

Kinerja Stabilisasi Campuran Aspal Panas AC-WC Menggunakan Aspal Modifikasi (Elastomer) dengan Penambahan Lateks

Haikal Fikri Da'fa Nurcahyo, Sartika Nisumanti*, Khodijah Al Qubro

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

AC-WC, Elastomer, Lateks

***Correspondence email:**

haikalfikridan@gmail.com;
sartika.nisumanti@uigm.ac.id;
khodijah@uigm.ac.id

Submitted: 02 Mei 2025

Revised: 03 Oktober 2025

Accepted: 20 Januari 2026

Published: 04 Februari 2026

ABSTRAK

Perkerasan di Indonesia kerap mengalami kerusakan sebelum masa layan yang direncanakan tercapai, salah satunya disebabkan oleh deformasi permanen akibat tekanan beban berlebih, seperti yang dihasilkan oleh kendaraan berat. Studi ini dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh penambahan lateks terhadap karakteristik campuran beraspal jenis perkerasan AC-WC dengan menggunakan aspal modifikasi elastomer. Penggunaan aspal divariasikan dalam lima kadar, yakni 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% terhadap total berat agregat. Proses pembuatan campuran AC-WC mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2). Hasil penelitian menunjukkan penambahan lateks mempengaruhi karakteristik nilai Marshall pada campuran aspal dibandingkan dengan aspal konvensional, dimana nilai VMA dengan bahan tambah lateks terjadi penurunan 1% dikadar lateks 5% dengan nilai 18,029. Nilai VFA terjadi penurunan 1% dikadar lateks 5% dengan nilai 73,805. Nilai VIM pada campuran ini masih berada dalam spesifikasi yang disyaratkan, yaitu antara 3% hingga 5%. Nilai stabilitas bertambah secara signifikan dikadar lateks 7% dengan nilai 3249,7, sedangkan nilai MQ meningkat signifikan dikadar lateks 7% dengan nilai 2214,137. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan aspal yang mengandung lateks memiliki daya tahan lebih baik dibandingkan dengan aspal konvensional, sehingga dapat dijadikan alternatif untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan di Indonesia.

ABSTRACT

Keywords:

AC-WC, Elastomer, Latex

Pavements in Indonesia often experience damage before the planned service life is reached, one of which is caused by permanent deformation due to excessive load pressure, such as that produced by heavy vehicles. This study aims to analyze the effect of latex addition on the characteristics of AC-WC pavement type asphalt mixtures using elastomer modified asphalt. The use of asphalt is varied in five levels, namely 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, and 6% of the total aggregate weight. The AC-WC mixture manufacturing process refers to the 2018 Bina Marga specifications (Revision 2). The results showed that the addition of latex affected the characteristics of the Marshall value in the asphalt mixture compared to conventional asphalt, where the VMA value with latex additives decreased by 1% at a latex content of 5% with a value of 18.029. The VFA value decreased by 1% at a latex content of 5% with a value of 73.805. The VIM value in this mixture is still within the required specifications, which is between 3% and 5%. The stability value increased significantly at 7% latex content with a value of 3249.7, while the MQ value increased significantly at 7% latex content with a value of 2214.137. From the results of the study, it can be concluded that asphalt containing latex has better durability compared to conventional asphalt, so it can be used as an alternative to improve the quality of road pavement in Indonesia.

PENDAHULUAN

Jalan memiliki fungsi yang krusial dalam mendukung kehidupan sosial masyarakat, ekonomi, budaya, dan pertahanan-keamanan. Peningkatan beban ini dapat mempercepat penurunan umur layanan perkerasan jalan, terutama bila disertai dengan kondisi cuaca yang kurang mendukung (Mahmood & Kattan, 2023). Perkerasan jalan berfungsi sebagai lapisan pelindung di atas tanah dasar, dirancang dengan tingkat elastisitas yang optimal dan komposisi material yang kokoh untuk mendukung beban lalu lintas secara efektif (Nur Khaerat et al., 2021). Berdasarkan kondisi wilayah, mobilitas kendaraan, serta kondisi medan jenis perkerasan jalan yang sering digunakan adalah perkerasan lentur (Adiman & Yuda Pranata, 2024). Jenis perkerasan lentur dengan campuran aspal AC-WC adalah yang paling sering digunakan. Berada di posisi paling atas, lapisan AC-WC bersentuhan langsung dengan ban kendaraan yang melintas di atasnya (Mansyur et al., 2013). Selain itu lapisan AC-WC juga berfungsi sebagai penghalang air untuk melindungi lapisan di bawahnya (Nofriandi et al., 2023). Aspal yang digunakan pada lapisan AC-WC dalam perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh kondisi dan sifat materialnya, kelebihan kadar aspal dapat menyebabkan kerusakan berupa *bleeding*, sedangkan kekurangan kadar aspal dapat menyebabkan kerusakan berupa retak (*cracking*) (Nisumanti et al.,

