



# Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 2 No 1 June 2026, Hal. 49-58  
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)  
Open Access: <https://scriptainteletektual.com/scripta-technica>

## Rekayasa Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Berbasis Limbah Biomassa: Studi Eksperimental Modifikasi Palm Kernel Shell dan Dammar Resin terhadap Karakteristik Marshall dan Parameter Volumetrik

Danang Wahyu kurniawan<sup>1\*</sup>, Fathul Hidayat AR Rizqi<sup>2</sup>, Rachmat Mudiyo<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

email: [Danangwk26@gmail.com](mailto:Danangwk26@gmail.com)<sup>1</sup>, [Fathulhdyt37@gmail.com](mailto:Fathulhdyt37@gmail.com)<sup>2</sup>

### Article Info :

Received:  
05-01-2026  
Revised:  
10-02-2026  
Accepted:  
20-02-2026

### Abstract

*Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) road pavement functions as a crucial wearing layer to maintain its performance and service life, but conventional asphalt still faces problems with its high cost and dependence on non-renewable natural resources. Therefore, this study analyzes the use of palm kernel shell waste and dammar resin as a modified AC-WC mixture, looking at its Marshall characteristics and suitability to Bina Marga specifications. The method used is an experimental laboratory with variations of palm kernel shells of 0%, 2.5%, 5%, 7.5% plus dammar resin of 0%, 2%, 4%, and 6%. Marshall tests check stability, flow, VIM, VMA, VFA, and MQ according to SNI and Bina Marga. The results show that the addition of both has a positive effect, with the optimum at 7.5% palm kernel shells and 6% dammar resin increasing stability and meeting technical standards, making it highly potential as an environmentally friendly and cost-effective alternative.*

**Keywords:** AC-WC, Coconut Shells, Palm Oil, Damar Resin, Marshall Test.

### Abstrak

*Perkerasan jalan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) berfungsi sebagai lapisan aus yang penting buat jaga kinerja dan umur layanannya, tapi aspal konvensional masih bermasalah soal biaya tinggi dan ketergantungan pada SDA tak terbarukan. Makanya, penelitian ini analisis pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit (Palm Kernel Shell) dan getah damar (Dammar Resin) sebagai modifikasi campuran AC-WC, dilihat dari karakteristik Marshall dan kecocokannya sama spesifikasi Bina Marga. Metodenya eksperimental lab dengan variasi cangkang sawit 0%, 2,5%, 5%, 7,5% plus getah damar 0%, 2%, 4%, 6%, uji Marshall cek stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, MQ sesuai SNI dan Bina Marga. Hasilnya, tambahan keduanya pengaruh positif, optimum di 7,5% cangkang sawit dan 6% getah damar yang naikin stabilitas dan penuhi standar teknis, jadi potensial banget sebagai alternatif ramah lingkungan plus hemat biaya*

**Kata kunci:** AC-WC, Cangkang Kelapa, Sawit, Getah Damar, Uji Marshall.



©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

Perkembangan global di bidang rekayasa perkerasan jalan dalam dua dekade terakhir menunjukkan pergeseran paradigma dari pendekatan berbasis kinerja struktural semata menuju integrasi kinerja mekanik, ketahanan lingkungan, serta efisiensi sumber daya, di mana Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) diposisikan sebagai lapisan kritis yang menentukan umur layanan perkerasan melalui resistensi terhadap deformasi plastis, kelelahan, dan kerusakan permukaan akibat iklim serta beban lalu lintas berulang. Kajian internasional menegaskan bahwa inovasi material modifikasi baik berbasis polimer sintetis, karet padat, maupun bahan serat dapat meningkatkan stabilitas dan ketahanan campuran, tetapi keberhasilannya sangat bergantung pada kompatibilitas kimia dan distribusi mikrostruktural dalam matriks aspal (Lubis et al., 2022; Wisman & Febrina, 2023). Dalam wilayah pesisir maupun iklim tropis lembap, faktor lingkungan seperti fluktuasi temperatur dan paparan air laut terbukti mempercepat degradasi lapisan aus sehingga memicu kebutuhan akan material modifikasi yang adaptif terhadap kondisi lokal (Dewi et al., 2022; Sulisty & Hapsari, 2025).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengeksplorasi modifikasi AC-WC melalui substitusi agregat, bahan aditif, serta modifikasi binder, yang secara umum memperlihatkan peningkatan nilai

stabilitas Marshall, penurunan deformasi permanen, serta peningkatan kohesi internal campuran. Penggunaan pasir silika sebagai agregat halus, misalnya, terbukti meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran melalui peningkatan interlocking partikel (Mukhlis et al., 2023), sementara modifikasi binder dengan polimer atau aditif elastomerik mampu meningkatkan ketahanan terhadap retak akibat tegangan termal (Lubis et al., 2023). Kajian lain menunjukkan bahwa bahan limbah konstruksi maupun serat selulosa dapat memperbaiki distribusi rongga dan meningkatkan retensi aspal, sehingga campuran menjadi lebih stabil terhadap aliran plastis (Agustiya & Putri, 2025; Agustian & Agusmaniza, 2021).

