

Kinerja Campuran Aspal Beton Porus Terhadap Parameter Marshall Menggunakan Aspal Karet Alam Padat

Sumiati¹⁾, Sheragizca Yolanda Situmeang²⁾, Arief Aszharri³⁾

^{1, 2, 3)} Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang

Email: sumiati@polsri.ac.id¹⁾, Sheragizca.yolanda.situmeang@polsri²⁾,
arief.aszharri@polsri.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v16i1.1337>

(Received: 22 November 2025 / Revised: 20 December 2025 / Accepted: 06 February 2026)

Abstrak

Aspal beton padat memiliki permeabilitas rendah sehingga air hujan sulit meresap, yang berpotensi menimbulkan genangan dan menurunkan keselamatan lalu lintas. Aspal beton porus dikembangkan sebagai alternatif dengan struktur gradasi terbuka yang menghasilkan rongga saling terhubung, sehingga memungkinkan air mengalir ke lapisan bawah perkerasan. Namun, karakteristik ini umumnya berdampak pada penurunan stabilitas campuran. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jenis aspal dan gradasi agregat terhadap kinerja mekanik dan hidrologis aspal beton porus. Variasi yang digunakan meliputi aspal termodifikasi AKAP PG-76 dan aspal konvensional PEN 60/70, serta gradasi agregat AAPA dan British Standard. Benda uji disiapkan dari kombinasi kedua jenis aspal dan gradasi, kemudian diuji menggunakan pengujian Marshall, Cantabro, dan permeabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AKAP PG-76 meningkatkan stabilitas Marshall dan ketahanan keausan campuran, sedangkan variasi gradasi agregat berpengaruh signifikan terhadap nilai permeabilitas. Temuan ini memberikan dasar teknis dalam pemilihan kombinasi material untuk meningkatkan kinerja aspal beton porus.

Kata kunci: Aspal beton porus; Stabilitas Marshall; Permeabilitas; Gradasi agregat; Uji Cantabro

Abstract

Dense asphalt concrete has low permeability, which limits rainwater infiltration and may cause surface ponding that reduces traffic safety. Porous asphalt concrete has been developed as an alternative by employing an open-graded structure with interconnected voids, allowing water to drain into underlying pavement layers. However, this characteristic often leads to lower mixture stability compared to conventional asphalt concrete, requiring a balance between mechanical and hydraulic performance. This study analyzes the effects of asphalt type and aggregate gradation on the mechanical and hydrological performance of porous asphalt concrete. The variables include modified asphalt AKAP PG-76 and conventional asphalt PEN 60/70, as well as AAPA and British Standard aggregate gradations. Specimens were prepared from combinations of asphalt types and gradations and evaluated using Marshall stability, Cantabro abrasion resistance, and permeability tests. The results indicate that AKAP PG-76 improves Marshall stability and abrasion resistance, while aggregate gradation plays a dominant role in controlling permeability. These findings provide insight into optimizing porous asphalt mixtures through binder modification and gradation design.

Keywords: Porous asphalt concrete; Marshall stability; Permeability; Aggregate gradation; Cantabro test

1. Latar Belakang

Aspal beton konvensional umumnya memiliki permeabilitas sangat rendah, sehingga air hujan sulit meresap ke dalam perkerasan. Kondisi ini meningkatkan aliran permukaan dan risiko genangan, khususnya pada wilayah datar atau yang drainasenya terbatas, yang dapat menurunkan kenyamanan dan membahayakan keselamatan pengguna jalan. Genangan tersebut juga dapat menyebabkan penurunan kecepatan kendaraan, peningkatan risiko kecelakaan, serta kerusakan permukaan jalan lebih cepat. Untuk mengatasi masalah ini, aspal beton porus dikembangkan dengan struktur rongga antar-agregat yang saling terhubung, memungkinkan infiltrasi air hujan ke dalam perkerasan dan pengaliran ke sistem drainase. Mekanisme ini terbukti efektif mengurangi genangan, sehingga aspal beton porus relevan untuk kawasan perkotaan, wilayah dengan curah hujan tinggi, atau area yang membutuhkan drainase cepat.

Kinerja aspal beton porus sangat dipengaruhi oleh jenis aspal, gradasi agregat, dan modifikasi campuran. Peningkatan kadar rongga dapat meningkatkan permeabilitas, tetapi cenderung menurunkan stabilitas mekanik campuran. Oleh karena itu, desain campuran harus menyeimbangkan kemampuan peresapan dan ketahanan mekanik untuk mencapai performa optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan berbagai pendekatan untuk meningkatkan kinerja campuran. Anggiani et al. (2018) menemukan bahwa campuran berbasis aspal polimer JAP-57 dengan gradasi AAPA memenuhi spesifikasi beton aspal porus lebih baik dibandingkan aspal PEN 60/70. Susanto *et al.*, (2013) mengungkapkan bahwa penambahan 2% limbah plastik dan ban bekas meningkatkan stabilitas Marshall, ketahanan retak, durabilitas, serta Tensile Strength Ratio (TSR), meskipun porositas sedikit menurun akibat peningkatan *flowability* aspal. Jasman et al., (2021) mengungkapkan bahwa kombinasi aspal polimer Starbit E-55 dengan Liquid Asbuton 50:50 menghasilkan campuran lebih tahan dan sesuai dengan kriteria struktur perkerasan. (Chen *et al.*, 2025) mengungkapkan bahwa penggunaan aspal viskositas tinggi meningkatkan ketahanan terhadap *rutting* dan *fatigue*, sedangkan (Saudy *et al.*, 2024) mengungkapkan bahwa modifikasi dengan fiber elastomer meningkatkan stabilitas campuran dan mengurangi risiko retak pada kondisi lalu lintas berat.

