

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Penyajian Data Penelitian dan Pembahasan

##### 1. Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal yang meliputi pengujian penetrasi dengan acuan SNI 06-2456-1991, pengujian titik lembek dengan acuan SNI 06-2434-1991, serta pengujian titik nyala dan bakar dengan acuan SNI 06-2433-1991. Setelah dilakukan pengujian karakteristik aspal didapat hasil yang dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 10. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No	Pengujian	Syarat		Hasil Pengujian			Rerata	Satuan
		Min	Mak	1	2	3		
1	Penetrasi	60	70	62	65	65,6	64,2	mm <sup>-10</sup>
2	Titik Lembek	53	-	57	57,7	-	57,37	°C
3	Titik Nyala	235	-	230	-	-	230	°C
4	Titik Bakar	235	-	320	-	-	320	°C

Dari Tabel 9 diketahui dari tiga kali pengujian penetrasi didapat nilai rerata sebesar 64,2 mm<sup>-10</sup> sehingga dari hasil tersebut dapat dipastikan bahwa aspal yang dipakai merupakan aspal penetrasi 60/70 dan memenuhi syarat yang berlaku.

Pada pengujian titik lembek didapatkan nilai rerata sebesar 57,37 °C dari dua kali pengujian. Dari nilai titik lembek dapat diperkirakan suhu pada saat pengeluaran benda uji dari *mould* harus kurang dari 57,37 °C agar dapat dipastikan suhu aspal sudah rendah dan tidak dalam kondisi lembek atau leleh sehingga campuran tetap utuh dan tidak pecah.

Untuk pengujian titik nyala didapatkan nilai titik nyala berada pada suhu 235 °C sedangkan untuk nilai titik bakar berada pada suhu 320 °C. Hal ini menunjukkan aspal akan menyala apabila tersulut api pada suhu titik nyala dan akan terbakar pada suhu titik bakar apabila tersulut api, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemanasan aspal tidak boleh melebihi dari suhu 320 °C untuk menghindari risiko terbakarnya aspal.

## 2. Pengujian Karakteristik Agregat

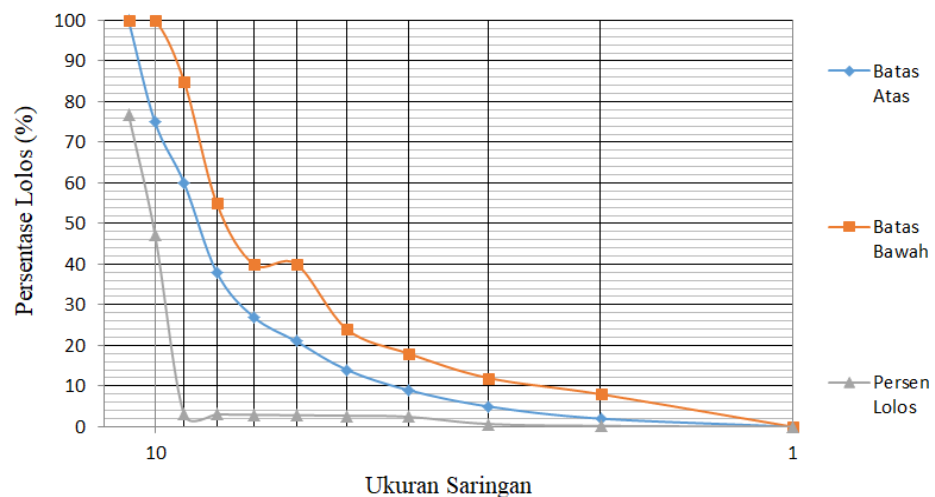
Pengujian karakteristik agregat merupakan serangkaian pengujian terhadap agregat untuk mengetahui nilai mengenai sifat agregat tersebut dengan pengujian meliputi :

### a. Pengujian Gradasi Agregat

Dengan acuan SNI 03-1968-1990 pengujian dilakukan dengan tujuan mengetahui gradasi campuran sehingga dapat digunakan sebagai perencanaan campuran. Adapun hasil pengujian gradasi agregat kasar dan agregat Halus disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 11. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Nomer Saringan	Ukuran Saringan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Berat Lolos (gram)	% Lolos
¾"	19	1,155	23,1	3,845	76,9
½"	12,5	1,478	29,56	2,367	47,34
3/8"	9,5	1,935	38,7	432	8,64
#4	4,75	280	5,6	152	3,04
#8	2,36	5,5	0,11	146,5	2,93
#16	1,18	4,7	0,094	141,8	2,836
#30	0,6	6	0,12	135,8	2,71
#50	0,3	13,6	0,272	122,2	2,444
#100	0,15	88,3	1,766	33,9	0,678
#200	0,075	23,2	0,464	10,7	0,214
PAN	0	10,7	0,214	$2,1 \times 10^{-14}$	$4,3 \times 10^{-16}$



Gambar 36. Gradasi Agregat Kasar

Dari Tabel 10. diketahui fraksi agregat dengan persentase dan berat tertahan terbanyak berada pada saringan  $\frac{1}{2}$ " dengan bukaan 12,5 mm persentase tertahan 38,7% dengan berat 1.935 gram sedangkan untuk fraksi dengan persentase dan berat tertahan terbanyak berada pada saringan #16 dengan bukaan 1,18 mm persentase tertahan 0,094% dengan berat 4,7 gram. Dilihat dari Gambar 51. dapat dilihat nilai yang terbentuk hanya tinggi pada beberapa fraksi saja dan jauh dari gradasi ideal.

