

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Hasil dari pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus ditunjukkan dalam Tabel 5.1 sesuai spesifikasi umum bidang jalan raya dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum (2010).

Tabel 5.1 Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Hasil	Standar
Agregat Kasar					
1	Abrasi	≤ 40	%	36,4	SNI 2417 : 2008
2	Berat jenis curah <i>Bulk</i>	-	-	2,61	SNI 1969 : 2008
3	Berat jenis semu <i>Apparent</i>	$\geq 2,5$	-	2,68	SNI 1969 : 2008
4	Berat jenis efektif	-	-	2,63	SNI 1969 : 2008
5	Penyerapan	≤ 3	%	1,09	SNI 1969 : 2008
Agregat Halus					
1	Berat jenis curah <i>Bulk</i>	-	-	2,43	SNI 1970 : 2008
2	Berat jenis semu <i>Apparent</i>	$\geq 2,5$	-	2,48	SNI 1970 : 2008
3	Berat jenis efektif	-	-	2,63	SNI 1970 : 2008
4	Penyerapan	≤ 3	%	0,92	SNI 1970 : 2008

Sumber: Hasil pengujian di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan UMY 2017

Dari hasil pengujian pada Tabel 5.1 diatas dapat dilihat bahwa agregat yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi syarat, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar campuran dalam penelitian ini. Berat jenis efektif diperoleh sebesar 2,63 yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya.

B. Hasil Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan dalam pengujian adalah aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Hasil dari pengujian aspal diberikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian aspal pen.60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	61	60	70	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek	°C	54,5	48	58	SNI 2434 : 2011
3	Titik Nyala	°C	350,4	232	-	SNI 2433 : 2011
4	Daktilitas	Cm	> 100	100	-	SNI 2432 : 2011
5	Berat Jenis	gr/cm ³	1,02	1	-	SNI 2441 : 2011

Tabel 5.2, menunjukkan bahwa pengujian penetrasi rata-rata adalah 61 dmm. Hasil ini masih berada dalam batas untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu antara 60 – 70. Hasil pengujian titik lembek 54,5 °C masih berada pada rentang spesifikasi yaitu 48 – 58 °C. Hasil pengujian titik nyala adalah 350,4 °C diatas batas minimal 232 °C. Pengujian daktilitas sudah melebihi batas minimal 100 cm dan untuk berat jenis aspal murni 1,02 sudah memenuhi spesifikasi minimal 1,0.

C. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) diperoleh menggunakan pemeriksaan terhadap karakteristik *Marshall* yaitu nilai kerapatan (*density*), VMA (*Voids in the Mineral Aggregate*), VITM (*Voids in the Mix*), VFWA (*Voids Filled with Asphalt*), Stabilitas, kelelahan plastis (*Flow*), dan MQ (*Marshall Quotient*). Hasil dari pengujian *Marshall* tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian *Marshall* untuk penentuan KAO

No.	Parameter	Spesifikasi	Kadar Aspal terhadap berat campuran			
			5%	5,5%	6%	6,5%
1	<i>Density</i>	-	2,24	2,31	2,24	2,27
2	VMA	Min. 15%	19,25	17,21	20,21	19,38
3	VITM	3-5%	8,29	4,78	7,07	4,91
4	VFWA	Min. 65%	57,01	72,52	65,30	74,7
5	Stabilitas	800 kg	1519,69	1400,74	1244,71	1178,80
6	<i>Flow</i>	2-4 mm	2,57	2,10	4,57	3,10
7	MQ	Min. 250 kg/mm	608,34	677,45	282,78	383,05

Dari hasil tersebut nilai KAO didapat berdasarkan jumlah terbanyak dari hasil masing-masing parameter yang memenuhi spesifikasi. Tabel 5.4 memaparkan hasil masing-masing parameter dengan spesifikasinya.

Tabel 5.4 Hasil pengujian kadar aspal optimum

No.	Parameter	Spesifikasi	5%	5,5%	6%	6,5%
1	Density	-	—			
2	VMA	Min. 15%	—			
3	VITM	3-5%		—		—
4	VFWA	Min. 65%		—		
5	Stabilitas	800 kg	—			
6	Flow	2-4 mm	—			—
7	MQ	Min. 250 kg/mm	—			

Dari hasil yang terdapat dalam Tabel 5.4, kadar aspal 5%, VITM tidak memenuhi syarat sedangkan pada kadar 6% VITM dan *flow* tidak memenuhi syarat. Hal tersebut kemungkinan karena terjadi ketidak samaan perlakuan pada saat penumbukan benda uji. Kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah 5,5% dan 6,5%. Kadar 5,5% dipilih karena pada kadar tersebut sudah mampu memenuhi spesifikasi terhadap parameter *Marshall*.

