

Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Stabilitas Campuran Aspal AC-BC

Hendrik Jimmyanto ^{*1a}, Bazar ^{*2}, Lega Lubis Reskita ^{*3}, Ramadhani ^{*4}

Submit:
20 Juli 2025

Review:
8 Juli 2025

Revised:
1 Agustus 2025

Published:
19 September
2025

^{*1,2}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti, Palembang, Indonesia

^{*3}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

^{*4}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA Palembang, Palembang, Indonesia

^aCorresponding Author: hendrikjimmyanto@univ-tridianti.ac.id

Abstrak

Campuran AC-BC berfungsi sebagai lapisan antara dalam struktur perkerasan lentur yang juga terpengaruh oleh suhu lingkungan, terutama di wilayah tropis. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap stabilitas dan kelelahan campuran AC-BC, serta membangun model prediksi berbasis regresi linear. Benda uji dibuat dengan kadar aspal optimum 5,85%, lalu diuji pada suhu 25°C, 35°C, 45°C, dan 60°C selama 7–45 hari. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu menyebabkan penurunan stabilitas hingga 17,4% dan peningkatan kelelahan hingga 141%. Model regresi menunjukkan hubungan negatif terhadap stabilitas ($R^2 = 0,843$) dan hubungan positif terhadap kelelahan ($R^2 = 0,584$). Disarankan penggunaan bahan tambah atau aspal modifikasi untuk meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi.

Kata kunci: Campuran AC-BC, kelelahan, regresi linear, stabilitas *Marshall*, suhu

Abstract

AC-BC mix functions as an intermediate layer in flexible pavement structures and is affected by environmental temperatures, especially in tropical regions. This study aims to analyze the effects of temperature and heating duration on the stability and flow of AC-BC mixtures and develop a predictive regression model. Test specimens were prepared using an optimum asphalt content of 5.85% and exposed to 25°C, 35°C, 45°C, and 60°C for 7–45 days. Results showed stability decreased by up to 17.4%, while flow increased by up to 141% as temperature and time increased. The regression model showed a negative relationship for stability ($R^2 = 0.843$) and a positive one for flow ($R^2 = 0.584$). It is recommended to use additives or modified asphalt to improve thermal resistance.

Keywords: AC-BC mixture, Marshall stability, flow, temperature, linear regression

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan komponen vital dalam sistem transportasi karena berperan mendukung mobilitas, distribusi logistik, serta pertumbuhan ekonomi wilayah. Salah satu jenis perkerasan yang paling umum digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur, terutama karena kemampuannya menahan beban lalu lintas yang tinggi dan biaya konstruksinya yang relatif lebih rendah [1], [2]. Dalam struktur perkerasan

lentur, lapisan *Asphalt Concrete–Binder Course* (AC-BC) berada di antara lapisan pondasi dan lapisan aus. Meskipun secara struktural AC-WC (*Asphalt Concrete–Wearing Course*) berfungsi sebagai lapisan permukaan, campuran AC-BC tetap memiliki peran penting dalam mendistribusikan beban lalu lintas dan mendukung lapisan atasnya [3]. Oleh karena itu, durabilitas dan stabilitas lapisan AC-BC tetap perlu diperhatikan, terlebih pada kondisi lingkungan ekstrem seperti suhu tinggi di daerah tropis.

Pemilihan campuran AC-BC sebagai objek penelitian ini didasarkan pada fungsinya sebagai lapisan antara yang menerima pengaruh tidak langsung dari kondisi lingkungan, khususnya suhu tinggi, melalui konduksi panas dari lapisan permukaan. Selain itu, dalam praktik konstruksi jalan di beberapa ruas jalan nasional dan provinsi, terdapat penerapan langsung lapisan AC-BC sebagai lapisan permukaan sementara pada kondisi darurat atau keterbatasan anggaran. Oleh karena itu, penting untuk memahami karakteristik kinerja campuran AC-BC dalam kondisi lingkungan tropis guna menjamin ketahanan struktur perkerasan secara keseluruhan.

