

**BAB V**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Hasil Pengujian Agregat**

Hasil pengujian agregat ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Minimal	Maksimal	
<b>I. Agregat Kasar</b>						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,59	-	-	SNI 1969 : 2008
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,79	2,5	-	SNI 1969 : 2008
3	Berat jenis efektif	-	2,69	-	-	SNI 1969 : 2008
4	Penyerapan	%	0,028	-	3	SNI 1969 : 2008
5	Pengujian Abrasi	%	36,4	-	40	SNI 2417 : 2008
<b>II. Agregat Halus</b>						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,5646	-	-	SNI 1970 : 2008
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,6667	2,5	-	SNI 1970 : 2008
3	Berat jenis efektif	-	2,6158	-	-	SNI 1970 : 2008
4	Penyerapan	%	1,6466	-	3	SNI 1970 : 2008

Pada Tabel 5.1 di atas dapat dilihat bahwa agregat yang digunakan pada penelitian ini, memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh SNI 1969 : 2008 SNI 2417 : 2008 dan SNI 1970 : 2008, sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan dasar campuran aspal dari penelitian ini.

**B. Hasil Pengujian Aspal**

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium. Bahan aspal yang memenuhi syarat dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran perkerasan. Hasil pengujian aspal diberikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian aspal keras AC 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	66,6	60	70	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek	°C	50	48	58	SNI 2434 : 2011
3	Titik Nyala	°C	338	232	-	SNI 2433 : 2011
4	Daktilitas	cm	130	100	-	SNI 2432 : 2011
5	Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	1,045	1	-	SNI 2441 : 2011
6	Kehilangan Berat	% berat	0,03	-	0,8	SNI 06-2441-1991

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.2, menunjukkan bahwa pengujian penetrasi rata-rata adalah 66,6 dmm. Hasil ini masih berada dalam batas untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu antara 60-70. Pemeriksaan lainnya adalah pemeriksaan daktilitas yang bertujuan untuk mengukur fleksibilitas aspal yang digunakan. Menurut persyaratan dari SNI 2432 : 2011, nilai minimal untuk daktilitas adalah 100 cm dan hasil pemeriksaan daktilitas didapat sebesar 130 cm, sehingga aspal yang digunakan memenuhi syarat.

Dari hasil pengujian terhadap sifat titik lembek dan nyala aspal diperoleh nilai rata-rata titik lembek sebesar 50°C dan titik nyala aspal pada suhu 338°C. Kedua pemeriksaan titik lembek dan titik nyala tersebut masih dalam persyaratan menurut SNI 2434 : 2011 (untuk titik lembek) dan SNI 2433 : 2011 (untuk titik nyala).

Pemeriksaan kehilangan berat aspal berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal atau untuk mengetahui kemurnian aspal. Penurunan berat aspal optimum yang diperkenankan adalah 0,8 % dari berat semula dan hasil pemeriksaan menunjukkan penurunan aspal sebesar 0,03%, dengan demikian benda uji memenuhi persyaratan SNI 06-2441-1991.

Dari hasil pemeriksaan berat jenis aspal diperoleh nilai sebesar 1,045 gr/cc sehingga aspal dalam penelitian ini memenuhi syarat SNI 2441 : 2011 yaitu minimal 1 gr/cc.

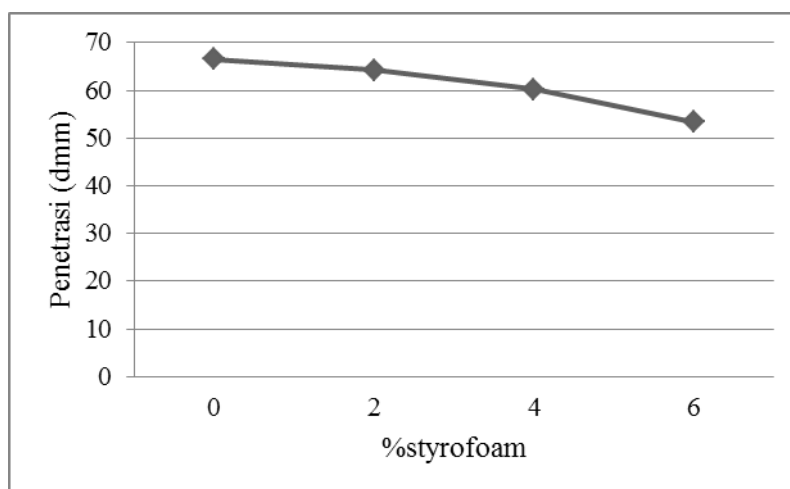
### **C. Hasil Pengujian Aspal Styrofoam**