Sintesis kritis terhadap literatur memperlihatkan bahwa sebagian besar penelitian masih berfokus pada peningkatan parameter Marshall secara individual, bukan pada interaksi material yang mampu membentuk sistem komposit yang stabil secara kimia maupun mekanik. Keterbatasan lain dalam literatur muncul dari dominannya penelitian yang mengevaluasi satu jenis bahan modifikasi secara terpisah tanpa mempertimbangkan sinergi antara material berbasis biomassa dengan resin alami sebagai agen pengikat tambahan. Penelitian mengenai limbah kelapa sawit, khususnya abu maupun cangkang, memang menunjukkan potensi sebagai filler atau substitusi agregat karena kandungan silika dan struktur kerasnya yang meningkatkan stabilitas campuran (Manurung et al., 2023), tetapi studi tersebut belum menguji bagaimana sifat permukaan material tersebut berinteraksi dengan resin alami yang memiliki karakteristik polimerik.

Di sisi lain, studi tentang resin alami seperti damar lebih banyak menyoroti sifat kimianya sebagai bahan organik kompleks yang memiliki kemampuan adhesi dan viskoelastisitas tinggi (Apriyantono, 2004), namun pemanfaatannya dalam campuran AC-WC masih terbatas pada pengujian skala kecil atau lapisan selain AC-WC (Bahari, 2023). Kesenjangan konseptual tersebut memunculkan persoalan ilmiah yang signifikan karena kebutuhan industri konstruksi jalan saat ini tidak hanya menuntut peningkatan performa mekanik, tetapi juga menuntut solusi material berkelanjutan yang mampu menurunkan ketergantungan pada agregat alam dan bahan kimia sintesis. Dalam konteks negara produsen kelapa sawit, limbah Palm Kernel Shell tersedia dalam jumlah besar dan berpotensi dimanfaatkan sebagai agregat alternatif berketahanan tinggi, sementara damar resin sebagai produk hutan non-kayu memiliki sifat adhesif alami yang berpotensi memperkuat ikatan binder–agregat.

Ketiadaan studi yang secara sistematis mengkaji kombinasi kedua material ini dalam satu sistem campuran AC-WC menunjukkan adanya celah empiris yang penting untuk diisi, khususnya dalam pengujian kinerja Marshall, stabilitas struktural, serta potensi peningkatan durabilitas lapisan aus. Riset ini diposisikan dalam lanskap keilmuan sebagai upaya integratif yang menghubungkan pendekatan rekayasa material jalan dengan prinsip pemanfaatan biomaterial lokal, dengan menguji Palm Kernel Shell sebagai substitusi agregat dan damar resin sebagai modifikator binder dalam satu sistem komposit AC-WC. Pendekatan ini tidak hanya memperluas kajian substitusi agregat berbasis limbah perkebunan, tetapi juga memperkenalkan perspektif baru mengenai interaksi kimia antara resin alami dan bitumen, yang selama ini lebih banyak diteliti secara terpisah dalam studi material konstruksi.

Melalui kerangka tersebut, penelitian ini berupaya mengisi kekosongan literatur mengenai sinergi antara limbah biomassa dan resin alami sebagai solusi material perkerasan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa campuran AC-WC yang dimodifikasi dengan Palm Kernel Shell dan damar resin melalui evaluasi parameter Marshall, karakteristik volumetrik, serta potensi peningkatan ketahanan struktural campuran, sekaligus merumuskan kontribusi teoretis berupa model interaksi material biomassa–resin dalam matriks aspal serta kontribusi metodologis berupa pendekatan eksperimental komposit biomaterial untuk perkerasan jalan berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian ialah tahap pengumpulan, analisa, dan telaah variabel yang relevan guna menyelesaikan berbagai permasalahan yang dihadapi. Pada kajiannya ini, diterapkan metode penelitian eksperimen sebagai pendekatan utamanya. Metodenya melibatkan prosedur sistematis untuk mengeksplorasi pengaruh perlakuan terhadap subjek kajian melalui serangkaian percobaan di laboratorium, di mana data dikumpulkan dan kemudian diolah dengan memperhatikan standar spesifikasi yang berlaku, sehingga memperoleh output perbandingannya yang akurat dan diharapkan. Kajiannya mengacu pada standarisasi internasional dan nasional, yakni ASTM serta SNI, sebagai acuan utama dalam pelaksanaan prosedur. Itu memastikan bahwasanyasnya tiap tahapan kajiannya dijalankan konsisten dan mencukupi kriteria kualitas yang telah ditetapkan. Selama kajian, berbagai

pengujian dilaksanakan untuk menganalisa bahan-bahan yang dipakai, meliputi uji agregat, aspal, dan campuran melalui Marshall Test. Khusus untuk agregat, pengujian difokuskan pada parameter berat jenis dan porositas guna menilai karakteristik fisiknya. Untuk pengujian campuran, Marshall Test diterapkan sebagai metode utama, di mana hasilnya menghasilkan berbagai komponen kunci, termasuk berat volume benda ujinya, nilai stabilitasnya, flownya, VMA-nya, VIMnya, VFB-nya, dan tebal selimut atau film aspal. Berdasar pada data tersebut, MQ dapat dihitung untuk mengevaluasi kinerja campuran secara keseluruhan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajiannya memakai aspal penetrasinya 60/70 yang umum dikenal sebagai aspal Pertamina. Uji cobanya menilai tiga parameternya yakni penetrasi, titik leleh, dan densitas aspal, yang berfungsi untuk menggambarkan karakteristik utama aspal yang dipakai yakni campuran perkerasan fleksibel. Mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2), perolehan ujinya ada pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanisme aspal penetrasi 60/70**

