

BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Sifat Fisik Material

Dari penelitian yang dilakukan pada Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa diperoleh data hasil pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus, dan benda uji aspal sebagai berikut.

5.2 Analisa Karakteristik

5.2.1 Agregat Kasar

Agregat yang digunakan adalah 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	Satuan	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	BJ Bulk	2,614	gr/cm ³	Min. 2,5	SNI-1969-2016
	BJ SSD	2,680	gr/cm ³		
	BJ Apparent	2,799	gr/cm ³		
	Absorption	2,521	%	Max.3%	
Pengujian keausan Agregat Kasar		19,24	%	Max.40%	SNI-2417-2008
Kadar Lumpur Agregat		0,437	%	Max. 1%	SNI ASTM C117-2012

(Sumber: Hasil Pengujian, 2023)

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat kasar berdasarkan SNI 1969-2016 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 hasil dari pengujian berat jenis mendapatkan hasil untuk berat jenis bulk 2,614 gr/cm³, berat jenis SSD 2,680 gr/cm³, dan berat jenis *apparent* 2,799 gr/cm³. Dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut sesuai dan dapat digunakan untuk campuran aspal, agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga membutuhkan jumlah aspal

yang banyak,. Dengan begitu dapat disimpulkan agregat tersebut telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal 2,5 gr/cm³.



Gambar 5.1 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

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 2,521%. Dari hasil yang di dapat bahwa agregat dengan hasil tersebut sudah baik untuk pencampuran aspal dan sudah memenuhi pada spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu dengan maksimal 3%. Penyerapan agregat tidak boleh melebihi dari 3% karena jika semakin tinggi besar nilai penyerapan maka agregat tersebut memiliki sifat porositas serta dapat mengurangi pelemahan antar ikatan aspal dengan agregat.



Gambar 5.2 Pengujian Penyerapan Agregat Kasar
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

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 hasil dari penelitian agregat kasar

yang akan digunakan memiliki daya tahan yang baik terhadap gesekan maupun beban mekanis, oleh karena itu agregat tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk ketentuan agregat kasar pada persentase keausan yaitu maksimal 40%.



Gambar 5.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

d. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat kasar dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat kasar mendapatkan hasil 0,437% berdasarkan SNI ASTM C117-2012. Dari **Tabel 5.1** hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar dapat dilihat bahwa agregat kasar memiliki persenan kecil terhadap kadar lumpur maka agregat tersebut memiliki kualitas yang baik untuk bahan pencampuran pada aspal maka dari itu agregat telah memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 1%. Karena semakin banyak agregat yang mengandung banyak lumpur maka akan berkurang daya lekat aspal terhadap agregat dan mempengaruhi kekuatan aspal menjadi kurang maksimal.



Gambar 5.4 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

5.2.2 Agregat Halus

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**.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian		Abu Batu	Satuan	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	BJ Bulk	2,455	gr/cm ³	Min. 2,5	SNI-1969-2016
	BJ SSD	2,505	gr/cm ³		
	BJ Apparent	2,585	gr/cm ³		
	Absorption	2,041	%	Max.3%	
Kadar Lumpur Agregat		2,400	%	Max. 5%	SNI ASTM C117-2012

(Sumber: Hasil Pengujian, 2023)

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 dengan hasil untuk berat jenis bulk 2,455 gr/cm³, berat jenis ssd 2,505 gr/cm³, dan berat jenis *apparent* 2,585 gr/cm³. Dapat dilihat pada **Tabel 5.2** hasil pengujian berat jenis agregat halus sudah baik untuk campuran aspal, agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga akan membutuhkan jumlah aspal yang banyak. Dengan begitu dapat disimpulkan agregat tersebut telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal 2,5 gr/cm³.



Gambar 5.5 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

b. Pengujian Penyerapan Agregat Halus

Pada Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengujian penyerapan agregat halus berdasarkan metode pengujian SNI 1969-2008 yaitu 2,041%, dapat disimpulkan bahwa agregat halus tersebut sudah baik dan tahan terhadap porositas. Maka dari itu pengujian ini telah sesuai dengan standar penyerapan untuk agregat halus yaitu maksimal 3%.



Gambar 5.6 Pengujian Penyerapan Agregat Halus
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

c. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat halus dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat halus, dari pengujian tersebut mendapatkan hasil sebesar 2,4%. Berdasarkan SNI ASTM C117-2012 pada **Tabel 5.2**. Dari hasil hasil pengujian kadar lumpur agregat halus dapat dilihat bahwa agregat halus memiliki kadar lumpur yang sedikit sehingga agregat mudah untuk melekat saat pencampuran dengan aspal maka dari itu pengujian ini telah memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 5%. Karena semakin banyak agregat yang mengandung banyak lumpur maka akan berkurang daya lekat aspal terhadap agregat dan dapat mempengaruhi kekuatan aspal menjadi kurang maksimal.



Gambar 5.7 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Berdasarkan **Tabel 5.1 dan 5.2** diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian agregat kasar dan halus yang meliputi berat jenis agregat, penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lumpur agregat telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

5.2.3 Serat Rami

Rami (*Boehmeria nivea*) merupakan tanaman yang memiliki potensi tinggi. Serat rami dapat diolah menjadi kain fashion berkualitas tinggi, karena memiliki karakter mirip dengan serat kapas. Selain itu, rami merupakan bahan untuk pembuatan selulosa berkualitas tinggi (Ilham & Istiqlaliyah, 2019). Keterkaitan serat rami itu sendiri terhadap campuran beraspal yaitu tanaman ini memiliki daya serap air yang tinggi sehingga memungkinkan untuk menyerap aspal, kemudian serat rami dalam penelitian ini memiliki pengaruh mengisi ruang rongga antar agregat sehingga meningkatkan nilai stabilitas pada aspal (Fadhil, 2020).

Pengolahan yang dilakukan pada serat rami itu sendiri yaitu dengan berupa serat yang lebih halus dengan panjang serat 3,6 mm dimana serat rami yang di gunakan sebagai bahan tambah harus lolos saringan No.20 (0,841mm) diambil $85\pm 10\%$ (Spesifikasi Umum Bina, 2018). Serat rami memiliki sifat fisik, kimia dan mekanik yang di tunjukan pada **Tabel 5.3** sebagai berikut :

Tabel 5.3 Sifat Fisik, Kimia, dan Mekanik Serat Rami

NO	Karakteristik	Nilai
1	Diameter (μm)	40 - 60
2	Panjang (mm)	120 - 150
3	Modulus Elastisitas (Gpa)	44-90
4	Masa Jenis (g/cm^3)	1,5 - 1,6
5	Regangan Maksimu (%)	2
6	Spesifik Kekuatan Serat (kg/mm^2)	95
7	Selulosa (% berat)	68,6 - 76,2
8	Lignin (% berat)	0,6 - 0,7
9	Hemiselulosa (% berat)	13,1 - 16,7
10	Pektin (% berat)	1,9
11	Lilin (% berat)	0,3
12	Sudut Mikro fibril ($^\circ$)	7,5
13	Kadar Air (% berat)	8
14	Kerapatan (mg/m^3)	1,5

(Sumber: Marbun et al., 2017)

Dari **Tabel 5.3** menjelaskan serat rami mempunyai kandungan fisik maupun kimia yang dapat meningkatkan mutu campuran pada aspal, terlebih metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Stone Mastic Asphalt* (SMA). Pada metode tersebut terkadang mengakibatkan *bleeding* yang dikarenakan kadar agregat kasar yang besar, penggunaan serat selulosa yakni serat rami pada metode ini dapat mengurangi *draindown* pada aspal serta membuat aspal jauh lebih awet dan meningkatkan nilai stabilitas pada campuran aspal tersebut.

