



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 14428-14443

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) dengan Substitusi Bahan Limbah Silica Sand dan Areca Catechu (Pinang)

Alfi Rihadatul Aisy, Vannya Segawati, Rachmat Mudiyo
Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung
alfirihadatulaisy16@gmail.com, vanniyasegawati@gmail.com*

Abstrak

Peningkatan pembangunan jalan meningkatkan kebutuhan material pada perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), khususnya lapisan Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC). Pembangunan infrastruktur jalan merupakan salah satu aspek penting dalam peningkatan konektivitas untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas dari suatu daerah ke daerah yang lain. Keterbatasan bahan konvensional mendorong pemanfaatan silica sand Bangka dan kulit Areca catechu sebagai bahan substitusi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kadar substitusi terhadap karakteristik metode Marshall serta menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) melalui pengujian sifat reologi aspal guna mendukung perkerasan yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium. Variasi substitusi pasir silika Bangka sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3% terhadap agregat halus, serta limbah kulit Areca catechu sebesar 0%, 0,4%, 0,8%, dan 1,2% sebagai filler. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall untuk memperoleh parameter stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, Marshall Quotient (MQ), serta penentuan Kadar Aspal Optimum sebagai dasar evaluasi kinerja campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi optimum diperoleh pada substitusi 2% pasir silika Bangka dan 1,2% limbah kulit Areca catechu. Pada variasi tersebut diperoleh nilai stabilitas 1092,96 kg, flow 3,54 mm, dan MQ 309,04 kg/mm, dengan seluruh parameter memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2025. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan kedua material substitusi mampu menghasilkan campuran AC-WC yang layak digunakan serta berpotensi menjadi alternatif material perkerasan yang lebih berkelanjutan.

Kata kunci: AC-WC; Karakteristik Marshall; Kulit Pinang; Pasir Silika Bangka

1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan salah satu aspek penting dalam peningkatan konektivitas untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas dari suatu daerah ke daerah yang lain. Hal ini menjadi salah satu manfaat penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas wilayah. Namun, keuntungan ini akan berimplikasi pada peningkatan volume lalu lintas yang signifikan dan memperbesar kerentanan jaringan perkerasan jalan terhadap kerusakan. Kualitas jalan yang baik tidak hanya meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna, tetapi juga dapat menekan biaya operasional kendaraan.

Menurut Rodji (2024), konstruksi jalan di Indonesia umumnya mengaplikasikan tiga jenis utama perkerasan jalan, yaitu Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*), Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), dan Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*). Setiap jenis perkerasan tersebut memiliki karakteristik, keunggulan, dan keterbatasannya masing-masing. Secara spesifik, perkerasan lentur seringkali dianggap sebagai opsi yang optimal untuk pembangunan jalan baru dengan perkiraan volume lalu lintas yang relatif rendah. Perkerasan lentur dicirikan oleh penggunaan aspal sebagai bahan pengikat utamanya, lapisan yang memiliki peranan paling krusial adalah Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC).

Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR, realisasi pembangunan jalan baru di Indonesia pada periode 2020 hingga 2024 mencapai 4.512,75 kilometer. Peningkatan volume pembangunan jalan ini diproyeksikan akan berlanjut seiring dengan pelaksanaan program infrastruktur nasional. Peningkatan pembangunan jalan tersebut menimbulkan kebutuhan mendesak akan material agregat dan filler. Namun, penggunaan bahan baku konvensional dalam pembuatan AC-WC seringkali menghadapi kendala seperti ketersediaan bahan yang terbatas dan biaya produksi yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam terhadap sumber daya lokal, khususnya silica sand dari Bangka dan kulit Areca catechu.

Analisis Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) dengan Substitusi Bahan Limbah Silica Sand dan Areca Catechu (Pinang)

Pasir silika (silica sand) merupakan jenis mineral yang banyak terdapat pada lapisan kerak kontinen bumi. Pasir silika dari Bangka memiliki permukaan kasar dan tingkat kekerasan yang baik sehingga diharapkan dapat meningkatkan interlocking antar agregat. Sedangkan, kulit pinang (*Areca catechu*) hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga memiliki nilai guna yang rendah. Kulit pinang yang menimbulkan penumpukan limbah di lingkungan ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi dalam campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC).

Menurut penelitian Darmawan Senolinggi et al. (2023), pemanfaatan silica sand dari Bangka dinilai masih belum optimal dibandingkan dengan besarnya potensi cadangan yang mencapai 59 ton. Penelitian ini didasari dari upaya mengoptimalkan pemanfaatan silica sand dari Bangka sebagai campuran agregat halus serta mengintegrasikannya dengan kulit *Areca catechu* sebagai campuran filler.

Pemanfaatan limbah sebagai bahan substitusi dalam AC-WC tidak hanya dapat mengurangi biaya produksi, tetapi juga memberikan solusi ramah lingkungan dengan mengurangi limbah yang dibuang ke lingkungan. Material ini diharapkan dapat menggantikan atau bahkan memberikan kinerja yang lebih unggul dibandingkan menggunakan bahan konvensional. Tujuan utama dari substitusi material ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi bahan limbah tersebut terhadap sifat fisik, mekanik, dan ketahanan lapisan aspal. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam mengembangkan material perkerasan jalan yang ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang bertujuan untuk menguji hubungan kausal antara variabel melalui intervensi langsung di laboratorium. Metode ini dipilih karena mampu menguji validitas hipotesis secara sistematis melalui pengendalian variabel bebas dan terikat. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur sebagai dasar dalam menentukan bahan, metode, serta standar yang digunakan, mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga (2025) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Selanjutnya dilakukan pemeriksaan bahan di laboratorium untuk memastikan kesesuaian karakteristik material sebelum digunakan dalam campuran.

Pengumpulan data terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengujian langsung di laboratorium, meliputi berat jenis agregat, analisa saringan, serta parameter Marshall. Sementara itu, data sekunder berasal dari hasil pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh instansi terkait dan telah diverifikasi. Prosedur penelitian mencakup beberapa tahap, yaitu studi literatur, persiapan dan pengujian material, perancangan campuran (job mix design), penentuan kadar aspal optimum (KAO), pembuatan benda uji, analisis data, serta penarikan kesimpulan.