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Min	Spesifikasi Max	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi Acuan	Keterangan
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI 2456:2011	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (Ring and Ball Test)	°C	48	58	50,5	SNI 2434:2011	Memenuhi
3	Berat Jenis	-	Min.	-	1,034	SNI 2441:2011	Memenuhi

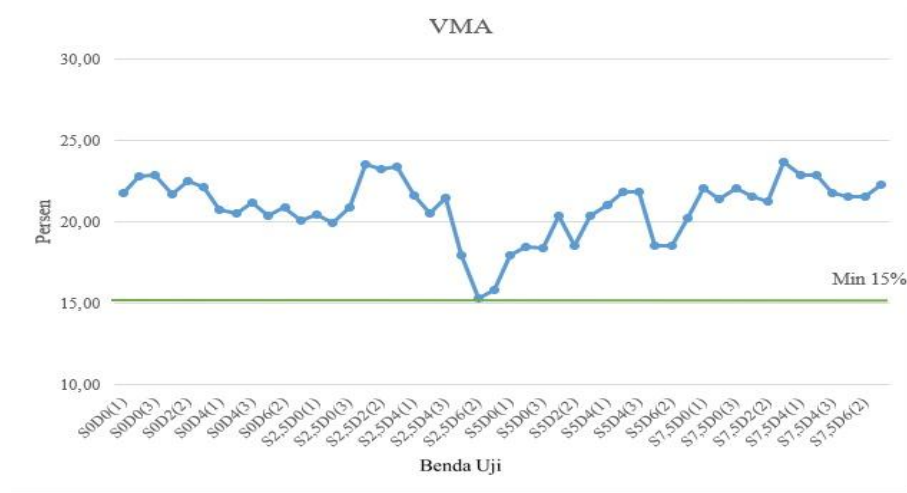
Tabel 1 menjabarkan bahwasanya perolehan analisa aspal penny 60/70 sudah selaras dengan kriteria yang ditetapkan. Hasil analisisnya memperlihatkan bahwasanya seluruh bahannya mencukupi standar yang ada dan layak dipakai sebagai komponen campuran AC-WC. Uji penetrasinya memberi angka yang ada dalam batasnya. Maka kajiannya ini memberi bukti bahwasanyasanya aspal penny 60/70 memperkuat ketahanan dan kestabilan.

**Tabel 2. Rekap hasil rata-rata komposisi Cangkang sawit 7,5 % dan getah damar 0% 2% 4% dan 6%**

Uraian	Kadar Bahan Tambah Cangkang Kelapa Sawit	Kadar Bahan Tambah Getah Damar	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	7,5%	0%	3,0 – 5,0 %	1,01	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	7,5%	0%	Min 15%	21,84	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	7,5%	0%	Min 65%	95,38	Memenuhi
Stabilitas	7,5%	0%	Min 800 kg	736,28	Tidak Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	7,5%	0%	2,0 – 4,0	4,10	Memenuhi
Marshall Quotient	7,5%	0%	-	181,65	Memenuhi

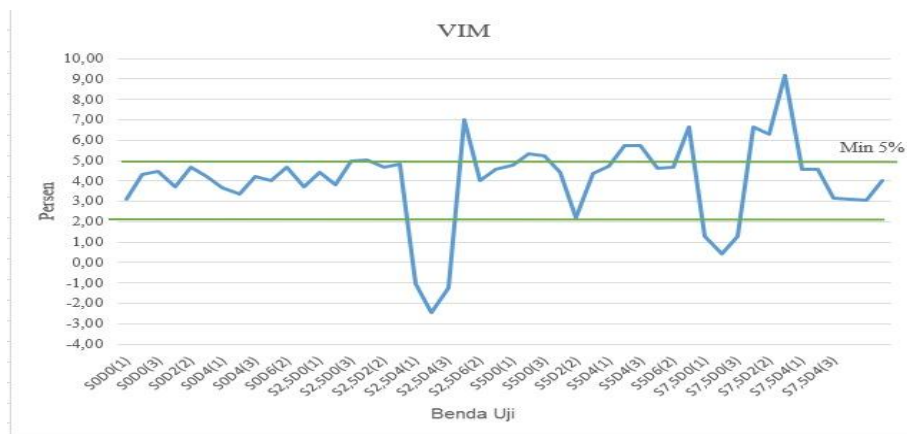
Rongga Udara (VIM)	7,5%	2%	3,0 – 5,0 %	7,37	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	7,5%	2%	Min 15%	22,16	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	7,5%	2%	Min 65%	66,93	Memenuhi
Stabilitas	7,5%	2%	Min 800 kg	677,37	Tidak Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow Marshall Quotient	7,5%	2%	2,0 – 4,0	2,30	Memenuhi
	7,5%	2%	-	293,66	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	7,5%	4%	3,0 – 5,0 %	4,11	Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	7,5%	4%	Min 15%	22,51	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	7,5%	4%	Min 65%	81,81	Memenuhi
Stabilitas	7,5%	4%	Min 800 kg	713,37	Tidak Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow Marshall Quotient	7,5%	4%	2,0 – 4,0	3,40	Memenuhi
	7,5%	4%	-	210,02	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	7,5%	6%	3,0 – 5,0 %	3,40	Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	7,5%	6%	Min 15%	21,80	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	7,5%	6%	Min 65%	84,44	Memenuhi
Stabilitas	7,5%	6%	Min 800 kg	890,07	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow Marshall Quotient	7,5%	6%	2,0 – 4,0	3,80	Memenuhi
	7,5%	6%	-	236,30	Memenuhi

