

Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan Penambahan Lateks dan Abu Sekam Padi pada Perkerasan Jalan

Prabowo Pujito^{1*}, Zida Shofwan Azhim², Eko Muliawan Satrio³

¹⁻³ Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Indonesia

email: prabowopujito@gmail.com¹, zidashofwanazhim@gmail.com²

Article Info :

Received:
07-01-2026
Revised:
15-02-2026
Accepted:
20-02-2026

Abstract

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) is a wearing layer on flexible pavements that directly receives traffic loads and environmental influences. However, conventional mixtures are still susceptible to plastic deformation, fatigue cracking, and water damage, so material modification is needed to improve their performance. This study aims to analyze the effect of adding latex and rice husk ash on the Marshall characteristics of AC-WC and to determine the optimal mixture variation. Laboratory experimental methods were used with 60/70 penetration asphalt, aggregates in accordance with the 2025 General Specifications for Highways, latex as an additive, and rice husk ash as a filler, with variations of 0%, 4%, 7%, and 9% latex and 0%, 3%, 6%, and 7% rice husk ash. Marshall test results showed that the combination of materials significantly affected the stability, flow, and stiffness of the mixture, while still meeting Bina Marga technical requirements. The best mixture was obtained with 3% latex and 6% rice husk ash, with VIM 4.82%, VMA 21.63%, VFB 78.01%, stability 831.17 kg, flow 3.73 mm, and MQ 222.33 kg/mm, making this variation recommended as the optimal and environmentally friendly AC-WC mixture.

Keywords: AC-WC, Latex, Rice Husk Ash, Marshall, Road Pavement.

Abstrak

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan aus pada perkerasan lentur yang langsung menerima beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan, namun campuran konvensional masih rentan terhadap deformasi plastis, retak lelah, dan kerusakan akibat air, sehingga diperlukan modifikasi material untuk meningkatkan kinerjanya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan lateks dan abu sekam padi terhadap karakteristik Marshall AC-WC serta menentukan variasi campuran optimal. Metode eksperimen laboratorium digunakan dengan aspal penetrasi 60/70, agregat sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2025, lateks sebagai aditif, dan abu sekam padi sebagai bahan pengisi, dengan variasi lateks 0%, 4%, 7%, 9% dan abu sekam padi 0%, 3%, 6%, 7%. Hasil uji Marshall menunjukkan bahwa kombinasi material tersebut berpengaruh signifikan terhadap stabilitas, kelelehan, dan kekakuan campuran, tetap memenuhi persyaratan teknis Bina Marga, dan campuran terbaik diperoleh pada lateks 3% dan abu sekam padi 6%, dengan VIM 4,82%, VMA 21,63%, VFB 78,01%, stabilitas 831,17 kg, flow 3,73 mm, dan MQ 222,33 kg/mm, sehingga variasi ini direkomendasikan sebagai campuran AC-WC yang optimal sekaligus ramah lingkungan..

Kata kunci: AC-WC, Lateks, Abu Sekam Padi, Marshall, Perkerasan Jalan.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan memiliki peranan penting dalam menunjang mobilitas masyarakat, distribusi barang, dan aktivitas ekonomi secara keseluruhan, sehingga kualitas perkerasan menjadi faktor kunci dalam keberlanjutan jaringan transportasi (Isnaini, Suparma, & Utomo, 2019). Lapisan aus atau Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) berfungsi sebagai lapisan teratas yang langsung menahan beban lalu lintas dan terpapar kondisi lingkungan, sehingga stabilitas, keausan, dan kenyamanan berkendara sangat bergantung pada karakteristik lapisan ini (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025). AC-WC konvensional memiliki kelemahan seperti kerentanan terhadap retak lelah, deformasi plastis, dan penurunan ketahanan akibat air yang dapat mengurangi umur perkerasan (Emha, Setyawan, & Surjandari, 2016). Permasalahan ini mendorong pengembangan material modifikasi untuk meningkatkan durabilitas dan kinerja lapisan aus, termasuk penyesuaian bahan pengikat aspal dan penggunaan filler alternatif (Irfansyah, Setyawan, & Djumari, 2017). Penelitian terdahulu menunjukkan

bahwa variasi material dapat memengaruhi parameter Marshall seperti stabilitas, flow, dan Marshall Quotient yang menjadi indikator utama kualitas campuran beraspal (Putri, Carlo, Hasan, & Rita, 2023).

Penggunaan lateks sebagai bahan modifikasi telah terbukti meningkatkan elastisitas, fleksibilitas, dan daya lekat aspal terhadap agregat, sehingga mampu memperbaiki ketahanan campuran terhadap retak dan deformasi plastis (Putri, Carlo, Hasan, & Rita, 2023). Penelitian lain menyatakan bahwa lateks alami maupun sintesis styrene butadiene rubber (SBR) meningkatkan stabilitas dan durabilitas campuran, sehingga lebih tahan terhadap beban lalu lintas yang intensif (Emha, Setyawan, & Surjandari, 2016). Lateks dapat bekerja sebagai aditif yang memperbaiki ikatan antarpartikel agregat serta meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan perubahan bentuk akibat siklus beban (Irfansyah, Setyawan, & Djumari, 2017). Peningkatan sifat mekanik ini mendukung performa AC-WC yang lebih elastis dan stabil dalam jangka panjang, yang menjadi tuntutan utama perkerasan lentur (Putri, Carlo, Hasan, & Rita, 2023). Modifikasi aspal dengan lateks juga relevan untuk implementasi material ramah lingkungan karena dapat mengurangi penggunaan aspal murni yang berbasis energi fosil (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006).

Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan pengisi alternatif juga semakin diminati dalam rekayasa jalan, khususnya abu sekam padi (rice husk ash/RHA) yang memiliki kandungan silika tinggi (Akbar & Wesli, 2012). RHA mampu menggantikan sebagian filler mineral konvensional dalam campuran AC-WC sehingga meningkatkan kepadatan, nilai stabilitas Marshall, dan durabilitas campuran (Intari, Fathonah, & Saputro, 2019). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi menunjukkan karakteristik fisik dan kimia yang mendukung interaksi yang baik dengan aspal serta memperkuat struktur mikro campuran (Garboczi & Bentz, 1996). Selain manfaat teknis, penggunaan RHA berkontribusi pada pemanfaatan limbah pertanian secara berkelanjutan, mengurangi akumulasi residu pertanian, dan menekan ketergantungan pada sumber daya mineral non-terbarukan (Akbar & Wesli, 2012). Hasil penelitian terdahulu mengindikasikan kombinasi RHA dan lateks dapat meningkatkan performa AC-WC lebih signifikan dibandingkan penggunaan masing-masing bahan secara terpisah (Intari, Fathonah, & Saputro, 2019).

Kombinasi penambahan lateks dan abu sekam padi dalam campuran AC-WC memiliki potensi untuk menghasilkan campuran yang lebih elastis, stabil, dan tahan terhadap deformasi plastis serta retak lelah (Putri, Carlo, Hasan, & Rita, 2023; Akbar & Wesli, 2012). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengaruh gabungan ini dapat meningkatkan stabilitas Marshall dan kekakuan campuran, yang menjadi indikator penting dalam evaluasi kualitas perkerasan lentur (Emha, Setyawan, & Surjandari, 2016; Irfansyah, Setyawan, & Djumari, 2017). Analisis karakteristik Marshall menjadi metode utama untuk mengevaluasi performa campuran, termasuk parameter stabilitas, flow, Marshall Quotient, VIM, VMA, dan VFA, sehingga memberikan gambaran lengkap mengenai kekuatan dan fleksibilitas campuran (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025). Penelitian gabungan lateks dan RHA masih terbatas, sehingga studi eksperimental diperlukan untuk menentukan variasi optimal yang menghasilkan performa AC-WC terbaik (Isnaini, Suparma, & Utomo, 2019). Eksperimen laboratorium menjadi pendekatan yang tepat untuk menguji berbagai kombinasi campuran dan memperoleh data empiris yang dapat dijadikan acuan desain perkerasan jalan (Intari, Fathonah, & Saputro, 2019).

Rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada bagaimana penambahan lateks dan abu sekam padi memengaruhi nilai Marshall campuran AC-WC serta kombinasi material yang menghasilkan performa optimal (Akbar & Wesli, 2012). Pertanyaan penelitian mencakup evaluasi perubahan stabilitas, flow, dan kekakuan campuran akibat variasi prosentase lateks dan RHA (Putri, Carlo, Hasan, & Rita, 2023). Analisis ini diarahkan untuk mendapatkan formulasi campuran AC-WC yang mampu memenuhi spesifikasi teknis Bina Marga 2025 sekaligus memberikan alternatif penggunaan material ramah lingkungan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025). Tujuan penelitian mencakup pengukuran pengaruh masing-masing bahan modifikasi terhadap parameter Marshall dan penentuan kombinasi terbaik untuk meningkatkan performa perkerasan (Emha, Setyawan, & Surjandari, 2016). Pendekatan ini diharapkan memberikan data empiris yang mendukung penerapan AC-WC modifikasi di lapangan dan mendukung pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan (Irfansyah, Setyawan, & Djumari, 2017).

