

## BAB 5

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pemeriksaan 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 pada masing-masing pengujian.

##### 5.1.1 Analisis Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan adalah agregat kasar, agregat halus, abu batu dan serbuk marmar. Pengujian agregat meliputi berat jenis dan penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lumpur agregat.

##### 5.1.1.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang lolos saringan No. 3/4 dan tertahan saringan No. 4, pengujian agregat kasar yaitu meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, keausan agregat kasar dan kadar lumpur agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.1

**Tabel 5.1** Data Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Jenis Pengujian		Hasil Pengujian	Spesifikasi Umum		Metode Pengujian
			Minimal	Maksimal	
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	<i>Bulk</i>	2,622	2,5	-	SNI 1969-2016
	<i>SSD</i>	2,637	2,5	-	
	<i>Apparent</i>	2,661	2,5	-	
	<i>Absorption</i>	0,558	-	3%	
Pengujian Keausan Agregat (Los Angeles Abration)		19,240	-	40%	SNI 2417-2008
Kadar Lumpur Agregat		0,438	-	1%	SNI ASTM C117-2012

Sumber: Analisis Penulis, 2023

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar



**Gambar 5.1** Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pengujian terhadap berat jenis agregat kasar dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat kasar berdasarkan SNI 1969-2016. Berdasarkan Tabel 5.1 diketahui hasil pengujian berat jenis *bulk* yaitu sebesar  $2,622 \text{ gram/cm}^3$ , untuk pengujian berat jenis SSD yaitu sebesar  $2,637 \text{ gram/cm}^3$ , dan pengujian berat jenis *apparent* yaitu sebesar  $2,661 \text{ gram/cm}^3$ . Dari hasil pengujian berat jenis yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai berat jenis telah memenuhi persyaratan yaitu berat jenis minimal  $2,5 \text{ gram/cm}^3$  sehingga agregat kasar dapat digunakan untuk campuran aspal. Agregat kasar dengan berat jenis yang kecil akan mempunyai volume yang besar sehingga berpengaruh terhadap penggunaan jumlah aspal yang semakin banyak. Berat jenis yang kecil juga berpengaruh terhadap nilai VIM karena akan membuat rongga dalam campuran semakin besar.

Pengujian terhadap penyerapan agregat kasar dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat kasar berdasarkan SNI 1969-2016. Diketahui hasil pengujian penyerapan agregat kasar yaitu sebesar  $0,558\%$ , hal tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar baik digunakan pada campuran aspal karena hasil pengujian telah memenuhi persyaratan yaitu penyerapan maksimal sebesar  $3\%$ . Jika nilai penyerapan terlalu besar maka agregat akan meresap banyak aspal sehingga *film* aspal semakin tipis dan untuk meminimalisir potensi pelemahan ikatan antar agregat.

b. Pengujian Keausan Agregat Kasar



**Gambar 5.2** Pengujian Keausan Agregat Kasar

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pengujian terhadap keausan agregat kasar dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat kasar berdasarkan SNI 2417-2018. Berdasarkan Tabel 5.1 diketahui hasil pengujian keausan agregat kasar yaitu sebesar 19,240%, hal tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki daya tahan yang baik terhadap penghancuran akibat dari beban mekanis seperti pada saat proses pelaksanaan pembuatan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan) serta daya tahan agregat kasar selama masa pelayanan jalan karena hasil pengujian telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai keausan maksimal sebesar 40%.

c. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar



**Gambar 5.3** Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat kasar dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat kasar berdasarkan SNI ASTM C117-2012. Berdasarkan Tabel 5.1 diketahui hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar yaitu sebesar 0,438%, hal tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki kualitas yang baik untuk campuran aspal karena hasil pengujian telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu kadar lumpur maksimal sebesar 1%. Apabila kadar lumpur dalam agregat kasar terlalu banyak dapat mengurangi daya rekat pada campuran aspal sehingga dapat mempengaruhi kekuatan campuran aspal tersebut.

#### 5.1.1.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200, pengujian agregat halus yaitu meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kadar lumpur agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.2

**Tabel 5.2** Data Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Jenis Pengujian		Hasil Pengujian	Spesifikasi Umum		Metode Pengujian
			Minimal	Maksimal	
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	<i>Bulk</i>	2,590	2,5	-	SNI 1970-2016
	<i>SSD</i>	2,639	2,5	-	
	<i>Apparent</i>	2,723	2,5	-	
	<i>Absorption</i>	1,885	-	3%	
Kadar Lumpur Agregat		2,400	-	5%	SNI ASTM C117-2012

Sumber: Analisis Penulis, 2023

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus



**Gambar 5.4** Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pengujian terhadap berat jenis agregat halus dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat halus berdasarkan SNI 1970-2016. Berdasarkan Tabel 5.2 diketahui hasil berat jenis *bulk* yaitu sebesar 2,590 gram/cm<sup>3</sup>, untuk berat jenis SSD yaitu sebesar 2,639 gram/cm<sup>3</sup>, dan berat jenis *apparent* yaitu sebesar 2,723 gram/cm<sup>3</sup>. Dari hasil pengujian berat jenis yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai berat jenis telah memenuhi persyaratan yaitu berat jenis minimal 2,5 gram/cm<sup>3</sup> sehingga agregat halus dapat digunakan untuk campuran aspal. Berat jenis agregat yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga jumlah aspal yang dipakai semakin banyak. Berat jenis yang kecil juga berpengaruh pada nilai VIM karena membuat rongga campuran semakin besar.

Pengujian terhadap penyerapan agregat halus dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat halus berdasarkan SNI 1970-2016. Berdasarkan Tabel 5.2 diketahui hasil pengujian penyerapan agregat halus yaitu sebesar 1,885%, hal tersebut menunjukkan bahwa agregat halus baik digunakan pada campuran aspal karena hasil pengujian telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu penyerapan maksimal sebesar 3%. Nilai penyerapan agregat halus tidak boleh melebihi batas persyaratan karena agregat akan meresap banyak aspal yang ada di permukaan sehingga *film* aspal semakin tipis dan juga untuk meminimalisir potensi pelemahan ikatan antar aspal dengan agregat.

b. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus



**Gambar 5.5** Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat halus dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat halus berdasarkan SNI ASTM C117-2012. Berdasarkan Tabel 5.2 diketahui hasil pengujian kadar lumpur agregat halus yaitu sebesar 2,400%, hal tersebut menunjukkan bahwa agregat halus memiliki kualitas yang baik untuk campuran aspal karena hasil pengujian telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu kadar lumpur maksimal sebesar 5%. Apabila kadar lumpur dalam agregat halus terlalu banyak dapat mengurangi daya rekat pada campuran aspal sehingga dapat mempengaruhi kekuatan campuran aspal tersebut.

### 5.1.2 Analisis Karakteristik *Filler*

*Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah abu batu dan serbuk marmer yang lolos saringan No. 200 dan tertahan pada pan yang dapat dilihat pada gambar 5.6, hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3



**Gambar 5.6** *Filler* Abu Batu dan *Filler* Serbuk Marmer

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

**Tabel 5.3** Data Pengujian Karakteristik *Filler*

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian (gr/ml)	Metode Pengujian
Berat Jenis <i>Filler</i> Abu Batu	2,537	SNI 1970-2016
Berat Jenis <i>Filler</i> Serbuk Marmer	2,578	

Sumber: Analisis Penulis, 2023



**Gambar 5.7** Pengujian Berat Jenis *Filler* Abu Batu dan Serbuk Marmer

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pengujian terhadap berat jenis *filler* dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing *filler* berdasarkan SNI 1970-2016. Berdasarkan tabel 5.3 diketahui berat jenis *filler* abu batu yaitu sebesar 2,537 dan berat jenis *filler* serbuk marmer yaitu sebesar 2,578. Dari hasil pengujian berat jenis *filler* yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai berat jenis *filler* abu batu lebih kecil dibandingkan berat jenis *filler* serbuk marmer. Penggunaan *filler* dengan berat jenis yang lebih kecil akan menyebabkan campuran menjadi kurang aspal yang ditandai dengan nilai rongga dalam campuran akan lebih besar dan nilai rongga terisi aspal (VFA) akan lebih kecil (Ali, 2013).

