

Evaluasi Kinerja Campuran AC-WC dengan Substitusi Parsial Aspal Minyak oleh Asbuton B5/20 Kadar Rendah

Adinda Putri Insani¹, Hakzah Hakzah^{1,*}, Imam Fadly¹

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare¹

Koresponden*, Email: hakzahs@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	21 Juli 2025	<i>The growth of road infrastructure in Indonesia encourages the use of more efficient and sustainable pavement materials. This study aims to evaluate the effect of partial substitution of asphalt with low-grade Asbuton B5/20 (2–4%) on the mechanical performance of AC-WC mixtures. Testing was conducted using the Marshall method with parameters of stability, flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VMA, and VFB, and referring to the General Specifications of Bina Marga 2018 Revision 2. The results show that the addition of 2% Asbuton yields optimal performance with an MQ value of 366.18 kg/mm and all volumetric parameters meeting the specifications. An addition above 2% causes a decrease in stability and stiffness, although it's still within standard limits. These findings indicate that Asbuton B5/20 can be used as a partial substitute for asphalt binder at an optimum content of 2%, supporting the efficiency of local materials for tropical road pavements. Further studies are recommended to test the field performance and long-term durability of the mixture.</i>
Diperbaiki	11 Agustus 2025	
Disetujui	22 Agustus 2025	
Keywords: buton asphalt B5/20, AC-WC, marshall test, partial substitution, tropical pavement		Abstrak Pertumbuhan infrastruktur jalan di Indonesia mendorong pemanfaatan material perkerasan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh substitusi parsial aspal minyak dengan Asbuton B5/20 kadar rendah (2–4%) terhadap kinerja mekanik campuran AC-WC. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall dengan parameter Stabilitas, Flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VMA, dan VFB, serta mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Hasil menunjukkan bahwa penambahan Asbuton 2% menghasilkan performa optimal dengan nilai MQ sebesar 366,18 kg/mm dan seluruh parameter volumetrik memenuhi spesifikasi. Penambahan di atas 2% menyebabkan penurunan stabilitas dan kekakuan meskipun tetap dalam batas standar. Temuan ini menunjukkan bahwa Asbuton B5/20 dapat digunakan sebagai alternatif substitusi parsial pengikat aspal pada kadar optimum 2%, mendukung efisiensi material lokal untuk perkerasan jalan tropis. Studi lanjutan disarankan untuk menguji performa lapangan dan ketahanan jangka panjang campuran.
Kata kunci: asbuton B5/20, AC-WC, uji marshall, substitusi parsial, perkerasan jalan tropis		

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan transportasi mendorong percepatan pembangunan jalan di Indonesia. Diperlukan material perkerasan yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Aspal minyak bumi sebagai bahan pengikat utama memiliki keterbatasan dalam hal ketersediaan, fluktuasi harga, dan dampak lingkungan [1][2].

Sebagai alternatif, aspal alam dari Pulau Buton (Asbuton), khususnya tipe B5/20 yang mengandung $\pm 20\%$ bitumen dan berbentuk granular, dinilai lebih stabil dan praktis dibandingkan Asbuton murni [3][4]. Studi sebelumnya juga menunjukkan bahwa aspal alam dapat meningkatkan kohesi dan stabilitas campuran beraspal [5][6].

Lapisan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) sebagai lapisan aus sangat bergantung pada kualitas material dan komposisi campuran, termasuk gradasi agregat, kadar

aspal, serta jenis dan kandungan bahan pengikat tambahan [7][8]. Penelitian [9] menegaskan bahwa ketepatan dalam pemilihan gradasi agregat, termasuk pengujian modulus kehalusan, berat jenis, serta keausan agregat, menjadi faktor kunci dalam mendukung performa perkerasan jalan, karena agregat menyumbang 90–95% terhadap struktur campuran beraspal. Penelitian [10] turut memperkuat temuan ini, di mana penggunaan agregat lokal dari Sungai Opak menghasilkan performa stabilitas sebesar 1177,01 kg dan Marshall Quotient sebesar 384,05 kg/mm dalam campuran aspal beton.

Penggunaan bahan tambahan seperti serat alam [7], karet daur ulang [3], plastik [1], dan natural asphalt [2] telah digunakan untuk meningkatkan performa lapisan aus. Hasil penelitian [11] menunjukkan bahwa kombinasi Asbuton B5/20 dengan bio-aditif gondorukem dan pengaturan lama pemeraman dapat memperbaiki karakteristik Marshall

(stabilitas, MQ, dan parameter volumetrik), dengan performa optimal pada kondisi pemeraman tertentu, namun pemeraman yang terlalu lama juga dapat menurunkan beberapa parameter volumetrik. Studi lapangan dan laboratorium oleh [12] menemukan bahwa penambahan limbah plastik (LDPE) pada campuran AC-WC (kadar efektif sekitar 6% terhadap berat aspal) meningkatkan stabilitas Marshall, stabilitas dinamis, dan ketahanan deformasi serta mempertahankan kesesuaian kadar aspal dan gradasi antara rencana dan pelaksanaan lapangan. Penelitian oleh [13] melaporkan bahwa penambahan Lateks KKK60 pravulkanisasi pada kadar 3-5% meningkatkan stabilitas Marshall dan stabilitas dinamis, sementara VIM menurun dan VFB meningkat pada kadar yang sesuai.

Pemanfaatan Asbuton tipe B5/20 dalam kadar rendah (2–4%) masih jarang dikaji secara komprehensif, khususnya untuk AC-WC tropis. Penelitian-penelitian dalam konteks Indonesia juga menekankan pentingnya pemanfaatan material daerah dalam mendukung ketahanan infrastruktur dan efisiensi biaya [14][15]. Beberapa jurnal nasional telah melaporkan hasil penggunaan Asbuton B50/30, namun belum banyak yang membahas performa teknis B5/20 dalam konteks spesifikasi Marshall [16][17].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penambahan Asbuton B5/20 pada campuran AC-WC terhadap parameter Marshall, serta menentukan kadar optimal yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 [18]. Hasilnya diharapkan mengisi kesenjangan ilmiah dan mendukung pemanfaatan material lokal untuk perkerasan tropis berkelanjutan.