Material yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, aspal, pasir silika Bangka sebagai substitusi agregat halus (0–3%), serta kulit pinang (*Areca catechu*) sebagai substitusi filler (0–1,2%). Seluruh material diuji berdasarkan standar SNI, termasuk uji penetrasi (SNI 2456:2011), titik nyala dan bakar (SNI 2433:2011), titik lembek (SNI 2434:2011), viskositas (SNI 7729:2011), serta pengujian agregat seperti keausan Los Angeles (SNI 2417:2008), soundness (SNI 3407:2008), dan analisa saringan (SNI ASTM C136:2012).

Perancangan campuran dilakukan pada jenis AC-WC dengan variasi kadar aspal 4%–6% untuk menentukan KAO menggunakan metode Marshall. Setiap variasi campuran dibuat tiga benda uji sehingga total sampel berjumlah 63. Proses pembuatan benda uji meliputi pencampuran agregat dan aspal pada suhu $\pm 145^{\circ}\text{C}$, pemadatan dengan 75 tumbukan tiap sisi, serta pendinginan pada suhu ruang.

Pengujian Marshall dilakukan sesuai SNI 06-2489-1991 dan RSNI M-01-2003 dengan parameter utama stabilitas dan flow. Analisis data meliputi perhitungan parameter Marshall seperti VMA, VIM, VFA, stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ). Penentuan KAO dilakukan dengan memenuhi kriteria Bina Marga, yaitu VIM 3–5%, VMA $\geq 15\%$, VFA $\geq 65\%$, stabilitas ≥ 800 kg, dan flow 2–4 mm (Bina Marga, 2025). Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi material terhadap kinerja campuran aspal serta memberikan rekomendasi teknis.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Persiapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan meliputi pembuatan benda uji, pelaksanaan pengujian di laboratorium, penyusunan data penelitian, serta evaluasi terhadap komposisi campuran aspal. Tahapan tersebut dirancang untuk memastikan proses penelitian berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Pada tahap penyediaan material, agregat batu pecah dan aspal pertamina diperoleh dari PT. Semarang Multi Cons. Pasir silika yang digunakan sebagai substitusi agregat halus berasal dari Bangka Belitung, sedangkan kulit *Areca catechu* yang digunakan sebagai substitusi *filler* berasal dari Jambi.

Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji serta pengujian perbandingan campuran. Seluruh proses pembuatan benda uji, evaluasi karakteristik material pendukung, dan pengujian *Marshall* dilaksanakan di Laboratorium Transportasi Jalan, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 1. Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Semarang Multi Cons
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.2. Pengujian Material

Pengujian material sangat penting dilakukan karena digunakan untuk menentukan karakteristik suatu material. Pengujian material dilakukan untuk memastikan bahwa material telah memenuhi persyaratan yang diperlukan, sehingga dapat digunakan dengan maksimal.

1) Hasil Pengujian Sifat Reologi Aspal

a. Hasil Pengujian Penetrasi.

Dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal dengan memberikan beban 100 gram pada permukaan aspal menggunakan jarum penetrometer berdiameter 1 mm selama 5 detik pada suhu 25°C.



Gambar 2. Pengujian Penetrasi Aspal
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 1. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

PENGUJIAN PENETRASI BAHAN ASPAL (SNI 2456:2011)			
Contoh dipanaskan	Mulai Jam : 09.30	Suhu Oven (130 °C)	
	Selesai Jam : 10.00		
Didiamkan pada suhu ruang	Mulai Jam : 10.05		
	Selesai Jam : 11.00		
Direndam pada suhu 25°C	Mulai Jam : 11.00	Suhu <i>Water Bath</i> (25 °C)	
	Selesai Jam : 12.30		
Pemeriksaan Penetrasi	Mulai Jam : 12.30		
	Selesai Jam : 13.00		
Nomor Contoh		I	II
Penetrasi pada pengamatan ke 1	0,1 mm	60	70
Penetrasi pada pengamatan ke 2	0,1 mm	65	60
Penetrasi pada pengamatan ke 3	0,1 mm	64	64
Penetrasi pada pengamatan ke 4	0,1 mm	64	65
Penetrasi pada pengamatan ke 5	0,1 mm	70	68
Rata-rata Penetrasi	0,1 mm	64,6	65,4
		65	

Berdasarkan data pada **Tabel 1.** menunjukkan bahwa nilai rata-rata penetrasi untuk Sampel I dan Sampel II adalah 65 mm. Dengan kriteria penetrasi berkisar antara 60 mm hingga 70 mm.

b. *Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.*

Prosedur pengujian ini melibatkan pengisian cangkir Cleveland sebanyak 70 mililiter sampel aspal. Segera setelah pemanasan dimulai, suhu sampel dinaikkan secara cepat, kemudian laju kenaikan dikurangi dan dijaga stabil saat mendekati titik nyala yang diperkirakan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

PENGUJIAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR (SNI 2433:2011)		
Contoh dipanaskan	Mulai Jam : 14.00	
	Selesai Jam : 14.57	
Nomor Contoh	I	II
1	314,4	313,6
2		
Rata-rata	314 °C	

Berdasarkan data pada **Tabel 2.** pengujian titik nyala dilakukan pada dua benda uji dengan nilai rata-rata dari kedua benda uji tersebut adalah 314°C. Dapat disimpulkan bahwa titik nyala aspal tersebut berada pada suhu 314°C.

c. *Hasil Pengujian Titik Lembek.*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan aspal dalam mempertahankan kekakuannya pada kondisi suhu tinggi melalui pengukuran suhu saat bola baja yang dijatuhkan dari cincin aspal menyentuh permukaan bawah plat dari ketinggian yang telah ditentukan.



Gambar 3. Pengujian Titik Lembek
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3. Hasil Pengujian Titik Lembek

PENGUJIAN TITIK LEMBEK ASPAL (SNI 2434:2011)						
Contoh dipanaskan		Mulai Jam : 10.30			Suhu Oven (130 °C)	
		Selesai Jam : 11.15				
Didiamkan pada suhu ruang		Mulai Jam : 11.15			Suhu Lemari Es (5 °C)	
		Selesai Jam : 11.45				
Direndam pada suhu 5 (°C)		Mulai Jam : 11.45			Suhu Lemari Es (5 °C)	
		Selesai Jam : 12.00				
Pemeriksaan Titik Lembek		Mulai Jam : 12.00			Suhu Lemari Es (5 °C)	
		Selesai Jam : 12.10				
No	Suhu Yang Diamati		Nomor Contoh Waktu (Detik)		Suhu Titik Lembek (°C)	
	°C	°F	I	II	I	II
1	5	41	0	0		
2	10	50	65	60		
3	15	59	126	125		
4	20	68	185	184		
5	25	77	245	240		
6	30	86	305	300		
7	35	95	364	367		
8	40	104	425	420		
9	45	113	456	458		
10	50	122	484	480	51,8	51,6
RATA-RATA TITIK LEMBEK (°C)					51,7	

Berdasarkan **Tabel 3.** pengujian dua sampel uji menunjukkan aspal mulai meleleh pada pada waktu 480 detik dan 484 detik dengan suhu rata-rata 51,7 °C.

d. Hasil Pengujian Viskositas.

