

Karakteristik Marshall Campuran AC–WC yang Menggunakan Abu Tempurung Kelapa dan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Filler

Rio Syaenanda Putra ¹⁾; Ramadhani ²⁾; Hardayani Haruno ³⁾

^{1,2,3)}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA

Email: ¹⁾ putrario773@gmail.com ; ²⁾ enny72.ramadhani@gmail.com ; ³⁾ yeniharuno@gmail.com

ARTICLE HISTORY

Received [14 Agustus 2025]

Revised [29 September 2025]

Accepted [03 Oktober 2025]

KEYWORDS

Characteristics Of Marshall,
Asphalt, Palm Shell Ash And
Coconut Shell Ash.

This is an open access
article under the [CC-BY-SA](#)
license



ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan limbah abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai pengganti filler pada campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC). Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk mencari hasil dari penggunaan bahan tambah filler abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai bahan pengisi dalam lapisan Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC). Penelitian ini dilakukan melalui uji Marshall untuk mengetahui nilai kestabilan dan aliran (meleleh) sampel uji. Sifat Marshall mengacu pada beban maksimum yang dapat ditahan campuran aspal, bahkan pada titik lelehnya. Laju aliran dinyatakan dalam kilogram. Parameter Marshall antara lain VIM (Void in Mix), kumpulan data terkait penelitian berupa referensi dan peralatan pendukung untuk mempelajari campuran lapis aspal hingga mempelajari pengaruh perubahan suhu. Penelitian uji Marshall kemudian dilanjutkan dengan mengumpulkan informasi tentang bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan laboratorium yang digunakan dalam benda uji. VFA (Void Filled With Asphalt), VMA (Void In Mineral Aggregate), Stabilitas, Flow dan Nilai Marshall Quotien (MQ).

ABSTRACT

This research discusses the utilization of palm kernel shell ash and coconut shell ash as filler substitutes in Asphalt Concrete - Wearing Course (AC - WC) mixtures. This research uses a laboratory test method, which is to find the results of using palm kernel shell ash and coconut shell ash as filler additives in the Asphalt Concrete - Wearing Course (AC - WC) layer. This research was conducted through the Marshall test to determine the stability and flow (melt) values of the test samples. Marshall properties refer to the maximum load that an asphalt mixture can withstand, even at its melting point. The flow rate is expressed in kilograms. Marshall parameters include VIM (Void in Mix), research-related data collection in the form of references and supporting equipment to study asphalt pavement mixtures to study the effect of temperature changes. The Marshall test research was then continued by collecting information about the materials used in the laboratory experiments used in the test specimens. VFA (Void Filled With Asphalt), VMA (Void In Mineral Aggregate), Stability, Flow and Marshall Quotien (MQ) values.

PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu infrastruktur vital dalam sistem transportasi lokal, yang berperan penting dalam menghubungkan berbagai wilayah guna menunjang pemenuhan kebutuhan masyarakat. Keberadaan jalan dengan kuantitas dan kualitas yang memadai menjadi elemen pendukung utama dalam percepatan pembangunan daerah. Oleh karena itu, perencanaan jalan harus dilakukan secara komprehensif agar mampu menyediakan aksesibilitas yang optimal serta menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna (Rahmatika et al., 2024).

Berdasarkan jenisnya, perkerasan jalan terdiri atas perkerasan kaku, perkerasan lentur, dan perkerasan komposit (Pasaribu & Simanullang, 2021). Salah satu jenis perkerasan lentur yang umum digunakan adalah beton aspal atau Asphalt Concrete (AC), yang terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal. Tipe-tipe beton aspal yang umum diterapkan meliputi AC-Base (lapis pondasi), AC-BC (lapis pengikat), dan AC-WC (lapis aus) (Suryanto, 2020).

Penggunaan abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai substitusi filler dalam campuran AC-WC berpotensi memberikan kontribusi positif terhadap kualitas perkerasan (Handoko et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut untuk mengkaji secara komprehensif efektivitas material ini dalam aplikasinya sebagai bagian dari perkerasan jalan.

LANDASAN TEORI

Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat utama antara agregat dalam campuran beraspal (Nadhifah & Susanti, 2024). Hal ini menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi konstruksi perkerasan jalan yang membutuhkan fleksibilitas selama proses pelapisan dan pemadatan (Dairi & Pratama, 2024). Aspal memiliki beberapa sifat penting yang menentukan performanya dalam campuran perkerasan jalan, yaitu:

Sifat reologi (rheological properties):

Aspal menunjukkan perilaku viskoelastis, yaitu gabungan antara sifat elastis (kembali ke bentuk semula setelah diberi beban) dan plastis (mengalami deformasi permanen) (Putra, 2023). Jika beban diberikan secara cepat, seperti saat kendaraan melaju, aspal akan merespons secara elastis dan menahan beban tanpa deformasi permanen (Senduk et al., 2025).