*Styrofoam* merupakan kumpulan zat *Phasticier*, *Seng*, dan Senyawa *Butadien* yang telah mengalami reaksi polimerisasi, dimana Senyawa *Butadien* ini akan membentuk *Polibutadiena* (Karet Sintetis). Sehingga dari unsur unsur Senyawa ini Modifikasi antara Aspal dan *Styrofoam* perlu diperiksa di laboratorium. Hasil modifikasi ini yang masuk dalam Spesifikasi bisa digunakan untuk bahan pengikat dalam campuran perkerasan. Hasil pengujian aspal *Styrofoam* diberikan dalam Tabel 5.3.

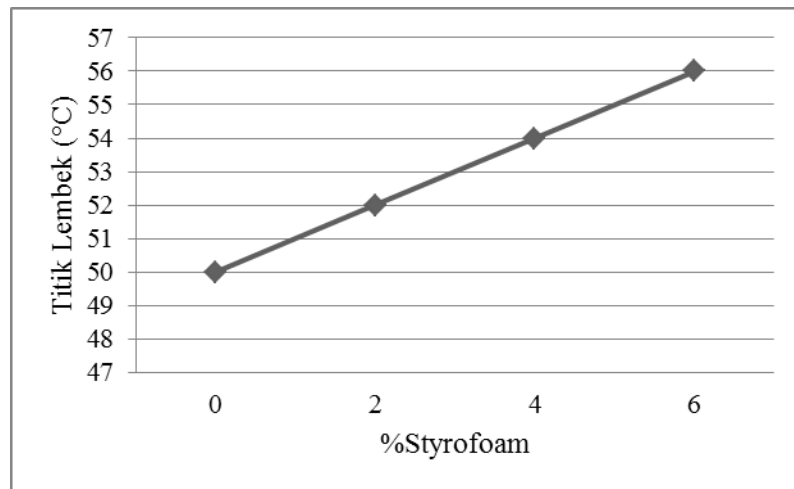
Tabel 5.3 Hasil pengujian aspal *Styrofoam*

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi 2%	0,1 dmm	64,2	40	-	SNI 06-2456-1991
2	Penetrasi 4%	0,1 dmm	60,2	40	-	SNI 06-2456-1991
3	Penetrasi 6%	0,1 dmm	53,4	40	-	SNI 06-2456-1991
4	Titik Lembek 2%	°C	52	54	-	SNI 2434 : 2011
5	Titik Lembek 4%	°C	54	54	-	SNI 2434 : 2011
6	Titik Lembek 6%	°C	56	54	-	SNI 2434 : 2011
7	Elastisitas 2%	%	87	60	-	AASHTO T 301 - 98
8	Elastisitas 4%	%	84	60	-	AASHTO T 301 - 98
9	Elastisitas 6%	%	80	60	-	AASHTO T 301 - 98
10	Berat Jenis 2%	gr/cm <sup>3</sup>	1,041	1	-	SNI 2441 : 2011
11	Berat Jenis 4%	gr/cm <sup>3</sup>	1,035	1	-	SNI 2441 : 2011
12	Berat Jenis 6%	gr/cm <sup>3</sup>	1,030	1	-	SNI 2441 : 2011

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3, hasil pengujian Penetrasi, dapat digambarkan sebagai berikut :

