalam kategori pengaruh sangat besar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan aspal modifikasi PG70 dan PG76 secara statistik memberikan peningkatan signifikan terhadap stabilitas, kekakuan (MQ), dan ketahanan terhadap air (RMS) dibandingkan aspal konvensional Pen 60/70. Setelah dilakukan uji ANOVA dilanjutkan pengujian Tukey HSD pada setiap parameter hasil pengujian Marshall. Hasil uji Turkey HSD ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji Turkey HSD

Parameter	Perbandingan	p-value	Keterangan
<i>Marshall Stability</i> (30 menit)	PG70 – Pen 60/70	0.0014 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – Pen 60/70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – PG70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
<i>Marshall Stability</i> (24 jam)	PG70 – Pen 60/70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – Pen 60/70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – PG70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
<i>Marshall Quotient</i> (30 menit)	PG70 – Pen 60/70	0.0054 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – Pen 60/70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – PG70	0.012 < 0,05	Berbeda signifikan
<i>Marshall Quotient</i> (24 jam)	PG70 – Pen 60/70	0.0006 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – Pen 60/70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – PG70	0.0288 < 0,05	Berbeda signifikan
<i>Retained Marshall Stability</i> (RMS)	PG70 – Pen 60/70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – Pen 60/70	0.001 < 0,05	Berbeda signifikan
	PG76 – PG70	0.269 > 0,05	Tidak signifikan

Hasil uji Tukey HSD memperlihatkan bahwa seluruh parameter utama MS, MQ, dan RMS menunjukkan perbedaan signifikan antar jenis aspal ($p < 0,05$). Secara umum, urutan performa adalah: PG76 > PG70 > Pen 60/70 yang menegaskan bahwa peningkatan grading aspal dari konvensional (Pen 60/70) ke modifikasi (PG70 dan PG76) memberikan peningkatan yang signifikan pada stabilitas dan kekakuan campuran.

Untuk parameter RMS, terlihat bahwa PG70 dan PG76 tidak berbeda signifikan satu sama lain ($p = 0.269$), menandakan bahwa kedua aspal modifikasi tersebut memiliki ketahanan terhadap air yang sebanding, jauh lebih baik dibandingkan aspal Pen 60/70. Temuan ini konsisten dengan hasil ANOVA sebelumnya yang menunjukkan nilai F dan η^2 tinggi ($>0,9$), sehingga perbedaan kinerja antar jenis aspal tidak hanya terlihat secara numerik, tetapi juga bermakna secara statistik.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Aspal modifikasi berbasis *Performance Grade* (PG70 dan PG76) menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan aspal konvensional Pen 60/70 pada campuran beraspal tipe AC-BC. Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa aspal PG76 memiliki nilai stabilitas tertinggi baik pada kondisi standar maupun setelah perendaman, diikuti oleh PG70, sedangkan Pen 60/70 memiliki nilai terendah. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada aspal PG76 juga lebih besar, menandakan kekakuan campuran yang lebih baik terhadap deformasi.

Nilai *Retained Marshall Stability* (RMS) pada aspal PG70 sebesar 99,55% dan PG76 sebesar 98,39% menunjukkan ketahanan yang sangat baik terhadap pengaruh air, jauh di atas nilai yang diperoleh pada aspal Pen 60/70 sebesar 87,38%. Hasil ini membuktikan bahwa aspal modifikasi mampu meningkatkan daya ikat antara aspal dan agregat serta mengurangi kerusakan akibat air. Berdasarkan kinerja tersebut, aspal PG70 dan PG76 direkomendasikan untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas sedang hingga berat, khususnya di wilayah tropis dengan curah hujan tinggi.

Secara statistik, hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa jenis aspal berpengaruh signifikan terhadap parameter *Marshall Stability*, *Marshall Quotient*, dan *Retained Marshall Stability* ($p < 0,05$), dengan nilai η^2 di atas 0,9 yang menunjukkan pengaruh sangat besar. Dengan demikian, jenis aspal terbukti menjadi faktor dominan yang menentukan kinerja campuran beraspal secara keseluruhan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar penggunaan aspal modifikasi PG70 dan PG76 dipertimbangkan pada proyek perkerasan jalan yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap beban dan kerusakan akibat air. Untuk kondisi lalu lintas ringan atau wilayah dengan curah hujan rendah, aspal Pen 60/70 masih dapat digunakan dengan pertimbangan biaya yang lebih ekonomis.

