

## 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 Pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Hasil
<b>Agregat Kasar</b>				
1	Abrasi	$\leq 40$	%	36,4
2	Berat jenis curah <i>Bulk</i>	-	-	2,61
3	Berat jenis semu <i>Apparent</i>	$\geq 2,5$	-	2,68
4	Berat jenis efektif	-	-	2,633
5	Penyerapan	$\leq 3$	%	1,092
<b>Agregat Halus</b>				
1	Berat jenis curah <i>Bulk</i>	-	-	2,43
2	Berat jenis semu <i>Apparent</i>	$\geq 2,5$	-	2,48
3	Berat jenis efektif	-	-	2,633
4	Penyerapan	$\leq 3$	%	1,6466

Dari 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	
				Min	Maks
1	Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	61	60	70
2	Titik Lembek	°C	54,5	48	58
3	Titik Nyala	°C	350,4	232	-
4	Daktilitas	Cm	>100	100	-
5	Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	1,02	1	-

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.2, menunjukkan bahwa pengujian penetrasi rata-rata adalah 61 mm. Hasil ini masih berada dalam batas untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu antara 60-70 mm. Dari hasil pengujian terhadap sifat titik lembek dan nyala aspal diperoleh nilai rata-rata titik lembek sebesar 54,5°C dan titik nyala aspal pada suhu 350,4°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 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 > 100 cm, sehingga aspal yang digunakan memenuhi syarat.

Dari hasil pengujian terhadap sifat titik lembek dan nyala aspal diperoleh nilai rata-rata titik lembek sebesar 48°C dan titik nyala aspal pada suhu 350,4°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).

Dari hasil pemeriksaan berat jenis aspal diperoleh nilai sebesar 1,02 gr/cc sehingga aspal dalam penelitian ini memenuhi syarat SNI 2441 : 2011 yaitu minimal 1 gr/cc.

### C. Hasil Pengujian Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk menentukan nilai KAO, dapat dilihat hasil pengujian dari nilai KAO dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian nilai KAO

No	Jenis Pengujian	Kadar KAO				Spesifikasi
		5%	5,5%	6%	6,5%	
1	Density	2,238	2,306	2,235	2,270	-
2	VMA	19,254	17,214	20,212	19,380	>15%
3	VIM	8,285	4,778	7,068	4,915	3% - 5%
4	VFA	57,010	72,519	65,302	74,700	>65%
5	Stabilitas	1519,69	1400,74	1244,71	1178,80	>800 kg
6	Flow	2,567	2,100	4,567	3,100	2- 4 mm
7	MQ	608,34	676,24	282,78	383,05	-

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal			
			5%	5,5%	6%	6,5%
1	Density					
2	VFA	Min 65%				
3	VIM	3-6				
4	VMA	Min 15%				
5	Stability	Min 800 Kg				
6	Flow	2-4				
7	MQ					

Gambat 5.1 Hasil pengujian *marshall* untuk menentukan KAO

Pada pengujian KAO pada kadar 6% tidak masuk kedalam spesifikasi ini dapat diakibatkan oleh tidak sempurnanya penumbukan yang dilakukan atau energi yang diberikan saat penumbukan campuran tidak 100%, sehingga dapat mengakibatkan rongga di dalam campuran menjadi besar.

Dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 adalah 5,5% dan 6,5%. Nilai kadar aspal optimum yang digunakan sebesar 5,5%, karena kadar 5,5% sudah memenuhi sebagai syarat untuk KAO bagi campuran aspal AC-WC.

#### D. Hasil Pengujian Aspal - Styrofoam

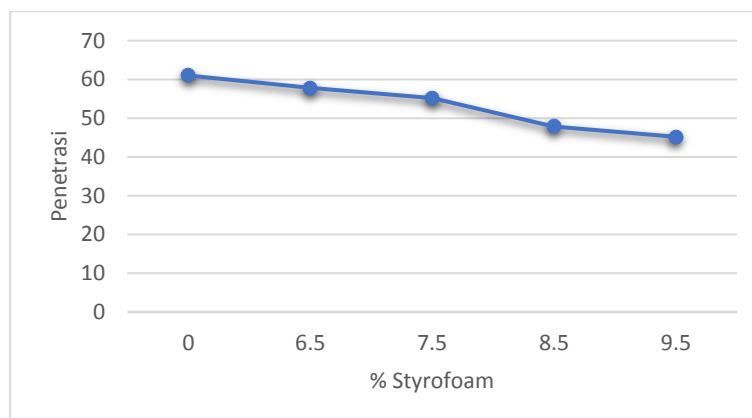
Aspal modifikasi antara aspal dan *styrofoam* perlu dilakukan pemeriksaan di laboratorium sehingga dapat mengetahui hasil pengujian aspal dan *styrofoam* sesuai