Tabel 2 menyajikan rangkuman lengkap dari seluruh hasil pengujian berbagai kombinasi benda uji yang telah dilaksanakan. Informasi ini ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan interpretasi serta mempermudah analisa data secara menyeluruh. Penyajian visual membantu melihat tren dan perbandingan antar parameter dengan lebih jelas, sehingga memudahkan evaluasi kinerja campuran. Rekapitulasi ini dibuat dengan berpedoman ke Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, yang menjadi acuan resmi dalam prosedur pengujian dan dokumentasi hasil untuk proyek konstruksi jalan. Lewat demikian, data yang tersaji dapat dipakai sebagai dasar pengambilan keputusan teknis yang akurat dan terpercaya.



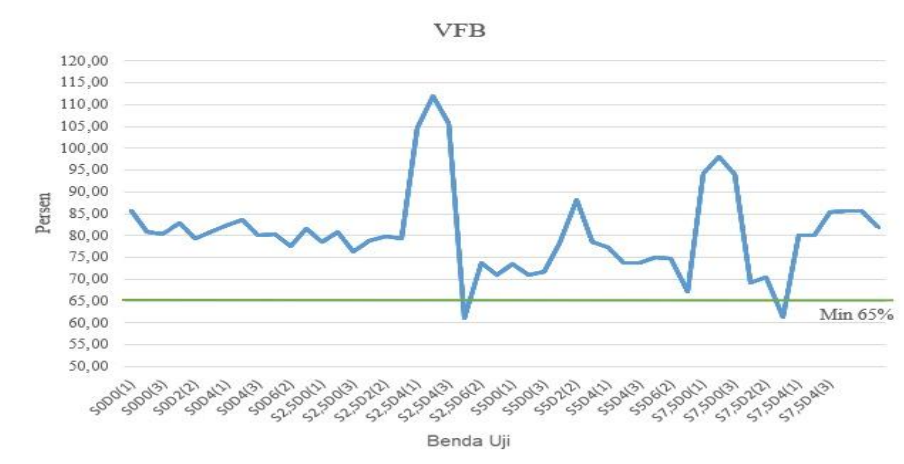
**Grafik 1. Grafik Rekapitulasi Nilai VMA**

Semua campuran memperlihatkan nilai VMA di atas ambang minimum yang ditentukan, yakni 15%, sehingga seluruh campuran dikategorikan mencukupi standar. Nilai VMA terendahnya tercatat pada spesimen S2,5D6(2) mencapai 15,32%, sedangkan nilai tertinggi tercapai pada SS7,5D2(3) dengan angka 23,67%. Hasil ini menegaskan bahwasanya komposisi campuran yang dipakai mempunyai porositas mineral yang memadai untuk mendukung stabilitas dan daya tahan perkerasan selaras persyaratan teknis yang berlaku.



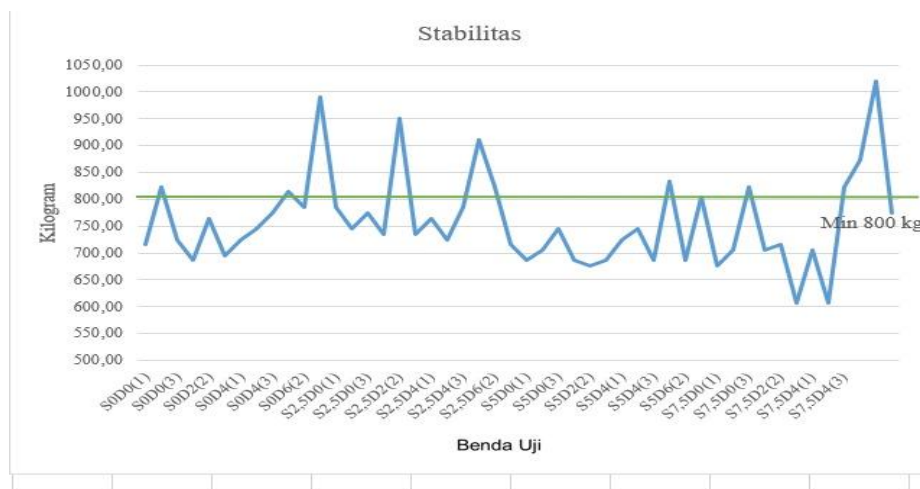
**Grafik 2. Rekapitulasi Nilai VIM**

Beberapa campuran memperlihatkan nilai VIM yang melewati batas minimum 5%, sehingga sebagian campuran tidak mencukupi standar yang ditetapkan. Nilai VIM terendahnya tercatat pada spesimen S2,5D4(2) mencapai -2,44%, sedangkan nilai tertinggi tercapai pada S7,5D2(3) dengan angka 9,17%. Hasil ini memperlihatkan variasi rongga udara dalam campuran, menandakan bahwasanya beberapa kombinasi material kurang optimal dalam distribusi padatan dan aspal untuk mencapai kepadatan yang selaras spesifikasi.