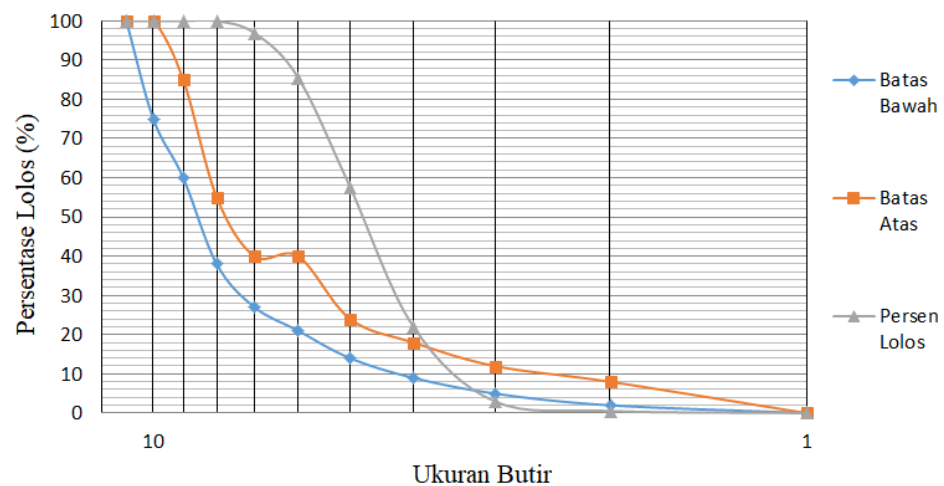
Dari pengujian gradasi agregat halus didapat data berat masing-masing fraksi sebagai berikut :

Tabel 12. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

Nomer Saringan	Ukuran Saringan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Berat Lolos (gram)	% Lolos
$\frac{3}{4}$ "	19	0	0	500	100
$\frac{1}{2}$ "	12,5	0	0	500	100
$\frac{3}{8}$ "	9,5	0	0	500	100
#4	4,75	0,2	0,04	499,8	99,96
#8	2,36	15,2	3,04	484,6	96,92
#16	1,18	57,2	11,44	427.4	85.48

Tabel 12. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus (Lanjutan)

Nomer Saringan	Ukuran Saringan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Berat Lolos (gram)	% Lolos
#30	0,6	139,2	27,84	288,2	57,64
#50	0,3	178	35,6	110,2	22,04
#100	0,15	95,2	19,04	15	3
#200	0,075	12,3	2,46	2,7	0,54
PAN	0	2,7	0,54	$4,2 \times 10^{-14}$	$83 \times 10^{-15}$



Gambar 37. Gradasi Agregat Halus

Dari Tabel 10 dan Gambar 52 dapat diketahui fraksi agregat dengan persentase dan berat tertahan terbanyak berada pada saringan #50 dengan bukaan 0,6 mm persentase tertahan 35,6% dengan berat 178 gram sedangkan untuk fraksi dengan persentase dan berat tertahan terbanyak berada pada saringan #200 dengan bukaan 0,075 mm persentase tertahan 2,46% dengan berat 12,3 gram. Dilihat dari Gambar 52 nilai persebaran tiap fraksi merata sehingga terbentuk garis grafik yang mendekati gradasi ideal.

#### b. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Agregat kasar yang berasal dari Gunung Merapi dilakukan pengujian keausan menggunakan *Los Angles Machine* dengan acuan

SNI 2417-2008 dan bertujuan untuk mengetahui nilai keausan agregat yang digunakan sebagai persyaratan pembuatan campuran. Perhitungan serta hasil pengujian keausan disajikan sebagai berikut :

$$Keausan = \frac{\text{Berat Benda Uji} - \text{Berat Tertahan Saringan No 4}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100\%$$

$$Keausan = \frac{5.000 - 2.663}{5.000} \times 100\%$$

$$Keausan = 46,74\%$$

Tabel 13. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

<b>Berat Benda Uji (gram)</b>	<b>Berat Benda Uji Lolos Saringan No.4 (gram)</b>	<b>Berat Benda Uji Tertahan Saringan No.4 (gram)</b>	<b>Nilai Keausan (%)</b>
5.000	2.173	2.663	46,74

Dari perhitungan keausan agregat didapatkan nilai keausan agregat kasar sebesar 46,76% dimana hal ini menandakan bahwa agregat yang dipakai telah memenuhi standar dengan memiliki nilai keausan tidak lebih dari 50%. Dengan demikian nilai keausan agregat yang digunakan memiliki kekerasan yang tergolong lemah, dimana dengan kekerasan agregat yang rendah maka akan berpengaruh pada kualitas campuran sehingga kekuatan campuran aspal *porus* dapat menurun.

### 3. Pengujian Berat Jenis Material

Pengujian berat jenis material yang dilaksanakan berupa pengujian berat jenis agregat kasar, agregat halus, dan aspal. Selain berat jenis dari pengujian ini juga dapat diketahui nilai penyerapan

agregat Adapun data yang diambil dari seluruh pengujian berat jenis dapat dijabarkan sebagai berikut :

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Agregat kasar yang berasal dari Gunung Merapi dilakukan pengujian berat jenis dengan acuan SNI 03-1969-1990, adapun data hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar adalah sebagai berikut :

Tabel 14. Berat Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Pengujian 1	Pengujian 2
1	Berat Material SSD	1.500	1.500
2	Berat Material Kering Oven	1.456	1.462
3	Berat Material Dalam Air	922	903

Adapun hasil perhitungan berat jenis agregat kasar dapat disajikan dalam sebagai berikut:

