

Pengaruh penggunaan *filler* abu limbah cangkang kemiri terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (ac-wc)*

M Taufik Akbar Syaputra¹, Sazuatmo², Tri Sefrus³

¹²³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH

Corresponding Author:

Email:

Keywords:

AC-WC, abu limbah, cangkang kemiri, Marshall, stabilitas

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The use of environmentally friendly materials in road construction has received increasing attention, particularly in efforts to utilize waste as a value-added additive. One potential organic waste is candlenut shell ash, which contains specific chemical compounds that may affect the characteristics of asphalt mixtures. This study aims to investigate the effect of adding candlenut shell ash on the mechanical properties of Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) mixtures. The research method employed is a laboratory experiment with variations of candlenut shell ash content at 4%, 6%, 8%, and 10% of the total filler weight. Testing was conducted using the Marshall method to obtain values of stability, flow, Marshall Quotient (MQ), as well as VIM, VMA, and VFA. The Marshall test results indicate that the addition of candlenut shell ash influences the Marshall characteristics of AC-WC mixtures. At certain levels, the ash improves stability and flow values, demonstrating enhanced strength and stiffness of the mixture. However, at excessively high levels, the mixture performance declines. The optimal condition was achieved with 6% ash content, which yielded the highest stability and MQ values while meeting the 2018 Bina Marga specifications. Therefore, candlenut shell ash has the potential to be used as an additive in AC-WC mixtures, while also serving as an environmentally friendly waste management solution.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan komponen penting dari infrastruktur transportasi darat, berfungsi sebagai sistem pendukung vital untuk berbagai aktivitas manusia. Ini mencakup semua segmen jalan, termasuk bagian tambahan yang secara khusus ditujukan untuk keperluan lalu lintas. Jalan raya terdiri dari empat lapisan yang berbeda, yakni lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, lapis pengikat, dan lapis aus. Peningkatan status ekonomi suatu negara sangat dipengaruhi oleh kualitas infrastruktur jalan. Saling ketergantungan antara manfaat jalan dan efisiensi fasilitasi transportasi, khususnya di sektor perdagangan dan sektor ekonomi terkait.

Beton aspal, yang umum digunakan di Indonesia, merupakan jenis campuran yang lazim. Beton aspal, komponen penting dalam konstruksi jalan, terdiri dari campuran aspal dan agregat yang tahan lama. Campuran ini mengalami proses agregasi terus menerus, diikuti dengan pencampuran menyeluruh, penghamparan, dan pemadatan pada suhu tertentu Bina Marga, (2018). Beton aspal umumnya digunakan untuk keperluan aplikasi permukaan, serta untuk fungsi meratakan dan mengikat.

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan secara keseluruhan, praktik penggantian bahan pengisi digunakan. Penelitian ini menggunakan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi, sebagai bahan alternatif. Cangkang kemiri merupakan hasil sampingan yang dihasilkan dari penghilangan lapisan luar buah kemiri yang sudah matang, khususnya diekstraksi dari biji bagian tengah buah kemiri. Menurut data Kementerian Pertanian Republik Indonesia, kemiri memiliki dua lapisan kulit yang berbeda, yaitu kulit buah dan kulit cangkang. Telah diamati bahwa untuk setiap kilogram biji kemiri, sekitar 30% merupakan kernel, sedangkan 70% sisanya merupakan cangkang. Biasanya, cangkang ini dibuang atau dibakar untuk mencegah penyebarannya di dalam rumah tangga, dan pengelolaannya belum dilakukan dengan keberhasilan yang optimal. Pemanfaatan abu cangkang kemiri pada penelitian ini dilatar belakangi oleh banyaknya limbah abu cangkang kemiri di Desa Talang Rami Kecamatan Seluma Utara Kabupaten Seluma yang masih belum termanfaatkan dan sebagian besar belum diketahui oleh

penduduk setempat. *Substitusi* bahan alternatif dalam campuran aspal untuk perkerasan jalan.

Lapis perkerasan campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC - WC) merupakan salah satu lapis perkerasan yang berfungsi sebagai lapis aus, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*Filler*) dan aspal. Material agregat sering yang digunakan sebagai bahan campuran adalah agregat yang berasal dari agregat alam atau agregat buatan (batu pecah/split) yang tidak dapat diperbarui. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi maka meningkat pula akan kebutuhan material untuk perkerasan jalan. Berdasarkan uraian tersebut maka perlu dilakukan penelitian, guna untuk mencari alternatif pengganti agregat dengan beragam komponen limbah.

2. DATA DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Transportasi Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, Bengkulu, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan filler terhadap campuran aspal Laston Lapis Aus (AC-WC). Pengujian utama yang dilakukan adalah uji Marshall untuk beban lalu lintas tinggi, meliputi kondisi sampel kering dan rendaman guna memperoleh kadar aspal optimum (Pb.opt), serta karakteristik Marshall seperti stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VFB, dan VMA.

Metode penelitian ini mencakup tahapan sistematis mulai dari persiapan bahan, pembuatan benda uji, perawatan, hingga pengujian. Berbagai pengujian aspal dilakukan, antara lain uji penetrasi untuk menentukan kekerasan aspal, uji titik lembek untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap aspal, serta uji titik nyala dan titik bakar guna menentukan suhu maksimum pemanasan aspal yang aman. Pengujian sifat agregat dilakukan melalui analisis saringan, pengujian berat jenis, dan penyerapan air yang berpengaruh terhadap desain campuran aspal. Metode pengumpulan data terdiri dari data primer (hasil pengujian di laboratorium) dan data sekunder (literatur terkait). Analisis data dilakukan secara kuantitatif untuk mengetahui hubungan antara penggunaan abu limbah cangkang kemiri sebagai filler dengan karakteristik campuran aspal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil harus jelas dan ringkas. Hasil harus merangkum temuan (ilmiah) dari analisis data rinci. Silakan menyoroti perbedaan antara hasil atau temuan dengan publikasi sebelumnya oleh peneliti lain. Untuk tabel, mereka berurutan nomor dengan judul tabel dan nomor di atas tabel. Tabel harus berpusat di tengah Halaman. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Prof Dr. Hazairin, SH untuk penelitian Tugas Akhir ini maka Peneliti memperoleh hasil sebagai berikut.

a) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan nilai berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,73, berat jenis SSD sebesar 2,80, dan berat jenis semu sebesar 2,94. Sementara itu, nilai penyerapan rata-rata agregat kasar adalah 2,39%. Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata -Rata	Satuan
Berat benda uji kering oven	Bk	299,5	289,5		gram
Berat Piknometer + Air	B	653,00	650,30		gram
Berat benda uji kondisi SSD	Bs	304,00	299,00		gram
Berat piknometer + Benda uji kondisi SSD + air	Bt	838,50	850,8		gram
Berat jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	BJ	2,53	2,94	2,73	
BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	2,57	3,04	2,80	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	2,63	3,25	2,94	
Penyerapan (<i>Absorption</i>)		1,50	3,28		2,39%

b) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat medium memiliki berat jenis bulk rata-rata sebesar 3,38, berat jenis SSD sebesar 3,45, dan berat jenis semu sebesar 3,65. Nilai penyerapan rata-rata tercatat sebesar 2,12%. Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat medium disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