2. Metode

Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan Asbuton B5/20 terhadap kinerja Marshall campuran AC-WC. Rancangan penelitian mengacu pada metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Pendekatan analisis dalam penelitian ini dilakukan secara deskriptif-komparatif karena jumlah benda uji per variasi ($n=3$) belum mencukupi untuk analisis statistik inferensial seperti ANOVA. Meskipun demikian, tren antarvariabel diuji secara sistematis terhadap spesifikasi teknis Bina Marga 2018 untuk memastikan validitas teknis dan praktis dari performa campuran.

Bahan yang digunakan adalah agregat kasar (1–2 cm dan 0,5–1 cm), agregat halus (abu batu), aspal minyak penetrasi 60/70, serta Asbuton tipe B5/20. Karakteristik fisik agregat seperti berat jenis, penyerapan air, keausan, dan indeks kepipihan diuji sesuai standar nasional, sejalan dengan

pendekatan penelitian [19] yang menguji kelayakan material agregat dari beberapa sumber tambang lokal di Kabupaten Pinrang. Penelitian [20] juga menerapkan metode serupa dalam pengujian sifat agregat kasar untuk campuran beton RCC dengan tambahan serat baja, membuktikan efektivitas pengujian standar nasional untuk menilai kelayakan agregat lokal.

Pada **Tabel 1**, **Tabel 2**, dan **Tabel 3** disajikan standar acuan serta batas minimum dan maksimum spesifikasi pengujian, mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [18] serta SNI terkait. Tabel ini digunakan sebagai acuan dalam membandingkan hasil uji laboratorium material yang disajikan pada tabel-tabel berikutnya.

Tabel 1. Standar Spesifikasi Pengujian Agregat [18]

No	Jenis Pengujian	Standar Acuan	Batas Minimum/Maksimum Spesifikasi
1	Berat jenis dan penyerapan agregat	SNI 1969:2016 [21]	Berat jenis $\geq 2,5$ g/cm ³ ; Penyerapan $\leq 3\%$
2	Analisa saringan (gradasi)	SNI 1968:2008 [22]	Sesuai spesifikasi AC-WC Bina Marga 2018 [18]
3	Keausan (Abrasi Los Angeles)	SNI 2417:2008 [23]	Maksimum 30% (500 putaran); Maksimum 6% (100 putaran)
4	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011 [24]	Minimum 95%
5	Partikel pipih dan lonjong	SNI 8287:2016 [25]	Maksimum 10%
6	Material lolos ayakan no. 200	SNI ASTM C117:2012 [26]	Maksimum 1%
7	Gumpalan lempung dan butir mudah pecah	SNI 03-4141-1996 [27]	Maksimum 1%
8	Nilai setara pasir (sand equivalent)	SNI 03-4428-1997 [28]	Minimum 50%

Tabel 2. Standar Spesifikasi Pengujian Aspal [18]

No	Jenis Pengujian	Standar Acuan	Batas Minimum/Maksimum Spesifikasi
1	Penetrasi aspal	SNI 2456:2011 [29]	60–70 (0,1 mm)
2	Titik lembek aspal	SNI 2434:2011 [30]	$\geq 48^{\circ}\text{C}$
3	Daktilitas aspal	SNI 2432:2011 [31]	$\geq$ Minimum 100 cm
4	Kelarutan	AASHTO T44-14 [32]	$\geq 99\%$
5	Berat jenis aspal	SNI 2441:2011 [33]	$\geq 1,0$

Tabel 3. Standar Spesifikasi Pengujian Asbuton [18]

No	Jenis pengujian	Standar acuan	Batas min/maks spesifikasi
1	Kadar air Asbuton	SNI 2490:2008 [34]	Maksimum 4%
2	Ekstraksi	SNI 06-2444-1991 [35]	-

Setelah batas standar spesifikasi untuk masing-masing pengujian ditetapkan, Langkah berikutnya adalah merancang gradasi campuran agar berada dalam batas spesifikasi AC-WC sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga [18]. Kadar aspal optimum (KAO) diperoleh berdasarkan uji Marshall pada lima variasi kadar aspal. Setiap kadar aspal diuji dengan tiga benda uji, sehingga total sampel penentuan KAO adalah 15. KAO dipilih berdasarkan titik seimbang dari parameter stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFB.

Setelah KAO ditetapkan, tahap selanjutnya adalah memproduksi campuran AC-WC dengan penambahan Asbuton B5/20 pada kadar yang bervariasi untuk menentukan kadar optimum. Campuran dibuat dalam tiga variasi kadar Asbuton B5/20, yaitu 2%, 3%, dan 4% dari total agregat. Masing-masing variasi dibuat tiga benda uji, sehingga total sembilan sampel benda uji. Seluruh sampel yang telah dibuat kemudian diuji untuk mengevaluasi karakteristik Marshall dan sifat volumetrik campuran. Pengujian dilakukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [18], yang mencakup pengukuran nilai Stabilitas, Flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VMA, dan

VFB. Setiap sampel diuji untuk mengetahui daya dukung, fleksibilitas, serta kestabilan struktur campuran terhadap beban lalu lintas.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian laboratorium untuk agregat, aspal minyak, dan Asbuton B5/20 yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**. Setiap hasil dibandingkan dengan batas spesifikasi yang telah ditetapkan pada **Tabel 1**, **Tabel 2**, dan **Tabel 3** untuk memastikan seluruh materil memenuhi persyaratan teknis sebelum digunakan dalam pembuatan campuran AC-WC.

