

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Saringan atau Ayakan Agregat

4.1.1 Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisis saringan terhadap agregat kasar dilakukan sebanyak dua kali. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini meliputi timbangan dan neraca, satu set saringan, oven, mesin pengayak, serta peralatan pendukung lainnya. Data hasil pengujian secara lengkap disajikan pada Tabel 4.1

1. Hasil Pemeriksaan

Tabel 4. 1 Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar 0-5 mm

SAMPel AGREGAT KASAR 0,5 mm										
AYAKAN		I			II			KUMULATIF TERTAHAN		RATA - RATA
		BERAT TERTAHAN	TERTAHAN %	LOLOS %	BERAT TERTAHAN	TERTAHAN %	LOLOS %	I	II	
ASTM	MM									
3/4"	19,0	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00	0	0	100
1/2"	12,5	4,00	0,16	99,84	2,00	0,00	100,00	4,00	2	99,92
3/8"	9,5	620,00	25,00	75,00	670,00	26,90	73,10	624,00	672	74,05
#8	2,36	1840,00	98,72	1,28	1780,00	98,08	1,92	2464,00	2452	1,60
#30	0,600	13,00	99,24	0,76	18,00	98,80	1,20	2477,00	2470	0,98
#200	0,075	10,00	99,64	0,36	11,00	99,24	0,76	2487,00	2481	0,56
PAN		9,00	100,00	0,00	14,00	99,80	0,20	2496,00	2495	0,1
Berat contoh		2496		Gram	2495		Gram			

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Hasil Analisis

Berdasarkan hasil pemeriksaan ayakan agregat Kasar (0,5 cm), diperoleh hasil Sebesar 2.496 pada sample I, pada sample II sebesar 2.495.

4.1.2 Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan pada agregat halus dilaksanakan sebanyak dua kali. Peralatan yang digunakan meliputi timbangan dan neraca, satu set susunan saringan, oven, mesin pengayak, serta peralatan pendukung lainnya. Data hasil pengujian secara lengkap disajikan pada Tabel 4.2.

1. Hasil pemeriksaan

Tabel 4. 2 Pemeriksaan Saringan Agregat Halus

SAMPel IV / PASIR										
AYAKAN					I					
			BERAT TERTAHAN	% TERTAHAN	& LOLOS	BERAT TERTAHAN	% TERTAHAN	& LOLOS	I	II
ASTM	MM									
1.0"	25,0	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,0	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	16	0,64	99,36	16	0,64	99,36	16,00	16,00	99,36
#4	4,75	66	3,28	96,72	75	3,64	96,36	82,00	91,00	96,54
#8	2,36	118	8,00	92,00	128	8,76	91,24	200,00	219,00	91,62
#16	1,18	279	19,16	80,84	271	19,60	80,40	479,00	490,00	80,62
#30	0,600	558	41,48	58,52	574	42,56	57,44	1037,00	1064,00	57,98
#50	0,300	478	60,60	39,40	485	61,96	38,04	1515,00	1549,00	38,72
#100	0,150	684	87,96	12,04	675	88,96	11,04	2199,00	2224,00	11,54
#200	0,075	169	94,72	5,28	153	95,08	4,92	2368,00	2377,00	5,1
PAN		129	99,88	0,12	119	99,84	0,16	2497,00	2496,00	0,14
Berat Contoh		2497			Gram			2496		Gram

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis hasil

Berdasarkan hasil pemeriksaan ayakan agregat Kasar (0,5 cm), diperoleh hasil Sebesar 2.497 pada sample I, pada sample II sebesar 2.496.

4.2 Pengujian dan Analisis Karakteristik Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat meliputi berat jenis dan penyerapan, berat isi, pemeriksaan Keausan, dan Pengukuran Volumetrik. Agregat yang digunakan adalah agregat kasar. Petugas yang bertugas ini melaksanakan keseleruhan pengujian pemeriksaan agregat.

4.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan terhadap berat jenis agregat kasar dilakukan tiga kali pengujian. Alat yang digunakan adalah Timbangan dan neraca, satu set wadah Oven,dan alat pendukung lainnya. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.3

1. Hasil Pemeriksaan

Tabel 4. 3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar	A	B	C	Satuan
Berat benda uji kering - oven, B _k	2000	2000	2000	Gram
Berat benda uji kering permukaan jenuh B _j	2052	2061	2055	Gram
Berat benda didalam air B _a	1175	1175	1174	Gram
Kadar air	2,80			%
Perhitungan Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar	A	B	C	Rata-rata
Berat Jenis (Bulk) $\frac{B_k}{(B_j - B_a)}$	2,28	2,26	2,27	2,27
Berat jenis kering permukaan jenuh $\frac{B_j}{(B_j - B_a)}$	2,34	2,33	2,33	2,33
Berat jenis semu (apparent) $\frac{B_k}{(B_k - B_a)}$	2,42	2,42	2,42	2,42
Penyerapan $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2,6	3,05	2,75	2,80

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis Hasil

Dari hasil percobaan penentuan berat jenis agregat kasar dengan menggunakan prosedur ASTM C128, diperoleh nilai apparent specific gravity sebesar 2,42, bulk specific gravity (kering) sebesar 2,27, serta bulk specific gravity (SSD) sebesar 2,33. Selain itu, persentase absorpsi air dari sampel adalah sebesar 2,80%. Dengan kata lain, perbandingan antara massa agregat kering oven (dipanaskan pada 110°C selama 24 jam hingga mencapai berat konstan) terhadap massa air dengan volume yang sama adalah 2,27. Sementara itu, perbandingan antara massa agregat dalam kondisi SSD (Saturated and Surface Dry) terhadap massa air dengan volume yang sama adalah 2,33. Nilai apparent specific gravity yang sebesar 2,42 menunjukkan massa jenis bahan padat agregat tanpa memperhitungkan pori-pori terbuka. Secara keseluruhan, nilai-nilai ini menggambarkan karakteristik densitas dan tingkat penyerapan air agregat kasar sesuai standar pengujian ASTM C128.

4.2.2 Pemeriksaan Berat isi Agregat Kasar

Pemeriksaan terhadap berat isi agregat kasar dilakukan tiga kali pengujian. Alat yang digunakan adalah Timbangan dan neraca, satu set wadah Oven, penumbuk dan alat pendukung lainnya. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.4

1. Hasil Pemeriksaan

Tabel 4. 4 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

LEPAS/GEMBUR	I	II	
A. Berat tempat + benda uji	4,536	4,424	(kg)
B. Berat tempat	0,964	0,964	(kg)
C. Berat benda uji	3,572	3,46	(kg)
D. Isi Tempat	3,135	3,135	(dm ³)
E. Berat isi benda uji	1,14	1,10	(kg/dm ³)
F. Berat isi benda uji rata - rata	1,12		
PADAT	I	II	
A. Berat tempat + benda uji	4,754	4,850	(kg)
B. Berat tempat	0,964	0,964	(kg)
C. Berat benda uji	3,79	3,886	(kg)
D. Isi Tempat	3,135	3,135	(dm ³)
E. Berat isi benda uji	1,21	1,24	(kg/dm ³)
F. Berat isi benda uji rata - rata	1,22		

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pemeriksaan berat isi agregat Kasar (0,5 cm), Pada Kondisi Lepas/Gembur diperoleh hasil 1,14% pada sample I, pada sample II sebesar 1,10% , dan nilai rata-rata dari kedua sampel pada kondisi lepas/gembur diatas adalah 1,12%. Sedangkan pada Kondisi Padat diperoleh hasil 1,21% pada sample I, pada sample II sebesar 1,24% , dan nilai rata-rata dari kedua sampel pada kondisi padat diatas adalah 1,22%.

4.2.3 Pemeriksaan Keausan Agregat (Abrasi)

Pemeriksaan keausan agregat adalah proses untuk menentukan tingkat keausan agregat yang digunakan dalam konstruksi, seperti jalan, jembatan, dan bangunan. Pemeriksaan ini dilakukan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan memenuhi standar kualitas yang ditentukan.

1. Hasil Pemeriksaan

Tabel 4. 5 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat (Abrasi)

Gradasi pemeriksaan		Jumlah putaran = 500 putaran	
Ukuran saringan		1	2
Lolos	Tertahan	Berat(a)	Berat(a)
76,2 (3")	63,5 (2 ½")		
63,5 (2 ½")	50,8 (2")		
50,8 (2")	36,1 (1½")		
36,1 (1½")	25,4 (1")		
25,4 (1")	19,1 (¾")		
19,1 (¾")	12,7 (½")		
12,7 (½")	9,25 (¾")		
9,25 (¾")	6,35 (¼")	2500	2500
6,35 (¼")	4,75 (No.4)	2500	2500
4,75 (No.4)	2,36 (No.8)		
Jumlah Berat		5000	5000
Berat saringan No. 12 sesudah percobaan (b)		3224	3210

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis Hasil

$$1. a = 5000 \text{ gram}$$

$$b = 3224 \text{ gram}$$

$$a-b = 1776 \text{ gram}$$

$$\text{keausan 1} = \frac{a-b}{a} \times 100 = 35,52\%$$

$$\text{keausan rata-rata} = (35,52 + 35,80)/2$$

$$= 35,66 \% \longrightarrow$$

$$2. a = 5000 \text{ gram}$$

$$b = 3210 \text{ gram}$$

$$a-b = 1790 \text{ gram}$$

$$\text{keausan 2} = \frac{a-b}{a} \times 100 = 35,80\%$$

$$36\% \text{ (dibulatkan)}$$

Hasil pengujian abrasi menunjukkan bahwa nilai keausan 1 adalah 35,52% dan nilai keausan 2 adalah 35,80% kemudian dirata-rata sehingga dan didapatkan nilai 35,66% dibulatkan menjadi 36%. Berdasarkan standar yang berlaku, nilai keausan ini menunjukkan bahwa material yang diuji memiliki tingkat ketahanan abrasi yang sedang, di mana agregat masih memenuhi persyaratan umum untuk digunakan dalam pekerjaan perkerasan. Biasanya, material dengan keausan di atas 40% dianggap kurang tahan terhadap abrasi dan tidak ideal untuk penggunaan dalam kondisi beban berat atau lalu lintas tinggi.