No.	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	Satuan
1	Berat benda uji kering oven	Bk	241,00	240,70		gram
2	Berat Piknometer + air	B	659,00	650,30		gram
3	Berat benda uji kondisi SSD	Bs	244,00	247,90		gram
4	Berat piknometer + benda uji kondisi SSD + air	Bt	829,90	828,60		gram
5	Berat jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	BJ	3,30	3,46	3,38	
6	BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	3,34	3,56	3,45	
7	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	3,44	3,86	3,65	
8	Penyerapan (<i>Absorption</i>)		1,24	2,99	2,12	

c) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berdasarkan hasil pengujian, agregat halus memiliki berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,50, berat jenis SSD sebesar 2,56, dan berat jenis semu sebesar 2,64. Nilai penyerapan rata-rata diperoleh sebesar 2,09%. Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	Satuan
1	Berat benda uji kering oven	Bk	201,8	200,7		gram
2	Berat Piknometer + air	B	651,4	650,3		gram
3	Berat benda uji kondisi SSD	Bs	205,50	205,4		gram
4	Berat piknometer + benda uji kondisi SSD + air	Bt	780,50	770,9		gram
5	Berat jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	BJ	2,64	2,37	2,50	
6	BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	2,69	2,42	2,56	
7	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	2,78	2,51	2,64	
8	Penyerapan (<i>Absorption</i>)		1,83	2,34	2,09%	

d) Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 3899}{5000} \times 100\% \\
 &= 22,02\%
 \end{aligned}$$

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui angka keausan agregat yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen, hasil perhitungan keausan agregat dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Benda Uji		500 Putaran	
Lewat	Tertahan	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
50,8 mm (2 ")	37,5 mm (1 ½ ")	-	-
37,5 mm (1 ½ ")	25,4 mm (1 ")	-	-
25,4 mm (1 ")	19,0 mm (¾ ")	-	-
19,0 mm (¾ ")	12,5 mm (½ ")	2500	-
12,5 mm (½ ")	9,5 mm (⅜ ")	2500	-
9,5 mm (⅜ ")	6,3 mm (¼ ")	-	-

Benda Uji		500 Putaran	
Lewat	Tertahan	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
6,3 mm (¼ ")	4,75 mm (no.4)	-	-
Jumlah Berat		5000	-
Berat Tertahan Saringan No. 12			3899
Nilai Keausan (Syarat $\leq 40\%$)			22,02%

e) Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan adalah pengelompokan besar butir analisis agregat kasar dan agregat halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan saringan, hasil analisis saringan agregat halus dan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui batas gradasi agregat tersebut. Pada penelitian ini dilakukan tiga pengujian benda uji, yaitu pengujian analisa saringan agregat kasar, pengujian analisa saringan agregat medium dan pengujian analisa saringan agregat halus. Hasil dari pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 5**, **Tabel 6**, dan **Tabel 7**.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar(Ca)

No. Saringan	Berat tertahan (gr)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	86,70	8,67	8,67	91,33
3/8"	335,90	33,59	42,26	57,74
4	276,50	27,65	69,91	30,09
8	130,60	13,06	82,97	17,03
16	74,60	7,46	90,43	9,57
30	33,10	3,31	93,74	6,26
50	26,80	2,68	96,42	3,58
100	16,10	1,61	98,03	1,97
200	11,40	1,14	99,17	0,83
Pan	8,30	0,83	100,00	0,00
Total	1000,00	100,00		

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Medium (Ma)

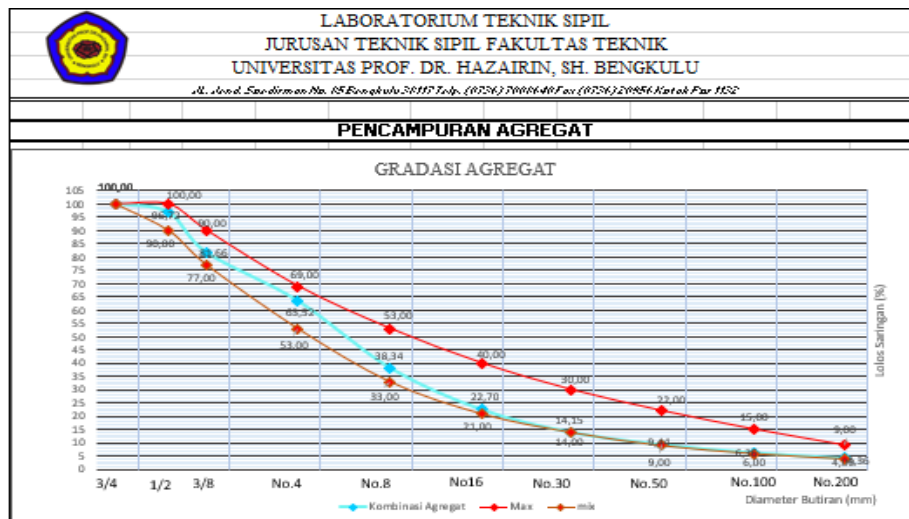
No. Saringan	Berat tertahan (gr)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0	0	0	100
1/2"	23.5	2.35	2.35	97.65
3/8"	75.1	7.51	9.86	90.14
4	174.7	17.47	27.33	72.67
8	359.2	35.92	63.25	36.75
16	185.4	18.54	81.79	18.21
30	109.6	10.96	92.75	7.25
50	42.6	4.26	97.01	2.99
100	17.4	1.74	98.75	1.25
200	9	0.9	99.65	0.35
pan	3.5	0.35	100	0
Total	1000	100		

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus (Fa).

No. Saringan	Berat tertahan (gr)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0	0	0	100
1/2"	0	0	0	100
3/8"	73.7	7.37	7.37	92.63
4	125.9	12.59	19.96	80.04
8	285.4	28.54	48.5	51.5
16	211	21.1	69.6	30.4
30	115.3	11.53	81.13	18.87
50	70.4	7.04	88.17	11.83
100	55	5.5	93.67	6.33
200	36.8	3.68	97.35	2.65
Pan	26.5	2.65	100	0
Total	1000	100		

Adapun setelah dilakukan analisis saringan pada masing-masing agregat maka akan ditentukan kombinasi campuran agregat yang ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

LABORATORIUM TEKNIK SIPIL JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PROF. DR. HAZAIRIN, SH. BENGKULU <i>Jl. Jend. Sudirman No. 85 Bengkulu 36111 Telp. (0736) 7008640 Fax (0736) 20856 Kotak Pos 1152</i>										
PENCAMPURAN AGREGAT										
URAIAN	UKURAN									
Inch	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
mm	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,149	0,075
Data Material										
Agregat 1,0-2,0	100,00	91,33	57,74	30,09	17,03	9,57	6,26	3,58	1,97	0,83
Agregat 0,5-1,0	100,00	97,65	90,14	72,67	36,75	18,21	7,25	2,99	1,25	0,35
Abu Batu 0-0,5	100,00	100,00	92,63	80,04	51,50	30,40	18,87	11,83	6,33	2,65
Filler Cement	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Komposisi Campuran										
Agregat 1,0-2,0	30%	30,00	27,40	17,32	9,03	5,11	2,87	1,88	1,07	0,59
Agregat 0,5-1,0	29%	29,00	28,32	26,14	21,07	10,66	5,28	2,10	0,87	0,36
Abu Batu 0-0,5	38%	38,00	38,00	35,20	30,42	19,57	11,55	7,17	4,50	2,41
Filler Cement	3%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Total Campuran	100%	100,00	96,72	81,66	63,52	38,34	22,70	14,15	9,44	4,36
Spec gradasi										
Max	100,00	100,00	90,00	69,00	53,00	40,00	30,00	22,00	15,00	9,00
Komposisi Campuran	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI
Mix	100,00	90,00	77,00	53,00	33,00	21,00	14,00	9,00	6,00	4,00

Gambar 1. Hasil Kombinasi Agregat Standar**Gambar 2. Hasil Kombinasi Agregat Standar**

f) Pengujian Aspal

Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Hasil Perhitungan :

$$\text{Benda Uji I} = \frac{64 + 67 + 68 + 69 + 65}{5} = 66,6$$

$$\text{Benda Uji II} = \frac{64 + 69 + 62 + 65 + 63}{5} = 64,6$$

$$\text{Penetrasi rata-rata} = \frac{66,6 + 64,6}{2} = 65,6$$

Pengujian penetrasi aspal menggunakan nilai minimum 60 dan nilai maximum 70, data hasil pengujian penetrasi aspal 60/70 dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Penetrasi Aspal 60/70