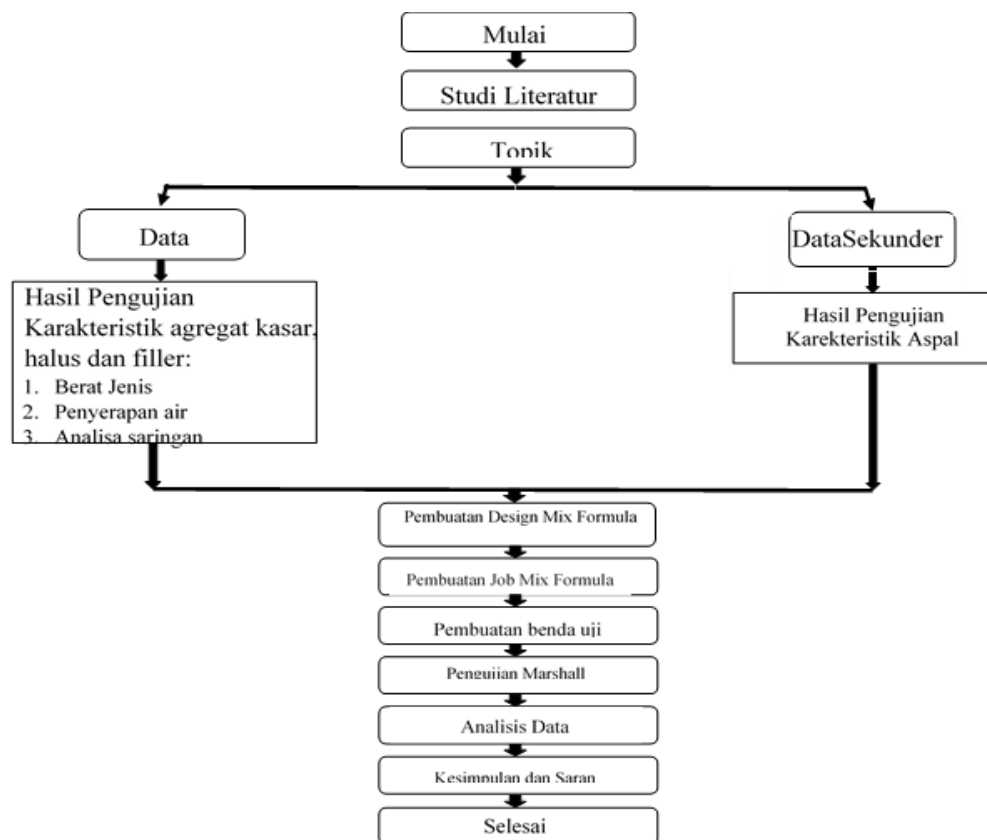
Sifat termoplastik

Pada suhu rendah, aspal menjadi lebih kental dan keras, yang dapat meningkatkan kekakuan campuran. Sifat ini sangat penting dalam proses produksi dan pelapisan campuran aspal panas (*hot mix asphalt*) (Sulandari et al., 2024). Pemanasan yang berlebihan harus dihindari karena dapat menyebabkan dekomposisi komponen kimia aspal, menghasilkan struktur molekul yang lebih rapuh dan mengurangi fleksibilitas aspal. (Sugiarto et al., 2016).

Sifat thixotropy

Thixotropy adalah sifat material menjadi lebih kaku atau mengeras seiring waktu ketika mengalami tegangan atau deformasi yang konstan. (Rukmananda et al., 2018). Sifat ini juga berkaitan dengan kemampuan campuran beraspal dalam mengatasi deformasi jangka panjang, seperti penurunan struktur perkerasan atau deformasi plastis akibat suhu tinggi (Utami et al., 2021).

