

Sensitivitas Nilai Modulus Elastisitas Campuran AC-BC (Asphalt Concrete Binder Course) Akibat Perubahan Temperatur Pengujian

Wahman Fajar Natzan, Fadena Yusca Yoga Pradana, St. Maryam. H*,
Muhammad Husni Maricar, Bulgis

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

*stmaryam@umi.id

Diajukan: 26 Agustus 2024, Revisi: 03 September 2024, Diterima: 18 September 2024

Abstract

The modulus of elasticity is an important parameter in the design of road pavement in an empirical mechanistic. A decrease in the modulus of elasticity due to asphalt aging can reduce structural performance and increase the potential for cracks in the pavement. This study aims to evaluate the mixed characteristics of Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) and evaluate the effect of temperature fluctuations on the value of Modulus of Elasticity (E). An experimental approach was used to test the effect of asphalt produced by Pertamina as a binding material in the Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) mixture. The test piece is made up of coarse and fine aggregates with testing performed on several temperature variations. The effectiveness of the combination was assessed through the marshall test and the indirect tensile strength test. The results showed that the AC-BC mixture met all the marshall parameters required by Bina Marga, including density, stability, VIM, VMA, VFA, flow, and MQ. Based on these seven parameters, the optimal asphalt content was obtained at 5.65% of the total weight of the mixture. The modulus of elasticity (E) values of AC-BC asphalt mixture at temperatures of 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, and 60°C are 20362 MPa, 14440 MPa, 9503 MPa, 6910 MPa, and 4782 MPa, respectively. The most significant decrease in the E value occurred in the temperature range between 20°C to 30°C or a percentage decrease in the E value of 46.91

Keywords: concrete asphalt, modulus of elasticity, Marshall stability, sensitivity

Abstrak

Modulus elastisitas merupakan parameter penting pada desain perkerasan jalan secara mekanistik empiris. Penurunan nilai modulus elastisitas akibat penuaan aspal dapat menurunkan kinerja struktural dan meningkatkan potensi keretakan pada perkerasan. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) dan mengevaluasi pengaruh fluktuasi temperatur terhadap nilai Modulus Elastisitas (E). Pendekatan eksperimental digunakan untuk menguji pengaruh aspal produksi Pertamina sebagai bahan pengikat pada campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). Benda uji terdiri dari agregat kasar dan halus dengan pengujian dilakukan pada beberapa variasi suhu. Efektivitas kombinasi dinilai melalui uji marshall dan uji kekuatan tarik tidak langsung. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran AC-BC memenuhi semua parameter marshall yang dipersyaratkan oleh Bina Marga, meliputi kepadatan, stabilitas, VIM, VMA, VFA, flow, dan MQ. Berdasarkan ketujuh parameter tersebut, kadar aspal optimal diperoleh 5,65% dari total berat campuran. Nilai modulus elastisitas (E) campuran aspal AC-BC pada suhu 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, dan 60°C masing-masing adalah 20362 MPa, 14440 MPa, 9503 MPa, 6910 MPa, dan 4782 MPa. Penurunan nilai E yang paling signifikan terjadi pada rentang temperatur antara 20°C hingga 30°C atau terjadi penurunan persentase nilai E sebesar 46,91