Penetrasi pada suhu 25°C 100 gr, 5 detik	Pemeriksaan I	Pemeriksaan II	Keterangan
1	64	64	
2	67	69	
3	68	62	
4	69	65	
5	65	63	
Rata-rata	66,6	64,6	65,6

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNHAZ, 2025)

g) Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Hasil perhitungan berat jenis :

Sampel uji 1

$$= \frac{E}{I}$$

$$= \frac{50,70}{40,70}$$

$$= 1,25 \text{ gr/cc}$$

Sampel uji 2

$$= \frac{E}{I}$$

$$= \frac{60,90}{52,40}$$

$$= 1,16 \text{ gr/cc}$$

Berat jenis rata-rata

$$= \frac{1,25 + 1,16}{2}$$

$$= 1,20$$

Hasil pemeriksaaan berat jenis aspal dapat dilihat pada **Tabel 9**.**Tabel 9.** Hasil Pemeriksaan Berat Jenis

Pengujian	Benda Uji I (Gr)	Benda Uji II (Gr)	Rata-Rata
Berat Piknometer + air (B)	360,20	365,00	362,60
Berat Piknometer (A)	169,00	170,70	166,50
Berat air (isi Piknometer) (C=B-A)	191,20	194,30	192,75
Berat Piknometer + contoh (D)	221,50	230,60	226,05
Berat Piknometer (A)	170,80	169,70	166,50
Berat contoh (E = D - A)	50,70	60,90	55,80
Berat Piknometer + air + contoh (F)	372,00	372,50	372,25
Berat Piknometer + contoh (D)	221,50	230,60	226,05
Berat air (G = F - D)	150,50	141,90	146,20
Isi Bitumen (I = C - G)	40,70	52,40	46,55
Berat jenis bitumen (H = E / I)	1,25	1,16	1,20

h) Pengujian Titik Lembek AspalHasil pengujian titik lembek aspal dapat dilihat pada **Tabel 10**.**Tabel 10.** Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

No	Suhu (°C)	Waktu (detik)		Titik Lembek (°C)		KET
		I	II	I	II	
1	30	"00'00"00"	"00'00"00"			
2	35	"06'23"70"	"05'15"70"			
3	40	"11'30"22"	"10'15"22"			
4	45	"16'36"15"	"15'36"15"			
5	50	"19'08"80"	"18'08"80"			
6	55	"20'28"60"	"19'28"60"	54		55,5 °C
7	60	"21'52"12"	"20'52"12"		57	

Dari perhitungan diatas nilai rata-rata titik lembek aspal adalah 55,5 °C.

i) Pengujian Titik Nyala Aspal

Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Hasil dari pengujian titik lembek dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal

°C di bawah titik nyala	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Titik nyala	l
56		205		
51		210		
46		215		
41		220		
36		225		
37		230		
38		235		
39		240		
40	31	245	245 °C	
41		250		
42		255		
43		260		

j) Pengujian Marshal

Pengujian marshall dilakukan untuk mengetahui stabilitas dan kelelahan (*Flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

k) Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian yang dilakukan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum dari campuran AC-WC yang telah memenuhi persyaratan parameter marshall dapat dilihat dibawah ini dan disajikan pada **Tabel 12**.

- $4,5\% \times 1000 = 45$ gram
- $5,0\% \times 1000 = 50$ gram
- $5,5\% \times 1000 = 55$ gram
- $6,0\% \times 1000 = 60$ gram
- $6,5\% \times 1000 = 65$ gram

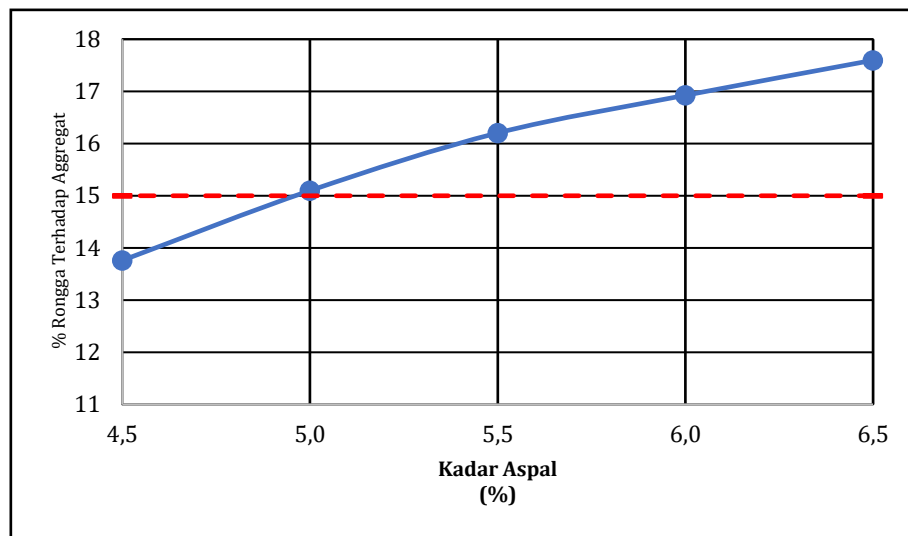
Tabel 12 .Hasil pengujian *Marshall* Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			4,5	5	5,5	6	6,5
1.	VMA (%)	≥ 15	13,76	15,10	16,20	16,93	17,60
2.	VFA (%)	≥ 65	71,6	71,8	72,6	76,0	78,1
3.	VIM (%)	3--5	3,9	4,3	4,5	4,3	4,0
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1661,1	1733,8	2218,5	1693,6	1962,5
5.	Flow (mm)	2--4	2,2	2,9	3,9	3,3	4,1
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	908,1	730,3	683,6	683,8	581,4

Dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran aspal Laston AC-WC menggunakan parameter karakteristik *marshall* standar. Pembahasan hasil pengujian marshall standar untuk menentukan KAO diantaranya terdiri dari *Void Mineral Agregat*(VMA), *Void Filled Asphalt* (VFA), *Void In the Mix* (VIM), *Stabilitas*, *Flow* (Kelelahan), dan *Marshall Quotien* (MQ), yang akan dibahas sebagai berikut.

1) Void Mineral Agregat (VMA)

Void Mineral Agregat (VMA) merupakan jumlah pori butir-butir agregat aspal padat antara rongga udara yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Berikut ini nilai *Void Mineral Agregat* (VMA) pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 3**.

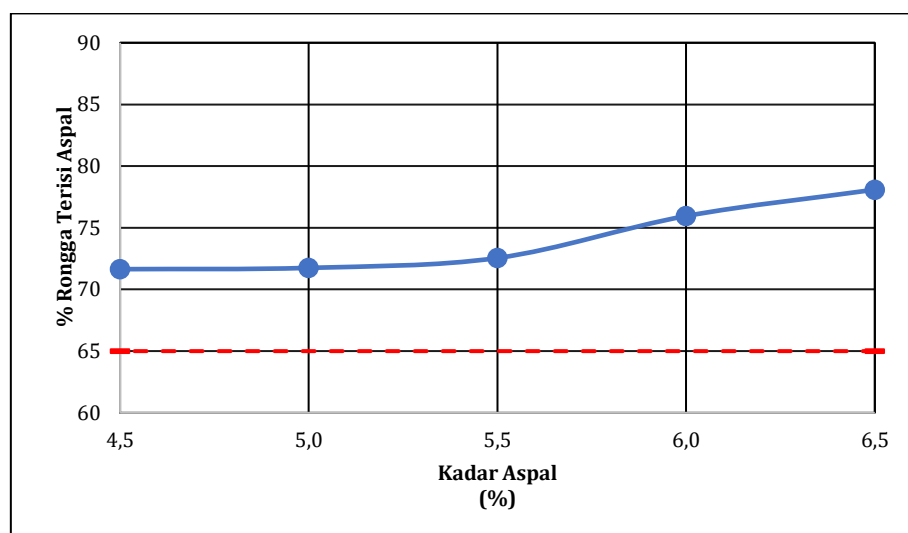


Gambar 3. Hubungan VMA Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 3** diperoleh nilai VMA yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 15 yaitu dengan nilai kadar Aspal 5,0% (15,10), 5,5% (16,32), 6,0% (16,93) dan 6,5% (17,40).