Selain jenis aspal, gradasi agregat juga berperan penting dalam menentukan sifat volumetrik dan mekanik campuran. Gradasi kasar cenderung meningkatkan porositas dan permeabilitas, tetapi menurunkan stabilitas, sedangkan gradasi ideal dapat memaksimalkan porositas sekaligus mempertahankan stabilitas campuran (Sihombing *et al.*, 2022); Ghafari *et al.*, 2023). Modifikasi dengan bahan tambahan, seperti Abu Cangkang Tiram (OSA) dan *High-Density Polyethylene* (HDPE), terbukti meningkatkan ikatan antar-agregat dan kekakuan campuran, sehingga memenuhi spesifikasi Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) (Rani *et al.*, 2023).

Balai Perkerasan PU Bina Marga telah menguji campuran aspal beton porus berbasis Aspal karet alam padat-*Performance Grade 70* (AKAP PG-70), yang menunjukkan ketahanan lebih baik terhadap suhu tinggi, deformasi, dan kerusakan akibat air dibandingkan aspal konvensional Penetrasi 60/70. Penambahan serat selulosa meningkatkan nilai rongga campuran menjadi 13–25% (Firdaus, 2023), mengindikasikan potensi AKAP PG-70 dalam meningkatkan kinerja aspal berpori. Seiring perkembangan teknologi material, Aspal karet alam padat-*Performance*

Grade 76 (AKAP PG-76) kini diproduksi dengan performa yang lebih tinggi dibandingkan AKAP PG-70.

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi komparatif penggunaan AKAP PG-76 dan aspal konvensional PEN 60/70 pada perkerasan aspal porous dengan dua standar gradasi internasional, yaitu *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dan *British Standard* (BS). Pendekatan ini menawarkan strategi baru dalam mengatasi dilema klasik perkerasan aspal porous, di mana peningkatan permeabilitas umumnya berbanding terbalik dengan stabilitas.

Penelitian ini menguji hipotesis bahwa AKAP PG-76, yang memiliki viskositas lebih tinggi dan daya lekat lebih kuat, mampu membentuk lapisan film aspal yang lebih tebal dan tangguh pada kerangka agregat kasar tanpa penggunaan serat selulosa dalam campuran aspal beton porous. Hipotesis ini bertujuan untuk meminimalkan risiko *drain-down* sekaligus meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen akibat beban lalu lintas. Selanjutnya, analisis pengaruh variasi gradasi agregat terhadap nilai *Voids in Mix* (VIM) dan parameter Marshall memberikan kontribusi orisinal dalam penentuan konfigurasi campuran aspal beton porous yang paling efektif dan sesuai untuk kondisi iklim tropis.

Berdasarkan hipotesis tersebut, tujuan penelitian ini dirinci sebagai berikut:

- a. Menganalisis pengaruh penggunaan dua jenis aspal, yaitu Aspal karet alam padat-*Performance Grade 76* (AKAP PG-76) dan aspal Penetrasi 60/70 (PEN 60/70), terhadap karakteristik Marshall campuran aspal beton porous.
- b. Mengevaluasi pengaruh gradasi agregat berdasarkan spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dan *British Standard* (BS) terhadap nilai permeabilitas campuran.

2. Metode Penelitian

Sebagai langkah awal, dilaksanakan peninjauan literatur secara komprehensif. Kegiatan ini bertujuan mengumpulkan beragam sumber acuan yang membahas tentang sifat material, metodologi desain campuran, serta prosedur pengujian yang relevan untuk aspal porous. Sumber bacaan yang dikaji meliputi publikasi riset sebelumnya, dokumen spesifikasi teknis, dan standar pengujian yang digunakan sebagai pedoman dalam studi ini.

Tahap selanjutnya adalah persiapan alat dan bahan penelitian. Material yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, serta debu batu yang berasal dari Lubuk Linggau. Pada campuran aspal beton porous ini digunakan dua jenis *filler*, yaitu *filler* abu batu dan *filler* semen produksi Baturaja. Aspal yang digunakan terdiri atas aspal PEN 60/70 produksi Pertamina dan aspal AKAP PG-76 yang diproduksi oleh PT Modifikasi Bitumen Sumatera. Seluruh material tersebut selanjutnya dipersiapkan untuk diuji sifat fisiknya di laboratorium guna memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi yang berlaku.