dengan persyaratan yang telah ditentukan. Hasil pengujian aspal dan *styrofoam* ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengujian aspal *styrofoam*

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian
1	Penetrasi 0%	0,1 mm	61	Min 60
2	Penetrasi 6,5%	0,1 mm	57,8	Min 40
3	Penetrasi 7,5%	0,1 mm	55,2	Min 40
4	Penetrasi 8,5%	0,1 mm	47,8	Min 40
5	Penetrasi 9,5%	0,1 mm	45,2	Min 40
6	Titik Lembek 0%	°C	54,5	Min 48
7	Titik Lembek 6,5%	°C	55,5	Min 54
8	Titik Lembek 7,5%	°C	58,5	Min 54
9	Titik Lembek 8,5%	°C	55	Min 54
10	Titik Lembek 9,5%	°C	56	Min 54
11	Berat Jenis 0%	gr/cm <sup>3</sup>	1,02	1
9	Berat Jenis 6,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,017	1
10	Berat Jenis 7,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,032	1
11	Berat Jenis 8,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,03	1
12	Berat Jenis 9,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,05	1

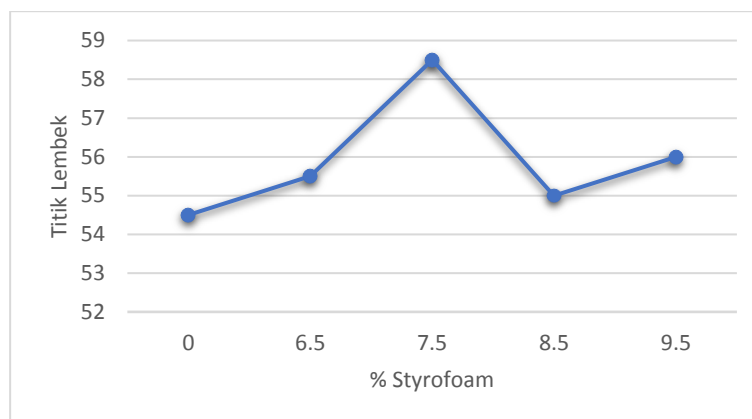
Berdasarkan hasil pada Tabel 5.4, hasil pengujian penetrasi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 5.2 Hubungan kadar *styrofoam* dengan penetrasi

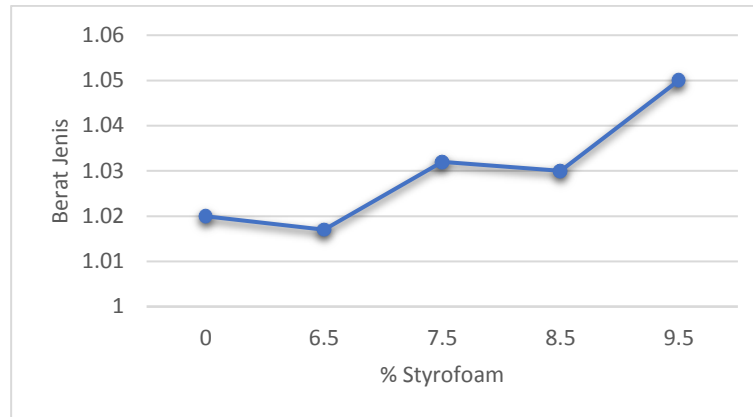
Berdasarkan Gambar 5.1, hasil penetrasi masih berada dalam batas untuk aspal yang dimodifikasi yaitu minimal 40. Nilai penetrasi pada campuran kadar 0% sebesar 61 mm, campuran kadar 6,5% yaitu sebesar 57,8 mm, campuran kadar 7,5% sebesar 55,2 mm, campuran kadar 8,5% sebesar 47,8 mm, dan campuran kadar 9,5% sebesar 45,2 mm.