2) Void Filled Asphalt (VFA)

Void Filled Asphalt (VFA) merupakan persentase yang didapat dari VMA yang telah terisi oleh aspal yaitu rongga terisi aspal, tidak termasuk kedalam aspal yang diserap oleh agregat melainkan menyelimuti butir-butir agregat dalam campuran. Berikut ini nilai *Void Filled Asphalt* (VFA) pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 4**.

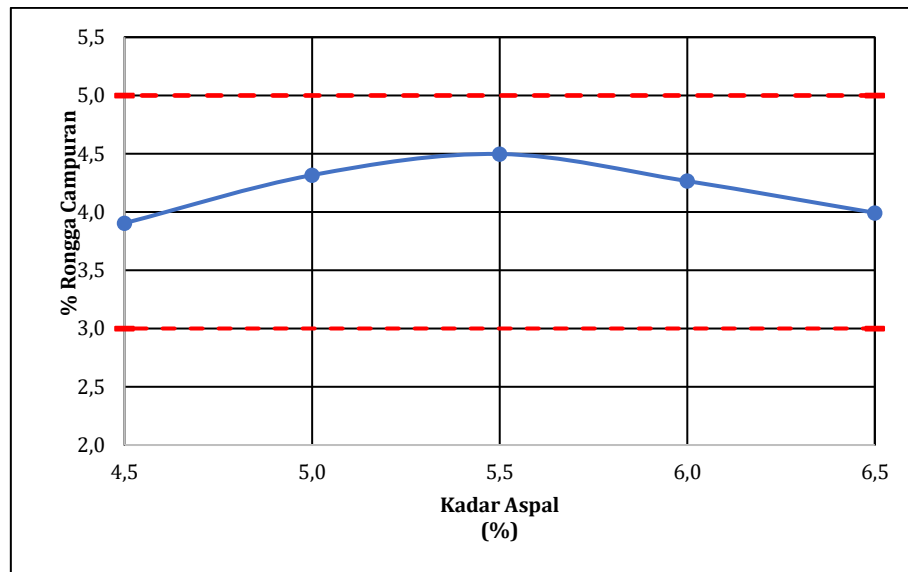


Gambar 4. Hubungan VFA Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 4** diperoleh nilai VFA dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 65 .

3) Void In the Mix (VIM)

Void In the Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang didapatkan pada suatu campuran, semakin besar rongga dalam campuran akan menunjukkan semakin tinggi VIM sehingga campuran bersifat porous. Berikut ini nilai VIM pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 5**.

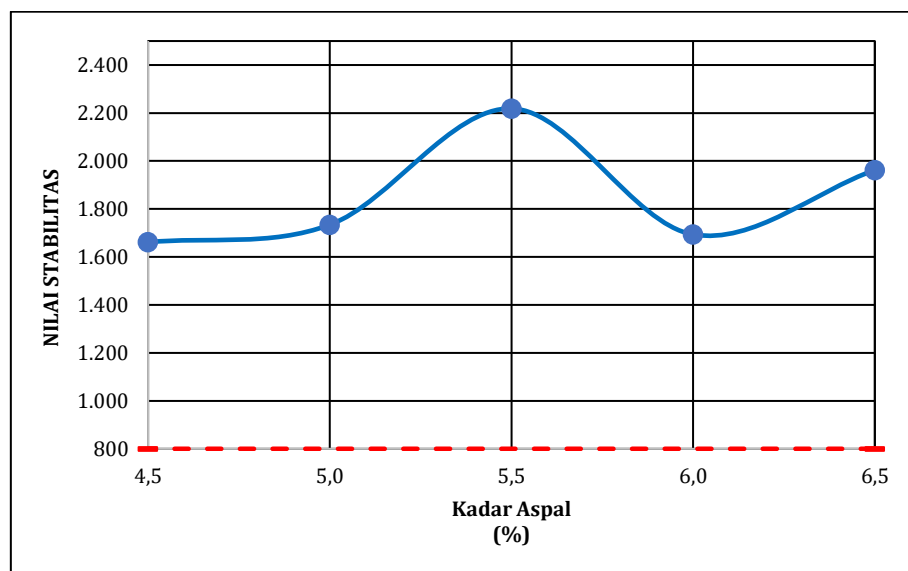


Gambar 5. Hubungan VIM Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 5** diperoleh nilai VIM dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 3-5.

4) Stabilitas

Stabilitas merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kelelahan plastis terhadap ketahanan pada campuran. Berikut ini nilai stabilitas pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 6**.



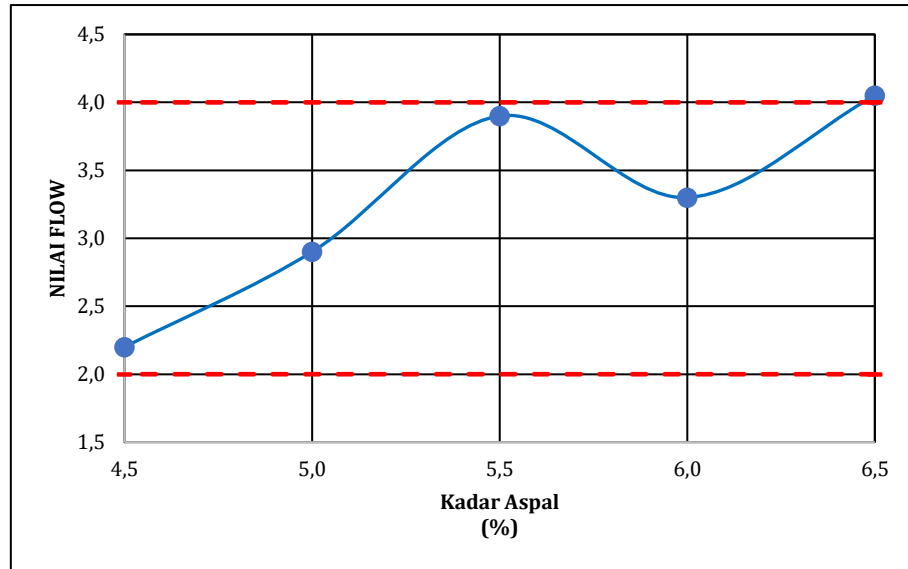
Gambar 6. Hubungan Stabilitas Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 5** diperoleh seluruh nilai kadar aspal pada Stabilitas memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 800 .

5) Flow (Kelelahan)

Flow merupakan penurunan vertical campuran akibat beban yang bekerja pada Perkerasan. Semakin tinggi nilai *flow* maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan disebabkan kadar aspal.

Semakin rendah *flow* maka akan semakin kaku. Berikut nilai *Flow* hasil pengujian dilihat pada **Gambar 7**.