METODE PENELITIAN



Gambar 1 Metode

Analisa Data

Analisa data yang dilakukan untuk penggunaan abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai pengganti filler dalam campuran AC-WC. Analisis yang dilakukan dapat berupa :

1. Perhitungan besaran nilai VIM, VMA, VFA
2. Melakukan perhitungan MQ (Marshall Quotient)
3. Menganalisis hasil stabilitas dan flow dari pengujian marshall
4. Menganalisis Karakteristik Marshall dengan menggunakan trend grafik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pada bagian ini dibahas hasil pengujian laboratorium yang terdiri dari pengukuran sifat bahan yang digunakan dan analisa penggunaan abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa pada campuran AC-WC dengan metode Marshall.

Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Hasil Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	
			Batu Pecah	Screen 1-1
1	Berat Jenis curah/kering	SNI 1969:2016	2.54	2.52
2	Berat Jenis kering permukaan (SSD)	SNI 1969:2016	2.59	2.56
3	Berat jenis semu (apparent)	SNI 1969:2016	2.66	2.63
4	Penyerapan air (%)	SNI 1969:2016	1.70	1.63

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Hasil Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	
			Pasir Sungai	Abu Batu
1	Berat Jenis curah/kering	SNI 1970:2008	2.26	2.46
2	Berat Jenis kering permukaan (SSD)	SNI 1970:2008	2.35	2.51
3	Berat jenis semu (apparent)	SNI 1970:2008	2.48	2.60
4	Penyerapan air (%)	SNI 1970:2008	4.06	2.25
5	Material lolos ayakan No. 200 (%)	SNI 03-4142:1996	4.40	5.00

Hasil Pengujian Analisa Saringan

Berdasarkan hasil pengujian Analisa saringan untuk masing-masing agregat ditunjukkan pada tabel 4.3. data yang diperoleh yaitu berupa berat tertahan saringan dimana akan dihitung terhadap persen berat yang lolos saringan, selanjutnya juga dihitung persentase lolos kumulatif setiap saringan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat

No. Saringan	Ukuran (mm)	Lolos Kumulatif (%)			
		Batu Pecah	Screen 1-1	Pasir Sungai	Abu Batu
1/2"	12.5	100.00	98.3	100.00	100.00
3/8"	9.5	46.5	83.1	100.00	100.00
No.4	4.75	9.3	24.9	100.00	98.5
No.8	2.36	0.5	1.9	98.88	83.3
No.16	1.18	0	0	94.1	47.3
No.30	0.6	0	0	70.2	27.3
No.50	0.3	0	0	6.72	14.6
No.100	0.15	0	0	4.38	11.6
No.200	0.075	0	0	1.72	5.3
Pan	-	0.00	0.00	0	0.00

Hasil Pengujian Berat Jenis ACS dan ATK

Metode dalam pengujian berat jenis ACS dan ATK menggunakan metode SNI 1964-2008 dimana hasilnya adalah ACS sebesar 1.239 dan ATK sebesar 0.799, yang artinya berat jenis ATK ini lebih ringan dari pada berat jenis ACS.

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Cangkang Sawit (ACS)

Keterangan	Notasi	Pengujian 1	Pengujian 2
Berat pikno + sampel	W2	34.2	55.7
Berat pikno	W1	24.5	45.2
Berat sampel	$Wt = W2 - W1$	9.7	10.5
Berat pikno+air+sampel	W3	125.8	148.8
Berat pikno+air	W4	123.9	146.8
	$W5 = Wt + W4$	133.6	157.3
Isi sampel	$W5 - W3$	7.8	8.5
Berat jenis	$Wt / (Wt + W4 - W3)$	1.244	1.235
Rata-Rata Berat Jenis		1.239	

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Tempurung Kelapa (ATK)

Keterangan	Notasi	Pengujian 1	Pengujian 2
Berat pikno + sampel	W2	29.4	50.2
Berat pikno	W1	24.5	45.2
Berat sampel	$Wt = W2 - W1$	4.9	5
Berat pikno+air+sampel	W3	122.8	145.4
Berat pikno+air	W4	123.9	146.8
	$W5 = Wt + W4$	128.8	151.8
Isi sampel	$W5 - W3$	6	6.4
Berat jenis	$Wt / (Wt + W4 - W3)$	0.817	0.781
Rata-Rata Berat Jenis		0.799	

Hasil Pengujian Aspal

Pengujian aspal yang dilakukan hanya 2 pengujian saja yaitu penetrasi aspal dan berat jenis aspal dimana pengujian yang lainnya tidak dilakukan karena keterbatasan alat. Pengujian penetrasi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal yang digunakan sedangkan pengujian berat jenis dilakukan untuk membantu dalam perhitungan analisis Marshall.