Terjadi perubahan sifat fisis aspal yaitu tingkat keras lunaknya aspal. Semakin tinggi kadar persentase *styrofoam* yang dicampurkan ke dalam aspal maka akan mengakibatkan aspal menjadi semakin keras. Nilai penetrasi dengan penambahan *styrofoam* semakin rendah, pengerasan pada aspal dapat diakibatkan oleh oksidasi, penguapan, dan perubahan sifat kimia lainnya.



Gambar 5.3 Hubungan kadar *styrofoam* dengan titik lembek

Pada Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa hasil pengujian titik lembek yang diperoleh dari pengujian pada campuran kadar 0% yaitu sebesar 54,5 °C, campuran kadar 6,5% sebesar 55,5 °C, nilai titik lembek pada kadar 7,5% dengan nilai 58,5 °C menunjukkan peningkatan, kemudian mengalami penurunan pada kadar 8,5%, dan pada kadar 8,5% nilai titik lembeknya sebesar 55 °C, dan kadar 8,5% yaitu sebesar 56 °C. Jika dilihat pada grafik diatas seharusnya seiring penambahan kadar *styrofoam* mengakibatkan meningkatnya nilai titik lembek. Tetapi pada pengujian ini nilai titik lembek tertinggi pada kadar 7,5% diakibatkan karena proses pencampuran aspal dan *styrofoam* yang kurang homogen.



Gambar 5.4 Hubungan kadar *styrofoam* dengan berat jenis

Hasil dari pengujian didapat nilai berat jenis pada kadar 0% sebesar 1,02  $\text{gr/cm}^3$ , kadar 6,5% sebesar 1,017  $\text{gr/cm}^3$ , pada kadar 7,5% sebesar 1,03  $\text{gr/cm}^3$ , kadar 8,5% sebesar 1,03  $\text{gr/cm}^3$ , dan pada kadar 9,5% sebesar 1,05  $\text{gr/cm}^3$ . Hasil pengujian ini masuk kedalam spesifikasi SNI 2441 : 2011 yaitu nilai titik lembek minimal 1  $\text{gr/cm}^3$ . Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai pada pengujian berat jenis cenderung meningkat.

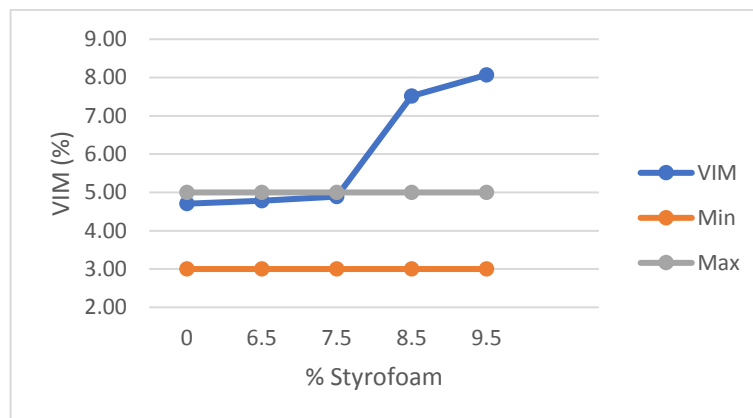
#### E. Hasil dan Pembahasan Pengujian *Marshall*

Pengujian *marshall* dilakukan untuk menentukan analisis hubungan antara perubahan kadar *styrofoam* dengan parameter *marshall* yaitu *density*, VIM, VMA, VFA, stabilitas, *flow*, dan MQ.

Berikut adalah penjelasan dari masing-masing parameter *marshall* yang telah diperoleh berdasarkan pengujian:

##### 1. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VIM

Nilai VIM (*voids in the mix*) volume pori yang masih tersisa setelah campuran dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kedapannya airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas aspal. VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. Hasil pengujian untuk nilai VIM dapat dilihat pada Gambar 5.5.