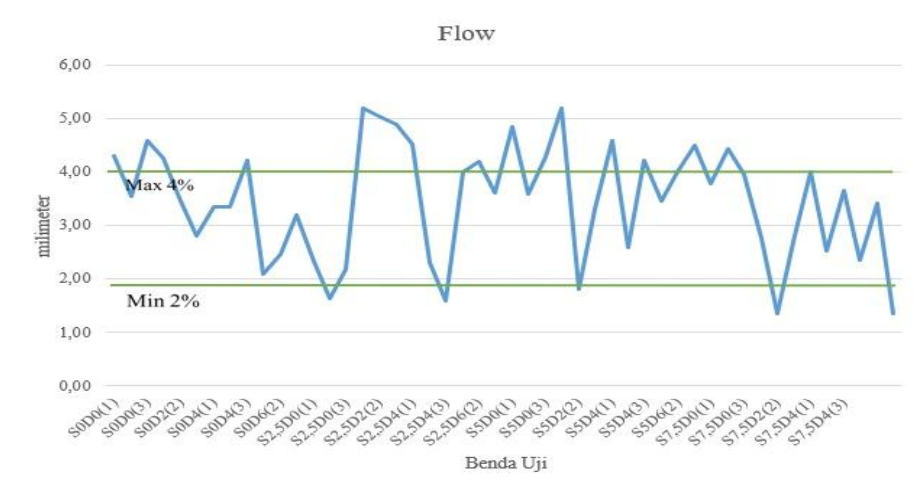
**Grafik 3. Rekapitulasi Nilai VFB**

Hasil pengukuran VFB memperlihatkan bahwasanya mayoritas campuran mencukupi batas minimum 65% selaras spesifikasi. Meski demikian, beberapa campuran gagal mencapai standar, misalnya S2,5D6(1) dengan nilai 61% dan S7,5D2(3) mencapai 61,26%. Itu menandakan bahwasanya kandungan bitumen pada sampel tersebut kurang optimal untuk mengisi rongga agregat, sehingga potensi ketahanan dan stabilitas perkerasan pada titik tersebut menjadi lebih rendah dibanding campuran yang mencukupi standar. Analisa ini penting untuk mencocokkan proporsi bitumen agar semua campuran dapat mencapai kualitas selaras pedoman Bina Marga.



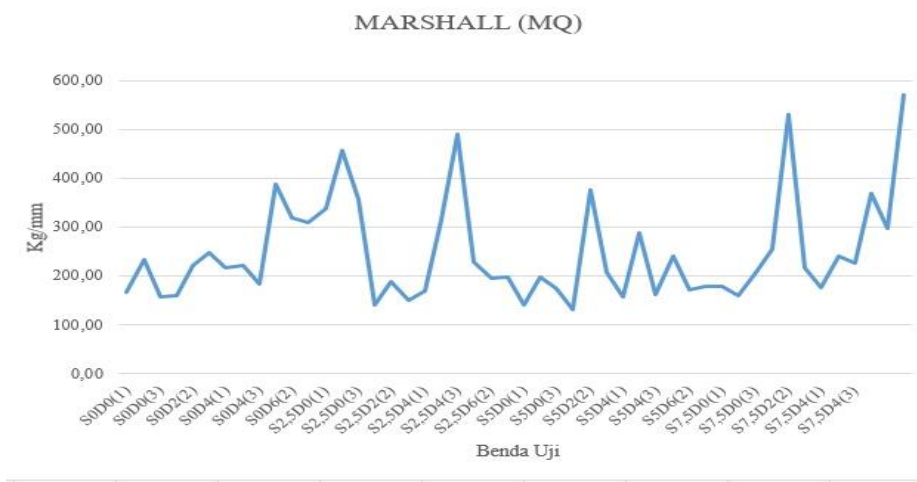
**Grafik 4. Rekapitulasi Nilai Stabilitas**

Hasil pengukuran stabilitas memperlihatkan bahwasanya sebagian besar campuran ada di atasnya batas minimalnya 800 kg. Tapi, ada berbagai campuran yang tidak mencukupi spesifikasinya seperti S7,5D4(2) dengan nilai terendahnya 607,6 kg, sementara nilai tertinggi dicapai oleh S7,5D6(2) mencapai 1019,2 kg. Kondisi ini memperlihatkan bahwasanya beberapa kombinasi campuran masih kurang optimal dalam menahan beban, sehingga perbandingan proporsi bahan perlu dievaluasi agar semua sampel dapat mencukupi standar stabilitas selaras pedoman Bina Marga. Analisa ini penting untuk memastikan daya dukung perkerasan jalan.