### 5.1.3 Analisis Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal pertamina dengan penetrasi 60/70. Pengujian agregat meliputi penetrasi, titik nyala dan bakar, titik lembek, daktilitas, berat jenis, kehilangan berat dan viskositas pada Tabel 5.4

**Tabel 5.4** Data Pengujian Sifat Fisik Aspal

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi Umum		Metode Pengujian
		Minimal	Maksimal	
Penetrasi	65,2	60	70	SNI 2456-2011
Titik Nyala dan Bakar	326	232	-	SNI 2433-2011
Titik Lembek	52,5	48	-	SNI 2434-2011
Daktilitas	111	100	-	SNI 2432-2011
Berat Jenis	1,034	1	-	SNI 2441-2011
Kehilangan Berat	0,296	-	0,8	SNI 2440-1991
Viskositas	144-155	-	-	SNI 7729-2011

Sumber: Analisis Penulis, 2023

a. Pengujian Penetrasi Aspal



**Gambar 5.8** Pengujian Penetrasi Aspal

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pada pengujian penetrasi aspal didapat hasil sebesar 65,2, dimana penetrasi aspal telah memenuhi persyaratan yaitu diantara 60-70. Semakin besar nilai penetrasi maka aspal semakin lunak dan semakin kecil nilai penetrasi maka aspal yang digunakan semakin keras.



b. Pengujian Titik Nyala dan Bakar Aspal



**Gambar 5.9** Pengujian Titik Nyala dan Bakar Aspal

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pada pengujian titik nyala dan bakar aspal didapat hasil sebesar  $326^{\circ}\text{C}$ , hal ini menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memiliki keamanan yang baik terhadap resiko kebakaran karena telah memenuhi persyaratan yaitu minimal  $232^{\circ}\text{C}$ . Semakin tinggi suhu titik bakar pada aspal maka akan semakin baik dikarenakan aspal tidak mudah terbakar pada saat pelaksanaannya.

c. Pengujian Titik Lembek Aspal



**Gambar 5.10** Pengujian Titik Lembek Aspal

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pada pengujian titik lembek aspal didapat hasil sebesar  $52,5^{\circ}\text{C}$ , sehingga aspal baik digunakan untuk campuran aspal karena telah memenuhi persyaratan yaitu minimal  $48^{\circ}\text{C}$ . Semakin tinggi suhu titik lembek, maka aspal semakin baik pula dikarenakan aspal tidak mudah mengalami perubahan bentuk.

#### d. Pengujian Daktilitas Aspal



**Gambar 5.11** Pengujian Daktilitas Aspal

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pada pengujian daktilitas aspal didapat hasil yaitu 111 cm, dimana hasil tersebut telah memenuhi persyaratan yaitu minimal 100 cm. Hal ini menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memiliki kelenturan yang baik, sehingga aspal dapat mengikat agregat pada campuran semakin baik pula.

#### e. Pengujian Berat Jenis Aspal



**Gambar 5.12** Pengujian Berat Jenis Aspal

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

Pada pengujian berat jenis aspal didapat hasil sebesar 1,034, dimana aspal yang digunakan telah memenuhi persyaratan yaitu minimal 1. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan mineral minyak dan partikel lain di dalam aspal semakin sedikit yang membuat kualitas aspal semakin baik.

f. Pengujian Kehilangan Berat Aspal



**Gambar 5.13** Pengujian Kehilangan Berat Aspal

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023

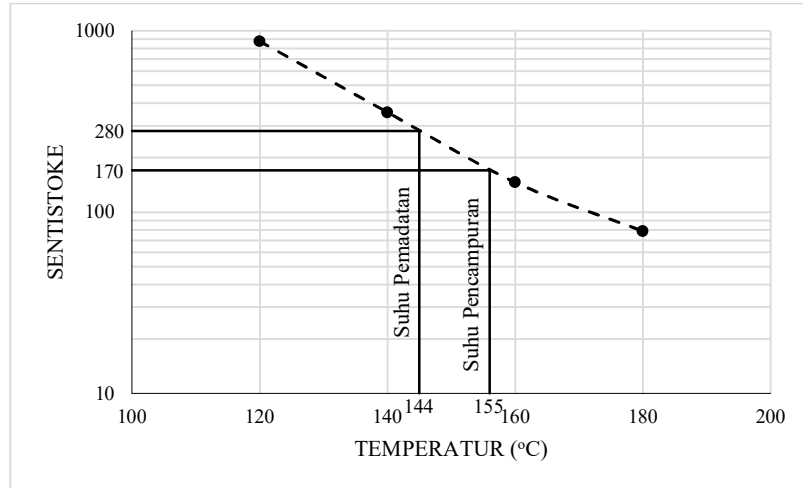
Pada pengujian kehilangan berat aspal didapat hasil sebesar 0,295%, hal ini menunjukkan bahwa aspal yang digunakan masih dalam kondisi baik karena telah memenuhi persyaratan yaitu maksimal 0,8%. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa aspal yang digunakan mampu bertahan terhadap cuaca dan suhu.

g. Pengujian Viskositas Aspal



**Gambar 5.14** Pengujian Viskositas Aspal

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023



**Gambar 5.15** Grafik Hasil Pengujian Viskositas

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Berdasarkan pengujian viskositas diketahui untuk suhu pada saat pencampuran yaitu diambil pada 170 cSt didapatkan pada suhu 155 °C dan suhu aspal pada saat pematadatan yaitu diambil pada 280 cSt didapatkan pada suhu 144 °C. Penentuan suhu viskositas berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (Seksi 6), viskositas pencampuran yaitu 170±20 cSt dengan perkiraan temperatur aspal yaitu 155±1 °C, dan viskositas pematadatan yaitu 280±30 cSt dengan perkiraan temperatur aspal yaitu 145±1 °C.

## 5.2 Rencana Campuran Aspal Beton

Rencana campuran dilakukan sebelum pembuatan benda uji untuk menentukan proporsi dari agregat dan aspal yang akan digunakan dalam campuran aspal beton. Proporsi agregat dalam campuran aspal beton yang digunakan harus memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

### 5.2.1 Proporsi Agregat Campuran Aspal Beton

Hasil rencana campuran ditampilkan dalam bentuk grafik yang terdapat batasan pada jenis campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) dari variasi ukuran butir berdasarkan nilai titik tengah dari spesifikasi yang digunakan dalam nilai persen.

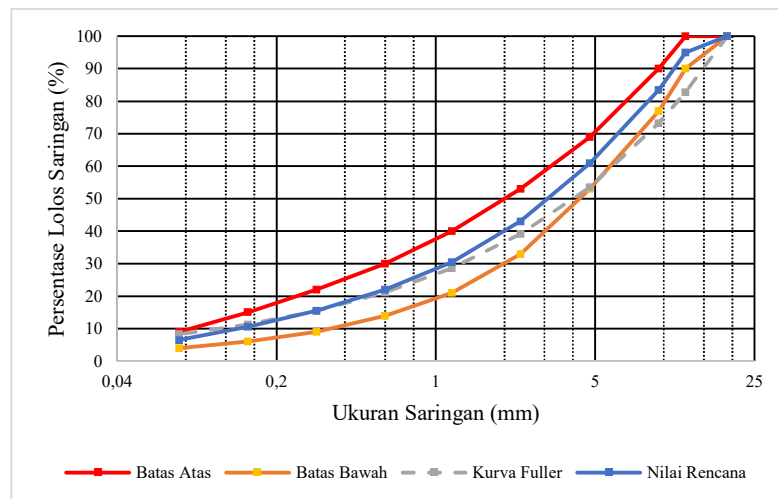
Dalam penelitian ini menggunakan gradasi tengah dimana karakteristiknya adalah agregat dapat terdistribusi secara merata dalam satu rentang ukuran butir, campuran dengan gradasi ini cenderung memiliki sedikit pori, mudah dipadatkan dan memiliki nilai stabilitas yang tinggi (Sumiati & Sukarman, 2014).