Sebelum perancangan campuran dilakukan, setiap material terlebih dahulu diuji berdasarkan standar yang berlaku untuk memastikan kesesuaiannya terhadap spesifikasi. Pengujian agregat meliputi analisis saringan (SNI 03-1968-1990) untuk menentukan gradasi agregat, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus, kasar dan filler (abubatu dan semen) (SNI-03-1969-2008, SNI 03-1970-1990, SNI 1964:2008 dan SNI 15-2531-1991), keausan agregat (SNI 03-2417-1991), kandungan material lolos saringan No. 200 (SNI ASTM C117:2012), partikel pipih

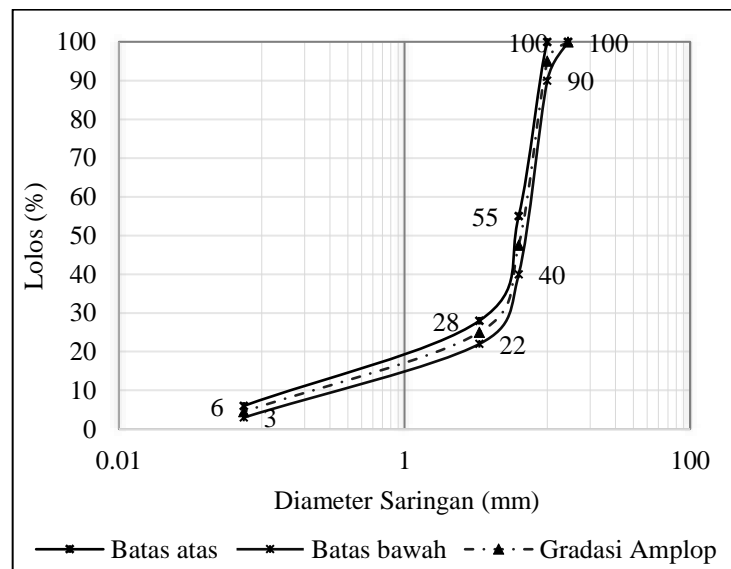
dan lonjong (SNI 8287:2016), kelekatan agregat terhadap aspal (SNI 2439:2011), serta persentase butiran pecah pada agregat kasar (SNI 7619:2012).

Pengujian terhadap aspal PEN 60/70 dan AKAP PG-76 dilakukan melalui pengukuran berat jenis (SNI 2441:2011), titik lembek (SNI 2434:2011), titik nyala dan titik bakar (SNI 2433:2011), daktilitas (SNI 2432:2011), serta nilai penetrasi (SNI 2456:2011). Seluruh pengujian dilaksanakan dengan mengacu pada standar spesifikasi yang ditetapkan, dan hasilnya dibandingkan dengan persyaratan teknis untuk menilai kelayakan material.

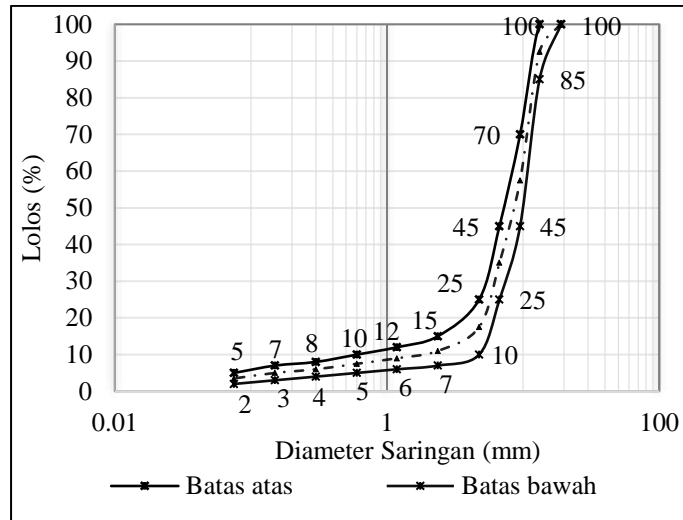
Apabila terdapat material yang tidak memenuhi persyaratan, maka dilakukan penggantian dengan material yang sesuai. Namun, apabila seluruh material memenuhi spesifikasi, penelitian dilanjutkan pada pembuatan benda uji aspal beton porus.

Agregat untuk pembuatan benda uji disesuaikan dengan amplop gradasi, yaitu nilai tengah antara batas atas dan bawah sesuai spesifikasi. Penelitian ini menggunakan dua gradasi yang berbeda signifikan dalam ukuran dan komposisi. Gradasi *British Standard* (Gambar 1) didominasi agregat kasar, membentuk rongga besar dan saling terhubung sehingga menjadi campuran bergradasi terbuka, sedangkan gradasi AAPA (Gambar 2) mengandung lebih banyak agregat halus, menghasilkan rongga lebih kecil dan campuran bergradasi padat.