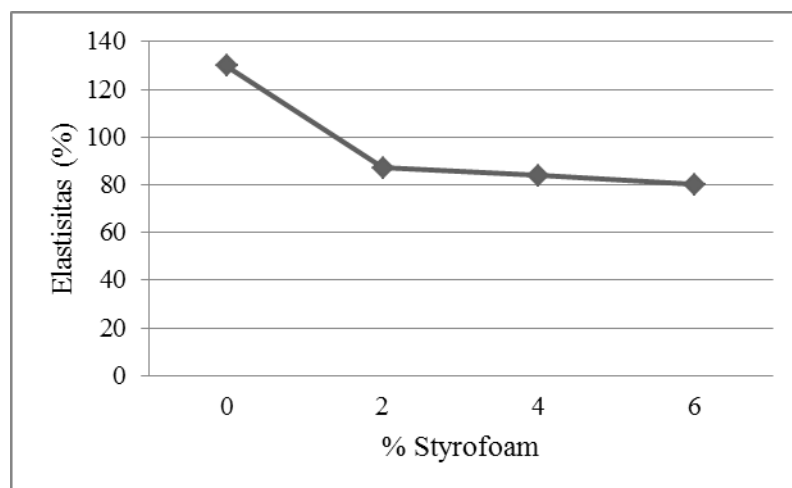
Gambar 5.1. Hubungan kadar *styrofoam* dengan Penetrasi

Berdasarkan Gambar 5.1, hasil penetrasi masih berada dalam batas untuk aspal yang dimodifikasi yaitu minimal 40. Nilai penetrasi semakin rendah dengan penambahan *styrofoam*, ini dikarenakan *styrofoam* termasuk ke dalam jenis polimer yang memiliki sifat yang mampu menahan beban yang berat namun tetap elastis. Semakin banyak kadar *styrofoam* yang ditambahkan, semakin keras aspal modifikasi yang dihasilkan.



Gambar 5.2. Hubungan kadar *styrofoam* dengan Titik Lembek

Untuk hasil pengujian Elastisitas aspal *styrofoam*, ditunjukkan pada gambar berikut ini:



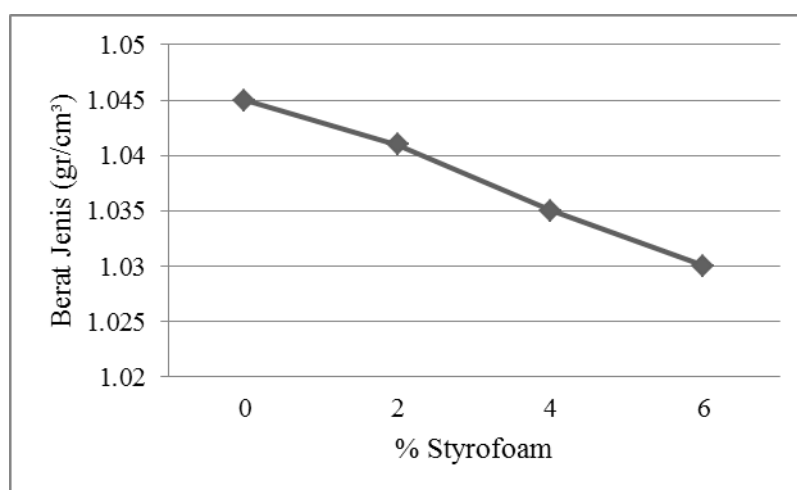
Gambar 5.3. Hubungan kadar *styrofoam* dengan Elastisitas

Pada Gambar 5.2 menggambarkan nilai Titik Lembek, pengujian Titik lembek bertujuan untuk mengukur batas plastis aspal. Menurut persyaratan dari SNI 2432: 2011, Hasil pemeriksaan titik lembek didapat sebesar 50°C, 52°C, 54°C, dan 56°C dari kadar aspal *styrofoam* 0%, 2%, 4% dan 6%, dapat dilihat bahwa hasil pengujian Titik lembek yang diperoleh dari pengujian naik seiring dengan penambahan *styrofoam* dalam campuran aspal. Hal ini terjadi karena

*styrofoam* mempunyai sifat *high temperature resistance*, daya tahan panas sampai suhu  $120^{\circ}\text{C}$ .