Kinerja campuran AC-BC dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk kualitas agregat, karakteristik aspal, serta pengaruh kondisi lingkungan [4], [5]. Di Indonesia, kondisi iklim tropis menyebabkan suhu lingkungan dapat mencapai lebih dari 35°C, bahkan 40°C, yang berpotensi menyebabkan perubahan fisik pada agregat dan viskositas aspal [6], [7]. Temperatur tinggi mempercepat penguapan komponen volatil dalam aspal, menyebabkan penurunan kohesi agregat, dan pada akhirnya menurunkan performa perkerasan [8], [9].

Studi sebelumnya telah banyak membahas pengaruh suhu saat proses pencampuran dan pematatan [10], [11], tetapi belum banyak yang meneliti efek paparan suhu lingkungan jangka panjang pasca-proses produksi terhadap durabilitas campuran AC-BC. Beberapa penelitian menemukan bahwa peningkatan suhu saat pencampuran berdampak pada penurunan stabilitas Marshall [12], [13]. Namun, belum banyak yang melakukan analisis regresi terhadap dampak simultan antara suhu dan waktu pemanasan terhadap parameter stabilitas dan kelelahan AC-BC [14], [15]. Dalam studi lain, suhu ekstrem juga disebutkan berkontribusi terhadap penurunan modulus elastisitas dan peningkatan deformasi plastis pada campuran beraspal [16], [17].

Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut, dengan melakukan simulasi pemanasan jangka panjang menggunakan *oven* pada suhu 25°C hingga 60°C selama 7 sampai 45 hari, serta menganalisis pengaruhnya terhadap karakteristik Marshall. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemodelan hubungan suhu dan waktu terhadap karakteristik campuran AC-BC menggunakan pendekatan regresi linear berganda. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan metode evaluasi dan perencanaan campuran beraspal di wilayah beriklim tropis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai stabilitas dan kelelahan campuran AC-BC, serta membangun model prediksi karakteristik Marshall berdasarkan parameter lingkungan tersebut.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan melalui pendekatan eksperimental laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tridianti, selama kurun waktu tiga bulan. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal penetrasi 60/70. Komposisi campuran disusun mengacu pada Spesifikasi Umum 2018

(Revisi 2) Bina Marga [2], [18], di mana agregat diklasifikasikan ke dalam tiga fraksi, yaitu agregat kasar yang tertahan pada saringan 4,75 mm, agregat halus yang lolos saringan 4,75 mm dan tertahan pada saringan 0,075 mm, serta *filler* yang lolos saringan 0,075 mm. Dalam praktiknya, komposisi campuran terdiri atas batu pecah ukuran 19 mm sebanyak 26%, batu pecah 9 mm sebanyak 30%, abu batu sebanyak 32%, pasir sebanyak 10%, dan *filler* sebanyak 2%, serupa dengan komposisi yang digunakan dalam penelitian oleh Zulkarnain (2023) dan Haziri (2025) [19], [20].

Langkah awal dalam penelitian ini mencakup pengujian terhadap karakteristik fisik agregat dan aspal sesuai dengan standar nasional yang berlaku. Setelah itu, dilakukan pembuatan 15 sampel campuran dengan variasi kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5% guna menentukan kadar aspal optimum (KAO). Metode yang digunakan dalam proses ini mengacu pada pendekatan yang telah diterapkan dalam beberapa penelitian sebelumnya [21], [22]. Berdasarkan hasil evaluasi, diperoleh nilai KAO sebesar 5,85% yang kemudian digunakan pada tahap pengujian selanjutnya.

Pada tahap berikutnya, sebanyak 48 benda uji dibuat dengan kadar aspal yang telah ditentukan, lalu dipanaskan dalam *oven* pada variasi suhu 25°C, 35°C, 45°C, dan 60°C dengan lama pemanasan masing-masing selama 7, 15, 30, dan 45 hari. Pemanasan ini bertujuan untuk mensimulasikan paparan suhu lingkungan jangka panjang terhadap campuran aspal yang telah terbentuk, sebagaimana disarankan oleh beberapa studi terdahulu [23], [24]. Parameter yang diuji mencakup stabilitas dan kelelahan (*flow*) dengan metode Marshall sesuai standar pengujian campuran aspal.