Tabel 6. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Pengamatan	Sampel yang di uji (satuan 0,1 mm)	
	Uji 1	Uji 2
1	61	60
2	62	57
3	58	62
4	63	64
5	59	61
Rata-rata	60.6	60.8
	60.7	

Tabel 6. merupakan hasil pengujian penetrasi aspal yang digunakan dimana mengacu pada SNI 2456:2011. Pengujian dilakukan sebanyak 3 sampel dimana untuk 1 sampel dilakukan pengujian sebanyak 5 kali. Untuk hasil penetrasi aspal yang digunakan diperoleh hasil rata-rata sebesar 60,7.

Tabel 7. hasil pengujian berat jenis aspal yang mengacu pada SNI 24541:2011

Pengujian	Notasi	Hasil Pengujian	
		Uji 1	Uji 2
Massa piknometer + aspal	C	45.2	45.6
Massa piknometer kosong	A	33.2	33.2
Massa aspal	$C - A$	12	12.4

Massa piknometer + air	B	61.1	61.1
Massa piknometer kosong	A	33.2	33.2
Massa air	B – A	27.9	27.9
Massa piknometer + aspal + air	D	61.5	61.9
Massa piknometer + aspal	C	45.2	45.6
Massa air	D – C	16.3	16.3
Selisih massa air	(B - A) – (D - C)	11.6	11.6
Berat jenis	$\frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$	1.034	1.069
	Rata-rata	1.038	
Berat isi = berat jenis x W_T	W_T pada 25°C = 997.0 kg/m ³	1031.38 kg/m ³	1065.76 kg/m ³
Rata – rata Berat Jenis Aspal	1.052		
Rata – rata Berat Isi Aspal	1048.57 kg/ m ³		

Tabel 7. merupakan hasil pengujian berat jenis aspal yang mengacu pada SNI 24541:2011 dimana hasil pengujian dilakukan sebanyak 3 sampel dengan hasil rata-rata sebesar 1,052

Perancangan Campuran AC – WC

Penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb)

Penentuan kadar aspal rencana dilakukan untuk menentukan proporsi kadar aspal yang akan digunakan untuk menentukan kadar optimum aspal dari hasil pengujian Marshall. Dimana ditunjukkan dengan rumus.

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$$

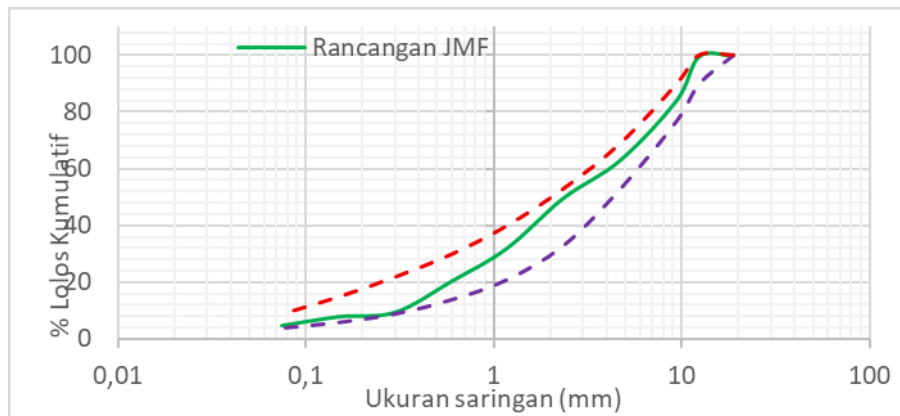
Tabel 8. Hasil perhitungan batas kadar aspal rencana

No. Ayakan	Batas Bawah AC-WC	Selisih Batas Bawah	Hasil Perhitungan Batas Bawah		Batas Atas AC-WC	Selisih Batas Atas	Hasil Perhitungan Batas Atas	
3/4"	100	0	CA	47	100	0	CA	31
1/2"	90	10			100	0		
3/8"	77	13			90	10		
No.4	53	24			69	21		
No.8	33	20	FA	49	53	16	FA	60
No.16	21	12			40	13		
No.30	14	7			30	10		
No.50	9	5			22	8		
No. 100	6	3			15	7		
No. 200	4	2			9	6		
Pan		4	FF	4		9	FF	9
			K	1			K	1
			Pb Minimal	5,57			Pb Maksimal	6,41
					Pb Tengah	5,99		

Tabel.8. menunjukkan penguraian cara penentuan kadar aspal rencana untuk campuran lapis aus (AC-WC) dimana batas atas dan bawah. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai Pb minimal sebesar 5,57% dan nilai Pb maksimal sebesar 6,41% sehingga untuk nilai Pb tengah sebesar 5,99% atau dibulatkan menjadi 6%.