4.3 Pengujian dan Analisis Karakteristik Agregat Halus

Pemeriksaan agregat meliputi berat jenis dan penyerapan, berat isi, dan Pengukuran Volumetrik. Agregat yang digunakan adalah agregat halus (Fine

Aggregate). Petugas yang bertugas ini melaksanakan keseleruhan pengujian pemeriksaan agregat.

4.3.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan terhadap berat jenis agregat halus dilakukan tiga kali pengujian. Alat yang digunakan adalah Timbangan dan neraca, satu set wadah Oven, dan alat pendukung lainnya. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.6.

1. Hasil Pengamatan

Tabel 4. 6 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian Penyerapan Air Agregat Halus	A	B	C	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	Gram
Berat benda uji kering - oven, Bk	496	498	498	Gram
Berat piknometer diisi air, B	695,00	669,46	672,23	Gram
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air, Bt	972,27	974,68	974,96	Gram
Kadar air	0,54			
Perhitungan Pengujian Penyerapan Air Agregat Halus	A	B	C	Rata-rata
Berat Jenis (Bulk) $\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$	2,23	2,56	2,52	2,44
Berat jenis kering permukaan jenuh $\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$	2,24	2,57	2,53	2,45
Berat jenis semu (apparent) $\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$	2,27	2,58	2,55	2,47
Penyerapan $\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	0,81	0,40	0,41	0,54

Sumber: Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis Hasil

Dari percobaan Berat jenis Agregat Halus dengan prosedur ASTM C128. ini diperoleh apparent specific gravity dari sampel adalah 2,44%, bulk specific gravity (kering) adalah 2,45% serta bulk specific gravity (SSD) adalah 2,45% dan persentase absorpsi air adalah 0,54 %,.. Dengan kata lain perbandingan antara massa agregat kering (yang dioven pada 110° selama 24 jam) terhadap masa air dengan massa air dengan volume yang sama dengan agregat tersebut adalah 2,44. Perbandingan antara massa agregat SSD (Saturated and Surface Dry) terhadap massa air dengan volume yang sama dengan agregat tersebut adalah 2,47%.

4.3.2 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Pemeriksaan terhadap berat isi agregat halus dilakukan tiga kali pengujian. Alat yang digunakan adalah Timbangan dan neraca, satu set wadah Oven, dan alat pendukung lainnya. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.7

1. Hasil Pengamatan

Tabel 4. 7 Hasil Pemeriksaan Isi Agregat Halus

LEPAS/GEMBUR	I	II	
A. Berat tempat + benda uji	6,055	6,144	(kg)
B. Berat tempat	0,964	0,964	(kg)
C. Berat benda uji	5,091	5,18	(kg)
D. Isi Tempat	3,135	3,135	(dm ³)
E. Berat isi benda uji	1,62	1,65	(kg/dm ³)
F. Berat isi benda uji rata - rata	1,64		
PADAT	I	II	
A. Berat tempat + benda uji	6,651	6,612	(kg)
B. Berat tempat	0,964	0,964	(kg)
C. Berat benda uji	5,687	5,648	(kg)
D. Isi Tempat	3,135	3,135	(dm ³)
E. Berat isi benda uji	1,81	1,80	(kg/dm ³)
F. Berat isi benda uji rata - rata	1,81		

Sumber: Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pemeriksaan berat isi agregat halus Pada Kondisi Lepas/Gembur diperoleh hasil 1,62% pada sample I, pada sample II sebesar 1,65% , dan nilai rata-rata dari kedua sampel pada kondisi lepas/gembur diatas adalah 1,64%.

Sedangkan pada Kondisi Padat diperoleh hasil 1,81% pada sample I, pada sample II sebesar 1,80% , dan nilai rata-rata dari kedua sampel pada kondisi padat diatas adalah 1,81%

4.4 Pengujian dan Analisi Aspal

4.4.1 Penetrasi Aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal dilakukan dengan membuat 2 buah benda uji, masing-masing diperiksa dengan alat penetrometer sebanyak sepuluh kali. Untuk aspal keras penetrasi 60/70 nilai penetrasi minimum 60 sedangkan nilai maksimum dibatasi 79. Data selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah.

1. Hasil Pengamatan

Tabel 4. 8 Hasil Penetrasi Aspal

Pengamatan	Sampel 1	Sampel 2
1	71,6	74,5
2	72	57,6
3	64,7	59,9
4	66,4	59,6
5	78,9	54,3
Rata-rata	70,72	61,18
	65,95	

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis Hasil

Jadi setelah 5 kali pengamatan, terhadap kedua sampel didapat rata-rata penetrasi dari sampel adalah 65,95. Ini berarti sampel telah memenuhi syarat yaitu diantara 60-70

4.4.2 Titik Lembek Aspal (Softening point)

Softening point adalah suhu pada saat aspal mulai meleleh dan kehilangan bentuknya. Aspal yang dipanaskan akan mengalami perubahan fase dari padat menjadi cair. Pada suhu tertentu, aspal akan mulai meleleh dan kehilangan bentuknya, yang disebut sebagai softening point.

1. Hasil Pengamatan

Aspal dengan penetrasi yang sama belum tentu memiliki titik lembek yang sama. Peralatan yang digunakan adalah cincin, pelat, bola baja, pengarah bola, bejana peredam, dudukan benda uji, termometer. Pemeriksaan titik lembek dilakukan sebanyak dua kali. Hasil pemeriksaan selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4. 9 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek aspal

No.	Suhu yang diambil	Waktu (dt)		Titik Lembek (°C)	
	°C	1	2	1	2
1	5	0	0		
2	10	73	78		
3	15	143	145		
4	20	212	223		
5	25	280	277		
6	30	345	345		
7	35	405	410		
8	40	470	475		
9	45	567	569		
10	50	629	622		
11	55	692	686	52,4	50,7
Rata-Rata				51,55	

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

2. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pengujian titik lembek, diperoleh bahwa kedua sampel aspal mencapai titik lembek pada suhu pengamatan akhir 55°C. Sampel I membutuhkan waktu pelelehan selama 11 menit 32 detik (692 detik), sedangkan sampel II membutuhkan waktu 11 menit 26 detik (686 detik). Dari pengujian tersebut, didapatkan nilai titik lembek sebesar 52,4°C untuk sampel I dan 50,7°C untuk sampel II, dengan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 51,55°C. Nilai rata-rata tersebut memenuhi rentang spesifikasi Bina Marga (umumnya minimal 48°C untuk aspal penetrasi 60/70), sehingga aspal yang diuji dinyatakan memenuhi persyaratan teknis dan layak digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran perkerasan jalan.

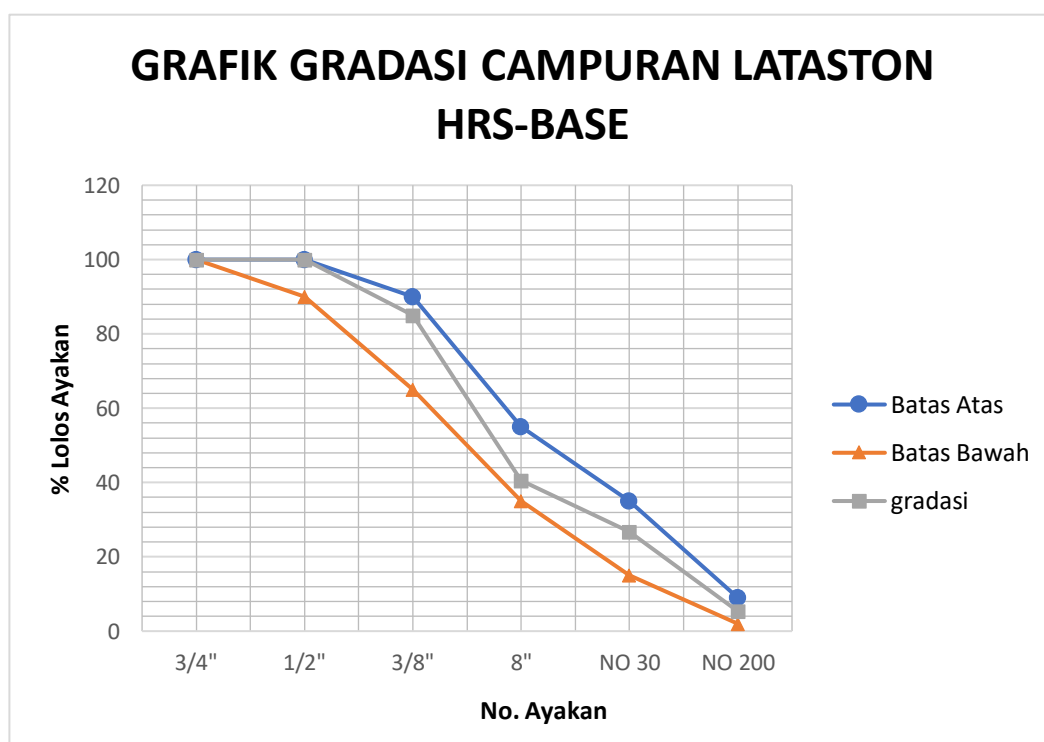
4.5 Pengukuran Volumetrik Aspal dan Agregat

Dari hasil analisis agregat dan aspal, direncanakan campuran aspal dan agregat sesuai dengan standar yang telah ditentukan (Spesifikasi Umum 2018 Rev.2), Petunjuk Pelaksanaan Hot Rolled Sheet (HRS). Direncanakan gradasi campuran HRS-Base

Tabel 4. 10 Gradasi Gabungan Hot Rolled Sheet-Base

SIEVE SIZE		Hot Bin I	Hot Bin II	FILLER	JUMLAH	SPEK	
						BB	BA
3/4"	19	100,00	100	100,00	100,00	100	100
1/2"	12,5	99,92	100	100,00	99,95	90	100
3/8"	9,5	74,05	99,36	100,00	84,95	65	90
8"	2,36	1,60	91,62	100,00	40,56	35	55
NO 30	0,60	0,98	57,98	100,00	26,75	15	35
NO 200	0,08	0,56	5,10	100,00	5,36	2	9
A Hot Bin I						57,0	%
B Hot Bin II						40,0	%
C FILLER						3,0	%
TOTAL						100	%

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 1 Grafik Analisis Campuran Stone Matrix Asphalt

4.6 Penentuan Kadar Aspal

Rumus Perencanaan Kadar Aspal:

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : } CA &= 59.44 \\
 FA &= 35.20 \\
 FF &= 5.36
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= 2 \\
 P_b &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \\
 &= 0,035(59.44) + 0,045(35.2) + 0,18(5.36) + 2 \\
 &= 6.6 \% \quad \longrightarrow \quad 7\% \text{ (dibulatkan)}
 \end{aligned}$$

Dimana:

P_b = Kadar aspal rencana, persen terhadap berat campuran

CA = Agregat kasar, persen agregat tertahan saringan no. 8

FA = Agregat halus, persen agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200

FF = Agregat lolos ayakan no. 200

K = Konstanta (nilai K sekita 0,5 sampai 1,0 untuk AC dan 2,0 – 3,0 untuk HRS).