Uji ini dirancang untuk menentukan suhu pencampuran dan pepadatan aspal melalui pengukuran viskositas.



Gambar 4. Pengujian Viskositas
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4. Hasil Pengujian Viskositas

PENGUJIAN VISKOSITAS (SNI 7729:2011)				
NOMOR PENGUJIAN	SUHU (^o C)	PENGAMATAN		
		WAKTU	SAYBOLT FUROL (DETIK)	KINEMATIK (Cst)
1	120	16 menit 17 detik	970,0	2114,6
2	140	14 menit 01 detik	845,0	1842,1
3	160	06 menit 25 detik	375,0	817,5
4	180	01 menit 03 detik	63,0	137,3

Berdasarkan **Tabel 4.** hasil pengujian viskositas aspal pada suhu 140°C sebesar 1842,1 cSt, yang masih berada di atas batas minimum spesifikasi.

e. Berat Jenis Aspal.

Metode pengujian ini merupakan metode perbandingan massa bahan dan air pada keadaan yang sama.



Gambar 5. Pengujian Berat Jenis Aspal
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

PENGUJIAN BERAT JENIS ASPAL KERAS (SNI 2441:2011)			
Nomor Contoh		I	II
Berat Piknometer + Tutup (gram)	A	30,25	30,25

Berat Pikhometer + Tutup + Air (gram)	B	80,41	80,30
Berat Pikhometer + Tutup + Aspal (gram)	C	61,46	60,25
Berat Pikhometer + Tutup + Aspal + Air (gram)	D	81,10	80,95
Berat Jenis (gram/ml)	(C-A)	1,02	1,02
	(B-A)-(D-C)	1,02	

f. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal.

Pengujian yang dilakukan pada aspal tersebut meliputi penetrasi, titik nyala, titik lembek, berat jenis, dan viskositas. Parameter-parameter ini mewakili karakteristik utama Aspal Pertamina sebagai komponen dalam campuran perkerasan jalan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina

No	Jenis Pengujian	Sat	Spesifikasi Aspal Pertamina		Hasil Uji	Keterangan
			Min	Max		
1.	Penetrasi 25 °C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	Memenuhi
2.	Titik Nyala (<i>Cleveland Open Cup</i>)	°C	≥232	-	314	Memenuhi
3.	Titik Lembek 5 °C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	≥48	-	51,7	Memenuhi
4.	Berat Jenis Aspal Keras		1,0	-	1,02	Memenuhi
5.	Viskositas 135 °C	cSt	300	-	1842,1	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 6**, pengujian sifat fisik dan mekanis aspal meunjukkan kesesuaian terhadap persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga.

2) Hasil Pengujian Agregat

Hasil pemeriksaan sifat fisik yang telah diperoleh kemudian disusun dan dirangkum dalam bentuk tabel sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Persyaratan	Hasil Uji	Keterangan
A	Agregat Kasar			
1.	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat (<i>Soundness Test</i>)	Maks. 12%	2,7%	Memenuhi
2.	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i>			
	a. 100 putaran	Maks. 6%	4,3%	Memenuhi
	b. 500 putaran	Maks. 30%	20,5%	Memenuhi
3.	Analisa Saringan			
	a. <i>Coarse Agregate</i> ½"	Maks. 1%	0,64%	Memenuhi
	b. <i>Medium Agregate</i> ¾"		0,60%	Memenuhi

4.	Penyerapan Air			
	a. <i>Coarse Agregate</i> ½"	Maks. 3%	1,610%	Memenuhi
	b. <i>Medium Agregate</i> ¾"		2,090%	Memenuhi
5.	Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)			
	a. <i>Coarse Agregate</i> ½"	Maks. 2,5%	2,620%	Memenuhi
	b. <i>Medium Agregate</i> ¾"		2,610%	Memenuhi
B	Agregat Halus			
1.	Analisa Saringan			
	a. Abu Batu	Maks. 15%	3,45%	Memenuhi
	b. Pasir		12,36%	Memenuhi
2.	Penyerapan Air			
	a. Abu Batu	Maks. 3%	2,39%	Memenuhi
	b. Pasir		2,79%	Memenuhi
3.	Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)			
	a. Abu Batu	Min. 2,5%	2,51%	Memenuhi
	b. Pasir		2,51%	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 7**. material yang beraspal dari AMP PT. Semarang Multi Cons meunjukkan kesesuaian terhadap persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga.

3) Hasil Pengujian Pasir Silika Bangka

Pengujian yang dilakukan terhadap pasir silika Bangka memiliki prosedur yang sama dengan pengujian agregat halus. Hal ini disebabkan karena pasir silika tersebut digunakan sebagai substitusi agregat halus.

Tabel 8. Hasil Pengujian Pasir Silika Bangka

No	Jenis Pemeriksaan	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Nilai Setara Pasir (<i>Sand Equivalen</i>)	Min. 60%	66,35%	Memenuhi
2.	Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	Min. 45	46,6%	Memenuhi
3.	Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah Dalam Agregat	Maks. 1%	0,739%	Memenuhi
4.	Agregat Lolos Ayakan No.200	Maks. 10%	5,35%	Memenuhi
5.	Penyerapan Air	Maks. 3%	0,969%	Memenuhi
6.	Berat Jenis		2,620	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 8**. material pasir silika Bangka meunjukkan kesesuaian terhadap persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga.