Seluruh data hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan regresi linear berganda untuk memodelkan pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC. Proses analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak statistik *SPSS* untuk memperoleh koefisien regresi serta mengidentifikasi hubungan korelasional antarvariabel. Model prediksi yang dikembangkan dalam penelitian ini sejalan dengan pendekatan yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya yang juga menerapkan analisis statistik dalam mengevaluasi kinerja campuran beraspal [25]–[27].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian awal dilakukan terhadap material utama yang digunakan dalam campuran, yaitu aspal dan agregat, dengan mengacu pada standar SNI 06-2456-1991 [28] untuk pengujian aspal dan SNI 1969-2008 [29] serta SNI 3403-2010 [30] untuk pengujian agregat. Hasil pengujian laboratorium terhadap aspal penetrasi 60/70 menunjukkan bahwa berat jenisnya sebesar 1,036, daktilitas sebesar 140 cm, nilai penetrasi sebesar 63 dmm, titik lembek sebesar 51°C, dan titik nyala sebesar 343°C. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam *Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) Bina Marga*.

Selanjutnya, pengujian karakteristik fisik agregat dilakukan terhadap berat jenis kering, berat jenis *SSD*, berat jenis semu, penyerapan air, dan keausan. Nilai berat jenis kering seluruh fraksi agregat berada di atas 2,5, dan nilai keausan untuk agregat kasar tercatat sebesar 19,05% dan 19,15% masing-masing untuk batu pecah 19 mm dan 9 mm. Nilai-nilai tersebut berada jauh di bawah batas maksimum 40%, sebagaimana disyaratkan oleh Bina Marga. Dengan demikian, semua agregat yang digunakan dinyatakan memenuhi kriteria kualitas untuk digunakan dalam campuran *Asphalt Concrete–Binder Course* (AC-BC). Hasil lengkap pengujian tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian	Syarat	Batu pecah 19,0 mm	Batu pecah 9,0 mm	Abu batu	Pasir
Berat jenis kering	Min. 2,5	2,55	2,52	2,50	2,49
Berat jenis SSD	-	2,61	2,61	2,56	2,55
Berat jenis semu	-	2,67	2,64	2,66	2,65
Penyerapan air	Maks. 3%	2,63%	1,84	2,45%	2,47%
Keausan	Maks. 40%	19,05%	19,15%	-	-

Setelah pengujian karakteristik material, dilakukan pengujian Marshall terhadap 15 benda uji untuk mengevaluasi performa campuran pada variasi kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Parameter yang diuji meliputi stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga dalam campuran (*void in mix* / VIM), rongga antar agregat (*void in mineral aggregate* / VMA), dan rongga antar agregat yang terisi aspal (*void filled with bitumen* / VFB). Hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Kondisi Normal

Parameter	Spesifikasi	Satuan	Kadar Aspal				
			4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
VIM	3,0 – 5,0	%	6,64	5,61	4,63	4,18	3,73
VMA	Min. 14	%	16,49	16,60	16,76	17,38	18,00
VFB	Min. 65	%	59,73	66,20	72,37	75,95	79,28
Stabilitas	Min. 800	kg	1106	1227	1328	1288	1207
Kelelahan	2 – 4	mm	3,03	3,31	3,55	3,83	4,00

Dari data pada Tabel 2, nilai VIM mengalami penurunan dari 6,64% pada kadar aspal 4,5% menjadi 3,73% pada kadar 6,5%. Penurunan ini menunjukkan bahwa rongga udara dalam campuran semakin sedikit, yang dapat meningkatkan kepadatan, namun bila terlalu rendah dapat menurunkan durabilitas. Nilai VMA seluruhnya berada di atas 14%, sesuai dengan batas minimal pada *Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2)* untuk lapis AC-BC. Nilai VFB meningkat seiring dengan naiknya kadar aspal, dari 59,73% menjadi 79,28%, menunjukkan bertambahnya proporsi rongga yang terisi aspal, yang memberikan efek fleksibilitas pada campuran.

