



ANALISIS KARAKTERISTIK MARSHALL DAN PENENTUAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA CAMPURAN AC-WC DENGAN SUBSTITUSI 50% FILLER MENGGUNAKAN ABU SEKAM PADI DAN ABU TEMPURUNG KELAPA

Ramadhani¹, Hendrik Jimmyanto^{2*}, Kiagus Muhammad Aminuddin³

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA, Palembang

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Palembang

³ Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding Author, Email : hendrikjimmyanto@univ-tridinanti.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan limbah biomassa sebagai bahan alternatif dalam campuran aspal merupakan inovasi penting untuk mendukung konstruksi jalan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik Marshall pada campuran aspal yang menggunakan substitusi filler berupa Abu Sekam Padi (RHA) dan Abu Tempurung Kelapa (ATK) dengan kadar 50%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji Marshall terhadap 15 benda uji dengan variasi kadar aspal rencana 5% hingga 7% untuk masing-masing campuran usulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan RHA dan ATK secara signifikan memengaruhi sifat volumetrik campuran. Filler RHA dan ATK memiliki daya serap aspal yang tinggi, sehingga meningkatkan nilai VMA dan VIM pada kadar aspal yang rendah. Namun, pada kadar aspal tinggi yaitu 6,5%–7%, stabilitas campuran meningkat drastis melampaui sampel normal, dengan nilai kelelahan (flow) yang tetap memenuhi spesifikasi yang menunjukkan peningkatan kekakuan campuran. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menunjukkan bahwa sampel normal memiliki KAO sebesar 6%, sedangkan sampel substitusi 50% ATK memerlukan 6,5%–7%, dan sampel 50% RHA memerlukan 7%. Meskipun penggunaan limbah biomassa meningkatkan kebutuhan kadar aspal sebesar 0,5%–1%, material ini efektif meningkatkan stabilitas dan ketahanan campuran.

Kata Kunci : Abu Sekam Padi; Abu Tempurung Kelapa; Filler; Karakteristik Marshall; Kadar Aspal Optimum.

ABSTRACT

The utilization of biomass waste as an alternative material in asphalt mixtures represents a significant innovation in supporting sustainable road construction. This study aims to evaluate the Marshall characteristics of asphalt mixtures using a 50% substitution of Rice Husk Ash (RHA) and Coconut Shell Ash (ATK) as fillers. Testing was conducted using the Marshall test on 15 specimens, with planned asphalt contents ranging from 5% to 7% for each proposed mixture. The results indicate that the use of RHA and ATK significantly influences the volumetric properties of the mixture. Due to their high asphalt absorption, these fillers increase the VMA and VIM values at lower asphalt contents. However, at higher asphalt contents (6.5%–7%), the mixture stability increases drastically, surpassing the normal samples, while the flow values remain within specifications, indicating enhanced mixture stiffness. The determination of Optimum Asphalt Content (OAC) showed that the normal sample has an OAC of 6%, whereas the 50% ATK substitution requires 6.5%–7%, and the 50% RHA substitution requires 7%. Although the use of biomass waste increases the required asphalt content by 0.5%–1%, these materials effectively improve the stability and durability of the mixture.

Keywords : Rice Husk Ash; Coconut Shell Ash; Filler; Marshall Characteristics; Optimum Asphalt Content.

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir telah terjadi peningkatan urgensi daur ulang limbah dalam konstruksi jalan dalam upaya menciptakan infrastruktur transportasi yang berkelanjutan dan

ramah lingkungan. Salah satu strategi utama adalah memodifikasi komposisi agregat atau pengisi (filler) yang digunakan dan menambahkan beberapa bahan polimer alami untuk membantu mengurangi eksploitasi bahan baku (Bethary, et al 2021; Ansyory, et al 2025; Firda, et al 2025). Sebagai negara agraris, Indonesia adalah negara penghasil beras terkemuka di Asia Tenggara, dengan luas lahan yang dapat dipanen sebesar 10,41 juta hektar dengan produksi beras mencapai 54,42 ton gabah yang setara dengan 31,36 juta ton beras. Proses penggilingan beras menghasilkan volume limbah yang besar yang dikenal sebagai sekam padi. Karena kandungan protein yang rendah dan kandungan abu yang tinggi, sekam padi sering dianggap tidak bernilai dan biasanya dibuang dengan membakar, mengubur, atau membuangnya ke badan air (Ramadhani, et al 2022). Selain sekam padi, terdapat juga limbah dari hasil perkebunan kelapa yaitu serabut dan tempurung kelapa yang hingga saat ini menjadi problem penanganan limbah. Masing-masing limbah ini apabila dijadikan bentuk abu maka dapat digunakan sebagai material alternatif untuk bahan konstruksi untuk mendukung upaya dalam pengurangan limbah di lingkungan (Rashif, et al 2025). Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji secara mendalam integrasi Abu Sekam Padi (RHA) sebagai material filler inovatif dalam campuran aspal. Fokus utama dari studi-studi tersebut menyoroti potensi RHA dalam meningkatkan berbagai karakteristik mekanis campuran sekaligus mendukung aspek keberlanjutan dalam konstruksi jalan (Li, et al 2022). Pemanfaatan RHA terbukti mampu memperbaiki performa struktur perkerasan, menjadikannya alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan material pengisi konvensional yang kian menipis sumber dayanya (Ramadhani, et al 2025).