Perancangan Job Mix Formula (JMF)

Campuran ini menggunakan penggabungan material antara lain batu pecah, screen 1-1, pasir, abu batu dan filler abu batu. Pada masing-masing material memiliki komposisi tertentu yang diperoleh dari hasil perhitungan analitis matematika dengan syarat batas gradasi AC-WC. Berdasarkan hasil analisis matematis diperoleh bahwa komposisi batu pecah sebesar 25%, screen 1-1 sebesar 18%, pasir sebesar 8%, abu batu sebesar 47% dan filler abu batu sebesar 2% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7., dimana sumber JMF ini berdasarkan peneliti sebelumnya Krisna, dkk (2024).



Gambar 2. Hasil JMF Campuran AC-WC

Tabel 9. Gradasi AC-WC

Ukuran Ayakan		Gradasi Asli (%) Lolos					
		Batu Pecah	Screen 1-1	Pasir	Abu Batu	Filler Semen	Gradasi AC WC
1/2"	12,5	100.00	98.3	100.00	100.00	100,00	95,00
3/8"	9,5	46.5	83.1	100.00	100.00	100,00	83,50
No.4	4,75	9.3	24.9	100.00	98.5	100,00	61,00
No.8	2,36	0.5	1.9	98.88	83.3	100,00	43,00
No.16	1,18	0	0	94.1	47.3	100,00	30,50
No.30	0,6	0	0	70.2	27.3	100,00	22,00
No.50	0,3	0	0	6.72	14.6	100,00	15,50
No. 100	0,15	0	0	4.38	11.6	100,00	10,50
No. 200	0,075	0	0	1.72	5.3	100,00	7,00

Tabel 10. Hasil Perhitungan JMF Campuran AC-WC yang diusulkan

Ayakan		% Berat Tertahan				
		Batu Pecah	Screen 1-1	Pasir	Abu batu	Filler Semen
No.	Ukuran (mm)	25%	18%	8%	47%	2%
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.5	0.00	3.12	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.5	151.41	32.50	0.00	0.00	0.00
No.4	4.75	117.93	125.83	0.00	8.39	0.00
No.8	2.36	24.30	50.65	0.83	83.89	0.00
No.16	1.18	2.03	1.65	5.65	201.33	0.00
No.30	0.6	0.61	0.00	25.22	111.85	0.00
No.50	0.3	0.61	0.00	58.69	71.02	0.00
No. 100	0.15	0.00	0.00	1.97	16.78	0.00
No. 200	0.075	0.00	0.00	1.57	35.23	0.00
Pan	< 0.075	0.00	0.00	1.06	29.64	23.75
Total		296.88	213.75	95.00	558.13	23.75

Hasil Pengujian Marshall Sampel Normal

Hasil Pengujian *Marshall* sampel Murni 50% bahwa nilai parameter VMA, VIM dan VFA tidak masuk dalam batas spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut tidak memenuhi nilai spesifikasi Bina Marga, Untuk hasil kadar aspal 6% dan 6.50% diperoleh bahwa semua parameter masuk dalam spesifikasi, dan untuk kadar aspal 7% diperoleh bahwa nilai parameter VIM tidak masuk dalam spesifikasi,

Tabel 11. Hasil Rata-Rata Pengujian Marshall Sampel Normal

No.	Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi/ Batas
			5%	5.50%	6%	6.50%	7%	
1	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	14.60	15.27	15.32	15.26	15.62	Min 15
2	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	6.23	5.84	4.78	3.58	2.83	3.0 - 5.0
3	Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	58.57	62.06	70.05	77.51	82.01	Min 65
4	Stabilitas	kg	1726.07	1766.45	2185.35	2205.54	2281.24	800
5	Flow	mm	1.17	1.17	2.27	2.67	3.30	2.0 - 4.0
6	Marshall Quotient (MQ)	kg/mm	1479.49	1514.10	964.13	827.08	691.29	-

Hasil Pengujian Marshall Sampel ACS 50%

Hasil Pengujian Marshall ACS 50% bahwa nilai parameter VMA,VIM dan VFA tidak masuk dalam spesifikasi, Untuk hasil kadar aspal 6% dan 6,50% bahwa semua parameter masuk dalam spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut dapat masuk batas spesifikasi, dan untuk hasil kadar aspal 7% diperoleh bahwa nilai parameter Flow tidak masuk dalam spesifikasi.

