
KAJIAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC) DENGAN UJI MARSHALL MODIFIKASI AGREGAT HALUS DAN FILLER MENGGUNAKAN ABU CANGKANG SAWIT HASIL PEMBAKARAN MESIN BOILER PT AGRI BUMI SENTOSA

^{1*} Abdus Syukur, ²Adhi Surya, ³Hendra Cahyadi

Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Banjarmasin, Indonesia

abdussyukur032@gmail.com

Submit: 02 Des 2024

Diterima: 16 Des 2024

Online: 28 Des 2024

ABSTRAK

Aspal merupakan material untuk membuat barang jalan raya; sebagai perkerasan jalan yang fleksibel, aspal menghasilkan produk akhir yang bagus dan nyaman. Untuk mengurangi kebutuhan aspal sebagai komponen utama, digunakan juga bahan campuran sifatnya yang dapat digunakan untuk mengurangi kelemahan yang ada pada aspal, seperti penggunaan serbuk gergaji abu cangkang. Campuran aspal Laston AC-BC dengan agregat halus kadar cangkang sawit 10%, 20%, dan filler 25%, 50% pada penelitian ini diganti dengan material abu cangkang sawit. Metodologi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari Banjarmasin dengan menggunakan 12 benda uji, tiga variasi kadar aspal, dan tiga variasi persentase penggantian abu cangkang sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggantian agregat halus 10%, 20%, dan 25% dengan filler 25% dan 50%. Mengkaji nilai Marshall campuran aspal beton AC-BC dengan abu cangkang sawit dan mengetahui konsentrasi aspal ideal untuk varian kombinasi. Hasil dari pengujian Marshall didapatkan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, Density, dan Marshall Quotient di substitusi kadar 50% memenuhi spesifikasi, campuran yang tidak memenuhi spesifikasi yaitu nilai VIM 10% sebesar 6,87%, 20% sebesar 9,40%, melebihi batas maksimum dan nilai VFB dikadar 10%, sebesar 63,10%, 20% sebesar 54,79% tidak sampai batas minimum dan nilai VIM 25% sebesar 2,85% tidak sampai batas minimum.

Kata Kunci: Agregat Halus, filler, Abu Cangkang Sawit, AC-BC, Marshall.

ABSTRACT

Asphalt is a material for making highway goods; as a flexible road pavement, asphalt produces a good and comfortable final product. To reduce the need for asphalt as the main component, a mixture of materials is also used that can be used to reduce the weaknesses in asphalt, such as the use of sawdust and shell ash. The Laston AC-BC asphalt mixture with fine aggregate of 10%, 20%, and 25% filler, 50% in this study was replaced with palm shell ash material. The research methodology was carried out at the Civil Engineering Laboratory of the Islamic University of Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari Banjarmasin using 12 test objects, three variations of asphalt content, and three variations of the percentage of palm shell ash replacement. This study aims to determine the effect of replacing 10%, 20%, and 25% fine aggregate with 25% and 50% filler. Studying the Marshall value of the AC-BC asphalt concrete mixture with palm shell ash and determining the ideal asphalt concentration for the combination variant. The results of the Marshall test obtained the stability, flow, VIM, VMA, VFB, Density, and Marshall Quotient values at a substitution rate of 50% met the specifications, the mixture that did not meet the specifications was a VIM value of 10% of 6.87%, 20% of 9.40%, exceeding the maximum limit and the VFB value at a rate of 10%, of 63.10%, 20% of 54.79% did not reach the minimum limit and the VIM value of 25% of 2.85% did not reach the minimum limit.

Keywords: Fine Aggregate, Filler, Palm Shell Ash, AC-BC, Marshall

PENDAHULUAN

kemajuan teknologi Indonesia dalam pembangunan jalan raya terus berkembang. Lapisan permukaan sangat terpengaruh; semakin besar pengerasan jalan, semakin mudah arus lalu lintas. Agregat kasar, agregat halus, dan aspal sebagai pengikat adalah komponen yang membentuk lapisan perkerasan jalan. Sebagai campuran aspal, butiran halus mengurangi sensitivitas yang bergantung pada suhu, meningkatkan viskositas aspal, dan bertindak sebagai pengisi rongga. Komposisi campuran, komposisi material, dan teknik pengerjaan semuanya memengaruhi stabil konstruksi jalan raya. Material berkualitas tinggi akan menghasilkan konstruksi perkerasan yang sangat stabil. Material limbah, seperti yang berasal dari pengolahan industri minyak kelapa sawit, juga dapat digunakan untuk membuat perkerasan jalan. Penambahan crumb rubber dan filler abu cangkang sawit mempengaruhi karakteristik campuran aspal. Kombinasi ini dapat meningkatkan stabilitas dan kinerja campuran aspal (Azhari, dkk., 2018).

Lapisan permukaan beton aspal (Laston) terdiri dari agregat dan aspal keras yang terus- menerus diratakan, dicampur, didistribusikan, dan dipadatkan dalam kondisi panas dan suhu tertentu. Laston dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang, dan berat serta kedap air, awet, dan memiliki nilai struktural 8. Persentase aspalnya berkisar antara 4 - 7% dari berat campuran.