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat

No	Jenis pengujian	Hasil uji	Batas spek	Ket
1	Berat jenis	1-2	2,60	$\geq 2,5 \text{ g/cm}^3$ ✓
		0,5-1	2,60	
		Abu batu	2,60	
2	Penyerapan agregat	1-2	2,64	$\leq 3\%$ ✓
		0,5-1	2,68	
		Abu batu	2,81	
3	Keausan (abrasi Los Angeles) 500 putaran	Los Angeles	28,52	Maks 30% ✓
4	Keausan (Abrasi Los Angeles) 100 putaran	Los Angeles	5,23	Maks 6% ✓
5	Kelekatan agregat terhadap aspal	agregat	≥ 95	Min 95% ✓
6	Partikel pipih dan lonjong		1,50	Maks 10% ✓
7	Material lolos ayakan no. 200		0,74	Maks 1% ✓
8	Gumpalan lempung dan butir mudah pecah	1-2	0,503	Maks 1% ✓
		Abu batu	0,6	
9	Nilai setara pasir (sand equivalent)	(sand equivalent)	53,52	Min 50% ✓

Hasil pengujian pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa seluruh parameter agregat memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Berat jenis agregat $>2,5 \text{ g/cm}^3$ dan penyerapan $<3\%$, menandakan densitas dan porositas yang baik. Nilai abrasi 28,52% (500 putaran) dan 5,23% (100 putaran) berada dalam batas toleransi. Kelekatan terhadap aspal $\geq 95\%$ menunjukkan ikatan yang kuat. Persentase partikel pipih dan lonjong, material lolos ayakan No. 200, serta kandungan gumpalan

lempung berada jauh di bawah ambang batas. Nilai sand equivalent sebesar 53,52% juga memenuhi syarat kestabilan campuran mengindikasikan agregat halus memiliki kebersihan yang memadai [6].

Tabel 5. Hasil Pengujian Aspal

No	Jenis pengujian	Hasil uji	Batas spek	Ket
1	Penetrasi aspal	65,2	60–70 (0,1 mm)	✓
2	Titik lembek aspal	49,55	$\geq 48^{\circ}\text{C}$	✓
3	Daktilitas aspal	>111	$\geq$ Min. 100 cm	✓
4	Kelarutan dalam trichloroethylene	99,20	$\geq 99\%$	✓
5	Berat jenis aspal	1,03	$\geq 1,0$	✓

Hasil pengujian pada **Tabel 5** menunjukkan bahwa seluruh parameter fisik berada dalam spesifikasi teknis. Nilai penetrasi 65,2 (0,1 mm), titik lembek 49,55°C, dan daktilitas >111 cm mengindikasikan konsistensi dan fleksibilitas yang sesuai untuk kondisi iklim tropis. Kelarutan 99,2% dan berat jenis 1,03 g/cm³ menandakan kemurnian dan densitas yang baik. Dengan demikian, aspal ini layak digunakan sebagai pengikat utama dalam campuran modifikasi.

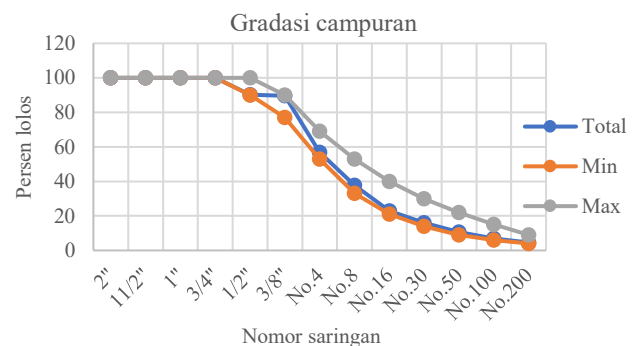
Tabel 6. Hasil Pengujian Asbuton

No	Jenis pengujian	Hasil uji	Batas spek	Ket
1	Kadar air Asbuton	1,36	Maks 4%	✓
2	Ekstraksi	22,91	-	✓

Hasil pengujian pada **Tabel 6** menunjukkan Asbuton B5/20 yang digunakan memiliki kadar air 1,36% (maks 4%) dan kadar bitumen hasil ekstraksi sebesar 22,91%. Nilai ini menandakan bahwa Asbuton memiliki kapasitas pengikat alami yang cukup untuk berperan sebagai substitusi parsial terhadap aspal minyak. Selain itu, kadar air yang rendah mengindikasikan risiko minimal terhadap proses penguapan berlebih saat pencampuran, sehingga dapat membantu menjaga konsistensi viskositas binder. Kandungan bitumen yang relatif tinggi juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan sifat adhesi antara agregat dan binder, yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan stabilitas dan durabilitas campuran AC-WC.

Berdasarkan hasil pengujian material pada **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**, seluruh komponen agregat, aspal

minyak, dan Asbuton B5/20 dinyatakan memenuhi spesifikasi teknis yang telah ditetapkan. Kesesuaian ini menunjukkan bahwa material layak digunakan dalam proses pencampuran AC-WC, baik dari sisi kekuatan, daya tahan, maupun karakteristik volumetrik yang diharapkan. Dengan kelayakan material yang terjamin, tahap selanjutnya adalah merancang gradasi campuran AC-WC. Perancangan gradasi dilakukan melalui kombinasi proporsi agregat kasar, agregat halus, dan filler sehingga distribusi ukuran butirnya berada di dalam batas spesifikasi AC-WC menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [18]. Grafik pada **Gambar 1** menunjukkan kurva gradasi yang digunakan dalam penelitian ini, yang telah disesuaikan agar berada di dalam batas spesifikasi AC-WC menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [18].