4) Hasil Pengujian Areca catechu

Pengujian yang dilakukan terhadap kulit pinang memiliki prosedur yang sama dengan pengujian *filler*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Serbuk Kulit Pinang

ANALISA SARINGAN SNI ASTM C136 : 2012								
UKURAN SARINGAN		PERCOBAAN I			PERCOBAAN II			RATA - RATA
		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	%
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	%
#4	4,75							
#8	2,36							
#16	1,15	-	-	100	-	-	100	100
#30	0,6	-	-	100	-	-	100	100
#50	0,3	-	-	100	-	-	100	100
#100	0,15	120,0	60,00	100	138,0	69,00	35,50	35,50
#200	0,075	8,7	4,35	97,50	9,8	4,90	95,10	95,38
<i>Weight Of Sample (gr)</i>		200			200			

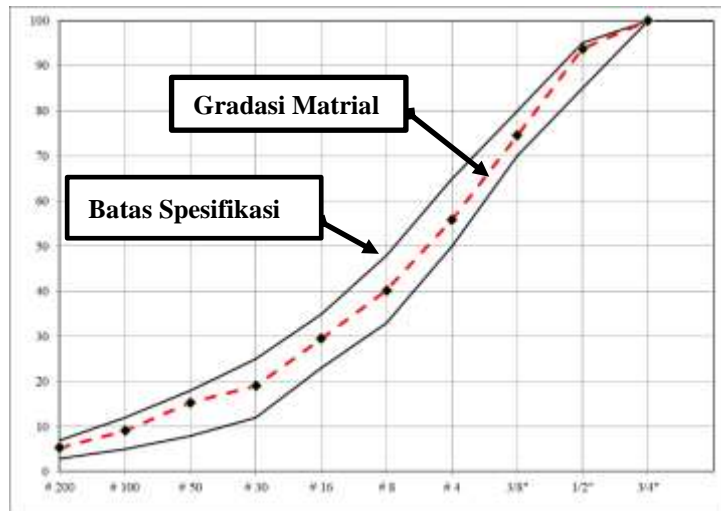
Pada **Tabel 9**, kulit pinang yang tertahan pada saringan No. #200 sebanyak 95,38% yang menunjukkan bahwa material memenuhi spesifikasi.

5) Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Perhitungan kombinasi agregat dilakukan untuk memperoleh gradasi agregat yang sesuai dengan spesifikasi campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*.

Tabel 4. Spesifikasi Kombinasi Batas Lolos Saringan

No Saringan	Presentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
# 200	5,34	3	7
# 100	9,12	5	12
# 50	15,32	8	18
# 30	19,06	12	25
# 16	29,53	23	35
# 8	40,21	33	48
# 4	55,88	50	65
3/8"	74,55	70	80
1/2"	93,75	85	95
3/4"	100,00	100	100
1"	100,00	100,00	100



Grafik 1. Kombinasi Gradasi Agregat

Berdasarkan grafik gradasi agregat, kurva gradasi berada di antara batas atas dan batas bawah spesifikasi pada seluruh ukuran saringan. Penggabungan agregat yang memiliki presentase lolos melalui saringan No. #200 hingga 1 inch tidak boleh melampaui batas yang telah ditentukan untuk setiap ukuran agregat.

3.3. Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum (KAO) merupakan campuran lapisan aspal beton (laston) dan termasuk kadar aspal yang paling efektif. Penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5% dan 6%.

1) *Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal Untuk Menentukan KAO*

Pengujian berat jenis campuran aspal untuk penentuan KAO terdapat lima variasi kadar dan setiap variasi tersebut diuji menggunakan dua jenis sampel.



Gambar 1. Pengujian GMM
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 5. Berat Jenis Campuran Aspal Untuk Menentukan KAO

No	Kadar Aspal Normal	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)										
		Contoh No:		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	Berat Botol + Contoh		1366	1366	1366	1366	1366	1366	1366	1366	1366	1366
2	Berat Botol		766	766	766	766	766	766	766	766	766	766
3	Berat Contoh		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kalibrasi)		2255	2244	2255	2239	2246	2244	2240	2244	2244	2239
5	Berat Botol + Air (batas kalibrasi)		1892	1892	1892	1892	1892	1892	1892	1892	1892	1892

6	Berat Air	363	352	363	347	354	352	348	352	352	347
7	Volume Contoh	237	248	237	253	246	248	252	248	248	253
8	Max. Specific Gravity (Gmm)	2,532	2,419	2,532	2,372	2,439	2,419	2,381	2,419	2,419	2,372
9	Temperatur Air (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi Suhu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max. Specific Gravity (Gmm)	2,532	2,419	2,532	2,372	2,439	2,419	2,381	2,419	2,419	2,372
Rata-Rata GMM		2,476		2,476		2,476		2,476		2,476	
		4%		4,5%		5%		5,5%		6%	

2) Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO

Hasil pengujian *Marshall* untuk penentuan KAO terdapat parameter yang harus dipenuhi yaitu stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), VMA, VIM, VFA. Untuk setiap variasi kadar pengujian ini digunakan tiga benda uji.

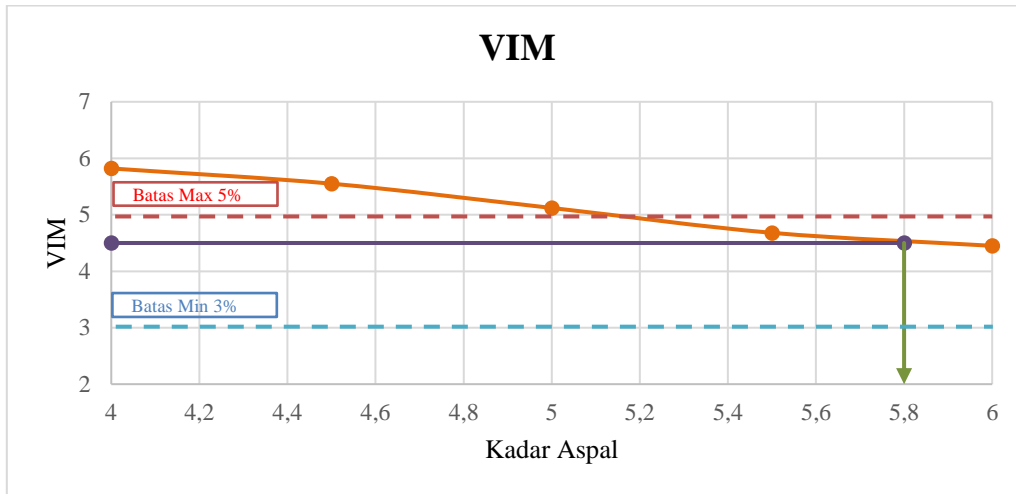


Gambar 2. Pengujian Marshall
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