Tabel 15. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian		Syarat		Hasil	Rerata
		Min	Maks		
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	1	2,5 gr/cc	-	2,519	2,483
	2	2,5 gr/cc	-	2,448	
Berat Jenuh Curah Jenuh (Ss)	1	2,5 gr/cc	-	2,595	2,553
	2	2,5 gr/cc	-	2,512	
Berat Jenis Semu (Sa)	1	2,5 gr/cc	-	2,726	2,662
	2	2,5 gr/cc	-	2,599	

Perhitungan penyerapan agregat kasar dan hasil disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 16. Hasil Pengujian Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian		Syarat		Hasil	Rerata
		Min	Maks		
Penyerapan (Sw)	1	-	3%	3,021	2,810
	2	-	3%	2,599	

Dari Tabel 15 hasil perhitungan berat jenis agregat dapat diketahui semua nilai berat jenis agregat kasar berada diatas batas

minimal. Untuk nilai penyerapan agregat, nilai dari perhitungan didapatkan rerata sebesar 2,810% dimana nilai tersebut memenuhi syarat dengan maksimal nilai penyerapan sebesar 3%, sehingga agregat kasar dapat digunakan karena telah memenuhi syarat penyerapan.

b. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Agregat halus yang berasal dari Sungai Progo dilakukan pengujian berat jenis agregat halus dengan mengacu pada SNI 03-1970-1990, hasil data dari pengujian dapat dirangkum dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 17. Data Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Pengujian 1	Pengujian 2
1	Berat Material SSD	200	200
2	Berat Material Kering Oven	196	195
3	Berat Picnometer Kosong + Air	666	664
4	Berat Picnometer Kosong + Air Hingga batas pembacaan + material	790	789

Tabel 18. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian		Persyaratan		Hasil	Rerata
		Min	Maks		
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	1	2,5 gr/cc	-	2,631	2,649
	2	2,5 gr/cc	-	2,666	
Berat Jenuh Curah Jenuh (Ss)	1	2,5 gr/cc	-	2,615	2,649
	2	2,5 gr/cc	-	2,666	
Berat Jenis Semu (Sa)	1	2,5 gr/cc	-	2,722	2,753
	2	2,5 gr/cc	-	2,564	

Tabel 19. Hasil Pengujian Penyerapan Agregat Halus

Pengujian		Syarat		Hasil	Rerata
		Min	Maks		
Penyerapan (Sw)	1	-	3	2,040	2,302
	2	-	3	2,564	

Dari Tabel 18 hasil perhitungan berat jenis agregat dapat diketahui semua nilai berat jenis agregat halus berada di atas batas minimal. Untuk nilai penyerapan agregat halus, nilai dari perhitungan didapatkan rerata sebesar 2,302% dimana nilai tersebut memenuhi syarat dengan maksimal nilai penyerapan sebesar 3% sehingga agregat halus dapat digunakan karena telah memenuhi syarat penyerapan.

c. Pengujian Berat Jenis Aspal

Aspal penetrasi 60/70 yang diproduksi oleh Pertamina dilakukan pengujian dengan mengacu pada SNI 2441:2011 data yang didapat dari pengujian ini dirangkum sebagai berikut :

Tabel 20. Data Pengujian Berat Jenis Aspal

No	Jenis Pengujian	Pengujian 1	Pengujian 2
1	Berat Picnometer Kosong	40	32,8
2	Berat Picnometer Kosong + Air	104	125,5
3	Berat Picnometer Kosong + Material	53	42,2
4	Berat Picnometer Kosong + Air Hingga batas pembacaan + material	106	125,8

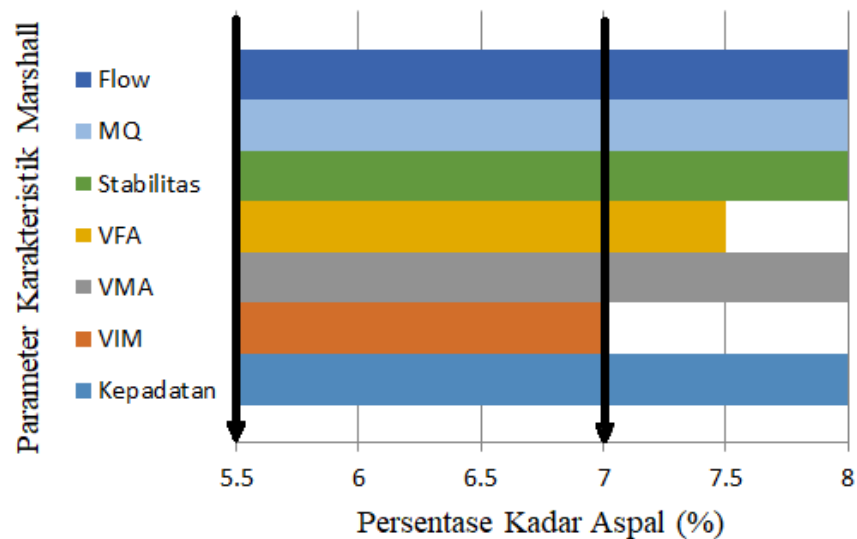
Tabel 21. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian		Persyaratan		Hasil	Rerata
		Min	Maks		
Berat Jenis	1	1	-	1,181	1,107
	2	1	-	1,032	

Dari Tabel 20 pengujian berat jenis aspal yang dilakukan sebanyak dua kali didapatkan nilai rerata berat jenis sebesar 1,107 gr/cc yang berarti nilai berat jenis aspal yang dipakai memenuhi persyaratan dimana nilai minimum sebesar 1 gr/cc.