Penelitian ini menekankan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi karakteristik AC-WC dengan variasi lateks dan abu sekam padi, serta menentukan formulasi campuran optimal yang memenuhi spesifikasi teknis. Hasil penelitian diharapkan menjadi alternatif material yang lebih elastis, stabil, dan memiliki durabilitas tinggi, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah pertanian sebagai

bahan konstruksi. Kombinasi bahan modifikasi dipilih berdasarkan potensi peningkatan stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFA yang terukur melalui metode Marshall. Pengujian laboratorium memberikan dasar ilmiah untuk rekomendasi campuran terbaik bagi perkerasan lentur di lapangan. Temuan ini juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi perkerasan berkelanjutan dan ramah lingkungan di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh penambahan lateks dan abu sekam padi pada karakteristik Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Metode ini memungkinkan pengamatan langsung terhadap performa campuran aspal melalui tahapan terstruktur, mulai dari persiapan bahan, pengujian sifat fisik agregat dan aspal, hingga pembuatan benda uji sesuai job mix design. Variasi campuran diuji dengan menggunakan abu sekam padi 0%, 4%, 6%, 7% dan lateks 0%, 3%, 7%, 9%, sedangkan parameter yang diukur meliputi stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), serta Marshall Quotient (MQ) sesuai standar SNI dan ASTM, untuk menilai kepadatan, fleksibilitas, dan daya dukung campuran.

Bahan penelitian terdiri dari agregat kasar dan halus, aspal penetrasi 60/70, lateks sebagai modifikasi elastisitas dan adhesi, serta abu sekam padi sebagai filler untuk meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran. Pengujian dilakukan menggunakan peralatan laboratorium termasuk oven, timbangan presisi, saringan analisa, alat uji aspal, dan Marshall Test lengkap dengan cetakan, penumbuk, dan water bath untuk pengujian stability dan flow. Data dikumpulkan dari pengujian primer dan sekunder, dianalisis untuk menentukan kadar aspal optimum serta formulasi campuran terbaik. Seluruh prosedur dijalankan secara sistematis agar hasil pengujian valid, dapat dipertanggungjawabkan, dan menghasilkan rekomendasi campuran AC-WC yang optimal dengan pemanfaatan bahan tambahan ramah lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi

Hasil pengujian aspal kemudian dibandingkan dengan persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 (Revisi 2) Nomor 16.1/SE/Db/2020, dan disajikan pada Tabel 1 Berdasarkan hasil pengujian tersebut, seluruh parameter yang diuji telah memenuhi ketentuan standar yang berlaku.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI 2456:2011	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	58	50,5	SNI 2434:2011	Memenuhi
3	Berat Jenis	%	Min. 1,0	-	1.034	SNI 2441:2011	Memenuhi

Sumber: Analisis Penulis

Pengujian Gradasi Agregat

Hasil pengujian gradasi agregat selanjutnya dibandingkan dengan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 (Revisi 2) Nomor 16.1/SE/Db/2020 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat Kasar				
1	Agregat Kasar Lolos Saringan #200				
	a. Coarse Aggregate ½"	SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,64%	Memenuhi
	b. Medium Aggregate ¾"			0,60%	Memenuhi
2	Penyerapan Air Agregat Kasar				
	a. Coarse Aggregate ½"	SNI 1969:2016	Maks. 3%	1,610%	Memenuhi
	b. Medium Aggregate ¾"			2,090%	Memenuhi
3	Berat Jenis Agregat Kasar (Bulk Specific Gravity)				
	a. Coarse Aggregate ½"	SNI 1969:2016	Min. 2,5%	2,620%	Memenuhi
	b. Medium Aggregate ¾"			2,610%	Memenuhi
B	Agregat Halus				
1	Agregat Halus Lolos Saringan #200				
	a. Abu Batu	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	3,45%	Memenuhi
	b. Pasir			12,36%	Memenuhi
2	Penyerapan Air Agregat Halus				
	a. Abu Batu	SNI 1970:2016	Maks. 3%	2,39%	Memenuhi
	b. Pasir			2,79%	Memenuhi
3	Berat Jenis Agregat Halus (Bulk Specific Gravity)				
	a. Abu Batu	SNI 1970:2016	Min. 2,5%	2,51%	Memenuhi
	b. Pasir			2,51%	Memenuhi

Sumber: Analisis Penulis

Tabel 2 menunjukkan bahwa material agregat yang berasal dari (AMP) PT. Semarang Multicons Kendal memenuhi persyaratan spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua material memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai campuran aspal AC-WC. Untuk *filler* menggunakan Semen *Portland* (PC).

Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Dalam perhitungan kombinasi agregat pada penelitian ini, digunakan beberapa fraksi material, yaitu *Hot Bin II*, *Hot Bin III*, *Hot Bin IV*, pasir, *filler* (semen), serta abu sekam padi.

Tabel 3. Perhitungan Kombinasi Agregat

Uraian		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Inch		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
mm		25	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Data Material												
Batu Pecah Max 3/4"		100,00	100,00	77,60	68,32	54,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batu Pecah Max 1/2"		100,00	100,00	100,00	86,24	63,74	50,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,90	93,00	89,50	87,40	73,20	59,00
Pasir		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,20	96,70	96,70	90,50	85,90	59,00
Filler Semen		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,80
Komposisi Campuran												
Batu Pecah Max 3/4"	12,00%	12,00	12,00	9,31	8,20	6,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batu Pecah Max 1/2"	40,00%	40,00	40,00	40,00	34,49	25,49	20,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abu Batu	44,00%	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	43,08	40,92	39,38	38,46	32,21	25,96
Pasir	3,00%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,95	2,90	2,90	2,72	2,58	1,77
Filler Semen	1,00%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
Total Campuran		100,00	100,00	97,31	90,69	79,98	67,04	44,82	43,28	42,17	35,79	28,72
Spesifikasi Gradasi												
Max		100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min		100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi												
max		100,00		100,00	88,50	66,00	46,00	33,50	25,00	18,50	12,50	7,50
min		95,00		90,00	78,50	56,00	40,00	27,50	19,00	12,50	8,50	5,50
Luas Permukaan Agregat	:	5,55										

Sumber : Analisis Penulis

Tabel 4. Speaifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan

No Saringan	Spesifikasi		Presentase Lolos(%)
	Batas Atas	Batas Bawah	
#200	7	3	4.98
#100	12	5	9.71
#50	18	8	14.53
#30	25	12	18.03
#16	35	23	26.04
#8	48	33	40.32
#4	65	50	61.03
3/4"	80	70	82.65
1/2"	95	85	96.80
3/4"	100	100	100.00
1"	100	100	100.00

Tabel 4 menunjukkan Data yang berisi hasil dari kombinasi gradasi campuran agregat secara totalitas, yang dimana tidak boleh melebihi batasan minimum serta optimal spesifikasi. Hasil pengujian analisa campuran agregat mempunyai presentase lolos saringan dari Nomor.#200 sampai 1” Hasil pengujian tidak boleh melewati batas atas ataupun batas bawah Sesuai dengan standar yang ada. jika ada agregat yang melewati salah satu batas, agregat tersebut tidak diizinkan buat digunakan sebagai material pengisi pada AC– WC, karena tidak cocok dengan standar yang sudah ditetapkan

Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Rancangan campuran aspal terdiri atas empat komposisi utama yaitu: campuran dengan penambahan abu sekam padi sebesar 0%,4%,6% dan 7% serta campuran dengan bahan tambah lateks adalah 0%, 3%, 7% dan 9%, termasuk campuran normal sebagai pembanding. Setiap komposisi dirancang dengan 3 variasi untuk keperluan analisis dan perbandingan hasil.

Tabel 5. Rincian Beda Uji

No	Kode Benda Uji	Keterangan	Masing-Masing	Total
1	ASP0LA1	Penambahan Lateks kadar 0% dan Penambahan Abu sekam Padi (0%, 3%, 6%, 7%)	3 Buah	12 Buah
2	ASP1LA2	Penambahan Lateks kadar 3% dan Penambahan Abu sekam Padi (0%, 3%, 6%, 7%)	3 Buah	12 Buah
3	ASP2LA3	Penambahan Lateks kadar 7% dan Penambahan Abu sekam Padi (0%, 3%, 6%, 7%)	3 Buah	12 Buah
4	ASP3LA4	Penambahan Lateks kadar 9% dan Penambahan Abu sekam Padi (0%, 3%, 6%, 7%)	3 Buah	12 Buah

Sumber : Analisis Penulis

Setelah komposisi campuran aspal ditentukan, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji. Proses pencampuran dilakukan pada suhu yang sesuai, dimana aspal dicampur hingga mencapai viskositas kinematis sebesar 170/20 centikotes, dan proses pemadatan dilakukan pada suhu ketika viskositas kinematis 280/30 centikotes. Seluruh benda uji yang dibuat sebanyak tiga sampel, digunakan sebagai pembanding satu sama lain. Seluruh benda uji dibuat dengan komposisi yang sama dan telah memenuhi ketentuan spesifikasi Teknis Bina Marga 2024 Revisi 2.