Tabel 1 menyajikan jumlah benda uji berdasarkan variasi gradasi agregat (BS dan AAPA), jenis aspal (Pen 60/70 dan AKAP PG 76), serta kadar aspal 4,5%–6,5%. Setiap kombinasi variabel menggunakan tiga benda uji untuk pengujian Marshall sesuai prosedur standar SNI dan AASHTO, sehingga pada setiap variasi kadar aspal digunakan total 15 benda uji. Pengujian *Cantabro* dan permeabilitas dilakukan pada kadar aspal optimum dengan masing-masing dua benda uji, sehingga total benda uji yang digunakan untuk kedua pengujian tersebut adalah 8 buah.



Gambar 1 Gradasi *British standard*



Gambar 2 Gradasi AAPA

Tabel 1 Komposisi benda Uji

Gradasi	Jenis Aspal	Kadar aspal(%)					Kadar aspal optimum(%)	
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	Cantabro	Permeabilitas
BS	PEN 60/70	3	3	3	3	3	2	2
	AKAP PG 76	3	3	3	3	3	2	2
AAPA	PEN 60/70	3	3	3	3	3	2	2
	AKAP PG 76	3	3	3	3	3	2	2
Total benda uji		12	12	12	12	12	8	8

Data hasil pengujian volumetrik dan karakteristik Marshall dianalisis menggunakan Persamaan (1)-(3), kemudian diplot dalam bentuk kurva regresi sesuai kecenderungan data (Gambar 3). Penentuan kadar aspal optimum dilakukan berdasarkan hasil regresi tersebut dengan mengacu pada persyaratan aspal beton porus sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.

Nilai *Volume Void in Mix* (VIM) dihitung berdasarkan hasil penimbangan benda uji dalam kondisi kering, jenuh-kering-permukaan (SSD), dan terendam air. Perhitungan VIM menggunakan persamaan (1)-(3), (Sukirman, 2016).

a. Volume Pori dalam Beton Aspal Padat (VIM)

$$VIM = 100 * \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

VIM = volume rongga dalam beton aspal padat (%)

G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

G_{mb} = berat jenis *bulk* beton aspal padat

b. Berat Jenis Bulk Beton Aspal Padat (G_{mb})

$$G_{mb} = \frac{B_k}{(B_{ssb} - B_a)} \quad (2)$$

Keterangan:

B_k = Berat kering aspal beton padat (gram)

B_{ssd} = Berat kering permukaan jenuh air aspal beton padat (gram)

B_a = Berat aspal beton padat dalam air (gram)

- c. Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan (G_{mm})

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (3)$$

Keterangan:

- G_{mm} = Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan
 P_a = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat (%)
 P_s = Kadar agregat terhadap berat aspal beton padat (%)
 G_a = Berat jenis aspal
 G_{se} = Berat jenis efektif agregat pembentuk aspal beton padat

Tabel 2 Spesifikasi Campuran Aspal beton Porus (AAPA, 2004)

No.	Karakteristik	Nilai
1	Nilai <i>Cantabro</i> loss (%), 300 putaran	Maks. 35
2	Koefisien Permeabilitas (cm/s)	0,1 – 0,5
3	Kadar Rongga di Dalam Campuran, VIM (%)	18 – 25
4	Stabilitas Marshall (kg)	Min. 500
5	Flow/Kelelehan (mm)	2-6
6	Kekakuan Marshall (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Setelah kadar aspal optimum diperoleh, dua benda uji disiapkan untuk pengujian *Cantabro* (AASHTO TP 108-14-2020) dan dua benda uji lainnya dipersiapkan untuk pengujian permeabilitas. Peralatan uji permeabilitas dimodifikasi dengan mengacu pada AASHTO T 215-23, dan nilai permeabilitas dihitung menggunakan persamaan yang direkomendasikan dalam standar tersebut. Pendekatan ini memastikan bahwa proses pengujian serta perhitungan yang diperoleh tetap konsisten dengan metodologi yang baku.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar, agregat halus, dan *filler* tercantum pada Tabel 3. Dari hasil evaluasi, karakteristik agregat diketahui telah sesuai dengan batasan yang ditetapkan dalam spesifikasi.

Tabel 3 Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar, halus, dan *filler*

Parameter	Agregat		Filler		Spesifikasi
	Kasar	Halus	Debu batu	Semen	
Berat Jenis Kering	2,62	2,61	2,60	2,92	-
Berat Jenis SSD	2,66	2,64	2,60	2,92	-
Berat Jenis semu	2,71	2,69	2,60	2,92	-
Berat jenis Efektif	2,67	2,65	2,60	2,92	-
Penyerapan, %	1,31	1,18	-	-	-
Material lolos ayakan No.200, %	0,1	-	-	-	Maks 1
	-	0,2	-	-	Maks10
Keausan agregat, %	19,02	20,13	-	-	-
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal,%	98	-	-	-	Min 95
Partikel Pipih dan Lonjong	-	-	-	-	Maks. 10
Butiran pecah pada agregat kasar	98/97	-	-	-	95/90

Hasil pengujian terhadap sifat fisik aspal PEN 60/70 dan AKAP PG 76 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengujian sifat fisik aspal PEN 60/70 dan AKAP PG 76