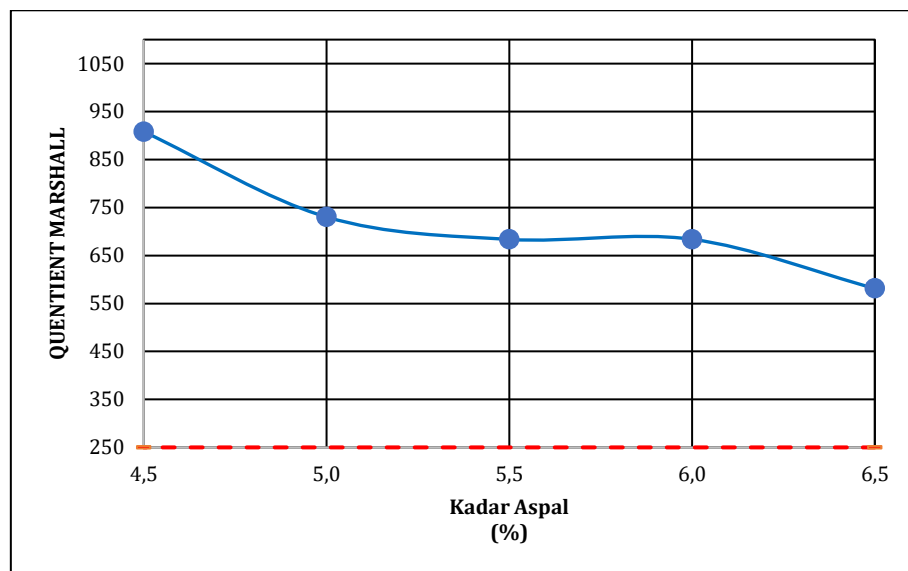


Gambar 7. Hubungan Flow Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 7** diperoleh nilai *Flow* yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 2 – 4 mm yaitu dengan nilai kadar aspal 4,5% (2,2 mm), 5,0% (2,9 mm), 5,5 (3,9 mm) dan 6,0% (3,3 mm).

6) Marshall Quantient (MQ)

Marshall Quantien MQ merupakan hasil bagi Stabilitas antara *Flow* pada campuran. Semakin rendah nilai MQ maka fleksibilitas campuran itu tinggi namun cenderung kurang stabil, begitupun sebaliknya. Berikut ini nilai MQ pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Hubungan QM Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 8** diperoleh nilai MQ dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 250 .

7) Kadar Penambahan Optimum (KPO)

Kadar Aspal yang digunakan untuk menentukan KPO merupakan hasil KAO yaitu 5,5 % yang akan di tambahkan abu limbah cangkang kemiri dari berat jenis aspal 5,5%. Kadar Penambahan abu limbah cangkang kemiri yang akan digunakan sebagai berikut:

- $4,0\% \times 30 = 1,2 \text{ gram}$
- $6,0\% \times 30 = 1,8 \text{ gram}$

c. $8,0\% \times 30 = 2,4 \text{ gram}$

d. $10,0\% \times 30 = 3 \text{ gram}$

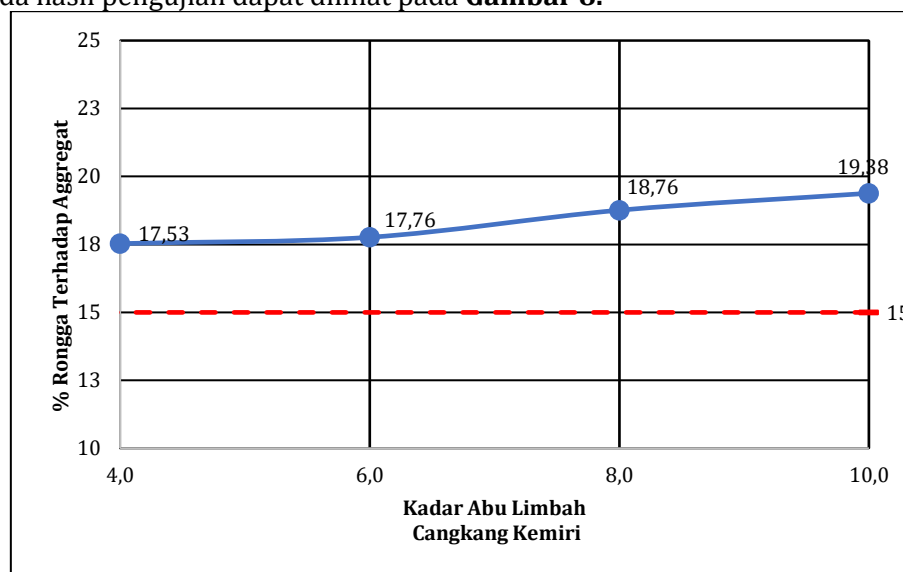
Tabel 13. Hasil pengujian Marshall Kadar Pencampuran Optimum (KPO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Abu Cangkang Kemiri (%)			
			4	6	8	10
1.	VMA (%)	≥ 15	17,53	17,76	18,76	19,38
2.	VFA (%)	≥ 65	77,4	74,6	69,3	67,9
3.	VIM (%)	3--5	4,4	4,6	5,8	6,5
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1646,3	2235,5	1836	1940,2
5.	Flow (mm)	2--4	2,7	3,5	4,1	4,3
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	737,6	800,6	538,0	550,6

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* standar dengan penambahan abu limbah cangkang kemiri, adapun pembahasan hasil pengujian *marshall* standar untuk menentukan KPO diantaranya terdiri dari *Void Mineral Agregat* (VMA), *Void Filled Asphalt* (VFA), *Void In the Mix* (VIM), Stabilitas, *Flow* (Kelelahan), dan *Marshall Quotien* (MQ), yang akan dibahas sebagai berikut.

8) Void Mineral Agregat (VMA)

Void Mineral Agregat (VMA) merupakan jumlah pori butir-butir agregat aspal padat antara rongga udara yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Berikut ini nilai *Void Mineral Agregat* (VMA) pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 8**.

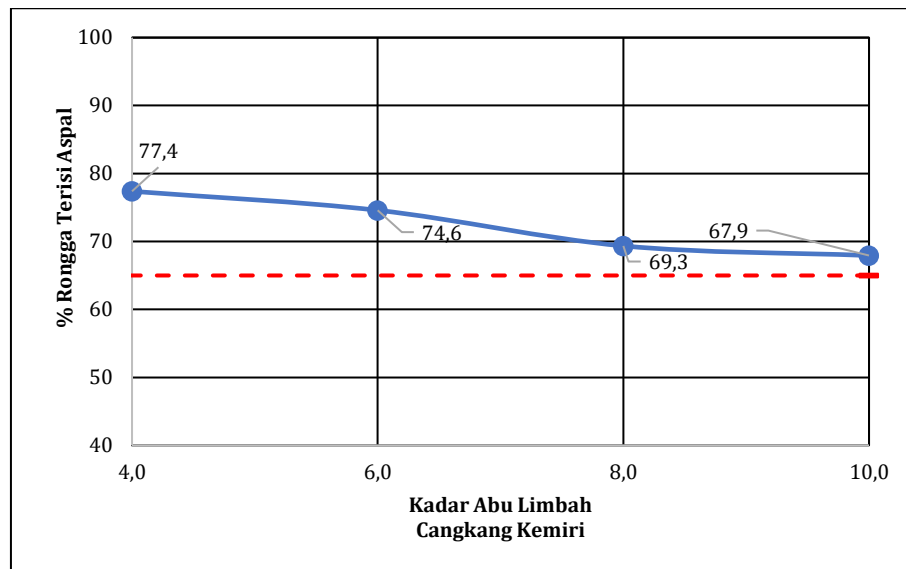


Gambar 9. Hubungan VMA Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 8 diperoleh seluruh nilai kadar aspal pada VMA memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 15 .

9) Void Filled Asphalt (VFA)

Void Filled Asphalt (VFA) merupakan persentase yang didapat dari VMA yang telah terisi oleh aspal yaitu rongga terisi aspal, tidak termasuk kedalam aspal yang diserap oleh agregat melainkan menyelimuti butir-butir agregat dalam campuran. Berikut ini nilai *Void Filled Asphalt* (VFA) pada hasil pengujian dilhapada **Gambar 10**.