Ringkasan Komposisi Campuran Aspal

Setelah nilai persentase masing-masing fraksi agregat dan aspal dalam campuran diketahui, maka berat material untuk rancangan campuran aspal dihitung untuk campuran AC-WC dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 6. Komposisi Material AC-WC

No	Jenis Material	Komposisi	berat	Kumulatif
		%	g	g
1	Medium aggregate 3/4	25%	300	300
2	Coarse aggregate 1/2	25%	300	600
3	Abu batu	40%	480	1080
4	Pasir	3%	36	1116
5	Filler	1%	14.4	1130
6	Aspal	6%	69.6	1200

Sumber : Analisis Penulis

Berdasarkan hasil perhitungan komposisi material benda uji yang disajikan pada Tabel 4.13, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian campuran AC-WC menunjukkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,8% dengan berat aspal sebesar 69,6 gram.

Pembuatan Benda Uji

Penerapan bahan tambah tersebut menghasilkan total 16 variasi campuran. Untuk setiap variasi campuran dibuat sebanyak tiga benda uji sebagai sampel pengujian.

Tabel 7. Komposisi dan Jumlah Benda uji

No	Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 0% + Lateks 0%	3
2	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 4% + Lateks 0%	3
3	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 6% + Lateks 0%	3
4	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 7% + Lateks 0%	3
5	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 0% + Lateks 3%	3
6	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 4% + Lateks 3%	3
7	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 6% + Lateks 3%	3
8	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 7% + Lateks 3%	3
9	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 0% + Lateks 7%	3
10	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 4% + Lateks 7%	3
11	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 6% + Lateks 7%	3
12	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 7% + Lateks 7%	3
13	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 0% + Lateks 9%	3
14	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 4% + Lateks 9%	3
15	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 6% + Lateks 9%	3
16	Komposisi Normal + Limbah Abu sekam padi 7% + Lateks 9%	3
Total Benda Uji		48

Sumber : Analisis Penulis

Apabila terdapat salah satu benda uji yang tidak memenuhi persyaratan teknis sesuai Spesifikasi Bina Marga 2025 Revisi 2, maka hasil pengujian pada benda uji tersebut tidak digunakan sebagai data pembandingan. Dalam penelitian ini terdapat tiga benda uji yang dapat dijadikan sebagai pembandingan

Berat Jenis Campuran Bahan Abu Sekam (*rice husk ash*) dan lateks (ASP0LA1 – ASP1LA1)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran aspal yang dimodifikasi dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lateks (ASP0LA1 – ASP1LA1) dilakukan menggunakan tiga benda uji untuk pengujian GMM (*Maximum Specific Gravity*).

Tabel 8. Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) dan Lateks (ASP0LA1 - ASP1LA1)

No.	BENDA UJI ASP0LA1-ASP1LA1												
	KODE BENDA UJI			ASP0LA1		ASP0LA2		ASP0LA3		ASP0LA4		ASP1LA1	
	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367
2	Berat Botol		Grm	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2,247	2,236	2,245	2,236	2,244	2,242	2,240	2,242	2,247	2,234
5	Berat botol + Air		Grm	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	355	344	353	344	352	350	348	350	355	342
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	245	256	247	256	248	250	252	250	245	258
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2.449	2.344	2.429	2.344	2.419	2.400	2.381	2.400	2.449	2.326
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2.449	2.344	2.429	2.344	2.419	2.400	2.381	2.400	2.449	2.326
	Rata - rata			2.396		2.386		2.410		2.390		2.387	

Sumber : Analisis Penulis

Berdasarkan data yang disajikan pada tabel 8, diperoleh hasil pemeriksaan berat jenis maksimum campuran (*Maximum Specific Gravity*) pada aspal modifikasi dengan bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lateks. Hasil pengujian menunjukkan nilai berat jenis maksimum campuran aspal modifikasi tersebut sebesar 2,410 gr / cc.

Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) Dan Lateks (ASP1LA2 – ASP2LA2)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran aspal yang dimodifikasi dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebesar 4%,6%,7% dan lateks sebesar 3% hingga 7% dilakukan dengan metode pengujian GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau yang dikenal sebagai pengujian berat jenis maksimum.

Tabel 9. Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam dan lateks Padi (*rice husk ash*) (ASP1LA2 – ASP2LA2)

No.	BENDA UJI ASP1LA2 -ASP2LA2												
	KODE BENDA UJI			ASP1LA2		ASP1LA3		ASP1LA4		ASP2LA1		ASP2LA2	
	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367
2	Berat Botol		Grm	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2,240	2,250	2,245	2,238	2,238	2,244	2,236	2,247	2,242	2,236
5	Berat botol + Air		Grm	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	348	358	353	346	346	352	344	355	350	344
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	252	242	247	254	254	248	256	245	250	256
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2.381	2.479	2.429	2.362	2.362	2.419	2.344	2.449	2.400	2.344
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2.381	2.479	2.429	2.362	2.362	2.419	2.344	2.449	2.400	2.344
Rata - rata Variasi				2.430		2.396		2.391		2.396		2.372	

Sumber : Analisis Penulis

Dari tabel 9 mendapatkan hasil pemeriksaan GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum dari aspal modifikasi campuran Abu Sekam (*rice husk ash*) 4%,6%,7% dan Lateks (3%,7%). Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 2,430 gr / cc.

Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam Padi (*rice husk ash*) Dan Lateks (ASP2LA3 – ASP3LA4)

Pemeriksaan berat jenis ada campuran aspal yang dimodifikasi dengan penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebesar 4%, 6%, dan 7% serta lateks sebesar 7% - 9%. Pengujian ini menggunakan tiga benda uji untuk setiap variasi dan dilakukan melalui pengujian *GMM* (*Maximum Specific Gravity*).

Tabel 10. Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam Padi (*rice husk ash*) Dan Lateks (ASP2LA3 – ASP3LA4)

	KODE BENDA UJI			ASP2LA3		ASP2LA4		ASP3LA1		ASP3LA2		ASP3LA3		ASP3LA4	
	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Gm	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367
2	Berat Botol		Gm	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767
3	Berat Contoh	(1-2)	Gm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air		Gm	2,231	2,235	2,244	2,238	2,239	2,250	2,246	2,243	2,248	2,240	2,245	2,238
5	Berat botol + Air		Gm	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892	1,892
6	Berat air	(4-5)	Gm	339	343	352	346	347	358	354	351	356	348	353	346
7	Volume contoh	(3-6)	Gm	261	257	248	254	253	242	246	249	244	252	247	254
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3-7)	Gm / cc	2,299	2,335	2,419	2,362	2,372	2,479	2,439	2,410	2,459	2,381	2,429	2,362
9	Temperatur air T °C		Gm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Gm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8x10)	Gm / cc	2,299	2,335	2,419	2,362	2,372	2,479	2,439	2,410	2,459	2,381	2,429	2,362
Rata-rata Variasi				2,317		2,391		2,425		2,424		2,420		2,396	

Sumber : Analisis Penulis

Berdasarkan data pada Tabel 10 diperoleh nilai berat jenis maksimum (GMM) campuran aspal modifikasi dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebesar 4%, 6%, 7% dan lateks sebesar 7% - 9%. Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 2,424 gr/cc.

Hasil Pemeriksaan *Marshall Test*

Setelah dilakukan perancangan komposisi campuran dan pembuatan benda uji sesuai dengan tahapan penelitian, diperoleh sebanyak 48 benda uji. Setiap benda uji kemudian ditimbang untuk memperoleh berat kering, berat setelah perendaman selama 24 jam, serta berat dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD). Proses perendaman dilakukan menggunakan *water bath* dengan suhu 60°C selama 30 menit sebelum pengujian dilaksanakan. Benda uji diuji menggunakan alat *Marshall* untuk memperoleh nilai stabilitas dan *flow*.

