

## BAB 5 BAHASAN PENELITIAN

### 5.1 Pengujian Sifat Fisik Material

Penelitian yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa adalah melakukan pemeriksaan agregat dan aspal dengan menggunakan alat – alat laboratorium untuk masing - masing jenis pengujian.

#### 5.1.1 Hasil Pengujian Agregat

Agregat yang digunakan adalah agregat alam yang terdiri dari beberapa bagian yaitu split, *screening*, dan abu batu. Pengujian material agregat meliputi berat jenis, keausan (*los angeles*), analisa saringan, dan kadar lumpur

**Tabel 5.1** Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian		Hasil Split	Hasil <i>Screening</i>	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	<i>Bulk</i>	2.69	2.66	Min. 2.5	SNI-1969-2008
	SSD	2.7	2.7		
	Apparent (semu)	2.82	2.77		
	Penyerapan	1.73	1.52	Max. 3%	
Pengujian Keausan Agregat Kasar		19.24		Max. 40%	SNI-2417-2008

**Sumber:** Hasil Pengujian, 2022

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat kasar berdasarkan SNI 1969-2008 yang dilakukan sebanyak 2 kali pada masing – masing agregat kasar Split dan *Screening*. Dari hasil rata-rata pengujian berat jenis yang ditabulasi pada Tabel 5.1, terlihat agregat telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal 2,5 gr/cm<sup>3</sup>.

b. Pengujian Penyerapan Agregat Kasar

Pada Tabel 5.1 didapatkan hasil pengujian penyerapan agregat kasar berdasarkan metode pengujian SNI 1969-2008 masing-masing untuk split dan *Screening* yaitu 1,73% dan 1,52%.

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Ketahanan agregat terhadap pemecahan (degradasi) diperiksa melalui pengujian keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* berdasarkan metode pengujian SNI 2417-2008 yang dilakukan sebanyak 2 kali. Dari hasil rata-rata pengujian keausan agregat kasar diperoleh hasil pengujian sebesar 19,24% sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang akan digunakan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk ketentuan agregat kasar pada persentase keausan yaitu maksimal 40%.



**Gambar 5.1** Pengujian Agregat Kasar  
**Sumber:** Dokumentasi Penulis, 2022

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Abu Batu. Pengujian agregat halus terdiri dari pemeriksaan gradasi dengan analisis saringan, pengujian berat dan penyerapan. Ringkasan hasil pengujian agregat halus terdapat pada **Tabel 5.2**

**Tabel 5.2** Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian		Hasil Split	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	<i>Bulk</i>	2.57	Min. 2.5	SNI-1969-2008
	SSD	2.58		
	Apparent (semu)	2.59		
	Penyerapan	0.42	Max. 3%	

**Sumber:** Hasil Pengujian, 2022

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat halus berdasarkan SNI 1969-2008 yang dilakukan sebanyak 2 kali (2 benda uji). Dari hasil rata – rata pengujian didapat berat jenis yang ditabulasi pada Tabel 5.2 telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal 2,5 gr/cm<sup>3</sup>.

b. Pengujian Penyerapan Agregat Halus

Pada Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengujian penyerapan agregat halus berdasarkan metode pengujian SNI 1969-2008 yaitu 1,73% telah sesuai dengan standar penyerapan untuk agregat halus yaitu maksimal 3%.



**Gambar 5.2** Pengujian Agregat Halus

**Sumber:** Dokumentasi Penulis, 2022

### 5.1.2 Hasil Pengujian Aspal

Aspal adalah material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utamanya *bitumen* yang diperoleh dari residu hasil pengilangan minyak bumi berfungsi sebagai perekat agregat dalam pembuatan jalan, aspal dipilih untuk konstruksi jalan karena mempunyai sifat pekat (*consistency*) tahan

terhadap pelapukan yang disebabkan oleh cuaca, derajat pengerasan dan ketahanan terhadap air dari sifat tersebut seperti *visco-elastis* dan tergantung dari waktu pembebanan. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal pertamina dengan penetrasi 60/70. Pengujian material aspal meliputi berat jenis aspal, daktilitas, penetrasi, kehilangan berat minyak aspal, dan pengujian viskositas. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan didalam kriteria perencanaan, pada suatu sampel atau kadar aspal yang akan kita uji perlu adanya hasil dari material Dari hasil pemeriksaan Laboratorium Teknik Sipil FT UNTIRTA, diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

**Tabel 5.3** Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018		Metode Pengujian
			Minimal	Maksimal	
Aspal Penetrasi 60/70					
1	Berat Jenis	1.034	1	-	SNI 2441:2011
2	Daktilitas 25°C (cm)	118	≥ 100	-	SNI 2432:2011
3	Penetrasi, 25 °C; 100 gr	65.2	60	70	SNI 2456-2011
4	Kehilangan Berat (%)	0.295	≤ 0.8	-	SNI 06-2441-1991
5	Viskositas	138-140 °C	-	-	SNI 06-2433-1991

**Sumber:** Hasil Pengujian dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, 2022





**Gambar 5.3** Pengujian Properties Aspal

**Sumber:** Dokumentasi Penulis, 2022

Hasil pengujian aspal dinyatakan memenuhi spesifikasi yang diatur dalam Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum tahun 2018. Dari hasil penelitian didapat berat jenis aspal 1,034 dengan batas minimum 1, hal ini dapat disimpulkan bahwa aspal yang akan digunakan masih berkualitas baik karena memenuhi spesifikasi bina marga 2018. Untuk hasil penelitian kehilangan berat aspal didapat 0,295 % dari batas minimum  $\leq 0,8$  %, hal ini dapat disimpulkan bahwa aspal yang akan digunakan memiliki durabilitas yang baik karena dapat mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca atau perubahan temperatur selama masa pelayanan jalan. Untuk pengujian daktilitas didapat nilai 118 cm dari batas minimal  $\geq 100$  cm, hal ini dapat disimpulkan bahwa aspal yang akan digunakan memiliki keplastisan yang baik karena jika daktilitas aspal terlalu rendah akan mengalami retak-retak dalam penggunaannya dilapangan. Pada pengujian penetrasi didapat nilai penetrasi sebesar 65,1 dengan batas 60-70, hal ini dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian menunjukkan tingkat kekerasan aspal sesuai dengan aspal yang akan digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70. Dan untuk pengujian viskositas didapat hasil 138 – 140°C, pengujian ini berpengaruh pada suhu pencampuran dan pemadatan terhadap kekentalan zat cair.

## **5.2 Rancangan Campuran Aspal Beton**

Rancangan Campuran dilakukan sebelum pembuatan benda uji untuk menentukan proporsi dari agregat dan aspal yang akan digunakan di dalam campuran aspal beton. Proporsi agregat dalam campuran yang digunakan harus memenuhi

spesifikasi yang disyaratkan didalam peraturan Departemen Pekerjaan Umum Divisi 6 Tahun 2018.

### 5.2.1 Proporsi Agregat Campuran

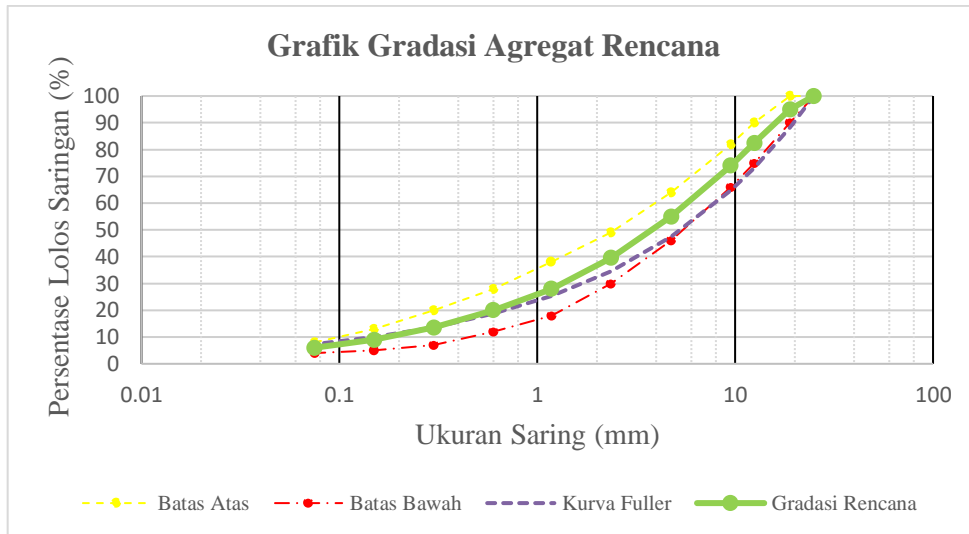
Proporsi agregat campuran dapat diketahui setelah uji analisa saringan. Uji analisa saringan dilakukan untuk mendapatkan persentase lolos dari setiap agregat yang digunakan dalam campuran. Hasil rancangan campuran ditampilkan dalam bentuk grafik yang terdapat batasan – batasan pada spesifikasi jenis campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC) dari variasi ukuran butir berdasarkan nilai titik tengah dari spesifikasi yang digunakan dalam nilai persen, dimana campuran menggunakan gradasi ini diharapkan akan menghasilkan rongga yang diisyaratkan. (Transukma, 2017). Hasil gradasi agregat gabungan dapat dilihat pada **Tabel 5.4** berikut :