D. Hasil Pengujian Aspal Styrofoam

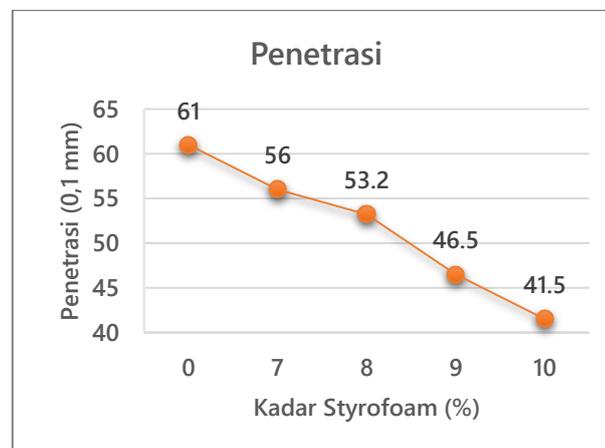
Pengujian yang dilakukan untuk membandingkan sifat fisik campuran aspal dan *styrofoam* pada penelitian ini meliputi pemeriksaan berat jenis, titik leleh, dan penetrasi. Pencampuran aspal dengan *styrofoam* dilakukan dengan memanaskan aspal sampai suhu 280°C kemudian potongan-potongan kecil *styrofoam* dimasukkan dan dicampur dengan aspal. Teknik pencampuran ini dilakukan karena *styrofoam* memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari pada aspal sehingga diperlukan suhu pencampuran yang tinggi pula. Namun teknik pencampuran tersebut berdampak pada perubahan sifat kimia aspal yakni berubahnya komposisi mineral pada aspal. Berdasarkan Sukirman (2003), semakin panas dan lama pencampuran membuat kandungan minyak dan *resins* dalam aspal semakin berkurang sehingga sebagian besar komposisi aspal yang tertinggal adalah *asphaltenes*. Oleh karena itu, aspal menjadi semakin getas, keras, dan titik

lembeknya meningkat. Hasil yang diperoleh dari pengujian campuran aspal dengan *styrofoam* dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil pemeriksaan campuran aspal dan *styrofoam*

No.	Kadar <i>styrofoam</i> (%)	Penetrasi (0,1 mm)	Titik lembek (°C)	Berat jenis
1	0	61	54,5	1,02
2	7	56	56	1,03
3	8	53,2	57	1,04
4	9	46,5	59	1,04
5	10	41,5	60	1,11

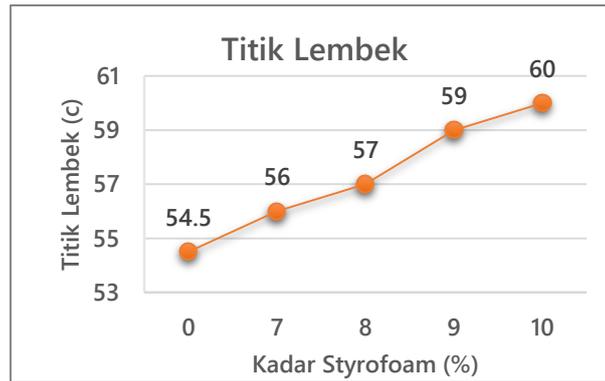
Hasil pengujian penetrasi campuran aspal dengan *styrofoam* pada Tabel 5.5 ditunjukkan pada Gambar 5.1 sebagai berikut:



Gambar 5.1 Hubungan kadar *styrofoam* dengan penetrasi

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa *styrofoam* yang dicampurkan ke dalam aspal mengakibatkan perubahan sifat fisik aspal yaitu pada tingkat keras lunaknya aspal. Semakin banyak persentase *styrofoam* yang dicampurkan kedalam aspal maka akan mengakibatkan aspal menjadi semakin keras. Hal tersebut dilihat dari nilai penetrasi yang secara berangsur mengalami penurunan akibat penambahan kadar *styrofoam*. Nilai penetrasi yang semakin kecil berarti aspal tersebut semakin keras. Berdasarkan Sukirman (2003), pengerasan pada aspal dapat diakibatkan oleh oksidasi, penguapan, dan perubahan kimiawi lain. Reaksi kimia dapat mengubah *resins* menjadi *asphaltenes*, dan *oils* menjadi *resins*, yang secara keseluruhan dapat meningkatkan viskositas aspal.