2022).

Salah satu cara efektif adalah dengan memodifikasi aspal menggunakan elastomer melalui penambahan lateks sebagai bahan aditif. Lateks, khususnya yang dari *Hevea Brasiliensis* menjadi sorotan karena memiliki sejumlah sifat - sifat yang unggul seperti, kekuatan tarik yang tinggi, elastisitas yang besar, fleksibilitas yang baik, ketahanan terhadap propagasi retak, serta kemampuan rendah dalam menyimpan panas (Ansari et al., 2021). Dengan sifat – sifat tersebut mampu meningkatkan titik lembek, elastisitas, dan daya rekat aspal, sehingga mengurangi risiko retak dan deformasi (Utami et al., 2020). Penambahan lateks ke dalam campuran aspal terbukti memperbaiki karakteristik Marshall, seperti stabilitas dan nilai flow (Batubara et al., 2023). Dengan demikian, studi ini bertujuan untuk memperbaiki karakteristik sifat elastis dan fleksibilitas aspal, memperpanjang umurnya, serta meningkatkan performa campuran aspal panas dalam hal stabilitas, kekuatan, dan ketahanan terhadap deformasi (Rahayu et al., 2021)

Aspal adalah material pengikat yang digunakan dalam pembangunan perkerasan jalan dan tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon, terbentuk secara alami dan terdiri atas campuran bitumen dan mineral, yang diperoleh sebagai residu dari proses penyulingan minyak bumi (Nisumanti & Yusuf, 2020). Beton aspal merupakan campuran dari bahan pengikat aspal, agregat, serta material pengisi (filler) yang memiliki peran penting dalam menyatukan partikel-partikel agregat. Campuran ini dihasilkan melalui proses pencampuran antara agregat, aspal dan filler, di mana keduanya dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai suhu tinggi untuk memastikan kualitas pencampuran yang optimal (Nisumanti et al., 2020). Salah satu jenis filler yang sering digunakan adalah *fly ash* (Nisumanti et al., 2025). Agregat merupakan partikel mineral berbentuk butiran yang digunakan dalam berbagai kombinasi, seperti sebagai bahan campuran dalam semen untuk membuat beton, sebagai lapisan pondasi jalan, maupun sebagai material pengisi dalam konstruksi (Bakarbesy & Y. Pattireuw, 2019).

METODE

Studi ini dilaksanakan di Laboratorium Universitas Indo Global Mandiri yang terletak di Palembang. Proses penelitian terdiri dari sejumlah tahap, yang diawali dengan tahap persiapan serta pemeriksaan terhadap bahan-bahan seperti agregat halus, agregat kasar, dan aspal penetrasi 60/70. Selanjutnya dilakukan perencanaan campuran, dilanjutkan dengan pembuatan sampel uji, dan diakhiri dengan pengujian menggunakan alat Marshall Test. Pengujian sifat fisik aspal, agregat halus dan agregat kasar mengacu pada Bina Marga 2010 revisi yang ditunjukkan di Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Sifat fisik penetrasi aspal 60/70

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Metode Pengujian
Penetrasi 25°C(0.1 mm)	60-79	SNI 2456-2011
Titik Lembek [°C]	≥48	SNI 2434:2011
Titik nyala [°C]	>232	SNI 2433:2011
Titik bakar	256	
Berat Jenis	≥1.0	SNI 2441:2011

Sumber: Spesifikasi Bina Marga Revisi 3 (2010)