Pembakaran cangkang sawit yang mengandung konsentrasi silika tinggi (sekitar 60%) dapat meningkatkan kuat tekan campuran aspal dengan mengurangi penyusutan dan meningkatkan ketahanan terhadap retak. Selain itu, cangkang sawit lebih kuat dan padat karena pori-porinya lebih rapat (Graile, 1985). Kadar filler 3% memberikan nilai stabilitas tertinggi, menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit hingga 3% dapat meningkatkan kinerja perkerasan aspal (Fahmi, A. M, dkk., 2021)

PMKS PT. AGRI BUMI SENTOSA yang berlokasi di Ulu Benteng, Kecamatan Marabahan, Kabupaten Barito Kuala, Provinsi Kalimantan Selatan merupakan sumber abu cangkang sawit.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti agregat halus dan pengisi pada campuran aspal beton-pengikat AC-BC terhadap Uji Marshall.

METODE

1. Lokasi penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian dan pengujian Marshall di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Kalimantan Selatan. Untuk tempat pengujian Abu Cangkang Sawit juga dilakukan di Laboratorium yang sama

2. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggabungkan data primer dan sekunder, yang dikumpulkan melalui pengamatan langsung dan data dari instansi terkait, untuk diolah membantu pengambilan keputusan dan menyampaikan informasi yang dibutuhkan.

i. Data primer

Data penelitian dari hasil agregat kasar, agregat halus, aspal, dan uji abrasi menjadi sumber data utama dalam penelitian ini.

ii. Data sekunder

sumber data sekunder lainnya, termasuk catatan dan terbitan berkala pemerintah yang relevan. Data sekunder dalam studi ini berasal dari tinjauan pustaka.

3. Bahan Penelitian

Bahan pada penelitian ini adalah:

- Aspal Pertamina

- Agregat dari Awang Bangkal
- Abu cangkang sawit substitusi agregat halus agregat 10%, 20% dan filler 25%, 50% dengan uji alat marshall

4. Alat Penelitian

Instrumen dalam penelitian ini:

- 1) Alat pengujian agregat
 - a. Saringan Standar
 - b. Mesin Los Angeles (uji abrasi)
 - c. Penguji kerataan,
 - d. pengering oven,
 - e. berat jenis,
 - f. timbangan timbang, dan
 - g. tangki perendaman.
 - h. Tabung setara pasir
 - 2) Alat Pengujian Aspal
 - a. uji penetrasi,
 - b. uji titik pelunakan,
 - c. uji titik nyala dan titik api,
 - d. uji keuletan,
 - e. uji berat jenis (menggunakan pirometer dan timbangan), serta
 - f. uji fleksibilitas (CCl₄).
 - 3) Alat Uji Karakteristik Campuran Aspal
 - a. Kepala pengepres melengkung dan cincin uji berkapasitas 3000 kg (5000 lb) dengan arloji pengukur aliran merupakan komponen alat pengepres Marshall.
 - b. Untuk Marshall standar, alat cetak benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,2 cm (4 inci) dan tinggi 7,5 cm (3 inci)
 - c. Alat pemukul manual seberat 4,5 kilogram (10 pon) dengan permukaan silinder datar berdiameter 9,8 cm dan tinggi 45,7 cm (18 inci) saat jatuh bebas.
 - d. Setelah pemadatan, benda uji diangkat menggunakan injektor atau dongkrak.
 - 4) Bak perendaman
- #### 5. Prosedur Perencanaan Penelitian
- 1) Tahap Persiapan

Tahap ini merupakan tahap penentuan arah penelitian, pada tahapan ini semua alat dan bahan yang diperlukan disiapkan terlebih dahulu.
 - 2) Pengujian agregat

Pengujian agregat kasar dan halus ini meliputi: Analisa saringan, keausan dalam mesin *los angeles* dan berat jenis agregat.
 - 3) Pengujian aspal

Pengujian aspal ini meliputi: Penetrasi, titik lembek dan berat jenis.
 - 4) Pembuatan Benda Uji

Sebelum pembuatan benda uji diadakan pembuatan rancang campur (mix design). Perencanaan rancang campur meliputi perencanaan gradasi agregat, penentuan aspal dan pengukuran komposisi masing-masing fraksi baik agregat, aspal, dan filler. Gradasi yang digunakan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan menggunakan gradasi rencana campuran Spesifikasi Umum Bina Marga

2018 Revisi II. Adapun proporsi fraksi agregat campuran dan proporsi kadar aspal substitusi abu cangkang sawit dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Proporsi Kadar Aspal Subtitusi Abu Cangkang Sawit

Kadar Aspal KAO (%)	Kode substitusi	Abu Cangkang Sawit (%)	Berat Agregat Panas (gram)	Berat Aspal KAO (gr)	Berat abu cangkang sawit (gr)
5,75	FA	10	1.180	67,85	45,6
5,75	FA	20	1.185	68,14	91,2
5,75	F	25	1.195	68,71	6
5,75	F	50	1.190	68,43	12

Sumber: analisis pribadi (2024)

Tabel 2 Proporsi Fraksi Agregat Campuran

Jenis Agregat	Kode	Proporsi Campuran (%)	Berat Benda Uji (gram)	Berat Agregat (gram)	Kumulatif (gram)
Batu pecah	CA	20	1.200	240	240
Batu Pecah	MA	27	1.200	324	564
Pasir	S	13	1.200	156	720
Abu Batu	FA	38	1.200	456	1.176
Semen	F	2	1.200	24	1.200

Sumber: analisis pribadi (2024)

Adapun jumlah sampel substitusi abu cangkang sawit dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 3 Jumlah Sampel

Persentase Abu Cangkang Sawit	Jumlah Sampel
Substitusi Agregat Halus	
10%	3
20%	3
totalSampel	6
Substitusi Filer	
25%	3
50%	3
Total Sampel	6

5) Pengujian *Marshall*

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

- Pengujian nilai stabilitas.
- Pengujian kelelahan (*flow*).
- Perhitungan *Marshall Quotient* (MQ), adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
- Perhitungan berbagai jenis volume rongga dalam beton aspal padat (VIM, VMA, dan VFA)

HASIL

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, berat jenis dan penyerapan agregat halus, serta abrasi agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles merupakan pengujian agregat yang dilakukan. Tabel 4 dan Tabel 5 adalah penjelasan mengenai hasil pengujian agregat.