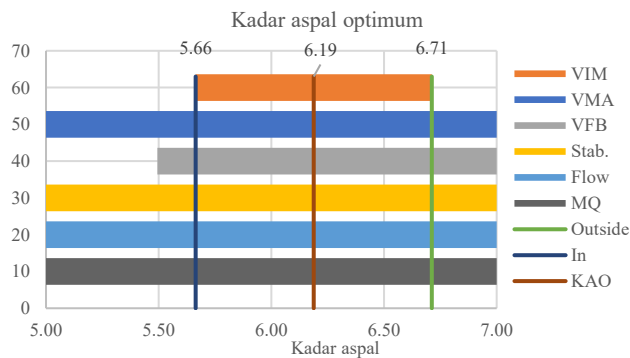
Gambar 1. Grafik Gradasi Campuran

Grafik gradasi campuran pada **Gambar 1**, gradasi agregat berada dalam batas *envelope* yang berarti batas kurva spesifikasi AC-WC menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [18], dengan distribusi partikel mendekati zona tengah, yang diharapkan memberikan keseimbangan antara stabilitas dan workability. Gradasi yang baik akan menghasilkan kontak antar partikel agregat yang optimal dan rongga yang sesuai untuk penetrasi aspal.

Setelah gradasi campuran ditetapkan sesuai batas spesifikasi, tahap selanjutnya adalah menentukan kadar aspal optimum (KAO) melalui pengujian Marshall pada beberapa variasi kadar aspal. Penentuan KAO ini penting untuk memastikan bahwa campuran yang digunakan memiliki keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan stabilitas volumetrik sebelum dilakukan modifikasi dengan penambahan Asbuton B5/20.

Grafik kadar aspal optimum pada **Gambar 2** menunjukkan KAO sebesar 6,19%. Stabilitas maksimum dicapai pada 6,5% (1912 kg) namun disertai peningkatan flow, sedangkan MQ tertinggi 580,05 kg/mm terjadi pada 6,0%. VIM berada dalam batas 3–5% pada kadar 5,5%–6,5%. Dengan mempertimbangkan semua parameter, kadar 6,19% dinilai paling seimbang. Studi internasional

menegaskan pentingnya keseimbangan kadar binder dan sifat volumetrik untuk mencegah overbituminisasi dan menjaga kekakuan struktural [6]. Nilai KAO ini menjadi acuan perbandingan antar variasi Asbuton. Setelah KAO ditetapkan, dilakukan analisis pengaruh penambahan Asbuton B5/20 terhadap performa campuran. Hasil pengujian Marshall untuk kadar 2%, 3%, dan 4% disajikan pada **Tabel 7**.



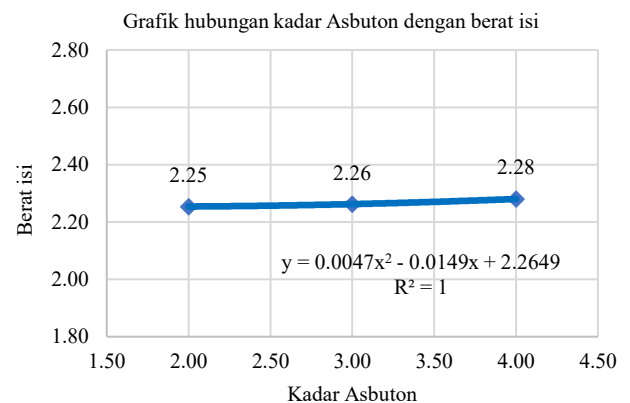
Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum

Tabel 7. Hasil Pengujian Marshall

No	Parameter	Aspal 2%	Aspal 3%	Aspal 4%
1	Berat isi (%)	2,25	2,26	2,28
2	VIM (%)	4,07	3,71	2,95
3	VMA (%)	15,91	15,59	14,93
4	VFB (%)	74,42	76,24	80,35
5	Flow (mm)	3,20	3,47	3,93
6	Stabilitas (Kg)	1863	1731	1625
7	MQ (Kg/mm)	582,53	499,32	414,19

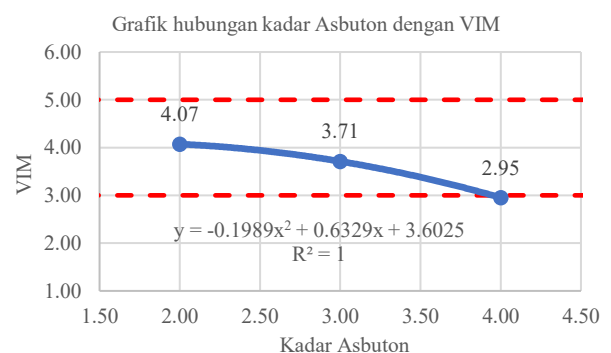
Hasil pada **Tabel 7** menunjukkan hasil pengujian Marshall pada campuran AC-WC dengan penambahan Asbuton B5/20 sebesar 2%, 3%, dan 4%. Nilai berat isi meningkat seiring bertambahnya kadar Asbuton, dari 2,25 pada 2% menjadi 2,28 pada 4%. Persentase VIM menurun dari 4,07% menjadi 2,95%, yang mengindikasikan berkurangnya rongga udara dalam campuran. VMA juga menurun, sementara VFB meningkat signifikan hingga 80,35% pada kadar 4%, menunjukkan rongga dalam agregat semakin terisi aspal. Nilai flow cenderung naik, menandakan peningkatan deformasi plastis. Stabilitas tertinggi dicapai pada kadar 2% (1863 kg) dan menurun pada kadar yang lebih tinggi. MQ juga menunjukkan tren penurunan dari 582,53 kg/mm pada 2% menjadi 414,19 kg/mm pada 4%, yang

mengindikasikan berkurangnya kekakuan campuran pada kadar Asbuton lebih tinggi. Tren perubahan setiap parameter Marshall akibat variasi kadar Asbuton B5/20 dapat dilihat lebih jelas pada grafik hubungan berikut, di mana garis putus-putus merah menunjukkan batas spesifikasi yang digunakan sebagai acuan penilaian kinerja campuran.