Tabel 2. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Agregat Kasar		
Jenis Pengujian	Persyaratan	Metode Pengujian
Berat jenis bulk		
Berat jenis SSD	Min. 2,5	SNI 03-1969-1990
Berat jenis semu		
Penyerapan	Maks. 3%	SNI 03-1969-1990
Abrasi	Maks. 30%	SNI 03-2417-1991
Agregat Halus		
Jenis Pengujian	Persyaratan	Metode Pengujian
Berat jenis bulk		
Berat jenis SSD	Min. 2,5	SNI 03-1979-1990
Berat jenis semu		
Penyerapan	Maks. 3	SNI 03-1979-1990

Sumber: Spesifikasi Bina Marga Revisi 3 (2010)

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi (Zukisa et al., 2023):

a. Tahapan Persiapan Material

Penelitian ini memanfaatkan beberapa bahan, termasuk aspal dengan tingkat penetrasi 60/70, filler, material agregat kasar berasal dari batu yang telah dihancurkan, dan agregat halus dari PT. Hakaaston Indralaya dan lateks dengan

variasi 3%, 5%, dan 7% sebagai bahan tambah.

b. Perencanaan Campuran

Bahan tambah yang digunakan adalah lateks didapat dari hasil getah karet murni dengan kadar (3%, 5%, dan 7%).

c. Pembuatan Benda Uji

Sampel dibuat 9 benda uji dengan masing-masing ditambah Lateks dari variasi 3%, 5%, dan 7% untuk kadar aspal. Lateks ditambahkan ke dalam aspal dan diaduk hingga campuran menjadi homogen pada suhu pencampuran sekitar 150–160°C Jumlah sampel dan komposisi campuran seperti Tabel 3.

Tabel 3. Campuran Benda Uji Lateks

No	Kadar Aspal Rencana	Kadar Serat	Jumlah Benda Uji (Buah)
1	5,5%	3%	3
2	5,5%	5%	3
3	5,5%	7%	3
Total			9

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

d. Pengujian Benda Uji

Eksperimen dilakukan pada benda uji menggunakan *Marshall test*, yang merupakan perangkat kompresi dengan cincin uji untuk mengukur stabilitas serta flow untuk mengetahui tingkat kelelahan (*flow*) dari campuran.

HASIL

Pengujian Agregat

Tujuan dari proses ini adalah untuk memperoleh informasi yang mencerminkan karakteristik agregat agar sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Hasil evaluasi untuk agregat kasar dan halus disajikan secara rinci pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian

Agregat Kasar			
No	Parameter Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi
1	Pengujian keausan 100 putaran	3,48%	Max. 6%
2	Pengujian keausan 500 putaran	14,12%	Max. 30%
3	Berat jenis bulk	2,71	
4	Berat jenis SSD	2,75	Min. 2,5
5	Berat jenis semu	2,82	
6	Penyerapan %	1,47%	Max. 3%
Agregat Halus			
1	Berat jenis bulk	2,58	
2	Berat jenis SSD	2,61	Min 2,5
3	Berat jenis semu	2,69	
4	Penyerapan	1,66	Max. 3%

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Tabel 4. Berdasarkan hasil uji agregat kasar dan agregat halus dapat memenuhi persyaratan spesifikasi sehingga itu hasil pengujian dapat direkomendasikan.

Aspal yang diuji menggunakan aspal penetrasi 60/70, sesuai spesifikasi Bina Marga. Hasil lengkap pengujian tersebut tertuang pada Tabel. 5.

Tabel 5. Hasil Uji Aspal

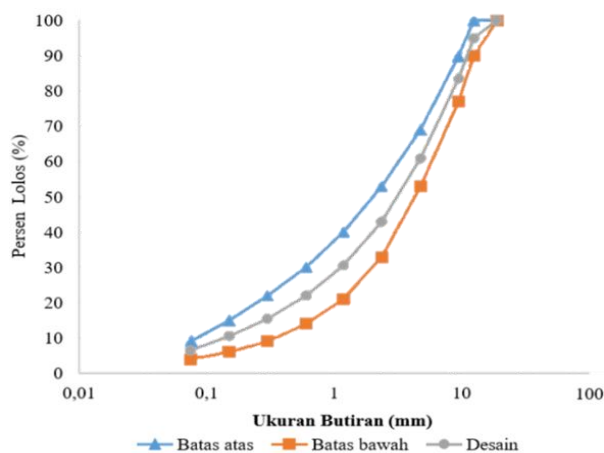
No	Jenis Pengujian	Standar Pengujian	Syarat	Hasil
1	Berat jenis	SNI 03-2441 – 2011	Min 1	1,043
2	Titik lembek	SNI 06- 2434 – 2011	MIN 50 ⁰	56 ⁰ C
3	Titik nyala	SNI 06- 2433- 2011	MIN 232 ⁰	235,5 ⁰ C
4	Titik bakar	SNI 06- 2433- 2011	-	256 ⁰ C
5	Penetrasi	SNI 06- 2456- 2011	60 - 70	63