Kata Kunci: Aspal Beton, Modulus Elastisitas, Stabilitas Marshall, Sensitivitas

1. PENDAHULUAN

Pendekatan AASHTO 1993 sering digunakan untuk perencanaan jalan dalam struktur perkerasan jalan. Banyak negara telah menggunakan pendekatan ini sebagai standar perencanaan dan menggunakannya untuk perencanaan. Strategi perencanaan yang dikenal sebagai metode AASHTO 1993 didasarkan pada penggunaan teknik mekanis empiris untuk menetapkan korelasi antara beban, kualitas material perkerasan dan kegagalan struktur perkerasan (Farida & Hakim, 2021). Berdasarkan metode mekanistik empiris, modulus elastisitas memiliki parameter metode mekanistik karena modulus elastisitas bahan adalah ukuran tekstur atau kekakuannya, perubahan bentuk bahan dalam merespons suatu reaksi akan semakin berkurang jika semakin tinggi angka modulus elastisitasnya. Ketika modulus elastisitas material mulai menurun, seperti yang terjadi pada aspal yang menua, beban kendaraan yang berat akan menyebabkan perkerasan mudah terbelah (Anis, 2016). Hal tersebut dikarenakan bahan perkerasan menggunakan aspal yang rentang terhadap perubahan temperatur, maka dengan sendirinya nilai modulus elastisitasnya pun akan rentan terhadap perubahan temperatur, sehingga dapat diketahui sejauh mana pengaruh temperatur pengujian terhadap campuran aspal beton (Badaron et al., 2019). Karakteristik viskoelastis ditemukan pada perkerasan jalan lentur yang diikat dengan kerikil dan aspal. Sifat viskoelastis aspal memungkinkan aspal untuk mengikat dan mempertahankan posisi agregat dengan aman selama proses produksi. Daya tahan aspal dipengaruhi oleh suhu yang memungkinkan aspal untuk bertahan dari tuntutan lalu lintas dan kondisi cuaca yang berubah sepanjang hari. Modulus elastisitasnya juga bervariasi secara otomatis pada saat tertentu (Wood et al., n.d.). Adapun Tujuan dari penelitian untuk memastikan kadar aspal dan untuk memastikan seberapa sensitif nilai modulus elastisitas (E) campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) terhadap perubahan suhu yang ideal untuk sifat campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melakukan percobaan laboratorium untuk menguji pemanfaatan aspal Pertamina dalam campuran beton aspal (AC-BC). Dalam percobaan ini, kami memeriksa sifat-sifat dari agregat kasar dan halus di bawah suhu yang bervariasi. Untuk mengevaluasi kinerja campuran, kami menggunakan *Marshall Test* dan *Indirect Tensile Strength*. Lokasi dilaksanakannya penelitian bertempat pada Jl. Urip Sumoharjo Km. 5, Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan yang berada dalam naungan Program Studi Teknik Sipil, dalam Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia.

A. Metode Pengujian

a) Perencanaan Campuran

Ketika merancang campuran, metode diagonal yang memenuhi spesifikasi digunakan untuk menentukan komposisi campuran. Untuk menghitung gradasi keseluruhan pada nomor saringan, metode ini melibatkan memajukan setiap saringan fraksi dengan proporsi yang melewati ayakan, mengalikan proporsi agregat dengan proporsi yang melewati setiap saringan dari setiap fraksi, dan kemudian menjumlahkan hasilnya. (Alifuddin et al., 2019).

Proses penentuan kadar aspal dalam perhitungan proporsi agregat terlebih dahulu. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kadar aspal dan komposisi agregat dapat ditentukan. Dengan membuat dan mengevaluasi benda uji (briket), kadar aspal yang diinginkan akan dapat dipastikan mengatur kadar aspal KAR -1%, KAR -0,5%, KAR, KAR +0,5%, dan KAR +1% penentuan kadar aspal optimal (KAO) melibatkan penggunaan

maksimum tiga briket untuk setiap kadar aspal, sehingga menghasilkan jumlah kumulatif lima belas briket untuk setiap kadar aspal.

b) Pengujian Marshall Test

Output dari *Marshall Test* adalah untuk mengevaluasi stabilitas campuran aspal melalui penilaian kapasitasnya dalam menahan kelelahan plastis dan aliran. Salah satu cara untuk menilai parameter *Marshall* adalah dengan memeriksa berbagai faktor seperti *Voids in Mineral Aggregate* (VMA), stabilitas, *Voids in Mix* (VIM), flow, *Voids Filled with Asphalt* (VFA), *Marshall Quotient* (MQ), dan kepadatan (Panjaitan & Ing, 2019)

c) Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung dan Modulus Elastistas

Tujuan dari kekuatan tarik tidak langsung adalah untuk menentukan metrik kinerja campuran, seperti regangan, tegangan dan modulus elastisitas. Tegangan didefinisikan sebagai gaya yang diterapkan dibagi dengan luas permukaan dan regangan adalah perubahan bentuk yang dihasilkan (Widodo & Setyaningsih, 2011). Prosedur eksperimental ini mencakup dua komponen utama pengujian kekuatan tarik tidak langsung dan kegagalan gaya tarik. Pengujian kekuatan tarik tidak langsung melibatkan pembebanan spesimen silinder pada beban tekan dengan menggunakan dua pelat penekan. Pelat penekan ini menghasilkan tegangan tarik yang tegak lurus terhadap diameter spesimen, yang mengakibatkan pecahnya spesimen. Selain itu, kegagalan gaya tarik digunakan untuk memperkirakan kemungkinan retak. Sementara itu, alat Indirect Tensile Strength digunakan untuk pengujian modulus elastis yang merupakan bagian dari hubungan antara tegangan dan regangan terhadap benda uji (Bina Marga, 2018).