**Tabel 5.4** Presentase Lolos Gradasi Campuran

Nomor/Ukuran Saringan		Spesifikasi Gradasi Laston (AC-WC) (2018)			Lolos	Tertahan
inch	mm	(%)			(%)	(%)
3/4"	19	100			0	0
1/2"	12.5	90	-	100	43.8	56.2
3/8"	9.52	77	-	90	1.95	41.85
4	4.76	53	-	69	11.7	88.3
8	2.36	33	-	53	76.3	23.7
16	1.18	21	-	40	54.1	22.2
30	0.6	14	-	30	38.1	16
50	0.3	9	-	22	25.7	12.4
100	0.15	6	-	15	14.9	10.8
200	0.075	4	-	9	6.9	8
Pan					0	6.9

**Sumber:** Hasil Pengujian dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, 2022

Dari hasil pengujian analisis saringan menunjukkan perhitungan dari setiap komposisi pada saringan bahwa untuk masing-masing agregat memenuhi kelayakan penggunaan sesuai dengan ketentuan SNI pada lapisan aspal beton



**Gambar 5.4** Grafik Gradasi Agregat Rencana Aspal Lapis Antara AC-WC  
**Sumber :** Analisa Penulis, 2022

### 5.2.2 Perkiraan Awal Kadar Aspal

**Tabel 5.5** Pembagian Butir Agregat Kasar dan Agregat Halus

Nomor/Ukuran Saringan		Spesifikasi Gradasi Laston (AC-WC) (2018)			Lolos	Tertahan
inch	mm	(%)			(%)	(%)
3/4"	19	100			0	0
1/2"	12.5	90	-	100	43.8	56.2
3/8"	9.52	77	-	90	1.95	41.85
4	4.76	53	-	69	11.7	88.3
8	2.36	33	-	53	76.3	23.7
16	1.18	21	-	40	54.1	22.2
30	0.6	14	-	30	38.1	16
50	0.3	9	-	22	25.7	12.4
100	0.15	6	-	15	14.9	10.8
200	0.075	4	-	9	6.9	8
Pan					0	6.9

**Sumbar:** Analisa Penulis, 2022

Kadar aspal ditentukan dengan cara menghitung nilai Pb

$$Pb = 0,035 (CA) + 0,045 (FA) + 0,18 (FF) + \text{Konstanta}$$

Keterangan :

Pb = Kadar Aspal Perkiraan

CA = Agregat kasar tertahan saringan no.8

FA = Agregat lolos saringan no.8 tertahan saringan no.200

FF = Agregat halus lolos saringan no.200

Dalam penelitian ini digunakan nilai konstanta 0,5.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$$

$$P_b = 0,035 (54,24) + 0,045 (41,68) + 0,18 (4,07) + 0,8$$

$$P_b = 5,307 \% \approx 5,5 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka untuk mendapatkan kadar aspal optimum pada lapisan Aus (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), kadar aspal divariasi menjadi 5 variasi kadar aspal sebagai berikut :

**Tabel 5.6** Perkiraan Nilai Kadar Aspal

Pb - 1	Pb - 0,5	Pb	Pb + 0,5	Pb + 1
4,5 %	5 %	5,5 %	6 %	6,5 %

**Sumber :** Analisa Penulis, 2022

### 5.2.3 Kebutuhan Berat Agregat

Contoh perhitungan untuk kadar aspal 5,5 %

$$\text{Berat Total} = 1200 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Aspal} &= \text{Kadar Aspal} \times \text{Berat total} \\ &= 5,5 \% \times 1200 \\ &= 66 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Total Agregat} &= \text{Berat total} - \text{Berat aspal} \\ &= 1200 - 66 \\ &= 1134 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Split 1-2} &= \text{Berat agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1134 \times 59 \% \\ &= 669,06 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Screening} &= \text{Berat agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1134 \times 25 \% \\ &= 283,5 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Abu batu} &= \text{Berat Agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1134 \times 16 \% \\ &= 181,44 \text{ gr} \end{aligned}$$

### 5.2.4 Pembuatan Benda Uji Marshall



Setelah mengetahui komposisi dan kadar aspal rencana, selanjutnya pembuatan benda uji laston AC-WC untuk menentukan kadar aspal optimum campuran. Pada penelitian ini benda uji yang dibuat sebanyak 72 sampel untuk setiap kadar variasi. Dan 9 sampel untuk setiap kadar variasi setelah didapat kadar aspal optimum (KAO) dari setiap kadar variasi yaitu 0%, 1,5%, 2%, dan 2,5%. Pembuatan benda uji mengacu kepada SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat *marshall*.

Pembuatan benda uji mengikuti standar SNI 06-2489-1991 (Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat *Marshall*). Pemadatan dilakukan dengan penumbukan sebanyak 2 x 75 kali untuk tipe lalu lintas tinggi, dengan menggunakan alat *Marshall Compaction Hammer* untuk lalu lintas sesuai yang disyaratkan Bina Marga Untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-WC).

### 5.2.5 Perhitungan Sifat Volumetrik Aspal Beton

Contoh cara perhitungan untuk kadar aspal 5,5 % dan kadar arang 0% dari hasil data-data di atas untuk mempermudah pemahaman metode yang digunakan pada penelitian saat ini yang direndam dengan air tawar selama 24 jam.

Hasil Rekapitulasi berat aspal beton dapat dilihat pada **Tabel 5.7**

**Tabel 5.7** Data Berat Aspal Beton Padat

No	Jenis Agregat	Berat Jenis, G (gram)		Komposisi Campuran, % Dari Berat Total Benda Uji, P	
			Bulk		
1	Split	Gsb <sub>1</sub>	2.69	P <sub>1</sub>	59
2	Screening	Gsb <sub>2</sub>	2.66	P <sub>2</sub>	25
3	Abu Batu	Gsb <sub>3</sub>	2.57	P <sub>3</sub>	16
4	Campuran Agregat	G <sub>s</sub>	-	P <sub>s</sub>	94
5	Kadar Aspal	G <sub>a</sub>	1.034	P <sub>a</sub>	5,5

**Sumber** : Analisa Penulis, 2022

Analisa perhitungan *marshall* dengan benda uji aspal lapis antara dengan kadar aspal 5,5%

Diketahui :

Kadar Aspal = 5,5 %

Persentase Split 1-2	= 59 %
Persentase <i>Screening</i>	= 25 %
Persentase Abu Batu	= 16 %
Bj Bulk Split 1-2	= 2,69 gr/ml
Bj Bulk <i>Screening</i>	= 2,66 gr/ml
Bj Bulk Abu Batu	= 2,57 gr/ml
Bj Bulk Aspal	= 1,034 gr/ml
Tinggi Benda Uji	= 6,65 cm
Angka Korelasi	= 1
Berat Benda Uji Kering	= 1188 gram
Berat Benda Uji SSD	= 1203.57 gram

a. Menentukan Berat jenis Bulk Agregat (Gsb)

$$Gsb = \frac{P1+P2+P3}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \frac{P3}{Gsb3}}$$

$$Gsb = \frac{59+25+16}{\frac{59}{2,69} + \frac{25}{2,66} + \frac{16}{2,57}} = 2,6 \text{ gr/ml}$$

b. Menentukan Berat jenis Efektif Agregat (Gse)