Setelah didapatkan nilai P_b dari beberapa variasi, hasil yang diperoleh kadar aspal rencana yang akan digunakan ($P_b = 7\%$). Pada penelitian ini, untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) maka untuk Gradasi Gabungan dibuat di buat variasi dengan 5 kadar aspal dengan jumlah benda uji 25, benda uji masing-masing kadar 5 benda uji. Variasi kadar yang digunakan adalah ($P_b - 1,0\%$), ($P_b - 0,5\%$), (P_b)%, ($P_b + 0,5\%$), dan ($P_b + 1,0\%$), dijelaskan

Tabel 4. 11 Proporsi Agregat Benda Uji

Perkiraan Berat Isian Mould Standar			1200				
KOMPOSISI CAMPURAN		KOMPOSISI AGGREGAT	NORMAL				
KADAR ASPAL RENCANA		%	6	6,5	7	7,5	8
a	HOT BIN I	57%	643,0	639,5	636,1	632,7	629,3
b	HOT BIN II	40%	451,2	448,8	446,4	444,0	441,6
c	Filler	3%	33,8	33,7	33,5	33,3	33,1
BERAT AGREGAT CAMPURAN (gr)			1140,0	1134,0	1128,0	1122,0	1116,0
BERAT ASPAL (gr)			60,0	66,0	72,0	78,0	84,0
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURN (gr)			1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 12 Pembuatan Benda Uji HRS-Base

Perkiraan Kadar Aspal	Gradasi Batas Tengah	Keterangan
6.0%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi HRS-Base + filler semen portland
6.5%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi HRS-Base + filler semen portland
7.0%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi HRS-Base + filler semen portland
7.5%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi HRS-Base + filler semen portland
8.0%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi HRS-Base + filler semen portland
Jumlah	25 buah	

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

4.7 Pembuatan Benda Uji Aspal HRS -Base

Pembuatan benda uji maka digunakan presentase jumlah masing-masing agregat dari hasil analisa gradasi gabungan pada masing-masing variasi, sebagai berikut :

A. Asal Bahan :

Agregat gabungan dan Aspal sesuai jumlah variasi aspal

B. Alat yang digunakan :

1. Tiga buah cetakan benda uji diameter 101,6 mm (4 in), tinggi 76,2 mm (3 in) lengkap dengan pelat atas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan:
 - a. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4.536 gram (± 9 gram) dan tinggi jatuh bebas 457,2 mm $\pm 15,24$ mm (18 inci $\pm 0,6$ in).
 - b. Landasan pemadat terdiri atas balok kayu (jati atau yang sejenis) mempunyai berat isi 0,67 – 0,77 kg/cm³(dalam kondisi kering) dengan ukuran 203,2 x 203,2 x 457,2 mm (8 x 8 x 18 in) dilapisidengan pelat baja berukuran 304,8 x 304,8 x 25,4 mm (12 x 12 x 1 in) dan dijangkarkan pada lantai aspal di keempat bagian sudutnya.
 - c. Pemegang cetakan benda uji.
3. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang mampu memanaskan campuran sampai 200 °C ± 3 °C,

4. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram,
5. Termometer logam (metal thermometer) berkapasitas 10 °C sampai 204 °C dengan ketelitian 2,8 °C,
6. Alat pengeluar benda uji,
7. Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan, digunakan alat pengeluar benda uji (extruder) dengan diameter 100 mm (3,95 in).
8. Perlengkapan lain:
 - a. Wadah untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran beraspal,
 - b. Sendok pengaduk dan spatula,
 - c. Kompor atau pemanas (hot plate).
 - d. Sarung tangan

Pada akhir pada tahap ini adalah didapatkan benda uji sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan, dan akan dilanjutkan dengan pengujian benda uji dengan alat Marshall.

4.8 Uji Marshall Kadar Aspal Optimum HRS -Base

Dari hasil pengujian Marshall diperoleh dua parameter utama, yaitu nilai stabilitas dan flow. Untuk memperoleh nilai stabilitas yang akurat, pembacaan pada dial alat Marshall terlebih dahulu dikalibrasi sehingga diperoleh nilai dalam satuan gaya kN, yang selanjutnya dikonversikan ke dalam satuan kilogram. Nilai hasil kalibrasi tersebut kemudian dikalikan dengan faktor koreksi yang ditentukan berdasarkan tinggi benda uji. Nilai stabilitas yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan nilai flow untuk menentukan Marshall Quotient, yang merupakan perbandingan antara stabilitas dan flow. Sementara itu, nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) dan Void in Mix (VIM) diperoleh melalui perhitungan karakteristik volumetrik campuran dengan menggunakan data berat benda uji dalam kondisi kering, berat benda uji di dalam air, serta berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan (SSD)

Tabel 4. 13 Density Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan Campuran

	KODE BENDA UJI	TINGGI			DIAMETER			RATA-RATA		faktor koreksi stabilitas	BERAT KERING	BERAT DALAM AIR	BERAT SSD	flow	stabilitas
		sisi 1	sisi 2	sisi 3	sisi 1	sisi 2	sisi 3	tinggi	diameter						
6%	i	68,88	66,08	68,05	101,83	102,71	102,24	67,67	102,26	0,90	1196	627	1209	0,79	165
	ii	67,10	66,80	68,60	102,30	102,30	101,90	67,50	102,17	0,91	1196	627	1208	2,70	190
	iii	71,80	71,40	68,90	102,40	102,20	102,00	70,70	102,20	0,84	1187	628	1207	0,90	198
	iv	71,35	68,40	68,04	102,50	103,30	102,40	69,26	102,73	0,87	1198	624	1217	3,20	190
	v	68,39	70,15	70,09	102,30	102,50	102,00	69,54	102,27	0,87	1198	635	1224	2,70	197
6,5%	i	66,25	66,67	65,73	102,27	101,73	102,50	66,22	102,17	0,94	1189	650	1210	3,90	198
	ii	66,80	65,76	65,33	102,24	101,52	102,07	65,96	101,94	0,94	1187	646	1193	2,90	180
	iii	64,30	62,83	63,03	102,14	102,42	102,14	63,39	102,23	1,00	1178	644	1201	2,80	170
	iv	67,50	64,08	66,13	102,33	102,01	102,07	65,90	102,14	0,95	1167	647	1213	3,20	140
	v	64,58	64,73	66,76	102,49	101,60	101,46	65,36	101,85	0,96	1191	639	1207	2,80	175
7%	i	65,69	65,80	65,28	102,26	102,86	102,33	65,59	102,48	0,95	1198	623	1205	1,05	130
	ii	66,59	65,09	65,19	102,08	102,60	102,38	65,62	102,35	0,95	1190	648	1196	1,98	148
	iii	65,66	64,03	64,35	102,03	102,12	102,04	64,68	102,06	0,97	1194	627	1199	1,60	137
	iv	64,74	65,97	64,09	102,69	102,73	101,09	64,93	102,17	0,97	1198	620	1202	0,85	139
	v	66,36	66,03	64,16	102,37	102,33	101,44	65,52	102,05	0,95	1197	632	1212	1,95	145
7,5%	i	63,15	63,06	63,25	102,11	102,30	102,36	63,15	102,26	1,01	1174	636	1188	0,70	155
	ii	64,77	64,04	63,86	102,13	102,53	102,03	64,22	102,23	0,98	1196	640	1203	3,90	133
	iii	65,66	64,80	62,60	102,02	102,05	101,77	64,35	101,95	0,98	1196	639	1201	3,10	125
	iv	63,97	65,92	65,96	102,32	102,01	102,33	65,28	102,22	0,96	1198	641	1219	3,60	130
	v	64,36	63,26	64,17	102,47	102,36	102,24	63,93	102,36	0,99	1198	642	1203	3,70	140
8%	i	65,99	66,02	66,12	102,01	102,83	102,33	66,04	102,39	0,94	1197	638	1210	0,80	110
	ii	63,13	63,83	61,38	102,92	101,88	102,44	62,78	102,41	1,02	1175	627	1179	3,40	120
	iii	65,99	64,46	65,62	102,05	102,21	102,01	65,36	102,09	0,96	1202	635	1212	2,10	110
	iv	63,84	61,44	63,99	102,39	101,94	101,84	63,09	102,06	1,01	1177	634	1180	2,13	105
	v	63,54	62,14	62,89	101,39	101,94	101,84	62,86	101,72	1,02	1186	647	1203	3,30	145