Gambar 1 Alat Indirect Tensile Strenght (ITS)

B. Metode Analisis Data

Metode regresi digunakan untuk mengontrol dan menganalisa hubungan antara dua variabel. Variabel yang dipertimbangkan dalam konteks ini adalah suhu pemadatan dan nilai kadar aspal optimum. Marshall Variabel dependen (y) yang perlu dievaluasi meliputi stabilitas, VIM, VFA, VMA, flow, kepadatan dan MQ, serta tegangan, regangan, dan modulus elastisitas Indirect Tensile Strength (Asmidar et al., 2022)

$$y = ax^2 \pm bx \pm c \dots\dots\dots (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pemeriksaan Agregat, dan Aspal

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar, Agregat Halus dan Aspal Keras

No.	Jenis Pemeriksaam	Agregat Kasar			Agregat Halus	Aspal	Spesifikasi
		2 – 3	1 – 2	0,5–1			
	BJ Agregat						
1	a. Bulk	2,69	2.61	2.49	2.58		2,4 – 2,9
	b. SSD	2,76	2.67	2.56	2.73		2,4 – 2,9
	c. Apparent	2,81	2.77	2.68	2.49		2,4 – 2,9
	d. Penyerapan	1,52	1,89	2.54	2.54		≤ 3 %
	Berat Isi						
2	a. Gembur (gr/cm ³)	1,431	1.426	1.421	1.520		1,4 – 1,9
	b. Padat (gr/cm ³)	1,456	1.452	1.443	1.682		1,4 – 1,9
3	Sand Equivalent	-	-	-	60		≥ 60 %
4	Soundness Test (%)	-	-	-	-		≤ 12 %
5	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	-	96,5				≥ 95 %
6	Aspal Pertamina Pen 60/70					61	55 – 68
7	Berat Jenis Aspal					1.030	≥ 1.0
8	Titik Lembek Aspal (°C)					52	≥ 49
9	Daktalitas, 25 °C					147	≥ 100
10	Titik Nyala Aspal Keras(°C)					271	> 232
11	Titik Bakar Aspal Keras (°C)					276	> 200

Analisis hasil pemeriksaan yang berkaitan dengan agregat kasar dan agregat halus yang diuji. Semua standar yang disebutkan dalam Bina Marga 2018 Revisi II dipenuhi oleh informasi yang dikumpulkan dari analisis karakteristik agregat. Tabel dan grafik menyajikan hasil penelitian yang berkaitan dengan korelasi antara parameter campuran dan kadar aspal. (Bina Marga, 2018).

B. Hasil Pengujian *Marshall Test* Pada Campuran AC-BC untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk menjamin rasio aspal yang ideal, sifat-sifat campuran aspal, seperti VMA, stabilitas, VIM, flow, VFA, MQ, dan kepadatan, harus dihitung dengan menggunakan perubahan kadar aspal yang berbeda sebelum menganalisa hasil uji Marshall. Kadar aspal yang digunakan dalam investigasi ini bervariasi antara 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% (Mardiansah et al., 2018).