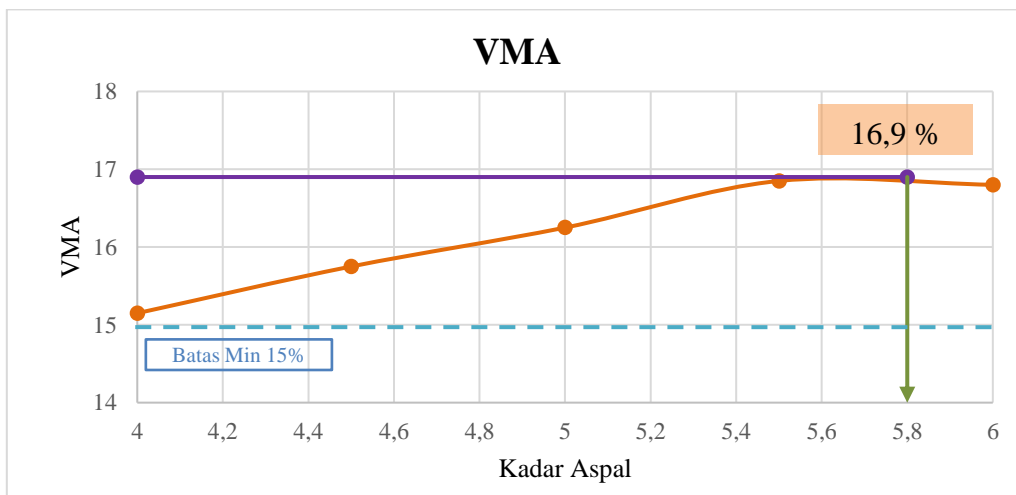
Tabel 6. Hasil Pengujian Untuk Menentukan KAO

Karakteristik Marshall		Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)
Spesifikasi	Min	800	2	-	15	3	65
	Maks	-	4	-	-	5	-
4%		2964,73	2,40	1235,31	15,04	5,72	61,95
		2994,19	2,50	1197,67	15,04	5,73	61,93
		3041,09	2,20	1382,31	15,29	6,00	60,75
Rata-rata		3000,00	2,37	1267,61	15,12	5,82	50,30
4,5%		2935,28	2,62	1120,34	15,57	5,35	65,64
		2925,47	2,52	1160,90	15,91	5,73	64,00
		3036,40	2,50	1214,56	15,76	5,56	64,73
Rata-rata		2965,72	2,55	1164,55	15,75	5,55	59,65
5%		2919,58	2,85	1024,41	16,15	5,00	69,02
		2896,02	2,90	998,63	16,02	4,85	69,72
		2886,02	2,75	1049,53	16,59	5,50	66,86
Rata-rata		2900,60	2,83	1023,74	16,25	5,12	65,58
5,5%		2872,45	3,20	897,64	16,47	4,26	74,15
		2846,93	3,20	889,67	16,82	4,65	72,33
		2876,38	3,20	898,87	17,24	5,14	70,18
Rata-rata		2865,26	3,20	895,39	16,85	4,68	70,20
6%		2640,77	4,00	660,19	17,15	4,86	71,67
		2670,22	3,90	684,67	16,69	4,32	74,09
		2650,59	4,00	662,65	16,55	4,17	74,81
Rata-rata		2653,86	3,97	669,04	16,80	4,45	76,10

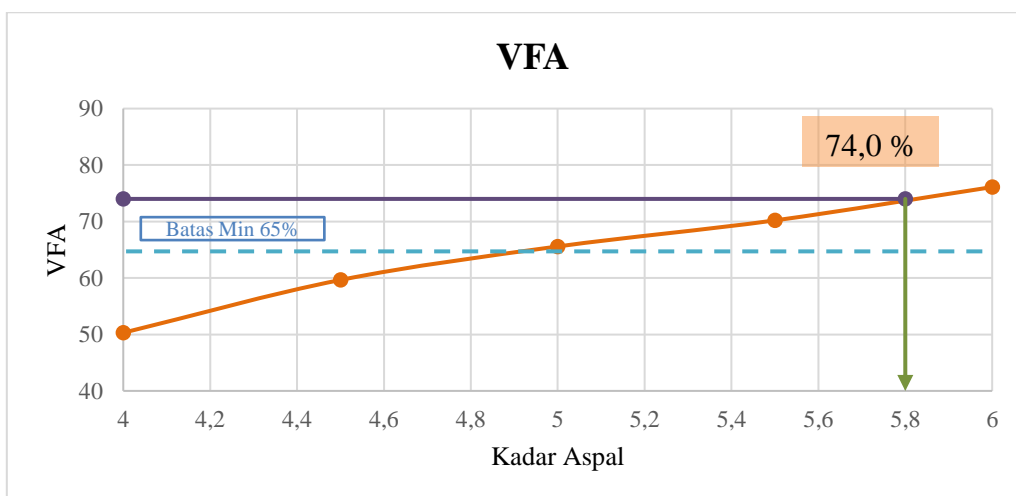
Penentuan kadar aspal optimum dilakukan berdasarkan stabilitas, *flow*, Marshall Quotient (MQ), VIM, VMA, dan VFA disajikan dalam **Tabel 4.12**. Data hasil pengujian tersebut disajikan dalam grafik berikut.