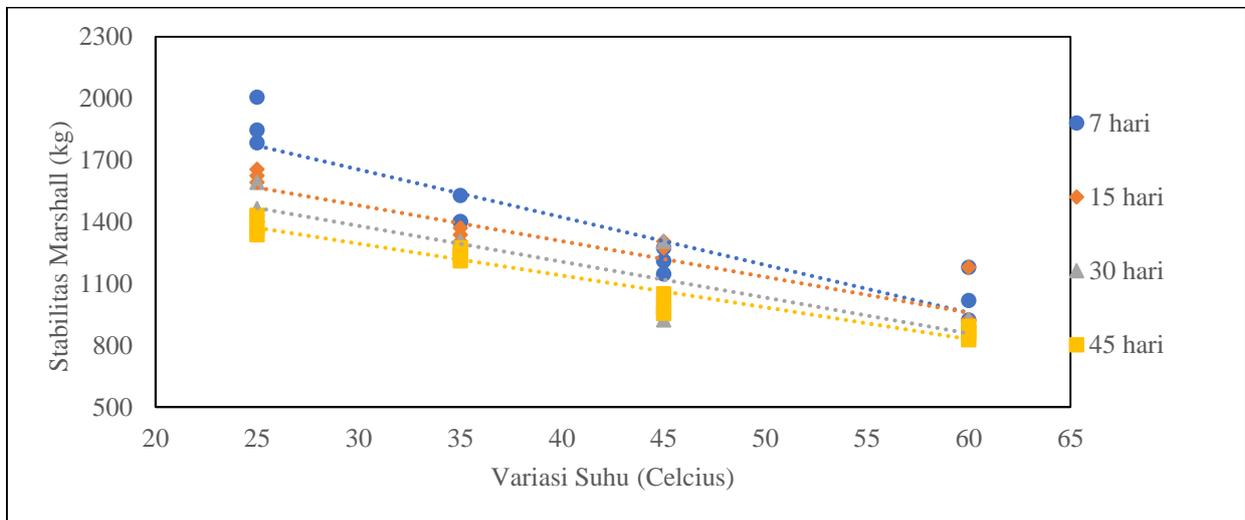
Stabilitas campuran menunjukkan tren meningkat dari 1106 kg hingga mencapai puncak sebesar 1328 kg pada kadar aspal 5,5%, lalu mengalami penurunan pada kadar yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa kadar aspal optimum berada pada rentang tersebut. Nilai kelelahan (*flow*) juga mengalami peningkatan dari 3,03 mm menjadi 4,00 mm, dan masih berada dalam rentang 2–4 mm sebagaimana disyaratkan. Perlu dicatat bahwa *Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2)* tidak lagi mencantumkan parameter *Marshall quotient (MQ)* sebagai kriteria teknis. Penentuan kadar aspal optimum (*KAO*) dilakukan dengan pendekatan grafis dan komparatif antarparameter, yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 3. Nilai *KAO* yang paling representatif diperoleh sebesar 5,85%.