5.2.4 Hasil Pengujian Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan pada suhu tertentu, dan kembali membeku jika temperature turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal dengan penetrasi 60/70. Pengujian material aspal meliputi berat jenis aspal, titik lembek, penetrasi, kehilangan berat minyak aspal, viskositas, dan pengujian titik nyala dan titik bakar. 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 5.4 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	1,052	1	-	SNI 2441:2011
2	Titik Lembek 25°C (cm)	50 °C	48°C	-	SNI 2432:2011
3	Penetrasi, 25 °C; 100 gr	64,6	60	70	SNI 2456-2011
4	Kehilangan Berat (%)	0.295 %	-	0,8 %	SNI 06-2441-1991
5	Viskositas 135°C (cSt)	445°C	≥300°C	-	SNI 06-2433-1991
6	Titik Nyala dan Titik Bakar	326°C	232°C	-	SNI-2433-2011
		332°C			

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

Hasil pengujian aspal dinyatakan memenuhi spesifikasi yang diatur dalam Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum tahun 2018.

a. Pengujian Berat Jenis Aspal

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan berat jenis aspal dengan alat Piknometer. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu 250°C atau 15,60°C.

Dari hasil penelitian didapat berat jenis aspal 1,052 dengan batas minimum 1, hal ini dapat disimpulkan bahwa aspal yang akan digunakan memiliki kandungan minyak dan partikel yang sedikit maka dari itu aspal yang akan digunakan memiliki kualitas yang baik. Dapat disimpulkan bahwa aspal dalam pengujian ini layak karena memenuhi spesifikasi bina marga 2018.



Gambar 5.8 Pengujian Berat Jenis Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

b. Pengujian Titik Lembek Aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui besaran suhu titik lembek aspal. Titik lembek dinyatakan dengan suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun pada lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi 25,4 mm sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu.

Dari hasil penelitian titik lembek aspal didapatkan hasil 50°C, maka dari itu aspal ini baik untuk di gunakan pada campuran aspal karena telah memenuhi persyaratan dengan hasil minimal 48°C. Sehingga ketika aspal < 50°C maka aspal akan mencapai derajat kelembekan (mulai meleleh).



Gambar 5.9 Pengujian Titik Lembek Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

c. Pengujian Penetrasi Aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan pada aspal. Pemeriksaan dilakukan dengan cara memasukan jarum standar dengan berat standar material aspal pada rentang waktu dan suhu tertentu.

Dari hasil penelitian penetrasi didapat nilai penetrasi sebesar 64,6 dengan batas 60-70, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian menunjukkan tingkat kekerasan aspal sesuai dengan aspal keras penetrasi 60/70 yang dapat digunakan untuk volume lalu lintas tinggi pada *temperature* tinggi.



Gambar 5.10 Pengujian Penetrasi Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

d. Pengujian Kehilangan Berat Aspal

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menetapkan penurunan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam persen berat semula.

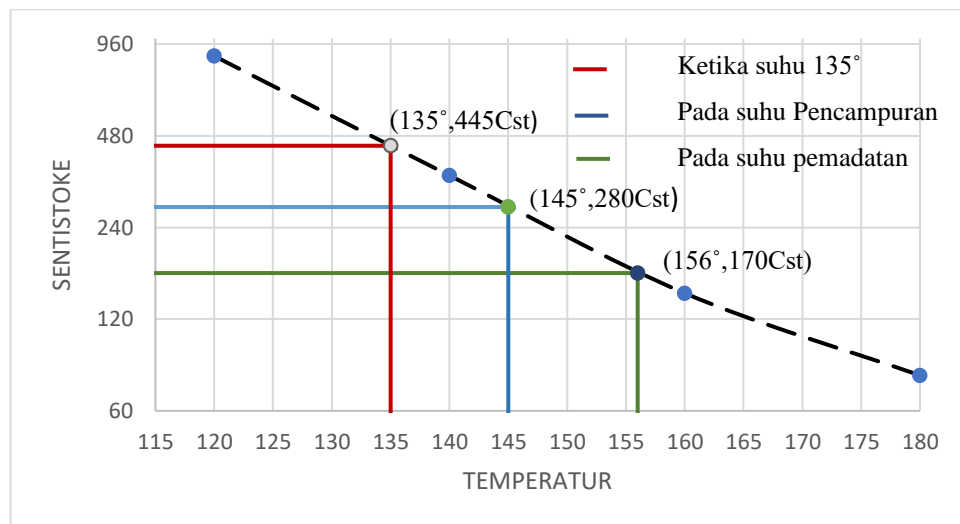
Dari hasil penelitian kehilangan berat aspal didapat 0,295 % dari batas maksimum 0,8 %, dapat disimpulkan bahwa aspal yang akan digunakan memiliki durabilitas yang baik karena dapat mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca atau perubahan temperature selama masa pelayanan jalan.



Gambar 5.11 Pengujian Kehilangan Berat Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

e. Pengujian Viskositas Aspal

Pemeriksaan ini dilakukan untuk variasi kekentalan aspal terhadap suhu dari tingkatan padat, encer sampai tingkat cair.



Gambar 5.12 Grafik Pengujian Viskositas
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Dari hasil **Grafik 5.12** mendapatkan hasil 445cSt pada suhu 135°C yang dimana sudah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, namun untuk hasil dari penelitian viskositas didapat hasil 280cSt pada suhu 145°C untuk pepadatan dan 170cSt pada suhu 156°C untuk pencampuran, sehingga dapat disimpulkan pada saat pencampuran kita menggunakan suhu aspal yaitu 156°C dan untuk pepadatan menggunakan suhu 145°C, dengan begitu hasil tersebut sudah sesuai dengan SNI-7729:2011.



Gambar 5.13 Pengujian Viskositas Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

f. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui besaran suhu dimana terlihat nyala singkat kurang dari 5 detik (titik nyala) dan terlihat nyala lebih dari 5 detik (titik bakar) diatas permukaan aspal.

Dari hasil penelitian titik nyala yaitu di dapatkan hasil 326°C dan titik bakar yaitu 332°C , dapat disimpulkan bahwa aspal memiliki ketahanan yang baik terhadap resiko kebakaran dan bahan panas lainnya karena telah memenuhi persyaratan yaitu minimal 232°C . Dengan demikian pada saat di lapangan ketika suhu mencapai 325°C maka aspal mulai menyala dan ketika suhu mencapai maka aspal mulai terbakar. Semakin tinggi suhu titik bakar aspal maka semakin baik karena tidak mudah terbakar.



Gambar 5.14 Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

5.3 Rancangan Campuran Aspal

Pada penelitian ini rancangan campuran aspal memakai metode SMA yakni campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) merupakan campuran beraspal panas yang biasa digunakan sebagai lapis permukaan pada jalan, dimana campuran yang digunakan yaitu terdiri dari dua bagian antara lain agregat dan bahan pengikat aspal pen 60/70 dengan proporsi tinggi, serta dengan penggunaan serat selulosa yaitu serat rami.

Rancangan Campuran dilakukan sebelum pembuatan benda uji untuk menentukan proporsi dari agregat dan aspal yang akan digunakan di dalam campuran aspal. Proporsi agregat dalam campuran yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang disyaratkan didalam peraturan Departemen Pekerjaan Umum Divisi 6 Tahun 2018 Revisi 2.