Tabel 11. Hasil Rata Rata Hasil Penelitian

No	Nama Sampel	Abu sekam padi	Lateks	VMA	VIM	VFB	STABILITAS	FLOW	MARSHAL
		spesifikasi		min 15%	3,0-5,0%	min 65%	min 800 kg	2,0-4,0	-
1	ASP0LA1	0%	0%	21.33	4.2	80.34	752.64	4.18	179.91
2	ASP0LA2	4%	0%	21.66	4.2	80.7	582.84	3.87	150.64
3	ASP0LA3	6%	0%	21.13	4.48	78.83	710.1	3.40	208.85
4	ASP0LA4	7%	0%	20.99	3.54	83.12	611.93	4.03	151.72
5	ASP1LA1	0%	3%	21.66	4.23	80.57	811.54	3.67	221.33
6	ASP1LA2	4%	3%	20.77	4.86	76.64	742.82	3.97	187.27
7	ASP1LA3	6%	3%	21.86	4.82	78.01	831.17	3.73	222.64
8	ASP1LA4	7%	3%	23.01	6.02	73.94	821.36	3.93	183.25
9	ASP2LA1	0%	7%	22.32	5.41	75.81	824.63	4.50	183.25
10	ASP2LA2	4%	7%	22.40	4.52	79.83	814.81	4.95	164.61
11	ASP2LA3	6%	7%	23.35	3.44	85.29	801.72	3.22	249.24
12	ASP2LA4	7%	7%	21.61	4.32	80.58	818.08	3.93	207.99
13	ASP3LA1	0%	9%	21.50	5.56	74.59	801.72	3.97	202.11
14	ASP3LA2	4%	9%	20.64	4.47	78.36	867.17	3.70	234.37
15	ASP3LA3	6%	9%	20.33	3.92	80.77	880.26	3.60	244.52
16	ASP3LA4	7%	9%	21.96	4.94	78.02	873.71	3.53	247.28

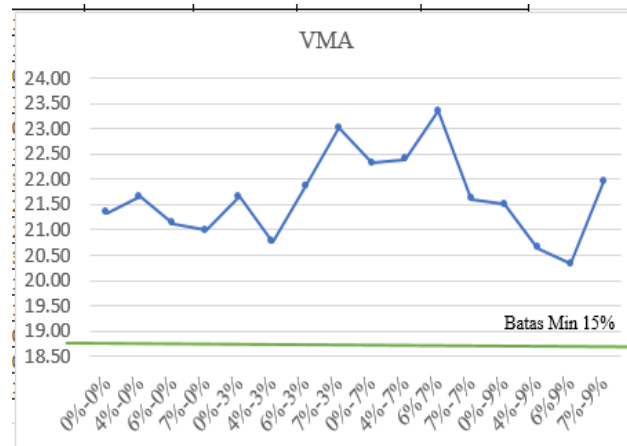
Sumber : Analisis Penulis

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil *Marshall Test*

Pengujian (modifikasi abu sekam padi & lateks)														
BJ Aspal (T) : 1.035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2.629			BJ Total Agg (Gsb) : 2.749			Kalibrasi Proving Ring : 9.817 Kg						
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dim air	berat ssd	volume/ isi	bj Bulk campuran	bj Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp.(vim)	% rongga tenisi aspal(vrb)	stabilitas dibaca arloji	di sesuaikan	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gsb	100 - (100 * g) h	100 (i,j) i					m / n
(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
ASPOLA1 (1)	5.8	1146.4	653.8	1151.0	497.2	2.306	2.396	20.99	3.78	81.98	80	785.36	5.15	152.50
ASPOLA1.2	5.8	1150.0	665.2	1168.4	503.2	2.285	2.396	21.69	4.63	78.64	65	638.11	3.40	187.68
ASPOLA1.3	5.8	1138.0	648.2	1143.8	495.6	2.296	2.396	21.32	4.18	80.39	85	834.45	4.00	208.61
Rata-rata	5.8					2.296	2.396	21.33	4.20	80.34	76.67	752.64	4.18	179.91
ASPOLA2.1	5.8	1208.0	696.0	1218.8	522.8	2.311	2.386	20.82	3.18	84.74	58	569.39	4.00	142.35
ASPOLA2.2	5.8	1148.0	650.6	1157.0	506.4	2.267	2.386	22.32	5.01	77.57	65	638.11	4.00	159.53
ASPOLA2.3	5.8	1147.0	648.2	1151.0	502.8	2.281	2.386	21.83	4.41	79.80	55	539.94	3.60	149.98
Rata-rata	5.8					2.286	2.386	21.66	4.20	80.70	59.33	582.48	3.87	150.64
ASPOLA3 (1)	5.8	1146.2	658.2	1154.0	495.8	2.312	2.410	20.78	4.06	80.46	70	687.19	4.00	171.80
ASPOLA3.2	5.8	1142.6	661.4	1156.4	495.0	2.308	2.410	20.90	4.21	79.87	75	736.28	3.00	245.43
ASPOLA3.3	5.8	1165.4	670.2	1180.2	510.0	2.285	2.410	21.70	5.17	76.17	72	706.82	3.20	220.88
Rata-rata	5.8					2.302	2.410	21.13	4.48	78.83	72.33	710.10	3.40	208.85
ASPOLA4.1	5.8	1172.0	674.2	1182.8	508.6	2.304	2.390	21.04	3.60	82.88	65	638.11	3.70	172.46
ASPOLA4.2	5.8	1163.0	660.2	1164.4	504.2	2.307	2.390	20.96	3.51	83.26	53	520.30	3.50	148.66
ASPOLA4.3	5.8	1174.4	671.2	1180.4	509.2	2.306	2.390	20.97	3.52	83.22	69	677.37	4.90	138.24
Rata-rata	5.8					2.306	2.390	20.99	3.54	83.12	62.33	611.93	4.03	151.72
ASPILA1.1	5.8	1141.8	653.2	1158.2	505.0	2.261	2.387	22.52	5.29	76.51	80	785.36	3.50	224.39
ASPILA1.2	5.8	1150.6	659.4	1162.4	503.0	2.287	2.387	21.62	4.18	80.66	85	834.45	3.50	238.41
ASPILA1.3	5.8	1173.2	679.4	1187.2	507.8	2.310	2.387	20.83	3.22	84.53	83	814.81	4.00	203.70
Rata-rata	5.8					2.286	2.387	21.66	4.23	80.57	82.67	811.54	3.67	221.33
ASPILA2.1	5.8	1159.4	663.2	1162.0	498.8	2.324	2.430	20.35	4.35	78.61	87	854.08	4.10	208.31
ASPILA2.2	5.8	1191.8	683.2	1200.0	516.8	2.306	2.430	20.98	5.10	75.67	75	736.28	4.00	184.07
ASPILA2.3	5.8	1145.6	660.2	1157.0	496.8	2.306	2.430	20.98	5.11	75.64	65	638.11	3.80	167.92
Rata-rata	5.8					2.312	2.430	20.77	4.86	76.64	75.67	742.82	3.97	187.27
ASPILA3.1	5.8	1175.0	672.2	1186.0	513.8	2.287	2.396	21.64	4.54	79.01	84	824.63	3.40	242.54
ASPILA3.2	5.8	1160.4	662.8	1176.0	513.2	2.261	2.396	22.52	5.62	75.06	83	814.81	4.00	203.70
ASPILA3.3	5.8	1140.4	660.4	1157.8	497.4	2.293	2.396	21.44	4.30	79.95	80	785.36	4.50	174.52
Rata-rata	5.8					2.280	2.396	21.86	4.82	78.01	82.33	808.27	3.97	203.76
ASPILA4.1	5.8	1160.6	654.0	1172.0	518.0	2.241	2.391	23.22	6.28	72.94	80	785.36	4.10	191.55
ASPILA4.2	5.8	1164.2	648.6	1172.6	524.0	2.222	2.391	23.87	7.07	70.38	84	824.63	3.50	235.61
ASPILA4.3	5.8	1150.4	657.4	1162.4	505.0	2.278	2.391	21.94	4.72	78.50	87	854.08	4.20	203.35
Rata-rata	5.8					2.247	2.391	23.01	6.02	73.94	83.67	821.36	3.93	208.82
ASP2LA1.1	5.8	1172.4	670.2	1184.0	513.8	2.282	2.396	21.81	4.78	78.08	85	834.45	5.60	149.01
ASP2LA1.2	5.8	1148.0	647.4	1155.2	507.8	2.261	2.396	22.53	5.66	74.88	82	804.99	3.90	206.41
ASP2LA1.3	5.8	1171.4	665.0	1183.8	518.8	2.258	2.396	22.63	5.78	74.47	85	834.45	4.00	208.61
Rata-rata	5.8					2.267	2.396	22.32	5.41	75.81	84.00	824.63	4.50	183.25
ASP2LA2.1	5.8	1153.4	654.4	1165.0	510.6	2.259	2.372	22.59	4.76	78.92	84	824.63	6.15	134.09
ASP2LA2.2	5.8	1143.2	656.0	1161.8	505.8	2.260	2.372	22.55	4.71	79.12	85	834.45	3.70	225.53
ASP2LA2.3	5.8	1140.2	652.4	1153.6	501.2	2.275	2.372	22.04	4.09	81.46	80	785.36	5.00	157.07
Rata-rata	5.8					2.265	2.372	22.40	4.52	79.83	85.00	814.81	4.95	164.61
ASP2LA3.1	5.8	1170.0	658.2	1185.4	527.2	2.219	2.317	23.95	4.21	82.44	80	785.36	3.00	261.79
ASP2LA3.2	5.8	1159.0	654.2	1170.2	516.0	2.246	2.317	23.03	3.05	86.77	84	824.63	3.15	261.79
ASP2LA3.3	5.8	1157.8	653.0	1168.6	515.6	2.246	2.317	23.05	3.07	86.67	81	795.18	3.50	227.19
Rata-rata	5.8					2.237	2.317	23.35	3.44	85.29	81.67	801.72	3.22	249.24
ASP2LA4.1	5.8	1160.0	670.0	1170.8	500.8	2.316	2.391	20.63	3.12	84.90	95	932.62	3.70	252.06
ASP2LA4.2	5.8	1153.0	647.8	1167.2	519.4	2.220	2.391	23.93	7.15	70.13	90	883.53	4.00	220.88
ASP2LA4.3	5.8	1170.2	680.6	1183.6	503.0	2.326	2.391	20.28	2.69	86.73	65	638.11	4.10	155.64
Rata-rata	5.8					2.288	2.391	21.61	4.32	80.58	83.33	818.08	3.93	207.99
ASP3LA1.1	5.8	1163.4	682.0	1179.0	497.0	2.341	2.425	19.79	3.49	82.37	90	883.53	4.15	212.90
ASP3LA1.2	5.8	1160.6	672.0	1178.0	506.0	2.294	2.425	21.40	5.43	74.62	85	834.45	4.50	185.43
ASP3LA1.3	5.8	1168.0	653.0	1175.0	522.0	2.238	2.425	23.33	7.75	66.79	70	687.19	3.25	211.44
Rata-rata	5.8					2.291	2.425	21.50	5.56	74.59	81.67	801.72	3.97	202.11
ASP3LA2.1	5.8	1180.6	680.0	1186.2	506.2	2.332	2.424	20.08	3.80	81.09	90	883.53	3.10	285.01
ASP3LA2.2	5.8	1168.6	670.0	1176.6	506.6	2.307	2.424	20.95	4.85	76.85	80	785.36	4.40	178.49
ASP3LA2.3	5.8	1165.8	668.0	1173.0	505.0	2.309	2.424	20.89	4.78	77.14	95	932.62	3.60	259.06
Rata-rata	5.8					2.316	2.424	20.64	4.47	78.36	88.33	867.17	3.70	234.37
ASP3LA3.1	5.8	1185.8	683.2	1191.8	508.6	2.331	2.420	20.11	3.66	81.81	86	844.26	4.10	205.92
ASP3LA3.2	5.8	1199.0	697.2	1209.4	512.2	2.341	2.420	19.78	3.27	83.48	100	981.70	3.20	306.78
ASP3LA3.3	5.8	1135.2	653.8	1146.8	493.0	2.303	2.420	21.10	4.85	77.01	83	814.81	3.50	232.80
Rata-rata	5.8					2.325	2.420	20.33	3.92	80.77	89.67	880.26	3.60	244.52
ASP3LA4.1	5.8	1174.8	683.2	1185.8	502.6	2.337	2.396	19.90	2.43	87.79	82	804.99	3.60	223.61
ASP3LA4.2	5.8	1176.0	660.2	1187.4	527.2	2.231	2.396	23.56	6.89	70.76	100	981.70	3.50	280.49
ASP3LA4.3	5.8	1150.2	653.8	1161.8	508.0	2.264	2.396	22.41	5.49	75.51	85	834.45	3.50	238.41
Rata-rata	5.8					2.277	2.396	21.96	4.94	78.02	89.00	873.71	3.53	247.28