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}$$

$$Gse = \frac{100 - 5,5}{\frac{100}{2,38} - \frac{5,5}{1,034}} = 2,66 \text{ gr/ml}$$

c. Menghitung Isi Benda Uji

$$\begin{aligned} \text{Isi Benda Uji} &= \text{Berat Benda Uji SSD} - \text{Berat Benda Uji Dalam Air} \\ &= 1203,57 - 665,67 \end{aligned}$$

$$= 537,9 \text{ t/m}^3$$

d. Berat jenis Campuran Maksimum

$$\begin{aligned} G_{mm} &= \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \\ &= \frac{100}{\frac{94}{2,66} + \frac{5,5}{1,034}} = 2,38 \text{ gr/ml} \end{aligned}$$

e. Persentase pori antar butir campuran agregat

$$\begin{aligned} VMA &= 100 - \left( \frac{G_{mb} \times P_b}{G_{sb}} \right) \\ &= 100 - \left( \frac{2,24 \times 5,5}{2,61} \right) \\ &= 18,89 \% \end{aligned}$$

f. Persentase pori benda uji

$$\begin{aligned} VIM &= 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \\ &= 100 \times \frac{2,38 - 2,24}{2,38} \\ &= 5,8 \% \end{aligned}$$

g. Volume Pori Terisi Aspal (VFA)

$$\begin{aligned} VFA &= 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \\ &= 100 \times \frac{18,89 - 5,87}{18,89} = 68,88 \% \end{aligned}$$

h. Stabilitas

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas} &= \text{Pembacaan Dial} \times \text{Angka Korelasi} \times \text{Kalibrasi Alat} \\ &= 93 \times 1 \times 10,46 = 972,78 \text{ kg} \end{aligned}$$

i. *Marshall Quotient*

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} = \frac{972,78}{2,02} = 481,57 \text{ kg/mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas bisa disimpulkan setiap nilai pada pengujian memenuhi spesifikasi umum Bina Marga tentang batas – batas minimal dalam pengujian aspal.

### 5.3 Pengujian Campuran Aspal Beton

#### 5.3.1 Hasil Pengujian *Marshall*

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* (kadar normal 0%) untuk mencari kadar aspal optimum yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 5.8** Rekapitulasi Hasil Pengujian *Masrhall*

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
		0.0%	1.5%	2.0%	2.5%	
VMA (%)	4.5	20.38	18.82	17.52	16.16	Minimum 15%
	5	19.63	18.03	16.86	15.50	
	5.5	19.52	17.94	16.56	15.33	
	6	18.59	17.27	15.84	14.61	
	6.5	19.23	17.86	15.91	14.12	
VIM (%)	4.5	9.71	9.44	9.11	8.71	3 % - 5 %
	5	8.00	7.32	7.15	6.77	
	5.5	6.61	5.96	5.55	5.32	
	6	4.22	3.89	3.44	3.22	
	6.5	3.65	3.26	2.19	1.35	
VFA (%)	4.5	52.46	49.86	48.11	46.36	Minimum 65%
	5	59.31	59.70	58.06	56.38	
	5.5	66.51	66.89	66.65	65.74	
	6	77.79	77.63	78.37	78.00	
	6.5	81.23	82.25	87.09	91.16	
Stabilitas (kg)	4.5	910.02	951.86	937.91	920.48	Minimum 800 kg
	5	955.35	986.73	986.73	955.35	
	5.5	979.75	1039.03	1032.05	983.24	
	6	1014.62	1066.92	1049.49	1011.13	
	6.5	983.24	1035.54	1032.05	997.19	

Flow (mm)	4.5	2.02	2.25	2.50	2.88	2 mm - 4 mm
	5	2.18	2.34	2.47	2.93	
	5.5	2.32	2.54	2.70	3.07	
	6	2.50	2.66	2.92	3.13	
	6.5	2.77	2.91	3.19	3.41	
MQ (kg/mm)	4.5	450.46	424.43	383.55	320.43	Minimum 250 kg/mm
	5	438.25	422.07	403.29	326.43	
	5.5	422.14	411.67	385.28	321.60	
	6	406.34	412.14	360.44	324.09	
	6.5	358.69	356.62	326.77	293.99	

Sumber : Analisa Penulis, 2022

Berdasarkan **Tabel 5.8** hasil rekapitulasi pengujian *marshall* diatas campuran aspal dan variasi arang 1,5% didapatkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6 % sebesar 1066,92 kg. Nilai stabilitas mengalami penurunan dengan adanya penambahan kadar aspal dan campuran arang, hal ini dikarenakan pada kadar aspal 6% sudah mencapai nilai optimum. Penelitian untuk stabilitas campuran aspal yang menggunakan arang lebih besar dari variasi arang 0%, walaupun secara umum dengan perambahan serbuk arang stabilitas lebih tinggi dibandingkan variasi serbuk arang 0%. karena pada material aspal dan arang mempunyai kesamaan yaitu senyawa karbon, karakteristik dari senyawa karbon bisa membentuk ikatan tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga. Hal inilah yang membuat karbon memiliki sifat yang kuat mampu membentuk rantai karbon pada dasarnya karbon menjadi bahan yang kuat dalam ketahanan dan mengikat gugus fungsi yang beragam (Purwanto & Fathul Jadid Anshori, 2021). Pada nilai stabilitas secara keseluruhan memenuhi spesifikasi untuk campuran aspal beton lapis antara yaitu minimal 800 kg. Untuk nilai *flow* disetiap variasi kadar aspal mengalami kenaikan, dan untuk nilai tertinggi pada kadar aspal 6,5%. Pada kadar arang sendiri mengalami kenaikan dari variasi 0% - 2,5% semakin tinggi kadar variasi arang semakin tinggi pula nilai *flow* nya walaupun secara umum dengan pertambahan serbuk arang *flow* lebih turun dibandingkan variasi arang 0% dikarenakan *filler* yang ditambahkan maka cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak (*crack*) akibat beban lalu lintas (Muhamad Fatkhur dkk, 2020), namun nilai *flow* seluruhnya memenuhi spesifikasi umum. Untuk nilai VIM menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal pada campuran akan menurunkan nilai VIM. Pada setiap

variasi arang yang memenuhi spesifikasi nilai VIM, yaitu pada kadar aspal 6% dan 6,5% dengan kadar arang 0%, kadar aspal 6% dan 6,5% dengan kadar arang 1,5%, kadar aspal 6% dengan kadar arang 2%, dan kadar aspal 6% dengan kadar arang 2,5%. Pada penelitian ini nilai VIM untuk campuran aspal yang menggunakan variasi arang lebih curam dibandingkan variasi arang 0%, hal ini disebabkan karena sifat arang berukuran kecil dan halus rongga antar butiran agregat masih cukup besar sehingga pada setiap penambahan kadar aspal, aspal mudah unruk masuk ke dalam rongga-rongga campuran yang dapat menjadikan campuran semakin rapat dan nilai VIM semakin kecil.. Untuk VMA menunjukkan bahwa nilai VMA cenderung mengalami naik dan turun disetiap variasi kadar aspal. Namun untuk penggunaan variasi kadar arang 2,5% pada campuran kadar aspal 6% dan 6,5% lebih rendah dari batas spesifikasi VMA dibandingkan dengan variasi arang 0%, karena pengaruh dari kadar arang yang sifatnya halus dan tidak dapat cepat mengeras dengan campuran aspal dengan menghasilkan rongga didalam campuran aspal lebih sedikit, secara keseluruhan hasil yang didapat menunjukkan bahwa VMA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 15% Namun untuk penggunaan variasi kadar arang 2,5% pada campuran kadar aspal 6% dan 6,5% lebih rendah dari batas spesifikasi VMA. Untuk nilai VFA menunjukkan kenaikan disetiap penambahan kadar aspal, namun pada kadar aspal yang menggunakan variasi arang didapat nilai VFA cenderung lebih kecil. Nilai VFA menunjukkan ketebalan selimut aspal pada campuran penggunaan variasi arang memiliki ketebalan selimut yang lebih kecil dari penggunaan agregat alam. Semakin rendah selimut aspal, maka bahan pengikat campuran aspal semakin berkurang sehingga dapat mempengaruhi nilai stabilitas maupun kekakuan campuran menjadi rendah. Pada kadar aspal 4,5% - 5% belum memenuhi spesifikasi pada setiap kadar arang. Pada kadar aspal 5,5% - 6,5% secara keseluruhan nilai VFA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 65 % menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6.