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 14 Marshall Test Kadar Aspal 6 % (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VF _A)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DARI JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITY
		DID UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DIBACA	DISESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A/V)))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	100 - K	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M) \times 100$	$(V-U/V.U) \times T$				R/S	C/(E-D)
6	0,90	1196	627	1209	582	2,05		12,07	82,08	7,62	17,92		57,51		165	2189,55	0,79	2771,6	2,05
	0,91	1196	627	1208	581	2,06		12,09	82,22	7,46	17,78		58,07		190	2532,26	2,70	937,9	2,06
	0,84	1187	628	1207	579	2,05		12,04	81,88	7,84	18,12		56,75		198	2441,37	0,90	2712,6	2,05
	0,87	1198	624	1217	593	2,02		11,86	80,69	9,18	19,31		52,47		190	2430,32	3,20	759,5	2,02
	0,87	1198	635	1224	589	2,03		11,94	81,24	8,56	18,76		54,37		197	2507,38	2,70	928,7	2,03
			rata-rata			584,80	2,04	2,22	12,00	81,62	8,13	18,38	5,99	55,83	0,01	198	2,06	3,90	1622,0
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6	%	A :	HOT BIN I		2,27		2,42	57		%
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,04	gr/cc	B :	HOT BIN II		2,44		2,47	40		%
BJ. BULK (U)				2,35		RONGGA UDARA			8,13	%	C :	Filler		3,15		3,15	3		%
BJ. EFEKTIF (V)				2,41		STABILITAS			2420,18	kg									
BJ. SEMU				2,46		KELELEHAN			2,06	mm									

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 15 Marshall Test Kadar Aspal 6,5 % (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITY
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BAKAR	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	$100 - K$	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M) \times 100$	$(V-U/V \times U) \times T$				R/S	C/(E-D)
6,5	0,94	1189	650	1210	560	2,12		13,51	84,80	3,95	15,20		74,02		198	2726,24	3,90	699,0	2,12
	0,94	1187	646	1193	547	2,17		13,81	86,67	1,83	13,33		86,26		180	2493,03	2,90	859,7	2,17
	1,00	1178	644	1201	557	2,11		13,46	84,47	4,32	15,53		72,15		170	2495,09	2,80	891,1	2,11
	0,95	1167	647	1213	566	2,06		13,12	82,35	6,73	17,65		61,89		140	1941,72	3,20	606,8	2,06
	0,96	1191	639	1207	568	2,10		13,34	83,75	5,14	16,25		68,36		175	2457,85	2,80	877,8	2,10
			rata-rata		559,60	2,11	2,21	13,45	84,41	4,39	15,59	6,49	72,53	0,01	130	2422,8	3,1	786,9	2,11
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)	(BJ SEMU)		%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL 60-70				60-70	ASPAL				6,5	%	A :	HOT BIN I		2,27	2,42	57	%		
BJ. ASPAL (T)				1,02	BULK CAMPURAN				2,11	gr/cc	B :	HOT BIN II		2,44	2,47	40	%		
BJ. BULK (U)				2,35	RONGGA UDARA				4,39	%	C :	filler		3,15	3,15	3	%		
BJ. EFEKTIF (V)				2,41	STABILITAS				2422,79	kg									
BJ. SEMU				2,46	KELELEHAN				3,12	mm									

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 16 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7 % (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BEND A UJI	BERAT (GRAM)			ISI BEN DA UJI	BJ BULK CAMPU RAN	BJ MAKSIMU M CAMPURA N	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHAD AP CAMPU RAN	RONG GA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERA PAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURA N)	STABILITAS (KG)		KELELE HAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSH AL (KG/M M)	DENSIT Y
		DI UDA RA	DALA M AIR	KERING PERMUK AAN				KADA R ASPAL EFEK TIF	AGREGA T	RONG A UDAR A (VIM)					DI BAC A	DI SESUAIK AN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPU RAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	100 - K	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)* 100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
7	0,95	1198	623	1205	582	2,06		14,11	82,21	6,30	17,79		64,58		130	1816,10	1,05	1729,6	2,06
	0,95	1190	648	1196	548	2,17		14,88	86,73	1,15	13,27		91,33		148	2065,97	1,98	1043,4	2,17
	0,97	1194	627	1199	572	2,09		14,30	83,37	4,98	16,63		70,05		137	1953,89	1,60	1221,2	2,09
	0,97	1198	620	1202	582	2,06		14,11	82,21	6,30	17,79		64,58		139	1971,12	0,85	2319,0	2,06
	0,95	1197	632	1212	580	2,06		14,14	82,43	6,05	17,57		65,54		145	2029,06	1,95	1040,5	2,06
			rata-rata		572,80	2,09	2,20	14,31	83,39	4,96	16,61	6,99	71,22	0,01	140	1967,2	1,49	1470,7	2,09
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7	%		HOT BIN I	2,27	2,42	57		%		
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,09	gr/cc	B :	HOT BIN II	2,44	2,47	40		%		
BJ. BULK (U)				2,35		RONGGA UDARA			4,96	%	C :	filler	3,15	3,15	3		%		
BJ. EFEKTIF (V)				2,41		STABILITAS			1967,23	kg									
BJ. SEMU				2,46		KELELEHAN			1,49	m m									

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 17 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5 % (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BEND A UJI	BERAT (GRAM)			ISI BEN DA UJI	BJ BULK CAMPUR AN	BJ MAKSIMU M CAMPURA N	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHAD AP CAMPUR AN	RONG GA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERA PAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURA N)	STABILITAS (KG)		KELELE HAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSH AL (KG/M M)	DENSIT Y
		DI UDA RA	DALA M AIR	KERING PERMUK AAN				KADA R ASPAL EFEK TIF	AGREG AT	RON GA UDA RA (VIM)					DI BAC A	DI SESUAIK AN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPUR AN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	$100 - K$	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)* 100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
7,5	1,01	1174	636	1188	552	2,13		15,62	84,95	2,18	15,05		85,52		155	2286,55	0,70	3266,5	2,13
	0,98	1196	640	1203	563	2,12		15,60	84,85	2,29	15,15		84,86		133	1916,34	3,90	491,4	2,12
	0,98	1196	639	1201	562	2,13		15,63	85,00	2,12	15,00		85,87		125	1795,85	3,10	579,3	2,13
	0,96	1198	641	1219	578	2,07		15,22	82,78	4,67	17,22		72,87		130	1828,89	3,60	508,0	2,07
	0,99	1198	642	1203	561	2,14		15,68	85,29	1,78	14,71		87,88		140	2030,37	3,70	548,7	2,14
			rata-rata		563,20	2,12	2,17	15,55	84,57	2,61	15,43	7,49	83,40	0,01	137	1971,6	3,00	1078,8	2,12
KETERANGAN						HASIL TES						AGREGAT		(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7,5	%	A :	HOT BIN I		2,27	2,42	57		%	
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,12	gr/cc	B :	HOT BIN II		2,44	2,47	40		%	
BJ. BULK (U)				2,34		RONGGA UDARA			2,61	%	C :	filler		3,15	3,15	3		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2,39		STABILITAS			1971,60	kg									
BJ. SEMU				2,45		KELELEHAN			3,00	mm									

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 18 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8 % (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BEND A UJI	BERAT (GRAM)			ISI BEN DA UJI	BJ BULK CAMPU RAN	BJ MAKSIMU M CAMPURA N	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHAD AP CAMPU RAN	RONG GA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAP AN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURA N)	STABILITAS (KG)		KELELEH AN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSH AL (KG/M M)	DENSIT Y
		DI UDA RA	DALA M AIR	KERING PERMUK AAN				KADA R ASPAL EFEK TIF	AGREG AT	RON GA UDA RA (VIM)					DI BAC A	DI SESUAIK AN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	$100 - K$	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)* 100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
8	0,94	1197	638	1210	572	2,09		16,39	81,80	3,56	18,20		80,44		110	1520,69	0,80	1900,9	2,09
	1,02	1175	627	1179	552	2,13		16,67	83,21	1,90	16,79		88,67		120	1791,47	3,40	526,9	2,13
	0,96	1202	635	1212	577	2,08		16,32	81,43	4,00	18,57		78,48		110	1544,93	2,10	735,7	2,08
	1,01	1177	634	1180	546	2,16		16,89	84,27	0,66	15,73		95,84		105	1551,08	2,13	728,2	2,16
	1,02	1186	647	1203	556	2,13		16,71	83,38	1,70	16,62		89,79		145	2160,92	3,30	654,8	2,13
			rata-rata		560,60	2,12	2,17	16,60	82,82	2,36	17,18	7,99	86,64	0,01	118	1713,8	2,35	909,3	2,12
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT				(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT	
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			8	%	A :	HOT BIN I		2,27		2,42	57		%
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,12	gr/cc	B :	HOT BIN II		2,44		2,47	40		%
BJ. BULK (U)				2,35		RONGGA UDARA			2,36	%	C :	filler		3,15		3,15	2		%
BJ. EFEKTIF (V)				2,41		STABILITAS			1713,82	kg									
BJ. SEMU				2,46		KELELEHAN			2,35	mm									

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

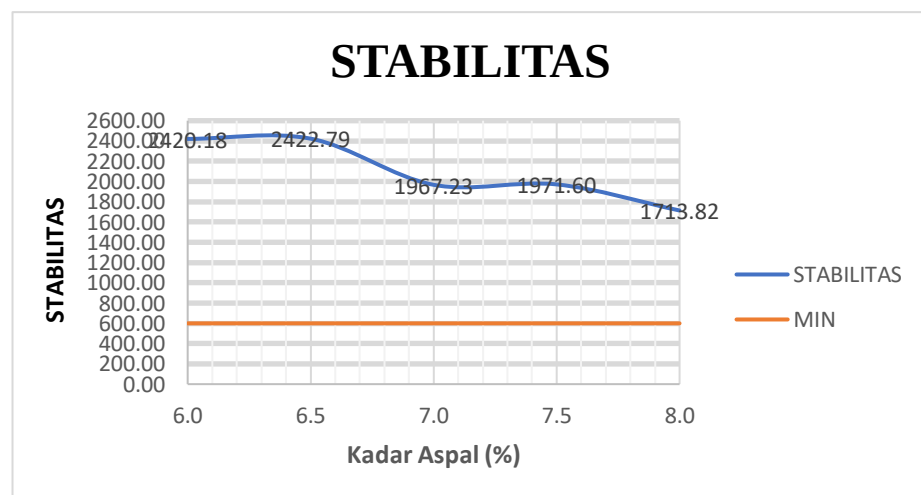
Tahap selanjutnya kita analisa hasil dari Marshall Test dari kedua variasi gradasi gabungan yaitu nilai stabilitas, Flow, VIM , dan VMA ,Grafik terhadap pengujian marshall akan dijelaskan dibawah ini :

4.11.1 Analisis Terhadap Nilai Stabilitas

Tabel 4. 19 Analisis Terhadap Nilai Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (%)	Spesifikasi (Kg)	Keterangan
6.0	2420,18	(Min. 600) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
6.5	2422,79		Memenuhi
7.0	1967,23		Memenuhi
7.5	1971,60		Memenuhi
8.0	1713,82		Memenuhi

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 2 Grafik Analisis Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik stabilitas, dapat dilihat bahwa seluruh variasi kadar aspal yang diuji masih memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal dan mencapai nilai maksimum pada kadar aspal 6,5%. Setelah itu, nilai stabilitas menurun pada kadar aspal yang lebih tinggi, meskipun sempat mengalami sedikit peningkatan sebelum kembali menurun. Pola ini

menunjukkan bahwa kadar aspal 6,5% merupakan kondisi optimum, karena memberikan nilai stabilitas tertinggi pada campuran HRS-Base.