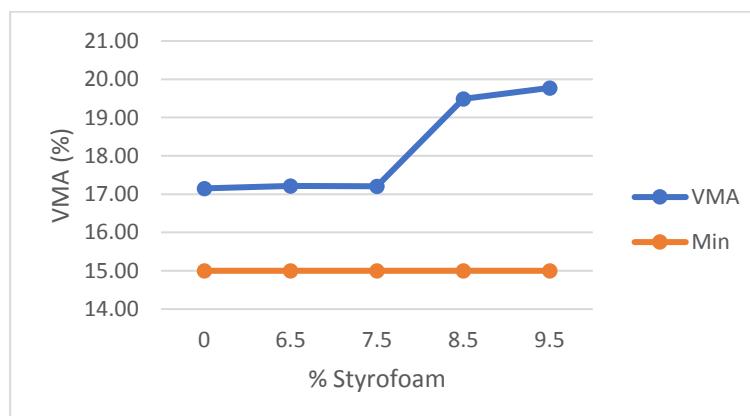
Gambar 5.5 Hubungan kadar *styrofoam* dengan VIM

Spesifikasi umum bidang jalan raya dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum (2010) untuk nilai VIM berkisar antara 3% - 5%. Dari hasil pengujian untuk nilai VIM pada kadar 0% sebesar 4,71%, kadar 6,5% sebesar 4,78%, kadar 7,5% sebesar 4,89%, kadar 8,5% sebesar 7,51%, dan kadar 9,5% sebesar 8,07%. Untuk kadar 8,5% dan kadar 9,5% tidak masuk kedalam spesifikasi. Nilai VIM cenderung meningkat hal ini mungkin diakibatkan karena sifat aspal yang dicampur *styrofoam* yang dipanaskan dengan suhu yang terlalu tinggi (suhu pemanasan mencapai 200 °C) dapat menghilangkan sifat kimia dari aspal itu sendiri, sehingga sulit untuk melekat dengan butir-butir agregat.

## 2. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VMA

VMA (*voids in the minerals aggregate*) adalah banyaknya rongga antar butir-butir agregat di dalam campuran aspal padat dinyatakan dalam persentase dari volume campuran aspal.

Nilai hasil pengujian VMA ditunjukkan pada Gambar 5.6.



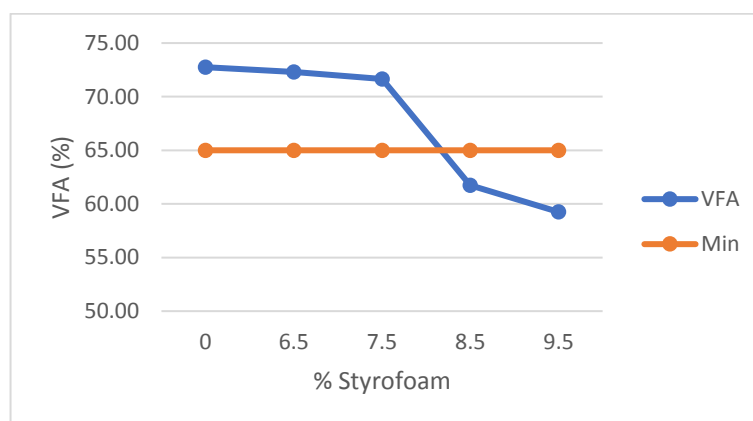
Gambar 5.6 Hubungan kadar *styrofoam* dengan VMA

Spesifikasi untuk nilai VMA ditentukan batas minimalnya 15%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada kadar 0% hasil VMA sebesar 17,15%, kadar 6,5% sebesar 17,22%, kadar 7,5% sebesar 17,21%, kadar 8,5% dan 9,5% yaitu sebesar 19,49% dan 19,77%.

VMA cenderung meningkat diakibatkan oleh sifat aspal yang dicampur *styrofoam* yang dilakukan pemanasan terlalu lama dan dengan suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan sifat kimia pada aspal mejadi hilang atau rusak. Sehingga sulit untuk aspal merekat dengan butir-butir agregat, sehingga rongga antar agregat semakin besar.

### 3. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VFA

VFA (*voids filled with asphalt*) merupakan volume antara agregat yang terisi oleh aspal. Syarat VFA berdasarkan Dinas Pekerjaan Umum (2010) minimal yaitu 65%.