#### 4. Pengujian KAO Campuran Aspal *Porus*

Dari data hasil pengujian karakteristik *marshall* untuk benda uji KAO didapatkan hasil sekaligus sebagai acuan dalam penentuan titik kadar aspal optimum untuk campuran aspal *porus* yang disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Gambar 38. Grafik KAO

Dari Gambar 38 dapat diketahui hasil perhitungan mengenai karakteristik *marshall* flow, MQ, stabilitas, VMA, dan kepadatan dari semua benda uji telah memenuhi persyaratan. Sedangkan untuk nilai VFA benda uji KAO.7 dengan persentase aspal 8% tidak memenuhi persyaratan. Kemudian nilai VIM untuk benda uji KAO.6 dan KAO.7 tidak memenuhi persyaratan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai KAO campuran aspal *porus* tetapkan berada pada benda uji KAO.5 dengan persentase kadar aspal 7%. Persentase pada benda uji KAO.5 inilah yang kemudian untuk selanjutnya akan digunakan sebagai

persentase aspal dalam pembuatan benda uji campuran aspal *porus* dengan penambahan *styrofoam*.

##### 5. Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran Aspal *Porus Styrofoam*

Campuran aspal *porus* dengan penambahan *styrofoam*

Pengujian karakteristik *marshall* digunakan sebagai perbandingan pengaruh pencampuran *styrofoam*. Pengujian karakteristik *marshall* mengacu pada SNI 06-2489-1991, data hasil pengujian yang dilakukan dapat dijabarkan sebagai berikut :

###### a. Berat Jenis Masing-Masing Material

Berat jenis yang dihitung meliputi berat jenis bulk total agregat ( $G_{sb}$ ) berat jenis semu total agregat ( $G_{sa}$ ), berat jenis efektif agregat ( $G_{mm}$ ), berat jenis campuran setelah dipadatkan ( $G_{mb}$ ). Adapun perhitungan nilai  $G_{sa}$ ,  $G_{sb}$ ,  $G_{mm}$  beserta hasil adalah sebagai berikut :

$$G_{sb} = \frac{P1 + P2}{\frac{P1}{G_{sb1}} + \frac{P2}{G_{sb2}}} \dots \dots \dots (1)$$

$$G_{sb} = \frac{85 + 15}{\frac{85}{2,483} + \frac{15}{2,606}}$$

$$G_{sb} = 2,501 \text{ gr/cc}$$

$$G_{sa} = \frac{P1 + P2}{\frac{P1}{G_{sa1}} + \frac{P2}{G_{sa2}}} \dots \dots \dots (2)$$

$$G_{sa} = \frac{85 + 15}{\frac{85}{2,662} + \frac{15}{2,773}}$$

$$G_{sa} = 2,678 \text{ gr/cc}$$

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (3)$$

$$G_{se} = \frac{2,501 + 2,678}{2}$$

$$G_{se} = 2,590 \text{ gr/cc}$$

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (4)$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{93}{2,590} + \frac{7}{1,107}}$$

$$G_{mm} = 2,368 \text{ gr/cc}$$

Tabel 22. Hasil Perhitungan Gsa, Gsb, Gmm, Gmb

Berat Jenis	Hasil	Satuan
Gsb	2,501	gr/cc
Gsa	2,678	gr/cc
Gse	2,590	gr/cc
Gmm	2,368	gr/cc

Dari Tabel 21 diketahui setelah dilakukan perhitungan mengenai semua nilai dari berat jenis total agregat, didapatkan nilai yang memenuhi standar dalam SNI 03-1969-1990.

Sedangkan untuk berat jenis campuran setelah dipadatkan (Gmb) dilakukan perhitungan dengan cara membandingkan antara volume bulk campuran dengan berat kering campuran. Contoh perhitungan Gmb untuk benda uji ASP 1.A adalah sebagai berikut :

$$G_{mb \text{ ASP 1.A}} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots \dots \dots (5)$$

$$G_{mb \text{ ASP 1.A}} = \frac{1150}{615,73}$$

$$G_{mb \text{ ASP 1.A}} = 1,867 \text{ gr/cc}$$

Hasil perhitungan Gmb untuk semua benda uji disajikan dalam Tabel 23 sebagai berikut:

Tabel 23. Hasil Perhitungan Gmb

Benda Uji		V Bulk (cm <sup>3</sup> )	Wa (gram)	Gmb (gr/cc)
APS 0	A	620,88	1.219	1,919
	B	639,96	1.221	1,871
APS 1	A	615,73	1.150	1,867
	B	610,94	1.180	1,931
APS 2	A	619,71	1.187	1,915
	B	636,60	1.217	1,911
APS 3	A	642,58	1.255	1,953
	B	637,89	1.230	1,928
APS 4	A	624,32	1.267	2,029
	B	618,81	1.287	2,079

Dari Tabel 22. dapat diketahui bahwa nilai Gmm terbesar berada pada benda uji APS 4 dengan nilai sebesar 2,029 gr/cc dan 2,079 gr/cc, sedangkan nilai terendah berada pada benda uji APS 1 dengan nilai sebesar 1,842 gr/cc dan 1,931 gr/cc. Sehingga dari perbedaan tersebut dapat disimpulkan persentase penambahan *styrofoam* berpengaruh terhadap berat jenis campuran setelah dipadatkan.

Hal ini disebabkan karena penambahan *styrofoam* yang dilakukan tidak *mensubstitusi* material apapun. Sehingga semakin banyak persentase *styrofoam* yang ditambahkan maka akan semakin mempertinggi nilai berat jenis campuran yang dipadatkan.