Selain itu, pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa (ATK) sebagai bahan filler merupakan alternatif strategis untuk mengoptimalkan kinerja campuran beraspal. Sejalan dengan studi terdahulu, penggunaan limbah ini bertujuan untuk memberikan informasi komprehensif mengenai pengaruh substitusinya terhadap stabilitas dan karakteristik mekanis campuran tersebut (Widyastuti, et al 2023; Putra, et al 2025). Potensi utama ATK terletak pada kandungan silikanya (SiO_2) yang tinggi, yang memiliki karakteristik serupa dengan semen dalam hal pengikatan. Dengan mengolah limbah tempurung kelapa menjadi abu, material ini tidak hanya berfungsi sebagai pengisi rongga dalam campuran, tetapi juga diproyeksikan mampu meningkatkan kekuatan mekanis serta durabilitas perkerasan jalan secara signifikan (A'yuni, et al 2023; Farida, et al 2025; Batubara, et al 2025). Dengan mempertimbangkan latar belakang tersebut, penelitian ini berusaha untuk mengkaji kinerja campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan substitusi kombinasi Abu Sekam Padi (ASP) dan Abu Tempurung Kelapa (ATK) sebanyak 50% dari berat filler konvensional yaitu semen. Permasalahan penelitian ini dihadapkan pada terbatasnya informasi mengenai sinergi (kombinasi) kedua limbah biomassa tersebut terhadap stabilitas dan karakteristik Marshall, terlebih penelitian sebelumnya umumnya terbatas pada penggunaan salah satu bahan secara terpisah.

METODE PENELITIAN

Jenis campuran aspal yang digunakan dalam studi ini adalah Aspal Beton-Lapisan Permukaan (AC-WC) dengan jenis campuran yaitu *hotmix*. Tahap awal pengujian dimulai dengan merancang kandungan aspal yang direncanakan melalui tahap DMF (*design mix*

formula). Penentuan kadar aspal campuran dilakukan berdasarkan analisis proporsi agregat yang tertahan pada ayakan No. 8 (CA), persentase yang lolos ayakan No. 8 dan tertahan No. 200 (FA), serta persentase yang lolos ayakan No. 200, mengacu pada *Asphalt Institute MS-2 Edisi ke-7*. Berdasarkan hasil perhitungan, rentang kadar aspal yang direncanakan yang diperoleh adalah 5,57% hingga 6,41%, dengan rata-rata 6,00% dipilih sebagai referensi dasar (Irfan, et al 2025). Untuk pembuatan spesimen uji Marshall, variasi kandungan aspal yang digunakan meliputi 5%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0% dengan setiap variasi terdiri dari tiga spesimen. Analisis komposisi agregat untuk campuran AC-WC ini dilakukan secara matematis dengan batas gradasi yang digunakan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018. Berdasarkan hasil analisis matematika, diperoleh proporsi campuran sebagai berikut: batu pecah sebesar 32,24%, screen 26,62%, pasir 10,37%, abu batu 25,56%, dan filler 5,21% (Ramadhani, et al 2024; Jimmyanto, et al 2024).

Pengujian sampel aspal campuran panas dilakukan dengan menggunakan pemadat dengan 2 x 75 pukulan per sampel untuk pengujian Marshall. Pengujian campuran aspal panas dilakukan sesuai dengan SNI 2489:2018. Prosedur ini digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari sampel (Firda, et al 2022; Jimmyanto, et al 2025). Perhitungan sampel yang rinci untuk pengujian Marshall ditunjukkan dalam Tabel 1. Proporsi Abu Sekam Padi (RHA) dan Abu Tempurung Kelapa (ATK) ditetapkan masing-masing sebesar 50% untuk menggantikan filler konvensional berupa semen. Penentuan batas substitusi ini didasarkan pada studi literatur terdahulu yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah biomassa sebagai bahan pengisi masih memberikan hasil yang efektif pada rentang 40% hingga 100%. Dengan mengambil nilai 50%, penelitian ini bertujuan untuk mencari titik keseimbangan antara pemanfaatan limbah dan penghematan penggunaan bahan tambang (Patelle, et al 2024; Iqbal, et al 2025). Untuk penentuan kadar aspal optimum pada penelitian ini menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018.