4.11.2 Analisis Terhadap Nilai VIM

Tabel 4. 20 Analisis Terhadap Nilai VIM

Kadar Aspal (%)	VIM (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
6.0	8,13	(Min. 3)	<i>Memenuhi</i>
6.5	4,39	(Max. 5)	<i>Memenuhi</i>
7.0	4,96	Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	<i>Memenuhi</i>
7.5	3,01		<i>Memenuhi</i>
8.0	2,36		<i>Tidak</i>

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

VIM (Void in Mix) merupakan persentase rongga udara yang tersisa dalam campuran aspal setelah proses pemadatan, yang berfungsi sebagai ruang untuk pergeseran butiran agregat. Keberadaan rongga ini diperlukan untuk mengakomodasi pemadatan lanjutan akibat beban lalu lintas berulang maupun perubahan kondisi temperatur yang dapat menyebabkan aspal melunak.

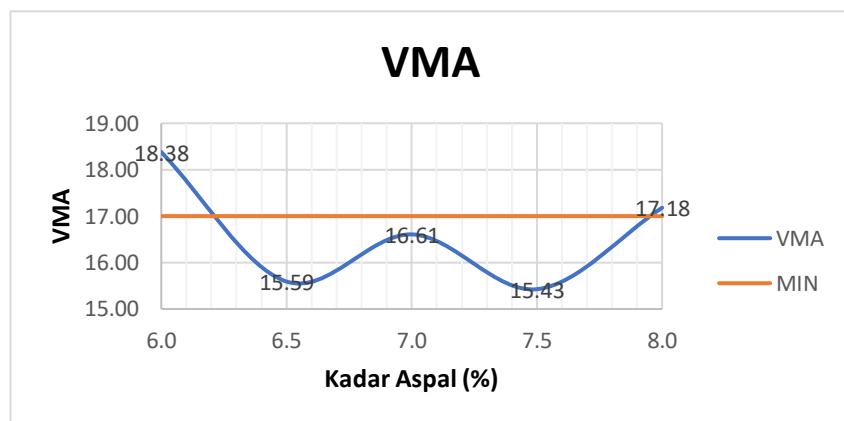
Berdasarkan grafik hasil pengujian, nilai VIM menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai VIM memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 4 pada kadar aspal sekitar 6,5% hingga 7,0%, di mana rongga udara yang terbentuk masih berada dalam batas yang dipersyaratkan. Pada rentang kadar aspal tersebut, campuran dinilai optimal karena adanya keseimbangan antara kadar aspal dan gradasi agregat yang cukup rapat. Sementara itu, pada kadar aspal 6,0%, nilai VIM masih relatif tinggi dan mendekati batas maksimum, sedangkan pada kadar aspal 7,5% dan 8,0%, nilai VIM berada di bawah batas minimum yang dipersyaratkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada kadar aspal yang terlalu rendah atau terlalu tinggi, campuran tidak memenuhi spesifikasi karena rongga udara terlalu besar atau terlalu kecil.

4.11.3 Analisis Terhadap Nilai VMA

Tabel 4. 21 Analisis Terhadap Nilai VMA

Kadar Aspal (%)	VMA (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
6.0	18,38	(17) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	<i>memenuhi</i>
6.5	15,59		<i>Tidak</i>
7.0	16,61		<i>Tidak</i>
7.5	15,43		<i>Tidak</i>
8.0	17,18		<i>Tidak</i>

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

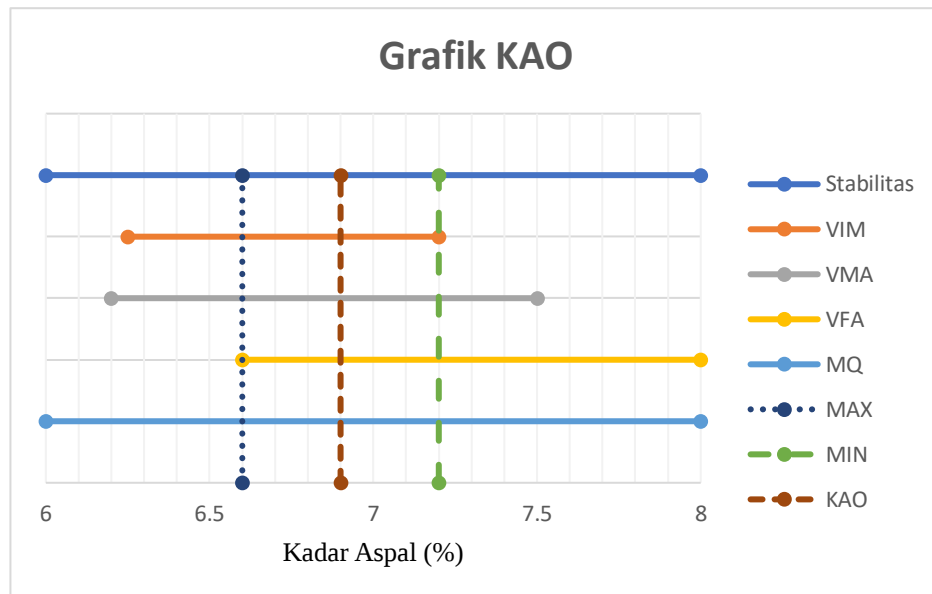


Gambar 4. 3 Grafik Analisis Nilai VMA

VMA (Void in Mineral Aggregate) merupakan rongga antar agregat yang berfungsi menyediakan ruang bagi aspal dalam campuran. Berdasarkan grafik, nilai VMA memenuhi batas minimum pada kadar aspal 6,0% dan 8,0%, sedangkan pada kadar aspal 6,5% hingga 7,5% nilainya berada di bawah spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 4. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar aspal menengah struktur agregat terlalu rapat, sehingga ruang antar agregat tidak mencukupi.

4.9 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian Job Mix Formula (JMF) aspal HRS -Base dengan standar yang disyaratkan dengan nilai stabilitas yang tertinggi, seperti pada Gambar 4.6 dibawah ini :



Gambar 4. 4 Grafik Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil analisis grafik, nilai stabilitas tertinggi yang memenuhi seluruh parameter Marshall terjadi pada kadar aspal sekitar $\pm 6,9\%$, sehingga KAO untuk campuran aspal HRS Base ditetapkan sebesar 6,9%. Nilai KAO tersebut telah memenuhi ketentuan spesifikasi teknis dan menunjukkan bahwa campuran memiliki kekuatan struktural yang baik, keawetan yang memadai, serta ketahanan terhadap deformasi.

4.10 Pembuatan Benda Uji HRS -Base Campuran Abu Daun Bambu

Pembuatan 1 benda uji maka digunakan presentase jumlah masing-masing agregat dari hasil analisa gradasi gabungan pada masing-masing variasi, sebagai berikut :

Tabel 4. 22 Proporsi Agregat Benda Uji Campuran Abu Daun Bambu

Perkiraan Berat Isian Mould Standar			1260			
			KADAR SUBSTITUSI ABU DAUN BAMBU			
KOMPOSISI CAMPURAN	KOMPOSISI AGGREGAT		0%	5%	7,5%	10%
KADAR ASPAL OPTIMUM	%		6,9	6,9	6,9	6,9
a	HOT BIN I	57%	636,8	636,8	636,8	636,8
b	HOT BIN II	40%	446,9	446,9	446,9	446,9
c	Filler	3%	33,5	33,5	33,5	33,5
BERAT AGREGAT CAMPURAN (gr)			1117,2	1117,2	1117,2	1117,2
BERAT ASPAL OPTIMUM (gr)			82,8	82,8	82,8	82,8
BERAT FILLER (gr)			33,5	31,8	31,0	30,2
BERAT ABU DAUN BAMBU (gr)			0,00	1,68	2,51	3,35
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (gr)			1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Pembuatan benda uji maka digunakan presentase jumlah masing-masing agregat dari hasil analisa gradasi gabungan pada masing-masing variasi, sebagai berikut :

A. Asal Bahan :

Agregat gabungan dan Aspal sesuai jumlah campuran abu daun bambu

B. Alat yang digunakan :

1. Tiga buah cetakan benda uji diameter 101,6 mm (4 in), tinggi 76,2 mm (3 in) lengkap dengan pelat atas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan:
 - a. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4.536 gram (± 9 gram) dan tinggi jatuh bebas $457,2 \text{ mm} \pm 15,24 \text{ mm}$ (18 inci $\pm 0,6$ in).
 - b. Landasan pemadat terdiri atas balok kayu (jati atau yang sejenis) mempunyai berat isi $0,67 - 0,77 \text{ kg/cm}^3$ (dalam kondisi kering) dengan ukuran $203,2 \times 203,2 \times 457,2 \text{ mm}$ (8 x 8 x 18 in) dilapisidengan pelat baja berukuran $304,8 \times 304,8 \times 25,4 \text{ mm}$ (12 x 12 x 1 in) dan dijangkarkan pada lantai aspal di keempat bagian sudutnya.
 - c. Pemegang cetakan benda uji.
3. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang mampu memanaskan campuran sampai $200 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$,

4. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram,
5. Termometer logam (metal thermometer) berkapasitas 10 °C sampai 204 °C dengan ketelitian 2,8 °C,
6. Alat pengeluar benda uji,
7. Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan, digunakan alat pengeluar benda uji (extruder) dengan diameter 100 mm (3,95 in).
8. Perlengkapan lain:
 - a. Wadah untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran beraspal,
 - b. Sendok pengaduk dan spatula,
 - c. Kompor atau pemanas (hot plate).
 - d. Sarung tangan

Pada akhir pada tahap ini adalah didapatkan benda uji sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan, dan akan dilanjutkan dengan pengujian benda uji dengan alat *Marshall*.