**Tabel 5.5** Persentase Gradasi Rencana Campuran Aspal Beton

Ukuran Ayakan		Batas Bawah	Batas Atas	Persentase Digunakan
3/4"	19	100	100	0
1/2"	12,5	90	100	5
3/8"	9,5	77	90	11,5
No. 4	4,75	53	69	22,5
No. 8	2,36	33	53	18
No. 16	1,18	21	40	12,5
No. 30	0,6	14	30	8,5
No. 50	0,3	9	22	6,5
No. 100	0,15	6	15	5
No. 200	0,075	4	9	4
Pan				6,5

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Dari hasil persentase gradasi rencana campuran aspal diperoleh data untuk menentukan hasil proporsi campuran yang akan dibuat untuk campuran aspal beton lapis aus (AC-WC).



**Gambar 5.16** Grafik Gradasi Rencana Campuran Aspal Beton

Sumber: Analisis Penulis, 2023

### 5.2.2 Perkiraan Awal Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal ditentukan dengan menghitung nilai Pb, setelah itu kadar aspal divariasikan menjadi 5 variasi kadar aspal untuk mendapatkan kadar aspal optimum

$$\begin{aligned}Pb &= 0,035 (CA) 0,045 (FA) + 0,18 (FF) + \text{Konstanta} \\ &= 0,035 (39) + 0,045 (54,5) + 0,18 (6,5) + 0,5 \\ &= 5,488\% = 5,5\%\end{aligned}$$

**Tabel 5.6** Perkiraan Nilai Kadar Aspal Rencana

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

Sumber: Analisis Penulis, 2023

### 5.2.3 Kebutuhan Berat Agregat Untuk Campuran Beraspal

Contoh perhitungan untuk kadar aspal 5,5% dengan kadar serbuk marmer 0%

$$\begin{aligned}\text{Berat Total} &= 1200 \text{ gram} \\ \text{Berat Aspal} &= 5,5\% \times 1200 \\ &= 66 \text{ gram} \\ \text{Berat Total Agregat} &= 1200 - 66 \\ &= 1134 \text{ gram} \\ \text{Berat Agregat Kasar} &= 1134 \times 39\% \\ &= 442,26 \text{ gram} \\ \text{Berat Agregat Halus} &= 1134 \times 54,5\% \\ &= 618,03 \text{ gram} \\ \text{Berat Abu Batu} &= 1134 \times 6,5\% \\ &= 73,71 \text{ gram}\end{aligned}$$

### 5.2.4 Pembuatan Benda Uji Campuran Beraspal Dengan Pengganti *Filler* Serbuk Marmer

Setelah mengetahui komposisi dan kadar aspal campuran aspal beton, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) untuk menentukan kadar aspal optimum pada masing-masing variasi serbuk marmer. Pada penelitian ini benda uji yang akan dibuat sebanyak 60 buah untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum dan 12 buah

untuk kadar aspal optimum dengan masing-masing variasi kadar serbuk marmer. Pembuatan benda uji mengacu pada SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat *Marshall*. Pematatan dilakukan dengan penumbukan sebanyak 2 x 75 kali dengan *Marshall Compaction Hammer*.

### 5.2.5 Analisis Sifat Volumetrik Campuran Beraspal

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk campuran aspal beton pada kadar aspal 5,5% dengan kadar serbuk marmer 0%.

Kadar Aspal	= 5,5 %
Persentase Agregat	= 94,5 %
Bj <i>Bulk</i> Gabungan	= 2,599 gr/ml
Bj <i>Apparent</i> Gabungan	= 2,686 gr/ml
Bj <i>Bulk</i> Aspal	= 1,034 gr/ml
Berat Benda Uji Kering	= 1182,0 gram
Berat Benda Uji SSD	= 1189,0 gram
Berat Benda Uji Dalam Air	= 674,0 gram

a. Menentukan Berat Jenis Efektif Agregat (Gse)

$$\begin{aligned} G_{se} &= \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \\ &= \frac{2,599 + 2,686}{2} \\ &= 2,642 \text{ gr/ml} \end{aligned}$$

b. Menentukan Berat Jenis Campuran Maksimum (Gmm)

$$\begin{aligned} G_{mm} &= \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{G_{se}} + \frac{\% \text{ aspal}}{G_b}} \\ &= \frac{100}{\frac{94,5}{2,642} + \frac{5,5}{1,034}} \\ &= 2,434 \text{ gr/ml} \end{aligned}$$

c. Menghitung Isi Benda Uji

$$\begin{aligned} \text{Isi Benda Uji} &= \text{Berat Benda Uji SSD} - \text{Berat Benda Uji Dalam Air} \\ &= 1189 - 674 \\ &= 515 \text{ gram} \end{aligned}$$

d. Persentase Pori Benda Uji (VIM)

$$\begin{aligned} \text{VIM} &= 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \\ &= 100 \times \frac{2,434 - 2,30}{2,434} \\ &= 5,70 \% \end{aligned}$$

e. Persentase Pori Antar Butir Campuran Agregat (VMA)

$$\begin{aligned} \text{VMA} &= 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \\ &= 100 - \frac{2,30 \times 94,5}{2,599} \\ &= 16,54 \% \end{aligned}$$

f. Volume Pori Terisi Aspal (VFA)

$$\begin{aligned} \text{VFA} &= 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \\ &= 100 \times \frac{16,54 - 5,70}{16,54} \\ &= 65,52 \% \end{aligned}$$

g. Stabilitas

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas} &= \text{Pembacaan Dial} \times \text{Angka Korelasi} \times \text{Kalibrasi Alat} \\ &= 91,5 \times 1 \times 10,46 \\ &= 957,09 \text{ kg} \end{aligned}$$

h. Marshall Quotient (MQ)

$$\begin{aligned} \text{MQ} &= \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}} \\ &= \frac{957,09}{2,43} \\ &= 393,86 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

### 5.3 Analisis Karakteristik Campuran Beraspal Dengan Pengganti *Filler* Serbuk Marmer Pada Kadar Aspal Rencana

Dalam analisis karakteristik campuran aspal beton dengan kadar aspal rencana membahas tentang data pengujian *Marshall* dengan kadar aspal rencana beserta analisis pengaruh penambahan kadar aspal dan *filler* serbuk marmer terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran aspal beton.