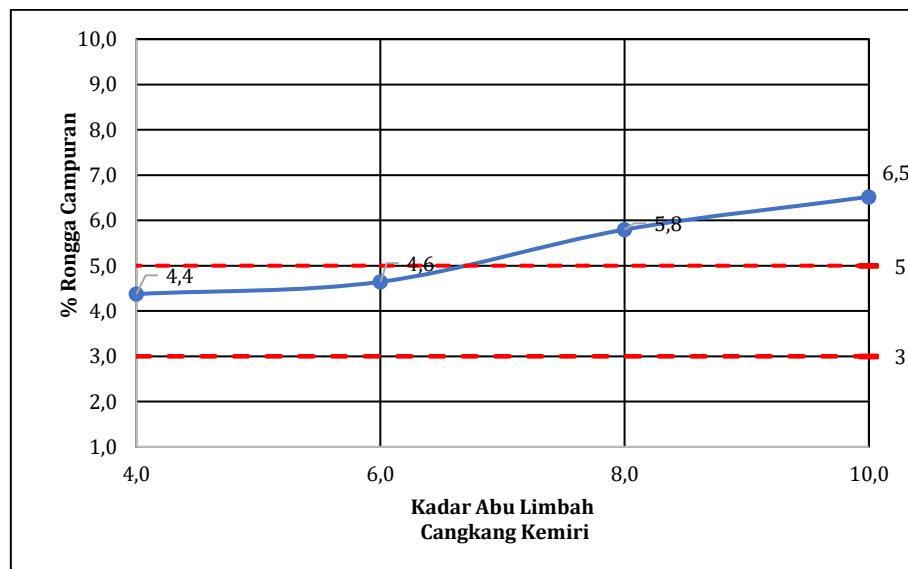


Gambar 10. Hubungan VFA Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 10 diperoleh seluruh nilai kadar aspal pada VFA memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 65 .

10) Void In the Mix (VIM)

Void In the Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang didapatkan pada suatu campuran, semakin besar rongga dalam campuran akan menunjukkan semakin tinggi VIM sehingga campuran bersifat porous. Berikut ini nilai VIM pada hasil pengujian dapat dilihat pada **GAMBAR 11**.

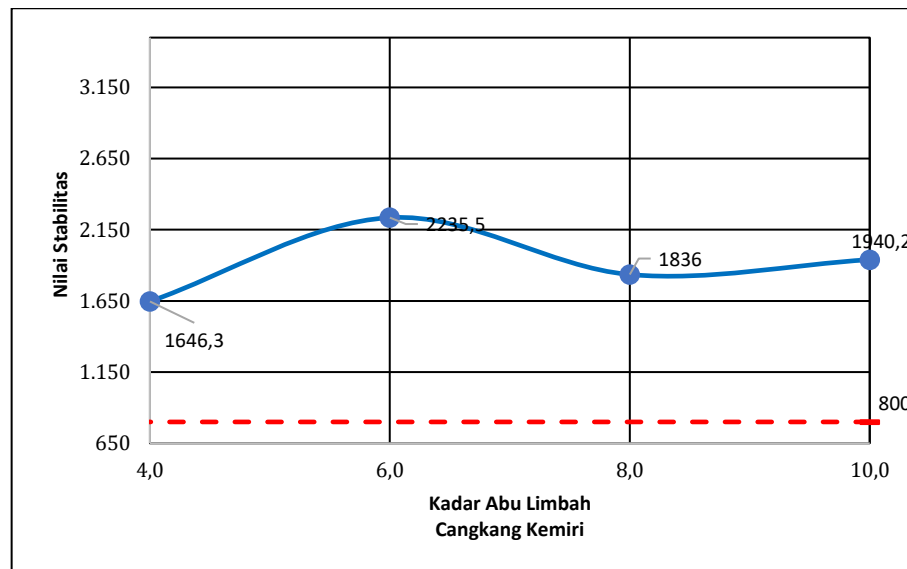


Gambar 11. Hubungan VIM Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan **Gambar 11** diperoleh nilai VIM yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 3% - 5% yaitu dengan nilai Kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4,0% (4,4) dan 6,0% (4,6).

11) Stabilitas

Stabilitas merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kelelahan plastis terhadap ketahanan pada campuran. Berikut ini nilai stabilitas pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 12**.

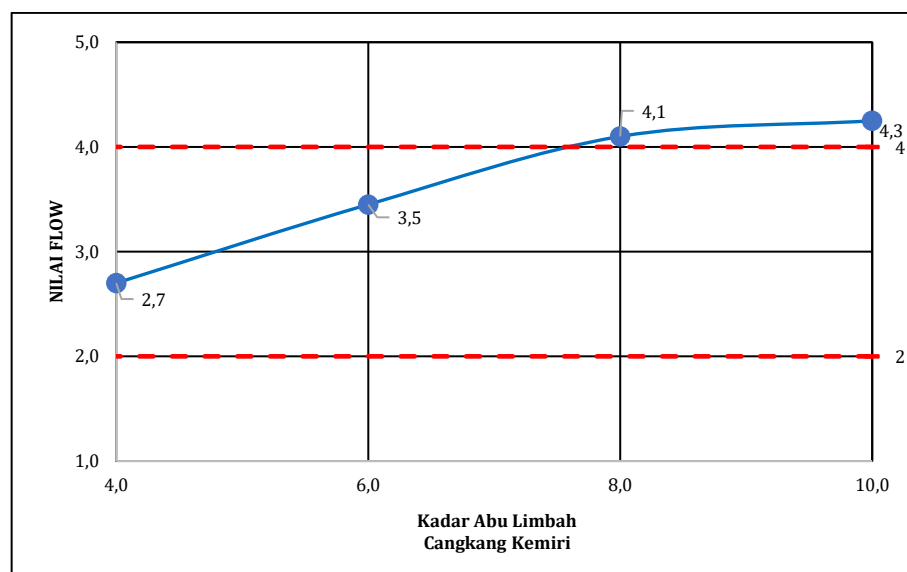


Gambar 12. Hubungan Stabilitas Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 12 diperoleh nilai Stabilitas yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 800 yaitu dengan nilai kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4,0% (1646,3), 6,0% (2235,5), 8,0% (1836), 10% (1940,2).

12) Flow (Kelelehan).

Flow merupakan penurunan vertical campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Semakin tinggi nilai *Flow* maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan dikarenakan kadar aspal. Semakin rendah *Flow* maka akan semakin kaku. Berikut nilai *Flow* hasil pengujian dilihat pada **Gambar 13**.

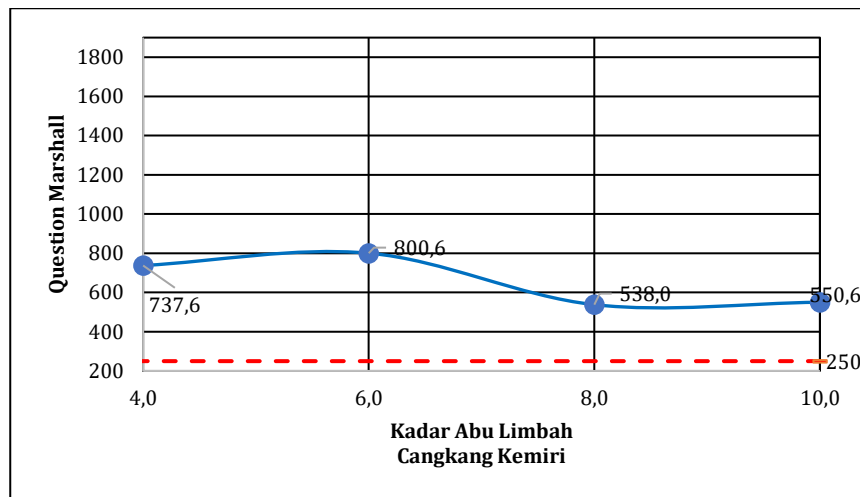


Gambar 13. Hubungan Flow Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 13 diperoleh nilai *Flow* yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 2 mm – 4 mm yaitu dengan nilai Kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4% (2,7mm) dan 6% (3,5mm)