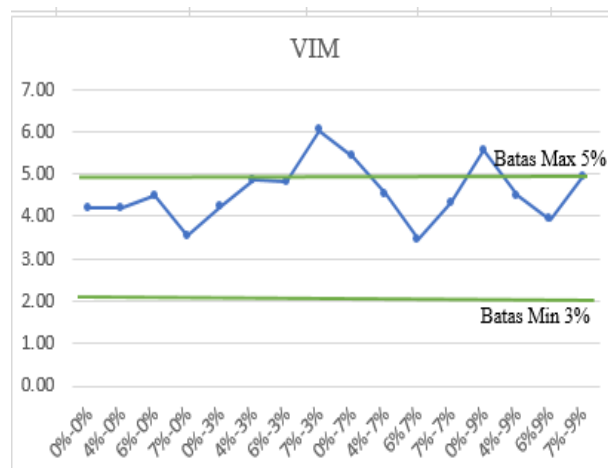
Sumber : Analisis Penulis

Berdasarkan Tabel 12 di atas, disajikan rekapitulasi seluruh data hasil pengujian dari berbagai variasi benda uji yang telah dilakukan. Data tersebut dirangkum dalam bentuk tabel dan dilengkapi dengan grafik, sehingga informasi yang ditampilkan menjadi lebih jelas, mudah dipahami, serta memudahkan proses analisis. Penyajian dan analisis data ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 sebagai pedoman dalam pengolahan hasil pengujian pada pekerjaan konstruksi jalan.



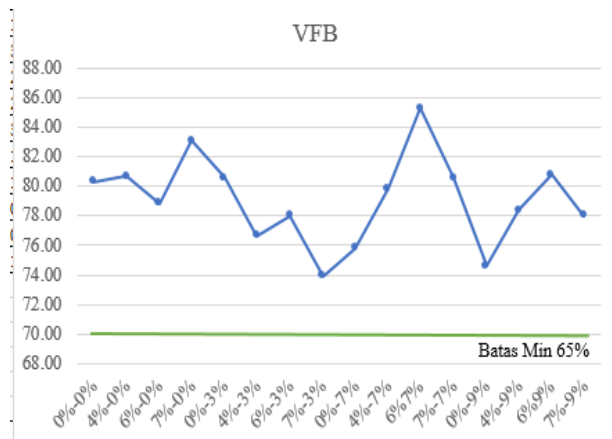
Gambar 1. Grafik Nilai Rekapitulasi Nilai VMA
Sumber : Analisis Penulis

Pada Gambar Grafik 1, nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) pada seluruh variasi campuran berada di atas batas minimum yang disyaratkan, yaitu sebesar 15%. Seluruh campuran telah memenuhi ketentuan spesifikasi yang berlaku. Nilai VMA terendah tercatat sebesar 20,33%, sedangkan nilai tertinggi mencapai 23,35%.



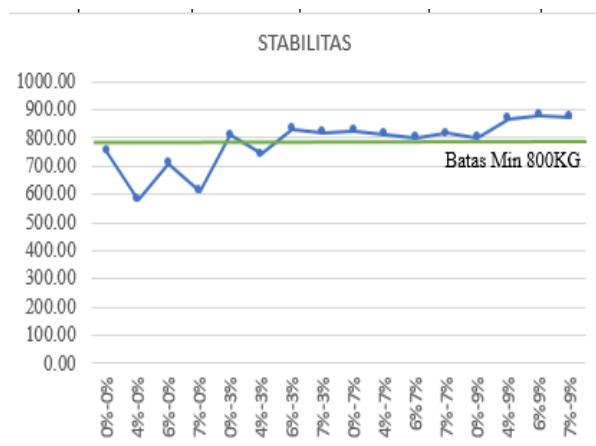
Gambar 2. Grafik Rekapitulasi Nilai VIM
Sumber : Analisis Penulis

Gambar Grafik 2 menampilkan rekapitulasi nilai *Void in Mix* (VIM) dari seluruh variasi campuran yang diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian campuran memiliki nilai VIM yang berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan sebesar 5%. Masih terdapat beberapa variasi campuran yang belum memenuhi ketentuan spesifikasi. Nilai VIM terendah tercatat sebesar 3,4% pada benda uji ASP3LA4, sedangkan nilai VIM tertinggi mencapai 6,02% yang juga terdapat pada benda uji ASP3LA4.