Tabel 12 Hasil Rata-Rata Pengujian Marshall Sampel ACS 50%

No	Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi/ Batas
			5%	5.50%	6%	6.50%	7%	
1	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	14.45	14.88	15.29	16.23	16.91	Min 15
2	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	6.20	5.57	4.90	4.84	4.51	3.0 - 5.0
3	Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	59.82	63.20	68.66	70.16	74.27	Min 65
4	Stabilitas	kg	1726.07	1832.06	1842.16	1705.89	1821.97	800
5	Flow	mm	2.30	2.70	3.00	3.57	4.37	2.0 - 4.0
6	Marshall Quotient (MQ)	kg/mm	750.47	678.54	614.05	390.66	510.83	-

Hasil Pengujian Marshall Sampel ATK 50%

Hasil Pengujian Marshall untuk sampel ATK 50% dapat dilihat bahwa VIM dan VFA tidak masuk dalam spesifikasi. Untuk hasil kadar aspal 6,50% dan 7% diperoleh bahwa semua parameter masuk dalam batas spesifikasi. Untuk hasil kadar aspal 6% diperoleh bahwa parameter Flow tidak masuk dalam spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut tidak memenuhi spesifikasi untuk sampel ATK 50%.

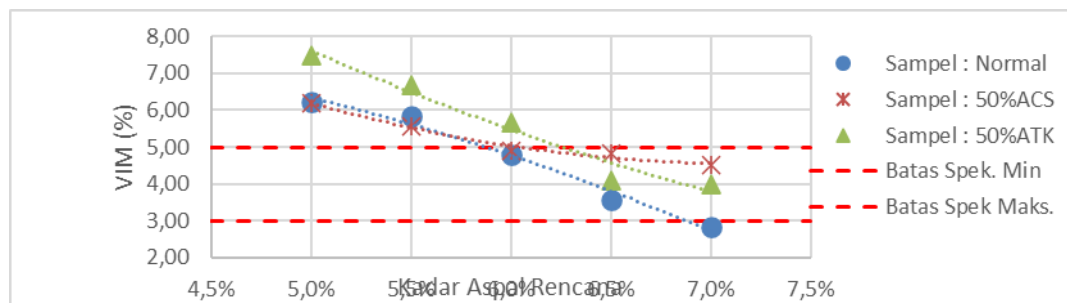
Tabel 13. Hasil Rata-Rata Pengujian Marshall Sampel ATK 50%

No.	Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi/ Batas
			5%	5.50%	6%	6.50%	7%	
1	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	15.55	15.81	15.89	15.46	16.35	Min 15
2	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	7.48	6.69	5.68	4.09	4.00	3.0 - 5.0
3	Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	54.29	61.29	64.71	73.75	76.01	Min 65
4	Stabilitas	kg	1372.7	1100.2	1231.4	1428.3	1620.0	800

			8	5	7	0	9	
5	Flow	mm	2.07	2.30	1.97	2.77	2.30	2.0 - 4.0
6	Marshall Quotient (MQ)	kg/mm	664.25	478.37	626.17	516.25	704.39	-

Hasil Karakteristik *Marshall* Antar Sampel Parameter VIM

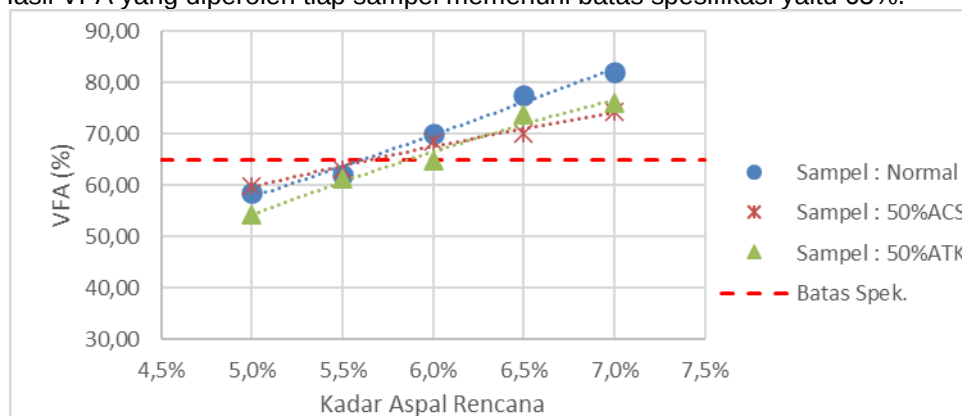
VIM menunjukkan nilai tertinggi VIM berada pada sampel Normal, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 5,0%. Untuk nilai VIM terendah berada pada sampel Normal dengan kadar aspal 7,0%. Hasil VIM yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi yaitu 3%-5%



Gambar 3. Grafik Karakteristik *Marshall* VIM

Parameter VFA

VFA menunjukkan nilai tertinggi VFA berada pada sampel Murni 50%, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 7,0%. Untuk nilai VFA terendah berada pada sampel ATK 50% dengan kadar aspal 5,0%. Hasil VFA yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi yaitu 65%.