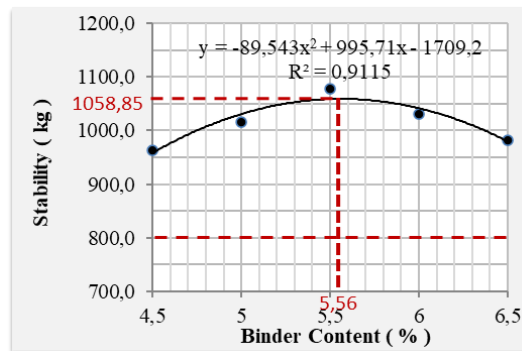
Tabel 2 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran AC-BC untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Karakteristik Campuran Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian					Spesifikasi
	4,5	5	5,5	6	6,5	
Stabilitas; kg	962,20	1016,59	1077,57	1030,39	982,16	800 – 1800 kg
Flow; mm	2,17	2,30	2,33	2,83	3,27	2 – 4 mm
VIM (%)	8,07	5,46	4,13	3,21	2,82	3 – 5 %

Karakteristik Campuran Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian					Spesifikasi
	4,5	5	5,5	6	6,5	
VMA (%)	15,37	15,53	15,68	16,54	17,82	$\geq 15\%$
VFA (%)	58,02	64,52	70,35	76,11	77,59	$\geq 65\%$
Density	2,28	2,28	2,29	2,29	2,28	$\geq 2.2 \text{ kg/mm}^3$
MQ; kg/mm	444,34	442,71	462,23	364,17	300,88	Min. 250 kg/mm

C. Hubungan Kadar Aspal terhadap Stabilitas

Spesifikasi $800 \geq 1800 \text{ kg}$

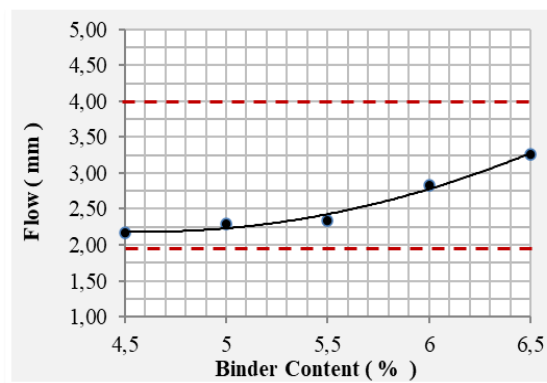


Gambar 2 Grafik Stabilitas

Hasil stabilitas menunjukkan peningkatan kadar aspal dari 4,5% menjadi 5,5% dan penurunan kadar aspal dari 6% menjadi 6,5%, sesuai dengan analisis yang digambarkan pada **Gambar 1**. Pada awalnya stabilitas campuran menunjukkan korelasi positif dengan jumlah aspal, namun di atas ambang batas tertentu, nilai stabilitas mulai menurun. Setelah mencapai kondisi kadar aspal optimum terjadi penurunan. Setelah melampaui kondisi ideal kelebihan aspal menyebabkan nilai stabilitas turun. Dimana 5,5% adalah kadar optimumnya pada grafik.

D. Hubungan Kadar Aspal terhadap Flow

Spesifikasi min 2 – 4 mm

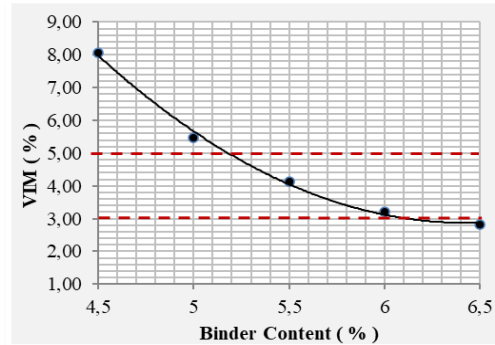


Gambar 3 Grafik Flow

Gambar 3 menggambarkan perbedaan nilai aliran yang diamati antara komposisi aspal 4,5% dan 6,5%. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kadar aspal campuran yang menyebabkan nilai flow meningkat, membuat campuran menjadi lebih plastis dan mungkin mengalami perubahan bentuk (deformasi plastis). Resistensi yang lebih besar terhadap pelelehan atau keruntuhan campuran akan terlihat pada campuran dengan nilai flow yang lebih rendah.