5.3.1 Proporsi Agregat Campuran Beraspal

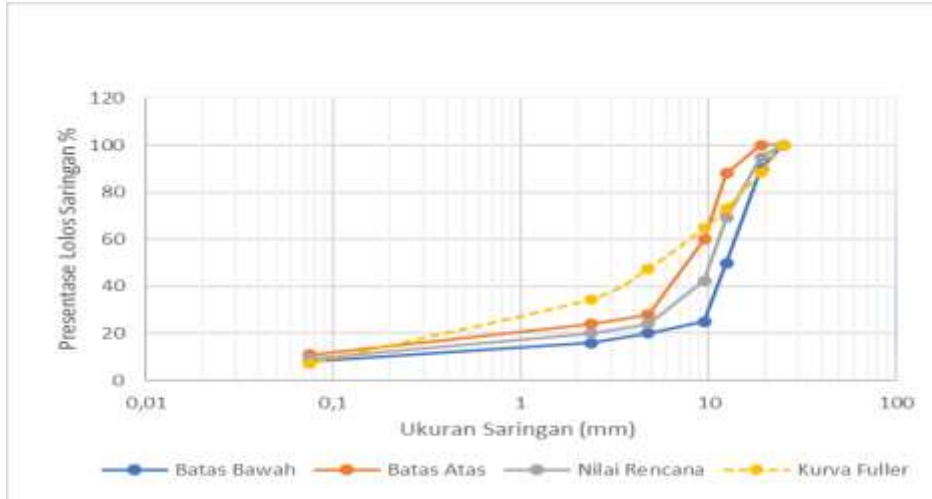
Proporsi agregat campuran dapat diketahui setelah menguji analisa saringan. Uji analisa saringan dilakukan untuk mendapatkan persentase lolos dari setiap agregat yang digunakan dalam campuran. Hasil rancangan campuran ditampilkan dalam bentuk grafik yang terdapat pada batasan spesifikasi jenis campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) dari variasi ukuran butir berdasarkan nilai titik tengah dari spesifikasi yang digunakan dalam nilai persen, dimana campuran menggunakan gradasi ini diharapkan akan menghasilkan hasil yang disyaratkan. Hasil gradasi agregat gabungan dapat dilihat pada **Tabel 5.4** berikut:

Tabel 5.5 Presentase Lolos Gradasi Campuran

Nomor/Ukuran Saringan		Spesifikasi Gradasi <i>Stone Mastic Asphalt</i> (SMA)			Lolos	Tertahan
inch	mm	(%)			(%)	(%)
1"	25	100			100	0
3/4"	19	90	-	100	88,38	5
1/2"	12,5	50	-	88	73,20	26
3/8"	9,5	25	-	60	64,70	26,5
4	4,75	20	-	28	47,36	18,5
8	2,36	16	-	24	34,57	4
200	0,075	8	-	11	7,32	10,5
Pan					0	9,5

(Sumber: Hasil Pengujian dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, 2022)

Dari hasil pengujian analisis saringan menunjukkan perhitungan dari setiap komposisi pada saringan bahwa untuk masing-masing agregat memenuhi kelayakan untuk menentukan hasil proporsi campuran yang baik berguna untuk proporsi pada setiap sampel nya yang sesuai untuk jenis campuran metode *Stone Mastic Asphalt* (SMA)



Gambar 5.15 Grafik Gradasi Campuran Aspal Lapis Antara SMA
(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)

5.3.2 Perkiraan Awal Kadar Aspal

Kadar aspal ditentukan dengan menghitung nilai P_b , setelah itu kadar aspal divariasikan menjadi 5 variasi kadar aspal untuk mendapatkan kadar aspal optimum, berikut merupakan tabel pembagian butir agregat kasar dan agregat halus serta perhitungan untuk mencari nilai P_b :

Tabel 5.6 Pembagian Butir Agregat Kasar dan Agregat Halus

Nomor/Ukuran Saringan		Spesifikasi Gradasi <i>Stone Mastic Asphalt</i> (SMA)			Lolos	Tertahan
inch	mm	(%)			(%)	(%)
1"	25	100			100	0
3/4"	19	90	-	100	100	0
1/2"	12,5	50	-	88	80	20
3/8"	9,5	25	-	60	60	40
4	4,75	20	-	28	28	72
8	2,36	16	-	24	24	76
200	0,075	8	-	11	10	90
Pan					0	100

(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

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 1.

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

$$Pb = 0,035 (80) + 0,045 (10,5) + 0,18 (9,5) + 1$$

$$Pb = 5,983 \% \approx 6 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka untuk mendapatkan kadar aspal optimum pada SMA (*Stone Mastic Asphalt*), kadar aspal divariasi menjadi 5 variasi kadar aspal sebagai berikut :

Tabel 5.7 Perkiraan Nilai Kadar Aspal

Pb - 1	Pb - 0,5	Pb	Pb + 0,5	Pb + 1
5 %	5,5 %	6 %	6,5 %	7 %

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)

5.3.3 Kebutuhan Berat Agregat

Contoh perhitungan untuk kadar aspal 6 %

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

$$\begin{aligned} \text{Berat Aspal} &= \text{Kadar Aspal} \times \text{Berat total} \\ &= 6 \% \times 1200 \\ &= 72 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Total Agregat} &= \text{Berat total} - \text{Berat aspal} \\ &= 1200 - 72 \\ &= 1128 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Split 1-2} &= \text{Berat agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1128 \times 76 \% \\ &= 857,28 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Screening} &= \text{Berat agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1128 \times 14,5 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 163,56 \text{ gr} \\
 \text{Berat Abu batu} &= \text{Berat Agregat} \times \% \text{ berat} \\
 &= 1128 \times 9,5 \% \\
 &= 107,16 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

5.3.4 Pembuatan Benda Uji Marshall

Setelah mengetahui komposisi dan kadar aspal rencana, selanjutnya pembuatan benda uji *Stone Matrix Asphalt* (SMA) untuk menentukan kadar aspal optimum campuran. Pada penelitian ini benda uji yang dibuat sebanyak 72 sampel untuk setiap kadar variasi. Dan 8 sampel untuk setiap kadar variasi setelah didapat kadar aspal optimum (KAO) dari setiap kadar variasi yaitu 0%, 0,1%, 0,2%, dan 0,3%.

Pembuatan benda uji mengikuti standar SNI 06-2489-1991 (Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall). Pemasakan dilakukan dengan penumbukan sebanyak 2 x 50 kali untuk tipe metode *Stone Matrix Asphalt* (SMA), dengan menggunakan alat *Marshall Compaction Hammer* untuk lalu lintas sesuai yang disyaratkan Bina Marga Untuk Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA).

5.3.5 Analisa Perhitungan Sifat Volumetrik Aspal

Contoh perhitungan untuk kadar aspal 6% dan kadar serat rami 0%. Berikut merupakan hasil rekapitulasi berat aspal beton dapat dilihat pada **Tabel 5.8**

Tabel 5.8 Data Berat Aspal Beton Padat

No	Jenis Agregat	Berat Jenis		Komposisi Campuran, % Terhadap Berat Total Benda Uji, P
		Bulk	Apparent	
1	Agregat Kasar	2,614 gr/ml	2,799 gr/ml	76%
2	Agregat Halus	2,455 gr/ml	2,585 gr/ml	14,5%
3	Abu Batu	2,455 gr/ml	2,585 gr/ml	9,5%
4	Agregat Gabungan	2,574 gr/ml	2,744 gr/ml	94%
5	Kadar Aspal	1,052 gr/ml		6%

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)

Analisa perhitungan marshall dengan benda uji aspal lapis antara dengan kadar aspal 6%

Diketahui :

Kadar Aspal	= 6 %
Persentase Agregat Kasar	= 76 %
Persentase Agregat Halus	= 14,5 %
Persentase Abu Batu	= 9,5 %
Bj Bulk Agregat Kasar	= 2,614 gr/ml
Bj Bulk Agregat Halus	= 2,455 gr/ml
Bj Bulk Abu Batu	= 2,455 gr/ml
Bj Apparent Agregat Kasar	= 2.799 gr/ml
Bj Apparent Agregat Halus	= 2.585 gr/ml
Bj Apparent Abu Batu	= 2.585 gr/ml
Bj Bulk Gabungan	= 2,574 gr/ml
Bj Apparent Gabungan	= 2,744 gr/ml
Bj Bulk Aspal	= 1,052 gr/ml
Berat Benda Uji Kering	= 1.182 gram
Berat Benda Uji SSD	= 1.193 gram
Berat Benda Uji Dalam Air	= 688 gram

a. Menentukan Berat jenis Efektif Agregat (Gse)