### **5.3.2 Karakteristik Campuran Aspal Beton**

- a. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap VMA (*Void in Mineral Agregates*)  
Volume rongga udara dalam agregat campuran atau VMA merupakan banyaknya rongga diantara butir-butir agregat di dalam campuran aspal yang

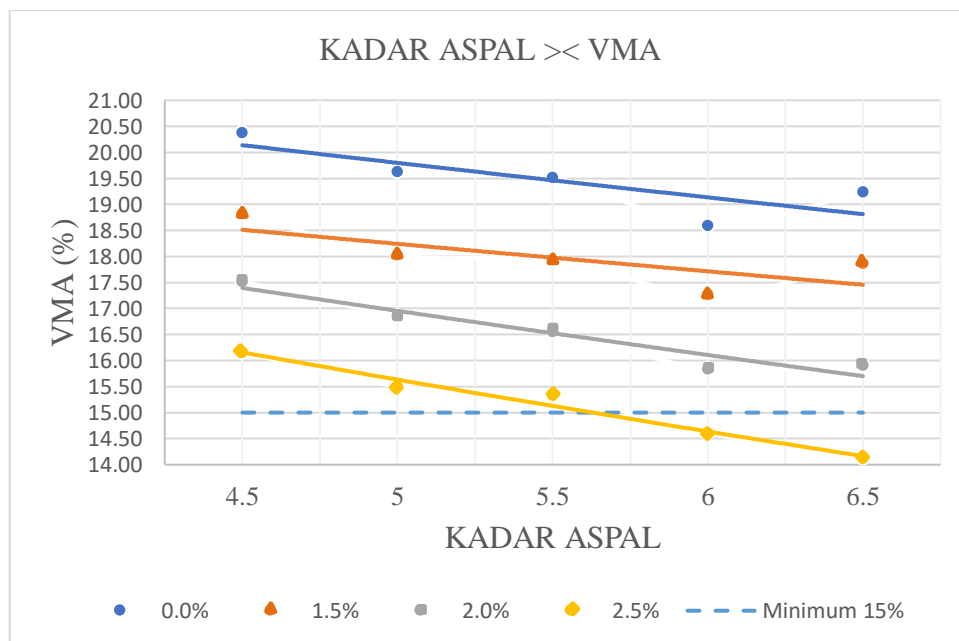
dinyatakan dalam persentase terhadap volume campuran aspal. Nilai VMA akan cenderung mengalami penurunan hingga mencapai titik minimum dan akan meninggkat kembali sesuai penambahan kadar aspal yang lebih tinggi, hal ini disebabkan karena aspal akan mengisi rongga antara agregat terlebih dahulu sampai rongga sudah tidak dapat diisi oleh aspal.

Nilai VMA sangat berkaitan dengan nilai VIM dan VFA dalam campuran. Karena VIM dan VFA adalah merupakan bagian dari VMA. Semakin besar nilai yang diperoleh dari VIM dan VFA, maka akan semakin besar pula VMA yang diperoleh, secara keseluruhan hasil yang didapat menunjukkan bahwa VMA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 15%.

**Tabel 5.9** Data Hasil Pengujian Bitumen Content VMA

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
	0%	1,5%	2%	2,5%	
4.5	20.38	18.82	17.52	16.16	Min. 15%
5	19.63	18.03	16.86	15.50	
5.5	19.52	17.94	16.56	15.33	
6	18.59	17.27	15.84	14.61	
6.5	19.23	17.86	15.91	14.12	

Sumber : Analisa Penulis, 2022



**Gambar 5.5** Grafik Hubungan Nilai VMA dan Kadar Aspal

Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5.10** Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap VMA

No	Kadar Arang	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	$y = -0.6667x + 23.1339$	0.6594	1
2	1.5%	$y = -0.5324x + 20.911$	0.5822	1
3	2%	$y = -0.8516x + 21.221$	0.9231	1
4	2.5	$y = -0.9941x + 20.612$	0.9777	1

**Sumber:** Analisa Penulis, 2023

Pada gambar diatas pengaruh penambahan kadar arang terhadap nilai VMA pada variasi kadar arang diatas bahwa dengan adanya penambahan kadar arang kedalam campuran cenderung akan menurunkan nilai VMA namun penurunan nilai VMA masih dalam batas yang telah di syaratkan terkecuali pada kadar arang 6% dan 6,5%. Hal ini dikarenakan penambahan kadar arang dapat membuat penurunan nilai VMA oleh karena itu ruang yang tersedia untuk menampung volume arang dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit, begitu pula sebaliknya jika nilai VMA mengalami peningkatan maka ruang yang tersedia untuk menampung volume arang dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin besar. Penurunan nilai VMA pada campuran yang menggunakan limbah arang kayu lebih kecil dibandingkan dengan campuran tanpa arang, hal ini dapat diakibatkan karena arang memiliki permukaan yang halus dibandingkan dengan agregat alam berdampak pada pengisian pori-pori arang menjadi tertutup atau bisa di artikan padat. Dibuktikan dari nilai determinasi pengaruh arang terhadap nilai VMA yang tertinggi mencapai 97,77% yang berarti bahwa pengaruh serbuk arang terhadap nilai VMA sangat berpengaruh dikarenakan nilai R<sup>2</sup> sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi, Kondisi ini mengakibatkan campuran dengan arang memiliki rongga yang lebih sedikit. Secara keseluruhan hasil yang didapat menunjukkan bahwa VMA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 15% dalam persyaratan Spesifikasi Umum Divisi 6 Bina Marga tahun 2018.

b. Analisis pengaruh kadar arang terhadap VIM (*Void In Mixture*)

VIM adalah volume rongga di antara butir-butir agregat yang diselimuti arang. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butiran-butiran agregat, akibat

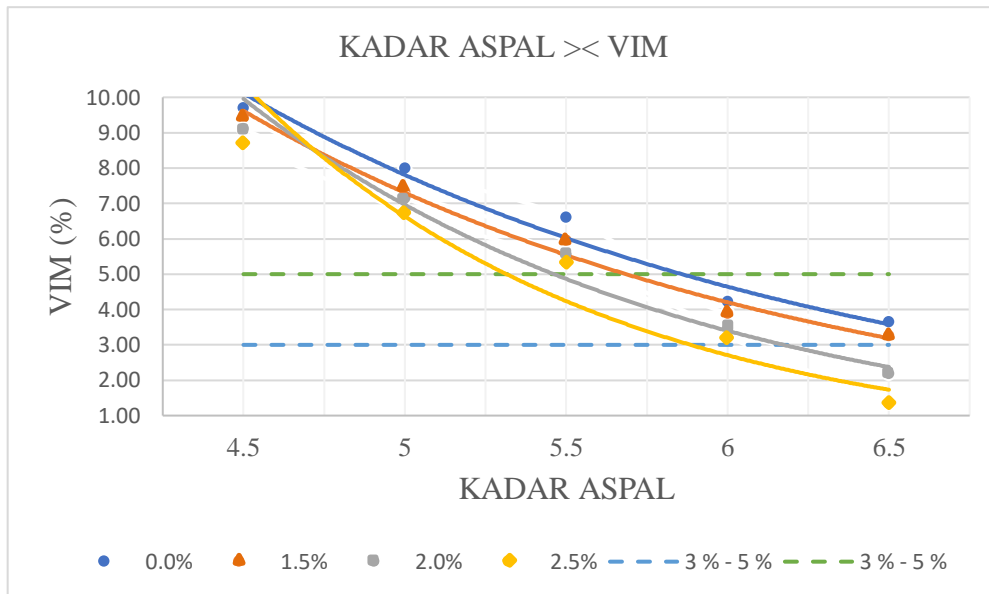


pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperature. VIM yang terlalu besar bisa mengakibatkan aspal cepat penuaan dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. Namun untuk penggunaan variasi kadar arang 2,5% pada campuran kadar aspal 6% dan 6,5% lebih rendah dari batas spesifikasi VMA dibandingkan dengan variasi arang 0%,

**Tabel 5.11** Data Hasil Pengujian Bitumen Content VIM

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
	0%	1,5%	2%	2,5%	
4.5	9.71	9.44	9.11	8.71	3 % - 5 %
5	8.00	7.32	7.15	6.77	
5.5	6.61	5.96	5.55	5.32	
6	4.22	3.89	3.44	3.22	
6.5	3.65	3.26	2.19	1.35	