Tabel 4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

No.	Macam Pemeriksaan		Agregat Kasar			
			Satndar/Rujukan	CA	MA	spesifikasi
1	Berat jenis		SNI 1970 : 2008			
	Berat Jenis Bulk	Gr/cm ³		2,590	2,529	Min 2,5
	Berat Jenis SSD	Gr/cm ³		2,620	2,574	Min 2,5
	Berat Jenis Semu	Gr/cm ³		2,671	2,648	Min 2,5
	Penyerapan	%		1,176	2,776	Maks 3%
2	Analisa Saringan		SNI 03-1973-1990			
	1 1/2" (38,1 mm)			100	100	
	1" (25 mm)			100	100	
	3/4" (19 mm)			93,3	100	
	1/2" (12,5 mm)			4,8	87,8	
	3/8" (9,5 mm)			0,13	65,5	
	No. 4 (4,75 mm)			0,06	0,15	
	No. 8 (2,36 mm)			0,04	0,06	
	No. 16 (1,18 mm)			0,04	0,06	
	No. 30 (0,6 mm)			0,04	0,06	
	No. 50 (0,3 mm)			0,04	0,06	
	No. 100 (0,18 mm)			0,0	0,0	
	No. 200 (0,075 mm)			0,0	0,0	
3	Berat Isi	Kg/lt	SNI 03-4804-1998			
	Berat Isi Agregat Lepas			1,480	1,457	
	Berat Isi Agregat Padat dengan Tusukan			1,641	1,616	
4	Los Angeles	%	SNI 2417-2008	32,40	35,50	27 – 40%
5	Kadar Lumpur	%	SNI 03-4142-1996	1,0	0,8	< 1%
6	Pemeriksaan Kadar Air	%	SNI 03-1971-1990	1,903	1,392	0,5 – 2,0%

Sumber: Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (2024)

Tabel 5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

No.	Macam Pemeriksaan		Agregat Kasar					Spesifikasi
			Satndar/Rujukan	FA	Pasir	ACS 10%	ACS 20%	
1	Berat jenis		SNI 1970 : 2008					
	Berat Jenis Bulk	Gr/cm ³		2,519	2,597	2,256	2,191	Min 2,5
	Berat Jenis SSD	Gr/cm ³		2,568	2,640	2,387	2,337	Min 2,5
	Berat Jenis Semu	Gr/cm ³		2,649	2,715	2,595	2,566	Min 2,5
	Penyerapan	%		1,949	1,659	5,798	6,678	Maks 3%
2	Analisa Saringan		SNI 03-1973-1990					
	1 1/2" (38,1 mm)			100	100	100		
	1" (25 mm)			100	100	100		
	3/4" (19 mm)			100	100	100		
	1/2" (12,5 mm)			100	100	100		
	3/8" (9,5 mm)			100	100	100		
	No. 4 (4,75 mm)			99,6	100	87,3		
	No. 8 (2,36 mm)			77,3	100	67,1		
	No. 16 (1,18 mm)			54,5	98,4	41,5		
	No. 30 (0,6 mm)			41,7	94,7	33,5		
	No. 50 (0,3 mm)			33,07	76,9	25,7		
	No. 100 (0,18 mm)			8,9	1,21	5,9		
	No. 200 (0,075 mm)			2,18	0,23	1,6		
3	Berat Isi	Kg/lt	SNI 03-4804-1998					
	Berat Isi Agregat Lepas			1,585	1,623	0,61		
	Berat Isi Agregat Padat dengan Tusukan			1,732	1,744	0,695		
4	Kadar Lumpur	%	SNI 03-4142-1996	2,8	2,0			Maks 5%
5	Pemeriksaan Kadar Air	%	SNI 03-1971-1990	5,639	3,592			2 – 6%

Sumber: Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (2024)

Berat Jenis Massal, Berat Jenis SSD, Berat Jenis Semu, dan Penyerapan Air merupakan hasil uji agregat kasar yang memenuhi persyaratan, seperti dapat dilihat dari data pada tabel di atas.

Pengujian ini meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, daktilitas pada suhu 25°C, daya rekat aspal terhadap agregat dan berat jenis aspal. Tabel 6 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian aspal yang telah dilakukan:

Tabel 6 Hasil Penetrasi, Titik Lembek dan Berat Jenis Aspal

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Hasil
1	Penetrasi	SNI 2456:2011	mm	65,5	60-70
2	Titik Lembek	SNI 2434:2011	oC	48,5	≥ 48
3	Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011	-	1,03	≥ 1,0

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat diperoleh hasil pengujian penetrasi, titik lembek dan berat aspal didapatkan hasil yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, terkecuali hasil pengujian titik lembek aspal.