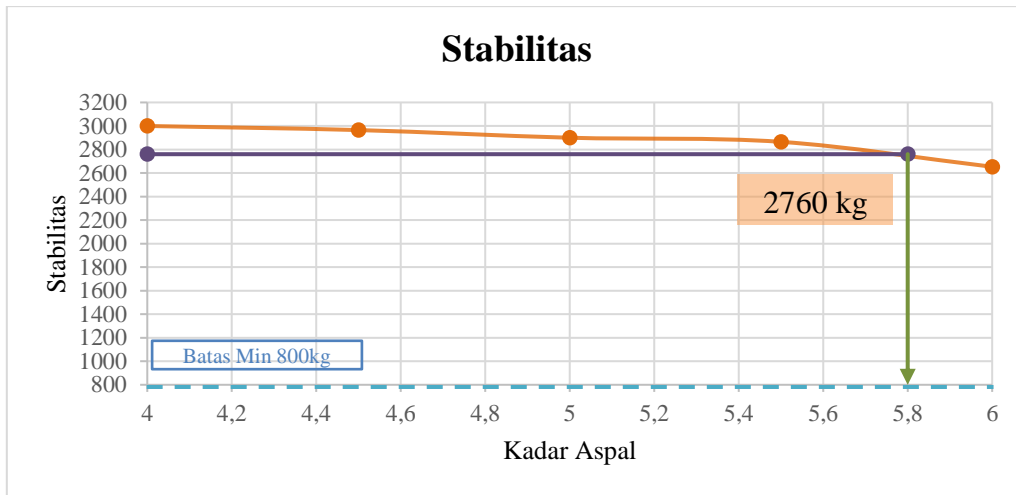
Grafik 1. VIM Penentuan KAO



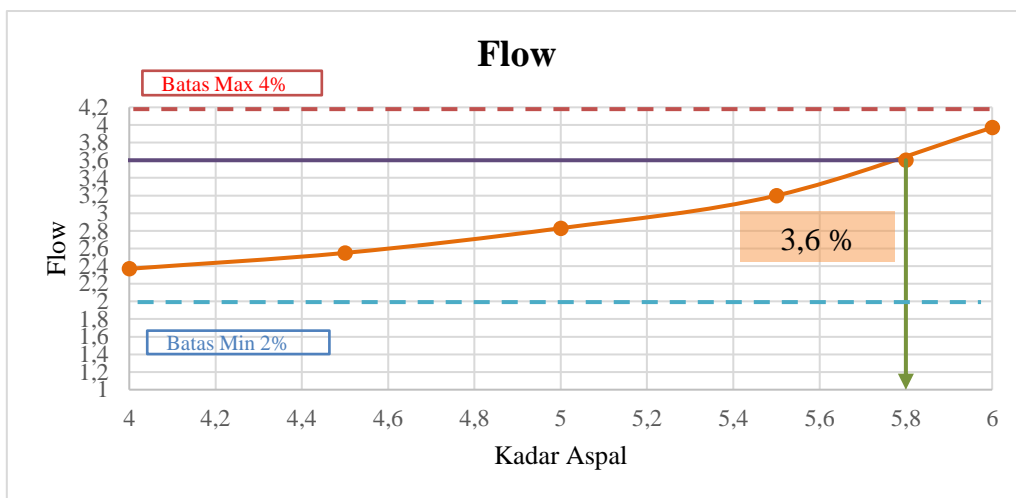
Grafik 2. VMA Penentuan KAO



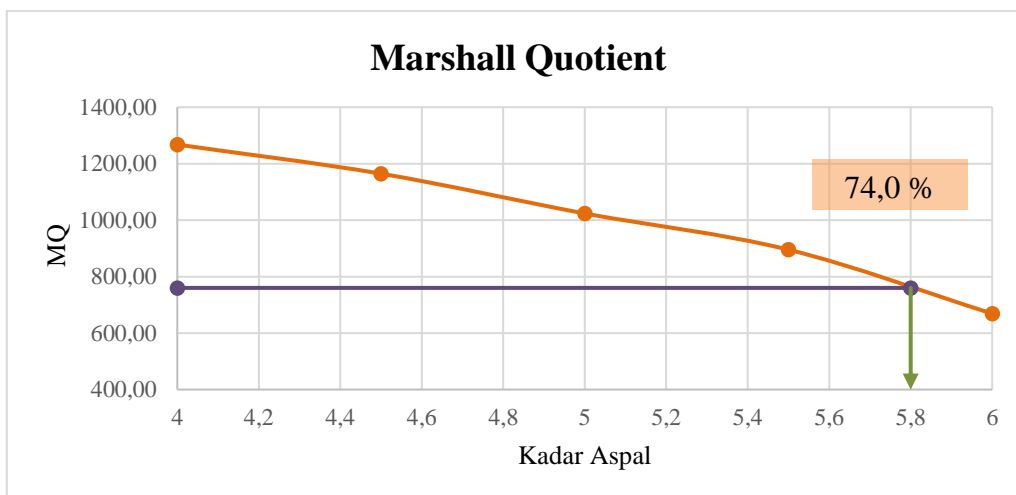
Grafik 3. VFA Penentuan KAO



Grafik 4. Stabilitas Penentuan KAO



Grafik 5. Flow Penentuan KAO



Grafik 6. Marshall Quotient Penentuan KAO

3) Hasil Perhitungan Campuran AC-WC Kadar Aspal 5,8%

Berat bahan untuk AC-WC dihitung berdasarkan kapasitas *mold* setelah persentase setiap material ditentukan. Perhitungan untuk campuran AC-WC sebagai berikut:

Kadar Aspal	= 5,8 %	
Kapasitas <i>Mold</i>	= 1200 gr	
Belrat Aspal	= 5,8 % × 1200	= 69,6 gr
Belrat Total Agregat	= (100 – 5,8)% × 1200	= 1130,4 gr
- Pasir	= 40 % × 1200 gr	= 480 gr
- <i>Coarse Agg.</i> (1/2’)	= 25% × 1200 gr	= 300 gr
- <i>Medium Agg.</i> (3/4’)	= 25% × 1200 gr	= 300 gr
- <i>Filler</i>	= 1,2 % × 1200 gr	= 14,4 gr
- Abu batu	= 3% × 1200 gr	= 36 gr

Rincian pada kandungan aspal yang digunakan disajikan dalam **Tabel 13**.

Tabel 7. Komposisi Material Asphalt Concrete – Wearing Course

No.	Jenis Material	Komposisi	Berat (gr)
1	Pasir	3,0 %	36,0
2	<i>Coarse Aggregate</i> 1/2’’	25,0 %	300,0
3	<i>Medium Aggregate</i> 3/4’’	25,0 %	300,0
4	Aspal	5,8 %	69,6
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4
6	Abu Batu	40,0 %	480,0
Total Agregat			1200

3.4. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) pada Aspal Modifikasi

Pemeriksaan GMM pada campuran aspal modifikasi bertujuan untuk memperoleh nilai berat jenis maksimum teoritis yang digunakan dalam analisis parameter volumetrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata GMM bervariasi pada setiap kombinasi substitusi pasir silika Bangka dan limbah kulit pinang.

Pada substitusi pasir silika 0%, nilai GMM untuk variasi kulit pinang 0%, 0,4%, 0,8%, dan 1,2% berturut-turut sebesar 2,355; 2,375; 2,308; dan 2,328 gr/cm³. Pada substitusi pasir silika 1%, nilai GMM yang diperoleh adalah 2,309; 2,442; 2,332; dan 2,235 gr/cm³. Selanjutnya, pada substitusi pasir silika 2%, nilai GMM berturut-turut sebesar 2,356; 2,374; 2,327; dan 2,446 gr/cm³. Sementara itu, pada substitusi pasir silika 3%, nilai GMM masing-masing sebesar 2,363; 2,270; 2,348; dan 2,306 gr/cm³.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa variasi substitusi pasir silika dan kulit pinang memberikan pengaruh terhadap nilai GMM, dengan kecenderungan fluktuatif pada setiap variasi campuran.