Sumber : Analisa Penulis, 2022



**Gambar 5.6** Grafik Hubungan Nilai VIM dan Kadar Aspal

Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5.12** Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap VIM

No	Kadar Arang	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	$y = -3.1788x + 23.922$	0.9773	1
2	1.5%	$y = -3.1591x + 23.347$	0.9767	1
3	2%	$y = -3.5105x + 24.795$	0.9949	1
4	2.5	$y = -3.6542x + 25.173$	0.9974	1

**Sumber:** Analisa Penulis, 2023

Pada Grafik memperlihatkan bahwa pengaruh penambahan kadar arang terhadap nilai VIM pada setiap kadar aspal menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan kadar aspal kedalam campuran cenderung menurunkan nilai VIM. Semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai VIM cenderung akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena rongga antar butiran agregat masih cukup besar sehingga pada setiap penambahan kadar aspal, aspal mudah untuk masuk kedalam rongga-rongga campuran yang dapat menjadikan campuran semakin rapat dan nilai VIM semakin kecil. Lapis perkerasan yang memiliki nilai VIM terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding*, hal ini terjadi karena rongga yang ada dalam campuran kecil sehingga tidak tersedia ruang yang cukup dan mengakibatkan aspal naik kepermukaan, dan sebaliknya jika nilai VIM yang terlalu besar akan mengurangi kekedapan campuran sehingga keawetan perkerasan menjadi turun. Pada kadar aspal 6% - 6,5 % dengan kadar arang 0% dan kadar arang 1,5% lalu pada kadar aspal 6% dengan kadar arang 2% dan 2,5% nilai VIM Dibuktikan dari nilai determinasi pengaruh arang terhadap nilai VIM yang tertinggi mencapai 99,74% yang berarti bahwa pengaruh serbuk arang terhadap nilai VIM sangat berpengaruh dikarenakan nilai R<sup>2</sup> sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

c. Pengaruh kadar aspal terhadap VFA (*Void Filled with Asphalt*)

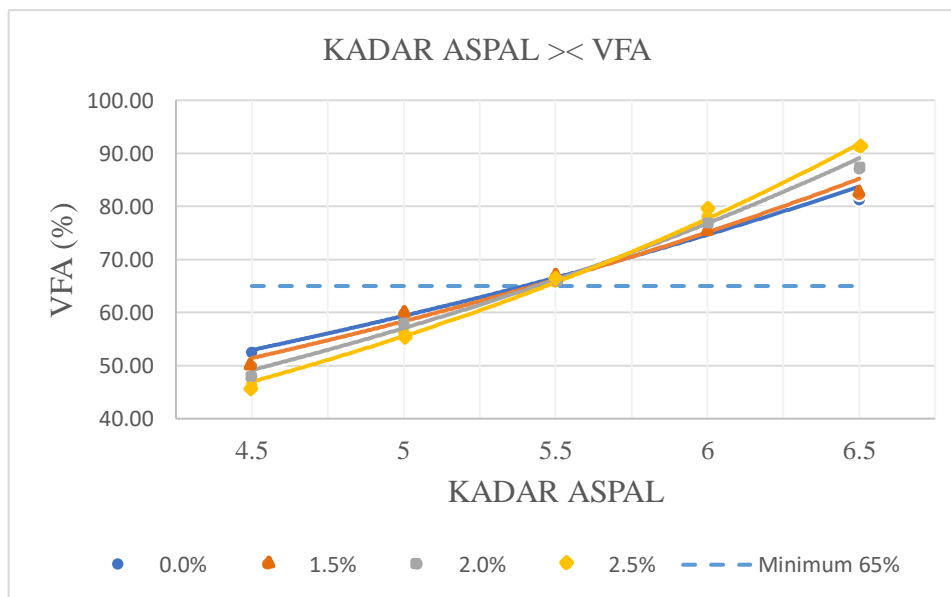
Volume rongga antar butir atau VFA bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butiran agregat, dengan demikian aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butiran-butiran agregat didalam beton aspal padat. Atau

dengan kata lain VFA inilah yang merupakan presentase volume beton aspal padat yang menjadi selimut aspal. menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Semakin besarnya nilai VFA maka semakin banyak rongga yang dapat diisi oleh aspal yang dapat menentukan keawetan suatu campuran beraspal, semakin besar nilai VFA akan menunjukkan semakin kecil nilai VIM, yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal akan semakin awet.

**Tabel 5.13** Data Hasil Pengujian Bitumen Content VFA

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
	0%	1,5%	2%	2,5%	
4.5	52.46	49.86	48.11	46.36	Min. 65%
5	59.31	59.70	58.06	56.38	
5.5	66.51	66.89	66.65	65.74	
6	77.79	77.63	78.37	78.00	
6.5	81.23	82.25	87.09	91.16	

Sumber: Analisa Penulis, 2022



**Gambar 5.7** Grafik Hubungan Nilai VFA dan Kadar Aspal

Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5.14** Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap VFA

No	Kadar Arang	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	$y = 15.203x - 16.155$	0.9817	1
2	1.5%	$y = 16.541x - 23.709$	0.9882	1
3	2%	$y = 19.655x - 40.446$	0.9981	1
4	2.5	$y = 22.245x - 54.816$	0.9946	1

**Sumber:** Analisa Penulis, 2023

Pada **Gambar 5.7** pengaruh penambahan kadar aspal terhadap nilai VFA menunjukkan bahwa dengan setiap adanya penambahan kadar aspal kedalam campuran akan meningkatkan nilai VFA, bisa dilihat pada Tabel 5.7 nilai VFA terbesar ada pada kadar aspal 6,5% dengan kadar arang 2,5% sebesar 91,16%. Hal ini disebabkan karena penggunaan arang membuat rongga antar butiran cukup besar dari pada tanpa arang, hal ini Dibuktikan dari nilai determinasi pengaruh arang terhadap nilai VFA yang tertinggi mencapai 99,81% yang berarti bahwa pengaruh serbuk arang terhadap nilai VMA sangat berpengaruh dikarenakan nilai R<sup>2</sup> sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi, karena arang memiliki permukaan yang halus sehingga aspal mudah masuk ke rongga campuran, menghasilkan campuran menjadi lebih rapat dan nilai VFA semakin besar. Nilai VFA yang terlalu besar akan mengakibatkan terjadinya *bleeding* pada saat temperatur tinggi, yang disebabkan VIM terlalu kecil sehingga apabila perkerasan menerima beban, maka aspal akan naik ke permukaan, dan sebaliknya jika nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran perkerasan semakin kecil dan aspal dalam campuran akan teroksidasi oleh udara dan keawetan campuran akan berkurang maka dari itu penentuan dari hasil pengujian VFA sangat diperlukan. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa pada kadar aspal 4,5% - 5% dengan kadar arang 0% - 2,5% seluruhnya tidak memenuhi spesifikasi, namun pada kadar aspal 5,5% - 6,5% dengan arang 0% - 2,5% cenderung meningkat dan seluruhnya memenuhi spesifikasi persyaratan.

d. Pengaruh kadar aspal terhadap Stabilitas

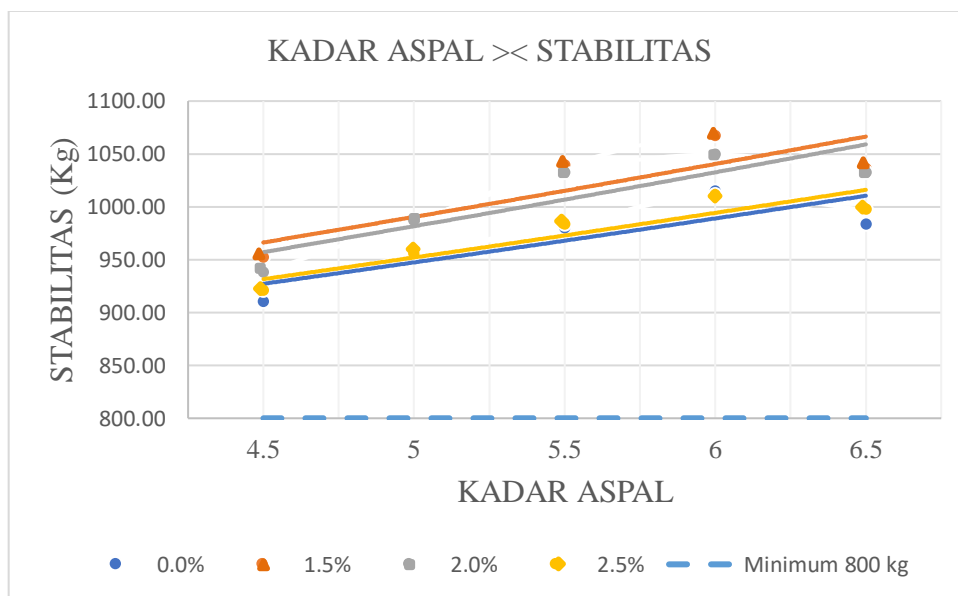
Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban tanpa mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) secara berlebihan.