Tabel 3. Penentuan KAO Sampel Kondisi Normal

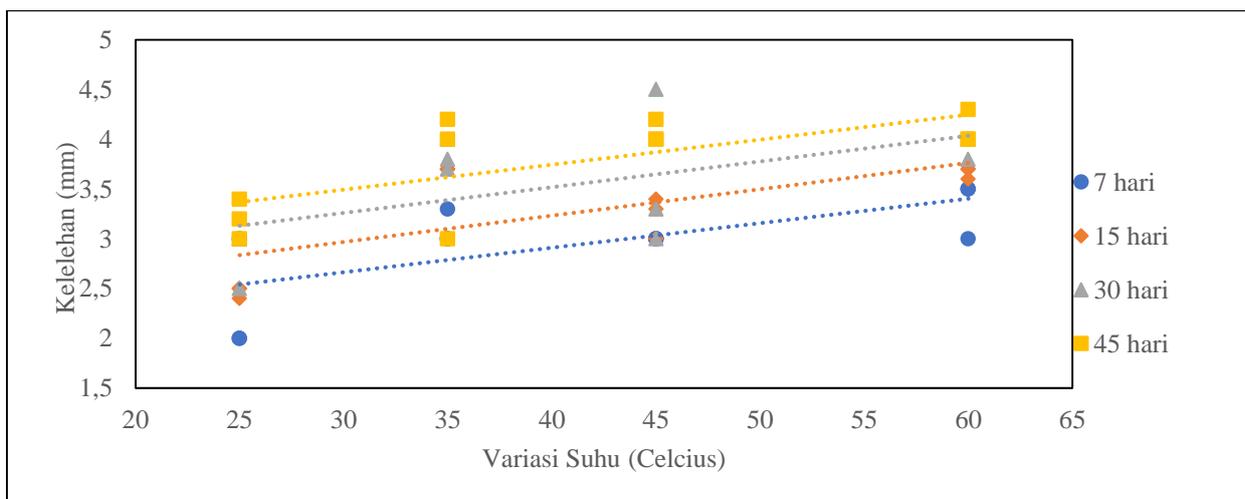
Parameter	Spek.	Rentang Kadar Aspal				
		4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
VMA	Min. 14%	[Bar chart showing VMA values across 4.5% to 6.5% asphalt content]				
VFB	Min. 65%	[Bar chart showing VFB values across 4.5% to 6.5% asphalt content]				
VIM	3,0 – 5,0%	[Bar chart showing VIM values across 4.5% to 6.5% asphalt content]				
Stabilitas	Min. 800 kg	[Bar chart showing Stabilitas values across 4.5% to 6.5% asphalt content]				
Kelelahan	2 – 4 mm	[Bar chart showing Kelelahan values across 4.5% to 6.5% asphalt content]				
KAO		5,85%				

Campuran dengan kadar aspal optimum tersebut selanjutnya diuji untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu pemanasan terhadap performa mekanis. Sebanyak 48 benda uji dipanaskan dalam *oven* dengan suhu 25°C, 35°C, 45°C, dan 60°C selama 7, 15, 30, dan 45 hari untuk mensimulasikan efek paparan suhu lingkungan tropis dalam jangka panjang. Grafik pengaruh variasi suhu dan waktu terhadap penurunan nilai stabilitas disajikan pada Gambar 1, sedangkan grafik peningkatan nilai kelelehan disajikan pada Gambar 2.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas mengalami penurunan signifikan seiring bertambahnya suhu dan waktu pemanasan. Sebagai contoh, pada suhu 25°C, stabilitas menurun dari 1879 kg menjadi 1380 kg dalam 45 hari (penurunan sebesar 26,6%), sedangkan pada suhu 60°C penurunan terjadi dari 1041 kg menjadi 860 kg (penurunan sebesar 17,4%). Sebaliknya, kelelehan (*flow*) menunjukkan tren peningkatan seiring naiknya suhu dan waktu. Nilai *flow* meningkat dari 1,7 mm menjadi 4,1 mm pada suhu 60°C setelah 45 hari, yang berarti terjadi peningkatan sebesar 141%. Fenomena ini mengindikasikan bahwa deformasi plastis dalam campuran meningkat, yang dapat memperbesar risiko deformasi permanen seperti *rutting*.