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$$

$$G_{se} = \frac{2,574 + 2,744}{2} = 2,659 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung Isi Benda Uji

$$\begin{aligned} \text{Isi Benda Uji} &= \text{Berat Benda Uji SSD} - \text{Berat Benda Uji Dalam Air} \\ &= 1193 - 688 \\ &= 505 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

c. Berat jenis Campuran Maksimum

$$\begin{aligned} G_{mm} &= \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{G_{se}} + \frac{\% \text{ aspal}}{G_b}} \\ &= \frac{100}{\frac{94}{2,659} + \frac{6}{1,052}} = 2,44 \text{ gr/ml} \end{aligned}$$

d. Persentase pori antar butir campuran agregat

$$\begin{aligned} VMA &= 100 - \left(\frac{G_{mb} \times P_b}{G_{sb}} \right) \\ &= 100 - \left(\frac{2,34 \times 6}{2,574} \right) \\ &= 17,26 \% \end{aligned}$$

e. Persentase pori benda uji

$$\begin{aligned} VIM &= 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \\ &= 100 \times \frac{2,44 - 2,34}{2,44} \\ &= 3,91 \% \end{aligned}$$

f. Stabilitas

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas} &= \text{Pembacaan Dial} \times \text{Angka Korelasi} \times \text{Kalibrasi Alat} \\ &= 89 \times 1 \times 10,46 \\ &= 930,94 \text{ kg} \end{aligned}$$

g. Marshall Quotient

$$\begin{aligned} MQ &= \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} = \frac{930,94}{2,34} \\ &= 397,84 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

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

5.4 Pengujian Campuran Beraspal Jenis SMA

Dalam analisis karakteristik campuran aspal dengan kadar aspal rencana membahas tentang data pengujian *Marshall* dengan kadar aspal rencana beserta analisis pengaruh penambahan kadar aspal dan penggunaan serat rami terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran aspal jenis SMA.

5.4.1 Hasil Pengujian *Marshall*

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* (kadar normal 0%) untuk mencari kadar aspal optimum yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 5.8 dibawah ini:



Gambar 5.16 Pengujian *Marshall*
(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall*

Karakteristik Marshall	Kadar Aspal	Kadar Serat Rami				Spesifikasi
		0	0,1	0,2	0,3	
VIM	5	10,7	10,87	10,21	11	3 % - 5 %
	5,5	6,56	8,24	8,42	7,85	
	6	5,25	6,08	4,89	4,8	
	6,5	3,77	3,79	2,95	2,66	
	7	2,69	2,87	2,29	2,41	
VMA	5	21,18	21,33	20,75	21,45	Min 17 %
	5,5	18,54	20,01	20,17	19,67	
	6	18,41	19,13	18,11	18,03	
	6,5	18,15	18,17	17,46	17,21	
	7	18,25	18,4	17,91	18,01	

Karakteristik Marshall	Kadar Aspal	Kadar Serat Rami				Spesifikasi
		0	0,1	0,2	0,3	
Stabilitas	5	864,69	910,02	993,7	983,24	Min 600 kg
	5,5	920,48	969,29	1004,16	990,21	
	6	930,94	1014,62	1059,95	1032,05	
	6,5	934,43	976,27	1035,54	1004,16	
	7	910,02	937,91	993,7	993,7	
Flow	5	2,25	2,33	2,41	2,47	2 mm - 4,5 mm
	5,5	2,26	2,35	2,47	2,49	
	6	2,28	2,36	2,54	2,6	
	6,5	2,3	2,41	2,62	2,64	
	7	2,64	2,66	2,72	2,78	
MQ	5	383,76	391,15	412,52	397,58	Min 250 kg/mm
	5,5	408,07	413,12	406,14	397,67	
	6	407,91	429,92	418,37	396,95	
	6,5	406,25	411,64	395,8	379,9	
	7	344,29	352,69	366,55	357,06	

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)

Berdasarkan **Tabel 5.9** hasil rekapitulasi pengujian *marshall* diatas campuran aspal dan variasi serat rami 0,2% didapatkan nilai stabilitas tertinggi sebesar 1059,95kg. Nilai stabilitas mengalami penurunan dengan adanya penambahan kadar aspal dan campuran serat rami, hal ini dikarena pada kadar aspal 6% sudah mencapai nilai optimum. Pada nilai stabilitas secara keseluruhan memenuhi spesifikasi untuk campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) yaitu minimal 600 kg. Untuk nilai *flow* disetiap variasi kadar aspal mengalami kenaikan, dan untuk nilai tertinggi pada kadar aspal 7%. Pada kadar serat rami sendiri mengalami kenaikan dari variasi 0% - 0,3% semakin tinggi kadar variasi serat rami semakin tinggi pula nilai *flow*nya, namun nilai *flow* seluruhnya memenuhi spesifikasi umum. Untuk nilai VIM menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal pada campuran akan menurunkan nilai VIM. Pada setiap variasi serat rami yang memenuhi spesifikasi yaitu pada kadar serat rami 0% dan 0,1% dengan kadar aspal 6,5%, kadar serat rami 0,2% dan 0,3% dengan kadar aspal 6%. Untuk VMA menunjukkan bahwa nilai VMA cenderung mengalami naik dan turun disetiap variasi kadar aspal, secara keseluruhan hasil yang didapat menunjukkan bahwa VMA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 17%.

5.4.2 Analisa Karakteristik Campuran Beraspal Jenis SMA

Aspal terbuat dari agregat, aspal, serta atau tanpa bahan tambah yang dicampur secara merata pada suhu tertentu. Campuran kemudian di hamparkan dan dipadatkan sehingga terbentuk aspal padat.

Sifar volumetrik dari aspal padat dapat ditentukan dengan beberapa parameter.

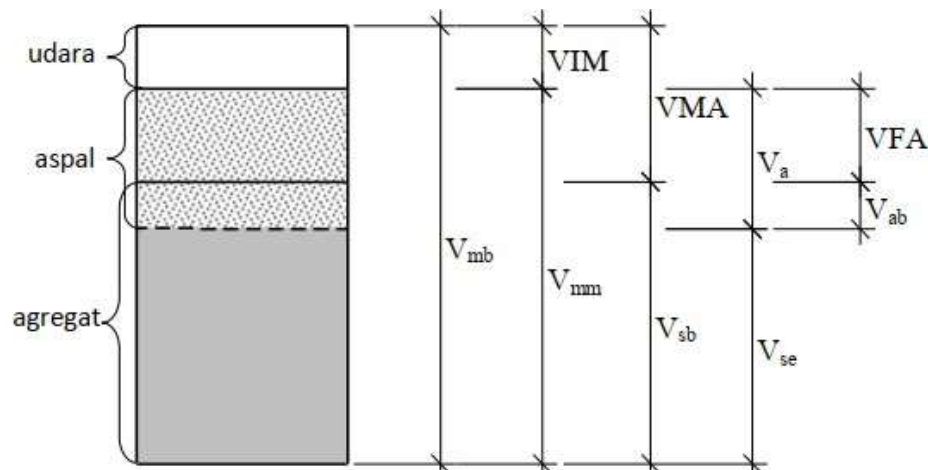
Parameter yang digunakan yaitu:

VMA : Volume rongga di antara butir agregat campuran dalam aspal beton padat termasuk yang terisi oleh aspal

VIM : Volume rongga aspal padat

VFA : Volume rongga aspal padat yang terisi oleh aspal

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



Gambar 5.17 Skematis Jenis Rongga Aspal
(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

V_a = volume aspal dalam aspal beton padat termasuk yang meresap kedalam 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

Pada **Gambar 5.17** menjelaskan untuk VIM yaitu volume rongga aspal padat. VMA merupakan volume rongga di antara butir agregat campuran dalam aspal beton padat termasuk yang terisi oleh aspal, yang artinya semakin besar nilai VIM dan VMA maka akan mengakibatkan aspal cepat penuaan dan menurunkan sifat durabilitas aspal, sedangkan semakin menurunnya nilai VIM dan VMA dari acuan yang telah ditentukan yakni 3% - 5% untuk VIM dan min 17% untuk VMA, maka akan mudah terjadi *bleeding* pada aspal. VFA merupakan volume rongga aspal padat yang terisi oleh aspal, berbeda dengan VIM dan VMA jika nilai VFA semakin tinggi maka kualitas aspal semakin bagus dan jika nilai VFA turun maka semakin kurang bagus kualitas aspal tersebut. Namun untuk metode *Stone Mastic Asphalt* (SMA) itu sendiri tidak mencari nilai VFA yang sudah tercantum dalam spesifikasi umum bina marga 2018.