3.5. Hasil Pengujian Marshall Pada Aspal Modifikasi

Pengujian Marshall dilakukan pada seluruh sampel dengan mengukur dimensi dan berat dalam kondisi kering, setelah perendaman 24 jam, serta kondisi Saturated Surface Dry (SSD). Setelah itu, sampel diuji menggunakan alat Marshall untuk memperoleh parameter utama, yaitu stabilitas dan flow, yang kemudian dianalisis dalam bentuk grafik dan tabel rekapitulasi.

Pada variasi substitusi pasir silika 0% dengan limbah kulit pinang (0%–1,2%), sebagian parameter telah memenuhi spesifikasi. Nilai VIM pada variasi tanpa substitusi dan kadar 0,4% berada dalam rentang 3–5%, namun pada kadar 0,8% dan 1,2% terdapat penyimpangan. Nilai VMA dan VFA seluruhnya memenuhi batas minimum (≥15% dan ≥65%). Stabilitas tertinggi diperoleh pada variasi 1,2% sebesar ±863,90 kg dan memenuhi syarat, sedangkan variasi lain masih di bawah standar. Nilai flow pada sebagian variasi melebihi batas 2–4 mm. Parameter Marshall Quotient (MQ) hanya memenuhi syarat pada variasi 1,2%, sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan kulit pinang 1,2% memberikan performa terbaik pada kondisi tanpa pasir silika.

Pada variasi substitusi pasir silika 1%, kinerja campuran cenderung menurun. Meskipun nilai VIM, VMA, dan VFA sebagian besar masih memenuhi spesifikasi, seluruh nilai stabilitas berada di bawah batas minimum 800 kg. Nilai flow juga banyak yang melebihi batas maksimum, dan seluruh nilai MQ berada di bawah 250 kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan pasir silika 1% belum mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan campuran sesuai standar.

Pada variasi substitusi pasir silika 2%, hasil pengujian menunjukkan peningkatan kinerja dibandingkan variasi sebelumnya. Nilai VIM sebagian besar berada dalam rentang spesifikasi, sementara VMA dan VFA seluruhnya memenuhi syarat. Stabilitas pada variasi tertentu, terutama kombinasi dengan kulit pinang 1,2%, menunjukkan nilai tinggi hingga di atas 1000 kg. Nilai flow pada variasi 0% dan 0,4% relatif stabil dalam batas spesifikasi. Nilai MQ juga menunjukkan peningkatan signifikan, khususnya pada variasi 0,4% dan 1,2% yang memenuhi standar. Dengan demikian, kombinasi pasir silika 2% dan kulit pinang memberikan performa terbaik secara keseluruhan.

Pada variasi substitusi pasir silika 3%, kinerja campuran kembali menurun. Nilai VIM banyak yang tidak memenuhi rentang spesifikasi, meskipun VMA dan VFA tetap berada di atas batas minimum. Seluruh nilai stabilitas berada di bawah 800 kg, menunjukkan rendahnya daya dukung campuran. Nilai flow sebagian memenuhi, namun beberapa variasi melebihi batas maksimum. Nilai MQ sebagian besar juga berada di bawah standar, menandakan rendahnya kekakuan campuran.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi optimum terdapat pada penggunaan pasir silika Bangka sebesar 2% dengan limbah kulit pinang, khususnya pada kadar 0,4% hingga 1,2%, karena mampu memenuhi sebagian besar parameter Marshall sesuai Spesifikasi Bina Marga 2025.

3.6. Hasil Rekapitulasi Pengujian Pada Aspal Modifikasi

Rekapitulasi hasil pengujian aspal modifikasi dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik campuran berdasarkan parameter Marshall, meliputi VIM, VMA, VFA, stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ). Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan Spesifikasi Bina Marga 2025 untuk menentukan kelayakan campuran.

Secara umum, parameter VMA (Void in Mineral Aggregate) menunjukkan hasil yang konsisten memenuhi spesifikasi. Seluruh variasi campuran memiliki nilai VMA di atas batas minimum 15%, dengan rentang antara 19,94% hingga 26,19%. Nilai tertinggi terdapat pada variasi P1A1,2 sebesar 26,19%, sedangkan nilai terendah pada P2A1,2 sebesar 19,94%. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh campuran memiliki ruang antar agregat yang cukup untuk menampung aspal, sehingga mendukung durabilitas perkerasan.

Untuk parameter VIM (Void in Mix), sebagian besar variasi campuran berada dalam rentang spesifikasi 3–5%. Nilai VIM menunjukkan keseimbangan antara kepadatan dan rongga udara dalam campuran. Campuran dengan nilai mendekati 5% cenderung lebih permeabel, sedangkan nilai mendekati 3% menunjukkan campuran lebih padat. Namun, terdapat beberapa variasi yang tidak memenuhi spesifikasi karena berada di luar batas tersebut, sehingga berpotensi memengaruhi ketahanan terhadap air dan udara.

Selanjutnya, parameter VFA (Void Filled with Asphalt) menunjukkan bahwa seluruh campuran memenuhi spesifikasi minimum 65%, dengan rentang nilai antara 76,77% hingga 90,86%. Nilai VFA yang tinggi mengindikasikan bahwa rongga dalam agregat terisi dengan baik oleh aspal, sehingga meningkatkan kedekatan dan ketahanan terhadap kerusakan akibat lingkungan.

Berbeda dengan parameter sebelumnya, hasil stabilitas Marshall menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Nilai stabilitas berkisar antara 484,31 kg hingga 1.092,90 kg. Hanya beberapa variasi yang memenuhi spesifikasi minimum 800 kg, yaitu P0A0, P0A1,2, P2A0, P2A0,8, dan P2A1,2. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada variasi P2A1,2, sedangkan yang terendah pada P3A0. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua kombinasi campuran mampu memberikan kekuatan yang memadai terhadap beban lalu lintas.