Gambar 1. Pengaruh Variasi Suhu Dan Waktu Terhadap Stabilitas



Gambar 2. Pengaruh Variasi Suhu Dan Waktu Terhadap Kelelehan

Untuk menganalisis hubungan kuantitatif antara suhu (X_1) dan waktu pemanasan (X_2) terhadap parameter stabilitas (Y_1) dan kelelahan (Y_2), dilakukan analisis regresi linear berganda menggunakan perangkat lunak statistik SPSS. Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu dan waktu memiliki korelasi negatif terhadap stabilitas, dengan koefisien korelasi masing-masing sebesar -0,845 dan -0,359. Model regresi yang dihasilkan adalah $Y_1 = 2171,176 - 18,3557 \cdot X_1 - 6,941 \cdot X_2$ dengan nilai determinasi R^2 sebesar 0,843, yang berarti 84,3% variasi stabilitas dapat dijelaskan oleh kombinasi suhu dan waktu.

Sementara itu, untuk parameter kelelahan, diperoleh hubungan positif terhadap suhu dan waktu. Nilai korelasi masing-masing sebesar 0,561 dan 0,520, dengan model regresi $Y_2 = 1,823 + 0,025 \cdot X_1 + 0,021 \cdot X_2$ dan nilai R^2 sebesar 0,584. Ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan durasi pemanasan berpengaruh nyata terhadap peningkatan kelelahan campuran. Rekapitulasi perubahan nilai stabilitas dan kelelahan dalam bentuk persentase akibat pengaruh suhu dan waktu pemanasan ditampilkan dalam Tabel 4.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kadar aspal yang tepat dan pengendalian terhadap suhu lingkungan merupakan faktor penting untuk mempertahankan kinerja struktural dan fleksibilitas campuran AC-BC, khususnya dalam kondisi iklim tropis dengan rentang suhu tinggi jangka panjang.

Tabel 4. Persentase Perubahan Nilai Stabilitas dan Kelelahan Campuran AC-BC

Suhu (°C)	Waktu (hari)	Stabilitas Awal (kg)	Stabilitas Akhir (kg)	Penurunan (%)	Flow Awal (mm)	Flow Akhir (mm)	Peningkatan (%)
25	0 – 45	1879	1380	26,6	1,7	2,5	47,1
35	0 – 45	1610	1242	22,9	1,9	3,1	63,2
45	0 – 45	1354	1048	22,6	2,2	3,7	68,2
60	0 – 45	1041	860	17,4	2,5	4,1	64,0

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik material penyusun campuran beton aspal (*Asphalt Concrete–Binder Course / AC-BC*), baik aspal penetrasi 60/70 maupun agregat kasar dan halus, telah memenuhi seluruh spesifikasi teknis yang ditetapkan, termasuk dari sisi berat jenis, keausan, penyerapan air, dan sifat fisis lainnya. Berdasarkan hasil pengujian Marshall terhadap variasi kadar aspal, diperoleh kadar aspal optimum (*KAO*) sebesar 5,85%, di mana seluruh parameter seperti VIM, VMA, VFB, stabilitas, dan kelelahan berada dalam batas yang sesuai dengan *Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2)* Bina Marga.

Pengujian terhadap 48 benda uji dengan variasi suhu dan waktu pemanasan menunjukkan bahwa kedua faktor tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap performa mekanis campuran. Secara umum, peningkatan suhu dan lamanya waktu pemanasan menyebabkan penurunan nilai stabilitas secara konsisten dan peningkatan nilai kelelahan campuran. Hasil analisis regresi memperkuat temuan ini dengan menunjukkan adanya hubungan negatif antara suhu dan waktu terhadap stabilitas, serta hubungan positif terhadap kelelahan.

Dari seluruh kondisi pengujian, kombinasi suhu tinggi sebesar 60°C dengan durasi pemanasan 45 hari terbukti memberikan pengaruh paling signifikan terhadap penurunan stabilitas campuran aspal, dengan penurunan sebesar 17,4% dibanding kondisi awal. Hal ini menandakan bahwa paparan suhu ekstrem dalam waktu lama dapat mempercepat proses penuaan termal dan melemahkan ikatan antarpartikel dalam campuran.