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Berdasarkan Tabel 5, aspal yang digunakan memenuhi persyaratan sehingga aspal ini dapat digunakan dalam campuran AC-WC.

Komposisi Agregat

Perhitungan komposisi campuran menggunakan metode amplop gradasi AASTHO. Perhitungan komposisi campuran AC-WC ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Gradasi Campuran AC - WC

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Pada gambar 1. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa komposisi campuran telah sesuai dengan spesifikasi, sehingga uji gradasi agregat disarankan digunakan dalam proses pembuatan benda yang diuji untuk memperoleh KAO.

Pengujian Marshall Konvensional

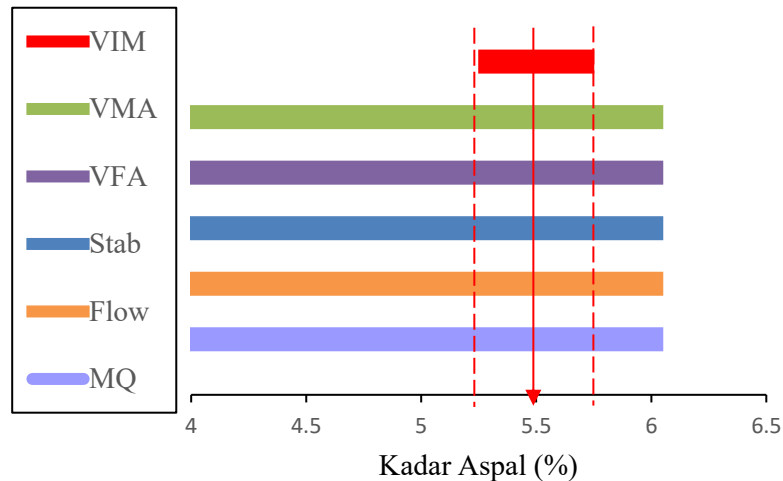
Campuran aspal dilakukan pengujian melalui metode Marshall guna mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Hasil KAO didapatkan dengan menganalisis hubungan antara kadar aspal dengan berbagai parameter seperti stabilitas, kepadatan, dan void. Pengujian ini dilakukan sebagai upaya untuk mengetahui kinerja campuran aspal berdasarkan parameter kepadatan, VIM, VMA, VFA, stabilitas, flow, dan nilai MQ, disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Marshall Konvensional

No	Kadar Aspal Pb %	Kepadatan t/m ³	VIM 3,5 - 5,0 %	VMA Min 15%	VFA Min 65%	Stabilitas Min 800 kg	Flow 2 - 4 mm	MQ ≥ 250kg/mm
1.	4	2,32	6,78	17,69	56,76	1069,2	2,90	381,842
2.	4	2,28	8,45	19,20	50,87	1102,2	2,90	380,077
3.	4	2,34	6,23	17,19	58,99	1124,3	3,00	374,756
Rata-rata		2,31	7,15	18,03	55,54	1098,6	2,90	378,892
1	4,5	2,23	9,73	21,36	49,77	1226,6	3,03	404,803
2	4,5	2,25	8,88	20,61	52,27	1169,2	3,05	383,357
3	4,5	2,40	3,18	17,52	76,47	1054,6	3,10	340,196
Rata-rata		2,29	7,26	19,83	59,50	1150,1	3,06	376,119
1	5	2,29	6,46	19,83	61,40	1345,6	3,20	420,498
2	5	2,34	4,19	17,86	70,81	1054,6	3,25	324,498
3	5	2,32	5,05	18,62	66,97	1169,2	3,30	354,315
Rata-rata		2,32	5,23	18,78	66,39	1189,8	3,25	366,436
1	5,5	2,25	7,60	21,48	60,99	1465,7	3,23	453,789
2	5,5	2,35	3,50	17,91	77,98	1225,5	3,50	350,129
3	5,5	2,39	2,08	17,67	68,46	1405,7	3,53	398,206
Rata-rata		2,33	4,39	19,02	74,94	1365,6	3,42	400,708
1	6	2,36	2,42	18,02	84,87	1225,5	3,45	355,204
2	6	2,40	0,82	17,64	94,40	1226,6	3,48	352,458
3	6	2,38	1,73	17,42	88,77	1354,6	3,50	384,456
Rata-rata		2,38	1,66	17,69	89,35	1265,9	3,48	364,039