### 5.3.1 Hasil Pengujian Campuran Beraspal Dengan Pengganti *Filler* Serbuk Marmer Pada Kadar Aspal Rencana

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian dengan alat *Marshall* dengan kadar aspal rencana untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang akan digunakan untuk penelitian tahap kedua dapat dilihat pada Tabel 5.7



**Gambar 5.17** Pengujian *Marshall*

Sumber: Analisis Penulis, 2023

**Tabel 5.7** Rekapitulasi Data Karakteristik *Marshall*

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Aspal	Kadar Serbuk Marmer				Spesifikasi
		0	1	2	3	
VIM	4,5	8,96	7,77	7,18	7,15	3 % - 5 %
	5	7,78	6,42	5,77	5,70	
	5,5	5,75	4,41	4,09	4,05	
	6	4,50	3,97	2,83	2,78	
	6,5	4,01	2,92	2,68	2,65	
VMA	4,5	17,38	16,31	15,77	15,75	Minimal 15 %
	5	17,35	16,15	15,55	15,50	
	5,5	16,58	15,40	15,12	15,09	
	6	16,52	16,06	15,07	15,03	
	6,5	17,13	16,19	15,98	15,96	
VFA	4,5	48,51	52,53	54,52	54,59	Minimal 65 %
	5	55,25	60,29	62,94	63,23	
	5,5	65,33	71,40	72,92	73,13	
	6	72,77	75,31	81,21	81,47	
	6,5	76,62	82,00	83,26	83,39	
Stabilitas	4,5	857,72	946,63	983,24	910,02	Minimal 800 kg
	5	910,02	983,24	1124,45	951,86	
	5,5	930,94	1119,22	1218,59	1035,54	
	6	967,55	1035,54	1014,62	967,55	
	6,5	951,86	955,35	983,24	951,86	
Flow	4,5	2,23	2,25	2,28	2,09	2 mm – 4 mm
	5	2,33	2,30	2,38	2,14	
	5,5	2,36	2,54	2,51	2,29	
	6	2,44	2,59	2,53	2,37	
	6,5	2,67	2,64	2,65	2,51	
<i>Marshall Quotient</i>	4,5	384,55	420,67	431,17	435,45	Minimal 250 kg/mm
	5	390,58	427,45	472,38	444,75	
	5,5	394,47	440,56	486,04	452,10	
	6	396,47	399,72	401,03	408,19	
	6,5	356,48	361,87	370,98	379,14	

Sumber: Analisis Penulis, 2023

### 5.3.2 Analisis Pengaruh Kadar Aspal dan Serbuk Marmer Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Beraspal

Aspal beton dibentuk dari agregat, aspal, dan atau tanpa pengganti *filler* yang dicampur secara merata atau homogen pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan sehingga terbentuk beton aspal padat.

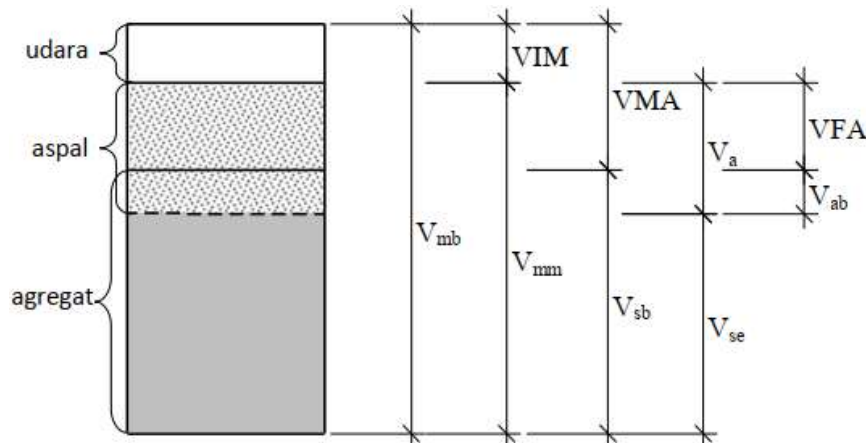
Secara analitis, sifat volumetrik dari aspal beton padat dapat ditentukan dengan beberapa parameter. Parameter yang biasa digunakan yaitu:

VMA = volume rongga di antara butir agregat campuran dalam aspal beton padat termasuk yang terisi oleh aspal

VIM = volume rongga aspal beton padat

VFA = volume rongga aspal beton padat yang terisi oleh aspal

Secara skematis berbagai jenis volume yang terdapat di dalam campuran aspal beton padat. Pada gambar 5.17 dapat dilihat jenis rongga yang terdapat pada aspal beton padat.



**Gambar 5.18** Skematis Jenis Rongga Aspal Beton Padat

Sumber: Silvia Sukirman, 2016

$V_{mb}$  = volume bulk dari campuran aspal beton padat

$V_{sb}$  = volume agregat, adalah volume bulk dari agregat

$V_{se}$  = volume agregat efektif dari agregat

VMA = volume rongga antar butir agregat di dalam aspal beton padat

$V_{mm}$  = volume teoritis tanpa rongga dari aspal beton padat

VIM = volume rongga udara dalam aspal beton padat

- Va = volume aspal dalam aspal beton padat termasuk yang meresap ke dalam pori agregat
- VFA = volume rongga antar butir agregat dalam aspal beton padat yang terisi oleh aspal
- Vab = volume pori butir agregat yang mengabsorpsi aspal dalam campuran aspal beton

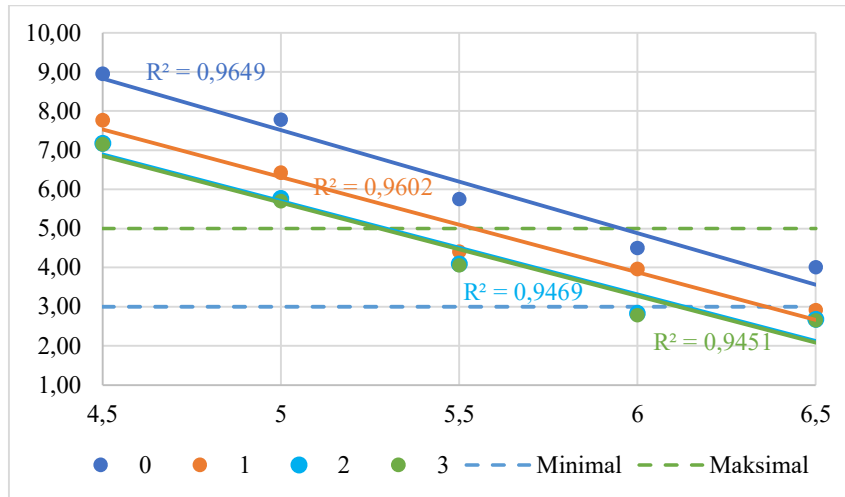
a. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai VIM

*Void In the Mix* (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *porous* atau berpori. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang yang menyebabkan terjadinya pelepasan butiran dan pengelupasan permukaan pada lapis perkerasan. Sedangkan semakin kecil nilai VIM menunjukkan semakin kecilnya rongga dalam campuran sehingga campuran menjadi lebih kedap, akan tetapi rongga campuran yang terlalu kecil dapat menyebabkan campuran menjadi kekurangan ruang sehingga jika aspal terlalu banyak akan menyebabkan aspal mengalami kegemukan (*bleeding*).

**Tabel 5.8** Data Hasil Hubungan Nilai VIM Terhadap Kadar Aspal

Kadar Aspal	Kadar Serbuk Marmer				Spesifikasi
	0%	1%	2%	3%	
4,5%	8,96	7,77	7,18	7,15	3% - 5%
5,0%	7,78	6,42	5,77	5,70	
5,5%	5,75	4,41	4,09	4,05	
6,0%	4,50	3,97	2,83	2,78	
6,5%	4,01	2,92	2,68	2,65	

Sumber: Analisis Penulis, 2023



**Gambar 5.19** Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VIM

Sumber: Analisis Penulis, 2023

**Tabel 5.9** Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai VIM

No	Kadar Serbuk Marmer	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	0,9649	1
2	1%	0,9602	1
3	2%	0,9469	1
4	3%	0,9451	1

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Pada Gambar 5.18 menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai VIM pada setiap variasi kadar serbuk marmer mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar aspal, hal ini disebabkan karena volume rongga yang terdapat pada campuran mengalami penurunan karena adanya penambahan aspal yang mengisi rongga pada campuran.

Pada campuran dengan *filler* serbuk marmer lebih banyak cenderung memiliki rongga dalam campuran (VIM) lebih kecil dibandingkan campuran dengan *filler* abu batu. Hal ini disebabkan karena berat jenis serbuk marmer lebih besar dibandingkan abu batu yang menyebabkan nilai rongga dalam campuran (VIM) akan semakin kecil.

Pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 telah disyaratkan bahwa nilai dari VIM harus dalam rentang 3% sampai 5%. Dari Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa variasi kadar serbuk marmer 0% yang memenuhi

persyaratan yaitu kadar aspal 6,0% dan 6,5%. Pada variasi kadar serbuk marmer 1% yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 6,0% dan 5,5%. Pada variasi kadar serbuk marmer 2% dan 3% yang memenuhi persyaratan yaitu hanya kadar aspal 5,5%.

Berdasarkan Tabel 5.9 didapat nilai koefisien determinasi terhadap nilai VIM sebesar 0,9451 sampai 0,9649 yang menunjukkan bahwa hubungan terhadap nilai VIM memiliki korelasi sangat kuat.

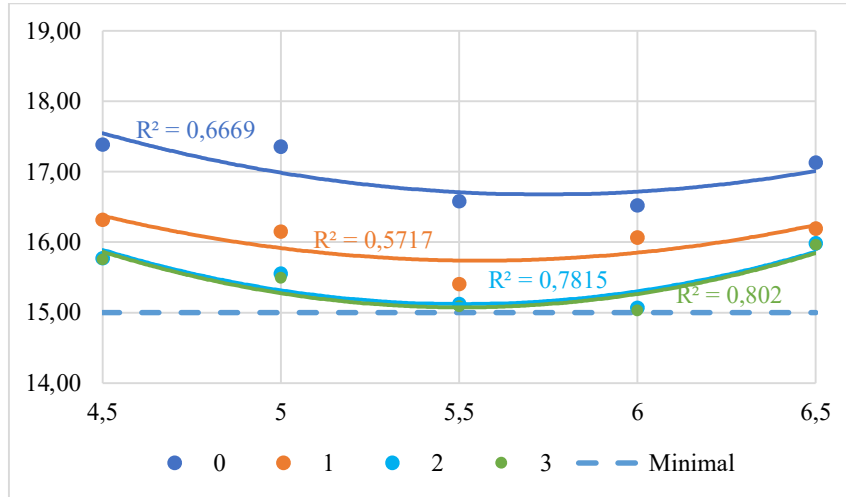
b. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai VMA

*Void in Mineral Aggregate* (VMA) merupakan rongga udara antar butir agregat aspal, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Besarnya rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran dapat mengalami masalah durabilitas, sedangkan jika VMA terlalu besar maka campuran dapat mengalami masalah stabilitas.

**Tabel 5.10** Data Hasil Hubungan Nilai VMA Terhadap Kadar Aspal

Kadar Aspal	Kadar Serbuk Marmer				Spesifikasi
	0%	1%	2%	3%	
4,5%	17,38	16,31	15,77	15,75	Minimal 15%
5,0%	17,35	16,15	15,55	15,50	
5,5%	16,58	15,40	15,12	15,09	
6,0%	16,52	16,06	15,07	15,03	
6,5%	17,13	16,19	15,98	15,96	

Sumber: Analisis Penulis, 2023



**Gambar 5.20** Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VMA

Sumber: Analisis Penulis, 2023

**Tabel 5.11** Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai VMA

No	Kadar Serbuk Marmer	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	0,6669	1
2	1%	0,5717	1
3	2%	0,7815	1
4	3%	0,8020	1

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Pada Gambar 5.19 menunjukkan bahwa nilai VMA pada setiap variasi kadar serbuk marmer mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar aspal, hal ini karena rongga antar butir agregat pada campuran mengalami penurunan karena penambahan kadar aspal yang mengisi rongga antar butir agregat. Hal ini menggambarkan bahwa rongga yang terdapat pada campuran telah sesuai dengan besarnya rongga yang seharusnya dimiliki oleh campuran aspal beton.

Pada campuran yang menggunakan pengganti *filler* serbuk marmer cenderung memiliki VMA yang lebih kecil dibandingkan campuran tanpa pengganti *filler* serbuk marmer. Hal ini dikarenakan serbuk marmer memiliki tekstur yang lebih halus dibandingkan abu batu yang membuat serbuk marmer dapat mengisi rongga antar butir agregat lebih baik sehingga nilai VMA pada campuran menjadi lebih kecil.

Dari Tabel 5.10 dapat dilihat bahwa pada variasi kadar serbuk marmer 0%, 1%, 2% dan 3% semuanya telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai VMA minimal 15%.

Berdasarkan Tabel 5.11 didapat nilai koefisien determinasi terhadap nilai VMA sebesar 0,6669 – 0,8020 yang menunjukkan bahwa hubungan terhadap nilai VMA memiliki korelasi kuat.

c. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai VFA

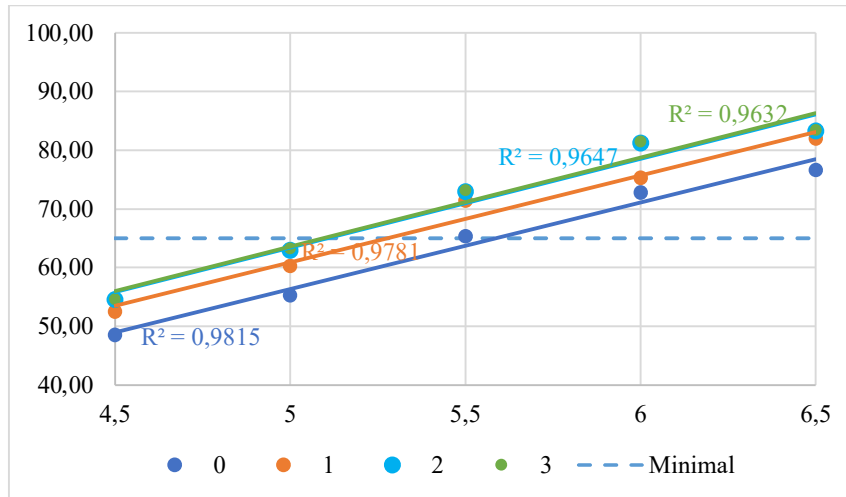
*Void Filler with Asphalt* (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Semakin tinggi nilai VFA maka semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedap air dan udara terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan *film* aspal akan menjadi tipis dan mudah retak apabila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya dapat menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 telah disyaratkan bahwa nilai dari VFA minimal yaitu 65%.

**Tabel 5.12** Data Hasil Hubungan Nilai VFA Terhadap Kadar Aspal

Kadar Aspal	Kadar Serbuk Marmer				Spesifikasi
	0%	1%	2%	3%	
4,5%	48,51	52,53	54,52	54,59	Minimal 65%
5,0%	55,25	60,29	62,94	63,23	
5,5%	65,33	71,40	72,92	73,13	
6,0%	72,77	75,31	81,21	81,47	
6,5%	76,62	82,00	83,26	83,39	

Sumber: Analisis Penulis, 2023





**Gambar 5.21** Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VFA

Sumber: Analisis Penulis, 2023

**Tabel 5.13** Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai VFA

No	Kadar Serbuk Marmer	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	0,9815	1
2	1%	0,9781	1
3	2%	0,9647	1
4	3%	0,9632	1

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Pada Gambar 5.20 menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai VFA pada setiap variasi kadar serbuk marmer mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal, hal ini disebabkan karena besarnya kadar aspal yang digunakan dapat mengisi rongga yang terdapat pada campuran. Semakin besar nilai VFA maka campuran akan semakin baik, karena semakin banyak rongga campuran yang terisi oleh aspal sehingga kekedapan campuran semakin tinggi.

Nilai VFA tertinggi terdapat pada kadar serbuk marmer 3% dengan kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 84,87. Dari hasil pengujian berat jenis *filler* diketahui bahwa berat jenis serbuk marmer lebih besar dibandingkan berat jenis abu batu, sehingga banyaknya serbuk marmer yang digunakan menyebabkan rongga dalam campuran akan semakin kecil yang membuat rongga yang terisi aspal (VFA) akan semakin besar.