Gambar 4. Grafik Karakteristik *Marshall* VFA.

Parameter Stabilitas

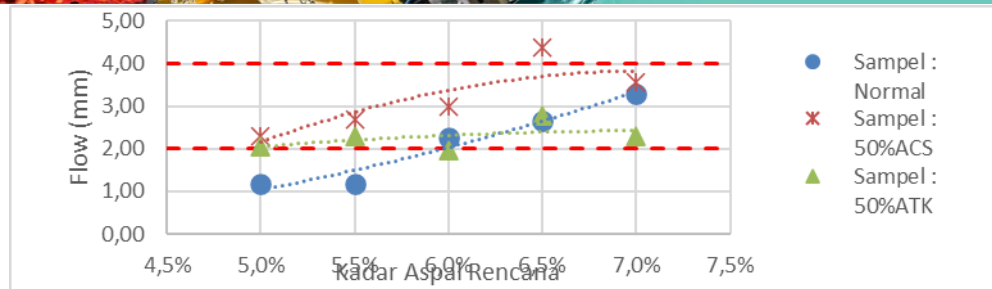
Stabilitas menunjukkan nilai Stabilitas berada pada sampel Normal, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 5,0%. Hasil Stabilitas yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi dengan nilai batas minimum 800.



Gambar 5. Grafik Karakteristik *Marshall* Stabilitas.

Parameter Flow

Flow menunjukkan nilai tertinggi Flow berada pada sampel Murni 50%, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 7,0%. Untuk nilai Flow terendah berada pada sampel Normal dengan kadar aspal 5,0%. Hasil nilai Flow yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi dengan nilai batas 2,00 – 4,00.



Gambar 6. Grafik Karakteristik Marshall Flow

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penggunaan abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai pengganti *filler* dalam campuran aspal AC – WC menunjukkan bahwa material tersebut dapat digunakan sebagai bahan alternatif pengganti semen atau *filler* konvensional. Hasil uji karakteristik *Marshall* (Stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA dan MQ) pada campuran yang menggunakan abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa menunjukkan hasil yang memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018. Stabilitas *Marshall* tertinggi diperoleh pada kadar campuran tertentu, yang menunjukkan bahwa penggunaan *filler* alternatif ini mampu meningkatkan kekuatan dan daya tahan campuran terhadap beban lalu lintas.

Saran

Penggunaan limbah abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai pengganti *filler* dapat direkomendasikan pada proyek pembangunan jalan, karena selain ramah lingkungan juga memiliki nilai ekonomi tinggi sebagai limbah yang dimanfaatkan kembali. Perlu dilakukan pengujian lanjutan dalam skala. Disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian dengan variasi kadar campuran yang lebih luas serta mengkaji pengaruh jangka panjang terhadap keausan dan ketahanan terhadap air.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayzadt, M., Nurdin, A., & Bahar, F. F. (2024). Analisis Kandungan Material Campuran Aspal Panas Mix Design AC-WC terhadap Rekonstruksi Jalan Ruas N-029.1 Bts. Kab. Muaro Jambi / Kab. Tanjabtim-Bts. Kab. Tanjabbar. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(2), 550. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v7i2.517>
- Dairi, R. H., & Pratama, Y. (2024). *Studi Karakteristik Campuran Beraspal (AC-WC) Menggunakan Aspal Esso Dengan Penambahan Asbuton Type BGA (Buton Granular Asphalt)*. XIII(2). <https://doi.org/10.55340/jmi.v13i2.1772>
- Danza, S., Riry, R., & Leuwol, F. (2025). Analisis Dampak Kerusakan Jalan Raya Terhadap Penggunaan Jalan di Desa Rumberu Kecamatan Inamosol Kabupaten Seram Bagian Barat.
- Elvira Putri, H. A., & Widayanti, A. (2023). Pengaruh Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (Filler) pada Campuran Aspal Lapis AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 1(1), 107–119. <https://doi.org/10.26740/MITRANS.V1N1.P107-119>
- Farida, I., Mulyana, S., Febis, D. T., & Nugraha, M. S. (2025). Pemanfaatan Limbah Abu Tempurung Kelapa sebagai Filler pada Campuran Aspal terhadap Stabilitas dan Kelelahan. *Jurnal Konstruksi*, 23(1), 189–200. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.23-1.1852>
- Gumelar, R., Susetyaningsih, A., & Zaman, M. B. (2023). Pengaruh Kerusakan Jalan Terhadap Kenyamanan Pengguna Jalan di Jalan Raya. *Jurnal Konstruksi*, 21(2), 265–274. <https://doi.org/10.33364/KONSTRUKSI/V.21-2.1416>
- Handoko, R., Hadijah, I., & Kurnawan, S. (2022). ANALISIS PENGGUNAAN ABU CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI TAMBAHAN FILLER PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE BERDASARKAN PENGUJIAN MARSHALL.
- Heru, L. (2024). STUDI PERBANDINGAN PENGGUNAAN JENIS-JENIS AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK UJI MARSHAL PADA CAMPURAN LATASTON DI KABUPATEN KETAPANG.