Dalam penentuan nilai stabilitas dapat ditentukan dengan angka kalibrasi pada alat *Stability Marshall Tester* dikali angka korelasi dan pembacaan dial.

**Tabel 5.15** Data Hasil Pengujian Bitumen Content Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
	0%	1,5%	2%	2,5%	
4.5	910.02	951.86	937.91	920.48	Min. 800 kg
5	955.35	986.73	986.73	955.35	
5.5	979.75	1039.03	1032.05	983.24	
6	1014.62	1066.92	1049.49	1011.13	
6.5	983.24	1035.54	1032.05	997.19	

Sumber : Analisa Penulis, 2022



**Gambar 5.8** Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dan Kadar Aspal  
Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5.16** Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap Stabilitas

No	Kadar Arang	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	$y = 41.143x + 742.31$	0.6979	1
2	1.5%	$y = 49.511x + 743.71$	0.7231	1
3	2%	$y = 50.208x + 731.5$	0.7646	1
4	2.5%	$y = 41.84x + 743.36$	0.8396	1

Sumber: Analisa Penulis, 2023

Pada **Gambar 5.8** menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai terhadap stabilitas mengalami penurunan. Turunnya nilai stabilitas

disebabkan penambahan kadar aspal disetiap variasi nya dan peran kadar arang pada stabilitas mempengaruhi terhadap nilainya, pada kadar aspal 4,5% 6,5% dengan variasi arang 0%, sudah mencapai nilai optimum yang dibutuhkan, yaitu pada kadar aspal 6%, sehingga penambahan kadar aspal mengakibatkan turunnya lekatan dan gesekan antar agregat dan berakibat turunnya nilai stabilitas seperti pada kadar aspal 4,5% - 6%. Dibuktikan dari nilai determinasi pengaruh arang terhadap nilai stabilitas yang tertinggi mencapai 83,96% yang berarti bahwa pengaruh serbuk arang terhadap nilai stabilitas sangat berpengaruh dikarenakan nilai  $R^2$  sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi, pada variasi kadar arang jika dibandingkan dengan kadar arang 0% mengalami kenaikan lalu ada penurunan seiring bertambahnya variasi kadar arang Penambahan serbuk arang terhadap nilai stabilitas cenderung mengalami kenaikan setiap penambahan kadar arang, hal ini terjadi karena semakin ditambah kadar arang maka akan semakin tinggi efek saling mengunci antara butiran agregat.

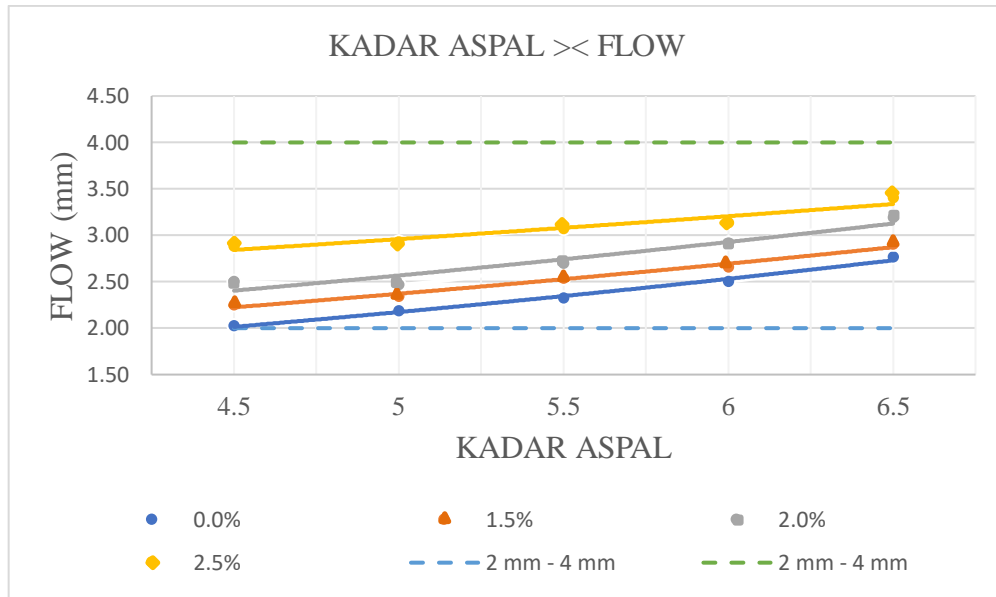
e. Pengaruh kadar aspal terhadap *Flow*

Kelelehan (*flow*) adalah deformasi yang terjadi pada awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya.

**Tabel 5.17** Data Hasil Pengujian Bitumen Content *Flow*

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
	0%	1,5%	2%	2,5%	
4.5	2.02	2.25	2.50	2.88	2 mm - 4 mm
5	2.18	2.34	2.47	2.93	
5.5	2.32	2.54	2.70	3.07	
6	2.50	2.66	2.92	3.13	
6.5	2.77	2.91	3.19	3.41	

**Sumber :** Analisa Penulis, 2022



**Gambar 5.9** Grafik Hubungan Nilai *Flow* dan Kadar Aspal  
**Sumber:** Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5.18** Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap *Flow*

No	Kadar Arang	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	$y = 0.3673x + 0.7343$	0.9121	1
2	1.5%	$y = 0.25x + 1.7103$	0.9157	1
3	2%	$y = 0.326x + 0.763$	0.9763	1
4	2.5	$y = 0.3607x + 0.3757$	0.9829	1

**Sumber:** Analisa Penulis, 2023

Pada **Gambar 5.9** pengaruh penambahan kadar aspal terhadap nilai *flow* menunjukkan bahwa nilai *flow* pada pengujian arang mengalami kenaikan dan penurunan disetiap penambahan kadar aspal penurunan terkecil dikadar aspal 4,5% dengan kadar arang 0% dan kenaikan terbesar terdapat dikadar 6,5% dengan kadar arang 2,5%. Untuk penambahan kadar arang terhadap nilai *flow* cenderung mengalami kenaikan dibandingkan dengan tanpa serbuk arang, hal ini terjadi karena daya ikat antara arang dan aspal rendah dibuktikan dari nilai determinasi pengaruh arang terhadap nilai *flow* yang tertinggi mencapai 98,29% yang berarti bahwa pengaruh serbuk arang terhadap nilai *flow* sangat berpengaruh dikarenakan nilai R<sup>2</sup> sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi. Ketika mengalami proses perendaman selama 30 menit, sifat arang merupakan adsorben yaitu suatu

padatan berpori, struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori arang aktif mengakibatkan luas permukaan semakin besar termasuk sifat serapan, banyak senyawa yang dapat di adsorpsi oleh arang aktif, tetapi kemampuannya dalam berbeda, adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul serapan dari struktur yang sama dan absorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, ikatan rangkap struktur rantai dari senyawa yang terserapnya, temperatur dan waktu pemadatan pun menjadi acuan semakin lama waktu kontak antar arang aktif maka semakin banyak adsorbat yang mengisi poripori arang aktif untuk dan oleh karena itu tingkat kekerasan *filler* serbuk aspal lebih tinggi dibandingkan *filler* alam sehingga menyebabkan campuran aspal mengalami kenaikan lebih tinggi.

f. Pengaruh kadar aspal terhadap MQ (*Marshall Quotient*)