4.11 Uji Marshall HRS -Base Campuran Abu Saun Bambu

Dari pengujian marshall Berdasarkan hasil pengujian Marshall diperoleh dua parameter utama, yaitu stabilitas dan flow. Untuk memperoleh nilai stabilitas yang akurat, pembacaan pada dial Marshall terlebih dahulu dikalibrasi sehingga diperoleh nilai dalam satuan gaya kN, yang selanjutnya dikonversikan ke satuan kilogram (kg). Nilai hasil kalibrasi tersebut kemudian dikalikan dengan faktor koreksi, yang ditentukan berdasarkan tinggi benda uji. Perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai flow menghasilkan parameter Marshall Quotient (MQ), yang menggambarkan tingkat kekakuan campuran. Sementara itu, nilai VMA dan VIM diperoleh melalui perhitungan volumetrik dengan memperhitungkan berat kering, berat benda uji di dalam air, serta berat jenuh kering permukaan (SSD) dari campuran beraspal yang menggunakan abu daun bambu sebagai bahan tambahan.

Tabel 4. 23 Densitiy Perkiraan Gradasi Gabungan Campuran KAO 6,9

VARIASI	KODE BENDA UJI	TINGGI			DIAMETER			RATA-RATA		faktor koreksi stabilitas	BERAT KERING	BERAT DALAM AIR	BERAT SSD	flow	stabilitas
		sisi 1	sisi 2	sisi 3	sisi 1	sisi 2	sisi 3	tinggi	diameter						
0%	i	64,73	63,64	64,06	102,31	102,08	102,55	64,14	102,31	0,99	1188	639	1199	0,99	110
	ii	61,80	61,80	62,68	102,26	102,75	101,50	62,09	102,17	1,03	1192	640	1211	0,99	112
	iii	62,83	62,83	62,91	102,48	102,07	101,49	62,86	102,01	1,02	1184	634	1198	2,70	125
	iv	64,40	65,21	65,14	100,61	101,88	101,64	64,92	101,38	0,97	1198	644	1217	1,52	145
	v	65,47	62,20	63,00	102,06	102,10	102,00	63,56	102,05	1,00	1194	641	1214	0,95	145
5%	i	66,15	66,80	65,94	101,87	102,09	101,77	66,30	101,91	0,94	1195	644	1215	0,45	180
	ii	63,51	63,00	66,43	102,12	101,15	101,13	64,31	101,47	0,98	1189	636	1211	0,87	175
	iii	62,78	65,07	63,90	101,97	101,98	101,67	63,92	101,87	0,99	1199	648	1219	2,2	148
	iv	62,19	62,11	62,28	101,60	102,50	100,76	62,19	101,62	1,03	1189	638	1199	0,85	140
	v	64,22	65,64	65,91	101,63	102,52	102,28	65,26	102,14	0,96	1214	651	1227	0,82	160
7,5%	i	60,34	61,30	61,01	102,06	100,91	102,08	60,88	101,68	1,06	1140	621	1150	0,90	130
	ii	63,09	63,45	63,88	102,23	102,05	102,48	63,47	102,25	1,00	1201	656	1209	2,45	155
	iii	63,73	63,50	64,77	101,94	102,73	102,82	64,00	102,50	0,99	1203	655	1210	0,32	150
	iv	62,89	62,77	63,51	102,35	102,94	102,30	63,06	102,53	1,01	1185	646	1193	1,36	165
	v	64,66	65,20	64,99	102,10	102,32	101,70	64,95	102,04	0,97	1184	649	1191	1,90	147
10%	i	65,93	64,26	63,59	102,08	102,73	101,45	64,59	102,09	0,97	1186	649	1196	2,40	150
	ii	63,37	65,60	66,20	102,20	102,01	102,21	65,06	102,14	0,96	1209	658	1215	2,20	150
	iii	65,12	64,57	62,56	102,52	101,76	102,25	64,08	102,18	0,99	1196	648	1200	1,80	120
	iv	63,80	65,60	64,95	102,24	102,46	102,10	64,78	102,27	0,97	1213	657	1220	2,10	154
	v	65,86	64,29	64,93	101,90	102,17	101,30	65,03	101,79	0,96	1185	656	1199	1,80	170

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 24 Marshall Test HRS- Base Campuran 0%

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA%	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITY
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	$100 - K$	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V,U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
5,9	0,99	1188	639	1199	560	2,12		14,33	83,92	3,55	16,08		77,92		110	1591,31	0,99	1607,4	2,12
	1,03	1192	640	1211	571	2,09		14,10	82,58	5,09	17,42		70,78		112	1698,13	0,99	1715,3	2,09
	1,02	1184	634	1198	564	2,10		14,18	83,04	4,56	16,96		73,12		125	1862,86	2,70	689,9	2,10
	0,97	1198	644	1217	573	2,09		14,12	82,71	4,95	17,29		71,40		145	2056,98	1,52	1353,3	2,09
	1,00	1194	641	1214	573	2,08		14,07	82,43	5,26	17,57		70,05		145	2126,49	0,95	2238,4	2,08
			rata-rata		568,20	2,10	2,20	14,16	82,94	4,68	17,06	6,89	72,65	0,01	127	1867,2	1,43	1520,9	2,10
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)	(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT			
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		Aspal			6,9	%	A :	HOT BIN I	2,27		2,42	57		%	
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,10	gr/cc	B :	HOT BIN II	2,44		2,47	40		%	
BJ. BULK (U)				2,35		RONGGA UDARA			4,68	%	D :	filler	3,15		3,15	3		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2,41		STABILITAS			1867,15	kg									
BJ. SEMU				2,46		KELELEHAN			1,43	mm									

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 25 Marshall Test HRS- Base Campuran 5 %

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA%	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITY	
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN				
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y	
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	100 - K	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)	
6,9	0,94	1195	644	1215	571	2,09		14,14	82,79	4,85	17,21		71,81		180	2473,77	0,45	5497,3	2,09	
	0,98	1189	636	1211	575	2,07		13,97	81,80	5,99	18,20		67,10		175	2516,44	0,87	2892,5	2,07	
	0,99	1199	648	1219	571	2,10		14,18	83,07	4,53	16,93		73,23		148	2147,03	2,20	975,9	2,10	
	1,03	1189	638	1199	561	2,12		14,32	83,84	3,64	16,16		77,46		140	2108,40	0,85	2480,5	2,12	
	0,96	1214	651	1227	576	2,11		14,24	83,37	4,18	16,63		74,87		160	2252,31	0,82	2746,7	2,11	
			rata-rata			570,80	2,10	2,20	14,17	82,97	4,64	17,03	6,89	72,90	0,01	161	2299,6	1,04	2918,6	2,10
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT			
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			5,9	%	A :	HOT BIN I		2,27		2,42	57		%	
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,10	gr/cc	B :	HOT BIN II		2,44		2,47	40		%	
BJ. BULK (U)				2,35		RONGGA UDARA			4,64	%	D :	filler		3,15		3,15	3		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2,41		STABILITAS			2299,59	Kg										
BJ. SEMU				2,46		KELELEHAN			1,04	Mm										

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 26 Marshall Test HRS- Base Campuran 7,5 %

KADAR R ASPAL	TINGG I BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMP URAN	BJ MAKSI MUM CAMP URAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA%	KADAR ASPAL EFF TERHA DAP CAMP URAN	RONG GA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYE RAPAN ASPAL (%BER AT DR JUMLA H CAMP URAN)	STABILITAS (KG)		KELEL EHAN PLASTI S (MM)	HASIL BAGI MARS HAL (KG/M M)	DENSIT Y	
		DI UDARA	DALA M AIR	KERIN G PERM UKAA N				KADAR ASPAL EFEKTI F	AGRE GAT	RONG A UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAI KAN				
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y	
% BERAT TOTAL CAMP URAN					E - D	C/F	$\frac{((100/(A/T)+(100-A)/V))}{100}$	$\frac{N \times G}{T}$	$\frac{(100-A) \times G}{U}$	$\frac{H-G \times 100}{H}$	100 - K	$\frac{A-(100-A \times Q/100)}{100}$	$\frac{((M-L)/M) \times 100}{100}$	$\frac{(V-U/V \cdot U) \times T}{100}$				R/S	C/(E-D)	
6,9	1,06	1140	621	1150	529	2,16		14,56	85,25	2,02	14,75		86,28		130	2012,45	0,90	2236,1	2,16	
	1,00	1201	656	1209	553	2,17		14,67	85,91	1,26	14,09		91,05		155	2277,53	2,45	929,6	2,17	
	0,99	1203	655	1210	555	2,17		14,64	85,75	1,45	14,25		89,81		150	2172,03	0,32	6787,6	2,17	
	1,01	1185	646	1193	547	2,17		14,63	85,70	1,51	14,30		89,46		165	2439,18	1,36	1793,5	2,17	
	0,97	1184	649	1191	542	2,18		14,76	86,42	0,68	13,58		94,97		147	2083,78	1,90	1096,7	2,18	
			rata-rata			545,20	2,17	2,20	14,65	85,80	1,39	14,20	6,89	90,31	0,01	149	2197,0	1,39	2568,7	2,17
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT			
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6,9	%	A :	HOT BIN I	2,27		2,42	57		%		
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,17	gr/cc	B :	HOT BIN II	2,44		2,47	40		%		
BJ. BULK (U)				2,35		RONGGA UDARA			1,39	%	D :	filler	3,15		3,15	3		%		
BJ. EFEKTIF (V)				2,41		STABILITAS			2196,99	Kg										
BJ. SEMU				2,46		KELELEHAN			1,39	Mm										