13) Marshall Quantient (MQ)

Marshall Quantien MQ merupakan hasil bagi Stabilitas antara *Flow* pada campuran. Semakin rendah nilai MQ maka fleksibilitas campuran itu tinggi namun cenderung kurang stabil, begitupun sebaliknya. Berikut in inilai MQ pada hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Hubungan MQ Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

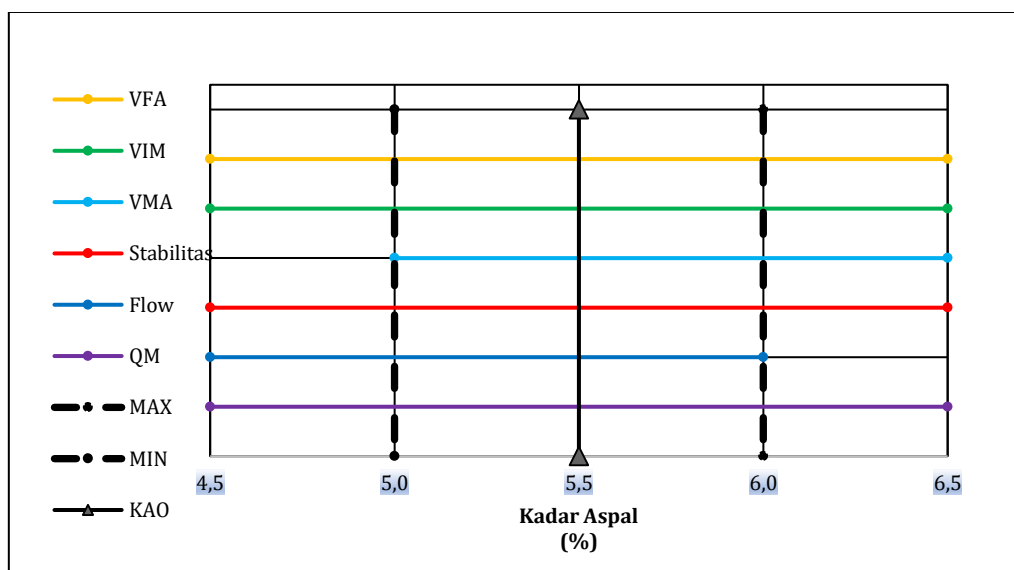
Berdasarkan gambar 14 diperoleh nilai MQ yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 250 yaitu dengan nilai Kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4% (737,6), 6% (800,6), 8% (538,0) dan 10% (550,6).

14) Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berikut hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO yang dapat dilihat pada **Tabel 14** dan **Gambar 15**.

Tabel 14. Hasil pengujian *Marshall* Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			4,5	5	5,5	6	6,5
1.	VMA (%)	≥ 15	13,76	15,10	16,20	16,93	17,60
2.	VFA (%)	≥ 65	71,6	71,8	72,6	76,0	78,1
3.	VIM (%)	3--5	3,9	4,3	4,5	4,3	4,0
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1661,1	1733,8	2218,5	1693,6	1962,5
5.	Flow (mm)	2--4	2,2	2,9	3,9	3,3	4,1
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	908,1	730,3	683,6	683,8	581,4

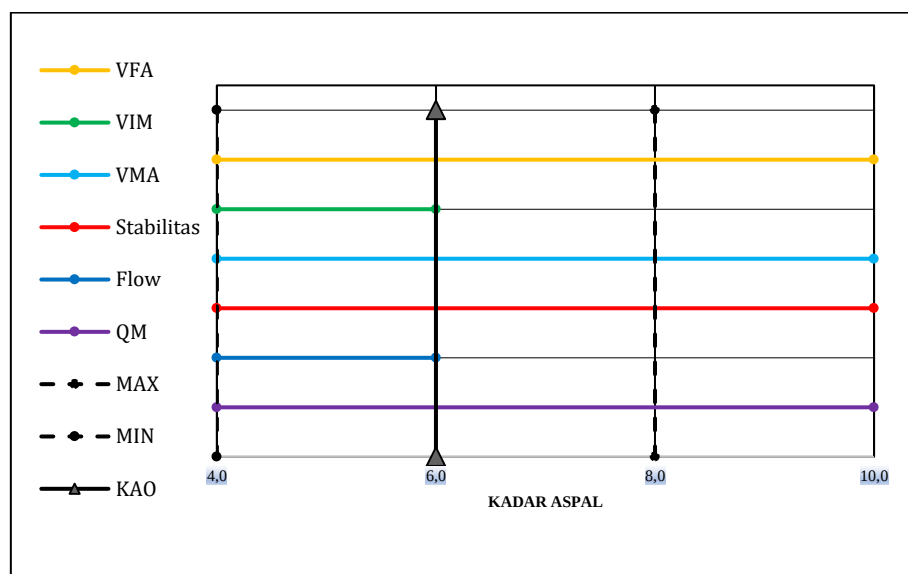


Gambar 15. Grafik Kadar Aspal Optimum

15) Kadar Pencampuran Optimum (KPO)

Berikut hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO pencampuran yang dapat dilihat pada **Tabel 15** dan **Gambar 16**.

Tabel 15 Hasil pengujian Marshall Kadar Pencampuran Optimum (KPO)						
No	Karakteristik	Syarat	Kadar Abu Cangkang Kemiri (%)			
			4	6	8	10
1.	VMA (%)	≥ 15	17,53	17,76	18,76	19,38
2.	VFA (%)	≥ 65	77,4	74,6	69,3	67,9
3.	VIM (%)	3--5	4,4	4,6	5,8	6,5
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1646,3	2235,5	1836	1940,2
5.	Flow (mm)	2--4	2,7	3,5	4,1	4,3
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	737,6	800,6	538,0	550,6



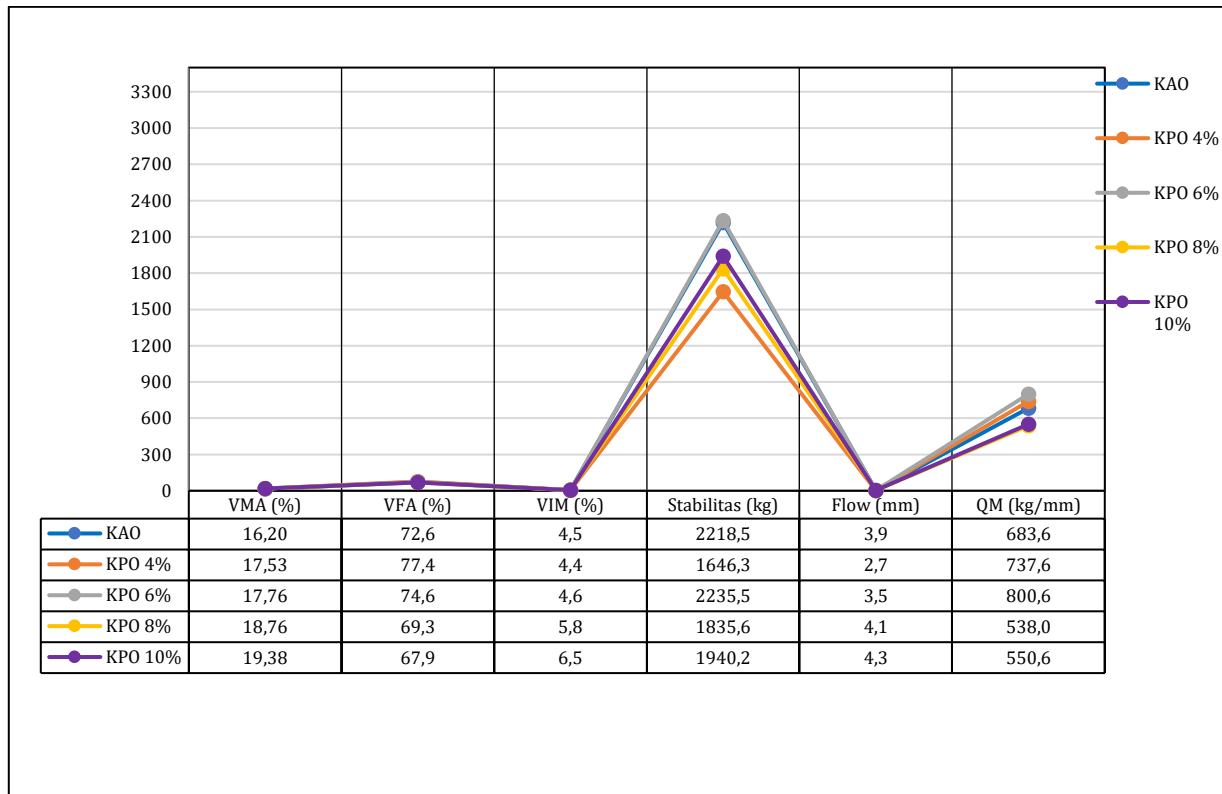
Gambar 16. Grafik Kadar Penambah Optimum