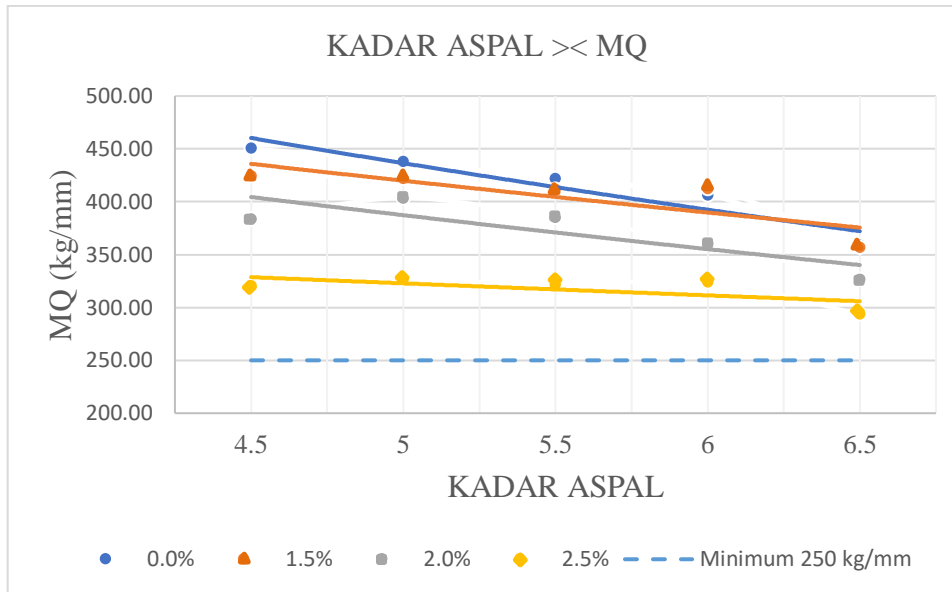
Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran, semakin besar nilai MQ pada suatu campuran maka akan semakin kaku campuran tersebut, demikian pula bila sebaliknya, MQ maka tingkat kelenturan dan plastisitas akan semakin besar campuran tersebut.

**Tabel 5.19** Data Hasil Pengujian Bitumen Content MQ

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
	0%	1,5%	2%	2,5%	
4.5	450.46	424.43	383.55	320.43	Min. 250 kg/mm
5	438.25	422.07	403.29	326.43	
5.5	422.14	411.67	385.28	321.60	
6	406.34	412.14	360.44	324.09	
6.5	358.69	356.62	326.77	293.99	

**Sumber** : Analisa Penulis, 2022





**Gambar 5.10** Grafik Hubungan Nilai MQ dan Kadar Aspal  
**Sumber:** Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5.20** Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap MQ

No	Kadar Arang	Persamaan Regresi	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	$y = -43.09x + 652.17$	0.6098	1
2	1.5%	$y = -29.113x + 565.51$	0.7054	1
3	2%	$y = -31.283x + 543.92$	0.6825	1
4	2.5	$y = -11.047x + 378.07$	0.4351	1

**Sumber:** Analisa Penulis, 2023

Pada **Gambar 5.10** dapat dilihat bahwa nilai MQ (*Marshall Quotient*) seluruhnya cenderung mengalami penurunan. Penurunan nilai MQ (*Marshall Quotient*) pada campuran aspal beton disebabkan campuran menjadi bersifat plastis dan lentur dengan penambahan kadar aspal dan arang. Hal ini dibuktikan dari nilai determinasi pengaruh arang terhadap nilai MQ karena pada kadar aspal 4,5% sudah mencapai nilai optimum yang dibutuhkan. Seluruh campuran telah sesuai dengan yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Divisi 6 Bina Marga tahun 2018 yaitu minimal 250 kg/mm.

g. Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum bertujuan untuk menentukan kadar aspal efektif pada campuran berdasarkan kadar aspal yang memenuhi nilai karakteristik *marshall*.

Kadar Arang 0%						
Stabilitas						Min 800kg
VIM						3% - 5%
VFA						Min 65%
VMA						Min 15%
Flow						2mm - 4mm
	4.5	5	5.5	6	6.5	
Kadar Aspal (%)						

**Gambar 5.11** Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum  
**Sumber:** Analisis Penulis, 2022

Kadar Arang 1.5%						
Stabilitas						Min 800kg
VIM						3% - 5%
VFA						Min 65%
VMA						Min 15%
Flow						2mm - 4mm
	4.5	5	5.5	6	6.5	
Kadar Aspal (%)						

**Gambar 5.12** Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum  
**Sumber:** Analisis Penulis, 2022

Kadar Arang 2%						
Stabilitas						Min 800kg
VIM						3% - 5%
VFA						Min 65%
VMA						Min 15%
Flow						2mm - 4mm
	4.5	5	5.5	6	6.5	
Kadar Aspal (%)						

**Gambar 5.13** Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum  
**Sumber:** Analisis Penulis, 2022

Kadar Arang 2.5%						
Stabilitas						Min 800kg
VIM						3% - 5%
VFA						Min 65%
VMA						Min 15%
Flow						2mm - 4mm
	4.5	5	5.5	6	6.5	
Kadar Aspal (%)						

**Gambar 5.14** Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum  
**Sumber:** Analisis Penulis, 2022

Dari keempat gambar diatas dapat dilihat pada grafik barchart menunjukkan bahwa nilai yang didapat dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) yang didapat pada kadar arang 0% dan kadar arang 1,5% yaitu pada kadar aspal 6,25%, dan pada kadar arang 2% dan 2,5% yaitu pada kadar aspal 6%.

Pemakaian serbuk arangl sebagai pengganti *filler* menunjukkan bahwa penambahan serbuk arang menyebabkan terjadinya peningkatan nilai KAO,. Hal ini disebabkan karena sifat arang tidak mudah bercampur dengan aspal. Kadar aspal optimum menjadi persyaratan mutlak dalam setiap campuran lapis perkerasan beraspal. Besaran kadar aspal optimum berbeda-beda, tergantung dari propertis aspal, agregat, gradasi agregat dan jenis campuran itu sendiri.

## 5.4 Pengujian Campuran Aspal Beton Tahap Kedua

### 5.4.1 Hasil Pengujian *Marshall*

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan bahan tambah arang dengan kadar arang 0%, 1,5%, 2% dan 2,5% menggunakan kadar aspal optimum dapat dilihat Pada Tabel Dibawah ini :

**Tabel 5.21** Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* dengan Kadar Apal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Arang (%)	Kadar Aspal Optimum (%)	Hasil	Spesifikasi
VMA (%)	0	6.25	19.60	Minimum 15%
	1.5	6.25	17.94	
	2	6.00	18.55	
	2.5	6.00	19.84	
VIM (%)	0	6.25	4.34	3 % - 5 %
	1.5	6.25	4.42	
	2	6.00	5.12	
	2.5	6.00	6.62	
VFA (%)	0	6.25	77.85	Minimum 65%
	1.5	6.25	75.43	
	2	6.00	72.69	
	2.5	6.00	66.67	
Satabilitas (kg)	0	6.25	1028.57	Minimum 800 kg
	1.5	6.25	1066.92	
	2	6.00	1039.03	
	2.5	6.00	1025.08	

Flow (mm)	0	6.25	2.70	2 mm - 4 mm
	1.5	6.25	2.61	
	2	6.00	3.14	
	2.5	6.00	3.37	
MQ (kg/mm)	0	6.25	386.63	Minimum 250 kg/mm
	1.5	6.25	418.59	
	2	6.00	334.17	
	2.5	6.00	305.32	