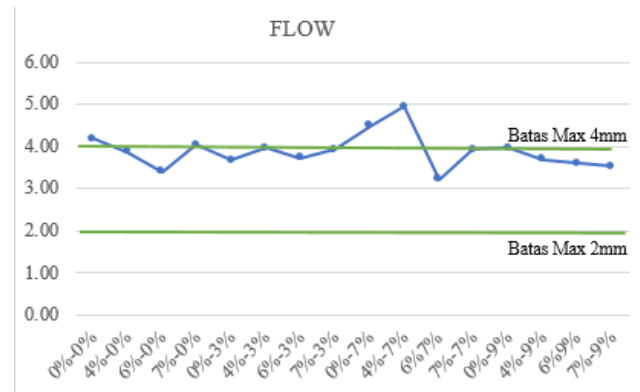
Gambar 3. Grafik Rekapitulasi Nilai VFB
Sumber : Analisis Penulis

Gambar Grafik 3 memperlihatkan rekapitulasi nilai *Void Filled with Bitumen* (VFB) untuk seluruh benda uji. Nilai VFB pada setiap variasi campuran menunjukkan kecenderungan berada dalam rentang yang relatif stabil, meskipun terdapat fluktuasi antar benda uji. Penyajian grafik ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat pengisian rongga oleh aspal pada masing-masing campuran sebagai salah satu indikator penting dalam mengevaluasi kualitas campuran aspal.



Gambar 4. Grafik Rekapitulasi Nilai Stabilitas
Sumber : Analisis Penulis

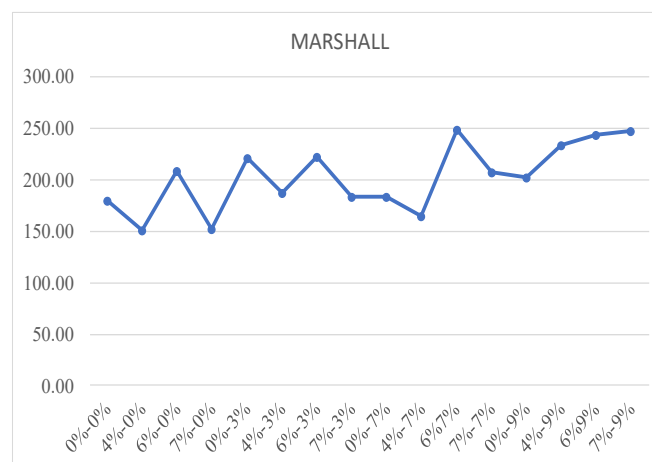
Gambar Grafik 4 menyajikan rekapitulasi nilai stabilitas dari seluruh variasi campuran yang diuji. Berdasarkan hasil pengujian, secara umum nilai stabilitas setiap campuran berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan, yaitu 800 kg. Meskipun demikian, masih terdapat beberapa variasi campuran yang belum memenuhi ketentuan tersebut, di antaranya ASP0LA1 dengan nilai stabilitas 752,64 kg, ASPLA3 sebesar 582,48 kg, ASP2LA3 sebesar 710,10 kg, ASP3LA1 sebesar 611,93 kg, serta ASP0LA3 dengan nilai 742,82 kg. Sementara itu, nilai stabilitas tertinggi tercatat pada benda uji ASP2LA1 dengan capaian sebesar 880,26 kg. Hasil ini menunjukkan adanya variasi kinerja stabilitas antar campuran, yang dipengaruhi oleh perbedaan komposisi material pada masing-masing benda uji.



Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Nilai Flow

Sumber : Analisis Penulis

Gambar Grafik 5 memperlihatkan rekapitulasi nilai kelelahan (*flow*) dari seluruh benda uji yang dianalisis. Berdasarkan ketentuan yang berlaku, nilai *flow* dipersyaratkan berada pada rentang minimum 2 mm dan maksimum 4 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar benda uji telah memenuhi batas tersebut. Terdapat tiga variasi benda uji yang berada di luar spesifikasi yang ditetapkan, yaitu ASP0LA3 dengan nilai *flow* sebesar 4,18 mm, ASP0LA4 sebesar 4,50 mm, serta ASP1LA1 yang mencapai 4,95 mm.



Gambar 6. Grafik Rekapitulasi Nilai Marshall

Sumber : Analisis Penulis

Grafik 6 memperlihatkan rekapitulasi nilai *Marshall Quotient* pada seluruh variasi campuran yang diuji. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semua campuran telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai *Marshall Quotient* terendah diperoleh pada benda uji ASP2LA1 sebesar 150,64 kg, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada benda uji ASP3LA1 dengan nilai 249,24 kg. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh campuran memiliki keseimbangan yang baik antara stabilitas dan kelelahan.

Pengaruh Penambahan Lateks dan Abu Sekam Padi terhadap Peningkatan Stabilitas dan Marshall Quotient Campuran AC-WC

Nilai stabilitas Marshall pada campuran AC-WC normal tanpa penambahan lateks dan abu sekam padi tercatat berada pada kisaran standar minimum Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 sebesar 550 kg untuk lapis aus, sedangkan variasi campuran dengan kombinasi bahan tambah menunjukkan kecenderungan peningkatan stabilitas hingga mencapai 831,17 kg pada komposisi 3% lateks dan 6% abu sekam padi. Nilai Marshall Quotient pada variasi optimum tersebut mencapai 222,33 kg/mm yang menunjukkan peningkatan kekakuan campuran dibandingkan campuran kontrol. Parameter ini diperoleh melalui pengujian berdasarkan SNI 06-2489-1991 tentang metode Marshall (Standar

Nasional Indonesia, 1991). Ketentuan evaluasi terhadap stabilitas dan MQ mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Perkerasan Aspal (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan lateks sebesar 3% mampu meningkatkan kohesi internal campuran sehingga daya tahan terhadap beban tekan maksimum meningkat secara signifikan. Peningkatan stabilitas ini sejalan dengan temuan Putri et al. (2023) yang menyatakan bahwa substitusi aspal dengan karet alam memperbaiki daya ikat dan meningkatkan ketahanan deformasi plastis pada AC-WC. Karakter elastomerik pada lateks berkontribusi terhadap kemampuan campuran dalam menyerap dan mendistribusikan tegangan berulang (Amal, 2011). Nilai stabilitas yang melampaui batas minimum menunjukkan bahwa campuran memenuhi persyaratan struktural lapis aus sesuai Direktorat Jenderal Bina Marga (2025).

Peran abu sekam padi sebagai filler alternatif tercermin pada peningkatan stabilitas ketika digunakan pada kadar 6%, di mana partikel halus berfungsi mengisi rongga mikro antar agregat sehingga interlocking menjadi lebih padat. Akbar dan Wesli (2012) melaporkan bahwa penggunaan abu sekam padi dalam AC-WC mampu meningkatkan stabilitas Marshall akibat efek pengisian pori dan peningkatan densitas campuran. Penelitian Intari et al. (2019) juga menunjukkan kecenderungan peningkatan stabilitas pada campuran AC-WC berbasis rice husk ash pada kadar optimum tertentu. Mekanisme pengisian mikrostruktur yang memperkecil rongga internal dapat dijelaskan melalui pendekatan pemodelan mikrostruktur material seperti yang dikemukakan Garboczi dan Bentz (1996).

Data penelitian memperlihatkan bahwa peningkatan kadar lateks hingga 7% dan 9% tidak selalu menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan variasi 3%, sehingga terdapat titik optimum yang mengontrol keseimbangan antara elastisitas dan kekakuan. Fenomena ini sejalan dengan hasil Ulfah (2023) yang menemukan bahwa penambahan karet pada kadar berlebih menurunkan kekakuan efektif campuran akibat peningkatan sifat plastis. Kurniawan et al. (2024) juga menegaskan bahwa aspal karet memiliki batas optimum sebelum terjadi penurunan stabilitas akibat dominasi sifat fleksibel. Tren tersebut menunjukkan bahwa hipotesis peningkatan stabilitas berlaku pada rentang kadar tertentu dan tidak bersifat linier tanpa batas.

Perbandingan antara variasi tanpa abu sekam padi dan variasi dengan 6% abu sekam padi pada kadar lateks 3% menunjukkan selisih stabilitas yang signifikan, yang memperkuat hipotesis bahwa kombinasi kedua bahan bekerja secara sinergis. Ridwan dan Nadia (2017) menyatakan bahwa abu sekam sebagai filler meningkatkan kekuatan campuran melalui peningkatan kepadatan dan distribusi tegangan. Akbar AR dan St Maryam (2024) menemukan bahwa abu jerami padi sebagai substitusi filler dalam AC-WC juga meningkatkan parameter Marshall secara konsisten pada kadar optimum. Peningkatan ini mencerminkan interaksi positif antara sifat elastomerik lateks dan sifat silika aktif pada abu sekam padi.

Marshall Quotient sebagai rasio antara stabilitas dan flow menunjukkan nilai tertinggi pada variasi 3% lateks dan 6% abu sekam padi, yang berarti campuran memiliki kekakuan yang cukup tanpa kehilangan fleksibilitas. Emha et al. (2016) menyebutkan bahwa MQ yang tinggi menandakan kemampuan campuran dalam menahan deformasi permanen. Irfansyah et al. (2017) menambahkan bahwa MQ menjadi indikator penting untuk mengevaluasi keseimbangan antara kekuatan dan kelenturan campuran aspal modifikasi. Nilai 222,33 kg/mm dalam penelitian ini menunjukkan bahwa campuran masih berada dalam rentang yang dapat diterima menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2025).