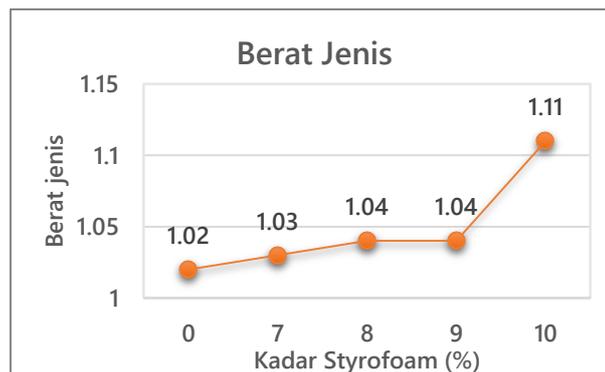
Hasil pengujian titik lembek campuran aspal dengan *styrofoam* pada Tabel 5.5 ditunjukkan pada Gambar 5.2 sebagai berikut:



Gambar 5.2 Hubungan kadar *styrofoam* dengan titik lembek

Seiring dengan bertambahnya persentase kadar *styrofoam* yang dicampurkan dengan aspal maka titik lembek cenderung meningkat. Berdasarkan Sukirman (2003), kepekaan aspal terhadap suhu dipengaruhi oleh komposisi kimia aspal. Titik lembek meningkat karena aspal telah mengalami berbagai macam tahap pencampuran dengan *styrofoam*. Mulai dari pemanasan yang berlebihan, pencampuran dengan *styrofoam*, hingga didinginkan kembali, baru kemudian diuji titik lembek. *Styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk meningkatkan titik lembek jika diperlukan pada situasi tertentu dimana diperlukan titik lembek yang lebih tinggi dari temperatur permukaan jalan agar tidak terjadi pelelehan aspal dipermukaan jalan.

Hasil pengujian berat jenis campuran aspal dengan *styrofoam* pada Tabel 5.5 ditunjukkan pada Gambar 5.3 sebagai berikut:



Gambar 5.3 Hubungan kadar *styrofoam* dengan berat jenis

Berat jenis aspal digunakan dalam perencanaan campuran aspal dan agregat. Gambar 5.3 menunjukkan bahwa semakin besar persentase *styrofoam* yang dicampurkan dengan aspal mengakibatkan peningkatan berat jenis aspal. Peningkatan berat jenis aspal selain disebabkan karena penambahan *styrofoam* juga

dapat diakibatkan dari berkurangnya minyak dan *resins* pada komposisi aspal sehingga yang tertinggal lebih banyak adalah *asphaltenes*.

E. Hasil dan Pembahasan Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk menentukan analisis hubungan antara perubahan kadar *styrofoam* dengan parameter *Marshall* yaitu VITM, VMA, VFWA, stabilitas, *flow*, dan MQ. Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* untuk masing-masing kadar *styrofoam* yang telah diperoleh berdasarkan rata-rata dari tiga benda uji. Hasil tersebut dikemukakan dalam Tabel 5.6.

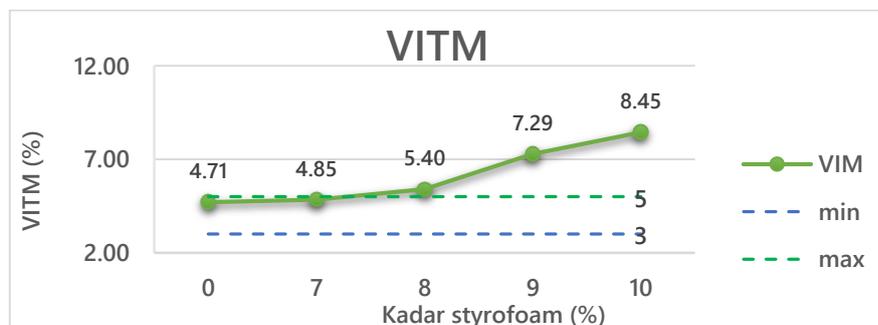
Tabel 5.6 Hasil pemeriksaan *Marshall* dengan variasi kadar *styrofoam*

No.	Parameter	Kadar penggantian <i>styrofoam</i> (%)				
		0	7	8	9	10
1	VITM	4,71	4,85	5,40	7,29	8,45
2	VMA	17,15	17,17	17,55	19,19	19,59
3	VFWA	72,75	72,00	69,26	62,16	56,89
4	Stabilitas	1307,36	1348,92	1392,13	1223,74	1344,43
5	<i>Flow</i>	2,05	1,21	1,18	1,32	1,82
6	QM	642,21	1215,28	1194,53	930,54	832,98

Berikut adalah pembahasan dari masing-masing parameter *Marshall* yang telah diperoleh berdasarkan pengujian:

1. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VITM

VITM (*voids in the mix*) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal dinyatakan dengan persentase terhadap volume beton aspal padat.