- Nadhifah, N., & Susanti, A. (2024). Karakteristik Dan Pengujian Penetrasi Aspal Ex. Atlas Dengan Aspal Ex. Pertamina Pada Penetrasi 60/70 I N F O A R T I K E L ABSTRAK. In *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi* (Vol. 2, Issue 1).
- Pasaribu, H., & Simanullang, M. T. (2021). HUBUNGAN KEKUATAN TANAH DASAR DENGAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT). In *Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 1, Issue 1).
- Putra, I. G. A. A. (2023). Analysis Of Complex Shear Modulus Asphalt (G^*) And Phase Angle (δ) On 60/70 Penetration Asphalt With The Addition Of Mask Waste Content. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 4(2), 277–284. <https://doi.org/10.37253/jcep.v4i2.8779>
- Rahmatika, Z., Tri Nugraha, P., Yanto Hasibuan, F., Lestari, K., Putri Pratiwi, L., Deza Qat, Q., & Rismawati, S. (2024). PERAN AKSES JALAN DALAM MENINGKATKAN DAYA SAING UMKM DI DAERAH TERPENCIL. *JMA*, 2(9), 3031–5220. <https://doi.org/10.62281>
- Rukmananda, R., Putra, S., & Karami, M. (2018). *Kualitas Bahan Bitumen Akibat Penambahan Kadar Lignin Yang Berbeda*.
- Senduk, N. L., Kaseke, O. H., & Sendow, T. K. (2025). PENGARUH VISKOSITAS ASPAL DAN DAMPAKNYA TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 77–84.
- Sugiarto, P., Pratomo, P., & Sulistyorini, R. (2016). *Efek Pengaruh Temperatur Pemadatan Pada Campuran Untuk Perkerasan Lapis Aus*.
- Sulandari, E., Lestyowati, Y., Teknik Sipil, J., Tanjungpura, U., Hadari Nawawi, J., Barat, K., Dipatiukur, J., Barat, J., & Komyos Sudarso No, J. (2024). ANALISIS PENGARUH SIFAT VOLUMETRIK PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC. In *CRANE: Civil Engineering Research Journal* (Vol. 5). <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/craneEtiSulandarietal./CRANE/2024>
- Sunarno. (2025). *SKRIPSI EVALUASI KWALITAS CAMPURAN HOT MIX TYPE HOT ROLLED SHEET (HRS)*.
- Suryanto. (2020). *KARAKTERISTIK ASPHALT CONCRETE (AC) DENGAN AGREGAT SUNGAI SERANG KABUPATEN KULON PROGO BERDASARKAN KINERJA SECARA LABORATORIUM*. <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/CivETech/issue/archive>
- Syach, F., Maulana, A., & Muhlis, M. (2024). *EFISIENSI DAN EFEKTIVITAS PENGGUNAAN ASPAL PADA PERKERASAN JALAN RAYA (EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS OF ASPHALT USE IN HIGHWAY PAVING)*. <http://journal.unita.ac.id/index.php/daktilitas/>
- Utami, R., Novia, A., Mahfuzah, S. N., & Zahra, A. A. (2021). *SENSITIFITAS ASPAL MODIFIKASI TERHADAP TEMPERATUR*.