Kecenderungan peningkatan stabilitas dan MQ pada variasi optimum mendukung hipotesis bahwa kombinasi lateks dan abu sekam padi meningkatkan performa struktural AC-WC dibandingkan campuran konvensional. Roberts et al. (2002) menjelaskan bahwa modifikasi bahan pengikat dan filler merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk meningkatkan kinerja campuran aspal panas. Isnaini et al. (2019) menekankan bahwa perencanaan campuran yang tepat sangat menentukan umur layan perkerasan. Nilai stabilitas 831,17 kg dan MQ 222,33 kg/mm menunjukkan bahwa campuran dengan 3% lateks dan 6% abu sekam padi layak direkomendasikan sebagai komposisi optimum untuk meningkatkan kapasitas struktural lapis aus sesuai ketentuan teknis nasional.

Pengaruh Variasi Kadar Lateks dan Abu Sekam Padi terhadap Karakteristik Volumetrik (VIM, VMA, dan VFA) Campuran AC-WC

Nilai Void in Mix (VIM) pada campuran AC-WC normal berada dalam rentang spesifikasi 3–5% sebagaimana dipersyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 (Direktorat Jenderal

Bina Marga, 2025), sedangkan pada variasi penambahan lateks dan abu sekam padi terjadi perubahan proporsional terhadap kadar bahan tambah. Variasi dengan 3% lateks dan 6% abu sekam padi menunjukkan nilai VIM sebesar 4,12% yang masih berada dalam batas yang diizinkan. Nilai tersebut diperoleh melalui prosedur pengujian Marshall sesuai SNI 06-2489-1991 (Standar Nasional Indonesia, 1991). Kondisi ini menunjukkan bahwa campuran tetap memiliki ruang udara yang cukup untuk mengakomodasi ekspansi termal tanpa mengurangi stabilitas struktur.

Perubahan kadar lateks memengaruhi viskositas aspal sehingga berdampak pada distribusi rongga dalam campuran. Kadar lateks 3% menghasilkan penyebaran pengikat yang merata dan mampu menutup pori-pori mikro agregat tanpa menyebabkan bleeding. Putri et al. (2023) menjelaskan bahwa karet alam dalam campuran AC-WC meningkatkan elastisitas sekaligus memperbaiki adhesi antara agregat dan aspal. Amal (2011) juga mencatat bahwa penambahan getah karet dalam batas optimum menjaga keseimbangan antara rongga udara dan daya ikat campuran.

Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) pada variasi optimum tercatat sebesar 15,87%, memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan untuk lapis aus menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2025). VMA mencerminkan volume ruang antar agregat sebelum terisi aspal dan udara, sehingga menjadi indikator penting dalam desain campuran sebagaimana dijelaskan Roberts et al. (2002). Peningkatan VMA pada kadar abu sekam padi tertentu menunjukkan bahwa partikel halus berperan dalam memperbaiki gradasi dan distribusi agregat. Temuan ini sejalan dengan penelitian Magfirona et al. (2022) yang menyatakan bahwa rice husk ash sebagai filler mampu mengoptimalkan struktur internal campuran AC-WC.

Void Filled with Asphalt (VFA) pada campuran dengan 3% lateks dan 6% abu sekam padi mencapai 74,03%, yang menunjukkan proporsi rongga terisi aspal berada dalam rentang yang diizinkan. Nilai ini mencerminkan keseimbangan antara rongga udara dan kadar aspal efektif dalam campuran. Emha et al. (2016) menyebutkan bahwa VFA yang terlalu rendah menyebabkan campuran rentan terhadap retak, sedangkan nilai yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan deformasi plastis. Irfansyah et al. (2017) menegaskan pentingnya kontrol VFA untuk menjaga performa jangka panjang perkerasan.

Kadar abu sekam padi di atas 6% menunjukkan kecenderungan peningkatan VIM yang mendekati batas atas spesifikasi, yang menandakan adanya potensi penurunan kepadatan campuran akibat kelebihan filler halus. Akbar dan Wesli (2012) melaporkan bahwa abu sekam padi memiliki kandungan silika tinggi yang berperan sebagai filler aktif, namun penggunaannya perlu dikontrol agar tidak meningkatkan porositas berlebihan. Ridwan dan Nadia (2017) menemukan bahwa variasi filler abu sekam dalam kadar tinggi dapat mengganggu keseimbangan volumetrik campuran. Pola ini mengindikasikan adanya titik optimum pada kadar 6% yang memberikan konfigurasi rongga paling stabil.

Distribusi rongga mikro dalam campuran dapat dijelaskan melalui pendekatan mikrostruktur material yang dikemukakan Garboczi dan Bentz (1996), di mana interaksi antar partikel halus dan matriks pengikat menentukan transportasi fluida dan ketahanan deformasi. Kombinasi lateks dan abu sekam padi pada kadar optimum memperlihatkan struktur internal yang lebih kompak dan homogen. Intari et al. (2019) menunjukkan bahwa rice husk ash meningkatkan kepadatan campuran AC-WC melalui pengisian rongga mikro. Susilowati et al. (2021) menambahkan bahwa bahan tambah berbasis limbah dapat memperbaiki karakteristik volumetrik apabila proporsinya dirancang secara tepat.

Hubungan antara variasi kadar lateks dan abu sekam padi terhadap parameter VIM, VMA, dan VFA mendukung hipotesis bahwa kedua variabel memengaruhi keseimbangan volumetrik campuran AC-WC secara signifikan. Nilai VIM 4,12%, VMA 15,87%, dan VFA 74,03% pada komposisi 3% lateks dan 6% abu sekam padi menunjukkan konfigurasi yang memenuhi seluruh persyaratan teknis Direktorat Jenderal Bina Marga (2025). Temuan ini konsisten dengan konsep desain campuran beraspal yang menekankan keseimbangan antara kekuatan struktural dan durabilitas sebagaimana dijelaskan Roberts et al. (2002). Karakteristik volumetrik yang terkendali menjadi indikator bahwa variasi optimum tersebut berpotensi memberikan umur layan yang lebih panjang pada perkerasan jalan.

Pengaruh Kombinasi Lateks dan Abu Sekam Padi terhadap Nilai Flow dan Ketahanan Deformasi Permanen Campuran AC-WC

Nilai flow pada campuran AC-WC normal tercatat sebesar 3,80 mm dan masih berada dalam rentang spesifikasi 2–4 mm sebagaimana dipersyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025). Variasi dengan 3% lateks dan 6% abu sekam padi

menunjukkan nilai flow sebesar 3,74 mm yang menandakan deformasi plastis masih terkendali. Pengujian dilakukan berdasarkan prosedur Marshall sesuai SNI 06-2489-1991 (Standar Nasional Indonesia, 1991). Nilai tersebut memperlihatkan bahwa penambahan bahan modifikasi tidak menyebabkan kelelahan berlebihan pada campuran.

Kadar lateks berpengaruh terhadap elastisitas matriks pengikat sehingga memengaruhi besarnya deformasi saat beban maksimum tercapai. Variasi 3% lateks menghasilkan flow yang relatif stabil dibandingkan kadar 7% dan 9% yang menunjukkan kecenderungan peningkatan deformasi plastis. Putri et al. (2023) menjelaskan bahwa karet alam meningkatkan fleksibilitas campuran, namun pada kadar berlebih dapat menurunkan kekakuan struktural. Amal (2011) juga mengemukakan bahwa getah karet dalam batas optimum memperbaiki sifat lentur tanpa mengurangi kapasitas menahan beban.

Abu sekam padi sebagai filler aktif berperan dalam mengontrol nilai flow melalui peningkatan kepadatan struktur internal campuran. Variasi 6% abu sekam padi menunjukkan keseimbangan antara elastisitas lateks dan kekakuan agregat sehingga deformasi plastis tetap dalam batas aman. Akbar dan Wesli (2012) menyatakan bahwa abu sekam padi meningkatkan stabilitas dan membantu mengurangi potensi deformasi permanen akibat beban berulang. Intari et al. (2019) menemukan bahwa rice husk ash pada kadar optimum mampu memperbaiki ketahanan rutting pada campuran AC-WC.

Nilai flow yang meningkat pada kadar lateks 9% mencapai 4,12 mm dan mendekati batas maksimum spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2025), sehingga menunjukkan kecenderungan penurunan kekakuan campuran. Ulfah (2023) melaporkan bahwa penambahan karet remah dalam kadar tinggi meningkatkan fleksibilitas namun berisiko terhadap stabilitas bentuk permanen. Kurniawan et al. (2024) menegaskan bahwa keseimbangan antara elastisitas dan kekakuan menjadi faktor kunci dalam desain aspal karet. Pola tersebut menunjukkan bahwa kombinasi bahan harus dikendalikan untuk menghindari deformasi berlebih.