**Sumber:** Analisis Penulis, 2022

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian *marshall* pada Tabel 5.15 di atas. Nilai VMA tertinggi yaitu 19,84% pada kadar arang 2,5% dengan kadar aspal optimum 6% dan cenderung mengalami naik turun dari setiap penambahan kadar arang, hal ini terjadi karena penggunaan serbuk arang yang sebagai pengganti *filler* mengisi rongga-rongga pada celah agregat. Nilai VIM tertinggi yaitu pada kadar arang 2,5% dengan kadar aspal optimum 6% dan menunjukkan bahwa penambahan kadar arang cenderung meningkatkan nilai VIM, hal ini terjadi karena kadar arang mempengaruhi rongga udara dari sifat arang berstruktur pori-pori sedangkan daya serap arang terhadap aspal kurang baik ini yang menjadi faktor dari meningkatnya nilai VIM pada penelitian arang sebagai bahan tambah *filler* dan mengakibatkan terbentuknya rongga-rongga di campuran aspal. Nilai VFA tertinggi yaitu 77,85% pada kadar arang 0% dengan kadar aspal optimum 6,25% dan cenderung mengalami penurunan pada setiap penambahan kadar arang, hal ini terjadi karena arang memiliki senyawa yang sama dengan aspal menjadi satu kesatuan yang berdampak pada menurunannya nilai VFA. Nilai Stabilitas optimum yaitu 1066,92 kg pada kadar arang 1,5% dengan kadar aspal optimum 6,25%, hal ini karena penambahan serbuk arang dengan aspal yang memiliki senyawa yang sama yaitu karbon dengan sifat senyawa karbon aktif mengakibatkan durability pada aspal semakin meningkat. Nilai *Flow* optimum yaitu 3,37 mm pada kadar arang 2,5% dengan kadar aspal optimum 6%, penambahan serbuk arang meningkatkan nilai *flow* karena serbuk arang memiliki sifat yang kurang mengikat terhadap aspal tekstur yang seperti abu namun mempunyai masa yang lebih ringan dengan *filler* alam dan dari nilai kausan yang lebih tinggi dari pada agregat alam. semakin banyak serbuk arang yang digunakan pun akan semakin besar nilai *flow* daya rekat saat pemanasan dan pengujian tekan pada suhu tertentu membuat aspal mudah untuk

berubah bentuk, hal ini menyebabkan mudahnya campuran mengalami perubahan bentuk akibat beban. Nilai MQ yang didapat seluruhnya memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018.

#### 5.4.2 Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall* Sisa

Rekapitulasi hasil pengujian stabilitas *Marshall* dengan arang sebagai bahan tambah *filler* dengan kadar arang 0%, 1,5%, 2% dan 2,5% menggunakan kadar aspal optimum dapat dilihat Pada Tabel Dibawah ini :

**Tabel 5.22** Rekapitulasi Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall* Sisa

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Arang (%)	Kadar Aspal Optimum (%)	Hasil	Minimum	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	0	6.25	1010.20	925.71	Min. 90% dari Hasil <i>Marshall</i>
	1.5	6.25	1024.26	960.23	
	2	6	1032.69	935.12	
	2.5	6	1000.50	922.57	

**Sumber:** Analisa Penulis, 2022

Berdasarkan hasil rekapitulasi hasil pengujian stabilitas *marshall* sisa dapat dilihat pada **Tabel 5.16**. Stabilitas marshal sisa pada kadar arang 0%, 1,5%, 2% dan 2,5% memenuhi spesifikasi umum divisi 6 bina marga tahun 2018. Sehingga hal ini dapat disimpulkan bahwa campuran aspal tersebut dapat bertahan terhadap pengaruh cuaca, air, temperatur atau keausan akibat gesekan kendaraan.

#### 5.5 Penentuan Proporsi Ideal yang Memenuhi Semua Karakteristik Campuran

Penentuan proporsi ideal yang memenuhi semua karakteristik *marshall* campuran beton aspal untuk penambahan kadar arang sebagai bahan tambah *filler* dimaksudkan untuk menentukan proporsi ideal pencampuran arang efektif dalam campuran. Rekapitulasi hasil analisis penentuan proporsi ideal penambahan arang ditunjukkan pada **Tabel 5.17**.

**Tabel 5.23** Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Kadar serbuk arang dengan Kadar Aspal Optimum

Kadar Arang	Kadar Aspal Optimum	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ	Stabilitas Marshall
		3% - 5%	Min. 15%	Min. 65%	Min. 800 kg	2 mm - 4 mm	Min. 250 kg/mm	Sisa Min. $\geq 90\%$
0.0	6.50	4.34	19.60	77.85	1028.57	2.70	386.63	1010.20
1.5	6.00	4.42	17.94	75.43	1066.92	2.61	418.59	1024.26
2.0	6.50	5.12	18.55	72.69	1039.03	3.14	334.17	1032.69
2.5	6.50	6.62	19.84	66.67	1025.08	3.37	305.32	1000.50
Keterangan								
		:	Memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018					
		:	Tidak Memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018					

Sumber : Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5.24** Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Kadar Serbuk Arang Dengan Kadar Aspal Optimum Terhadap Nilai Stabilitas

Karakteristik Marshall	Kadar Arang (%)	Kadar Aspal Optimum (%)	Hasil
Stabilitas (kg)	0	6.25	1028.57
	1.5	6.25	1066.92
	2	6	1039.03
	2.5	6	1025.08

Sumber : Analisa Penulis, 2022

Pada **Tabel 5.17** dan **Tabel 5.18** diatas dapat ditentukan proporsi ideal penambahan serbuk arang pada campuran aspal beton perbandingan yang bisa dilihat jika tidak menggunakan serbuk arang nilai-nilai dalam pengujian *marshall* kurang maksimal dan bisa dimaksimalkan oleh penambahan serbuk arang, dan berdasarkan nilai stabilitas tertinggi pada setiap proporsi campuran yang memenuhi semua karakteristik *marshall* campuran sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 untuk jenis campuran Lapis Aspal Beton (Laston) Lapis Aus (AC-WC) yaitu pada kadar arang 1,5% dengan kadar aspal 6,25 % dengan nilai stabilitas 1066,92 kg,

### 5.6 Pengaruh Limbah Arang Sebagai Bahan Tambah *Filler* Pada Setiap Pengujian *Marshall*

Berdasarkan hasil penelitian pada beberapa variasi penambahan serbuk arang kayu berdampak pada campuran beton aspal, data-data diatas menunjukkan nilai VIM,

VMA, VFA, Stabilitas, *Flow*, dan Kadar sisa memenuhi spesifikasi Bina Marga Kementerian PUPR Divisi 6 revisi 2018, penjelasannya sebagai berikut

a. VMA (*Void in Mineral Agregates*)

Nilai VMA mengalami peningkatan maka ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin besar. Penurunan VMA pada campuran yang menggunakan limbah arang kayu lebih curam dibandingkan dengan campuran tanpa arang, hal ini dapat diakibatkan karena arang memiliki permukaan yang halus dibandingkan dengan agregat alam. Kondisi ini mengakibatkan campuran dengan arang memiliki rongga yang lebih sedikit.

b. VIM (*Void In Mixture*)

Volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang diselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, penambahan kadar arang terhadap nilai VIM pada setiap kadar aspal menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan kadar aspal kedalam campuran cenderung menurunkan nilai VIM. Semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai VIM cenderung akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena rongga antar butiran agregat masih cukup besar sehingga pada setiap penambahan kadar aspal, aspal mudah untuk masuk kedalam rongga-rongga campuran yang dapat menjadikan campuran semakin rapat dan nilai VIM semakin kecil

c. VFA (*Void Filled with Asphalt*)

Pada setiap penambahan kadar arang, hal ini terjadi karena arang memiliki senyawa yang sama dengan aspal menjadi satu kesatuan yang berdampak pada menurunnya nilai VFA

d. Stabilitas

Pada variasi kadar arang jika dibandingkan dengan kadar arang 0% mengalami kenaikan lalu ada penurunan seiring bertambahnya variasi kadar arang. Penambahan serbuk arang terhadap nilai stabilitas cenderung mengalami kenaikan setiap penambahan kadar arang, hal ini terjadi karena semakin ditambah kadar arang maka akan semakin tinggi efek saling mengunci antara butiran agregat.

e. Kelelahan (*flow*)

Untuk penambahan kadar arang terhadap nilai *flow* cenderung mengalami kenaikan dibandingkan dengan tanpa serbuk arang, hal ini terjadi karena daya ikat antara arang dan aspal rendah. Ketika mengalami proses perendaman selama 30 menit, temperature dan waktu pemadatan pun menjadi acuan semakin lama waktu dan suhu pada campuran semakin lapuk kondisi pada campuran di sebabkan arang memiliki kepekaan lebih tinggi dibandingkan dengan *filler* alam terhadap suhu

f. Stabilitas *Marshall* Sisa

Stabilitas marshal sisa pada kadar arang 0%, 1,5%, 2% dan 2,5% memenuhi spesifikasi umum divisi 6 bina marga tahun 2018. Sehingga hal ini dapat disimpulkan bahwa campuran aspal tersebut dapat bertahan terhadap pengaruh cuaca, air, temperatur atau keausan akibat gesekan kendaraan.