Parameter	Hasil Pengujian		Spesifikasi	
	PEN 60/70	AKAP PG 76	PEN 60/70	AKAP PG 76
Berat jenis	1,029	1,026	$\geq 1,0$	-
Penetrasi (0,1 mm)	63,2	34,3	60-70	dilaporkan
Titik nyala dan	262	272,9	≥ 231	≥ 230
Titik bakar, °C	270	277,6		
Titik lembek, °C	48,5	70,75	≥ 48	dilaporkan
Daktalitas, cm	>100	30,4	≥ 100	-

Di sisi lain, AKAP PG 76 memperlihatkan nilai titik lembek yang lebih tinggi dibandingkan PEN 60/70. Nilai tersebut menunjukkan kemampuan material untuk mempertahankan bentuk dan kekakuannya saat terpapar temperatur tinggi, yang berarti stabilitas termalnya lebih baik. Oleh karena itu, AKAP PG 76 berpotensi memberikan performa yang lebih stabil pada kondisi lapangan yang dipengaruhi oleh suhu ekstrem maupun beban lalu lintas berat, meskipun sifat kelenturannya tidak setinggi aspal PEN 60/70.

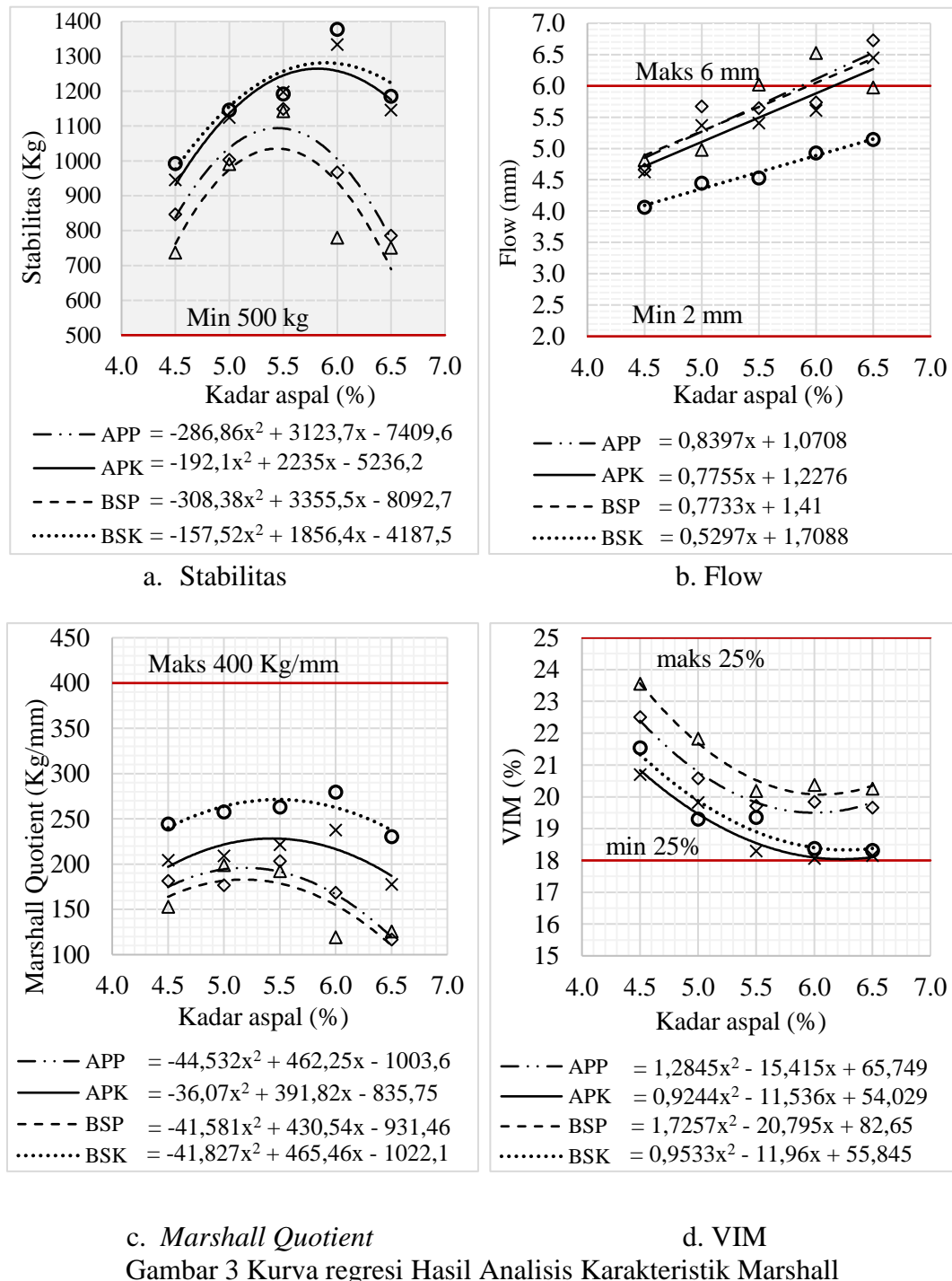
Hasil pengujian karakteristik Marshall untuk empat jenis campuran, yaitu gradasi AAPA dengan aspal penetrasi 60/70 (APP), gradasi AAPA dengan AKAP PG 76 (APK), gradasi BS dengan aspal PEN 60/70 (BSP), dan gradasi BS dengan AKAP PG 76 (BSK), ditampilkan pada Gambar 3.