Tabel 1. Jumlah Sampel Pengujian Marshall

No.	Nama Sampel	% Filler			Kadar Aspal Rencana					Total
		Semen	RHA	ATK	5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
1	Normal	100	0	0	3	3	3	3	3	15
2	50%RHA	50	50	0	3	3	3	3	3	15
3	50%ATK	50	0	50	3	3	3	3	3	15

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Pengujian material mencakup analisis karakteristik aspal dan agregat untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar yang berlaku. Hasil pengujian aspal, yang meliputi penetrasi, berat jenis (*specific gravity*), dan titik lembek, disajikan pada Tabel 2. Pengujian penetrasi terhadap dua sampel menghasilkan nilai rata-rata 62,1, yang memenuhi spesifikasi rentang 60–70. Pengujian berat jenis menghasilkan nilai rata-rata 1,038, di mana data ini selanjutnya digunakan dalam perhitungan parameter Marshall. Sementara itu, pengujian titik lembek menunjukkan nilai rata-rata 54°C. Pada Tabel 3, ditampilkan karakteristik agregat yang terdiri dari batu pecah, screen, pasir, dan abu batu, yang secara umum memenuhi batas spesifikasi. Namun, pengujian pada bahan pengisi (filler) berupa RHA dan ATK

menunjukkan nilai berat jenis yang tidak memenuhi spesifikasi agregat alam. Hal ini dikarenakan RHA dan ATK merupakan limbah biomassa hasil pertanian, bukan agregat alami. Meskipun demikian, nilai berat jenis tersebut tetap digunakan untuk menentukan parameter Marshall.

Tabel 2. Hasil Pengujian Aspal

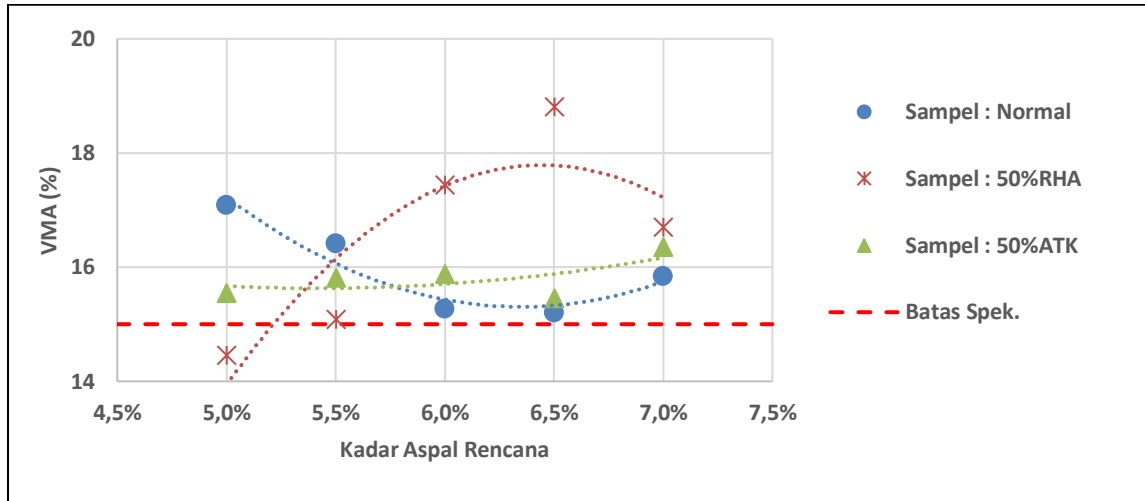
Pengujian	Metode	Spesifikasi	Hasil Uji
Uji Penetrasi aspal (25°C, 100g, 5 detik)	SNI 2456-2011	60-70	62,1
<i>Specific Gravity</i> (25°C)	SNI 2441-2011	Min. 1,00	1,038
Titik Lembek	SNI 2434-2011	Min. 48°C	54°C

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

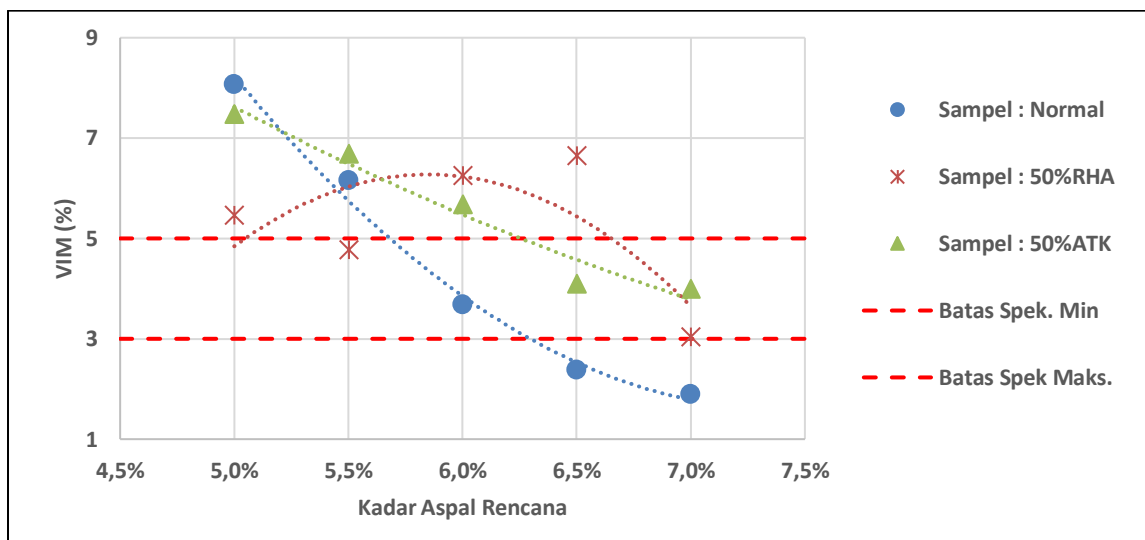
Jenis Pengujian	Batu Pecah	Screen	Pasir	Abu Batu	RHA	ATK	Spesifikasi
Kadar Lumpur (%)	0,53	1,35	3,75	-	-	-	Maks. 5
Berat jenis kering	2,63	2,76	2,55	2,49	1,91	0,79	
Berat jenis kering permukaan	2,69	2,77	2,57	2,58	1,91	0,79	Min 2,5
Berat jenis semu	2,75	2,82	2,67	2,74	1,91	0,79	
Penyerapan air (%)	1,17	0,91	2,24	3,80	1,91	-	Maks. 5
Material lolos saringan No. 200 (%)	-	-	4,86	4,23	-	-	-

Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian Marshall diperoleh dari 15 benda uji dengan variasi kadar aspal rencana antara 5% hingga 7%. Setiap kadar aspal diwakili oleh tiga sampel, sehingga nilai yang disajikan pada Gambar 1 sampai Gambar 5 merupakan nilai rata-rata. Gambar 1 menunjukkan tren nilai Voids in Mineral Aggregate (VMA) pada setiap variasi sampel. Teramati bahwa nilai VMA mengalami peningkatan pada sampel dengan substitusi 50% RHA dan 50% ATK, sementara sampel normal menunjukkan tren penurunan. Fenomena ini diduga terjadi akibat tingginya penyerapan oleh filler RHA dan ATK yang memiliki struktur mikro berongga (Karthik et al., 2024). Semakin tinggi kadar aspal, semakin besar pula nilai VMA yang dihasilkan pada sampel 50% RHA dan 50% ATK. Hal ini mengindikasikan bahwa aspal lebih banyak terserap ke dalam pori agregat dibandingkan mengisi rongga antar butiran. Gambar 2 menyajikan grafik nilai Voids in Mixture (VIM) pada berbagai variasi campuran. Teramati bahwa tren nilai VIM pada sampel normal dan sampel 50% ATK cenderung menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Sementara itu, pada sampel 50% RHA, nilai VIM mengalami fluktuasi (naik-turun) ketika kadar aspal melebihi 6,5%. Berdasarkan standar yang berlaku, nilai VIM sampel normal memenuhi spesifikasi pada rentang kadar aspal 5,7% hingga 6,3%. Untuk sampel 50% ATK, pemenuhan spesifikasi dimulai pada kadar aspal 6,2% hingga 7,0%, sedangkan sampel 50% RHA baru mencapai batas syarat pada kadar aspal 6,7% hingga 7%. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan filler dari limbah biomassa secara signifikan memengaruhi karakteristik rongga dalam campuran. Dibutuhkan kadar aspal yang lebih tinggi untuk mencapai nilai VIM yang disyaratkan. Bahkan pada kadar aspal 7%, nilai VIM masih berada dalam rentang spesifikasi dan belum menyentuh batas minimum sebesar 3%.

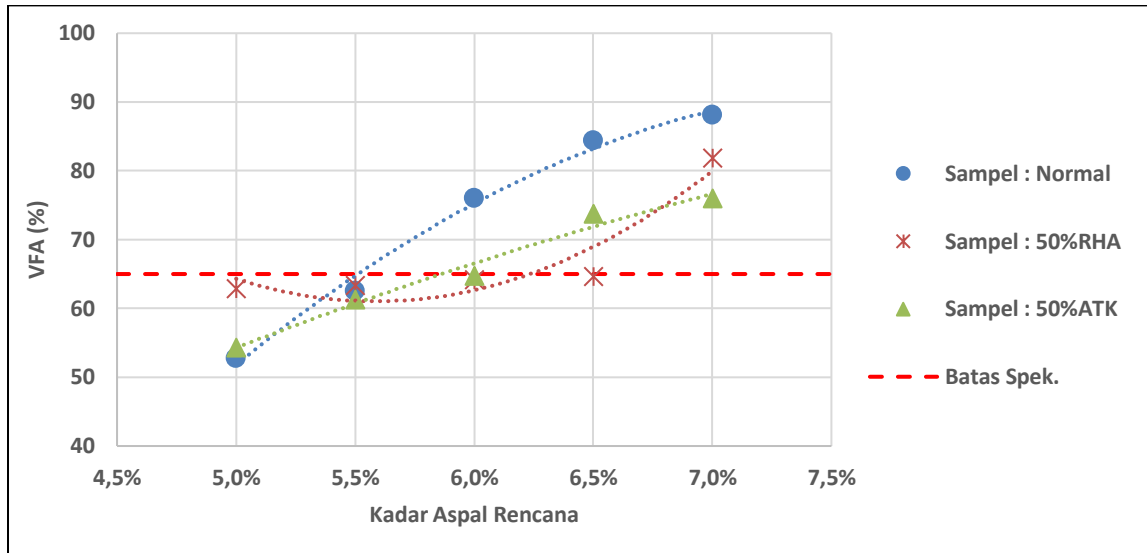


Gambar 1. Hasil Nilai VMA Dari Campuran Usulan

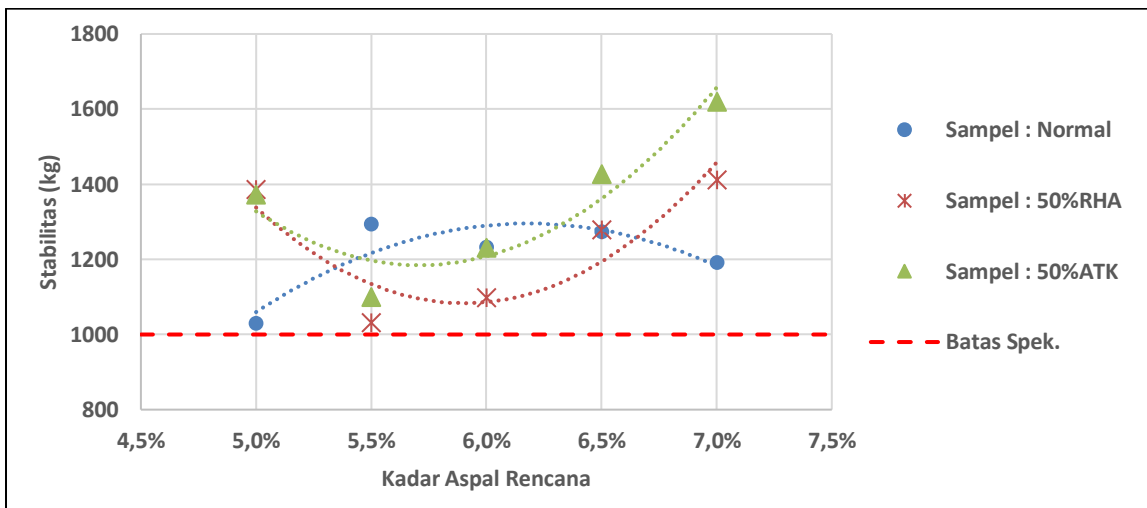


Gambar 2. Hasil Nilai VIM Dari Campuran Usulan

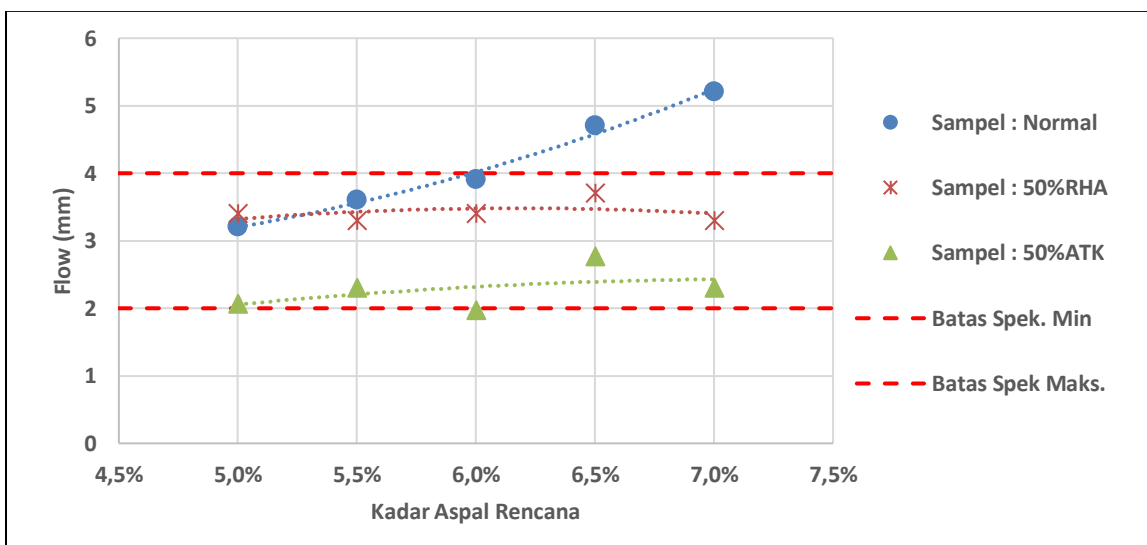
Gambar 3 menyajikan hasil pengujian nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA), di mana seluruh variasi sampel menunjukkan tren peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Pada sampel normal, nilai VFA telah memenuhi batas spesifikasi sejak kadar aspal 5,5%. Sebaliknya, sampel dengan substitusi 50% ATK dan 50% RHA memerlukan kadar aspal yang jauh lebih tinggi untuk mencapai batas minimum VFA yang disyaratkan. Fenomena ini disebabkan oleh tingginya tingkat penyerapan aspal oleh material RHA dan ATK, sehingga volume aspal belum efektif dalam mengisi serta menyelimuti rongga antar butiran pada kadar yang rendah. Secara spesifik, sampel substitusi 50% RHA membutuhkan kadar aspal yang lebih besar dibandingkan dengan sampel 50% ATK untuk memenuhi standar VFA, sebagaimana ditunjukkan oleh batas rentang kadar aspal pada grafik tersebut.



Gambar 3. Hasil Nilai VFA Dari Campuran Usulan



Gambar 4. Hasil Nilai Stabilitas Dari Campuran Usulan



Gambar 5. Hasil Nilai Flow Dari Campuran Usulan

Gambar 4 menyajikan nilai stabilitas campuran pada berbagai variasi kadar aspal rencana. Teramati perbedaan tren yang signifikan antara sampel normal dengan sampel substitusi 50% RHA dan 50% ATK. Pada sampel normal, stabilitas mencapai titik puncak pada kadar aspal 6,0% sebelum kemudian mengalami penurunan. Sebaliknya, sampel 50% RHA dan 50% ATK justru mengalami penurunan stabilitas hingga kadar aspal 6,0%, dan baru menunjukkan tren peningkatan pada kadar aspal di atas 6,5%. Fenomena ini terjadi karena pada kadar aspal yang rendah, material filler (RHA dan ATK) cenderung menyerap aspal terlebih dahulu sebelum aspal tersebut dapat berfungsi mengisi rongga antar agregat. Hal ini menyebabkan tingginya nilai VMA dan VIM, yang mengindikasikan struktur campuran masih memiliki rongga berlebih sehingga kekuatan stabilitasnya rendah (Deb, et al 2023). Namun, ketika kadar aspal melampaui 6,0%, filler diperkirakan telah mencapai kondisi jenuh (kenyang aspal). Penambahan kadar aspal selanjutnya memungkinkan aspal mengisi rongga antar agregat secara efektif, sehingga memperkuat struktur campuran dan meningkatkan nilai stabilitas, sebagaimana terkonfirmasi pula oleh peningkatan nilai VFA.

Gambar 5 menyajikan nilai kelelahan (*flow*) untuk setiap variasi campuran, di mana terdapat perbedaan tren antara sampel normal dengan sampel substitusi 50% RHA dan 50% ATK seiring bertambahnya kadar aspal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *flow* pada sampel 50% RHA dan 50% ATK tetap memenuhi batas spesifikasi pada seluruh rentang kadar aspal yang diuji. Berbeda dengan parameter Marshall lainnya, parameter *flow* pada variasi substitusi limbah biomassa ini menunjukkan konsistensi dalam memenuhi standar teknis. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan kekakuan pada campuran, sehingga saat menerima beban lalu lintas, deformasi atau penurunan campuran yang terjadi tidak terlalu besar.

Secara keseluruhan, penggunaan limbah biomassa berupa RHA dan ATK sebagai substitusi filler memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik campuran Marshall. Meskipun material ini memiliki tingkat absorpsi yang tinggi sehingga memerlukan kadar aspal yang lebih besar (6,5% hingga 7%) untuk mencapai kejenuhan rongga campuran yang dihasilkan menunjukkan performa stabilitas dan kekakuan yang unggul dibandingkan campuran normal pada kadar aspal tinggi. Hal ini membuktikan bahwa limbah biomassa memiliki potensi besar untuk meningkatkan ketahanan struktur perkerasan terhadap deformasi beban lalu lintas. Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan untuk melakukan uji performa lanjutan berupa pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) dan Cantabro Test untuk melihat ketahanan campuran dalam jangka panjang. Selain itu, mengingat tingginya daya serap aspal oleh RHA dan ATK, perlu dilakukan kajian optimasi ukuran butiran filler atau penggunaan bahan tambah tertentu guna menekan kebutuhan kadar aspal tanpa mengurangi nilai stabilitas campuran.

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan seluruh parameter pengujian Marshall yang telah dilakukan, penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan dengan meninjau titik temu rentang spesifikasi dari setiap parameter. Tabel 4 menyajikan nilai rata-rata parameter Marshall untuk sampel normal pada setiap variasi kadar aspal rencana. Analisis terhadap sampel normal menunjukkan bahwa nilai VMA memenuhi spesifikasi pada seluruh kadar aspal yang diuji. Namun, parameter VIM hanya memenuhi syarat pada kadar aspal 6%, sementara nilai VFA

berada dalam rentang spesifikasi pada kadar aspal 6% hingga 7%. Dari sisi kekuatan mekanis, nilai stabilitas memenuhi standar di seluruh variasi kadar aspal, sedangkan nilai flow hanya memenuhi spesifikasi pada rentang 5% hingga 6%. Dengan mempertimbangkan irisan dari seluruh parameter tersebut, maka nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk sampel normal ditetapkan sebesar 6%.