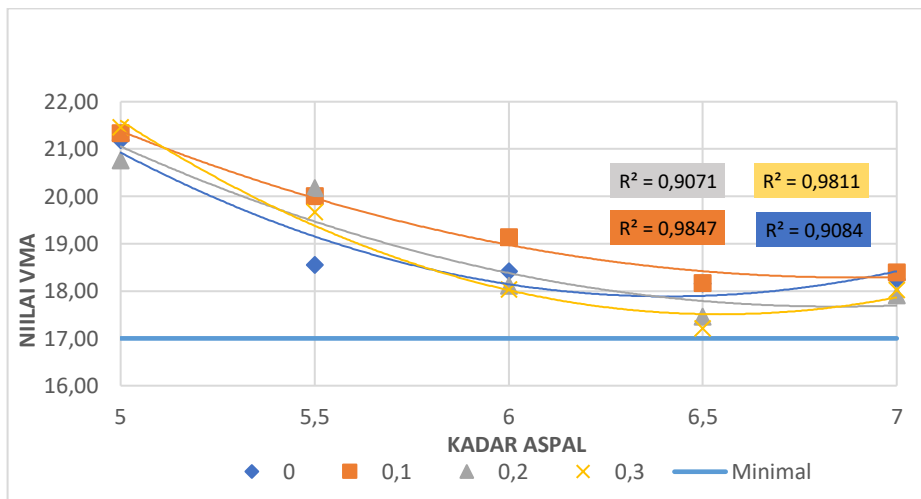
Analisis pengaruh kadar aspal terhadap VMA (*Void in Mineral Agregates*) Volume rongga udara dalam agregat campuran atau VMA merupakan Rongga udara dalam campuran (VIM) dalam campuran perkerasan aspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang menyelimuti aspal.

- a. Nilai VMA sangat berkaitan dengan nilai VIM dalam campuran. Karena VIM adalah merupakan bagian dari VMA. Semakin besar nilai yang diperoleh dari VIM, maka akan semakin besar pula VMA yang diperoleh, secara keseluruhan hasil yang didapat menunjukkan bahwa VMA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 17%.

Tabel 5.10 Data Hasil Pengujian VMA

Kadar Aspal (%)	Kadar Serat Rami				Spesifikasi
	0%	0,1%	0,2%	0,3%	
5	21,18	21,33	20,75	21,45	Min. 17%
5,5	18,54	20,01	20,17	19,67	
6	18,41	19,13	18,11	18,03	
6,5	18,15	18,17	17,46	17,21	
7	18,25	18,40	17,91	18,01	

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)



Gambar 5.18 Grafik Hubungan Nilai VMA dan Kadar Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Tabel 5.11 Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap VMA

No	Serat Rami	R ²	Max.R ²
1	0%	0,9084	1
2	0,1%	0,9847	1
3	0,2%	0,7381	1
4	0,3%	0,9811	1

(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Pada **Gambar 5.18** menunjukkan pada setiap variasi kadar serat rami mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar aspal, hal ini disebabkan karena rongga antar butir agregat pada campuran mengalami penurunan karena adanya penambahan kadar aspal yang mengisi rongga antar butir agregat.

Pengaruh penggunaan serat rami itu sendiri terhadap nilai VMA mengakibatkan penurunan pada nilai VMA dikarenakan serat rami itu sendiri memiliki sifat dapat mengisi ruang udara antar agregat, maka dari itu dengan adanya penambahan kadar aspal kedalam campuran cenderung akan menurunkan nilai VMA namun penurunan nilai VMA masih dalam batas yang telah di syaratkan yaitu minimal 17%.

Pada **Tabel 5.11** menunjukan nilai determinasi yaitu 0,90841%, 0,9847%, 0,7381%, dan 0,9811% hasil tersebut mendekati 1%, yang artinya hubungan nilai koefisien determinasi terhadap nilai VMA memiliki korelasi yang kuat, sehingga hubungan nilai VMA dengan kadar aspal saling berhubungan.

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

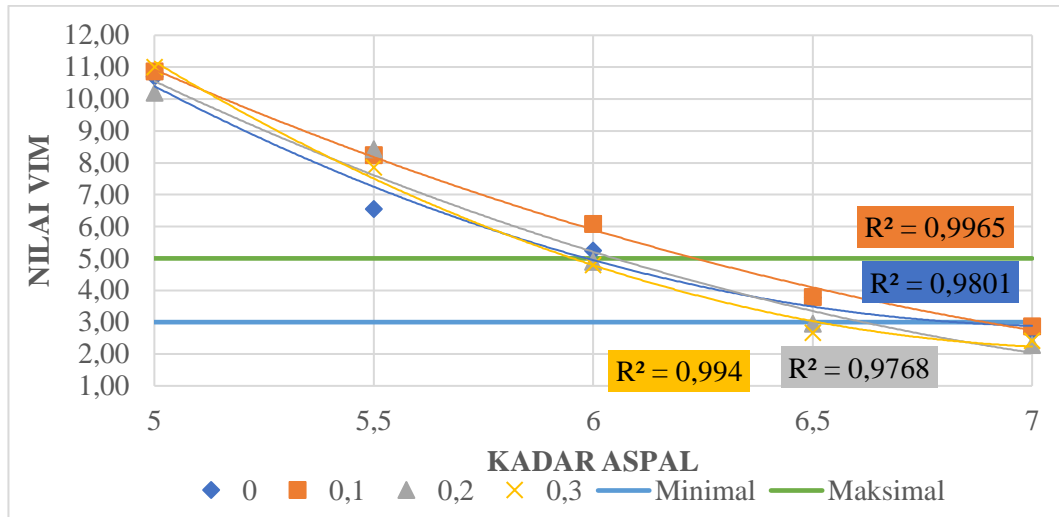
VIM adalah Rongga udara dalam campuran (VIM) dalam campuran perkerasan aspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang menyelimuti aspal.

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 temperatur. VIM yang terlalu besar bisa mengakibatkan aspal cepat penuaan dan menurunkan sifat durabilitas aspal,

Tabel 5.12 Data Hasil Pengujian VIM

Kadar Aspal (%)	Kadar Serat Rami				Spesifikasi
	0%	0,1%	0,2%	0,3%	
5	10,70	10,87	10,21	11,00	3 % - 5 %
5,5	6,56	8,24	8,42	7,85	
6	5,25	6,08	4,89	4,80	
6,5	3,77	3,79	2,95	2,66	
7	2,69	2,87	2,29	2,41	

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)



Gambar 5.19 Grafik Hubungan Nilai VIM dan Kadar Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Tabel 5.13 Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap VIM

No	Serat Rami	R ²	Max.R ²
1	0%	0,9801	1
2	0,1%	0,9965	1
3	0,2%	0,9768	1
4	0,3%	0,994	1

(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Pada Grafik memperlihatkan bahwa pengaruh penambahan kadar serat rami seiring penambahan kadar aspal menunjukkan adanya penurunan terhadap nilai VIM. Penambahan serat rami cenderung memiliki nilai VIM lebih kecil di bandingkan tanpa menggunakan serat rami hal ini di karenakan fungsi dari serat rami yang dapat mengisi ruang udara antar agregat.