Dan pada Gambar 5.3 menggambarkan hasil pengujian Elastisitas *styrofoam*, nilai Elastisitas diperoleh sebesar 87%, 84%, 80% untuk kadar persen *styrofoam* 0%, 2%, 4% dan 6% terhadap aspal tanpa modifikasi. Penurunan nilai Elastisitas disebabkan karena sifat *styrofoam* yang cepat mengeras sehingga semakin banyak *styrofoam* maka aspal tidak dapat kembali ke bentuk semula atau tidak elastisitas.

Untuk hasil pengujian Berat jenis aspal *styrofoam*, digambarkan pada Gambar 5.4 berikut ini:



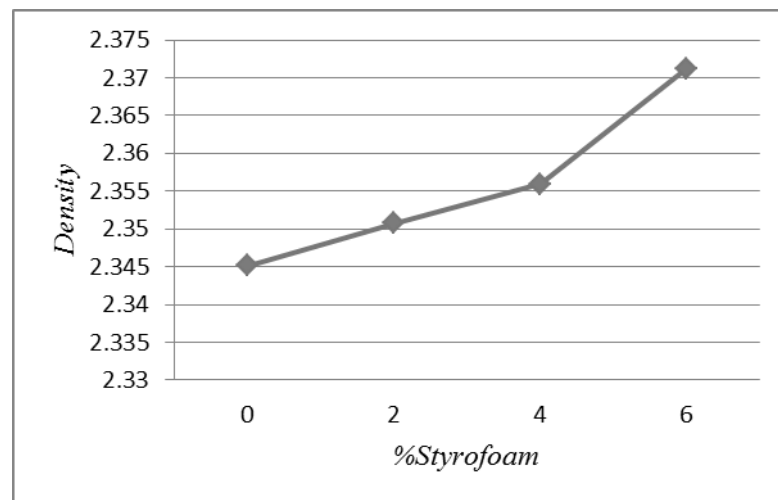
Gambar 5.4. Hubungan kadar *styrofoam* dengan Berat Jenis

Berat jenis aspal *styrofoam* diperoleh  $1,045 \text{ gr/cm}^3$ ,  $1,041 \text{ gr/cm}^3$ ,  $1,035 \text{ gr/cm}^3$  dan  $1,030 \text{ gr/cm}^3$  untuk kadar persen *styrofoam* 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap aspal. Pemeriksaan Berat jenis masih masuk dalam persyaratan SNI 2441 : 2011 yaitu dengan batas minimum  $1 \text{ kg/cm}^3$ . Dilihat dari grafik diatas hasil pengujian Berat jenis semakin menurun seiring penambahan kadar *styrofoam*, ini terjadi karena semakin mengecilnya rongga dalam campuran maka penyerapan aspal ke dalam pori akan semakin mengecil.

## D. Hasil dan Pembahasan Pengujian *Marshall*

### 1. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan adalah berat campuran yang diukur tiap satuan volume, nilai kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kadar aspal dan kekentalan aspal. Campuran dengan kepadatan yang tinggi mempunyai kemampuan menahan beban lalu lintas yang lebih baik, serta memiliki kekedapan yang tinggi terhadap air dan udara. Nilai kepadatan untuk masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 5.5.



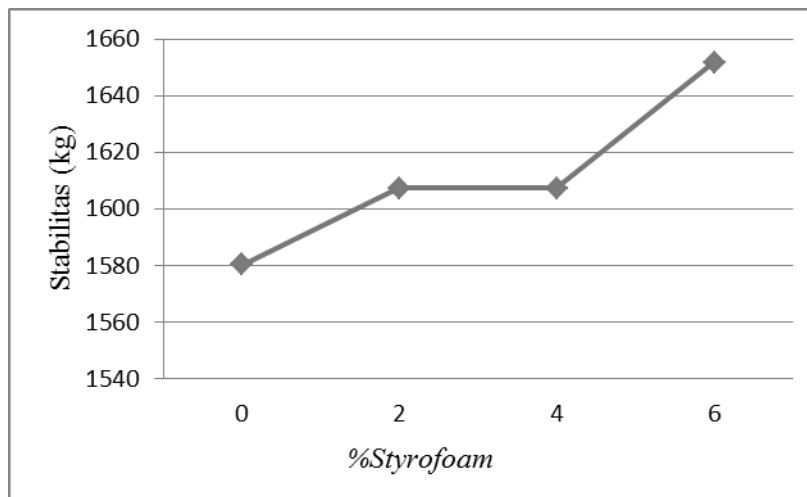
Gambar 5.5. Hubungan kadar *Styrofoam* dengan *Density*

Dari grafik diatas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* cenderung menaikkan nilai kepadatan (*density*) dikarenakan penambahan *styrofoam* akan mengisi rongga antara butiran agregat sehingga rongga dalam campuran menjadi lebih kecil dan campuran menjadi lebih rapat.