Dari Tabel 5.12 dapat dilihat bahwa variasi kadar serbuk marmer 0% dan 1% telah memenuhi persyaratan kecuali pada kadar aspal 4,5% dan 5,0% dan juga variasi kadar serbuk marmer 2% dan 3% telah memenuhi persyaratan kecuali pada kadar aspal 4,5%.

Berdasarkan Tabel 5.13 didapat nilai koefisien determinasi terhadap nilai VFA sebesar 0,9632 – 0,9815 yang menunjukkan bahwa hubungan terhadap nilai VFA memiliki korelasi sangat kuat.

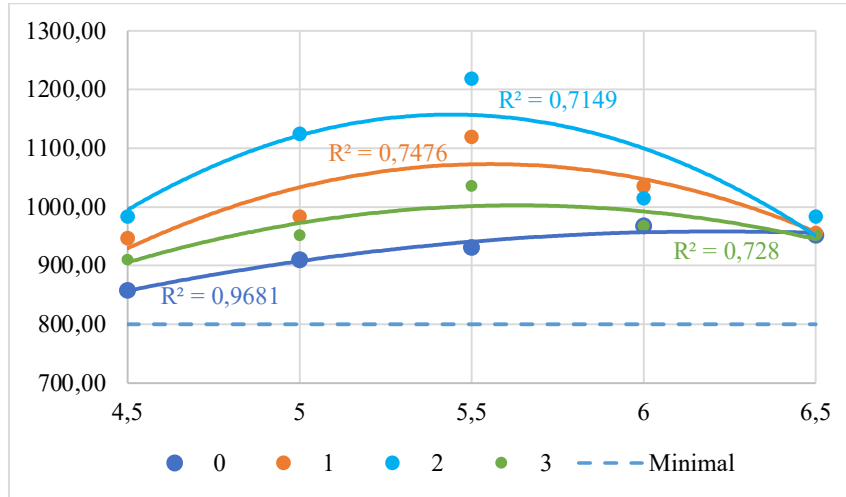
d. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang diterima tanpa mengalami perubahan bentuk. Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimumnya. Penambahan aspal diatas batas maksimum akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi bersifat kaku dan getas, nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas campuran.

**Tabel 5.14** Data Hasil Hubungan Nilai Stabilitas Terhadap Kadar Aspal

Kadar Aspal	Kadar Serbuk Marmer				Spesifikasi
	0%	1%	2%	3%	
4,5%	857,72	946,63	983,24	910,02	Minimal 800 kg
5,0%	910,02	983,24	1124,45	951,86	
5,5%	930,94	1119,22	1218,59	1035,54	
6,0%	967,55	1035,54	1014,62	967,55	
6,5%	951,86	962,32	983,24	951,86	

Sumber: Analisis Penulis, 2023



**Gambar 5.22** Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Sumber: Analisis Penulis, 2023

**Tabel 5.15** Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai Stabilitas

No	Kadar Serbuk Marmer	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	0,9681	1
2	1%	0,7476	1
3	2%	0,7149	1
4	3%	0,7280	1

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Pada Gambar 5.21 menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada setiap variasi kadar serbuk marmer mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga pada batas maksimumnya, setelah itu nilai stabilitas campuran akan menurun. Hal ini disebabkan karena campuran mengalami kegemukan atau *bleeding*, dimana tebal selimut aspal menjadi berlebihan yang dapat mengurangi sifat saling mengunci antar agregat.

Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar serbuk marmer 2% dengan kadar aspal 5,5% yaitu sebesar 1218,59 kg. Pada setiap penambahan serbuk marmer nilai stabilitas mengalami kenaikan, dimana hal tersebut dikarenakan kandungan *kalsium oksida* yang terdapat dalam serbuk marmer dapat menambah sifat saling mengunci antar agregat menjadi semakin baik sehingga dapat menaikkan stabilitas pada campuran.

Dari Tabel 5.14 dapat dilihat bahwa pada variasi kadar serbuk marmer 0%, 1%, 2% dan 3% semuanya telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai stabilitas minimal 800 kg.

Berdasarkan Tabel 5.15 didapat nilai koefisien determinasi terhadap nilai Stabilitas sebesar 0,7149 – 0,9681 yang menunjukkan bahwa hubungan terhadap nilai Stabilitas memiliki korelasi sangat kuat.

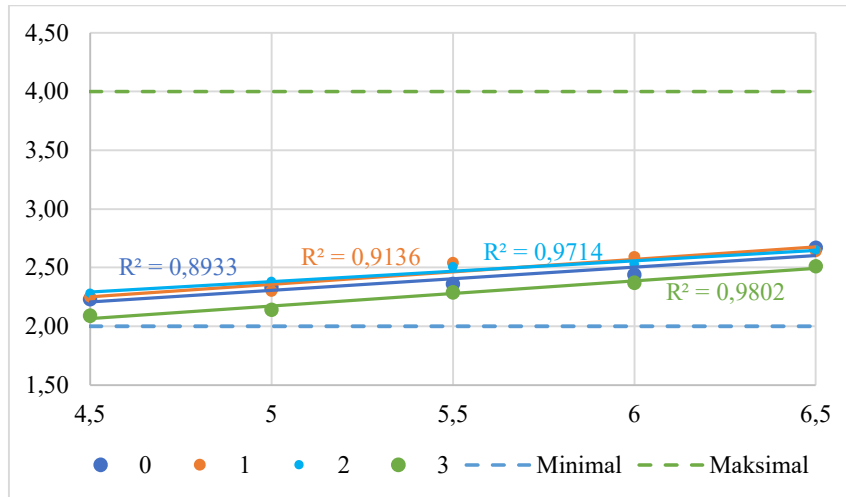
e. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

*Flow* merupakan besarnya deformasi yang terjadi pada awal pembebanan hingga stabilitasnya menurun, hal tersebut menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas, sedangkan campuran dengan nilai kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung menjadi plastis dan mudah berubah bentuk.

**Tabel 5.16** Data Hasil Hubungan Nilai *Flow* Terhadap Kadar Aspal

Kadar Aspal	Kadar Serbuk Marmer				Spesifikasi
	0%	1%	2%	3%	
4,5%	2,23	2,25	2,28	2,09	2mm - 4mm
5,0%	2,33	2,30	2,38	2,14	
5,5%	2,36	2,54	2,51	2,29	
6,0%	2,44	2,59	2,53	2,37	
6,5%	2,67	2,64	2,65	2,51	

Sumber: Analisis Penulis, 2023



**Gambar 5.23** Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Flow*

Sumber: Analisis Penulis, 2023

**Tabel 5.17** Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai *Flow*

No	Kadar Serbuk Marmer	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	0,8933	1
2	1%	0,9136	1
3	2%	0,9714	1
4	3%	0,9802	1

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Pada Gambar 5.22 menunjukkan bahwa nilai *flow* pada setiap variasi kadar serbuk marmer mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal, hal ini menjelaskan bahwa campuran lebih tahan terhadap perubahan bentuk atau deformasi akibat menerima beban dari lalu lintas.

Semakin banyaknya serbuk marmer yang digunakan pada campuran maka nilai *flow* cenderung meningkat, hal ini dikarenakan serbuk marmer tidak sempurna dalam menyerap aspal sehingga campuran memiliki selimut aspal yang tebal. Dari Tabel 5.16 dapat dilihat bahwa pada variasi kadar serbuk marmer 0%, 1%, 2% dan 3% semuanya telah memenuhi persyaratan yaitu nilai *flow* 2 mm - 4 mm.

Berdasarkan Tabel 5.17 didapat nilai koefisien determinasi terhadap nilai *Flow* sebesar 0,8933 – 0,9802 yang menunjukkan bahwa hubungan terhadap nilai *Flow* memiliki korelasi sangat kuat.