Dari **Tabel 5.12** dapat dilihat bahwa variasi kadar serat rami 0% dan 0,1% yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 6,5%. Pada variasi kadar serat rami 0,2% dan 0,3%.

Pada **Tabel 5.13** menunjukkan nilai determinasi yaitu 0,9801%, 0,9965%, 0,9768%, dan 0,994% hasil tersebut mendekati 1%, yang artinya hubungan nilai koefisien determinasi terhadap nilai VIM memiliki korelasi yang kuat, sehingga hubungan nilai VIM dengan kadar aspal saling berhubungan.

c. Pengaruh kadar aspal terhadap Stabilitas

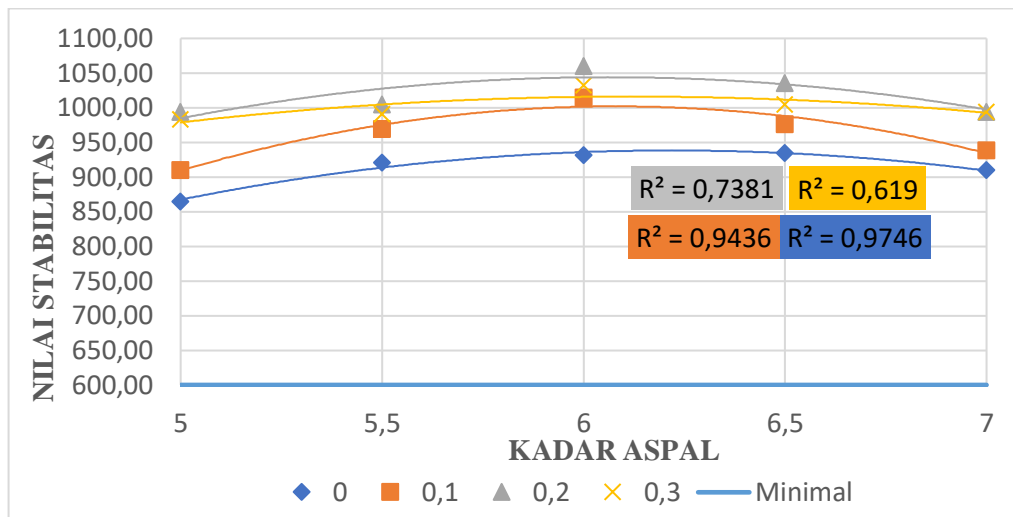
Stabilitas merupakan kemampuan lapis pekerasan yang menerima beban sampai terjadinya *flow* yang dinyatakan dalam satuan kilogram. Stabilitas tergantung dari gesekan antar agregat dan kohesi. Gesekan agregat tergantung dari testur permukaan agregat, bentuk partikel, kepdatan campuran dan terbal lapisan aspal itu sendiri (Surkiman,1999).

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* dikali angka korelasi dan pembacaan dial.

Tabel 5.14 Data Hasil Pengujian Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Kadar Serat Rami				Spesifikasi
	0%	0,1%	0,2%	0,3%	
5	864,69	910,02	993,70	983,24	Min. 600 kg
5,5	920,48	969,29	1004,16	990,21	
6	930,94	1014,62	1059,95	1032,05	
6,5	934,43	976,27	1035,54	1004,16	
7	910,02	937,91	993,70	993,70	

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)



Gambar 5.20 Hubungan Nilai Stabilitas dan Kadar Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Tabel 5.15 Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap Stabilitas

No	Serat Rami	R ²	Max.R ²
1	0%	0,8995	1
2	0,1%	0,9436	1
3	0,2%	0,7381	1
4	0,3%	0,619	1

(Sumber: Qurrotul Milania,2023)

Pada **Gambar 5.20** menunjukkan nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar serat rami 0,2% yaitu sebesar 1059,95kg, dimana pada kadar serat rami 0% hingga kadar serat rami 0,2% nilai stabilitas mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena seiring dengan penambahan kadar aspal yang menyebabkan aspal dapat menyelimuti agregat dengan sangat baik. Nilai stabilitas menurun pada kadar serat rami 0,2% menuju kadar aspal 0,3%, ini disebabkan karena kandungan aspal terlalu tinggi sehingga aspal tidak efektif lagi menyelimuti agregat. Semakin tebal selimut aspal maka sifat saling kunci antar agregat menjadi semakin berkurang.

Pada **Tabel 5.15** menunjukkan nilai determinasi yaitu 0,8995%, 0,9436%, 0,7381%, dan 0,619% hasil tersebut mendekati 1%, artinya hubungan nilai koefisien determinasi terhadap nilai stabilitas memiliki korelasi yang kuat, sehingga hubungan nilai stabilitas dengan kadar aspal saling berhubungan.

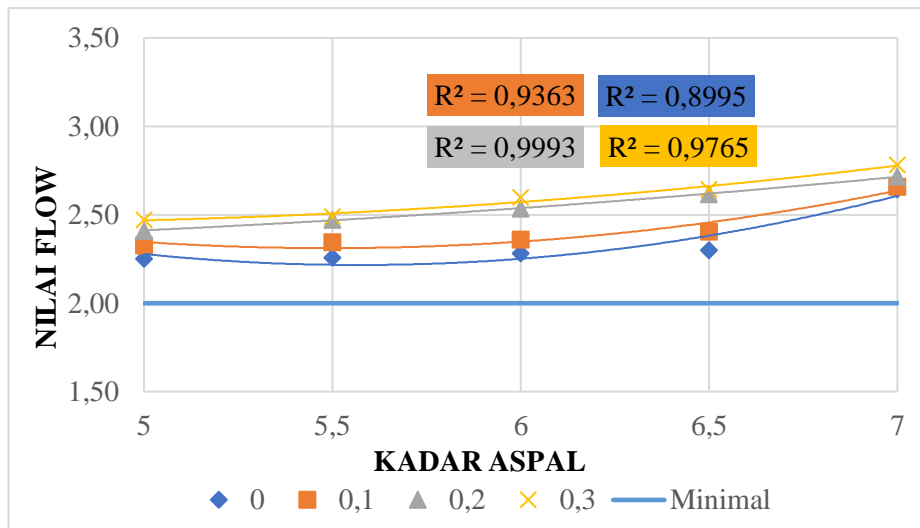
d. Pengaruh kadar aspal terhadap *Flow*

Kelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban dinyatakan dalam satuan mm. Parameter flow digunakan untuk mengetahui deformasi (perubahan bentuk) vertikal campuran pada saat dibebani hingga hancur (pada stabilitas maksimum). Nilai flow akan meningkat seiring meningkatnya kadar aspal.

Tabel 5.16 Data Hasil Pengujian *Flow*

Kadar Aspal (%)	Kadar Serat Rami				Spesifikasi
	0%	0,1%	0,2%	0,3%	
5	2,25	2,33	2,41	2,47	2 mm – 4,5 mm
5,5	2,26	2,35	2,47	2,49	
6	2,28	2,36	2,54	2,60	
6,5	2,30	2,41	2,62	2,64	
7	2,64	2,66	2,72	2,78	

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)



Gambar 5.21 Hubungan Nilai Flow dan Kadar Aspal

(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Tabel 5.17 Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap *Flow*

No	Serat Rami	R ²	Max.R ²
1	0%	0,8995	1
2	0,1%	0,9363	1
3	0,2%	0,9993	1
4	0,3%	0,9765	1

(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Pada **Gambar 5.21** menunjukkan bahwa nilai *flow* pada setiap variasi kadar serat rami 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.