Ketahanan terhadap deformasi permanen tercermin dari hubungan antara stabilitas dan flow yang menghasilkan Marshall Quotient sebagai indikator kekakuan efektif. Variasi 3% lateks dan 6% abu sekam padi menunjukkan kombinasi stabilitas 831,17 kg dan flow 3,74 mm yang menghasilkan MQ 222,33 kg/mm. Emha et al. (2016) menjelaskan bahwa nilai MQ yang tinggi menunjukkan kemampuan campuran dalam menahan alur permanen akibat beban lalu lintas. Irfansyah et al. (2017) menambahkan bahwa MQ menjadi parameter penting dalam mengevaluasi potensi rutting pada perkerasan lentur.

Struktur mikro campuran yang lebih rapat akibat interaksi filler abu sekam dan matriks aspal termodifikasi lateks berkontribusi terhadap distribusi tegangan yang lebih merata. Garboczi dan Bentz (1996) menguraikan bahwa konfigurasi mikrostruktur material memengaruhi transportasi tegangan dan respons deformasi. Magfirona et al. (2022) menyatakan bahwa filler berbasis abu meningkatkan interlocking agregat dan memperkecil peluang deformasi permanen. Susilowati et al. (2021) juga menunjukkan bahwa bahan tambah alternatif dapat memperbaiki ketahanan deformasi apabila dirancang dalam komposisi yang tepat.

Hubungan antara variasi kadar lateks dan abu sekam padi terhadap nilai flow dan ketahanan deformasi permanen mendukung hipotesis bahwa kombinasi keduanya meningkatkan performa elastoplastis campuran AC-WC pada kadar optimum. Nilai flow 3,74 mm pada komposisi 3% lateks dan 6% abu sekam padi menunjukkan deformasi masih dalam batas aman sesuai Direktorat Jenderal Bina Marga (2025). Temuan ini konsisten dengan konsep desain campuran aspal panas yang menekankan keseimbangan antara fleksibilitas dan ketahanan rutting sebagaimana dijelaskan Roberts et al. (2002). Kombinasi tersebut memberikan indikasi bahwa campuran mampu menahan beban lalu lintas berulang tanpa mengalami perubahan bentuk permanen yang signifikan.

KESIMPULAN

Penambahan abu sekam padi dan lateks terbukti memengaruhi karakteristik Marshall pada campuran AC-WC. Penggunaan abu sekam padi hingga kadar 6% cenderung menurunkan nilai VIM dan VMA serta meningkatkan VFB, stabilitas, dan *Marshall Quotient*. Pada kadar 7%, beberapa parameter mulai menunjukkan penurunan kinerja karena jumlah *filler* yang berlebihan. Penambahan lateks juga meningkatkan performa campuran, di mana kadar 3% memberikan komposisi yang paling seimbang antara stabilitas, *flow*, dan parameter *volumetrik*. Kadar lateks 7% dan 9% mampu menaikkan stabilitas dan *Marshall Quotient*, tetapi menyebabkan campuran menjadi lebih kaku. Berdasarkan analisis parameter Marshall, campuran AC-WC terbaik diperoleh pada variasi lateks 3% dan abu sekam padi 6%. Hasil pengujian memenuhi spesifikasi Bina Marga 2025 yang dapat dilihat pada Tabel 4.26

hasil Marshall VIM (4,82%), VMA (21,63%), VFB (78,01%), Stabilitas (831,17kg), Flow (3,73mm), dan hasil bagi Marshall (222,33kg/mm). Variasi ini direkomendasikan sebagai campuran terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, K., & Agusmaniza, R. (2022). Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Menggunakan 4% Getah Damar Sebagai Pengganti Aspal. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 161-173. <https://doi.org/10.31849/siklus.v8i2.10758>.
- Akbar AR, M. A., & St Maryam, H. (2024). Studi Pemanfaatan Abu Jerami Padi sebagai Bahan Substitusi pada Aspal Beton AC-WC. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 6(2), 184-194. <https://doi.org/10.33096/kt6xtk92>.
- Akbar, S. J., & Wesli, W. (2012). Stabilitas lapis aspal beton AC-WC menggunakan abu sekam padi. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 2(4). <https://doi.org/10.29103/tj.v2i4.57>.
- Amal, A. S. (2011). Pemanfaatan getah karet pada aspal Ac 60/70 terhadap stabilitas Marshall pada Asphalt Treated Base (ATB). *Jurnal Media Teknik Sipil*, 9(1). <https://doi.org/10.22219/jmts.v9i1.1111>.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2006). *Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga No. 001-05/BM/2006 tentang penggunaan Asbuton*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). *Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Perkerasan Aspal*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Emha, F. A., Setyawan, A., & Surjandari, N. S. (2016). Evaluasi karakteristik marshall pada campuran aspal dengan damar aspal (daspal) sebagai bahan pengikat. *Matriks Teknik Sipil*, 4(3). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v4i3.37078>.
- Garboczi, E. J., & Bentz, D. P. (1996). Modelling of the microstructure and transport properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 10(5), 293-300. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(94\)00019-0](https://doi.org/10.1016/0950-0618(94)00019-0).
- Intari, D. E., Fathonah, W., & Saputro, B. (2019). Performance of asphalt concrete mixture (AC-WC) using asphalt added with the waste of rice husk ash. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 673, No. 1, p. 012037). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/673/1/012037>.
- Irfansyah, P. A., Setyawan, A., & Djumari, D. (2017). Karakteristik marshall pada campuran aspal beton menggunakan daspal sebagai bahan pengikat. *Matriks Teknik Sipil*, 5(3). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i3.36724>.
- Isnaini, A. Y., Suparma, L. B., & Utomo, S. H. T. (2019). Perancangan Perkerasan Jalan Lingkar Kota Kabupaten Wonogiri. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 5(2), 119-128. <https://doi.org/10.26593/jh.v5i2.3372.119-128>.
- Kurniawan, S., Hadijah, I., & Yani, R. P. (2024). Pengaruh Aspal Karet Pada Campuran Ac-Wc Menggunakan Filler Abu Batu Marmer Dengan Metode Marshall. *Tapak (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 14(1), 11-22. <http://dx.doi.org/10.24127/tp.v14i1.3831>.
- Magfirona, A., Billad, R. S., Wibowo, G. D., & Amar, T. I. B. K. (2022). Influence of Fly Ash, Volcanic Ash and Rice Husk Ash as Filler Asphalt Concrete Wearing Course Based on Marshall Characteristics. In *International Conference on Emerging Smart Cities* (pp. 29-39). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1111-0_3.
- Munandar, H., & Yunus, A. Y. (2025). Pengaruh Penambahan Karet Alam (Lateks) Pada Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (Cphma) Dengan Variasi Perendaman. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 3(3), 390-397. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v3i3.3316>.
- Putra, M. T., Destania, H. R., & Febryandi, F. (2023). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Aspal Modifikasi pada Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan Penambahan Serbuk Ban Kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 335-350. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5580>.
- Putri, A., Carlo, N., Hasan, M. W., & Rita, E. (2023). Pengaruh Karet Alam (Lateks) Sebagai Substitusi Aspal Pada Campuran Laston Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Rekayasa*, 13(2), 145-153.
- Rahmawati, E., Maricar, M. H., & Salim, S. (2025). Analisis Pengaruh Penggunaan Semen Portland sebagai Filler pada Campuran AC-WC Terhadap Sifat-Sifat Mekanik dan Durabilitas. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 7(1), 12-22. <https://doi.org/10.33096/7cyk3k61>.

- Ridwan, F. S., & Nadia, N. (2017). Analisis Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton. *Konstruksia*, 8(2), 1-8. <https://doi.org/10.24853/jk.8.2.1-8>.
- Roberts, F. L., Mohammad, L. N., & Wang, L. B. (2002). History of hot mix asphalt mixture design in the United States. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14(4), 279-293. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2002\)14:4\(279\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:4(279)).
- Standar Nasional Indonesia. (1991). *SNI 06-2489-1991: Metode pengujian Marshall*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Susilowati, A., Wiyono, E., & Pratikto, P. (2021). Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal Campuran Panas. *Bangun Rekaprima*, 7(2), 15-23. <https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v7i2.2993>.
- Sutama, A., Septriasyah, V., & Irawan, T. (2025). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Material Substitusi Sebagian Semen Terhadap Workabilitas, Densitas, dan Kekuatan Tekan Beton. *Jurnal Deformasi*, 10(1), 99-109. <https://doi.org/10.31851/1mvr625>.
- Ulfah, L. (2023). Pengaruh Karet Remah Terhadap Stabilitas Campuran Beraspal Laston AC-WC Menggunakan Metode Dry Mix. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 12(1), 9-18. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v12i1.207>.