Temuan ini memberikan landasan penting bagi pengembangan penelitian lanjutan yang dapat difokuskan pada solusi untuk meningkatkan ketahanan campuran AC-BC terhadap suhu tinggi, misalnya melalui penambahan bahan aditif, penggunaan aspal modifikasi, atau penerapan teknik perkerasan berlapis tahan panas. Selain itu, evaluasi di lapangan terhadap kondisi iklim dan umur layanan jalan juga perlu dilakukan untuk menyempurnakan desain campuran yang sesuai dengan kondisi tropis di Indonesia.

REFERENSI

- [1] S. S. A. Irwansyah, F. Desembardi, dan D. G. Sukowati, "Pengaruh Temperatur Pada Campuran Aspal AC-WC Dengan Parameter *Marshall-Test*," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil (JIMATS)*, vol. 1, no. 1, pp. 13–18, 2022.
- [2] L. Yani, R. Rahmaniah, dan A. Asriani, "Analisis variasi suhu 150° C, 160° C, 170° C dalam variasi jumlah tumbukan terhadap spesifikasi Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)," *Teknosains*, vol. 17, no. 2, pp. 220–225, 2023.
- [3] H. Jimmyanto, J. Arliansyah, dan E. Kadarsa, "Rheological characteristics of asphalt with a crumb rubber and solid natural rubber combination," *Civil Engineering and Architecture*, vol. 11, no. 5A, pp. 3051–3062, 2023.
- [4] R. Ramadhani, J. Arliansyah, dan E. Kadarsa, "The effect of pre-vulcanized latex usage on *Marshall* characteristics and stiffness modulus in hot mix asphalt wearing course (AC-WC) mixtures," *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, vol. 33, no. 2, pp. 185–204, 2024.
- [5] H. Al FaritzieHijriah, Z. F. Umari, dan R. Panjaitan, "Analisis Kadar Optimum Serbuk Karet Ban Dalam Bekas Pada Campuran Aspal," *TAPAK*, vol. 11, no. 1, pp. 29–35, 2021.
- [6] D. Ansyory, H. Jimmyanto, dan F. Misdalena, "Analisis Kualitas Kombinasi Vacuum Residue dan Hot Rolled Sheet Pada Infrastruktur Jalan," *Jurnal Teknik Sipil LATERAL*, vol. 2, no. 2, pp. 41–45, 2024.
- [7] A. Firda, B. Djohan, H. Jimmyanto, dan D. Febrianty, "Pengaruh Penambahan Plastik (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran AC-WC Terhadap Karakteristik *Marshall*," *Jurnal Deformasi*, vol. 7, no. 2, pp. 127–144, 2022.
- [8] D. M. Ramadhan, A. M. Indriani, dan G. Utomo, "Analisis Karakteristik Penggunaan Aspal Polimer PG 76 Terhadap Durabilitas *Marshall* Lapisan Asphalt Concrete-Wearing Course," *KoNTeKS*, vol. 1, no. 3, 2023.
- [9] B. Asmawi, "Durabilitas campuran aspal AC-BC terhadap perubahan suhu," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 8, no. 1, 2020.
- [10] N. D. Anggoro and A. Rahman, "Pengaruh komposisi agregat terhadap karakteristik beton aspal (AC-WC) dengan menggunakan batuan lokal Sungai Gung di Desa Danawarih Kecamatan Balapulang Kabupaten Tegal," *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, vol. 7, no. 1, pp. 15–26, 2021.
- [11] S. Sunarjono dan W. F. Cendikia, "Pengaruh Order Pencampuran terhadap Propertis dan Durabilitas Campuran AC-WC menggunakan Portland Cement," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 2020, pp. 123–128.
- [12] N. A. Zahara dan I. Sholichin, "Pengaruh Variasi Suhu Pada Campuran Aspal AC-WC Terhadap Karakteristik *Marshall*," *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 23–28, 2023.
- [13] I. Saroan dan E. B. Fitriani, "Pengaruh Temperatur Pencampuran Terhadap Campuran AC-BC Yang Menggunakan Batu Gunung Kongkang Kesu'," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 264–274, 2023.
- [14] Y. B. Krishna dan H. Jimmyanto, "Predicting Stiffness Asphalt Natural Rubber Latex Modulus Value Using *Multiple linear regression Analysis*," *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, vol. 7, no. 2, pp. 293–300, 2023.
- [15] Z. Nur, G. Gusrizal, dan R. Syahyadi, "Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pematatan Laston AC-BC Pada Suhu 80°C Terhadap Karakteristik *Marshall*," *Jurnal Sipil Sains Terapan*, vol. 6, no. 1, 2023.