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 27 Marshall Test HRS- Base Campuran 10 %

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA%	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITY
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	100 - K	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
6,9	0,97	1186	649	1196	547	2,17		14,65	85,77	1,01	14,23		92,91		150	2143,47	2,40	893,1	2,17
	0,96	1209	658	1215	557	2,17		14,66	85,86	0,90	14,14		93,63		150	2121,17	2,20	964,2	2,17
	0,99	1196	648	1200	552	2,17		14,63	85,71	1,08	14,29		92,45		120	1734,42	1,80	963,6	2,17
	0,97	1213	657	1220	563	2,15		14,55	85,23	1,63	14,77		88,95		154	2191,24	2,10	1043,4	2,15
	0,96	1185	656	1199	543	2,18		14,74	86,33	0,36	13,67		97,34		170	2405,63	1,80	1336,5	2,18
			rata-rata		552,40	2,17	2,19	14,65	85,78	1,00	14,22	6,89	93,06	0,01	149	2119,2	2,06	1040,2	2,17
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6,9	%	A :	HOT BIN I	2,30		2,36	39		%	
BJ. ASPAL (T)				1,02		BULK CAMPURAN			2,17	gr/cc	B :	HOT BIN II	2,72		2,77	57		%	
BJ. BULK (U)				2,34		RONGGA UDARA			1,00	%	D :	filler	2,59		2,59	4		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2,39		STABILITAS			2119,18	kg									
BJ. SEMU				2,45		KELELEHAN			2,06	mm									

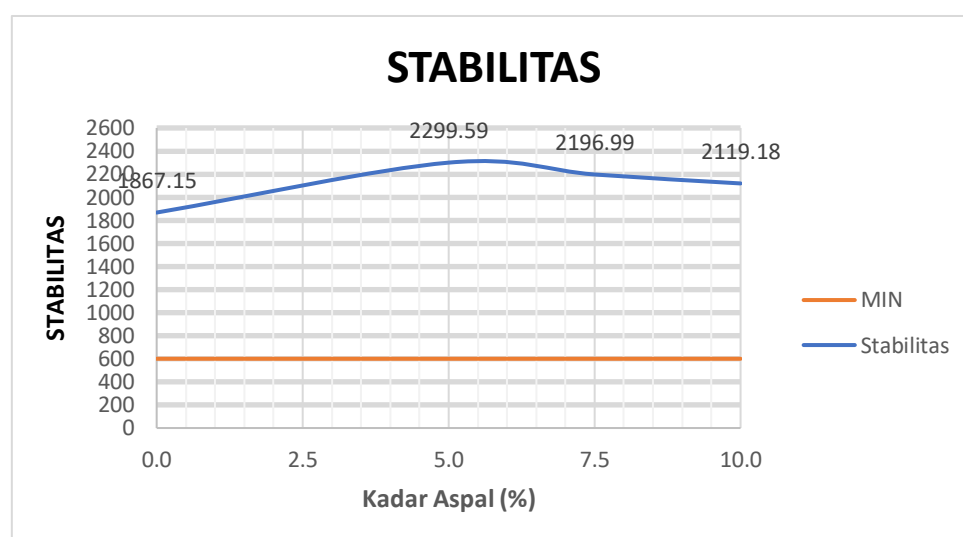
Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

4.11.1 Analisis Terhadap Nilai Stabilitas

Tabel 4. 28 Analisis Terhadap Nilai Stabilitas

Variasi Camuran (%)	Stabilitas (%)	Spesifikasi (Kg)	Keterangan
0	1867,15	(Min. 600) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
5.	2299,59		Memenuhi
7,5	2196,99		Memenuhi
10	2119,18		Memenuhi

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.



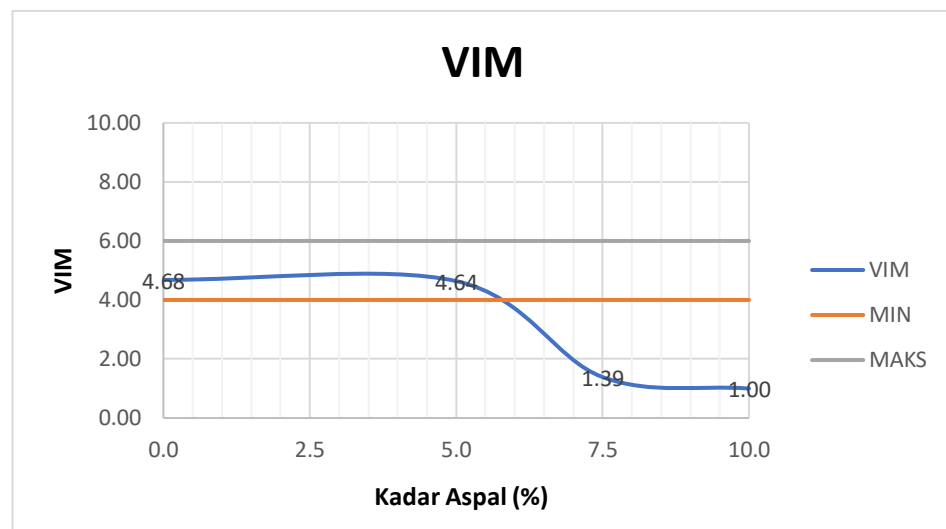
Gambar 4. 5 Grafik Analisis Terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik stabilitas, nilai stabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar variasi abu daun bambu hingga mencapai nilai maksimum pada kadar 5% sebesar 2299,59 kg. Setelah melewati kadar tersebut, nilai stabilitas mengalami penurunan pada variasi 7,5% dan 10%, namun masih berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan. Penurunan stabilitas pada kadar variasi abu daun bambu yang lebih tinggi disebabkan oleh kelebihan bahan halus yang dapat mengurangi ikatan dan interlocking antar agregat serta aspal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kadar variasi abu daun bambu optimum berada pada 5%, karena menghasilkan nilai stabilitas tertinggi dan memenuhi persyaratan spesifikasi. Analisis Terhadap Nilai VIM

Tabel 4. 29 Analisis Terhadap Nilai VIM

Variasi Camuran (%)	VIM (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
0	4,68	(Min. 4)	<i>Memenuhi</i>
5	4,64	(Max. 6)	<i>Memenuhi</i>
10	1,39	Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	<i>Tidak</i>
15	1,00		<i>Tidak</i>

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 6 Grafik Analisis Terhadap Nilai VIM

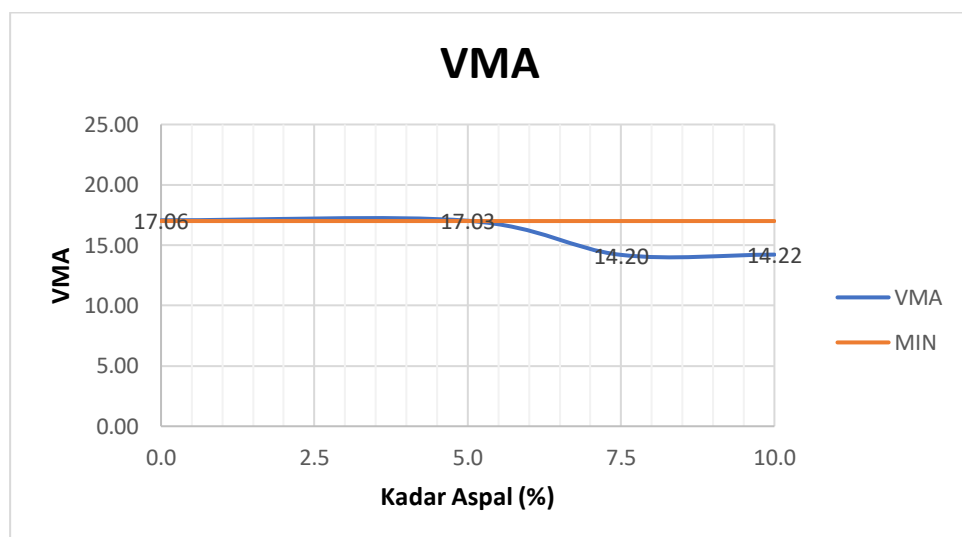
Berdasarkan grafik VIM campuran HRS-Base, nilai VIM menurun seiring peningkatan kadar variasi abu daun bambu. Pada variasi hingga 5%, nilai VIM masih berada dalam rentang spesifikasi 4–6%. Namun, pada variasi di atas 5%, nilai VIM turun di bawah batas minimum, sehingga tidak memenuhi spesifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu daun bambu yang berlebihan dapat mengurangi rongga udara dalam campuran. Oleh karena itu, kadar variasi abu daun bambu yang memenuhi persyaratan VIM HRS-Base berada hingga sekitar 5%.