Penggunaan serat rami pada campuran ini cenderung meningkat dikarenakan serat rami kurang sempurna dalam menyerap aspal sehingga campuran memiliki selimut aspal tebal. Dapat dilihat bahwa pada variasi kadar serat rami 0%, 0,1%,

0,2% dan 0,3% semuanya telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai *flow* harus dalam rentang 2 mm – 4,5 mm.

Pada **Tabel 5.17** menunjukkan nilai determinasi yaitu 0,8995%, 0,9363%, 0,9993%, dan 0,9765% hasil tersebut mendekati 1%, yang artinya hubungan nilai koefisien determinasi terhadap nilai *flow* memiliki korelasi yang kuat, sehingga hubungan nilai *flow* dengan kadar aspal saling berhubungan.

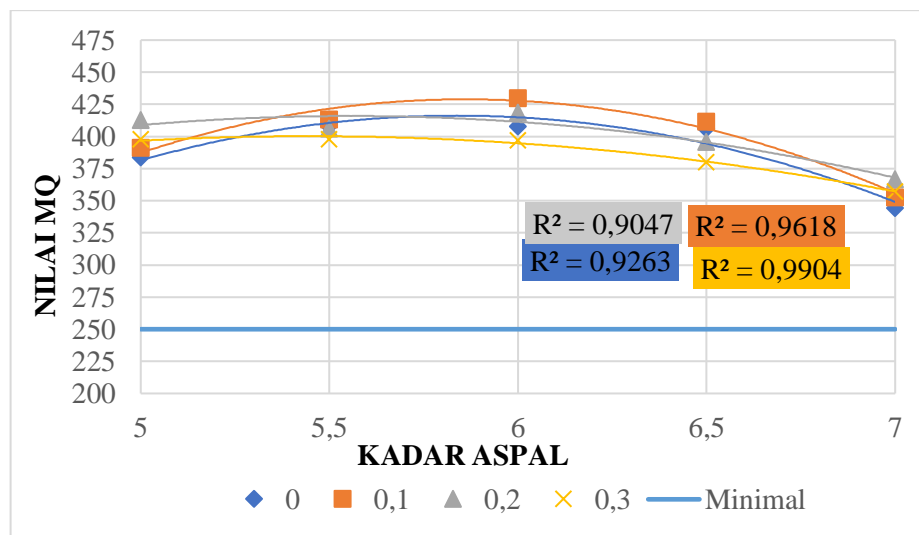
e. Pengaruh kadar aspal terhadap MQ (*Marshall Quotient*)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap kekakuan atau kelenturan campuran. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapisan perkerasan yang tinggi.

Tabel 5.18 Data Hasil Pengujian MQ

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk Arang				Spesifikasi
	0%	0,1%	0,2%	0,3%	
5	383,76	391,15	412,52	397,58	Min. 250 kg/mm
5,5	408,07	413,12	406,14	397,67	
6	407,91	429,92	418,37	396,95	
6,5	406,25	411,64	395,80	379,90	
7	344,29	352,69	366,55	357,06	

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)



Gambar 5.22 Hubungan Nilai MQ dan Kadar Aspal
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Tabel 5.19 Persamaan Koefisien Determinasi Terhadap MQ

No	Serat Rami	R ²	Max.R ²
1	0%	0,9263	1
2	0,1%	0,9618	1
3	0,2%	0,9047	1
4	0,3%	0,9904	1

(Sumber: Qurrotul Milania,2023)

Pada **Gambar 5.22** dapat dilihat bahwa nilai MQ pada setiap variasi kadar serat rami 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 penelitian ini penggunaan serat rami menghasilkan peningkatan proses pengerasan yang membuat campuran lebih kaku. Dapat dilihat bahwa pada variasi kadar seart rami 0%, 0,1%, 0,2% dan 0,3% semuanya telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai MQ minimal 250 kg/mm. Nilai MQ saling berhubungan dengan nilai stabilitas Ketika stabilitas naik nilai MQ juga naik dan ketika nilai stabilitas turun maka akan ikut turun juga.

Pada **Tabel 5.19** menunjukkan nilai determinasi yaitu 0,9263%, 0,9618%, 0,9047%, dan 0,9904% hasil tersebut mendekati 1%, yang artinya hubungan nilai koefisien determinasi terhadap nilai MQ memiliki korelasi yang kuat, sehingga hubungan nilai MQ dengan kadar aspal saling berhubungan.

f. Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum

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

Serat Rami 0%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	5	5,5	6	6,5	7	
VIM				↓		3% - 5%
VMA						Min 17%
Stabilitas						Min 600 kg
Flow				↓		2mm - 4,5mm

Gambar 5.23 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Serat Rami 0,1%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	5	5,5	6	6,5	7	
VIM				↓		3% - 5%
VMA						Min 17%
Stabilitas						Min 600 kg
Flow				↓		2mm - 4,5mm

Gambar 5.24 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Serat Rami 0,2%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	5	5,5	6	6,5	7	
VIM			↓			3% - 5%
VMA						Min 17%
Stabilitas						Min 600 kg
Flow			↓			2mm - 4,5mm

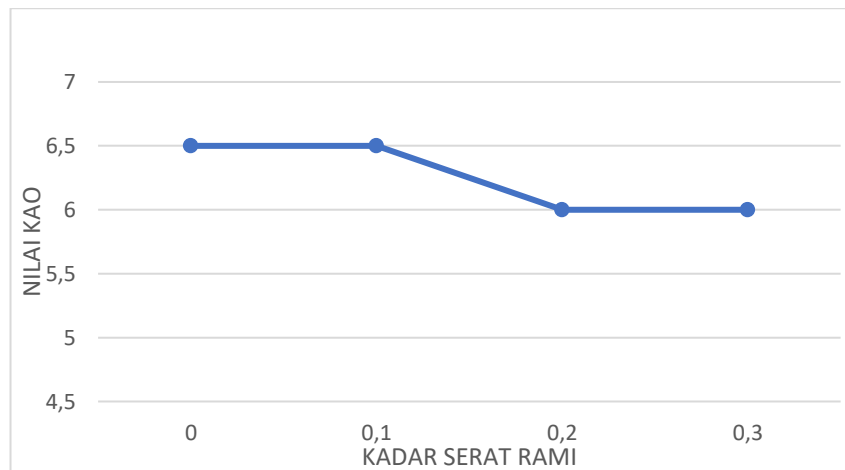
Gambar 5.25 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Serat Rami 0,3%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	5	5,5	6	6,5	7	
VIM			↓			3% - 5%
VMA						Min 17%
Stabilitas						Min 600 kg
Flow			↓			2mm - 4,5mm

Gambar 5.26 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Dari keempat gambar diatas dapat dilihat pada grafik barchart menunjukan bahwa nilai yang didapat dari hasil penelitian menunjukan bahwa kadar aspal optimum (KAO) yang didapat pada kadar serat rami 0% dan kadar serat rami

0,1% yaitu pada kadar aspal 6,5%, dan pada kadar serat rami 0,2% dan 0,3% yaitu pada kadar aspal 6%.



Gambar 5.27 Grafik Serat Rami Berbanding dengan KAO
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Pada **Gambar 5.27** penggunaan serat rami pada metode *Stone Mastic Asphalt* (SMA) menunjukkan bahwa dapat menyebabkan terjadinya pengurangan nilai kadar aspal sebesar 0,5% terhadap kadar aspal tanpa serat. Hal ini disebabkan dikarenakannya penggunaan pada serat rami dapat menurunkan nilai VIM dan VMA, karena serat rami dapat mengisi rongga dalam campuran yang membantu ikatan antar agregat menjadi lebih baik dan meningkatkan kekakuan pada campuran. Sehingga semakin besar kadar serat rami yang digunakan maka semakin menurun kadar aspal optimum yang digunakan.