Gambar 5.7 Hubungan kadar *styrofoam* dengan VFA

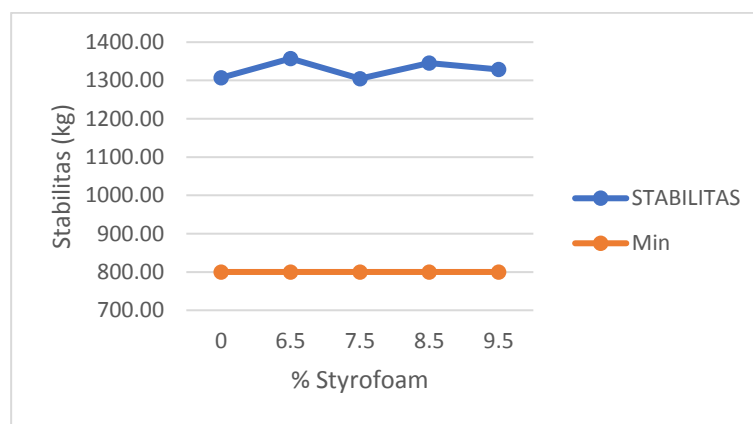
Dan untuk hasil pengujian nilai VFA dapat dilihat pada grafik di atas, nilai pada campuran kadar 0% sebesar 72,75%, campuran kadar 6,5% sebesar 72,31%, nilai pada campuran kadar 7,5% yaitu 71,66%, kadar 8,5% sebesar 61,75%, dan kadar 9,5% sebesar 59,25%. Peningkatan kadar *styrofoam* mengakibatkan penurunan nilai VFA, pada campuran kadar 0% - 7,5% masuk kedalam spesifikasi.

Penurunan nilai VFA diakibatkan oleh meningkatnya nilai VMA. Dengan jumlah aspal yang sama jika rongga antar agregat (VMA) semakin besar maka persentase rongga yang terisi aspal (aspal yang menyelimuti agregat) semakin kecil.



#### 4. Hubungan kadar *styrofoam* dengan stabilitas

Pemeriksaan 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. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan arloji ukur stabilitas dikali dengan nilai kalibrasi *proving ring* dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi tebal benda uji.



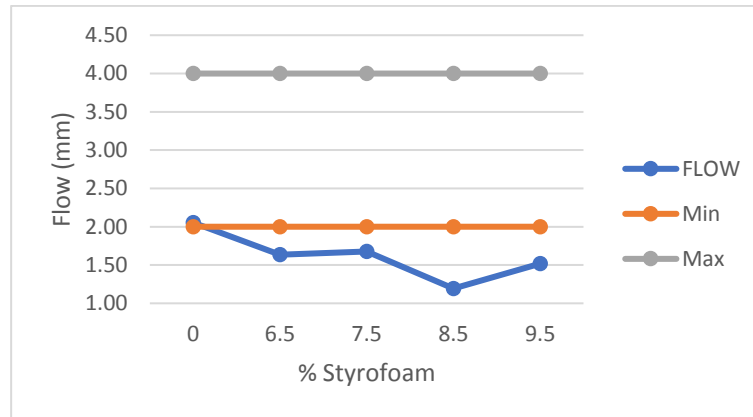
Gambar 5.8 Hubungan kadar *styrofoam* dengan stabilitas

Pada grafik di atas terlihat bahwa nilai stabilitas kadar 0% sebesar 1307,36 kg, nilai stabilitas pada campuran *styrofoam* dengan kadar 6,5% sebesar 1357,32 kg, nilai stabilitas pada campuran kadar 7,5% yaitu 1304,82 kg, kadar 8,5% sebesar 1345,33 kg, dan kadar 9,5% sebesar 1329,18 kg. Berdasarkan spesifikasi persyaratan bina marga untuk nilai stabilitas minimum adalah 800 kg.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas yang dihasilkan oleh campuran tersebut tinggi, hal itu karena *styrofoam* cenderung meningkatkan kekakuan aspal.

#### 5. Hubungan kadar *styrofoam* dengan *flow*

*Flow* menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Nilai *flow* diperoleh dari arloji *flowmeter* yang dinyatakan satuan mm. Untuk hasil nilai *flow* pada setiap campuran ditunjukkan pada Gambar 5.9.