E. Hubungan kadar Aspal Terhadap *Void in Mixture* (VIM)

Spesifikasi min 3 – 5 %

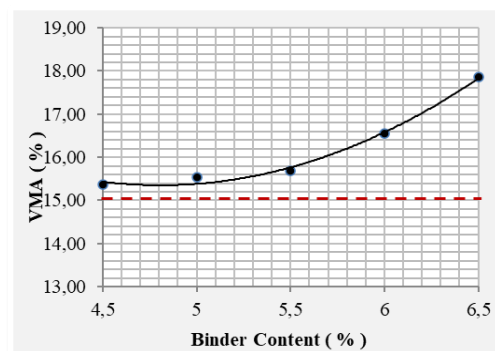


Gambar 4 Grafik *Void in Mixture* (VIM)

Temuan yang digambarkan pada **Gambar 4** menunjukkan korelasi langsung antara jumlah aspal yang digunakan dan pengurangan rongga campuran. Penggunaan campuran aspal dengan komposisi 4,5%, 5%, dan 6,5% tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga pada tahun 2018. Kurangnya komponen aspal dalam campuran, biasanya berkisar antara 4,5% hingga 5%, mengakibatkan pengisian rongga yang tidak sempurna. Nilai VIM menurun ketika kadar aspal antara 4,5% hingga 5,5% karena sejumlah besar aspal terserap ke dalam agregat, menyebabkan jumlah ruang udara di dalam campuran berkurang dan mengindikasikan bahwa campuran tersebut bersifat porus. Selain itu, kombinasi ini mendapatkan terlalu banyak aspal pada konsentrasi aspal 6,5%, yang artinya melebihi batas minimum VIM.

F. Hubungan Kadar Aspal Terhadap *Void in Mineral Aggregates* (VMA)

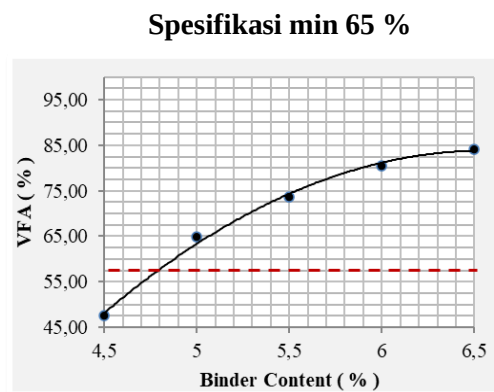
Spesifikasi min 15 %



Gambar 4 Grafik *Void in Mixture* (VIM)

Temuan yang digambarkan pada **Gambar 4** menunjukkan korelasi langsung antara jumlah aspal yang digunakan dan pengurangan rongga campuran. Penggunaan campuran aspal dengan komposisi 4,5%, 5%, dan 6,5% tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga pada tahun 2018. Kurangnya komponen aspal dalam campuran, biasanya berkisar antara 4,5% hingga 5%, mengakibatkan pengisian rongga yang tidak sempurna. Nilai VIM menurun ketika kadar aspal antara 4,5% hingga 5,5% karena sejumlah besar aspal terserap ke dalam agregat, menyebabkan jumlah ruang udara di dalam campuran berkurang dan mengindikasikan bahwa campuran tersebut bersifat porus. Selain itu, kombinasi ini mendapatkan terlalu banyak aspal pada konsentrasi aspal 6,5%, yang artinya melebihi batas minimum VIM.

G. Hubungan Kadar Aspal Terhadap Void in Mineral Aggregates (VMA)



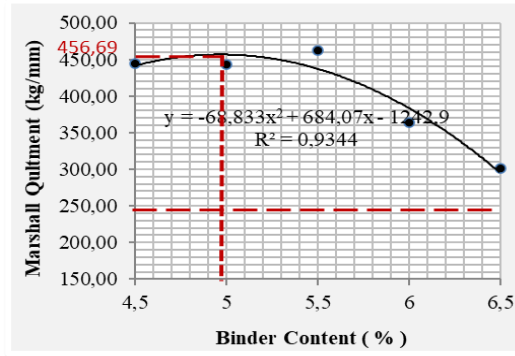
Gambar 6 Grafik Void Filled with Asphalt (VFA)

Pada **Gambar 6** terlihat jelas bahwa terdapat korelasi positif antara peningkatan kadar aspal dan peningkatan kadar VFA. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan penambahan jumlah aspal yang mengisi rongga. Nilai VFA menunjukkan peningkatan kadar aspal, dari 4,5% menjadi 6,5%. Sayangnya, komposisi aspal sebesar 4,5% tidak memenuhi standar VFA. Nilai VFA campuran aspal, yang berada pada kisaran 5% hingga 6,5%, memenuhi persyaratan yang ditentukan. Terlihat jelas bahwa nilai VFA meningkat berkorelasi langsung dengan peningkatan kadar aspal, yang mengindikasikan proporsi rongga yang mengandung aspal yang lebih tinggi.