#### b. Kepadatan

Perhitungan kepadatan dilakukan dengan membandingkan berat benda uji dalam udara ( $W_m$ ), berat benda uji kondisi jenuh ( $W_{mssd}$ ), dan berat benda uji dalam air ( $W_{mpv}$ ). Adapun contoh

perhitungan serta nilai kepadatan benda uji APS 1.A dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan APS 1.A} = \frac{W_m}{W_{mssd} - W_{mpv}} \dots \dots \dots (6)$$

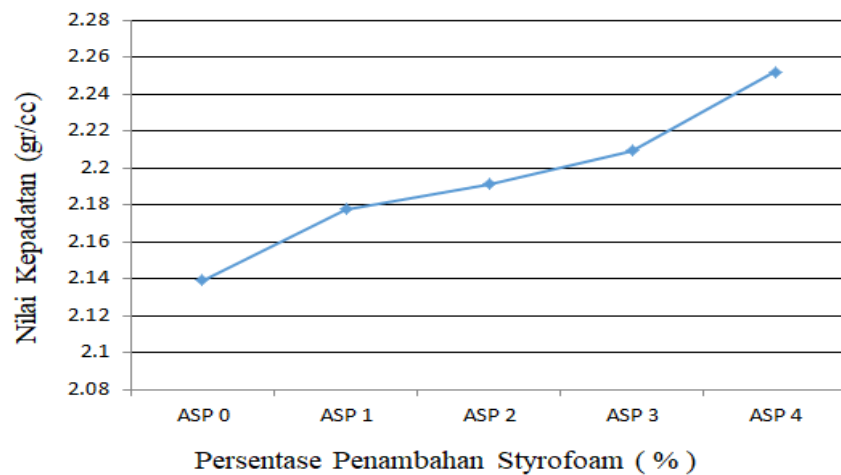
$$\text{Kepadatan APS 1.A} = \frac{1,150}{1,179 - 649}$$

$$\text{Kepadatan APS 1.A} = 2,169 \text{ gr/cc}$$

Tabel.24 Hasil Perhitungan Kepadatan

Benda Uji		W <sub>m</sub> (gram)	W <sub>mssd</sub> (gram)	W <sub>mpv</sub> (gram)	Kepadatan (gr/cc)	Rerata Kepadatan (gr/cc)
APS 0	A	1.199	1.241	681	2,141	2,139
	B	1.201	1.243	681	2.137	
APS 1	A	1.150	1.179	649	2.169	2,177
	B	1.180	1.203	663	2,185	
APS 2	A	1.187	1.203	661	2,181	2,191
	B	1.217	1.233	678	2,177	
APS 3	A	1.255	1.289	715	2,186	2,209
	B	1230	1.263	712	2,232	
APS 4	A	1.267	1.289	726	2,250	2,252
	B	1.287	1.302	731	2,253	

Dari Tabel 23 diketahui nilai kepadatan tertinggi berada pada benda uji APS 2.B dengan nilai 2,243 gr/cc sedangkan untuk nilai kepadatan terendah berada pada benda uji ASP 0.B dengan nilai 2,137 gr/cc. Untuk nilai rerata kepadatan tertinggi terdapat pada benda uji APS 4 dengan nilai 2,252 gr/cc, dan nilai rerata terendah berada pada benda uji APS 0 dengan nilai 2,174 gr/cc. Dari semua hasil perhitungan nilai kepadatan, nilai kepadatan dari benda uji ASP0 hingga ASP4 menunjukkan hasil dengan selisih yang begitu tipis.



Gambar 39. Grafik Kepadatan

Dari Gambar 53 diketahui terdapat tren kenaikan nilai kepadatan seiring bertambahnya persentase penambahan *styrofoam*. Dari benda uji APS 0 dengan nilai 2.174 gr/cc, nilai kepadatan naik pada setiap benda uji hingga puncaknya pada benda uji APS 4. Disimpulkan penambahan *styrofoam* berpengaruh terhadap kepadatan campuran aspal *porus*, semakin tinggi persentase penambahan *styrofoam* maka semakin tinggi nilai kepadatan campuran aspal *porus*. Hal ini terjadi karena *styrofoam* sebagai bahan tambah yang dicampurkan ke dalam aspal akan membuat volume aspal menjadi lebih besar, sehingga aspal akan lebih mengisi rongga udara yang sedianya hampa.

#### c. VIM, VMA, VFA

Perhitungan VIM, VMA, VFA dilakukan dengan perbandingan beberapa berat jenis campuran beserta persentase material, adapun contoh perhitungan benda uji APS 0.A disajikan sebagai berikut :

$$VIM APS 1.A = \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

$$VIM APS 1.A = \frac{2,368 - 1,867}{2,368} \times 100\%$$

$$VIM APS 1.A = 21,13\%$$

$$VMA APS 1.A = \frac{100 \times (Gsb - Gmb) + Gmb \times Pb}{Gsb} \dots \dots \dots (8)$$