Gambar 3. Pengaruh Variasi Kadar Asbuton B5/20 terhadap Berat Isi Campuran AC-WC

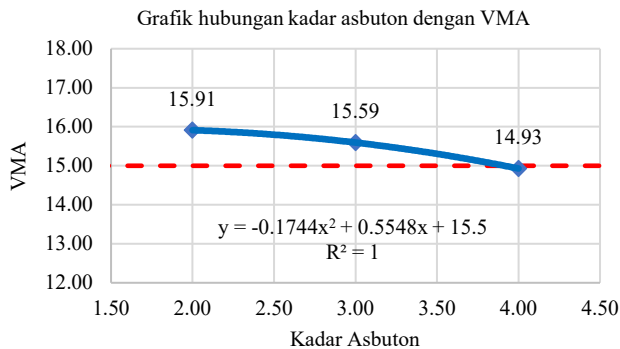
Grafik hubungan kadar asbuton dengan berat isi yang ditampilkan pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa berat isi campuran meningkat seiring bertambahnya kadar Asbuton B5/20, dari 2,25 g/cm³ pada kadar 2% menjadi 2,28 g/cm³ pada kadar 4%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa Asbuton berperan aktif dalam mengisi rongga campuran, sehingga densitas menjadi lebih tinggi, padat, dan stabil. Nilai koefisien determinasi R² sebesar 1 mengindikasikan bahwa variasi kadar Asbuton memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap perubahan berat isi, sesuai dengan persamaan polinomial orde dua yang diperoleh.



Gambar 4. Pengaruh Variasi Kadar Asbuton B5/20 terhadap VIM

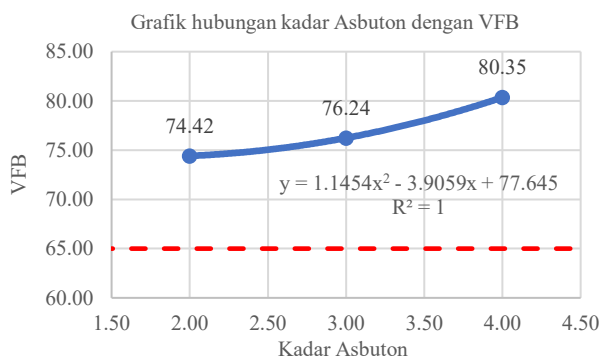
Grafik hubungan kadar asbuton dengan VIM yang ditampilkan pada **Gambar 4**, menunjukkan bahwa nilai VIM

campuran menurun dari 4,07% pada kadar Asbuton 2% menjadi 2,95% pada kadar 4%. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya rongga udara akibat bertambahnya binder yang mengisi pori-pori antaragregat. Nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 1 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara kadar Asbuton dan penurunan VIM, sesuai dengan persamaan polinomial orde dua yang diperoleh.



Gambar 5. Pengaruh Variasi Kadar Asbuton B5/20 terhadap VMA

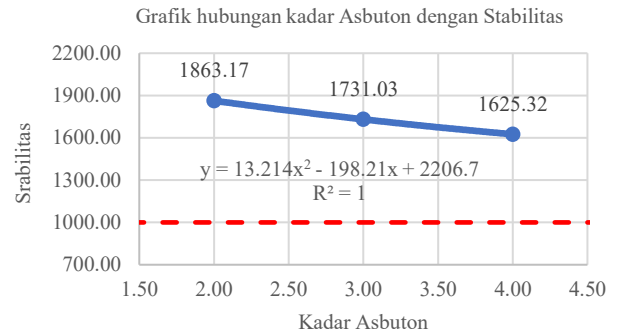
Grafik hubungan kadar asbuton dengan VMA yang ditampilkan pada **Gambar 5**, menunjukkan tren penurunan seiring peningkatan kadar Asbuton. Nilai VMA campuran menurun dari 15,91% pada kadar Asbuton 2% menjadi 14,93% pada kadar 4%. Penurunan ini menunjukkan bahwa ruang antartbutir agregat yang tersedia untuk diisi aspal semakin berkurang akibat semakin rapatnya susunan agregat dalam campuran. Nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 1 mengindikasikan adanya hubungan yang sangat kuat antara kadar Asbuton dan penurunan VMA, sesuai dengan persamaan polinomial orde dua yang diperoleh.



Gambar 6. Pengaruh Variasi Kadar Asbuton B5/20 terhadap VFB

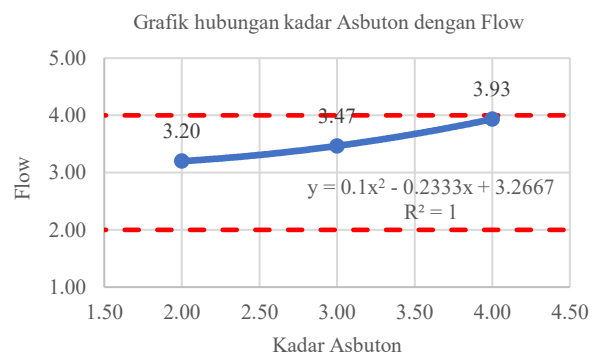
Grafik hubungan kadar asbuton dengan VFB yang ditampilkan pada **Gambar 6**, menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya kadar Asbuton. Nilai VFB campuran

meningkat dari 74,42% pada kadar Asbuton 2% menjadi 80,35% pada kadar 4%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa persentase rongga dalam agregat yang terisi aspal semakin besar, sehingga campuran menjadi lebih padat dan kedap terhadap air. Nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 1 mengindikasikan adanya hubungan yang sangat kuat antara kadar Asbuton dan peningkatan VFB, sesuai dengan persamaan polinomial orde dua yang diperoleh.