### 2. Stabilitas

Nilai stabilitas digunakan sebagai parameter untuk menggambar dan mengukur ketahanan terhadap kelelahan plastis dari suatu campuran aspal atau kemampuan campuran untuk menahan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya adalah gradasi agregat dan kadar aspal. Selain itu stabilitas

dipengaruhi oleh *Interlocking*, kohesi, adhesi dan *internal friction*. Nilai stabilitas untuk masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Hubungan kadar *Styrofoam* dengan Stabilitas

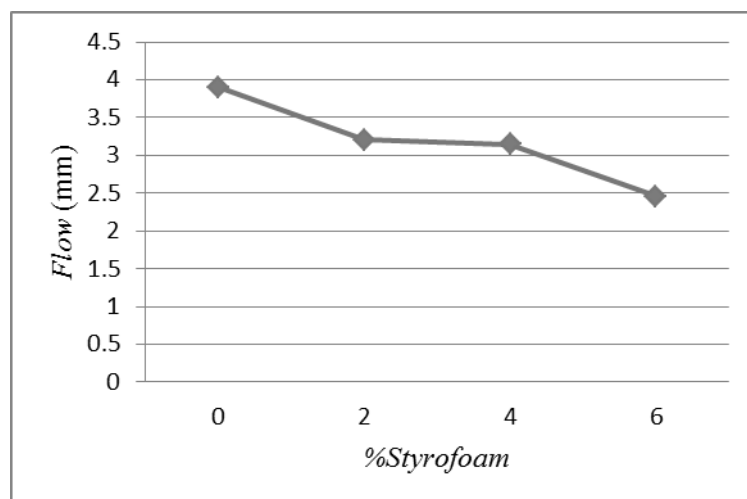
Dari grafik di atas terlihat bahwa semakin banyak kadar *styrofoam* yang digunakan dalam campuran perkerasan dapat menaikkan nilai stabilitas dikarenakan nilai penetrasi yang dihasilkan dari pencampuran aspal *styrofoam* lebih rendah dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70. Nilai penetrasi yang rendah mengakibatkan nilai stabilitas yang didapat tinggi, sehingga akan menyebabkan perkerasan akan menjadi kaku. Demikian pula sebaliknya, jika nilai stabilitas yang dihasilkan terlalu rendah akan menyebabkan mudahnya terjadi deformasi.

Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada campuran menggunakan *styrofoam* sebanyak 6%, yakni sebesar 1651,692 kg. Sedangkan nilai stabilitas terendah dicapai pada campuran tanpa menggunakan *styrofoam*, yakni sebesar 1580.460 kg.

Berdasarkan Bina Marga, persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu minimal 1000 kg, sehingga dari campuran-campuran tersebut memenuhi syarat minimal untuk stabilitas.

### 3. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Nilai kelelehan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat. Hasil kelelehan ditunjukkan dalam Gambar 5. 7.



Gambar 5.7. Hubungan kadar *Styrofoam* dengan kelelehan (*flow*)

Penggunaan *Styrofoam* dalam campuran AC-WC cenderung menurunkan nilai kelelehan sebagaimana terlihat di dalam grafik di atas, semakin banyak penambahan kadar *styrofoam* terhadap aspal maka semakin getas, yang ditandai dengan rendahnya nilai kelelehan. Tingginya nilai kelelehan mengindikasikan terjadinya problem durabilitas pada perkerasan, sedangkan nilai kelelehan yang rendah juga mengindikasikan campuran tersebut sangat kaku, yang bisa menyebabkan terjadinya retak (*cracking*). Berdasarkan Gambar 5.7, nilai Kelelehan pada kadar aspal 0%, 2%, 4% dan 6% yaitu 3,900 mm, 3,210 mm, 3,150 mm dan 2,460 mm, masih memenuhi syarat Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3).