Adapun pengujiannya yaitu berat jenis filler dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7 Hasil Pengujian Berat Jenis Filler

PERCOBAAN	0%		25%		50%	
	I	II	I	II	I	II
Berat Benda uji	64	64	64	64	64	64
Suhu Awal Air	25	25	25	25	25	25
Suhu Awal minyak	25	25	25	25	25	25
v1	0	0,4	0,3	0,4	0,2	0,3
Suhu Akhir Air	25	25	25	25	25	25
Suhu Akhir Minyak	25	25	25	25	25	25
v2	21,3	21,2	21,6	21,5	21,1	21,3
Berat Jenis Sisa Benda Uji = Berat Benda Uji (v2-v1) x d	3,005	3,077	3,005	3,033	3,062	3,048
Rata-rata	3,041		3,019		3,055	
Spesifikasi SNI-7064-2004						

Sumber: Hasil Pengujian Berat Jenis Filler

Tabel 8 Hasil Analisa Saringan Agregat

No.	Nomor Saringan		Persen Lolos (%)				
	Mm	Inch	CA	MA	FA	S	FILER
1.	19,1	¾"	93,3	100,00	100,00	100,00	100
2.	12,7	½"	4,8	87,87	100,00	100,00	100
3.	9,52	3/8"	0,13	65,50	100,00	100,00	100
4.	4,76	No.4	0,06	16,81	99,69	100,00	100
5.	2,38	No.8	0,04	0,15	77,34	100,00	100
6.	1,19	No.16	0,04	0,06	54,52	98,46	100
7.	0,59	No.30	0,04	0,06	41,72	94,71	100
8.	0,279	No.50	0,04	0,06	33,07	76,95	100
9.	0,149	No.100	0,00	0,00	8,96	1,21	100
10.	0,075	No.200	0,00	0,00	2,18	0,23	100

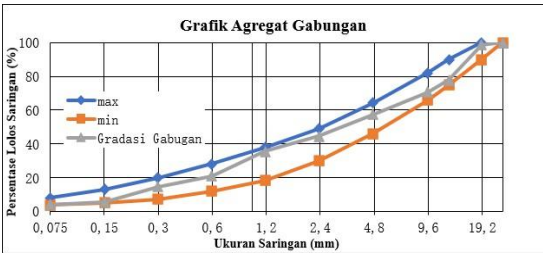
Penggabungan agregat untuk pembuatan benda uji atas metode diagonal dan metode trial and error yang berdasarkan pada nilai tengah spesifikasi. Nilai tengah gradasi gabungan batas atas dan batas bawah spesifikasi gradasi agregat. Setelah didapatkan nilai

tengah gradasi agregat gabungan Laston (AC-BC) maka selanjutnya menentukan proporsi campuran yang paling mendekati dengan nilai tengah spesifikasi. Adapun metode yang digunakan untuk menentukan proporsi campuran dalam pengujian ini ada dua (2) metode, yaitu metode diagonal dan metode trial and error. Akan tetapi proporsi campuran yang dipakai dalam pengujian ini adalah Bila dibandingkan dengan metode diagonal, hasil metode coba-coba lebih menunjukkan nilai tengah. Proporsi gabungan agregat dapat dilihat pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9 Proporsi Campuran Agregat Campuran

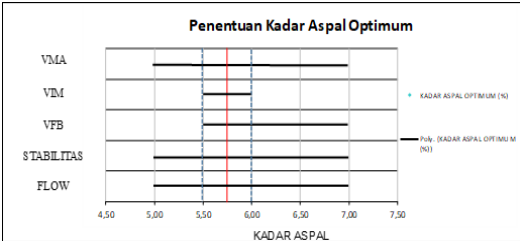
Nomor Saringan		Nomor Saringan					Gabungan	Max	Min
		20	27	38	13	2			
Mm	Inch	CA	MA	FA	S	FILLER			
19,1	¾"	18,65	27,00	38,00	13,00	2,00	98,65	100	90
12,7	½"	0,96	23,73	38,00	13,00	2,00	77,68	90	75
9,52	3/8"	0,03	17,68	38,00	13,00	2,00	70,71	82	66
4,76	No.4	0,01	4,54	37,88	13,00	2,00	57,43	64	46
2,38	No.8	0,01	0,04	29,39	13,00	2,00	44,44	49	30
1,19	No.16	0,01	0,02	20,72	12,80	2,00	35,54	38	18
0,59	No.30	0,01	0,02	6,70	12,31	2,00	21,04	28	12
0,279	No.50	0,01	0,02	2,57	10,00	2,00	14,60	20	7
0,149	No.100	0,00	0,00	3,40	0,16	2,00	5,56	13	5
0,075	No.200	0,00	0,00	2,80	0,03	2,00	4,83	8	4

Sumber: Hasil Perhitungan Proporsi Campuran Agregat, 2024



Gambar 1 Grafik Agregat Gabungan
Sumber: Perhitungan Gradasi Agregat, 2024

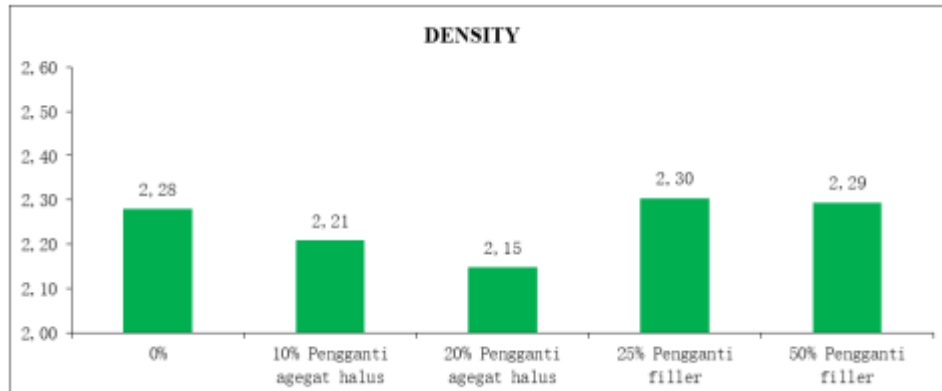
Adapun pengaruh kadar aspal terhadap sifat campuran adalah sebagai berikut:
Kadar Aspal Optimum (KAO) Karakteristik campuran aspal berikut yang diperoleh dari uji Marshall diamati untuk menentukan kadar aspal yang ideal (Gambar 2).