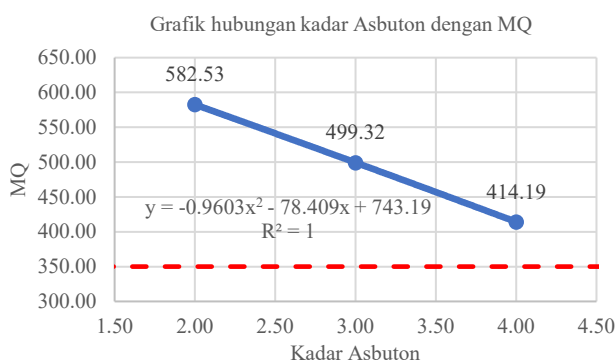
Gambar 7. Pengaruh Variasi Kadar Asbuton B5/20 terhadap Stabilitas

Grafik hubungan kadar asbuton dengan stabilitas yang ditampilkan pada **Gambar 7**, menunjukkan tren penurunan seiring meningkatnya kadar Asbuton. Nilai stabilitas campuran berkurang dari 1863,17 kg pada kadar Asbuton 2% menjadi 1625,32 kg pada kadar 4%. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya kemampuan campuran dalam menahan beban akibat penambahan Asbuton yang berlebihan, yang dapat memengaruhi kekuatan ikatan antaragregat. Nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 1 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara kadar Asbuton dan penurunan stabilitas, sesuai dengan persamaan polinomial orde dua yang diperoleh.



Gambar 8. Pengaruh Variasi Kadar Asbuton B5/20 terhadap Flow

Grafik hubungan kadar asbuton dengan flow yang ditampilkan pada **Gambar 8**, menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya kadar Asbuton. Nilai flow campuran meningkat dari 3,20 mm pada kadar Asbuton 2% menjadi 3,93 mm pada kadar 4%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa deformasi plastis campuran cenderung lebih besar akibat bertambahnya kadar binder, yang membuat campuran menjadi lebih lentur. Nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 1 mengindikasikan adanya hubungan yang sangat kuat antara kadar Asbuton dan peningkatan flow, sesuai dengan persamaan polinomial orde dua yang diperoleh.



Gambar 9. Pengaruh Variasi Kadar Asbuton B5/20 terhadap MQ

Grafik hubungan kadar asbuton dengan MQ yang ditampilkan pada **Gambar 9**, menunjukkan tren penurunan seiring meningkatnya kadar Asbuton. Nilai MQ campuran berkurang dari 582,53 kg/mm pada kadar Asbuton 2% menjadi 414,19 kg/mm pada kadar 4%. Penurunan ini menunjukkan bahwa kekakuan campuran berkurang akibat peningkatan kadar binder, sehingga campuran menjadi lebih lentur dan kurang kaku dalam menahan beban. Nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 1 mengindikasikan adanya hubungan yang sangat kuat antara kadar Asbuton dan penurunan MQ, sesuai dengan persamaan polinomial orde dua yang diperoleh.

Secara keseluruhan, kadar Asbuton sebesar 2% menghasilkan kinerja campuran paling optimal, dengan keseimbangan antara densitas, stabilitas, dan kekakuan struktural [6]. Hasil terbaik diperoleh pada kadar Asbuton 2%, ditunjukkan oleh nilai stabilitas dan MQ yang maksimal dan seluruh parameter berada dalam batas spesifikasi. Ini menunjukkan bahwa kadar tersebut menghasilkan keseimbangan antara fleksibilitas dan kekakuan struktural campuran. Sebaliknya, kadar 3–4% menunjukkan penurunan performa, sesuai temuan [8] yang menyatakan bahwa kelebihan binder dapat menurunkan modulus kekakuan dan meningkatkan sensitivitas terhadap suhu.

Analisis dilakukan secara deskriptif-komparatif karena jumlah sampel per variasi ($n=3$) tidak memenuhi kriteria untuk uji inferensial. Tren parameter kemudian dievaluasi berdasarkan spesifikasi teknis Bina Marga 2018. Meskipun tanpa uji statistik formal, tren penurunan stabilitas dan MQ serta peningkatan flow menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kinerja teknis campuran AC-WC. Dengan demikian, kadar Asbuton sebesar 2% direkomendasikan sebagai proporsi optimum untuk menghasilkan performa campuran AC-WC yang seimbang.

Perbandingan dengan studi [36] menunjukkan bahwa penggunaan Asbuton B5/20 dengan kadar rendah memberikan performa stabilitas dan MQ lebih tinggi dibanding B50/30 yang mereka gunakan (1175 kg dan 350,21 kg/mm). Hal ini memperkuat hipotesis bahwa Asbuton kadar menengah seperti B5/20 efektif digunakan dalam batas kadar tertentu.

Studi lain oleh [37] juga menunjukkan bahwa parameter stabilitas dan flow sangat sensitif terhadap komposisi binder dan teknik pencampuran, serta dipengaruhi oleh iklim dan jenis lalu lintas. Oleh karena itu, optimasi kadar Asbuton perlu memperhatikan konteks lokal secara spesifik.

Pengolahan data dilakukan secara deskriptif-komparatif tanpa uji statistik formal karena keterbatasan jumlah sampel (hanya tiga benda uji per variasi), yang secara statistik belum memenuhi syarat minimum untuk pengujian inferensial seperti ANOVA. Selain itu, pendekatan ini difokuskan pada identifikasi tren teknis dan evaluasi terhadap spesifikasi teknis Bina Marga 2018, yang secara praktis lebih relevan untuk studi awal pemanfaatan Asbuton B5/20 pada kadar rendah.

Implikasi utama dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Asbuton B5/20 pada kadar 2% tidak hanya memenuhi parameter teknis Marshall, tetapi juga berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap aspal minyak bumi impor hingga sekitar 15% per ton campuran. Hal ini memberikan peluang strategis bagi pemerintah daerah, khususnya di wilayah dengan cadangan Asbuton melimpah, untuk mendorong substitusi material lokal yang lebih ekonomis dan berkelanjutan. Dari sudut pandang teknik, campuran ini dinilai layak diterapkan pada jalan dengan kategori lalu lintas sedang hingga tinggi di kawasan tropis, meskipun pengujian performa lapangan tetap diperlukan untuk validasi lebih lanjut.