H. Hubungan Kadar Aspal Terhadap Berat Volume (Density)

Nilai kepadatan meningkat dengan komponen aspal dari 4,5% menjadi 5,5%. Selain itu, nilai kepadatan kandungan aspal menurun dari 6% menjadi 6,5%. Hasil analisis yang diperoleh memenuhi nilai minimum yang ditentukan yaitu 2,2 kg/mm². Seiring dengan bertambahnya komponen aspal dalam campuran, nilai kepadatan juga meningkat. Namun, setelah kadar aspal mencapai nilai maksimum, nilai kepadatan akan menurun. Terdapat hubungan yang berbanding lurus antara nilai kepadatan dan VFA. Kepadatan campuran meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi rongga yang tertutup aspal.

I. Hubungan Kadar Aspal Terhadap *Marshall Quotient* Spesifikasi min 250 kg/mm

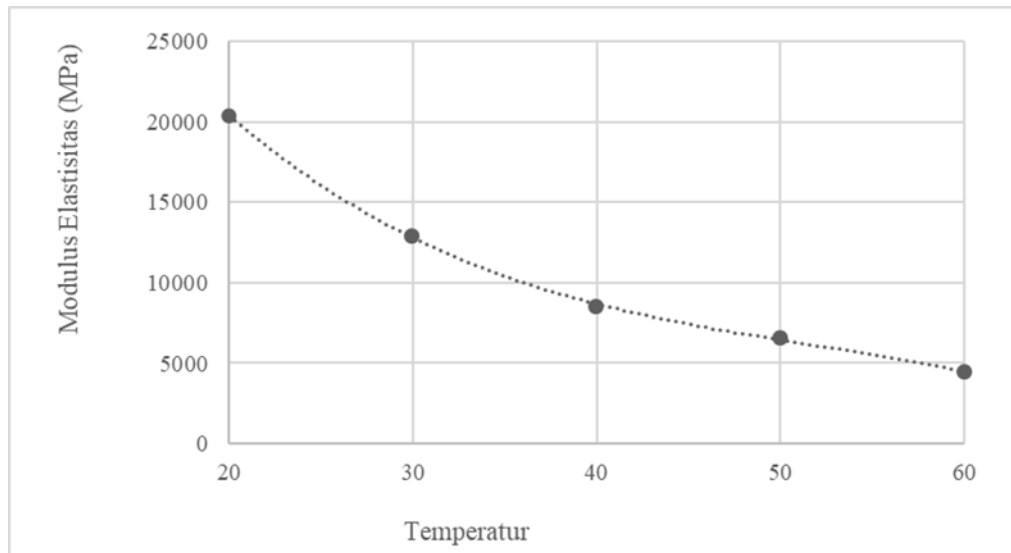


Gambar 7 Grafik Marshall Quotien

J. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Dengan Variasi Temperatur Pengujian

Tabel 4 Hasil Rata-Rata Nilai Pengujian Modulus Campuran AC-BC Dengan Variasi Temperatur Pengujian

Temperatur Pengujian	Nilai Karakteristik Modulus Elastisitas (MPa)
20°C	20362
30°C	12893
40°C	8521
50°C	6537
60°C	4438



Gambar 8 Grafik Nilai Modulus Elastisitas Campuran AC-BC dengan Variasi Temperatur Campuran

Gambar 8 menampilkan nilai modulus elastisitas untuk setiap variasi suhu yang diuji. Seiring dengan meningkatnya suhu pengujian, modulus elastisitas menurun. Dalam penelitian ini, terlihat bahwa suhu 20°C menunjukkan nilai modulus elastisitas tertinggi

yaitu 20362 Mpa, sedangkan nilai modulus elastisitas terendah tercatat pada suhu 60°C, yaitu 4782 Mpa.