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan campuran aspal dalam memikul beban lalu lintas. Pola kurva pada Gambar 3.a memperlihatkan bahwa penambahan kadar aspal meningkatkan stabilitas hingga mencapai kadar optimum. Namun, ketika kadar aspal melampaui nilai tersebut, stabilitas cenderung menurun akibat dominasi aspal pada permukaan agregat yang melemahkan *interlocking* antarpartikel serta menurunkan gaya gesek internal campuran. Stabilitas menunjukkan kemampuan campuran aspal dalam menahan beban lalu lintas. (Sukirman, 2016). Kondisi ini menjadi lebih kritis pada campuran aspal beton porus yang dirancang dengan struktur berpori untuk menunjang fungsi drainase. Meskipun penambahan aspal dapat meningkatkan kualitas pelapisan agregat dan durabilitas, peningkatan kadar aspal secara berlebihan berdampak pada berkurangnya rongga udara (VIM). Tren pada Gambar 3.d memperlihatkan penurunan nilai VIM yang signifikan seiring peningkatan kadar aspal. Apabila kondisi optimum terlampaui, rongga udara sebagai media aliran air tertutup oleh aspal berlebih, yang pada akhirnya menurunkan stabilitas sekaligus menghilangkan karakteristik porus campuran.

Parameter VIM memiliki peranan yang lebih dominan pada sistem aspal beton porus dibandingkan pada campuran bergradasi rapat. Berbeda dengan aspal beton padat yang mensyaratkan VIM rendah untuk memperoleh kepadatan maksimum, campuran porus justru membutuhkan VIM relatif tinggi, umumnya berada pada kisaran 18%–25%, guna menjamin kelancaran drainase baik secara lateral maupun vertikal serta mengurangi risiko terjadinya *hydroplaning*. Penurunan VIM yang berlebihan juga berkorelasi dengan peningkatan nilai *flow*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.b, yang mengindikasikan bahwa campuran cenderung menjadi lebih plastis dan rentan terhadap deformasi.

Kondisi tersebut mencerminkan adanya kompromi teknis dalam penentuan kadar aspal. Kadar aspal yang terlalu rendah menghasilkan VIM tinggi, namun melemahkan ikatan antar-agregat sehingga campuran menjadi getas dan rentan terhadap pelepasan butir (*ravelling*), sebagaimana dilaporkan oleh (Wang et al.,

2022. Sebaliknya, kadar aspal yang berlebihan mengisi rongga udara secara berlebihan, menurunkan stabilitas, dan menghilangkan fungsi porus campuran. Oleh karena itu, penggunaan bahan pengikat termodifikasi, seperti *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS) atau *crumb rubber*, menjadi pendekatan yang efektif untuk meningkatkan ketebalan film aspal dan koheksi campuran tanpa menurunkan VIM secara signifikan.



Marshall Quotient (MQ) (Gambar 3.c) digunakan sebagai parameter tambahan untuk menggambarkan kekakuan relatif campuran, dihitung dari rasio antara stabilitas dan *flow*. Pada campuran aspal beton porus dengan susunan agregat terbuka, nilai MQ yang memadai diperlukan agar campuran tetap kaku dan tidak mudah mengalami deformasi plastis yang dapat mengganggu keberadaan rongga drainase. Sebaliknya, nilai MQ yang rendah menandakan campuran terlalu lentur, sehingga meningkatkan risiko terbentuknya alur (*rutting*), sesuai laporan (Arif *et al.*, 2023).

Berdasarkan hasil pengujian, campuran yang menggunakan aspal modifikasi AKAP PG 76 menunjukkan kinerja stabilitas yang lebih baik dibandingkan campuran dengan aspal PEN 60/70. Meskipun nilai rongga udara (VIM) yang dihasilkan relatif lebih rendah, nilainya masih berada dalam batas spesifikasi yang dipersyaratkan untuk aspal beton porus. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberadaan karet pada AKAP PG 76 berkontribusi terhadap peningkatan kekakuan dan kohesi campuran, tanpa menurunkan kemampuan drainase secara berarti. Temuan tersebut konsisten dengan hasil penelitian (Chen *et al.*, 2025) yang menemukan bahwa bahan pengikat dengan sifat viskoelastisitas tinggi mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen dan retak akibat suhu rendah melalui mekanisme interaksi fisikokimia antara aspal dan material pemodifikasi.

Tabel 5 menyajikan ringkasan hasil pengujian mekanis berdasarkan karakteristik Marshall yang telah dievaluasi terhadap persyaratan spesifikasi campuran aspal beton porus pada Tabel 2. Nilai parameter Marshall diperoleh melalui substitusi kadar aspal optimum sebesar 5,7% ke dalam persamaan regresi kurva pada Gambar 3, sedangkan nilai *Cantabro* dan permeabilitas diperoleh secara langsung dari hasil pengujian benda uji pada kadar aspal optimum yang sama.