**Grafik 5. Rekapitulasi Nilai Stabilitas**

Hasil pengukuran kelelahan (Flow) memperlihatkan bahwasanya spesifikasi minimalnya 2 mm dan maksimum 4 mm tidak terpenuhi pada semua sampel secara seragam. Beberapa campuran masih berada di luar batas tersebut, misalnya S7,5D2(2) mempunyai nilai terendahnya 1,35 mm, sedangkan S2,5D2(1) mencatat nilai tertingginya 5,20 mm. Kondisi ini menandakan bahwasanya sebagian kombinasi campuran aspal belum optimal dalam hal deformasi plastis, sehingga perlu evaluasi ulang proporsi bahan untuk memastikan semua sampel mencukupi standar Bina Marga dan memberi performa perkerasan yang aman dan tahan lama.



**Grafik 6. Rekapitulasi Nilai MQ**

Hasil pengujian MQ memperlihatkan bahwasanya seluruh campuran mencukupi standar yang ditetapkan. Nilai terendahnya tercatat pada sampelnya S5D2(1) mencapai 131,92 kg, sedangkan nilai tertingginya dicapai oleh S7,5D6(3) dengan 569,26 kg. Itu menandakan bahwasanya kecakapan campuran dalam menahan beban dan mendistribusikan tekanan roda cukup baik, sehingga keseluruhan sampel layak dipakai dalam perkerasan jalan selaras spesifikasi Bina Marga.

### Stabilitas Marshall Campuran AC-WC

Stabilitas Marshall merupakan indikator utama kemampuan campuran aspal menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh interlocking agregat, kadar aspal, serta keberadaan bahan tambah yang mampu meningkatkan kohesi campuran. Dalam teori perkerasan, stabilitas tinggi menunjukkan campuran mampu menahan beban roda secara berulang tanpa terjadi kerusakan struktural (Sukirman, 2003). Penambahan material limbah sebagai bahan tambah

dalam campuran AC-WC terbukti dapat meningkatkan stabilitas apabila memiliki sifat keras, kasar, dan mampu meningkatkan daya lekat aspal terhadap agregat. Limbah cangkang sawit, misalnya, memiliki struktur kuat dan tekstur kasar sehingga mampu meningkatkan daya ikat serta kekakuan campuran perkerasan (Rahim & Ramadona, 2022).

Karakteristik Palm Kernel Shell yang ringan namun kuat juga berperan dalam meningkatkan stabilitas campuran karena dapat memperbaiki struktur rangka agregat. Struktur berpori material ini memungkinkan interaksi mekanis yang lebih baik antara agregat dan aspal sehingga campuran menjadi lebih stabil terhadap beban lalu lintas (Rahmawati et al., 2019). Penggunaan bahan tambah alternatif lain seperti abu sekam padi dan arang kayu juga menunjukkan peningkatan stabilitas karena partikel halus dapat berfungsi sebagai filler aktif yang meningkatkan kohesi campuran. Hal ini memperbaiki distribusi aspal serta meningkatkan kepadatan struktur campuran AC-WC (Zuhad & Setiawan, 2025). Hasil penelitian terkait bahan tambah organik seperti serbuk arang tempurung kelapa menunjukkan bahwa kandungan karbonnya mampu meningkatkan kekakuan campuran sehingga stabilitas meningkat. Namun, kadar optimum tetap harus diperhatikan agar tidak menurunkan workability campuran (Batubara et al., 2025).

Selain bahan tambah berbasis limbah, modifikasi dengan serat alami seperti sabut kelapa juga mampu meningkatkan stabilitas karena serat tersebut berfungsi sebagai penguat internal yang menahan retak serta memperbaiki distribusi tegangan dalam campuran AC-WC (Arifin et al., 2024). Pengujian stabilitas Marshall sendiri harus dilakukan sesuai standar metode pengujian seperti ASTM D6927 dan SNI 06-2489-1991 untuk memastikan hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara ilmiah dan memenuhi kriteria teknis perkerasan jalan (ASTM, 1981; BSN, 1991).

### Nilai Flow dan Kelenturan Campuran

Nilai flow dalam uji Marshall menggambarkan kemampuan campuran aspal untuk mengalami deformasi plastis sebelum terjadi kerusakan. Flow yang terlalu kecil menunjukkan campuran terlalu kaku, sedangkan flow terlalu besar menunjukkan campuran terlalu lunak dan rentan terhadap deformasi permanen (Sukirman, 2003). Penambahan filler alami maupun limbah dapat mempengaruhi nilai flow karena partikel halus cenderung mengurangi rongga udara dan meningkatkan kohesi campuran. Hal ini dapat menyebabkan flow menurun karena campuran menjadi lebih kaku dan padat (Rahim & Ramadona, 2022). Palm Kernel Shell yang digunakan sebagai agregat tambahan juga berpotensi menurunkan flow karena sifat kerasnya meningkatkan kekakuan struktur campuran. Namun jika penggunaannya berlebihan, campuran dapat menjadi terlalu rapuh dan mudah retak (Rahmawati et al., 2019).