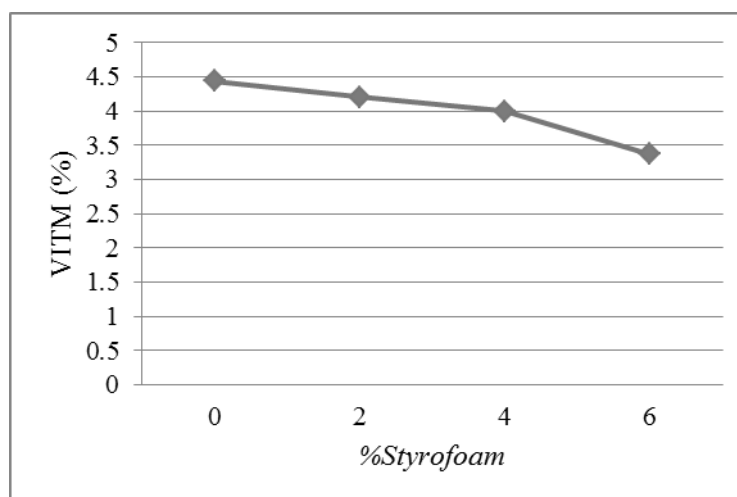
Semakin bertambahnya kadar *styrofoam* kedalam campuran AC-WC semakin mengurangi kelenturan campuran. Hal ini diakibatkan oleh mengerasnya aspal sesuai dengan nilai penetrasi menjadi semakin mengecil dan titik lembek semakin meningkat. Sesuai dengan persyaratan yang



ditetapkan Bina Marga, maka nilai kelelahan tidak boleh lebih kecil dari 2 mm dan tidak boleh lebih dari 4 mm, sehingga hasil pengujian kelelahan pada campuran aspal tersebut memenuhi untuk syarat kelelahan.

#### 4. *Voids In The Mix (VITM)*

Nilai VITM menunjukkan nilai persentase rongga dalam suatu campuran aspal. Nilai VITM berpengaruh terhadap nilai dari durabilitas, semakin besar nilai VITM menunjukkan campuran bersifat keropos (*porous*). Proses ini mengakibatkan udara dan air mudah masuk ke dalam lapis perkerasan sehingga berakibat meningkatkan proses oksidasi yang dapat mempercepat penuaan aspal. Spesifikasi dari VITM berkisar antara 3%-6%. Hasil nilai VITM ditunjukkan pada Gambar 5. 8.



Gambar 5.8. Hubungan kadar *Styrofoam* dengan VITM

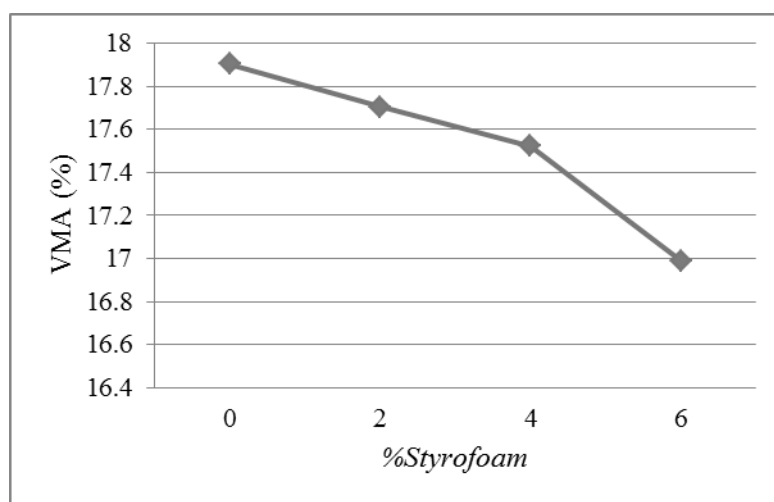
Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *Styrofoam* pada campuran AC-WC dapat menurunkan nilai VITM. Pada campuran dengan kadar *Styrofoam* 6%, nilai VITM menurun sebesar 3,375% dibandingkan campuran tanpa menggunakan *Styrofoam*. Semua nilai VITM dengan kadar *Styrofoam* 0%, 2%, 4% dan 6%, masuk Spesifikasi Umum Edisi 10 (Revisi3).