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Dari Tabel 6. Hasil pengujian marshall konvensional akan digunakan sebagai pembanding dan untuk menentukan nilai KAO, yang dihitung berdasarkan rata-rata nilai dari parameter Marshall seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Menentukan KAO

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Pengujian Parameter Marshall Modifikasi (Elastomer)

Hasil uji marshall dilakukan untuk memperoleh nilai berdasarkan hasil pengujian kadar aspal 5,5% dituangkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian modifikasi parameter marshall

No.	Kadar Lateks%	Kadar Aspal Pb %	VIM 3,5 - 5,0 %	VMA Min 15%	VFA Min 65%	Stabilitas Min 800 kg	Flow 2 – 4 mm	MQ 250 kg/mm
1.	3 ₁	5,5%	4,695	17,532	75,788	3159,0	1,9	1662,63
2.	3 ₂	5,5%	4,943	17,747	74,676	3411,7	2,8	1218,47
3.	3 ₃	5,5%	5,373	18,119	72,813	3032,6	2,6	1166,40
Rata-rata			5,003	17,799	74,426	3201,1	2,4	1349,16
4	5 ₁	5,5%	7,147	19,855	65,038	3037,5	1,8	1735,71
5	5 ₂	5,5%	3,147	16,402	81,121	3443,3	2,1	1639,67
6	5 ₃	5,5%	4,800	17,829	74,256	3159,0	1,9	1662,632
Rata-rata			5,031	18,029	73,805	3213,3	1,9	1679,33
7	7 ₁	5,5%	4,577	18,119	72,813	3285,4	1,8	1825,20
8	7 ₂	5,5%	3,913	17,549	75,702	3285,4	1,6	2053,20
9	7 ₃	5,5%	3,166	16,908	79,181	3178,4	1,2	2763,86
Rata-rata			3,885	17,525	75,899	3249,7	1,5	2214,13

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Berdasarkan Tabel 7. Menunjukkan nilai VIM pada campuran laston yang memenuhi spesifikasi yaitu 3% - 5% lateks 3% dengan nilai 5,003%, mengalami peningkatan dikadar lateks 5% dengan nilai 5,031% sedangkan dikadar 7% mengalami penurunan dengan nilai 3,885%. Semakin tinggi nilai VIM maka semakin besar celah - celah yang terkandung dalam aspal sehingga komposisi aspal bersifat porous. Kondisi ini berdampak pada menurunnya daya tahan campuran karena kepadatannya berkurang, sehingga air dan udara lebih mudah meresap ke dalam rongga-rongga pada lapisan aspal AC-WC. Sedangkan untuk nilai VMA berdasarkan spesifikasi yang diizinkan yaitu 15%. Nilai kadar lateks 3% sebesar 17,799%, terjadi peningkatan pada penambahan kadar lateks 5% dengan nilai 18,029% dan terjadi penurunan pada penambahan kadar lateks 7% dengan nilai 17,525%. Sementara nilai VFA pada kadar lateks 3%, 5%, 7% semuanya memenuhi spesifikasi yaitu Min 65% dan nilai terbesar yang didapat dari variasi kadar lateks adalah kadar lateks 7% dengan nilai 75,899%.