4.11.2 Analisis Terhadap Nilai VMA

Tabel 4. 30 Analisis Terhadap Nilai VMA

Variasi Camuran (%)	VMA (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
0	17,06	(17) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
5	17,03		Memenuhi
7,5	14,20		Tidak
10	14,22		Tidak

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 7 Grafik Analisis Terhadap Nilai VMA

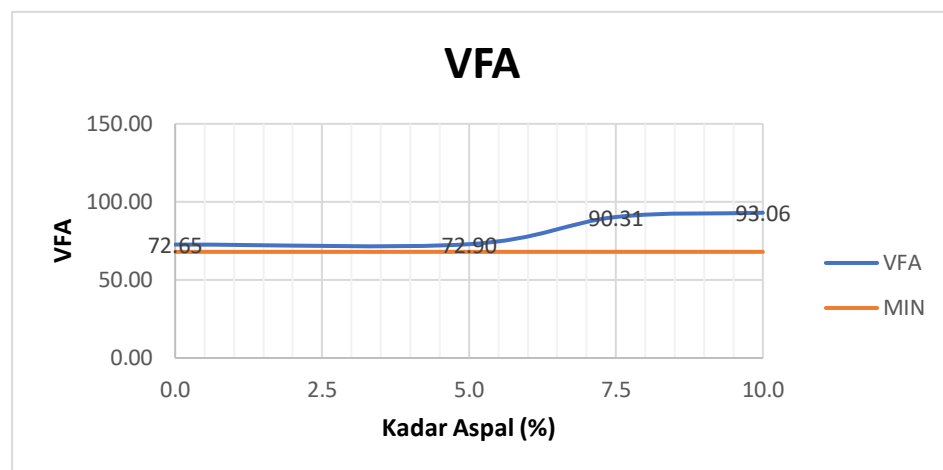
VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) merupakan volume pori udara di antara butiran agregat sebelum dicampur dengan aspal. Berdasarkan grafik VMA campuran HRS-Base, nilai VMA relatif stabil pada kadar 0–5% dengan nilai sekitar 17% dan masih memenuhi batas minimum spesifikasi. Namun, pada kadar di atas 5%, nilai VMA menurun hingga sekitar 14,20–14,22%, sehingga berada di bawah batas minimum. Hal ini menunjukkan bahwa kadar aspal yang memenuhi persyaratan VMA untuk campuran HRS-Base berada hingga sekitar 5%.

4.11.3 Analisis Terhadap Nilai VFA

Tabel 4. 31 Analisis Terhadap Nilai VFA

Variasi Campuran (%)	VFA (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
0%	72,65	(17) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
5%	72,90		Memenuhi
10%	90,31		Memenuhi
15%	93,06		Memenuhi

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 8 Grafik Analisis Terhadap Nilai VFA

Pengujian VFA pada campuran HRS-Base dilakukan pada kadar aspal optimum (KAO) 6,9% dengan variasi abu daun bambu 0%, 5%, 7,5%, dan 10%. Hasil pengujian menunjukkan nilai VFA berturut-turut sebesar 72,65%, 72,90%, 90,31%, dan 93,06%. Seluruh nilai VFA telah memenuhi persyaratan spesifikasi, dengan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kadar abu daun bambu. Hal ini menunjukkan bahwa rongga dalam campuran semakin terisi aspal secara optimal. Dengan terpenuhinya kriteria VFA, campuran HRS-Base diharapkan memiliki ketahanan yang baik terhadap deformasi permanen (rutting) akibat beban lalu lintas berat.

4.11.4 Analisis Terhadap Nilai MQ

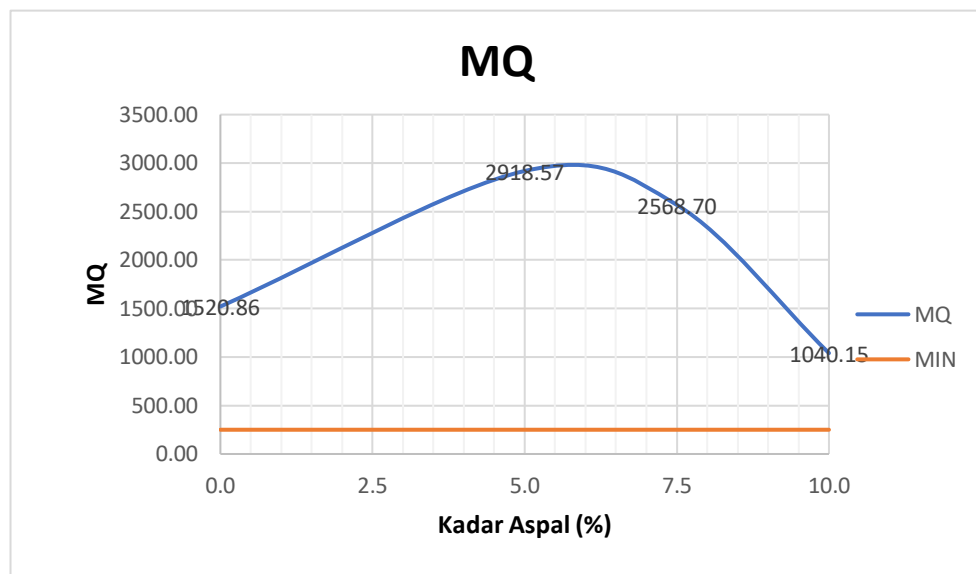
Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara stabilitas Marshall dan flow yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kekakuan campuran aspal. Nilai MQ menunjukkan keseimbangan antara kemampuan campuran dalam menahan beban dan

deformasi yang terjadi. MQ yang memenuhi ketentuan spesifikasi menandakan bahwa campuran aspal HRS-Base memiliki karakteristik kekuatan dan kelenturan yang memadai, sehingga mampu menahan beban lalu lintas serta meminimalkan terjadinya deformasi permanen (rutting).

Tabel 4. 32 Analisis Terhadap Nilai MQ

Sumber: Pengujian peneliti di Lab.Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro

Variasi Campuran (%)	MQ (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
0%	1520,86	(17) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
5%	2918,57		Memenuhi
10%	2568,70		Memenuhi
15%	1040,15		Memenuhi

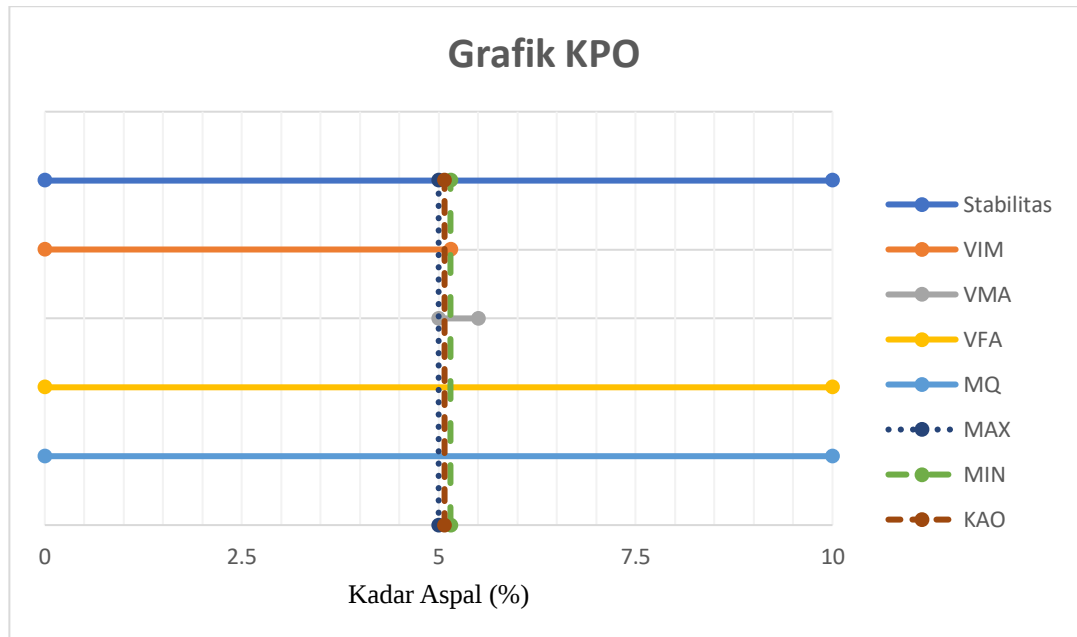


Gambar 4. 9 Grafik Analisis Terhadap Nilai MQ

Nilai Marshall Quotient (MQ) pada campuran HRS-Base meningkat hingga maksimum pada kadar 5%, menunjukkan kekakuan dan ketahanan rutting yang optimal. Setelah itu, nilai MQ menurun pada kadar 7,5% dan 10%, menandakan kelebihan aspal yang meningkatkan flow dan menurunkan kekakuan campuran. Meskipun masih memenuhi spesifikasi, penurunan MQ pada kadar aspal tinggi berpotensi mengurangi kinerja campuran terhadap beban lalu lintas berat.

4.12 Menentukan Kadar Penambahan Optimum (KPO)

Penentuan campuran Abu Daun Bambu optimum (KPO) ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian Job Mix Formula (JMF) aspal HRS-Base dengan standar yang disyaratkan dengan nilai stabilitas yang tertinggi, seperti pada Gambar 4.10 dibawah ini :



Gambar 4. 10 Grafik Kadar Penambahan Optimum

Berdasarkan grafik Kadar Pencampuran Optimum (KPO), hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall menunjukkan bahwa seluruh parameter utama, yaitu stabilitas, VIM, VMA, VFA, serta Marshall Quotient (MQ), telah memenuhi persyaratan spesifikasi pada kadar sekitar 5,0%. Pada kadar aspal tersebut, nilai stabilitas berada dalam batas yang diizinkan, yang menunjukkan bahwa campuran memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban lalu lintas. Nilai VIM dan VMA juga memenuhi spesifikasi, menandakan bahwa rongga udara serta rongga antar agregat berada dalam kondisi yang ideal untuk menjamin durabilitas campuran. Selanjutnya, nilai VFA yang memenuhi persyaratan menunjukkan bahwa rongga agregat telah terisi aspal secara optimal, sementara nilai MQ berada dalam batas yang disyaratkan, mencerminkan keseimbangan yang baik antara kekuatan dan kelenturan campuran. Dengan demikian, kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran HRS-Base ditetapkan sebesar $\pm 5,0\%$, karena pada kadar aspal tersebut seluruh parameter Marshall memenuhi spesifikasi secara bersamaan.