Kadar aspal optimum menjadi peryaratan 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.

5.5 Pengujian Campuran Aspal Jenis SMA Tahap Kedua

5.5.1 Hasil Pengujian Marshall

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall dengan bahan tambah Serat rami dengan kadar serat 0%, 0,1%, 0,2% dan 0,3% menggunakan kadar aspal optimum dapat dilihat Pada Tabel 5.19 dibawah ini :

Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* dengan Kadar Apal Optimum

Karakteristik Marshall	Kadar Serat Rami	Kadar Aspal	Hasil	Spesifikasi
VIM	0	6,5	4,92	3 % - 5 %
	0,1	6,5	4,46	
	0,2	6	3,91	
	0,3	6	3,75	
VMA	0	6,5	19,13	Min 17 %
	0,1	6,5	18,74	
	0,2	6	17,26	
	0,3	6	17,12	
Stabilitas	0	6,5	988,47	Min 800 kg
	0,1	6,5	1073,89	
	0,2	6	1126,19	
	0,3	6	1058,20	
Flow	0	6,5	2,62	2 mm - 4 mm
	0,1	6,5	2,65	
	0,2	6	2,76	
	0,3	6	2,64	
MQ	0	6,5	377,91	Min 250 kg/mm
	0,1	6,5	405,15	
	0,2	6	408,77	
	0,3	6	400,39	

(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian *marshall* pada **Tabel 5.20** di atas. Nilai VMA tertinggi yaitu 19,13% pada kadar serat rami 0% dengan kadar aspal optimum 6,5% hal tersebut dikarenakan kadar aspal yang terlalu banyak sehingga dapat memenuhi rongga udara antar agregat sementara nilai VMA cenderung mengalami penurunan dari setiap penambahan kadar serat rami yaitu pada kadar serat rami 0,2% dan 0,3% dengan kadar aspal optimum 6%, hal ini terjadi karena penggunaan serat rami itu sendiri memiliki sifat dapat mengisi ruang udara antar agregat.

Nilai VIM tertinggi yaitu pada kadar serat rami 0% dengan kadar aspal optimum 6,5% hal tersebut dikarenakan banyaknya aspal yang mengisi rongga antar agregat, sedangkan pada kadar aserat rami 0,2% dan 0,3% pada kadar aspal optimum 6%

menunjukkan bahwa penambahan kadar serat rami cenderung menurunkan nilai VIM, hal ini terjadi karena kadar serat rami mengisi ruang antar agregat., maka dari itu menjadi faktor dari menurunnya nilai VIM pada penelitian serat rami sebagai bahan tambah *filler*.

Nilai Stabilitas optimum yaitu 1126,19kg pada serat rami 0,2%, hal ini karena penambahan serat rami dapat mengakibatkan *durability* pada aspal semakin meningkat. Namun jika serat rami digunakan dengan kadar yang tinggi maka akan menurunkan nilai stabilitas.

Nilai Flow pada campuran yang menggunakan serat rami memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan yang tidak menggunakan serat rami, dapat dilihat bahwa nilai pada kadar serat rami 0% yaitu 2,62mm dan untuk nilai dengan kadar serat rami 0,3% yaitu 2,64 mm. hal itu dikarenakan penggunaan serat rami dapat dapat menurunkan nilai *flow* yang akan membuat campuran akan cenderung lebih kaku.

Nilai MQ yang didapat mengalami peningkatan hingga nilai optimumnya, setelah itu nilai *Marshall Quotient* (MQ) akan mengalami penurunan, pada penambahan serat rami ini dapat meningkatkan kelenturan pada campuran jika dalam kadar yang tepat, jika berlebihan akan menghasilkan campuran yang lebih kaku dan mudah retak, sehingga campuran mudah teroksidasi yang mengakibatkan pengelupasan pada lapis perkerasan. Namun seluruhnya memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018 Revisi 2.

5.5.2 Hasil Pengujian Stabilitas Marshall Sisa

Rekapitulasi hasil pengujian stabilitas Marshall penggunaan serat rami dengan kadar serat rami 0%, 0,1%, 0,2% dan 0,3% menggunakan kadar aspal optimum dapat dilihat Pada Tabel Dibawah ini :

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall* Sisa

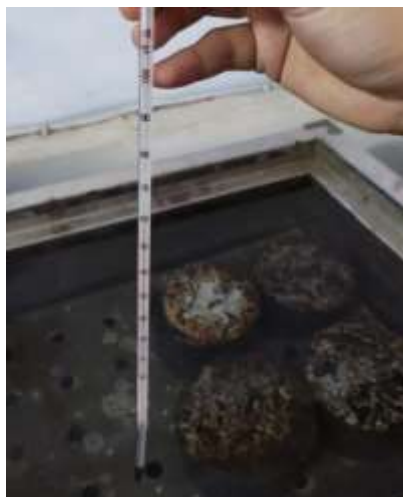
Jenis Pengujian	Kadar Serat Rami	Kadar Aspal Optimum	Hasil Pengujian	Minimal 90%
Stabilitas Marshall Sisa (kg)	0	6	948,93	889,623
	0,1	6	1020,20	966,504
	0,2	6,5	1064,25	1013,574
	0,3	6,5	1010,58	952,383

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)

Stabilitas Marshall sisa dilakukan untuk melihat nilai keawetan dari campuran yang ditunjukkan dengan indeks perendaman dan penurunan pada nilai stabilitas. Hal ini untuk mendapatkan rongga udara campuran yang besar dengan kondisi yang ekstrim sehingga didapatkan campuran yang lebih fleksibel meskipun dalam kondisi terburuk sekalipun.

Hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai stabilitas Marshall sisa mengalami kenaikan ketika penambahan kadar serat rami dengan masing-masing kadar aspal optimumnya. Hal ini disebabkan karena penggunaan serat rami yang dapat membatu sifat saling mengunci antar agregat menjadi baik sehingga menaikkan nilai stabilitas pada Marshall sisa juga dalam penggunaan serat rami dapat memperkecil rongga dalam campuran menjadi kedap.

Berdasarkan hasil rekapitulasi stabilitas marshall sisa dapat dilihat pada **Tabel 5.20**. Stabilitas marshall sisa pada kadar serat rami 0%, 0,1%, 0,2% dan 0,3% 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.



Gambar 5.28 Perendaman Benda Uji Pada *Water Bath* Dengan Suhu 60°
(Sumber: Qurrotul Milania, 2023)

5.6 Penentuan Proporsi Ideal yang Memenuhi Semua Karakteristik Campuran Beraspal

Penentuan proporsi ideal yang memenuhi semua karakteristik marshall campuran beton aspal pada penggunaan kadar serat rami dimaksudkan untuk menentukan proporsi ideal pencampuran serat rami efektif dalam campuran. Berikut rekapitulasi hasil analisis penentuan proporsi ideal penambahan serat rami yang sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 ditunjukkan pada **Tabel 5.22**.

Tabel 5.22 Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Kadar Serat Rami dengan Kadar Aspal Optimum

Kadar Serat Rami	Kadar Aspal Optimum	VIM	VMA	Stabilitas	Flow	MQ	Stabilitas Marshall Sisa
		3 - 5	Min. 17	Min. 800	2 - 4	Min. 250	
0	6,5	4,92	19,13	988,47	2,62	377,91	889,623
0,1	6,5	4,46	18,74	1073,89	2,65	405,15	966,504
0,2	6	3,91	17,26	1126,19	2,76	408,77	1013,574
0,3	6	3,75	17,12	1058,20	2,64	400,39	952,383

(Sumber : Qurrotul Milania, 2023)

Pada **Tabel 5.22** diatas dapat ditentukan proporsi ideal penggunaan serat rami pada campuran aspal berdasarkan nilai pada setiap proporsi campuran yang memenuhi semua karakteristik marshall campuran sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 untuk jenis campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA).