

PENGARUH PENAMBAHAN ABU TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK ASPHALT CONCRETE- WEARING COURSE (AC-WC)

Muhammad Rafli Akbar¹, Saleh², Inarmiwati³
sinchannn433@gmail.com¹, saleh.irkab@gmail.com², inarmiwati11@gmail.com³
Universitas Muhammadiyah Enrekang

Abstrak

Penggunaan bahan pengisi (filler) alternatif ramah lingkungan menjadi salah satu solusi efisien dalam mengatasi eksploitasi material konvensional dan masalah limbah organik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu tempurung kelapa sebagai substitusi filler terhadap parameter volumetrik (Density, VIM, VMA, VFA) dan sifat mekanis (Stability, Flow, Marshall Quotient) pada campuran Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC), menentukan variasi kadar substitusi yang memenuhi spesifikasi teknis Bina Marga 2018, serta menguji signifikansi hubungan antarvariabel. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium sesuai standar SNI 06-2489-1991 dengan variasi kadar substitusi abu tempurung kelapa sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% pada Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,0%. Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa bertambahnya kadar abu tempurung kelapa menyebabkan penurunan nilai rata-rata Kepadatan dari 2,30 gr/cm³ menjadi 2,28 gr/cm³, Stabilitas dari 866,66 kg menjadi 832,67 kg, Flow dari 3,13 mm menjadi 2,80 mm, dan VFA dari 78,35% menjadi 74,01%. Sebaliknya, terjadi peningkatan pada nilai VIM dari 3,65% menjadi 4,55%, VMA dari 16,71% menjadi 17,48%, dan Marshall Quotient (MQ) dari 276,69 kg/mm menjadi 299,47 kg/mm. Seluruh variasi kadar substitusi 0%, 5%, 10%, dan 15% terbukti 100% memenuhi semua indikator spesifikasi teknis Bina Marga 2018. Hasil analisis regresi linear menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan ($p\text{-value} < 0,05$) dengan tingkat hubungan matematis yang sangat kuat ($R^2 > 0,95$). Dengan demikian, abu tempurung kelapa hingga kadar 15% layak digunakan sebagai bahan substitusi filler alternatif pada perkerasan jalan lapisan AC-WC.

Kata Kunci: Abu Tempurung Kelapa, Ac-Wc, Filler, Karakteristik Marshall, Regresi Linear.

ABSTRACT

The use of environmentally friendly alternative fillers is one efficient solution to address the over-exploitation of conventional materials and organic waste issues. This study aims to analyze the effect of adding coconut shell ash as a filler substitute on volumetric parameters (Density, VIM, VMA, VFA) and mechanical properties (Stability, Flow, Marshall Quotient) in Asphalt Concrete mixtures - Wearing Course (AC-WC) mixtures, to determine the substitution levels that meet the 2018 Bina Marga technical specifications, and to test the significance of the relationships between variables. The research method used was a laboratory experiment in accordance with SNI 06-2489-1991 standards, with variations in the coconut shell ash substitution rate of 0%, 5%, 10%, and 15% at an Optimum Asphalt Content (OAC) of 5.0%. The Marshall test results showed that an increase in the coconut shell ash content caused a decrease in the average Density value from 2.30 g/cm³ to 2.28 g/cm³, Stability from 866.66 kg to 832.67 kg, Flow from 3.13 mm to 2.80 mm, and VFA from 78.35% to 74.01%. Conversely, there was an increase in the VIM value from 3.65% to 4.55%, the VMA from 16.71% to 17.48%, and the Marshall Quotient (MQ) from 276.69 kg/mm to 299.47 kg/mm. All substitution levels—0%, 5%, 10%, and 15%—were found to fully meet all technical specifications set by Bina Marga in 2018. The results of the linear regression analysis indicate a significant effect ($p\text{-value} < 0.05$) with a very strong mathematical correlation ($R^2 > 0.95$). Thus, coconut shell ash at substitution levels up to 15% is suitable for use as an alternative filler material in AC-WC road pavement layers.

Keywords: Coconut Shell Ash, Ac-Wc, Filler, Marshall Characteristics, Linear Regression.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jalan merupakan infrastruktur transportasi penting dalam menunjang aktivitas ekonomi, sosial, dan mobilitas masyarakat. Kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh material penyusun campuran aspal, salah satunya adalah bahan pengisi (filler). Filler berfungsi untuk mengisi rongga-rongga kecil dalam campuran agregat sehingga dapat meningkatkan stabilitas, durabilitas, dan kekuatan campuran aspal. Umumnya, filler yang digunakan berupa semen Portland, abu batu, atau kapur. Namun, penggunaan material konvensional secara terus-menerus dapat meningkatkan biaya konstruksi serta memicu eksploitasi sumber daya alam.

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia. Di berbagai daerah, seperti di Dusun Kumadang, Desa Karueng, Kecamatan Enrekang, limbah tempurung kelapa belum dimanfaatkan secara optimal dan umumnya hanya dibuang atau dibakar. Tempurung kelapa memiliki struktur keras karena mengandung silika (SiO_2) hingga 37,97%, Al_2O_3 (24,12%), Fe_2O_3 (15,48%), dan CaO (4,98%). Kandungan silika yang tinggi ini memberikan sifat pozzolanik pada abu tempurung kelapa sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi filler dalam perkerasan jalan. Lapisan Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan aus paling atas pada konstruksi perkerasan lentur yang berhubungan langsung dengan beban roda kendaraan dan cuaca. Karena sifat AC-WC yang sangat sensitif terhadap komposisi micro-filler, pemanfaatan abu tempurung kelapa lokal Enrekang dengan agregat lokal dari Quarry Baba perlu diuji secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi abu tempurung kelapa dengan kadar 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap karakteristik volumetrik dan mekanis campuran AC-WC berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian eksperimental laboratorium ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Enrekang. Material agregat kasar dan agregat halus diambil dari Quarry Baba, Kecamatan Cendana, Kabupaten Enrekang. Limbah tempurung kelapa diperoleh dari Dusun Kumadang, Desa Karueng, Kecamatan Enrekang.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen laboratorium, metode pereohan abu tempurung kelapa, dan metode dokumentasi. Pengumpulan data bertujuan untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai pengaruh penambahan abu tempurung kelapa sebagai substitusi filler terhadap karakteristik campuran aspal.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dilakukan yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan abu tempurung kelapa sebagai bahan substitusi pada parameter marshall. Parameter marshall yang diperoleh yaitu :

- a. Kepadatan (density)
- b. Stabilitas
- c. Flow
- d. Void in Mix/Rongga Udara (VIM)

Untuk memperoleh nilai VIM maka digunakan rumus :

$$\text{VIM} = (100 \times (\text{Gmm} - \text{Gmb}) / \text{Gmm})\% \quad (2.1)$$

Dimana VIM adalah Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume,

Gmm adalah berat jenis maksimum campuran, Gmb adalah berat jenis curah campuran padat.

e. Void in Mineral Aggregate/Rongga Antar Aspal (VMA)

Untuk memperoleh nilai VMA maka digunakan rumus :

$$VMA = (100 (Gsb+Gsa)+Gmb \times Pb)/Gsab \quad (2.2)$$

Dimana VMA adalah rongga udara pada mineral agregat (%), Gmb adalah berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc), Gsb adalah berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc), Ps adalah persentase kadar agregat terhadap total campuran (%).

f. Void Filled With Asphalt (VFA)

Untuk memperoleh nilai VFA maka digunakan rumus :

$$VFA = ((100-(VMA-VIM))/VMA) \quad (2.3)$$

Dimana VFA adalah volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA, VMA adalah rongga dalam agregat mineral (persen volume curah), VIM adalah rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume.

g. Marshall Quotient (MQ)

Untuk memperoleh nilai MQ maka digunakan rumus :

$$\text{Marshall quotient} = \text{Stabilitas/Flow} \quad (2.4)$$

Pembuatan Abu Tempurung Kelapa

Limbah tempurung kelapa dibersihkan dari kotoran organik dan sabut, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Selanjutnya, tempurung kelapa dibakar dalam tungku pembakaran pada suhu 120°C selama 30 menit hingga terjadi pengabuan sempurna. Abu hasil pembakaran didinginkan, dihaluskan, dan diayak menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm). Material yang lolos saringan No.200 disimpan dalam wadah tertutup kedap udara sebelum digunakan sebagai substitusi filler semen.

Desain Campuran Dan Benda Uji

Tahap awal dimulai dengan pengujian sifat fisik agregat dan aspal penetrasi 60/70. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan menggunakan variasi kadar aspal 3,5%, 4,0%, 4,5%, 5,0%, dan 5,5%. Berdasarkan evaluasi seluruh parameter Marshall, diperoleh nilai KAO sebesar 5,0%.

Dengan menggunakan KAO 5,0%, dibuat benda uji campuran AC-WC dengan substitusi filler abu tempurung kelapa terhadap filler semen pada variasi kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Masing-masing variasi dibuat sebanyak 3 sampel (total 12 benda uji) yang dipadatkan dengan penumbuk Marshall sebanyak 75 kali tumbukan per bidang sesuai standar SNI 06-2489-1991.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Agregat Dan Aspal

Tabel 1 Pengujian Analisa Saringan

Nomor Saringan	% Lolos Agregat		
	Agregat 1 - 2 cm	Agregat 0,5 - 1 cm	Agregat Halus Pasir
2"	100	100	100
1 1/2"	100	100	100
1"	100	100	100
3/4"	100,00	100	100
1/2"	77,33	100	100
3/8"	39,31	99,88	100
No. 4	0,00	82,49	97,78
No. 8	0,00	49,96	93,94
No. 10	0,00	24,82	91,49

Nomor Saringan	% Lolos Agregat		
	Agregat 1 - 2 cm	Agregat 0,5 - 1 cm	Agregat Halus Pasir
No. 16	0,00	0,00	79,31
No. 30	0,00	0,00	55,85
No. 50	0,00	0,00	37,35
No. 100	0,00	0,00	24,93
No.200	0,00	0,00	0,00
Pan	0,00	0,00	0,00

(Sumber : Hasil Penelitian, 2026)

Tabel 2 Pengujian Berat Jenis

Jenis Pengujian	Material 1 - 2 cm	Material 0,5 - 1 cm	Mateial Pasir	Spesifikasi SNI 1969:2016
Berat jenis bulk	2,53	2,68	2,63	$\geq 2,5$
BJ. Jenuh kering permukaan	2,58	2,76	2,69	$\geq 2,5$
Berat jenis semu	2,68	2,89	2,80	$\geq 2,5$
Penyerapan	2,23	2,72	2,34	≤ 3

(Sumber : Hasil Penelitian, 2026)

Tabel 3 Pengujian Berat Jenis Aspal

Pemeriksaan	Hasil Pengujian (gr/cm ³)	Spesifikasi SNI 2441:2011
Berat Jenis Aspal	1,086	$\geq 1,000$

(Sumber : Hasil Penelitian, 2026)

Pengaruh Substitusi Abu Tempurung Kelapa Terhadap Parameter Marshall

Pengujian Marshall dilakukan terhadap benda uji pada KAO 5% dengan variasi substitusi abu tempurung kelapa. Hasil rata-rata pengujian parameter volumetrik dan mekanis disajikan dalam Tabel 4 berikut