Nilai stabilitas dengan kadar lateks 3%, 5%, 7% semuanya memenuhi yang diizinkan yaitu 800 kg, kadar lateks dengan nilai terbesar dikadar 7% dengan nilai 3249,7. Nilai Kelelehan (*Flow*) pada kadar lateks 3% dengan nilai 2,4% mengalami penurunan dikadar 5% dengan nilai 1,9 dan mengalami penurunan kembali dikadar lateks 7% dengan nilai 1,5%. Kondisi ini dapat memicu terjadinya perubahan dalam campuran aspal akibatnya aspal mengalami kekakuan yang menyebabkan permukaan jalan rentan mengalami retak karena kurang elastis, terutama pada daerah dengan suhu dingin atau beban berat.

Pengujian Marshall Test Aspal Konvensional dan Aspal Modifikasi

Hasil pengujian Marshall Test aspal konvensional berbeda dengan pengujian Marshall Test aspal modifikasi dengan bahan tambah lateks, dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Marshall untuk Aspal Konvensional dan Aspal Modifikasi

No	Parameter	Spesifikasi	Aspal normal	Aspal modifikasi 3% Lateks	Aspal modifikasi 5% Lateks	Aspal modifikasi 7% Lateks
1	Stabilitas	≥ 800 kg/mm	1365,6	3201,1	3213,3	3249,7
2	Flow	$\geq 2 - 4$ mm	3,53	2,4	1,9	1,5
3	VIM	$\geq 3 - 5$ %	4,39	5,004	5,031	3,885
4	VMA	≥ 15 %	19,02	17,799	18,029	17,525
5	VFA	≥ 65 %	76,6	74,426	73,805	75,899
6	MQ	≥ 250 %	377,238	1349,168	1679,339	2214,137

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Berdasarkan Tabel 8 Menunjukkan penambahan lateks pada campuran aspal memberikan pengaruh signifikan terhadap seluruh parameter Marshall. Aspal modifikasi menunjukkan peningkatan stabilitas signifikan. Nilai tertinggi terdapat pada kadar lateks 7% sebesar 3249,7 kg/mm, melampaui spesifikasi minimum > 800 kg/mm. Sedangkan aspal normal diperoleh nilai sebesar 1365,6 kg/mm, hal ini menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap beban sedangkan nilai VIM semua kadar modifikasi berada dalam rentang spesifikasi yaitu 3-5%. Nilai tertinggi terdapat pada kadar 5% sebesar 5,004%, sedangkan kadar 7% (3,885%) mendekati bawah bawah, hal ini menunjukkan peningkatan kepadatan campuran. Sementara nilai VMA terjadi sedikit penurunan nilai dibandingkan aspal normal, akan tetapi seluruh nilai VMA masih memenuhi spesifikasi > 15 %. Nilai bervariasi antara 17,525% - 18,029%.

Untuk nilai VFA seluruhnya memenuhi spesifikasi > 65 %. Penurunan hanya sedikit dari aspal normal, hal ini menunjukkan distribusi aspal yang masih efektif sedangkan nilai Marshall Quotient (MQ) mengalami peningkatan signifikan dengan penambahan lateks, hal ini menunjukkan terjadi peningkatan kekakuan campuran. Nilai MQ tertinggi terdapat pada kadar 7% (2214,137) dibandingkan aspal normal sebesar 377,238. Dengan penambahan lateks dapat meningkatkan stabilitas dan MQ, namun menurunkan nilai Flow secara signifikan pada kadar 5% dan 7% sehingga perlu keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas untuk memastikan kinerja campuran yang optimal.

SIMPULAN

Penelitian ini mengindikasikan bahwa penambahan lateks pada formulasi campuran beraspal memberikan peningkatan stabilitas yang diperoleh mencapai 3201,1 kg/mm, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan aspal konvensional yang hanya sebesar 1365,6 kg/mm, dan telah memenuhi batas spesifikasi yang disyaratkan, yaitu di atas > 800 kg/mm. Penambahan lateks pada aspal menghasilkan nilai flow, VMA, dan VFA yang berada di luar batas spesifikasi yang ditetapkan untuk campuran aspal beton. Hal ini disebabkan oleh rendahnya nilai flow yang dapat meningkatkan potensi terjadinya keretakan pada campuran, demikian juga untuk nilai VMA yang rendah membatasi lapisan aspal pada agregat, sehingga rentan terhadap kerusakan. Untuk nilai VFA yang rendah keadaan ini mengakibatkan pengurangan jumlah aspal yang seharusnya mengisi ruang – ruang dalam campuran aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiman, E. Y., & Yuda Pranata, A. (2024). ANALISIS DESAIN PERKERASAN LENTUR BERDASARKAN MDPJ 2017 MENGGUNAKAN METODE MEKANISTIK EMPIRIS PADA PROGRAM KENPAVE. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 651–662. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i2.26800>
- Ansari, A. H., Jakarni, F. M., Muniandy, R., & Hassim, S. (2021). A review on the application of natural rubber as asphalt modifier. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1075(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1075/1/012031>
- Bakarbesy, D., & Y. Pattireuw, Yohanis. (2019). PEMANFAATAN ABU BATA MERAH SEBAGAI PENGGANTI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL BETON (LASTON). *Jurnal PORTAL SIPIL*, 8(1), 72–85.
- Batubara, H., Simbolon, R. H. T., & Hasibuan, M. A. S. (2023). PENGARUH PENAMBAHAN GETAH KARET (LATEKS) PADA KEKUATAN IKAT CAMPURAN ASPAL WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL TEST (STUDI PENELITIAN). *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 108–112. <https://doi.org/10.30743/jtsip.v2i1.7667>
- Mahmood, A. O., & Kattan, R. A. (2023). Experimental Analysis to Evaluate the Impact of Styrene-Butadiene-Styrene and Crumb Rubber on the Rutting and Moisture Resistance of Asphalt Mixtures. *Sustainability*, 15(13), 10387. <https://doi.org/10.3390/su151310387>

- Mansyur, K., Marshuri, & Alhadar, A. (2013). STUDI PENGGUNAAN KAPUR SEBAGAI BAHAN ADITIF TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN BETON ASPAL LAPIS AUS (AC-WC). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Transportasi*, 55–71.
- Nisumanti, S., Amalia, G., & Putri, S. (2022). The Effect of Latex on The Characteristics of Asphalt Concrete Wearing Course. *Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism-ICCAUA*, 5(1), 937–945. <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2022EN0146>
- Nisumanti, S., Febriyandi, & Dwi, S. (2020). The Effect of Warm Mixture Asphalt for Asphalt Concrete (AC WC) with the added of Asbuton on Asphalt Quality. *Proceeding Book of the 3rd International Conference on Multidisciplinary Research*, 3(1), 50–57.
- Nisumanti, S., Putri, Y. E., Desromi, F., Qubro, K. A., Saripudin, S., & Fikri, M. (2025). Inovasi Material Berkelanjutan: Optimasi Penggunaan Abu Sabut Kelapa sebagai Alternatif Filler pada Aspal Beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 379. <https://doi.org/10.33087/talantasipil.v8i1.861>
- Nisumanti, S., & Yusuf, M. (2020). Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Filler Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 8(2). <https://doi.org/10.36982/jtg.v8i2.900>
- Nofriandi, I., Alamsyah, W., & Lydia, E. N. (2023). STUDI PENAMBAHAN VARIASI CAMPURAN PLASTIK JENIS HDPE PADA CAMPURAN ASPAL PENETRASI 60/70 UNTUK LAPIS AUS AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 116–123. <https://doi.org/10.24815/jts.v12i2.31207>
- Nur Khaerat, N., Mahyuddin, Bachtiar, E., Tumpu, M., Mukrim Ihsan, M., Irianto, & Kadir, Y. (2021). *Perancangan Perkerasan Jalan*. Yayasan Kita Menulis.
- Rahayu, P., Rifqi, M. G., & Amin, M. S. (2021). Pengaruh Penambahan Plastik Tipe PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Campuran Laston AC-WC. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v2i1.66>
- Utami, F., Subagio, B. S., & Kusumawati, A. (2020). Evaluation of The Performance of Hot Mix Asphalt with Natural Rubber (Latex) for Asphalt Concrete- Binder Course (AC-BC). *Jurnal Teknik Sipil*, 27(3), 217. <https://doi.org/10.5614/jts.2020.27.3.2>
- Zukisa, Alamsyah, W., & Basrin, D. (2023). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK PET SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ASPAL PORUS PENETRASI 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 122–129.