$$VMA APS 1.A = \frac{100 \times (2.501 - 1.867) + 1.867 \times 7}{2.501}$$

$$VMA APS 1.A = 30,56\%$$

$$VFA APS 1.A = \frac{VMA - VIM}{VMA} \times 100\% \dots \dots \dots (9)$$

$$VFA APS 1.A = \frac{30,56 - 21,13}{30,56} \times 100\%$$

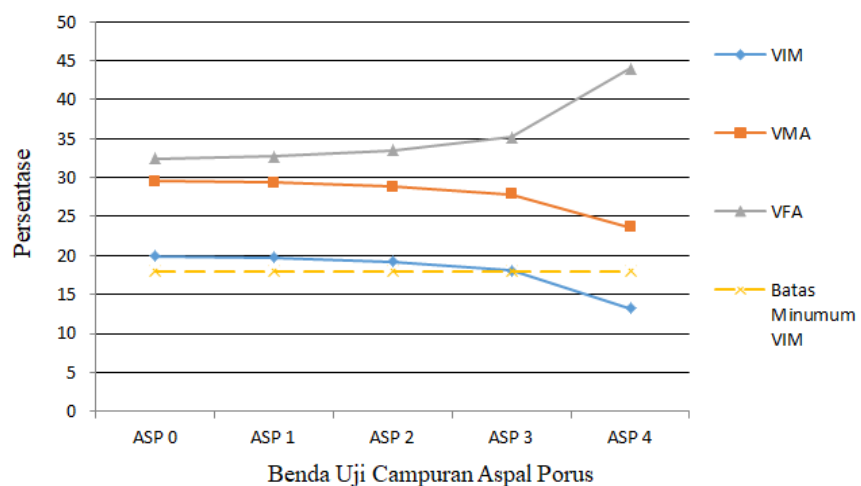
$$VFA APS 1.A = 30,85\%$$

Tabel 25. Hasil Perhitungan VIM, VMA, VFA

Benda Uji		VIM (%)	Rerata VIM (%)	VMA (%)	Rerata VMA (%)	VFA (%)	Rerata VFA (%)
APS 0	A	18,93	19,94	28,62	29,51	33,86	32,47
	B	20,95		30,40		31,08	
APS 1	A	21,13	19,78	30,56	29,38	30,85	32,72
	B	18,44		28,19		34,58	
APS 2	A	19,12	19,19	28,79	28,86	33,59	33,47
	B	19,27		28,92		33,36	
APS 3	A	17,52	18,05	27,39	27,85	36,00	35,19
	B	18,57		28,31		34,38	
APS 4	A	14,30	13,24	24,55	23,61	41,73	44,01
	B	12,17		22,68		46,30	

Dari Tabel 24 diketahui nilai VIM tertinggi berada pada benda uji APS1 dengan nilai rerata sebesar 20,31% sekaligus juga memiliki nilai VMA tertinggi dengan nilai rerata sebesar 29,84%.

Sedangkan untuk nilai VIM terendah berada pada benda uji APS 5 dengan nilai rerata sebesar 13,24% sekaligus sebagai benda uji dengan nilai VMA terendah dengan nilai rerata sebesar 23,61%. Nilai VFA terendah berada pada benda uji dengan nilai VIM tertinggi yaitu APS 1 dengan nilai rerata sebesar 32,07%, dan nilai VFA tertinggi berada pada benda uji APS 5 dengan nilai sebesar 44,01% yang pada nilai VIM memiliki nilai rerata terendah.



Gambar 40. Grafik VIM, VMA, VFA

Benda uji APS 4 memiliki nilai VIM yang berada tepat pada batas minimum sebesar 18,02%. Sedangkan benda uji APS 5 berada di bawah nilai VIM minimal campuran aspal *porus* yaitu 18%. Secara visual, benda uji APS 4 terlihat halus kesat dan hanya sedikit rongga udara yang tampak pada permukaan sehingga disimpulkan penambahan *styrofoam* dengan persentase 8% atau lebih tidak disarankan karena dapat menurunkan nilai VIM hingga dibawah standar minimal.

Dari Gambar 54 nilai VIM campuran aspal *porus* dengan penambahan *styrofoam* diketahui memiliki tren penurunan nilai VIM seiring dengan bertambahnya persentase *styrofoam* yang diberikan. Puncaknya terjadi pada benda uji APS 5 dengan nilai VIM yang sangat rendah dan berada dibawah standar minimum VIM untuk campuran aspal *porus*.

Sedangkan nilai VMA dari Gambar 54 dapat diketahui terjadi tren penurunan nilai VMA seiring dengan bertambahnya persentase *styrofoam*, dimana semakin tinggi persentase *styrofoam* maka akan semakin rendah nilai VMA. Tren yang terjadi pada nilai VMA memiliki kesamaan atau sebanding dengan nilai VIM, sehingga disimpulkan nilai dan karakteristik VIM berbanding lurus dengan nilai VMA.

Nilai VFA dari Gambar 54 diketahui terdapat tren kenaikan dari nilai terendah pada benda uji APS 1 hingga pada puncaknya pada benda uji APS 5. Dari tren persebaran data disimpulkan bahwa nilai VFA terpengaruh oleh banyaknya persentase penambahan *styrofoam*. Semakin tinggi persentase penambahan *styrofoam* maka akan semakin tinggi pula nilai VFA. Tren pada nilai VFA berbanding terbalik dengan nilai VIM dan VFA, dimana semakin rendah nilai VIM maka nilai VFA campuran akan tinggi.

Dari tiga tren pergerakan data dari Gambar 54 dapat diketahui hubungan antara VMA, VFA, dan VIM, dimana nilai VIM yang merupakan nilai rongga pada campuran akan terpengaruh oleh nilai VFA yang merupakan nilai rongga terisi oleh aspal yang terhadap nilai VMA yang merupakan nilai rongga agregat. Dimana rongga pada campuran (VIM) akan tercipta tinggi atau rendah apabila rongga pada agregat (VMA) terisi oleh tinggi atau rendahnya nilai rongga terisi oleh aspal (VFA).