Gambar 2 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Nilai karakteristik campuran, seperti yang ditampilkan dalam Gambar 9 di atas, diperoleh dari hasil uji Marshall, dan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang digunakan adalah 5,75%.

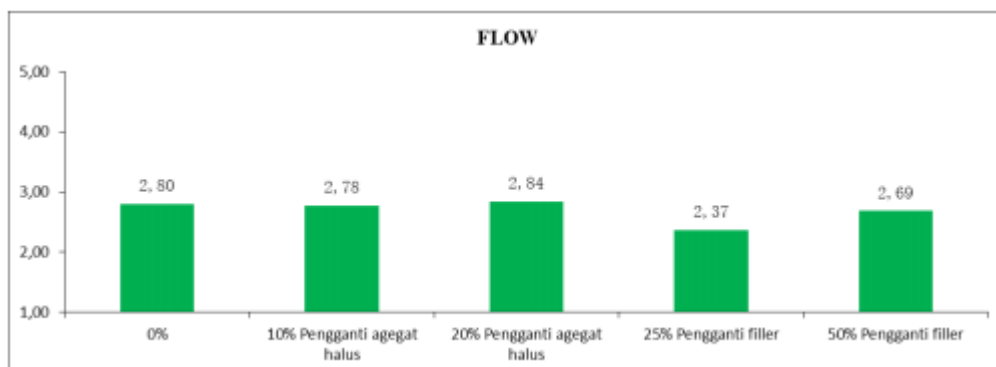
Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit pada Kadar Aspal Optimum 5,75% Terhadap Sifat Campuran seperti terlihat pada Gambar 3 di bawah ini menggambarkan kepadatan dipengaruhi oleh abu cangkang sawit sebagai aditif.



Gambar 3 Grafik Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap Density

Dari gambar 3 substitusi abu cangkang sawit mempengaruhi density campuran, yaitu dari substitusi agregat halus maupun filler sama-sama mengalami penurunan density campuran, tetapi sangat sedikit pengaruhnya. Berdasarkan grafik dapat dilihat dari perbandingan substitusi agregat halus maupun filler semakin tinggi persentase abu cangkang sawit yang ditambahkan, maka semakin menurun pula nilai density. Firdaus, F., (2022) menyatakan bahwa pemilihan tingkat kehalusan filler abu cangkang sawit yang tepat dapat mempengaruhi sifat-sifat campuran aspal, sehingga penting dalam perancangan campuran perkerasan jalan yang optimal.

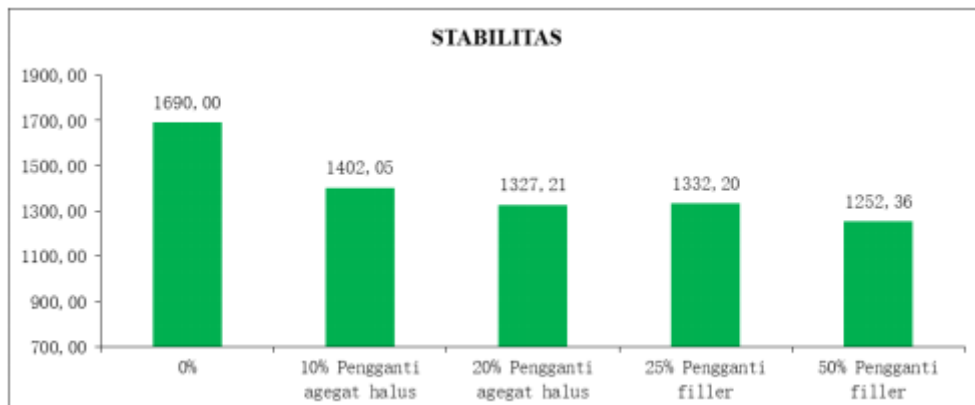
Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit pada Kadar Aspal Optimum 5,75% Terhadap kelelahan (flow). Gambar 4 di bawah ini menunjukkan hasil dampak penggantian abu cangkang sawit terhadap pelebaran (aliran):



Gambar 4 Grafik Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit terhadap Flow

Dari gambar 4 dapat disimpulkan, substitusi abu cangkang sawit mempengaruhi kelelahan (flow) campuran, yaitu menurunkan nilai flow campuran. Berdasarkan grafik dapat dilihat semakin tinggi persentase abu cangkang sawit yang ditambahkan, maka semakin tinggi nilai flow campurannya di masing-masing substitusi agregat halus maupun filler, Dari hasil pengujian dengan substitusi abu cangkang sawit ini dapat dinyatakan dengan substitusi abu cangkang sawit nilai flow campuran masih memenuhi spesifikasi untuk Laston Lapis Antara (AC-BC) yaitu diantara 2-4 mm.