Tabel 4. Penentuan Kadar Aspal Optimum Sampel Normal

Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	17,08	16,41	15,27	15,20	15,84	Min 15
Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	8,07	6,16	3,67	2,37	1,89	3 – 5
Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	52,77	62,53	75,99	84,41	88,06	Min 65
Stabilitas	kg	1029,90	1295,02	1233,84	1274,63	1193,05	1000
Flow	mm	3,20	3,60	3,90	4,70	5,20	2 - 4

Berdasarkan hasil pengujian Marshall pada sampel dengan substitusi 50% RHA, penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) ditunjukkan pada Tabel 5. Hasil analisis menunjukkan bahwa karakteristik campuran ini sangat dipengaruhi oleh sifat absorpsi material RHA. Nilai VMA memenuhi spesifikasi mulai dari kadar aspal 5,5% hingga 7%. Namun, untuk parameter VIM dan VFA, pemenuhan spesifikasi hanya tercapai pada kadar aspal 7%, di mana pada kadar tersebut nilai VIM berada pada batas bawah (3,04%) dan VFA telah melampaui batas minimum (81,86%). Sementara itu, parameter stabilitas dan flow menunjukkan performa yang konsisten memenuhi standar pada seluruh rentang kadar aspal rencana. Dengan mempertimbangkan irisan dari seluruh parameter yang memenuhi spesifikasi, maka ditetapkan bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk sampel 50% RHA adalah sebesar 7%.

Tabel 5. Penentuan Kadar Aspal Optimum Sampel 50RHA

Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	14,46	15,09	17,44	18,81	16,70	Min 15
Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	5,46	4,78	6,26	6,65	3,04	3 – 5
Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	62,91	63,36	64,20	64,63	81,86	Min 65
Stabilitas	kg	1386,90	1032,47	1098,73	1279,03	1413,10	1000
Flow	mm	3,40	3,30	3,40	3,70	3,30	2 - 4

Analisis penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk sampel dengan substitusi 50% ATK disajikan pada Tabel 6. Secara keseluruhan, seluruh parameter Marshall menunjukkan performa yang baik terhadap variasi kadar aspal rencana. Nilai VMA dan stabilitas memenuhi spesifikasi pada seluruh rentang kadar aspal yang diuji. Namun, pemenuhan parameter VIM dan VFA baru tercapai mulai pada kadar aspal 6,5%. Pada kadar aspal tersebut, nilai VIM berada dalam rentang standar, serta nilai VFA telah melampaui batas minimum 65%. Sementara itu, nilai kelelahan secara konsisten berada dalam batas aman

spesifikasi di hampir seluruh titik pengujian. Dengan mempertimbangkan irisan dari seluruh parameter yang memenuhi syarat teknis, maka diperoleh nilai KAO untuk sampel 50% ATK pada rentang 6,5% hingga 7%.

Tabel 6. Penentuan Kadar Aspal Optimum Sampel 50ATK

Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	15,55	15,81	15,89	15,46	16,35	Min 15
Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	7,48	6,69	5,68	4,09	4,00	3 – 5
Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	54,29	61,29	64,71	73,75	76,01	Min 65
Stabilitas	kg	1372,78	1100,25	1231,47	1428,30	1620,09	1000
Flow	mm	2,07	2,30	1,97	2,77	2,30	2 - 4

Penggunaan substitusi filler biomassa (RHA dan ATK) terbukti meningkatkan kebutuhan kadar aspal ke angka yang lebih tinggi (6,5% – 7%) dibandingkan sampel normal (6%). Hal ini disebabkan oleh struktur mikro berongga pada limbah pertanian yang menyerap aspal lebih banyak. Meskipun memerlukan kadar aspal lebih tinggi, campuran substitusi ini menawarkan keunggulan pada nilai stabilitas yang lebih besar dan kekakuan campuran yang lebih baik. Mengingat tingginya kebutuhan aspal pada campuran substitusi, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan mengenai penggunaan bahan tambah atau modifikasi gradasi agregat yang dapat menekan tingkat absorpsi filler tanpa mengurangi kekuatan mekanis campuran.