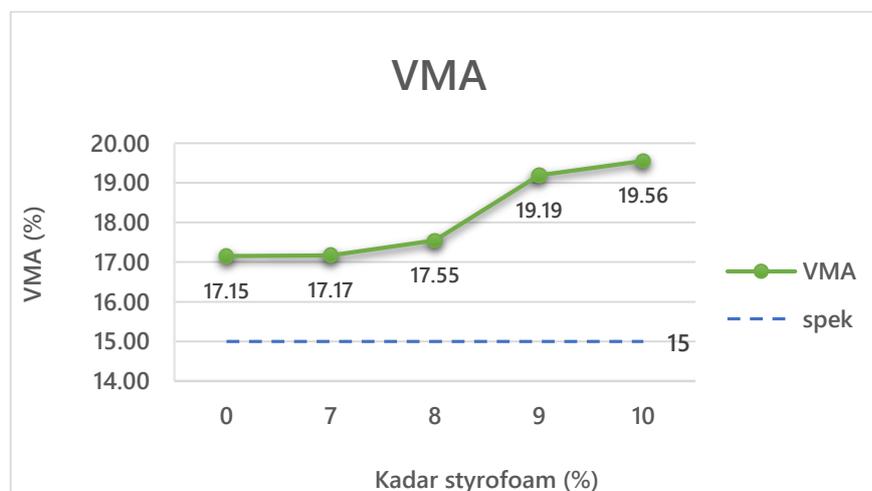
Gambar 5.4 Hubungan kadar *styrofoam* dengan VITM

Sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan raya dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum (2010), VITM untuk campuran AC-WC mempunyai batas yaitu antara 3 – 5%. Sukirman (2003) menjelaskan bahwa VITM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi akibat repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal menjadi lunak akibat meningkatnya suhu. VITM yang terlalu besar berakibat pada kurangnya kedekatan terhadap air dan udara sehingga akan mengakibatkan lapisan perkerasan mudah teroksidasi dan mengalami kerusakan. VITM yang terlalu kecil menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding* jika suhu meningkat.

Dari Gambar 5.4 dapat diketahui bahwa pada kadar 0 – 7% VITM masih memenuhi spesifikasi, VITM cenderung meningkat seiring peningkatan persentase *styrofoam*. Hal ini kemungkinan diakibatkan karena sifat aspal yang dicampur dengan *styrofoam* akan cenderung lebih keras dan memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari aspal murni sehingga sulit untuk merekatkan butir-butir agregat pada suhu pemadatan yang sama dengan pada aspal murni.

2. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VMA

VMA (*voids in the minerals aggregate*) adalah banyaknya pori antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat dinyatakan dalam persentase dari volume campuran beton aspal. Nilai VMA ditentukan batas minimalnya oleh Departemen Pekerjaan Umum (2010) yaitu 15 % karena jika VMA terlalu rendah maka dapat terjadi *bleeding* (Sukirman, 2003).

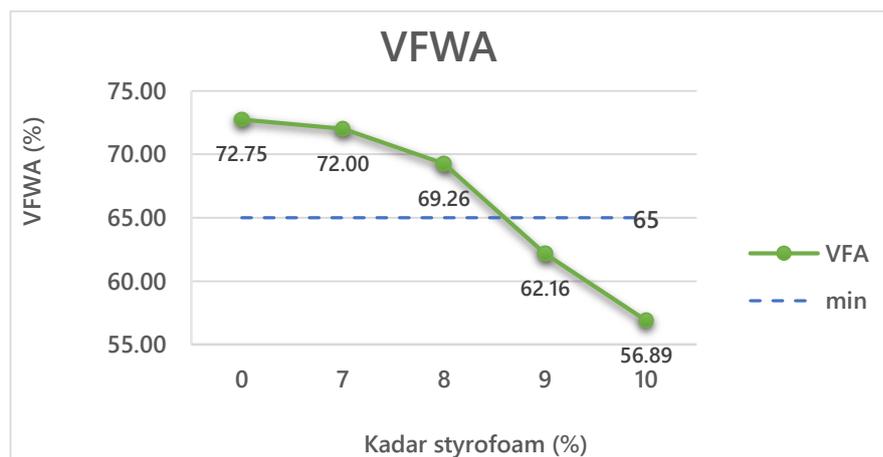


Gambar 5.5 Hubungan kadar *styrofoam* dengan VMA

Gambar 5.5 menunjukkan bahwa semakin besar kadar *styrofoam* yang digunakan VMA semakin meningkat. VMA cenderung meningkat kemungkinan diakibatkan karena sifat aspal yang dicampur *styrofoam* akan meningkatkan kekerasan maupun titik lembek aspal sehingga suhu optimal yang dibutuhkan untuk pemadatan juga akan berubah.

3. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VFWA

VFWA (*voids filled with asphalt*) adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal. VFWA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal tidak termasuk aspal yang terserap oleh agregat dengan demikian, aspal yang mengisi VFWA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat (Sukirman, 2003). Departemen Pekerjaan Umum (2010) mensyaratkan nilai minimal yaitu 65 %.



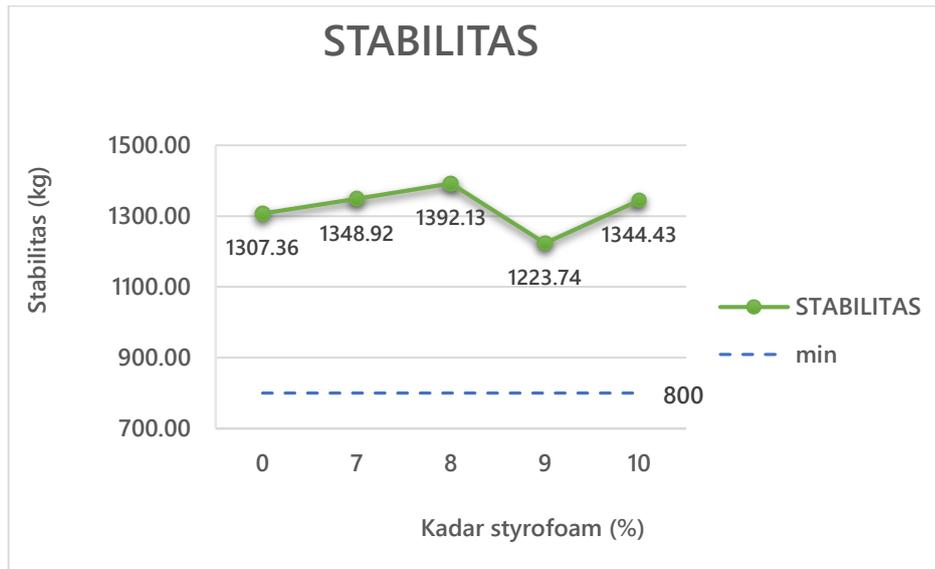
Gambar 5.6 Hubungan kadar *styrofoam* dengan VFWA

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa pada kadar *styrofoam* 0 – 8% VFWA masih memenuhi syarat. Peningkatan kadar *styrofoam* mengakibatkan penurunan VFWA. Penurunan nilai VFWA diakibatkan oleh meningkatnya nilai VMA. Dengan jumlah aspal yang sama, jika nilai rongga antar agregat (VMA) semakin besar maka persentase rongga yang terisi aspal (aspal yang menyelimuti agregat) akan semakin kecil.

4. Hubungan kadar *styrofoam* dengan stabilitas

Pemeriksaan stabilitas digunakan untuk mengukur kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas

diperoleh dari pembacaan arloji ukur stabilitas yang dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring* dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi tebal benda uji. Nilai stabilitas minimum yang disyaratkan Bina Marga adalah 800 kg. Gambar 5.7 menunjukkan bahwa pada benda uji dengan pencampuran *styrofoam* cenderung mempunyai nilai yang lebih tinggi dari benda uji tanpa *styrofoam* kecuali pada kadar 9%.

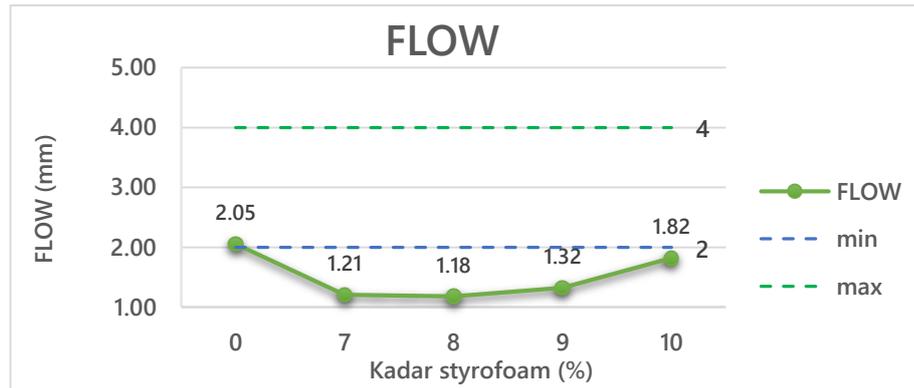


Gambar 5.7 Hubungan kadar *styrofoam* dengan stabilitas

Sukirman (2003) menyebutkan bahwa stabilitas dipengaruhi oleh gesekan internal antar agregat dan sifat kohesi aspal. Sifat kohesi aspal dipengaruhi oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimia aspal, efek waktu dan umur aspal. Stabilitas berubah seiring dengan perubahan kimia atau komposisi dalam aspal. Stabilitas yang tinggi dibutuhkan untuk lalu lintas tinggi sebaliknya untuk lalu lintas ringan tidak dibutuhkan stabilitas yang tinggi. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada kadar *styrofoam* 8% yaitu sebesar 1392,13 kg.

5. Hubungan kadar *styrofoam* dengan *flow*

Flow (pelelehan) adalah besarnya deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi akibat beban sampai batas keruntuhan. Nilai *flow* diperoleh dari arloji *flowmeter* yang dinyatakan dalam satuan mm.

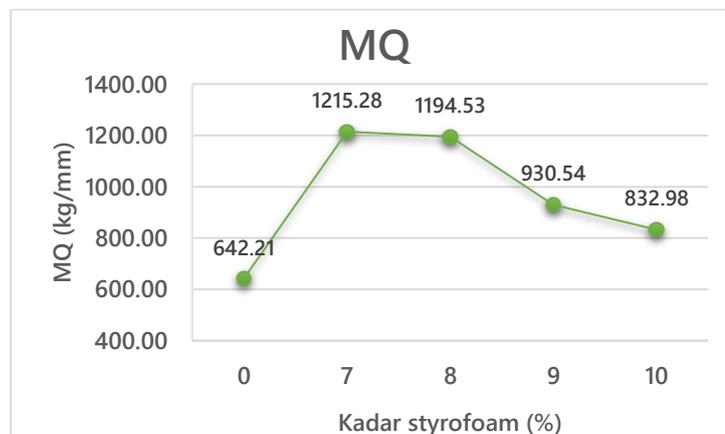


Gambar 5.8 Hubungan kadar *styrofoam* dengan *flow*

Penggunaan *styrofoam* cenderung menurunkan nilai *flow* dibandingkan dengan benda uji tanpa *styrofoam*. Pada penambahan *styrofoam* semua benda uji tidak ada yang memenuhi syarat bina marga untuk *flow* yaitu antara 2 – 4 mm. Kurva terbentuk seperti parabola, nilai *flow* semakin menurun sampai pada kadar 8% dan semakin meningkat seiring peningkatan kadar *styrofoam*. Hal tersebut bisa dikarenakan susunan mineral aspal yang dicampur dengan *styrofoam* berubah dan membuat sifat aspal semakin keras dan titik lembek meningkat sehingga membuat campuran dengan agregat menjadi kurang fleksibel.

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

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio dari stabilitas terhadap kelelehan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran (Sukirman, 2003). Semakin tinggi nilai MQ semakin kaku suatu campuran. Faktor yang mempengaruhi MQ adalah pembagian butir agregat, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.



Gambar 5.9 Hubungan kadar *styrofoam* dengan MQ

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa nilai MQ cenderung meningkat dari kadar 0% sampai 7% dan berangsur menurun sampai pada kadar 10%. Hal itu dapat diartikan bahwa pencampuran dengan *styrofoam* mengakibatkan sifat campuran menjadi kaku. Namun seiring bertambahnya kadar *styrofoam* dalam aspal, campuran mulai fleksibel kembali hal itu dapat dikaitkan dengan faktor yang mempengaruhi MQ yaitu kohesi dan temperatur. Karena perubahan komposisi kimia dalam aspal menyebabkan berubahnya sifat kohesi dan viskositasnya terhadap temperatur.