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menilai kinerja jangka panjang campuran aspal modifikasi melalui uji *fatigue*, *rutting*, dan *thermal cracking*. Selain itu, perlu dilakukan kajian *life cycle cost analysis* untuk menilai efisiensi ekonomi penggunaan aspal PG. Upaya pengembangan aspal berkelanjutan juga dapat diarahkan pada pemanfaatan bahan aditif ramah lingkungan seperti limbah plastik atau karet untuk meningkatkan kinerja sekaligus mengurangi dampak lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Saffar, Z. H., Hasan, H. G. M., Alamri, M., Al-Attar, A. A., Hamad, A. J., Abdulmawjoud, A. A., Mezaal, M. R., & Elmagarhe, A. (2024). Assessing the effects of copolymer modifier addition on asphalt attributes: Towards achieving performance optimization. *Construction and Building Materials*, 420, 135645. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135645>
- Asphalt Institute. (2014). *MS-2 Asphalt Mix Design Methods*. Asphalt Institute.
- ASTM Internasional. (2002). *Standard terminology relating to materials for roads and pavements* (ASTM D 8 - 02). <https://store.astm.org/d0008-02.html>
- ASTM Internasional. (2020). *Standard test method for penetration of bituminous materials* (ASTM D5-20). ASTM International. https://doi.org/10.1520/D0005_D0005M-20
- ASTM Internasional. (2022). *Standard test method for marshall stability and flow of asphalt mixtures* (ASTM D6927-22). <https://doi.org/10.1520/D6927-22>
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR. (2020a). *Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2*. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/987/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2.pdf>
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR. (2020b). *Spesifikasi Umum Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol*. [spesifikasi-umum-jalan-bebas-hambatan-dan-jalan-tol.pdf](https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/987/spesifikasi-umum-jalan-bebas-hambatan-dan-jalan-tol.pdf)
- Direktur Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR. (2020). *Webinar Membangun Jaringan Jalan untuk Konektivitas*.
- Eisa, M. S., Mohamady, A., Basiouny, M. E., Abdulhamid, A., & Kim, J. R. (2021). Laboratory evaluation of mechanical properties of modified asphalt and mixture using graphene platelets (GnPs). *Materials*, 14(19), 5599. <https://doi.org/10.3390/ma14195599>
- Elnaml, I., Liu, J., Mohammad, L. N., Wasiuddin, N., Cooper, S. B., & Cooper, S. B. (2023). Developing sustainable asphalt mixtures using high-density polyethylene plastic waste Material. *Sustainability*, 15(13), 9897. <https://doi.org/10.3390/su15139897>
- Gunawan, F., Nugroho, M. W., Yulianto, T., & Sundari, T. (2023). Evaluasi nilai stabilitas pada aspal AC-WC dengan Metode SNI 06-2489-1991. *Jurnal Sipil Terapan*, 1(2), 90–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.58169/jusit.v1i2.284>
- Hadi, M. A. (2021). *Komparasi Karakteristik Campuran Dan Prediksi Umur Pelayanan Antara Perkerasan Superpave dengan Ac-Wc Akibat Pengaruh Jenis Bahan Ikat Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70* [Tesis tidak dipublikasikan, Universitas Islam Indonesia]. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/36235>
- Lu, P., Ma, Y., Ye, K., & Huang, S. (2022). Analysis of high-temperature performance of polymer-modified asphalts through molecular dynamics simulations and experiments. *Construction and Building Materials*, 350, 128903. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128903>
- Mahmood, A. O., & Kattan, R. A. (2023). Improvement of engineering properties of asphalt binder and mixture by using SBS additive material. *Advances in Civil Engineering*, 2023, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2023/7151175>
- Marizka, E. (2021). *Studi Kinerja Campuran Aspal Porus Dengan Penambahan Bahan Additive Rediset Lq-1106* [Tesis tidak dipublikasikan, Universitas Islam Indonesia]. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/31742>
- Mukhlis, M. T., Mirani, Z., Suardi, E., & Arifin, N. (2021). Perbandingan perencanaan tebal perkerasan jalan paving block Metoda Analisa Komponen (MAK) 1987 dengan MAK 2002. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 18(1), 55–63. <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/article/view/536>
- Queiroz, R. F. R., Rodrigues, J. K. G., Patricio, J. D., da Silva, P. H., Carvalho, J. R., Neto, O. de M. M., Rodrigues, L. G., & de Lima, R. K. B. (2023). Linear viscoelastic properties and fatigue S-VECD based evaluation of polymer-modified asphalt mixtures. *Journal of Building Engineering*, 75, 106916. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106916>

- Syaripin, S., Suparma, L. B., Mulyono, A. T., Alawy, G. A., Ardiansyah, A. F., & Septiandri, R. A. (2025). Pengaruh substitusi limbah kaca terhadap tensile strength ratio campuran beraspal asphalt concrete-binder course. *Jurnal HPJI*, 11(1), 39–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.26593/jhpji.v11i1.9065.39-48>
- Takaikaew, T., Hoy, M., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., Mohammadinia, A., & Horpibulsuk, J. (2021). Performance improvement of asphalt concretes using fiber reinforcement. *Heliyon*, 7(5), e07015. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07015>