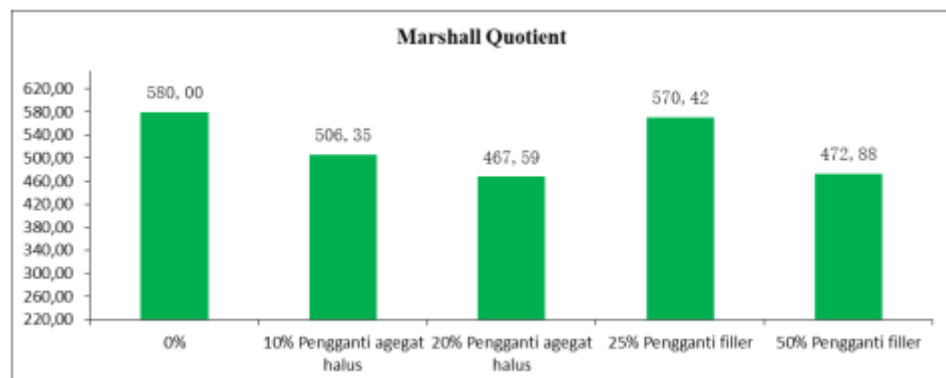
Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit pada Kadar Aspal Optimum 5,75% Terhadap Stabilitas Untuk hasil nilai stabilitas pada benda uji aspal dengan Substitusi abu cangkang sawit pada gambar 5 berikut:



Gambar 5 Grafik Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian, gambar 5 menunjukkan substitusi abu cangkang kelapa sawit mempengaruhi stabilitas. stabilitas kombinasi menurun seiring dengan bertambahnya jumlah abu cangkang kelapa sawit yang disubstitusikan dalam agregat halus dan filler. Hal ini disebabkan karena substitusi abu cangkang sawit yang menyelimuti agregat menyebabkan daya ikat lekat aspal semakin berkurang. Dari keseluruhan benda uji aspal dengan substitusi abu cangkang sawit agregat halus (10%, 20%) maupun filler (25%, 50%) semuanya memenuhi spesifikasi untuk nilai stabilitas campuran beraspal Laston Lapis Antara (AC-BC) karena nilai stabilitas yang dicapai > 800 kg.

Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit pada Kadar Aspal Optimum 5,75% Terhadap Marshall Quotient (MQ) Untuk hasil nilai marshall quotient (MQ) pada benda uji aspal dengan substitusi abu cangkang sawit dapat dilihat pada gambar 6 berikut.

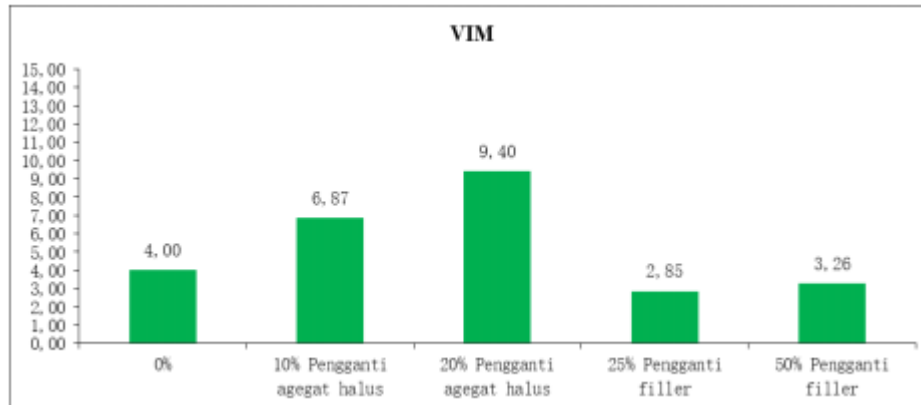


Gambar 6 Grafik Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap MQ

Dari Gambar 6 dapat disimpulkan, semakin tinggi kadar abu cangkang sawit dari agregat halus maupun filler yang disubstitusikan maka semakin rendah nilai MQ yang dihasilkan, hal ini juga berkaitan dengan hasil stabilitas yang semakin menurun dan nilai kelelahan (flow) yang semakin meningkat seiring meningkatnya persentase abu cangkang sawit dari agregat halus maupun filler yang disubstitusikan dalam campuran. Dari hasil pengujian dapat dilihat nilai marshall quotient (MQ) yang dihasilkan dari keseluruhan benda uji memenuhi spesifikasi untuk Laston Lapis Antara (AC-BC) karena nilai MQ yang dihasilkan > 250 kg/mm. Penggunaan cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus

dalam campuran AC-WC menunjukkan peningkatan nilai stabilitas dan durabilitas (Mukhlis, 2018).

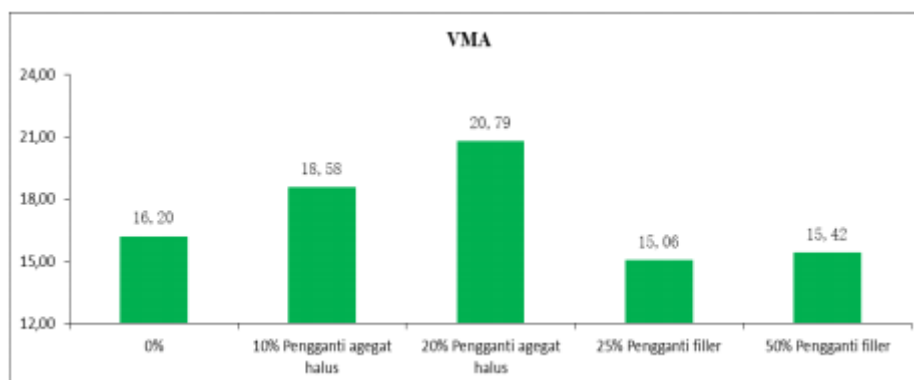
Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit pada Kadar Aspal Optimum 5,75% Terhadap Rongga Dalam Campuran (VIM) Untuk hasil nilai rongga dalam campuran (VIM) pada benda uji aspal dengan substitusi abu cangkang sawit pada gambar 7 berikut