Pada parameter flow, nilai yang diperoleh berkisar antara 2,50 mm hingga 5,74 mm. Hanya sebagian variasi yang memenuhi spesifikasi 2–4 mm. Nilai flow yang terlalu tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan rentan deformasi, sedangkan nilai terlalu rendah menunjukkan campuran kaku dan mudah retak. Beberapa variasi dengan nilai flow tinggi menunjukkan potensi kerusakan permanen pada perkerasan.

Parameter terakhir, Marshall Quotient (MQ), menunjukkan tingkat kekakuan campuran. Nilai MQ berkisar antara 85,51 kg/mm hingga 314,14 kg/mm, dengan batas minimum spesifikasi sebesar 250 kg/mm. Variasi yang memenuhi spesifikasi hanya P0A1,2, P2A0, P2A0,4, dan P2A1,2. Nilai tertinggi terdapat pada P2A0,4, sedangkan terendah pada P3A1,2. Hal ini menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil campuran yang memiliki kombinasi stabilitas dan fleksibilitas yang optimal.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa tidak semua variasi campuran aspal modifikasi memenuhi seluruh parameter Marshall. Namun, variasi dengan kombinasi **pasir silika 2% dan kulit pinang 1,2% (P2A1,2)** menunjukkan performa terbaik karena memenuhi seluruh parameter spesifikasi. Dengan demikian, komposisi tersebut dapat direkomendasikan sebagai campuran optimal dalam penelitian ini.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut: 1.) Hasil analisis substitusi pasir silika Bangka dan limbah kulit Areca catechu memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Komposisi campuran terbaik diperoleh pada variasi substitusi pasir silika Bangka sebesar 2% dan limbah kulit Areca catechu sebesar 1,2% dimana memiliki nilai (VMA 19,94), (VIM 4,48), (VFA 77,60), (Stabilitas 1092,96), (Flow 3,54), (Marshall Quotient 309,04) yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2025. 2.) Berdasarkan hasil pengujian sifat reologi aspal didapatkan nilai penetrasi sebesar 65 mm, titik nyala sebesar 314 °C, titik lembek sebesar 51,7 °C, viskositas pada suhu 140°C sebesar 1842,1 cSt, serta berat jenis sebesar 1,02 gram/ml. Kemudian diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,8%, dimana pada kadar tersebut seluruh parameter Marshall telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan sehingga dapat digunakan sebagai kadar aspal rencana pada campuran AC-WC modifikasi.

Referensi

1. Achmad, F. (2015). Tinjauan Sifat-Sifat Agregat Untuk Campuran Aspal Panas (Studi Kasus Beberapa Quarry Di Gorontalo). *Saintek*, 5(1).
2. Darmawan Senolinggi, R., Budi Suparna, L., & Taufik Mulyono, A. (2023). Karakteristik AC-BC dengan Pasir Silika Bangka sebagai Agregat halus. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 9(2), 105–114.
3. Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). SPESIFIKASI UMUM UNTUK PEKERJAAN KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN.
4. Liang, Y., Bai, T., Zhou, X., Wu, F., Chenxin, C., Peng, C., Fuentes, L., Walubita, L. F., Li, W., & Wang, X. (2023). Assessing the Effects of Different Fillers and Moisture on Asphalt Mixtures' Mechanical Properties and Performance. *Coatings*, 13(2), 1–18. <https://doi.org/10.3390/coatings13020288>
5. Ma, Q., Guo, Z., Guo, P., Yang, F., & Li, H. (2021). Research on the viscosity-temperature properties and thermal stability of stabilized rubber powder modified asphalt. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su132413536>
6. Mudiyar, A. (2025). *Pengaruh Penggunaan Abu Kulit Pinang Sebagai Filler Lapisan AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall*. Teknik Sipil : Universitas Islam Riau.
7. Mukhlis, Lusiana, 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*. 12(2), 250–259.
8. Muliadi, Wesli, A. R. (2020). *Pengaruh limbah serat kulit pinang terhadap serapan air dan kuat tekan pada paving block*. 10(1), 49–58.
9. Nofrianto, H., Aprilio, Y., & Mulyati, M. (2025). Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas Ac-Wc Berdasarkan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 3(2), 141–153. <https://doi.org/10.21063/jtv.2025.3.2.141-153>
10. Nofrianto, H., & Dwi Astika, S. (2023). Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac – Wc) Berdasarkan Uji Marshall. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 1(2), 53–66. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.53-66>
11. Ramadhan, G. B., & Suparna, L. B. (2018). *Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Pada Laston AC-WC Sebagai Pengganti Agregat Halus*. 4(2), 91–104.
12. Renaldi, M. B., Mahyudin, A., Material, L. F., Fisika, J., Matematika, F., Alam, P., Andalas, U., Unand, K., & Manis, L. (2023). *Pengaruh Penambahan Serat Pinang Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Beton Ringan dengan Fly ash Sebagai Filler*. 12(4), 584–590.
13. Rodji, A. P. (2024). *PRINSIP-PRINSIP DASAR DESAIN PERKERASAN JALAN* (Gita Puspa Artiani (ed.); 1st ed.). Lingkar Edukasi Indonesia.
14. Setyaningrum, D., & Anisa, Z. (2025). Analisis Struktur Kristal Silika (SiO₂) Pasir Pantai Dogolan Menggunakan Metode Rietveld. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 8(1), 7–12. <https://doi.org/10.24246/juses.v8i1p7-12>
15. Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas* (Ketiga). Institut Teknologi Nasional.
16. Susilowati, A., & Wiyono, E. (2019). Variasi Kadar Filler Pada Campuran Beton Aspal Menggunakan Bahan Tambah Anti Stripping. *Construction and Material Journal*, 1(1), 12–20. <https://doi.org/10.32722/cmj.v1i1.1324>
17. Syahada, A. M., & Aula, L. K. (2024). *Analisa Aspal Wearing Course (Ac-Wc) Modifikasi Dengan Bahan Tambah Fly Ash (Substitusi Abu Batu) Dan Tanah (Substitusi Pasir)*.
18. Utami, A., Sastra, M., & Zulkarnain, Z. (2020). Abu Kulit Pinang Sebagai Pengganti Filler Pada Campuran AC-BC. *Jurnal TeKLA*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.35314/tekla.v2i1.1431>
19. Zuhad, A., Setiawan, Y., Sulistyio, J. A., Rochim, A., Studi, P., Sipil, T., Islam, U., Agung, S., & Test, M. (2025). *ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI (RICE HUSK ASH) DAN ARANG KAYU UNTUK PERKERASAN JALAN*. 05(03), 1593–1600.