Meskipun menjanjikan, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan. Pertama, seluruh pengujian dilakukan dalam lingkungan laboratorium terkendali, yang belum merepresentasikan kondisi lapangan seperti fluktuasi suhu harian, curah hujan, serta variasi beban kendaraan. Kedua,

pendekatan pengujian masih terbatas pada metode Marshall, tanpa menyertakan uji ketahanan jangka panjang seperti kelelahan (fatigue), deformasi permanen (rutting), atau ketahanan terhadap temperatur ekstrem. Ketiga, variasi kadar Asbuton yang diteliti masih terbatas pada kisaran 2–4%, sehingga belum mencakup potensi pengaruh pada kadar yang lebih tinggi.

Oleh karena itu, diperlukan studi lanjutan yang mencakup simulasi lalu lintas aktual, pengujian durabilitas jangka panjang, serta evaluasi performa campuran di lapangan. Penelitian masa depan juga dapat mempertimbangkan pengaruh faktor eksternal seperti suhu lingkungan, siklus beban berulang, dan karakteristik keausan aktual untuk mendapatkan generalisasi yang lebih kuat [38][39].

4. Simpulan

Penelitian ini mengisi gap literatur dengan mengevaluasi kinerja mekanik Asbuton B5/20 pada kadar rendah (2–4%) dalam campuran AC-WC. Berbeda dari studi sebelumnya yang umumnya meneliti Asbuton kadar tinggi seperti B50/30, penelitian ini menyoroti kinerja mekanik Asbuton dengan kadar rendah (2–4%) berdasarkan parameter uji Marshall. Kadar Asbuton 2% menunjukkan performa teknis paling seimbang, ditandai dengan nilai stabilitas dan kekakuan yang tinggi serta parameter volumetrik yang sesuai spesifikasi Bina Marga 2018.

Penambahan Asbuton di atas 2% menyebabkan penurunan stabilitas dan kekakuan, meskipun seluruh parameter masih dalam batas standar. Oleh karena itu, kadar Asbuton 2% direkomendasikan sebagai dosis optimum untuk meningkatkan kinerja struktural campuran AC-WC tanpa meningkatkan risiko deformasi plastis. Hal ini menegaskan potensi Asbuton B5/20 sebagai alternatif substitusi parsial terhadap aspal minyak bumi dalam pengembangan infrastruktur jalan berkelanjutan di daerah tropis.

Meskipun hasil laboratorium menunjukkan potensi signifikan, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan: cakupan kadar yang sempit (2–4%), pendekatan pengujian terbatas pada Marshall, dan belum mencakup durabilitas jangka panjang. Oleh karena itu, studi lanjutan direkomendasikan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap kelelahan (fatigue), deformasi permanen (rutting), suhu ekstrem, serta uji in-situ di kondisi lalu lintas nyata.

Meskipun tidak dilakukan uji statistik inferensial, analisis tren dari seluruh parameter menunjukkan konsistensi teknis yang menguatkan rekomendasi kadar optimum sebesar 2%. Penelitian lanjutan disarankan untuk melibatkan jumlah benda uji lebih besar agar memungkinkan penggunaan uji signifikansi statistik secara formal. Untuk penelitian lanjutan,

disarankan penggunaan analisis varian (ANOVA) guna menguji signifikansi statistik pengaruh kadar Asbuton.

Selanjutnya, pengujian menggunakan metode Wheel Tracking Test, Indirect Tensile Strength (ITS), dan modulus resilient perlu dilakukan untuk memahami respons campuran terhadap pembebanan siklik. Analisis Life Cycle Assessment (LCA) dan evaluasi keekonomian juga penting dalam mendukung penerapan Asbuton B5/20 secara berkelanjutan dan efisien dalam skala nasional.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Bahan dan Perkerasan Jalan atas fasilitas dan dukungan teknis yang disediakan. Apresiasi khusus juga disampaikan kepada pembimbing akademik dan tim penguji atas masukan konstruktif selama proses penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] C. Li *et al.*, “Laboratory investigation on the properties of warm mixing-recycled asphalt containing waste oil and plastics,” *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 25, no. 1, p. 2301455, Dec. 2024.
- [2] S. Li, J. Hu, Y. Zhang, and S. Wu, “Use of Natural Asphalt in Hot Mix Asphalt: A Review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 261, p. 121217, 2024.
- [3] Hamkah, Z. Saing, D. Mairuhu, and M. Tumpu, “Characteristics of Asphalt Concrete Wearing Course Mix Incorporating Recycled Tire Rubber as an Additive,” *Geomate J.*, vol. 26, no. 115, pp. 55–60, 2024.
- [4] P. P. dan P. J. dan J. (Pusjatan), “Panduan Teknis Aspal Buton Siap Campur Tipe B5/20,” Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, Bandung, Indonesia, 2019.
- [5] A. Mansourian, M. Ghasemi, and A. R. Azarhoosh, “Performance evaluation of asphalt mixtures containing natural asphalt and aramid fibers,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 343, p. 128184, 2023.
- [6] Z. B. Yıldırım, M. Karacasu, and V. Okur, “Optimisation of Marshall Design criteria with central composite design in asphalt concrete,” *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 21, no. 5, pp. 666–676, 2020.
- [7] R. Balreddy, G. Murali, and G. Ramakrishna, “Evaluation of performance characteristics of bituminous mixtures modified with natural fibres,” *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 2544, 2023.
- [8] R. Fernandes, H. Silva, and J. R. M. Oliveira, “Use of Natural Asphalt in Road Pavement: A Review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 217, pp. 371–387, 2019.
- [9] H. Hakzah, A. Andriansyah, M. Mustakim, and J.