Dari hasil pembahasan Karakteristik Marshall diatas dapat dilihat bahwa setelah melakukan pengujian *Marshall* pada seluruh parameter *Marshall* yang memenuhi persyaratan KPO terdapat dua Kadar Pencampuran Abu Limbah Cangkang Kemiri yaitu 4,0% dan 6,0%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa Kadar Pencampuran Optimum 4,0% memiliki nilai VMA 17,53%, VFA 77,4%, VIM 4,4%, Stabilitas 1646,3 kg, Flow 2,7 mm, dan Marshall Quotient 737,6 kg sedangkan Kadar Pencampuran Optimum 6,0% memiliki nilai VMA 17,76%, VFA 74,6%, VIM 4,6%, Stabilitas 2235,5kg, Flow 3,5 mm, dan Marshall Quotient 800,6 kg yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 8,0% memiliki nilai VMA 17,53%, VFA 77,4%, VIM 4,4%, Stabilitas 3129,2 kg, Flow 2,1 mm, dan Marshall Quotient 1214,9 kg sedangkan Kadar Pencampuran Optimum 10% memiliki nilai VMA 19,38%, VFA 67,9%, VIM 6,5%, Stabilitas 1940,2 kg, Flow 4,3 mm, dan Marshall Quotient 550,6 kg tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 .

16) Perbandingan Kadar Aspal Optimum dengan Kadar Pencampuran Optimum

Berikut pembahasan Perbandingan Kadar Aspal Optimum 5,5% yang digunakan dengan Kadar Pencampuran Optimum Abu Limbah Cangkang Kemiri dapat dilihat pada gambar 17 . Berdasarkan gambar 17 diperoleh hasil perbandingan antara KAO 5,5% dengan KPO 4% - 10% terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri mengalami pengaruh signifikan pada parameter *Marshall*, dari hasil penelitian yang tampak pada grafik bahwa semakin banyak persen Abu Limbah Cangkang Kemiri mengakibatkan nilai VFA menurun berbanding terbalik dengan nilai VMA dan VIM yang meningkat sehingga mengakibatkan rendahnya kekakuan lapis keras mengalami retak. Selain itu mudah

terjadinya bleeding pada lapis keras dikarenakan terselimuti aspal terlalu tebal maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan campuran pada nilai flow dengan stabilitas yang rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban. Dari hasil pembahasan tersebut di dapatkan bahwa nilai flow yang meningkat dengan nilai stabilitas yang meningkat mempengaruhi turunnya nilai QM dikarenakan nilai QM hasil bagi stabilitas antara *flow*, semakin rendah nilai QM maka fleksibilitas campuran itu tinggi namun cenderung kurang stabil.



Gambar 17. Grafik Perbandingan KAO dan KPO

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian *marshall*, Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 5,5% pada campuran AC-WC Asphalt Concrete-Wearing Course dengan *Substitusi filler* Abu Limbah Cangkang Kemiri 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10%, sehingga didapatkan Kadar Pencampuran Optimum (KPO) Abu Limbah Cangkang Kemiri sebesar 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa Kadar Pencampuran Optimum 4,0% memiliki nilai VMA 17,53%, VFA 77,4%, VIM 4,4%, Stabilitas 1646,3 kg, Flow 2,7 mm, dan *Marshall Quotient* 737,6 kg, sedangkan Kadar Pencampuran Optimum 6,0% memiliki nilai VMA 17,76%, VFA 74,6%, VIM 4,6%, Stabilitas 2235,5kg, Flow 3,5 mm, dan *Marshall Quotient* 800,6 kg. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 8,0% VMA 18,76%, VFA 69,3%, VIM 5,8%, Stabilitas 1836 kg, Flow 4,1 mm, dan *Marshall Quotient* 538,0 kg. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 10% VMA 19,38%, VFA 67,9%, VIM 6,5%, Stabilitas 1940,2 kg, Flow 4,3 mm, dan *Marshall Quotient* 550,6 kg. Pada hasil pencampuran Abu Limbah Cangkang Kemiri dengan persentase 4,%, 6,%, 8,%, 10%, maka di dapatkan Kesimpulan Dimana pada campuran 4% dan 6% memenuhi persyaratan dari standar spesifikasi SNI Bina Marga 2018 revisi 2, sedangkan pada campuran 8% dan 10% titik Flow dan VIM melebihi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2, maka di dapatkanlah nilai persentase optimum Abu Limbah Cangkang Kemiri pada campuran aspal AC-WC.

REFERENSI

- Agustian, K., & Agusmaniza, R. (2021). Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi Filler terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 86–93.
- Aly, S. H., & Takdir, T. (2011). Penggunaan pasir besi sebagai agregat halus pada beton aspal lapisan aus. *Jurnal Transportasi*, 11(2), 123–134.
- Anonim. (2020). *Petunjuk Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*.
- Bina Marga, Di. (2010). *Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal*.

- Kognisi, P. K., Risiko, P., Jenis, D. A. N., Bidori, F., Puspitowati, L. I. dan I., Wijaya, I. G. B., Alifah, U., Artikel, I., Paedagoria, S. N., Anwar, I., Jamal, M. T., Saleem, I., Thoudam, P., Hassan, A., Anwar, I., Saleem, I., Islam, K. M. B., Hussain, S. A., Witcher, B. J., ... alma. (2021). Title. *Industry and Higher Education*, 3(1), 1689-1699. <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspac.e.uc.ac.id/handle/123456789/1288>
- Rahman, S., Paneo, S. O., Massara, A., & Alifuddin, A. (2024). *Analisis Pengaruh Pemanfaatan Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Terhadap Pengujian Marshall dan Indirect Tensile Strength Pada Campuran (AC- WC).* 2(2), 88–94.
- Refiyanni, Meidia; Ikhsan, M. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran AC-WC Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti. *Konteks* 13, II(October), 256–262.
- Safariska, Z., & Kurniasari, F. D. (2020). Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar...*, 6(1), 10–20.
- Saudi, A. I., Suryani, H., & Okviyani, N. (2024). *Pengaruh Kekuatan Aspal Dengan Penambahan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Filler Pada Lapis AC – WC.* 6(1), 16–23.
- Situmorang, S. (2021). *Perencanaan Tebal Perkerasan Terhadap Kerusakan Ruas Jalan (Studi Kasus: Jalan Wiliam Iskandar Pasar V Medan).* [https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/15631%0Ahttps://repositori.uma.ac.id/jspui/bitstream/123456789/15631/1/168110054-Sebastian Situmorang - Fulltext.pdf](https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/15631%0Ahttps://repositori.uma.ac.id/jspui/bitstream/123456789/15631/1/168110054-Sebastian%20Situmorang%20-%20Fulltext.pdf)
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya. Buku.*
- Sukirman, S. (2007). *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Nova.