Gambar 7 Grafik Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap VIM

Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 7 Dari tabel dan grafik, dapat disimpulkan nilai VIM benda uji aspal semakin meningkat seiring bertambahnya kadar persentase abu cangkang sawit untuk agregat halus maupun filler yang disubstitusikan. Hal ini berhubungan pada hasil density, dimana density semakin menurun atas bertambahnya kadar persentase abu cangkang sawit untuk agregat halus maupun filler yang disubstitusikan. Dari hasil pengujian ini nilai VIM yang dihasilkan untuk sebagian benda uji aspal dengan substitusi abu cangkang sawit untuk substitusi filler 50%, memenuhi spesifikasi Laston Lapis Antara (AC-BC), terkecuali kadar abu cangkang sawit untuk substitusi agregat halus 10%, 20% yang tidak memenuhi nilai VIM yang melebihi spesifikasi dan untuk substitusi filler 25% yang tidak memenuhi nilai VIM yang menurun dari spesifikasi yaitu 3-5%.

Pengaruh Substitusi abu Cangkang Sawit pada Kadar Aspal Optimum 5,75% Terhadap Rongga Dalam Agregat (VMA). Untuk hasil nilai rongga dalam agregat (VMA) benda uji aspal dengan substitusi abu cangkang sawit pada gambar 8 berikut:

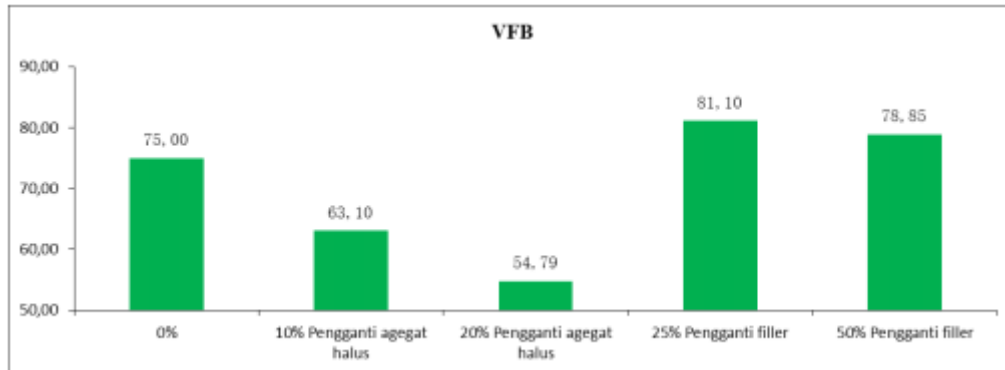


Gambar 8 Grafik Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap VIM

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian pengaruh penggantian abu cangkang kelapa sawit terhadap VMA. Berdasarkan gambar dan tabel, dapat disimpulkan semakin tinggi kadar abu cangkang sawit untuk agregat halus maupun filler maka nilai VMA semakin meningkat. Hal ini dikarenakan agregat telah terselimuti oleh abu cangkang sawit, dari

keseluruhan benda uji aspal dengan abu cangkang sawit untuk substitusi agregat halus maupun filler memenuhi spesifikasi nilai VMA untuk Laston Lapis Antara (AC-BC), karena nilai VMA yang dihasilkan $> 14\%$.

Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit pada Kadar Aspal Optimum 5,75% Terhadap Rongga Terisi Aspal (VFB) Untuk hasil nilai Rongga Terisi Aspal (VFB) benda uji aspal dengan substitusi abu cangkang sawit pada gambar 9 berikut



Gambar 9 Grafik Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap VFB

Berdasarkan pengujian pengaruh penambahan limbah karet terhadap VFB pada gambar 9, dari tabel dan gambar dapat disimpulkan nilai VFB semakin berkurang atas bertambahnya kadar persentase abu cangkang sawit yang ditambahkan. Dari Substitusi agregat halus maupun filler dan pada nilai variasi 10%, 20%, substitusi agregat halus tidak memenuhi spesifikasi nilai VFB. Pada spesifikasi, nilai VFB yang disyaratkan untuk Laston Antara (AC-BC) adalah 65%.