Tabel 5 Ringkasan hasil pengujian sifat mekanik & hidrologis aspal beton porus

Parameter	Jenis Campuran				Spesifikasi
	APP	APK	BSP	BSK	
Kadar aspal, %	5,7	5,7	5,7	5,7	-
VIM, %	20	18	20	19	18-20
Stabilitas, Kg	1075,41	1262,97	1014,38	1276,16	Min 500
<i>Flow</i> , mm	5,86	5,65	5,82	4,73	2-6
<i>Marshall Quotient</i> , kg/mm	184,38	225,71	171,65	272,06	Maks 400
Berat Jenis, gr/cm ³	1,97	2,00	1,95	1,99	-
Nilai <i>Cantabro</i> loss, %	6,87	14,60	4,86	13,09	Maks 35
Koefisien Permeabilitas	0,41	0,42	0,51	0,51	0,1-0,5

Hasil pengujian yang dirangkum pada Tabel 5 menunjukkan bahwa karakteristik volumetrik dan fungsional aspal beton porus dipengaruhi secara signifikan oleh interaksi antara jenis bahan pengikat dan pola gradasi agregat. Campuran dengan aspal PEN 60/70 menghasilkan nilai *Void in Mix* (VIM) lebih tinggi dibandingkan campuran menggunakan aspal modifikasi AKAP PG 76, yang mencerminkan perbedaan sifat reologi bahan pengikat. Aspal termodifikasi memiliki viskositas lebih tinggi sehingga mampu membentuk lapisan film aspal yang lebih efektif, menutupi permukaan agregat dan menstabilkan rongga antar-butir.

Temuan ini konsisten dengan (Mirani, T.A *et al.*, 2025), yang menunjukkan bahwa penggunaan *polymer-modified bitumen* pada aspal beton porus meningkatkan kohesi antar-agregat, menurunkan kehilangan agregat (*Cantabro loss*), serta mempertahankan permeabilitas jika dibandingkan dengan aspal konvensional. Secara komparatif, gradasi agregat *British Standard* (BS) menunjukkan kinerja volumetrik yang lebih baik dibandingkan standar *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). Campuran dengan gradasi BS (varian BSP dan BSK) menghasilkan nilai VIM optimal di kisaran 19%–20%, yang bertepatan dengan koefisien permeabilitas maksimum sebesar 0,51 cm/detik. Pola gradasi ini membentuk struktur rongga yang saling terhubung, sehingga aliran air menjadi lebih lancar dan risiko terbentuknya rongga terisolasi dapat diminimalkan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian (Zhou *et al.*, 2025), yang menekankan bahwa konektivitas rongga merupakan faktor kunci dalam menentukan kinerja drainase sekaligus sifat mekanis aspal beton porus.

Penggunaan AKAP PG 76 secara signifikan meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran. Peningkatan viskositas kompleks pada AKAP memperkuat ikatan antar-agregat, yang tercermin pada nilai *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi pada sampel BSK sebesar 272,06 kg/mm. Temuan ini mengonfirmasi penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa aspal termodifikasi mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen dan retak, tanpa mengganggu struktur rongga pada aspal beton porus.

Metode *Cantabro* digunakan untuk menilai ketahanan terhadap abrasi, dan hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran bergradasi *British Standard* (BS), terutama varian BSP, memiliki kehilangan agregat paling rendah, yaitu 4,86%. Ketahanan ini terkait erat dengan efektivitas kontak antar-agregat (*stone-on-stone contact*) serta kemampuan bahan pengikat mempertahankan kohesi antarpartikel selama proses abrasi. Analisis lebih lanjut mengungkap bahwa kombinasi gradasi agregat BS dengan aspal termodifikasi AKAP PG 76 mampu menyeimbangkan antara permeabilitas dan durabilitas jangka panjang. Dengan demikian, campuran tetap menjalankan fungsi drainase secara optimal tanpa mengurangi kinerja mekanisnya.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa aspal termodifikasi AKAP PG-76 meningkatkan stabilitas dan menurunkan nilai *flow* campuran aspal beton porus dibandingkan aspal Penetrasi 60/70, sehingga lebih tahan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas. Selain itu, gradasi agregat berpengaruh signifikan terhadap permeabilitas, di mana variasi gradasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dan *British Standard* (BS) memengaruhi distribusi rongga dan kemampuan drainase campuran. Dengan demikian, pemilihan jenis aspal dan gradasi agregat yang tepat dapat menghasilkan campuran aspal beton porus dengan kinerja mekanis dan hidrologis yang optimal.

4.2 Saran

Aspal termodifikasi, seperti AKAP PG-76, layak dipertimbangkan untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi deformasi campuran beton porus pada area dengan lalu lintas tinggi, dengan pemilihan gradasi agregat yang menyeimbangkan

permeabilitas dan kestabilan. Penelitian selanjutnya perlu mengkaji pengaruh penambahan serat terhadap ketahanan lentur, porositas, dan kinerja jangka panjang campuran porus.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya atas dukungan pendanaan melalui skema PNBP Penelitian Terapan–Penugasan inovasi. Penghargaan yang sama disampaikan kepada rekan-rekan dan mahasiswa yang telah membantu hingga penelitian ini terselesaikan. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada tim *reviewer* dan dewan redaksi yang telah menelaah serta memproses penerbitan artikel ini.