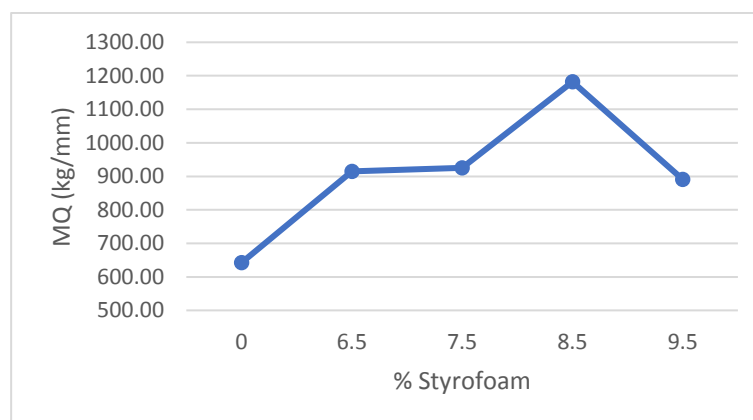


Gambar 5.9 Hubungan kadar *styrofoam* dengan *flow*

Nilai *flow* yang didapat dari pengujian pada campuran kadar 0% sebesar 2,05 mm, kadar 6,5% sebesar 1,63 mm, kadar 7,5% sebesar 1,68 mm, kadar 8,5% sebesar 1,19 mm, kadar 9,5% sebesar 1,52 mm. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga untuk nilai *flow* adalah sebesar 2 mm - 4 mm, dilihat dari pengujian campuran aspal dan *styrofoam* diatas bahwa nilai *flow* tidak masuk kedalam spesifikasi, ini dikarenakan sifat aspal yang dicampur dengan *styrofoam* mengakibatkan benda uji lebih kaku sehingga mudah terdeformasi dan getas.

#### 6. Hubungan kadar *styrofoam* dengan *Marshall Quotient*

*Marshall quotient (MQ)* dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai MQ suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah pembagian butir agregat, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.



Gambar 5.10 Hubungan kadar *styrofoam* dengan MQ

Nilai MQ pada kadar 0% sebesar 642,21 kg/mm, kadar 6,5% sebesar 914,40 kg/mm, kadar 7,5% sebesar 925,30 kg/mm, nilai tertinggi didapat pada kadar 8,5% sebesar 1182,08 kg/mm, kadar 9,5% sebesar 890,88 kg/mm.

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa nilai MQ cenderung meningkat dari kadar 0% sampai kadar 8,5% dan mengalami penurunan pada kadar 9,5%. Hal itu menunjukkan bahwa pencampuran dengan *styrofoam* mengakibatkan campuran menjadi kaku. Namun pada kadar 9,5% campuran mulai fleksibel kembali, ini dapat dikaitkan dengan faktor yang mempengaruhi MQ yaitu kohesi dan temperatur. Karena perubahan komposisi kimia dalam aspal mengakibatkan berubahnya sifat kohesi dan viskositasnya terhadap temperatur.

Hasil pengujian *marshall* untuk masing-masing kadar *styrofoam* ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil pemeriksaan *marshall* dengan variasi kadar *styrofoam*

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar <i>styrofoam</i> terhadap aspal				
			0%	6,5%	7,5%	8,5%	9,5%
1	VIM	3-5%	4,71	4,78	4,89	7,51	8,07
2	VMA	Min 15%	17,15	17,22	17,21	17,49	19,77
3	VFA	Min 65%	72,75	72,31	71,66	61,75	59,25
4	Stabilitas	Min 800 Kg	1307,36	1357,32	1304,82	1345,33	1329,18
5	<i>Flow</i>	2-4 mm	2,05	1,63	1,68	1,19	1,52
6	MQ	kg/mm	642,21	914,40	925,30	1182,08	890,88

Dilihat dari tabel diatas nilai campuran aspal dan *styrofoam* yang baik terdapat pada kadar 7,5% karena hanya nilai *flow* yang tidak masuk ke dalam spesifikasi sedangkan untuk nilai parameter *marshall* yang lain pada campuran kadar 7,5% masuk kedalam spesifikasi. Ini dapat diakibatkan oleh suhu pemanasan yang dibutuhkan untuk melunakkan *styrofoam* terlalu tinggi yaitu mencapai 200 °C sehingga mengakibatkan rusaknya atau hilangnya sifat kimia yang ada pada aspal (suhu pemanasan aspal 140-170 °C).