Tabel 4 Hasil Pengujian Marshall

Variasi Kadar Abu Tempurung Kelapa	Kepadatan	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	2,30	3,65	16,71	78,35	866,66	3,13	276,69
5%	2,29	3,98	16,99	76,75	851,37	2,97	288,42
10%	2,28	4,21	17,19	75,54	845,42	2,87	295,16
15%	2,28	4,55	17,48	74,01	832,67	2,80	299,47
Spesifikasi	2,2 kg/mm	3 - 5 %	15%	65%	800 - 1800 kg	2 - 4 mm	Min 250

(Sumber : Hasil Penelitian, 2026)

Berdasarkan data pada Tabel 1, analisis terhadap masing-masing parameter Marshall dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Kepadatan (Density): Nilai kepadatan mengalami penurunan bertahap dari 2,30 gr/cm³ (pada variasi 0%) menjadi 2,28 gr/cm³ (pada variasi 15%). Penurunan ini diduga disebabkan oleh berat jenis abu tempurung kelapa yang lebih ringan dibandingkan filler semen konvensional serta porositas partikel abu yang lebih tinggi. Meskipun demikian, seluruh variasi tetap melampaui batas minimum Bina Marga (2,20 gr/cm³).
- Rongga dalam Campuran (VIM): Nilai VIM meningkat secara linear dari 3,65% menjadi 4,55%. Peningkatan rongga udara ini berkorelasi langsung dengan penurunan nilai kepadatan. Tekstur permukaan abu tempurung kelapa yang lebih berpori menyerap sebagian aspal efektif sehingga meningkatkan persentase rongga udara dalam matriks terpadat, namun seluruh nilai VIM tetap berada dalam rentang ideal 3,0%–5,0%.
- Rongga dalam Agregat (VMA): Nilai VMA meningkat dari 16,71% menjadi 17,48%.

- Peningkatan VMA menunjukkan bahwa geometri partikel abu tempurung kelapa yang tidak teratur mendorong pembentukan ruang antar-butir yang sedikit lebih renggang. Nilai VMA seluruh variasi memenuhi standar spesifikasi minimum sebesar 15%.
- Rongga Terisi Aspal (VFA): Nilai VFA mengalami penurunan dari 78,35% pada campuran kontrol menjadi 74,01% pada kadar substitusi 15%. Penurunan VFA diduga merupakan konsekuensi langsung dari meningkatnya VMA dan VIM, di mana proporsi ruang antar-agregat yang terisi oleh aspal relatif berkurang. Meskipun menurun, nilai VFA masih jauh di atas ambang minimum spesifikasi (65%).
 - Stabilitas Marshall: Stabilitas campuran menurun dari 866,66 kg pada variasi 0% menjadi 832,67 kg pada variasi 15%. Penurunan stabilitas diduga karena meningkatnya rongga udara (VIM) dan daya ikat internal yang sedikit berkurang dibanding filler semen murni.
 - Kelelehan Plastis (Flow): Nilai flow mengalami penurunan dari 3,13 mm menjadi 2,80 mm pada kadar 15%. Penurunan nilai flow diduga karena penambahan abu tempurung kelapa menyebabkan campuran menjadi lebih kaku (stiff) akibat tingginya tingkat absorpsi aspal oleh partikel mikro abu. Seluruh variasi berada dalam batas toleransi 2,0 mm–4,0 mm.
 - Marshall Quotient (MQ): Nilai MQ yang menggambarkan tingkat kekakuan campuran mengalami peningkatan dari 276,69 kg/mm menjadi 299,47 kg/mm. Peningkatan MQ berbanding lurus dengan penurunan nilai flow yang lebih dominan dibandingkan penurunan stabilitas. Nilai MQ pada semua variasi memenuhi persyaratan minimum (250 kg/mm).