- [16] Y. Pane dan D. S. Pasca, "Analisa Semen Portland Dan Abu Batu Sebagai *Filler* Dengan *Marshall* Dan Durabilitas Aspal Hotmix (AC-WC)," *SKYLANDSEA Profesional Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, pp. 86–95, 2021.
- [17] D. Yulianti, L. Ulfah, L. R. Lubis, dan H. Haki, "Studi Eksperimental Penambahan Biji Plastik dan Fly Ash Pada Karakteristik Campuran Aspal (AC-WC)," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 430–439, 2025.
- [18] A. R. Seppo, R. Rachman, dan N. Ali, "Variasi Suhu Pematatan Campuran AC-WC Menggunakan Batu Sungai Balusu Kabupaten Toraja Utara," *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 9, no. 1, pp. 23–31, 2021.
- [19] I. Zulkarnain dan M. Hidayat, "Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Penambahan *Filler* Pada Campuran Aspal AC-BC," *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, vol. 7, no. 2, pp. 239–251, 2023.
- [20] A. A. Haziri, "Pengaruh Ban Dalam Bekas Kendaraan Sebagai Aspal Panas Pada Campuran Aspal Beton (AC-BC) Terhadap Hasil Pengujian *Marshall*," *Jurnal Sains Riset*, vol. 15, no. 1, 2025.
- [21] M. F. Haikal dan H. Widarto, "Analisa Pengaruh Variasi Penggabungan Asbuton dan Aspal Minyak Terhadap Campuran AC-BC," *Jurnal Karajata Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 161–170, 2024.
- [22] K. Agustian dan R. Agusmaniza, "Karakteristik *Marshall* Campuran AC-BC Menggunakan 4% Getah Damar Sebagai Pengganti Aspal," *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 161–173, 2022.
- [23] M. A. S. Firdaus, A. Suryadi, dan S. Riyanto, "Pengaruh Penggunaan Plastik (LLDPE) Sebagai Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Campuran AC-BC," *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, vol. 6, no. 1, pp. 83–90, 2025.
- [24] M. Rifansyah, "Pengaruh Penambahan Styrofoam Pada Campuran AC-BC Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik *Marshall*," Skripsi, Universitas Sangga Buana YPKP, 2023.
- [25] A. N. Tanjung, "Pengaruh Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran AC-BC," Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, 2023.
- [26] A. Alwi, L. B. Said, dan A. Alifuddin, "Analisis Uji Ketahanan Deformasi pada Campuran Aspal Beton dengan Bahan Tambah Anti Stripping Astive-05 terhadap Variasi Temperatur," *Jurnal Flyover*, vol. 2, no. 2, pp. 111–122, 2022.
- [27] S. M. Muchtar, L. B. Said, dan A. Alifuddin, "Kajian Sifat Penuaan Campuran Aspal AC-WC dengan Penggunaan Getah Pinus terhadap Modulus Elastisitas dan Angka Poisson," *Innovative: Journal Of Social Science Research*, vol. 3, no. 3, pp. 5032–5049, 2023.
- [28] Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1991, *SNI 06-2456-1991: Aspal Minyak untuk Perkerasan Jalan*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [29] Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2008, *SNI 1969:2008: Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [30] Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2010, *SNI 3403:2010: Metode Uji Keausan Agregat dengan Alat Los Angeles*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.