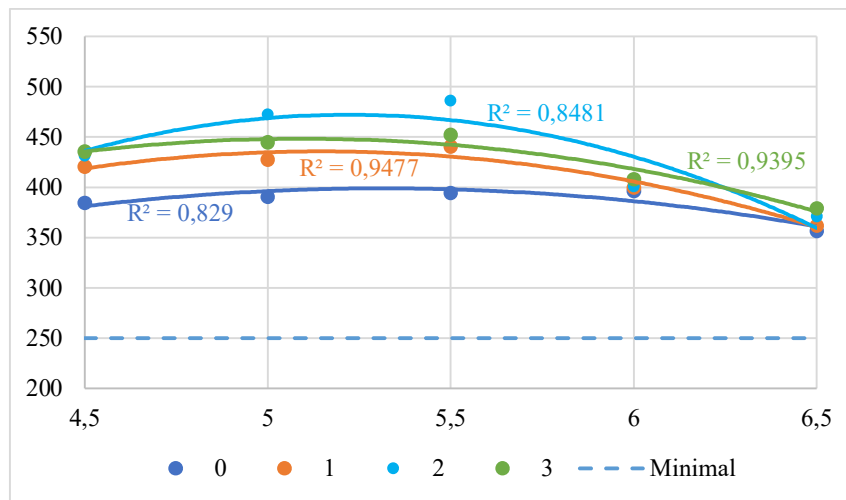
f. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Marshall Quotient*

*Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow*. Nilai MQ akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ maka campuran semakin kaku, sedangkan semakin kecil nilai MQ maka campuran semakin lentur. Nilai MQ yang terlalu kecil menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk ketika menerima beban lalu lintas.

**Tabel 5.18** Data Hasil Hubungan Nilai *Marshall Quotient* Terhadap Kadar Aspal

Kadar Aspal	Kadar Serbuk Marmer				Spesifikasi
	0%	1%	2%	3%	
4,5%	384,55	420,67	431,17	435,45	Minimal 250 kg/mm
5,0%	390,58	427,45	472,38	444,75	
5,5%	394,47	440,56	486,04	452,10	
6,0%	396,47	399,72	401,03	408,19	
6,5%	356,48	364,47	370,98	379,14	

Sumber: Analisis Penulis, 2023



**Gambar 5.24** Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Marshall Quotient*

Sumber: Analisis Penulis, 2023

**Tabel 5.19** Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai *Marshall Quotient*

No	Kadar Serbuk Marmer	R <sup>2</sup>	Max. R <sup>2</sup>
1	0%	0,8290	1
2	1%	0,9477	1
3	2%	0,8481	1
4	3%	0,9395	1

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Pada Gambar 5.23 menunjukkan bahwa nilai MQ pada setiap variasi kadar serbuk marmer mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga pada batas maksimumnya, setelah mencapai batas maksimumnya penambahan kadar aspal justru dapat menurunkan nilai MQ campuran.

Pada campuran dengan serbuk marmer 0% memiliki nilai MQ yang lebih kecil dibandingkan campuran dengan serbuk marmer 3%, hal ini dikarenakan kandungan *kalsium oksida* yang terdapat pada serbuk marmer dapat meningkatkan proses pengerasan yang membuat campuran menjadi lebih kaku dibandingkan campuran tanpa serbuk marmer (A. Putra et al., 2020).

Dari Tabel 5.18 dapat dilihat bahwa pada variasi kadar serbuk marmer 0%, 1%, 2% dan 3% semuanya telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai MQ minimal 250 kg/mm.

Berdasarkan Tabel 5.19 didapat nilai koefisien determinasi terhadap nilai MQ sebesar 0,8290 – 0,9419 yang menunjukkan bahwa hubungan terhadap nilai MQ memiliki korelasi sangat kuat.

g. Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum Dengan Pengganti *Filler* Serbuk Marmer Pada Lapis Aus (AC-WC)

Penentuan kadar aspal optimum bertujuan untuk menentukan kadar aspal efektif pada campuran berdasarkan kadar aspal yang memenuhi nilai karakteristik *Marshall* sesuai dengan persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Penentuan kadar aspal optimum dilihat dari karakteristik campuran seperti VIM, VMA, VFA, stabilitas, *flow* dan *marshall quotient* (MQ) yang memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

Serbuk Marmer 0%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,50	5	5,5	6	6,5	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 800 kg
Flow						2mm - 4mm

**Gambar 5.25** Grafik Penentuan KAO Serbuk Marmer 0%

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Serbuk Marmer 1%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,50	5	5,5	6	6,5	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 800 kg
Flow						2mm - 4mm

**Gambar 5.26** Grafik Penentuan KAO Serbuk Marmer 1%

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Serbuk Marmer 2%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,50	5	5,5	6	6,5	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 800 kg
Flow						2mm - 4mm

**Gambar 5.27** Grafik Penentuan KAO Serbuk Marmer 2%

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Serbuk Marmer 3%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,50	5	5,5	6	6,5	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 800 kg
Flow						2mm - 4mm

**Gambar 5.28** Grafik Penentuan KAO Serbuk Marmer 3%

Sumber: Analisis Penulis, 2023



Kadar aspal optimum menjadi persyaratan pada setiap campuran aspal beton, besaran kadar aspal optimum berbeda-beda dimana hal tersebut bergantung pada proporsi agregat, aspal, gradasi agregat dan jenis campuran aspal itu sendiri. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai yang didapat dari hasil penelitian menunjukkan kadar aspal optimum pada kadar serbuk marmer 0% yaitu 6,25%, pada kadar serbuk marmer 1% yaitu 5,75%, pada kadar serbuk marmer 2% yaitu 5,50%, dan pada kadar serbuk marmer 3% yaitu 5,50%. Dapat disimpulkan bahwa pemakaian serbuk marmer sebagai pengganti *filler* menyebabkan terjadinya penurunan nilai kadar aspal optimum pada setiap penambahan serbuk marmer, hal ini disebabkan karena kandungan *Kalsium Oksida (CaO)* pada serbuk marmer yang hampir sama dengan semen sehingga dapat membantu ikatan antar agregat menjadi lebih baik dan meningkatkan kekakuan pada campuran. Sehingga dengan bertambahnya kadar serbuk marmer yang digunakan dapat mengurangi penggunaan aspal di dalam campuran.

#### **5.4 Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton Dengan Kadar Aspal Optimum**

##### **5.4.1 Analisis Data Pengujian Terhadap Karakteristik *Marshall***

Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik *Marshall* dengan pengganti *filler* serbuk marmer menggunakan kadar aspal optimum pada Tabel 5.20

**Tabel 5.20** Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* Dengan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Serbuk Marmer	Kadar Aspal Optimum	Hasil Pengujian	Spesifikasi Umum
VIM (%)	0	6,25	4,22	3% - 5%
	1	5,75	4,15	
	2	5,5	4,08	
	3	5,5	4,03	
VMA (%)	0	6,25	16,80	Minimal 15%
	1	5,75	15,70	
	2	5,5	15,11	
	3	5,5	15,06	
VFA (%)	0	6,25	74,90	Minimal 65%
	1	5,75	73,64	
	2	5,5	72,99	
	3	5,5	73,26	
Stabilitas (kg)	0	6,25	988,47	Minimal 800 kg
	1	5,75	1098,30	
	2	5,5	1192,44	
	3	5,5	1072,15	
Flow (mm)	0	6,25	2,48	2 mm – 4 mm
	1	5,75	2,55	
	2	5,5	2,52	
	3	5,5	2,46	
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	0	6,25	398,45	Minimal 250 kg/mm
	1	5,75	430,66	
	2	5,5	473,18	
	3	5,5	435,80	

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Berdasarkan Tabel 5.20 dapat dilihat bahwa nilai VIM dan VMA tertinggi terdapat pada kadar serbuk marmer 0% dengan kadar aspal optimum 6,25%, hal ini dikarenakan banyaknya aspal yang digunakan akan mengisi rongga udara yang terdapat pada antar agregat dalam campuran. Namun pada kadar aspal optimum 5,5% dengan kadar serbuk marmer 2% dan 3% dapat dilihat bahwa nilai VIM pada serbuk marmer 3% lebih kecil, hal ini terjadi karena serbuk marmer memiliki tekstur yang lebih halus dibandingkan abu batu sehingga serbuk marmer lebih baik dalam mengisi rongga udara antar agregat dalam campuran.