Daftar Kepustakaan

- AASHTO, 2021. *AASHTO TP 108-14 (2021): Standard Method of Test for Abrasion Loss of Asphalt Mixtures*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO, 2023. *AASHTO T 215-23: Standard Method of Test for Permeability of Granular Soils (Constant Head)*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Australian Asphalt Pavement Association (AAPA), 2004. *National Asphalt Specification*, 2nd edn. Melbourne: Australian Asphalt Pavement Association.
- Anggiani, D., Puspito, H. & Meutia, W., 2018. Analisis kinerja aspal pen 60/70 dan aspal polimer JAP-57 dalam campuran aspal porus. *Jurnal Infrastruktur*, 4(1), pp.19–24.
- Arif, M, I., Sasana Putra., Dwi Herianto., Rahayu Sulistyorini, 2023. Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Limbah Plastik Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal. *Jurnal JRSDD, Edisi Maret 2023, Vol.11, No. 1, Hal: 189 – 202* <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v11i2.3619>
- Badan Standardisasi Nasional, 1990a. *SNI 03-1968-1990: Metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 1991. *SNI 03-2417-1991: Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2008a. *SNI 1964:2008: Cara uji berat jenis tanah*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011a. *SNI 15-2531-1991: Berat jenis semen*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011b. *SNI 2432:2011: Cara uji daktilitas aspal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Badan Standardisasi Nasional, 2011d. *SNI 2434:2011: Cara uji titik lembek aspal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011g. *SNI 2456:2011: Cara uji penetrasi aspal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012a. *SNI 7619:2012: Metode uji penentuan persentase butir pecah pada agregat kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011f. *SNI 2441:2011: Cara uji berat jenis aspal keras*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2016b. *SNI 06-8287-2016: Metode pengujian campuran aspal dengan alat Marshall*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- British Standards Institution (BSI), 2016. *BS EN 13108-7: Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous asphalt*. London: British Standards Institution.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011e. *SNI 2439:2011: Cara uji penyalutan dan pengelupasan pada campuran agregat-aspal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011c. *SNI 2433:2011: Cara uji titik nyala dan titik bakar aspal dengan alat Cleveland open cup*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012b. *SNI ASTM C117: Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 75 μm (No. 200) dalam agregat mineral dengan pencucian*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional, 1990b. *SNI 03-1970-1990: Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2016a. *SNI 8287:2016: Metode uji kuantitas butiran pipih, lonjong, atau pipih dan lonjong dalam agregat kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2008b. *SNI 03-1969-2008: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- 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://www.mdpi.com/2076-3417/15/7/3631>
- Firdaus, 2022. Penerapan teknologi aspal porous. PUPR TV, YouTube, 30 November. <https://www.youtube.com/watch?v=N9GrQQjHQkw>
- Ghafari, N. et al., 2023. Effect of type and aggregate gradation on the functional properties of porous asphalt (case study of Iran). *SN Applied Sciences*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-023-05480-y>

- Jasman Yusuf, Widarto, H. & Hidayat, A., 2021. Studi penggunaan aspal modifikasi pada campuran aspal porus. *Jurnal Karajata*, 1(1), pp.23–31. <https://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata/article/view/692>
- Mirani Trie Amanda, M., Mauliana, R., Rahman, T. & Suparma, L.B., 2025. Evaluating the performance of porous asphalt mixtures with polymer modified and unmodified bitumen. *Discover Civil Engineering*, 2, Article 31. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00196-x>
- Rani, H.A. et al., 2023. Marshall stability of porous asphalt with oyster shell ash filler substitution and high-density polyethylene. *Teras Jurnal*, 13(1), pp.183–192
- Saudy, M., Safwan Khedr, Sherif El-Badawy, 2024. Fiber elastomer modified asphalt for the development of resilient porous asphalt mixtures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 50(16), pp.12601–12617. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-024-09318-6>
- Sihombing, et al., 2022. Pengaruh metode penggabungan gradasi agregat terhadap porositas, stabilitas, dan permeabilitas campuran beraspal porus. *Jurnal Potensi*, 24(2), pp.57–67.
- Sukirman, S. (2016) *Beton aspal campuran panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Susanto, H.A. et al., 2023. Limbah plastik dan karet. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 40(1), pp.32–43.
- Wang, S., Cheng, D. & Xie, J., 2022. Evaluation of the performance of SMA mixtures modified with SBS and crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 325, 126785. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126785>
- Zhou, Y. et al. (2025) Cheng, Z., Zheng, X., Wang, T., Wu, X. & Yu, X., 2025. A holistic exploration of porous asphalt mixtures: From durability and permeability to low temperature and functional properties. *Heliyon*, 11(2), e41437. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41437>