Tren penurunan nilai VIM dapat terjadi karena penambahan *styrofoam* dilakukan tanpa *mensubstitusi* material apapun. Dengan nilai rongga pada agregat (VMA) tinggi sekalipun apabila nilai rongga terisi oleh aspal (VFA) tinggi maka nilai VIM akan turun. Adapun tingginya nilai VFA dapat disebabkan oleh tingginya persentase *styrofoam* yang ditambahkan maka akan semakin banyak volume aspal dengan campuran *styrofoam* yang akan mengisi rongga-rongga yang semestinya hampa.

#### d. Flow

Perhitungan serta hasil nilai *flow* yang diambil dari pengurangan diameter benda uji sebelum dan sesudah dilakukan penekanan, dapat disajikan dalam tabel berikut :

$$\text{Flow APS 1.A} = d \text{ sebelum} - d \text{ sesudah} \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Flow APS 1.A} = 10,27 - 9,88$$

$$\text{Flow APS 1.A} = 0,39 \text{ cm}$$

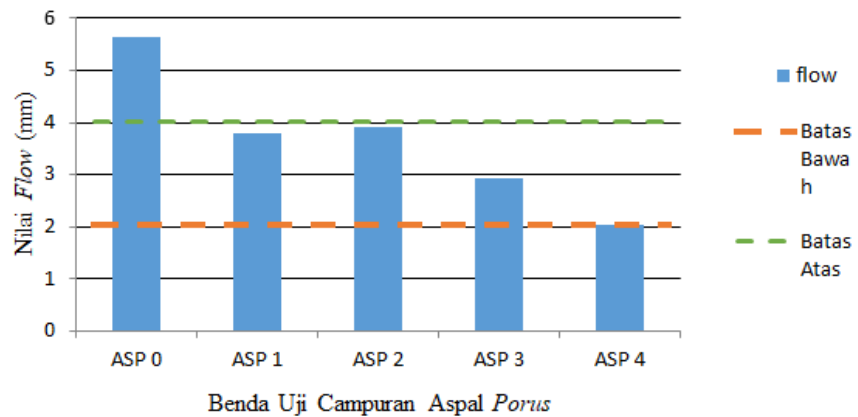
Tabel.26 Hasil Perhitungan Nilai *Flow*

Benda Uji		Diameter Sebelum (cm)	Diameter Sesudah (cm)	Nilai <i>Flow</i> (mm)	Rerata <i>Flow</i> (mm)
APS 0	A	10,03	9,63	4	5,6
	B	10,17	9,44	7,3	
APS 1	A	10,27	9,88	3,9	3,8
	B	10,23	9,86	3,7	
APS 2	A	10,34	9,98	3,6	3,9
	B	10,31	9,90	4,1	
APS 3	A	10,22	9,92	3	2,9
	B	10,24	9,96	2,8	
APS 4	A	10,17	9,94	2,3	2,0
	B	10,13	9,96	1,7	

Dari Tabel 25 data diameter sebelum dan sesudah benda uji ditekan diketahui nilai *flow* masing-masing benda uji. Nilai *flow* terendah terdapat pada benda uji APS 5 dengan nilai rerata sebesar 2,02 mm, sedangkan untuk nilai *flow* tertinggi berada pada benda ASP 0 dengan rerata nilai sebesar 5,65 mm.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai *flow* benda uji APS 4 merupakan nilai *flow* terbaik dari benda uji yang lainnya, hal ini terjadi akibat dari penambahan *styrofoam* dengan persentase 8% membuat campuran aspal *porus* lebih keras, lebih rekat mengikat agregat, dan tidak mudah berubah bentuk dalam keadaan tertekan terus menerus.

Penambahan *styrofoam* sangat baik untuk memperbaiki nilai *flow* campuran, terlebih untuk diterapkan di lapangan dengan beban lalu lintas padat campuran aspal *porus* akan memiliki nilai *flow* rendah sehingga tidak tahan terhadap pembebanan secara terus menerus.



Gambar 41. Grafik *Flow*

Dari Gambar 41 persebaran nilai *flow* masing-masing benda uji dapat diketahui terdapat tren penurunan nilai *flow* seiring dengan tingginya persentase penambahan *styrofoam* pada benda uji campuran aspal *porus*. Sehingga dari tren tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa persentase penambahan *styrofoam* berpengaruh pada nilai *flow* campuran aspal *porus*, dimana semakin tinggi persentase penambahan *styrofoam* maka akan semakin rendah nilai *flow* campuran.

#### e. Stabilitas

Perhitungan nilai stabilitas dari hasil pengkalian bacaan arloji, nilai kalibrasi alat, dan juga angka koreksi benda uji, dapat disajikan dengan tabel sebagai berikut:

$$\text{Stabilitas APS 0. A} = p \times q \dots \dots \dots (10)$$

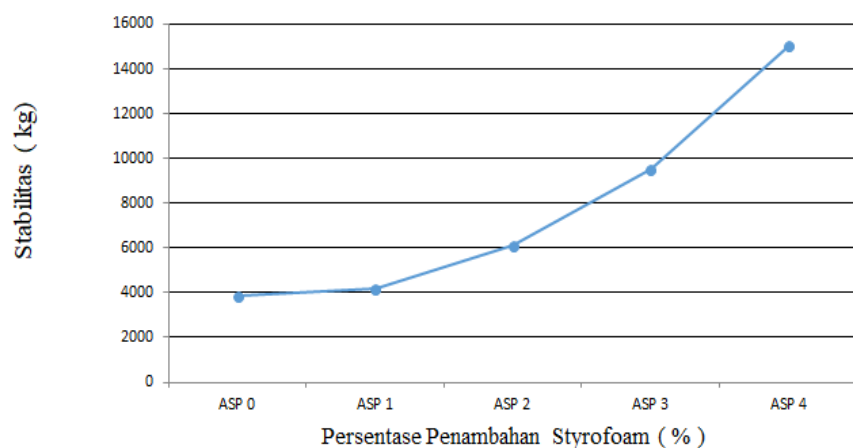
$$\text{Stabilitas APS 0. A} = (5.174,02) \times 0,76$$