Analisis Statistik Dan Regresi Linear

Untuk menguji signifikansi hubungan antara persentase substitusi abu tempurung kelapa (X) terhadap parameter Marshall (Y), dilakukan analisis regresi linear sederhana. Hasil analisis matematis dan statistik disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Analisis Regresi Linear

Karakteristik Marshall	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)	Koefisien Korelasi (r)	p-value
Kepadatan	$Y = 2,30 - 0,001X$	0,9956	-0,9978	0,0022
VIM	$Y = 3,66 + 0,058X$	0,9956	0,9978	0,0022
VMA	$Y = 16,72 + 0,050X$	0,9956	0,9978	0,0022
VFA	$Y = 78,28 - 0,285X$	0,9973	-0,9987	0,0160
Stabilitas	$Y = 865,22 - 2,158X$	0,9754	-0,9876	0,0026
Flow	$Y = 3,11 - 0,022X$	0,9595	-0,9795	0,0205
MQ	$Y = 278,67 + 1,5017X$	0,9525	0,9759	0,0241

(Sumber : Hasil Penelitian, 2026)

Hasil uji regresi linear menunjukkan bahwa seluruh parameter memiliki nilai koefisien determinasi yang sangat tinggi ($R^2 > 0,95$). Hal ini membuktikan bahwa lebih dari 95% variasi perubahan nilai parameter Marshall dapat dijelaskan oleh persentase substitusi abu tempurung kelapa. Selain itu, seluruh nilai p-value menghasilkan angka lebih kecil dari 0,05 ($p\text{-value} < 0,05$), sehingga substitusi abu tempurung kelapa berpengaruh terhadap campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Artinya, substitusi abu tempurung kelapa memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap seluruh karakteristik volumetrik dan sifat mekanis campuran AC-WC.

KESIMPULAN

- Penambahan abu tempurung kelapa sebagai substitusi filler semen sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% secara bertahap menurunkan nilai rata-rata Kepadatan (2,30 gr/cm³

menjadi 2,28 gr/cm³), VFA (78,35% menjadi 74,01%), Stabilitas (866,66 kg menjadi 832,67 kg), dan Flow (3,13 mm menjadi 2,80 mm). Sebaliknya, penambahan abu meningkatkan nilai VIM (3,65% menjadi 4,55%), VMA (16,71% menjadi 17,48%), dan Marshall Quotient (276,69 kg/mm menjadi 299,47 kg/mm).

- b. Seluruh variasi substitusi abu tempurung kelapa (0%, 5%, 10%, dan 15%) terbukti 100% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk campuran AC-WC.
- c. Hasil analisis regresi linear menunjukkan hubungan yang sangat kuat ($R^2 > 0,95$) dan berpengaruh signifikan secara statistik ($p\text{-value} < 0,05$) antara kadar substitusi abu tempurung kelapa dengan seluruh parameter Marshall.
- d. Limbah abu tempurung kelapa sangat layak dimanfaatkan sebagai bahan substitusi parsial filler hingga kadar 15% pada perkerasan jalan lapisan AC-WC guna mendukung pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- A'yuni, H. E. P., & Widayanti, A. (2024). Pengaruh pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai filler pada campuran AC-WC. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 2(1), 15-22.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Farida, I., et al. (2025). Pemanfaatan limbah abu tempurung kelapa sebagai filler pada campuran aspal terhadap stabilitas dan kelelahan. *Jurnal Konstruksi Lingkungan*, 12(1), 45-52.
- Iqbal, D., Kumita., & Munandar, A. (2025). Karakteristik Marshall AC-WC menggunakan substitusi abu tempurung kelapa sebagai filler. *Tamoh: Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 30-38.
- Kholifah, N., Muliana, A., Massara, A., Alifuddin, A., & Salim. (2024). Pengaruh penggunaan abu arang tempurung kelapa sebagai filler pada RAP terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 6(2), 112-120.
- Muha, M. Z., dkk. (2025). Pengaruh substitusi lateks terhadap kinerja campuran laston dengan kombinasi filler abu arang tempurung kelapa. *Jurnal Rekayasa Jalan dan Jembatan*, 9(1), 78-86.