- Jasman, "The Aggregate Gradation in Road Reconstruction," pp. 930–940, 2024.
- [10] M. S. Nugroho, "Karakteristik Marshall Quotient Pada Hot Mix Asphalt Menggunakan Agregat Alam Sungai Opak," *INERSIA Informasi dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 15, no. 2, pp. 84–91, 2019.
- [11] H. Amri, I. D. Made, A. Karyawan, and E. Ahyudanari, "Pengaruh Lama Pemeraman Terhadap Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton dengan Asbuton dan Bio Aditif Gondorukem," vol. 19, pp. 369–378, 2021.
- [12] I. Susanto and N. Suaryana, "Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek," vol. 17, pp. 27–36, 2019.
- [13] D. W. Nasution, Z. A. Muis, A. S. L, A. P. R, and R. A. S, "Lateks KKK60 Pravulkanisasi sebagai Modifier Campuran Aspal (AC-WC)," vol. 22, pp. 1–6, 2024.
- [14] H. A. A. Hasyir and S. B. Wasono, "Analysis Mixed Layer Asphalt Surface as Asbuton Ac-Wc Characteristics of Marshall," *IJIEEB Int. J. Integr. Educ. Eng. Bus.*, vol. 3, no. 2, pp. 132–143, 2020.
- [15] H. P. Nugroho, H. Sujatmiko, and H. Pranoto, "The Effect of Addition of Sugarcane Ash Waste and Low Density Polyethylene Plastic on the Characteristics of Laston AC-WC Mixture," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, 2023.
- [16] E. Indrawati and H. Susanto, "Studi karakteristik campuran AC-WC dengan asfalt Buton B5/20 di daerah tropis," *J. Rekayasa Sipil dan Perenc.*, vol. 8, no. 2, pp. 45–55, 2022.
- [17] R. P. Ardiansyah, Y. A. Putra, and D. Kurniawan, "Analisis daya tahan dan stabilitas AC-WC dengan penambahan asfalt Buton B5/20 dosis rendah," *J. Tek. Perkerasan*, vol. 5, no. 1, pp. 10–18, 2023.
- [18] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Spesifikasi Umum 2018," *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, no. Revisi 2, pp. 6.1-6.104, 2018.
- [19] Hakzah, S. A, and Yulianti, "Studi Kelayakan Sifat Fisik Agregat Untuk Struktur Perkerasan Jalan (Quarry Gunung Lakera Bum, Gunung Lompongang, Dan Gunung Benderae Kab. Pinrang)," *J. Karajata Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [20] A. Dwi Sampurno, I. Satyarno, and A. Taufik Mulyono, "Pengaruh Serat Baja (Dramix) Terhadap Kuat Lentur Pada Roller Compacted Concrete (Rcc)," *INERSIA Informasi dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 15, no. 1, pp. 43–53, 2019.
- [21] Badan Standarisasi Nasional, "Sni 1969 : 2016," *Metod. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agreg. Kasar*, no. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional, pp. 1–23, 2016.
- [22] B. S. Nasional, "SNI 1968:2008 – Metode uji persentase butir pecah agregat kasar," BSN, 2008.
- [23] SNI 2417-2008, "Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta," *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–20, 2008.
- [24] SNI 2439, "Metode uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat-aspal," *Standar Nas. Indones.*, pp. 1–11, 2011.
- [25] B. S. Nasional, "SNI 8287:2016 – Metode Uji Partikel Pipih dan Lonjong," Jakarta, 2016.
- [26] Standar Nasional Indonesia, "Metode Uji Bahan Yang Lebih Halus Dari Saringan 75 μ m (No.200) Dalam Agregat Mineral Dengan Pencucian (ASTM C117-2004,IDT)," vol. SNI ASTM C, no. 200, pp. 1–9, 2012.
- [27] M. Pengujian, G. Lempung, M. Pecah, and D. Agregat, "Metode pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat," pp. 1–6, 1996.
- [28] S. Khusus and C. Panas, "Spek Khusus Campuran Panas dengan Asbuton-Des 2006," pp. 3–7, 2006.
- [29] S. N. Indonesia, "Cara uji penetrasi aspal," 2011.
- [30] S. N. Indonesia, "Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring and ball)," 2011.
- [31] B. S. Nasional, "SNI 2432:2011 – Metode Uji Daktilitas Aspal," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2011.
- [32] AASHTO, "AASHTO T44-14 – Standard Method of Test for Solubility of Bituminous Materials in Organic Solvents," Washington, D.C., 2014.
- [33] B. S. Nasional, "SNI 2441:2011 – Cara uji berat jenis aspal keras," BSN, 2011.
- [34] S. Nasional, I. Ics, and B. S. Nasional, "Cara uji kadar air dalam produk minyak dan bahan mengandung aspal dengan cara penyulingan," 2008.
- [35] B. S. Nasional, "SNI 06-2444-1991 – Metode uji Marshall pada campuran beraspal," BSN, 1991.
- [36] H. A. Hasyir and S. B. Wasono, "Analysis Mixed Layer Asphalt Surface as Asbuton AC-WC Characteristics of Marshall," *Int. J. Integr. Educ. Eng. Bus.*, vol. 3, no. 2, pp. 132–143, 2020.
- [37] I. M. Asi, M. A. Alhadidi, and T. M. Alhadidi,

- “Influence of Climate and Traffic on Asphalt Mix Performance with Modified Binders,” *J. Pavement Eng. Mater.*, vol. 12, no. 1, pp. 25–34, 2024.
- [38] A. Jiménez del Barco Carrión, J. S. Carvajal-Muñoz, D. Lo Presti, and G. D. Airey, “Effect of laboratory ageing on the rheological properties of asphalt binders containing recycled and natural additives,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 204, pp. 432–442, 2019.
- [39] X. Chen, Y. Zhang, F. Gu, and Y. Zhao, “Performance evaluation of asphalt mixtures under coupled thermal and mechanical loading conditions,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 35, no. 5, p. 4023045, 2023.