Penggunaan abu sekam padi sebagai filler aktif dapat menurunkan nilai flow karena sifat silika yang tinggi meningkatkan kekakuan campuran. Hal ini menguntungkan untuk jalan dengan beban lalu lintas tinggi karena campuran menjadi lebih tahan terhadap deformasi plastis (Zuhad & Setiawan, 2025). Penambahan bahan karbon seperti arang tempurung kelapa juga berpengaruh terhadap flow karena material tersebut meningkatkan kekakuan dan memperbaiki distribusi tegangan internal dalam campuran aspal (Batubara et al., 2025).

Pengaruh temperatur pencampuran juga tidak dapat diabaikan karena temperatur tinggi dapat meningkatkan pelapisan agregat oleh aspal sehingga flow meningkat. Sebaliknya temperatur rendah dapat menghasilkan campuran kurang homogen dan flow rendah (Fitriansyah et al., 2024). Standar pengujian Marshall menetapkan bahwa flow harus berada dalam rentang tertentu agar campuran memiliki keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas. Oleh karena itu pengujian harus mengikuti metode ASTM D6927 agar interpretasi nilai flow valid secara teknis (ASTM, 1981).

### Karakteristik Volumetrik dan Kepadatan Campuran

Karakteristik volumetrik seperti VIM, VMA, dan VFB merupakan parameter penting untuk menilai kualitas campuran AC-WC. Nilai-nilai ini menunjukkan hubungan antara rongga udara, kadar aspal efektif, serta kepadatan campuran yang mempengaruhi durabilitas perkerasan (Sukirman, 2003). Pemanfaatan limbah sebagai filler dapat menurunkan rongga udara karena partikel halus mengisi celah agregat sehingga meningkatkan kepadatan campuran. Kondisi ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi air serta oksidasi aspal (Rahim & Ramadona, 2022). *Palm Kernel Shell* memiliki sifat ringan sehingga dapat mempengaruhi densitas campuran. Walaupun demikian, distribusi ukuran

partikel yang baik tetap mampu menghasilkan kepadatan optimum dan stabilitas struktural campuran (Rahmawati et al., 2019).

Penggunaan bahan tambah seperti kapur padam sebagai filler juga terbukti mampu memperbaiki sifat volumetrik campuran karena meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat serta menurunkan sensitivitas terhadap air (Labaso et al., 2025). Material organik seperti serat sabut kelapa dapat mempengaruhi distribusi rongga udara dalam campuran. Serat berfungsi sebagai pengikat mikro yang membantu mempertahankan struktur internal campuran terhadap perubahan suhu dan beban lalu lintas (Arifin et al., 2024).

Penentuan berat jenis maksimum teoritis campuran sangat penting untuk menghitung parameter volumetrik secara akurat. Oleh karena itu pengujian harus mengikuti ASTM D2042-76 agar nilai densitas dan rongga udara dapat dihitung secara tepat (ASTM, 1976). Dengan terpenuhinya parameter volumetrik sesuai standar Marshall, campuran AC-WC dapat dikatakan memenuhi syarat teknis untuk digunakan sebagai lapis aus jalan. Kesesuaian ini juga menjadi indikator bahwa komposisi campuran telah berada pada kondisi optimum baik dari sisi struktural maupun durabilitas (BSN, 1991).

## KESIMPULAN

Limbah cangkang sawit ialah produk sampingan industri kelapa sawit yang melimpah di Indonesia dan berpotensi dimanfaatkan menjadi bahan tambah dalam campuran aspal. Secara fisiknya, PKS mempunyai bentuk tidak beraturan, permukaan kasar, berat jenis lebih ringan, dan daya serap air yang masih mencukupi persyaratan sehingga memberi daya lekat optimal pada aspal. PKS dipakai dalam ukuran lolos saringan No. 1 dan tertahan saringan No. 4 yang dihaluskan selaras gradasi SNI ASTM C136:2012. Lalu Getah Damarnya sebagai resin alami mempunyai sifat menyerupai aspal, seperti kekentalan tinggi dan daya ikat yang kuat, sehingga berpotensi menaikkan kekuatan dan umur layanan perkerasan jalan. Getah Damarnya dipakai dalam ukuran lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 100 serta dihaluskan agar mencukupi gradasi selaras SNI ASTM C136:2012.