K. Sensitivitas Nilai Modulus Elastisitas Dari Variasi Temperatur Pengujian

Tabel 5 Sensitivitas Nilai Modulus Elastis Campuran AC-BC Dengan Variasi Temperatur

Temperatur Pengujian	Selisih Nilai Modulus Elastisitas (E) (MPa)	Persentase Penurunan Nilai E (Sensitivitas) (%)
20°C	7420	36,68%
30°C	4372	21,47%
40°C	1983	9,74%
50°C	2098	10,31%
60°C		

4. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Temuan penelitian menunjukkan bahwa stabilitas, kepadatan, VIM, VMA, VFA, flow, dan MQ campuran AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course) memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga. Berdasarkan tujuh kriteria Marshall, kadar aspal yang optimal adalah 5,65% dari total berat campuran. Sensitivitas nilai modulus elastisitas (E) campuran aspal AC-BC terhadap perubahan temperatur 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, dan 60°C masing-masing adalah 20362 MPa, 14440 MPa, 9503 MPa, 6910 MPa, dan 4782 MPa. Terlihat bahwa sensitivitas penurunan nilai E yang paling ekstrim terjadi pada rentang temperatur antara 20°C hingga 30°C yang terjadi penurunan persentase nilai E sebesar 36,68%.

B. SARAN

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi hubungan antara fluktuasi temperatur dan nilai modulus elastisitas pada campuran AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course). Penggunaan alat Wheel Tracking Machine (WTM) disarankan untuk mengamati nilai deformasi campuran aspal beton dan binder course (AC-BC) ketika mengalami temperatur pengujian yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifuddin, A., Nunung, & Dewi, N. (2019). Analisis Kekuatan Tarik Campuran Asphalt Concrete – Binder Course Terhadap Abu Sekam Kayu. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 4(3), 270–276. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v4i3.384>
- Anis, M. (2016). Analisis Perbandingan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Dalam Perancangan Landasan Bandar Udara : Studi Kasus Bandar Udara Kertajati – Majalengka. *Warta Penelitian Perhubungan*, 28(6), 413. <https://doi.org/10.25104/warlit.v28i6.306>
- Asmidar, Putri, R. S. A., Massara, A., Syarkawi, M. T., & Alifuddin, A. (2022). Pengaruh Temperatur Pemadatan terhadap Parameter Marshall Test dan Tegangan Tarik pada Campuran Split Mastic Asphalt. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 4(1), 78–89. <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/view/510>
- Badaron, S. F., Gecong, A., Anies, M. K., Achmad, W. M., & Setiani, E. P. (2019). Studi Perbandingan Kuat Tarik Tidak Langsung terhadap Campuran Aspal Beton dengan menggunakan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi sebagai Filler. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 4(2), 145. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v4i2.593
- Bina Marga, K. P. (2018). Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 1. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, September, 1–199.
- Farida, I., & Hakim, N. (2021). Ketebalan Perkerasan Lentur Dengan Metode AASHTO 1993 Dan Manual Perkerasan Jalan 2017. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (Jtsc)*, 2(1), 59–68. <https://doi.org/10.51988/vol1no1bulanjulitahun2020.v2i1.30>
- Mardiansah, M., Haris, V. T., & Lubis, F. (2018). Analisis Kehilangan Kadar Aspal pada Aspal Buton untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC). *Jurnal Teknik*, 12(2), 97–104. <https://doi.org/10.31849/teknik.v12i2.1889>
- Panjaitan, K. D., & Ing, T. L. (2019). Penggunaan Genteng Keramik sebagai Pengganti Agregat Kasar dan Abu Terbang sebagai Pengisi pada Laston AC-BC. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 95–113. <https://doi.org/10.28932/jts.v13i2.1439>
- Widodo, S., & Setyaningsih, I. (2011). *Penggunaan Alat Marshall Untuk Menguji Modulus Elastisitas Beton Aspal*. 13–18.
- Wood, A., Wiyono, W., Setiawan, A., & Nur, D. (n.d.). *Rekayasa dan Manajemen Transportasi Journal of Transportation Management and Engineering Pengaruh Suhu Terhadap Modulus Elastis dan Angka Poisson Beton Aspal Lapis AUS (AC-WC) dengan Kapur Sebagai Filler*.