Dapat dilihat bahwa variasi campuran benda uji aspal dengan substitusi abu cangkang sawit untuk agregat halus 10%, 20%, dan filler 25% 50% memenuhi spesifikasi untuk nilai *Density*, *Stabilitas*, *Flow*, *Marshall Quotient* dan *VMA (Void Mineral Agregat)*, sedangkan untuk nilai *VIM (Void In Mix)* dengan substitusi kadar abu cangkang sawit untuk agregat halus 10%, 20% dan filler 25% belum memenuhi spesifikasi. Untuk nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) dikadar abu cangkang sawit untuk agregat halus 10%, 20% juga belum memenuhi spesifikasi untuk campuran aspal panas Laston Lapis Antara (AC-BC). Dari tabel diatas kadar aspal optimum diambil dari nilai stabilitas tertinggi yaitu di kadar persentase abu cangkang sawit substitusi agregat halus 10% dan sedangkan disubstitusi filler di kadar 25%, tetapi untuk nilai *VIM (Void In Mix)* di substitusi agregat halus belum memenuhi spesifikasi karena melebihi batas maksimum dan untuk substitusi filler yang memenuhi di kadar persentasi 50%. Penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai substitusi agregat halus menghasilkan nilai Marshall terbaik yaitu pada variasi 10% dan Penggunaan abu cangkang sawit sebagai substitusi filler menghasilkan nilai Marshall terbaik yaitu pada variasi 50%. Untuk di penelitian sebelumnya Penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai substitusi agregat halus menghasilkan nilai Marshall terbaik pada variasi 20% (Nanda, 2023) dan Penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai penambah filler menghasilkan nilai Marshall yang terbaik yaitu pada variasi 5% (Handoko et al., 2022)

KESIMPULAN

Dari Penelitian Ini Dapat Disimpulkan:

1. Dari Pengujian Marshal terdapat Kadar Aspal Optimum (KAO) yang di lakukan dengan mengamati sifat-sifat campuran aspal hasil dari pengujian stabilitas, flow, VIM, VMA,

VFB, Density, Marshall Quotient (MQ) maka dari hasil ini didapat Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,75%.

2. Dari hasil penelitian ini sebagai substitusi pada variasi campuran dengan abu cangkang sawit agregat halus 10%, 20%, dan filler 25%, 50% pada campuran laston AC-BC.
3. Hasil penelitian ini dengan kadar aspal optimum 5,75% nilai Marshall sebagai substitusi pada variasi campuran dengan abu cangkang sawit agregat halus 10%, 20%, dan filler 25%, 50% pada campuran laston AC-BC.
 - a. Stabilitas 10% = 1402,05 kg, 20% = 1327,21 kg, dan 25% = 1332,20 kg 50% = 1252,36 kg, Spesifikasi Stabilitas Minimum = 800 kg.
 - b. Flow 10% = 2,78 mm, 20% = 2,84 mm, 25% = 2,37 mm, dan 50% = 2,69 mm Spesifikasi Flow Minimum dan Maksimal = 2 mm – 4 mm
 - c. VIM (Void In Mix) 10% = 6,87%, 20% = 9,40%, 25% = 2,85%, dan 50% = 3,36% Spesifikasi VIM Minimum dan Maksimal = 3% - 5%
 - d. VMA (Void Mineral Agregat) 10% = 18,58%, 20% = 20,79%, dan 25% = 15,06%, 50% = 15,42%, Spesifikasi VMA Minimum = 14%
 - e. VFB (Void Filled Bitumen) 10% = 63,10%, 20% = 54,79%, 25% = 81,10% dan 50% = 78,85%, Spesifikasi VFB Minimum = 65%.
 - f. Density 10% = 2,21%, 20% = 2,15%, 25% = 2,30%, dan 50% = 2,29%.
 - g. Marshall Quotient (MQ) 10% = 506,35 kg 20% = 467,59 kg, dan 25% = 5570,42 kg, dan 50% = 472,88 Spesifikasi Marshall Quotient (MQ) Minimum = 250 kg.

Saran

Saran pada penelitian ini:

1. agregat dari berbagai lokasi akan diuji untuk penyelidikan lanjutan.
2. Dengan memasukkan jenis abu cangkang sawit ke dalam campuran aspal panas AC-BC.
3. Dapat Pada penelitian selanjutnya diharapkan mencoba jenis aspal yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alli, S., Mukhlis, M., Lusiana, L., Adibroto, F., & Suardi, E. (2019). Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Yang Mengandung Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Agregat Kasar. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 16(2), 113–123.
- Azhari, Ali D. (2018). Analisis Pengaruh Penggunaan Crumb Rubber Sebagai Bahan Penambah Aspal Dengan Filler Abu Cangkang Sawit Untuk Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (Ac- Bc). In studi penelitian
- Fahmi, A. M., Irwan, I., & Amsuardiman, A. (2021). Analisis Pengaruh Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 5(2), 64–68.
- Firdaus, F., & Wuri, A. D. (2022). Pengaruh Kehalusan Filler Abu Cangkang Sawit Terhadap Sifat Campuran Aspal Hotmix AC-BC di Tinjau Dari Void in Mix Dan Density. *Racic : Rab Construction Research*, 7(2), 176–187.
- Handoko, R., Hadijah, I., & Kurniawan, S. (2022). Analisis Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Tambahan Filler Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course Berdasarkan Pengujian Marshall. *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 3(1), 190–199.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)
- Lusiana, L., Mukhlis, M., Ali, S., Adibroto, F., & Duhamen, Z. (2019). Pemamfaatan Cangkang Sawit Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Coarse (Ac-Bc) Dengan Metode Percentage Refusal Density (Prd). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 16(2), 84–91.

- Mukhlis, M., Lusyana, L., Suardi, E., & Adibroto, F. (2018). Kinerja Marshall Immersion pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan Penambahan Cangkang Sawit sebagai Substitusi Agregat Halus. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 15(2), 99–105.
- Nanda, S. A. (2023). Pengaruh Pemakaian Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Agregat Halus Pada Campuran (Ac-Bc) Terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Teknologi Terapan and Sains 4.0*, 1(1), 1–18.
- Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) Revisi 2 Untuk Pekerjaan Jalan Dan Jembatan. Direktorat Jendral Bina Marga.