Desain campuran terbaik untuk AC-WC diperoleh dengan penambahan 7,5% Cangkang Kelapa Sawit dan 6% Getah Damarnya. Semua hasil uji mencukupi ketentuan spesifikasi Bina Marga 2018, seperti yang tercantum pada Tabel 4.24 halaman 94. Parameter Marshall untuk benda uji memperlihatkan nilai VMA 21,80%, VIM 3,4%, VFB 84,44%, Stabilitasnya 890,07 kg, Flow 3,77 mm, dan Marshall Quotient 236,30. Berdasar pada hasil ini, campuran tersebut dinyatakan layak dipakai sebagai lapisan perkerasan jalan karena mempunyai kekuatan dan karakteristik yang selaras standar serta mampu menahan beban lalu lintas secara optimal. Campuran AC-WC dengan penambahan cangkang kelapa sawit 7,5% dan Getah Damarnya 6% memperoleh kinerja Marshall terbaiknya dan mencukupi seluruh persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Secara laboratoris, campuran ini layak sebagai alternatif perkerasan jalan, tapi masih diperlukan pengujian lanjutan untuk memastikan kinerjanya dalam jangka panjang di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, K., & Agusmaniza, R. (2021). Analisis Performa Campuran Ac-Wc Dengan Bahan Tambahan.
- Agustiya, F. E., & Putri, A. (2025). Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Modifikasi Dengan Bahan Tambah Roof Tile Waste Dan Cellulose Fiber (Skripsi). Universitas Islam Sultan Agung, Semarang
- Apriyantono, A. (2004). *Kimia Pangan*. Jakarta: Pt. Pustaka Sinar Harapan.
- Arifin, M. Z., Wicaksono, A., Bowoputro, H., Ghufro, R. R., & Abdurrahman, M. Y. (2024). Identifying The Effect Of Adding Coconut Coir On The Characteristics Of The Top Layer Of Pure Natural Buton Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc). *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 130(6). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309733>
- Astm International. (1976). *Astm D2042-76: Standard Test Method For Theoretical Maximum Specific Gravity And Density Of Bituminous Paving Mixtures*. Astm International.
- Astm International. (1981). *Astm D6927: Standard Test Method For Marshall Stability And Flow Of Asphalt Mixtures*. Astm International.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Sni 06-2489-1991: Metode Pengujian Marshall*. Bsn.
- Bahari, A. S. (2023). *Pengaruh Getah Damar Sebagai Tambah Campuran Ac-Bc Terhadap Karakteristik Marshall*.

- Batubara, H., Lubis, M., & Fajri, R. (2025). Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Terhadap Stabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Ac-Wc. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 4(1), 44-52. <https://doi.org/10.56211/Blendsains.V4i1.762>
- Dewi, K., Krisdiyanto, A., Kriswandanu, A. R., & Kriswandaru, A. S. (2022). The Effect Of Asphalt Baths Wearing Coarse (Ac-Wc) On The Tide. *Indonesian Journal Of Multidisciplinary Science*, 2(2), 1889-1897. <https://doi.org/10.55324/Ijoms.V2i2.276>
- Fitriansyah, F., Azwansyah, H., & Mayuni, S. (2024). Effect Of Mixing Temperature On The Utilization Of Styrofoam Waste As An Additive In Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc). *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3), 1173-1182. <https://doi.org/10.26418/Jts.V24i3.82638>
- Labaso, R., Achmad, F., & Desei, F. L. (2025). Pengembangan Panduan Praktikum Perkerasan Jalan Raya Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Menggunakan Kapur Padam Sebagai Bahan Tambah Filler. *Research Review: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(1), 649-659. <https://doi.org/10.54923/Researchreview.V4i1.203>
- Lubis, A. S., Muis, Z. A., & Irza, M. H. (2023, June). Comparison Of Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Characteristics Using 60/70 Asphalt Penetration And Elvaloy Modified Asphalt. In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* (Vol. 1195, No. 1, P. 012026). Iop Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1195/1/012026>
- Lubis, A. S., Muis, Z. A., Rambe, A. P., Nasution, D. W., & Fitri, F. (2022). The Characteristics Of The Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Using Sir20 Solid Rubber Compound. *Asian Journal Of Fundamental And Applied Sciences*, 3(2), 34-46. <https://doi.org/10.55057/Ajfas.2022.3.2.4>
- Manurung, Salonten, & Riani. (2023). *Analisis Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Filler Pada Campuran Ac-Wc*.
- Mukhlis, M., Lusyana, L., Suardi, E., Sukri, D. R., & Sazama, A. (2023). Marshall Characteristics Of Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) With Substitution Of Silica Sand As Fine Aggregate. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 250-259. <http://dx.doi.org/10.36055/Fondasi.V12i2.21917>
- Rahim, A., & Ramadona, F. (2022). Pemanfaatan Limbah Cangkang Sawit Sebagai Material Perkerasan Jalan Berkelanjutan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(3), 145-154.
- Rahmawati, D., Putri, A., & Santoso, B. (2019). Karakteristik *Palm Kernel Shell* Sebagai Bahan Campuran Aspal. *Jurnal Infrastruktur*, 6(2), 90-98.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Panas*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Sulistyo, J. A., & Hapsari, A. (2025). *Performance Asphalt Permeability Concrete Wearing Course (Ac-Wc) With Steel Fiber And Rubber Additives For Coastal Pavement*. Iop Conference Series: Earth And Environmental Science, 1524(1), 012015. Iop Publishing Lala Riyadi. (2020). *Perkerasan Jalan Raya*. Rekayasa Sains <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1524/1/012015>
- Wisman, M., & Febrina, R. (2023, July). Comparison Of Characteristics Of Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Asphalt Mixed Using Conventional Asphalt And Modified Polymer Asphalt. In *Proceeding Of The 2nd International Conference On Engineering Science And Technology (Icest 2021)* (Vol. 2677, No. 1, P. 040004). Aip Publishing Llc. <https://doi.org/10.1063/5.0128332>
- Zuhad, A., & Setiawan, Y. (2025). Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Penambahan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Dan Arang Kayu Untuk Perkerasan Jalan (Skripsi). Universitas Islam Sultan Agung, Semarang