Parameter yang berkaitan dengan nilai VITM adalah durabilitas dan kekuatan dari campuran. Nilai VITM yang kecil mengakibatkan lapisan kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran. Dan apabila

penggunaan aspal yang cukup banyak mempengaruhi nilai VITM yang kecil. Jika nilai VITM kecil serta kadar aspal yang digunakan cukup tinggi, maka kemungkinan terjadinya *bleeding* besar.

### 5. *Voids in the Mineral Aggregate (VMA)*

VMA atau yang lebih dikenal dengan rongga dalam agregat merupakan salah satu parameter penting dalam rancangan campuran aspal, karena pengaruhnya terhadap ketahanan dari campuran aspal. VMA menunjukkan banyaknya % aspal dan % *styrofoam* dari rongga yang terisi aspal *styrofoam*. Nilai hasil pengujian VMA ditunjukkan pada Gambar 5. 9.



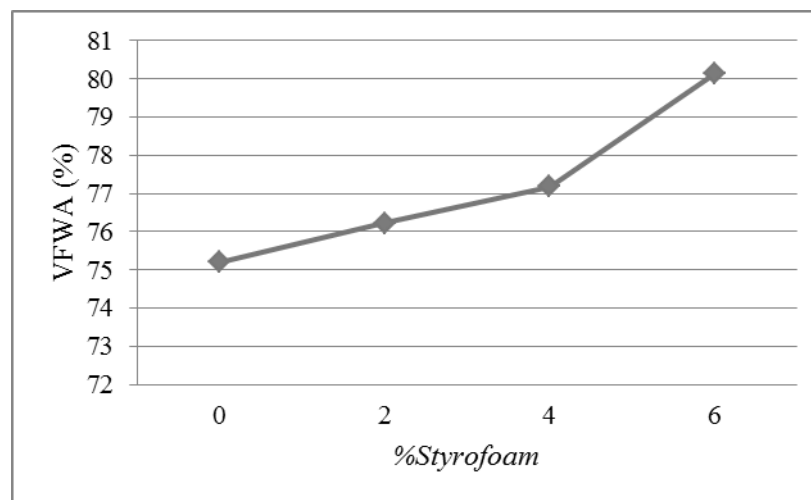
Gambar 5. 9. Hubungan kadar *Styrofoam* dengan nilai VMA

Dari grafik di atas terlihat bahwa seiring penambahan *Styrofoam* cenderung menurunkan nilai VMA, Nilai VMA tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 0% *Styrofoam*, yakni sebesar 19,705% dan di 6% *Styrofoam* mengalami penurunan yakni 16,990%. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya kadar *styrofoam* sebagai bahan campuran aspal ke dalam campuran AC-WC, memberikan pengaruh terhadap berat isi campuran yang nilainya cenderung bertambah dan mengakibatkan penurunan nilai VMA. Jika nilai VMA terlalu besar, akan dibutuhkan aspal dalam jumlah yang berlebihan untuk mengurangi rongga udara sehingga sesuai standar yang disyaratkan. Jumlah aspal yang berlebihan di dalam campuran juga dapat

membuat stabilitas campuran terganggu (Lavin, 2003).

#### 6. *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*

Rongga dalam campuran terjadi akibat adanya ruang sisa antar butiran penyusun campuran. Rongga ini dalam kondisi kering akan diisi oleh udara dan dalam kondisi basah akan diisi oleh air. Hasil nilai VFWA dapat dilihat pada Gambar 5. 10.