Nilai VFA tertinggi terdapat pada kadar serbuk marmer 0% dengan kadar aspal optimum 6,25%, hal ini terjadi karena semakin banyaknya rongga pada campuran sehingga aspal akan mengisi rongga udara tersebut. Semakin besar nilai VFA maka kekedapan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, namun apabila kadar aspal terlalu banyak maka campuran akan mengalami kegemukan atau *bleeding* yaitu dimana tebal selimut aspal menjadi berlebihan yang akan menyebabkan kurangnya sifat saling mengunci atau *interlocking* antar agregat.

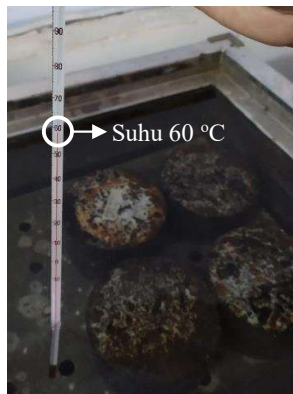
Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar serbuk marmer 2% dengan kadar aspal optimum 5,50% yaitu sebesar 1192,44 kg, hal ini karena kandungan serbuk marmer yang hampir sama dengan semen sehingga serbuk marmer dapat membantu ikatan antar agregat sehingga dapat meningkatkan nilai stabilitas dalam campuran. Jika serbuk marmer yang digunakan terlalu banyak maka akan menurunkan nilai stabilitas karena campuran menjadi kaku sehingga mudah mengalami retak.

Nilai *flow* pada campuran yang menggunakan pengganti *filler* serbuk marmer cenderung lebih kecil dibandingkan dengan campuran tanpa serbuk marmer, dapat dilihat pada Tabel 5.20 bahwa nilai *flow* pada kadar serbuk marmer 0% yaitu sebesar 2,48 mm dan nilai *flow* pada kadar serbuk marmer 3% yaitu 2,34 mm. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk marmer dapat menurunkan nilai *flow*, karena campuran akan cenderung lebih kaku.

Pada Tabel 5.20 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* (MQ) mengalami peningkatan hingga nilai optimumnya, setelah itu nilai *Marshall Quotient* (MQ) akan mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk marmer dapat meningkatkan kelenturan pada campuran namun harus dengan kadar yang tepat, apabila kadar serbuk marmer yang digunakan berlebihan maka campuran akan lebih kaku yang mengakibatkan campuran mudah mengalami keretakan, ketika campuran sudah mengalami keretakan maka air dan udara akan masuk sehingga campuran mudah teroksidasi yang menyebabkan terjadinya pelepasan dan pengelupasan pada lapis perkerasan.

#### 5.4.2 Analisis Data Pengujian Terhadap Stabilitas *Marshall* Sisa

Stabilitas *Marshall* sisa dilakukan untuk melihat nilai keawetan dari campuran yang ditunjukkan dengan indeks perendaman dan penurunan pada nilai stabilitas. Pada pengujian stabilitas *Marshall* sisa, benda uji direndam pada *waterbath* selama  $\pm 24$  jam dengan suhu  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  yang dapat dilihat pada gambar 5.29. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan rongga udara campuran yang besar dengan kondisi ekstrim sehingga didapatkan campuran yang lebih fleksibel meskipun dalam kondisi terburuk sekalipun.



**Gambar 5.29** Pengujian Terhadap Stabilitas *Marshall* Sisa

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Rekapitulasi hasil pengujian terhadap stabilitas *Marshall* sisa dengan pengganti *filler* serbuk marmer menggunakan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.21

**Tabel 5.21** Rekapitulasi Hasil Hubungan Stabilitas *Marshall* Sisa

Jenis Pengujian	Kadar Serbuk Marmer (%)	Kadar Aspal Optimum (%)	Hasil Pengujian	Minimal 90%
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (kg)	0	6,25	950,117	889,623
	1	5,75	1044,257	988,47
	2	5,50	1127,937	1073,196
	3	5,50	1023,337	964,935

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai stabilitas *Marshall* sisa mengalami kenaikan seiring penambahan kadar serbuk marmer dengan masing-masing kadar aspal optimumnya. Hal ini disebabkan karena

penggunaan serbuk marmer yang dapat membatu sifat saling mengunci antar agregat menjadi semakin baik sehingga dapat menaikkan stabilitas pada *Marshall* sisa dan juga banyaknya penggunaan serbuk marmer dapat memperkecil rongga dalam campuran yang membuat campuran menjadi kedap sehingga tidak mudah teroksidasi oleh air dan udara. Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.21 nilai stabilitas *Marshall* sisa pada kadar serbuk marmer 0%, 1%, 2% dan 3% telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai stabilitas *Marshall* sisa minimal 90% dari hasil stabilitas *Marshall*.

### 5.5 Analisis Proporsi Ideal Yang Memenuhi Karakteristik Campuran Aspal Beton

Penentuan proporsi ideal yang memenuhi karakteristik campuran aspal beton pada penambahan serbuk marmer sebagai pengganti *filler* dimaksudkan untuk mengetahui proporsi ideal pencampuran dalam campuran. Rekapitulasi hasil pengujian penambahan serbuk marmer dapat dilihat pada Tabel 5.22.

**Tabel 5.22** Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Serbuk Marmer Dengan Kadar Aspal Optimum

Kadar Serbuk Marmer	Kadar Aspal Optimum	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ	Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa
		3 – 5	Min. 15	Min. 65	Min. 800	2 – 4	Min. 250	
0	6,25	4,11	17,83	76,98	988,47	2,48	398,45	950,117
1	5,75	4,08	16,79	75,98	1098,30	2,55	430,66	1044,257
2	5,50	4,02	16,23	75,23	1192,44	2,52	473,18	1127,937
3	5,50	3,92	16,14	75,80	1072,15	2,46	435,80	1023,337

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Berdasarkan Tabel 5.22 dapat ditentukan proporsi ideal penambahan serbuk marmer pada campuran aspal beton, pada campuran aspal beton yang tidak menggunakan serbuk marmer didapat nilai stabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran aspal yang menggunakan pengganti *filler* serbuk marmer. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar serbuk marmer 2% dengan kadar aspal 5,50% yaitu sebesar 1192,44 kg.

Setelah diketahui nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar aspal 5,50%, selanjutnya semua variasi kadar serbuk marmer dibandingkan dengan menggunakan kadar aspal 5,50%, hal ini dilakukan guna melihat pengaruh penggunaan pengganti *filler* serbuk marmer dengan kadar aspal yang mendapatkan nilai stabilitas tertinggi.

**Tabel 5.23** Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Serbuk Marmer

Jenis Pengujian	Kadar Serbuk Marmer (%)	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian
Stabilitas (kg)	0	5,50	930,94
	1	5,50	1119,22
	2	5,50	1192,44
	3	5,50	1072,15

Sumber: Analisis Penulis, 2023

Berdasarkan Tabel 5.23 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar serbuk marmer 2% dengan kadar aspal 5,50% yaitu sebesar 1192,44 kg. Penentuan proporsi ideal dilihat dari keseluruhan karakteristik *Marshall* yang telah memenuhi persyaratan dan nilai stabilitas, nilai stabilitas diperlukan guna kekuatan dan keawetan campuran aspal dalam menahan beban lalu lintas.