KESIMPULAN

Pengujian penetrasi, berat jenis, dan titik lembek menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi. Namun, filler RHA (Abu Sekam Padi) dan ATK (Abu Tempurung Kelapa) memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan agregat alam karena sifat alamnya sebagai limbah biomassa. Penggunaan substitusi 50% RHA dan 50% ATK secara signifikan mengubah karakteristik Marshall campuran AC-WC dengan hasil sebagai berikut: (1) Terjadi peningkatan nilai rongga (VMA dan VIM) pada kadar aspal rendah karena struktur pori pada RHA dan ATK menyerap aspal lebih banyak, sehingga aspal belum efektif mengisi rongga antar agregat; (2) Meskipun sempat menurun di kadar aspal awal, nilai stabilitas meningkat drastis setelah filler mencapai kondisi jenuh aspal (di atas kadar 6,0%–6,5%). Hal ini menunjukkan bahwa limbah biomassa mampu memperkuat struktur campuran; (3) Nilai flow pada sampel substitusi cenderung lebih stabil dan memenuhi spesifikasi, yang mengindikasikan adanya peningkatan kekakuan (campuran sehingga lebih tahan terhadap deformasi akibat beban; (4) Secara keseluruhan, meskipun penggunaan 50% RHA dan 50% ATK berpotensi peningkatan kadar aspal sebesar 0,5% hingga 1% dibandingkan campuran konvensional, kedua material limbah ini mampu menghasilkan stabilitas yang unggul dan kekakuan campuran yang lebih baik, menjadikannya alternatif filler yang potensial untuk meningkatkan performa perkerasan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansyory, D., Jimmyanto, H., Aminullah, M. W., & Susanti, S. (2025). *Studi Eksperimental Penggunaan Vacuum Residue Dalam Campuran Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*. Jurnal Desiminasi Teknologi, 105-111.
- A'yuni, H. E. P., & 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, 107-119.
- 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.
- Bethary, R. T., & Intari, D. E. (2021). *Modulus Resilien Campuran Beraspal Modifikasi Polimer AC-WC Menggunakan Filler Gypsum*. Jurnal Transportasi, 21(3), 165–172.
- Deb, P., & Singh, K. L. (2023). *Utilization Of Fly Ash And Rice Husk Ash In Cold Mix Asphalt As Filler*. In E3S Web of Conferences (Vol. 455, p. 03009). EDP Sciences.
- 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.
- Firda, A., Permatasari, R., Jimmyanto, H., & Ammarullah, M. I. (2025). *Artificial Polymer Lightweight Aggregate Concrete With Coal Fly Ash for Biomedical Infrastructure: Mechanical, Physical, and Microstructural Investigation*. Engineering Reports, 7(6), e70196.
- Firda, A., Djohan, B., Jimmyanto, H., & Febrianty, D. (2022). *Pengaruh Penambahan Plastik (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete “Wearing Course) Terhadap Karakteristik Marshall*. Jurnal Deformasi, 7(2), 127-144.
- Irfan, M. I., Ramadhani, R., Jimmyanto, H., & Aminuddin, K. M. (2025). *Marshall Characteristics of AC-WC Mixture Using Waste Tire Powder and Solid Natural Rubber as Replacements for Fine Aggregate*. Fondasi: Jurnal Teknik Sipil, 14(2), 317-329.
- Iqbal, D., Kumita, K., & Munandar, A. (2025). *Karakteristik Marshall Ac-Wc Menggunakan Substitusi Abu Tempurung Kelapa Sebagai Filler*. Tameh, 14(1), 44-52
- Jimmyanto, H., Arliansyah, J., & Kadarsa, E. (2024). *The Impact Of Utilizing Waste Tire And Solid Natural Rubber As Asphalt Binder Substitutions On The Asphalt Concrete-Wearing Course Mixtures*. Civil Engineering and Architecture, 12(3), 1660-1677.
- Jimmyanto, H., & Reskita, L. L. (2025). *Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Stabilitas Campuran Aspal AC-BC*. Paulus Civil Engineering Journal, 7(3), 362-369.

- Karthik, C. K., Kanta Rao, M., Narra, M., Srinivas, C., & Mani Kiran, P. (2024, June). *Performance Based Evaluation On Strengthening Of Flexible Pavement Using Sbr And Rice Husk Ash As Filler Material*. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2779, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.
- Li, Y., Abdelmagid, A. A., Qiu, Y., Yang, E., & Chen, Y. (2022). *Study On The Aging Mechanism And Microstructure Analysis Of Rice-Husk-Ash-And Crumb-Rubber-Powder-Modified Asphalt*. Polymers, 14(10), 1969.
- Patelle, T., Elizabeth, E., & Fitrian, E. B. (2024). *Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran AC-WC Menggunakan Agregat Sungai Pappa*. Paulus Civil Engineering Journal, 6(3), 528-537.
- Putra, R. S., Ramadhani, R., & Haruno, H. (2025). *Karakteristik Marshall Campuran AC-WC yang Menggunakan Abu Tempurung Kelapa dan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Filler*. Jurnal Multidisiplin Dehasen (MUDE), 4(4), 955-964.
- Ramadhani, R., Arliansyah, J., Kadarsa, E., Rahman, H., & Rosidawani, R. (2022, October). *Review Of The Literature On The Use Of Rice Husk Ash As A Sustainable Filler Substitute In Hot Rubber Asphalt Mixtures For Road Pavements' Wearing Course*. In Proceedings of the 3rd Sriwijaya International Conference on Environmental Issues, SRICOENV (pp. 1-7).
- Ramadhani, R., Arliansyah, J., Kadarsa, E., Rahman, H., Jimmyanto, H., Yusuf, A. A., & Ammarullah, M. I. (2025). *Bio-Based Rice Husk Ash as an Eco-Friendly Filler in Pre-Vulcanized Latex Asphalt Concrete Wearing Course Mixtures*. Journal of Natural Fibers, 22(1), 2517668.
- Ramadhani, R., Arliansyah, J., & Kadarsa, E. (2024). *The Effect Of Pre-Vulcanized Latex Usage On Marshall Characteristics And Stiffness Modulus In Hot Mix Asphalt Wearing Course (AC-WC) Mixtures*. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences, 33(2), 185-204.
- Rashif, M. F., Nisumanti, S., & Al Qubro, K. (2025). *Analisis Pengaruh Penambahan Crumb Rubber dan Filler Abu Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Lapis Aus (AC-WC)*. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 11(3), 281.
- Widyastuti, S., & Widayanti, A. (2023). *Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Filler pada Campuran Perkerasan Asphalt Concrete-Binder Course*. Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi), 5(2), 134-140.



Jurnal Deformasi is licensed under
a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License