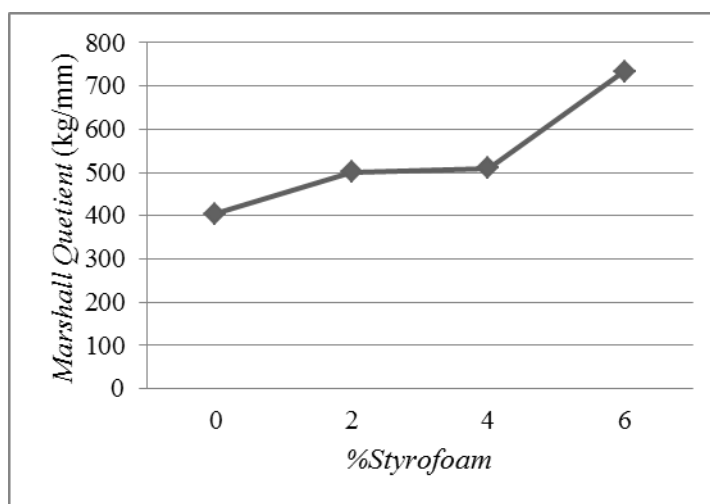
Gambar 5. 10. Hubungan kadar *Styrofoam* dengan VFWA

Dari grafik diatas didapat nilai VFWA tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 6% *styrofoam*, yakni sebesar 80,133%, sedangkan nilai VFWA terendah terjadi pada campuran menggunakan 0% *styrofoam* yakni sebesar 75,203%. Nilai VFWA dari kadar *styrofoam* 0%, 2%, 4% dan 6% telah memenuhi spesifikasi minimum yang dipersyaratkan oleh Bina Marga untuk VFWA sebesar 65% .

Dengan bertambahnya penggunaan kadar *styrofoam* sebagai pengganti agregat cenderung menaikkan nilai VFWA. Bertambahnya kadar *styrofoam* akan mengakibatkan semakin mengecilnya rongga dalam campuran (VITM) yang merupakan bagian dari pembagi dalam menentukan nilai VFWA.

### 7. *Marshall Quotient (MQ)*

MQ dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap keelehan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai MQ suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Hasil untuk pengujian MQ tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. 11.



Gambar 5. 11. Hubungan kadar aspal *Styrofoam* dengan MQ

Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *Styrofoam* pada campuran AC-WC dapat meningkatkan nilai MQ. Nilai MQ tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 6% *Styrofoam* dan aspal 6%, yakni sebesar 677,4 kg/mm. Sedangkan nilai MQ terendah terjadi pada campuran menggunakan 2% *Styrofoam* dan aspal 6%, yakni sebesar 500,8 kg/mm.

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa semua campuran AC-WC untuk berbagai variasi penggunaan *Styrofoam* memenuhi syarat yang ditetapkan untuk nilai MQ karena dalam hal ini nilai MQ tidak ada batas minimum dan maksimum. Nilai MQ cenderung semakin meningkat dengan bertambahnya penggunaan *Styrofoam*.

Dari hasil parameter MQ tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Styrofoam* sebanyak 0% sampai 6% membuat campuran AC-WC semakin kaku yang ditunjukkan dengan semakin meningkatnya nilai MQ.

Jika stabilitas naik dan nilai *flow* menurun, maka MQ menjadi lebih baik. Sehingga didapat nilai Kadar Aspal Optimum yaitu 6%.

Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah maka campuran beraspal panas tersebut akan mengalami fleksibel, cenderung plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan pada campuran beraspal panas tersebut kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Perbedaan MQ pada benda uji yang menggunakan aspal murni dengan benda uji yang menggunakan aspal *styrofoam* adalah sebagai berikut :

Tabel 5.4 Perbandingan MQ benda uji dengan aspal murni dan benda uji dengan aspal bercampur *styrofoam*

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar <i>styrofoam</i> terhadap aspal			
			0%	2%	4%	6%
1	Density		2.345	2.351	2.356	2.371
2	VFWA (%)	min 65	75.203	76.227	77.187	80.133
3	VITM (%)	3-5%	4.440	4.209	3.998	3.375
4	VMA (%)	min 15%	17.905	17.707	17.525	16.990
5	Stability (kg)	Min 1000 Kg	1580.460	1607.450	1607.450	1651.692
6	Flow (mm)	2-4 mm	3.900	3.210	3.150	2.460
7	MQ (kg/mm)		405.246	500.763	510.302	734.085