$$\text{Stabilitas APS 0. A} = 3.932,26 \text{ kg}$$

Tabel.27 Hasil Perhitungan Nilai Stabilitas

Benda Uji		Bacaan Arloji	Load	Nilai Koreksi	Stabilitas (kg)	Rerata (kg)
APS 0	A	2.438	5.174,02	0,76	3.932,26	3.832,14
	B	2.312	4.910,56	0,76	3.732,03	
APS 1	A	2.696	5.721,56	0,78	4.462,82	4.173,47
	B	2.346	4.979,67	0,78	3.884,14	
APS 2	A	3.562	7.559,42	0,81	6.123,13	6.101,08
	B	3.769	7.998,72	0,76	6.079,03	
APS 3	A	Diuji menggunakan UTM			8.992	9.493
	B				9.994	
APS 4	A	Diuji menggunakan mesin tekan beton			14.600	15.000
	B				15.400	

Dari Tabel 27 perhitungan stabilitas benda uji dapat diketahui nilai stabilitas terendah terdapat pada benda uji APS 0 dengan nilai rerata 3.832,14 kg, sedangkan untuk nilai stabilitas tertinggi berada pada benda uji APS 4 dengan nilai rerata sebesar 15.000 kg. Hal ini dapat terjadi karena *styrofoam* yang ditambahkan akan larut dan bercampur dengan aspal dan membuat aspal menjadi lebih keras dan lebih lengket sehingga akan lebih mengikat agregat dan membuat kualitas campuran meningkat.



Gambar 42. Grafik Stabilitas

Dari Gambar 42 nilai stabilitas campuran aspal *porus* diketahui terdapat tren kenaikan nilai stabilitas seiring dengan bertambahnya persentase *styrofoam* yang digunakan, dimana semakin tinggi persentase *styrofoam* yang ditambahkan maka akan semakin tinggi nilai stabilitas campuran aspal *porus*. Hal ini terjadi karena *styrofoam* yang larut dalam aspal akan membuat aspal memiliki sifat yang lebih keras dan lebih lengket dari sebelumnya, sehingga kekuatan aspal dalam mengikat agregat akan meningkat sehingga meningkatkan nilai stabilitas pula.

f. MQ

*Marshall* Quantity untuk masing-masing benda uji dapat disajikan sebagai berikut:

$$MQ\ APS\ 0.A = \frac{Stabilitas}{Flow} \dots\dots\dots (12)$$

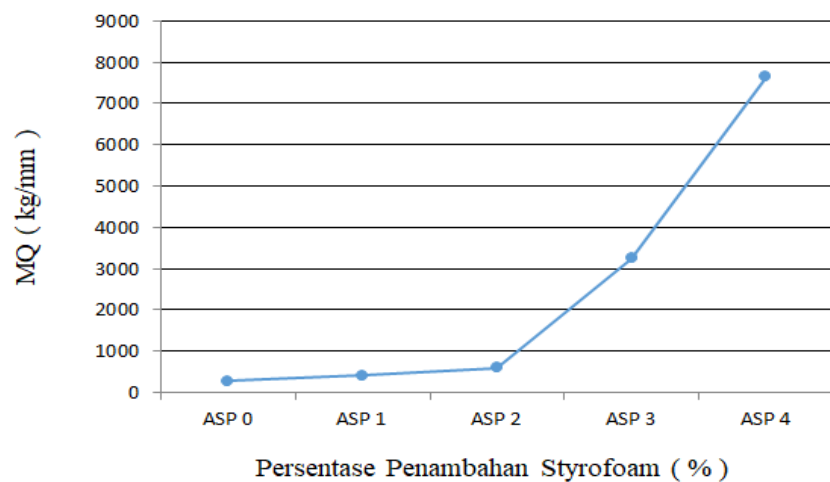
$$MQ\ APS\ 0.A = \frac{3.932,26}{4}$$

$$MQA\ PS\ 0.A = 370,90\ kg/mm$$

Tabel.28 Hasil Perhitungan Nilai MQ

Benda Uji		MQ (kg/mm)	Rerata MQ (kg/mm)
APS 0	A	370,90	281,81
	B	192,73	
APS 1	A	431,74	413,87
	B	396,00	
APS 3	A	632,93	592,80
	B	552,66	
APS 4	A	2.997,33	3.252,00
	B	3.506,67	
APS 5	A	6.212,77	7.635,79
	B	9.058,82	

Dari Tabel 26 perhitungan MQ benda uji campuran aspal *porus* dapat diketahui bahwa nilai MQ terendah berada pada benda uji APS 0 dengan nilai rerata sebesar 281,3 kg/mm dan beda uji dengan nilai MQ tertinggi yaitu APS 4 dengan nilai rerata MQ sebesar 7635,79 kg/mm.



Gambar 43. Grafik MQ

Dari Gambar 43 nilai MQ dapat diketahui terjadi tren kenaikan nilai MQ seiring dengan tingginya persentase penambahan *styrofoam*. Hal ini terjadi akibat dari pengaruh nilai *flow* dan stabilitas, dimana nilai MQ merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Sehingga dengan tren nilai stabilitas yang naik beserta dengan tren turun nilai *flow* sehingga membuat nilai MQ akan memiliki tren naik seiring dengan bertambahnya persentase penambahan *styrofoam*.