

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam percobaan ini berasal dari desa Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Hasil pemeriksaan bahan susun campuran benda uji agregat kasar disajikan dalam Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil pengujian agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian	
				Minimal	Maksimal
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,606	-	-
p2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,682	2,5	-
3	Berat jenis efektif	-	2,629	-	-
4	Penyerapan	%	1,092	-	3
5	Pengujian Abrasi	%	36,4	-	40

Pada tabel 5.1 di atas dapat disimpulkan bahwa agregat yang digunakan pada penelitian ini memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan pada SNI 1969 ; 2008 dan SNI 2417 : 2008, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan dalam pengujian ini sebagai bahan dasar campuran aspal dari penelitian ini.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan juga berasal dari desa Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Hasil pengujian agregat halus disajikan dalam tabel 5.2

Table 5.2 Hasil pengujian agregat halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian	
				Minimal	Maksimal
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,429	-	-
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,484	-	-
3	Berat jenis efektif	-	2,629	-	-
4	Penyerapan	%	0,916	-	3

Pada tabel 5.2 dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan pada penelitian ini memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan pada SNI 1970 ; 2008 , sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan dalam pengujian ini sebagai bahan dasar campuran aspal dari penelitian ini.

B. Hasil Pengujian Aspal

Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat sehingga agregat tidak mudah lepas akibat lalu lintas. Aspal merupakan hasil produksi dari bahan – bahan alam sehingga aspal harus diperiksa di laboratorium untuk mengetahui sifat – sifat dari aspal. Aspal yang dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran harus memenuhi syarat yang telah ditentukan. Hasil pengujian aspal dapat disimpulkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian aspal keras 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	34	232	-
4	Daktilitas	Cm	> 100	100	-
5	Berat Jenis	gr/cm ³	1,02	1	-

Dilihat dari hasil pengujian aspal pada Tabel 5.3 dapat disimpulkan bahwa pada pengujian penetrasi didapatkan nilai rata – rata 61 dmm. Hasil ini memenuhi persyaratan yang ditentukan pada SNI 06-2456-1991 dengan nilai minimal penetrasi 60 dan nilai maksimal 70.

Pada pengujian titik lembek aspal diperoleh nilai rata – rata sebesar 54,5°C. Nilai titik lembek pada yang diperoleh telah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan pada SNI 2434 : 2011 dengan minimal nilai titik lembek adalah 48 °C dan nilai maksimal titik lembek adalah 58°C.

Pada pengujian titik nyala aspal diperoleh sebesar 350,4 °C, dimana pada persyaratan SNI 2433 : 2011 nilai minimal untuk pengujian titik nyala adalah 232 °C sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian titik nyala pada pengujian ini memenuhi persyaratana yang telah ditentukan.

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengukur fleksibilitas aspal yang digunakan. Nilai minimum untuk pengujian daktilitas yang disyaratkan pada SNI 2432 : 2011 adalah 100 cm. pada pengujian ini didapatkan nilai daktilitas lebih dari 100 cm, sehingga pengujian daktilitas aspal yang digunakan memenuhi persyaratan.

Pada pengujian berat jenis aspal diperoleh nilai rata – rata sebesar 1,02 gr/cc, sehingga aspal yang digunakan dalam pengujian ini memenuhi persyaratan dalam SNI 2441 : 2011 dengan nilai minimal berat jenis 1 gr/cc.

C. Hasil Pengujian *Marshall* Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan kadar aspal pada suatu perancangan perkerasan. Penentuan kadar aspal optimum ini harus dilakukan secara tepat karena pada penentuan kadar aspal optimum ini akan dihasilkan kadar aspal yang telah memenuhi persyaratan dalam pengujian *Marshall*. Untuk menentukan kadar aspal optimum dapat menggunakan dengan formula yang terdapat pada 3.1.

Penggunaan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan perkerasan jalan mudah runtuh, sedangkan apabila kadar aspal terlalu banyak akan mengakibatkan aspal meleleh keluar (*bleeding*). Berikut adalah hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO yang terdapat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengujian *Marshall*

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal			
			6%	6.50%	7%	7.5%
1	VFWA	Min 68%	65,94	71,18	70,51	69,88
2	VITM	4%-6 %	6,83	5,83	6,47	6,97
3	VMA	Min 18%	19,99	20,14	21,67	23,05
4	<i>Stability</i>	Min 800 Kg	1317,93	1231,2	1244,8	1264,6
5	<i>Flow</i>	>3 mm	3.35	3.786	4.8	3.423
6	MQ	Min 250 Kg/mm	393,67	331,96	259.335	369.9

Dari hasil tersebut nilai KAO didapat berdasarkan jumlah terbanyak dari masing – masing parameter yang memenuhi spesifikasi. Tabel 5.5 menunjukkan hasil masing – masing parameter dengan spesifikasinya.

Tabel 5.5 Hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan Kadar Aspal Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal			
			6%	6.5%	7%	7.5%
1	VFWA	Min 68%				
2	VITM	4%-6%				
3	VMA	Min 18%				
4	<i>Stability</i>	Min 800 Kg				
5	<i>Flow</i>	>3 mm				
6	MQ	Min 250 Kg/mm				

Sehingga didapat kadar aspal optimum adalah 6.5 %

Dari Tabel 5.5 di atas dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah 6.5 %. Sehingga kadar aspal optimum yang digunakan sebesar 6.5 % karena pada nilai VMA, VIM, VFWA, Stabilitas (*stability*), Kelelahan

(*Flow*) dan *Marshall Quotient* (MQ) yang memiliki nilai yang memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).

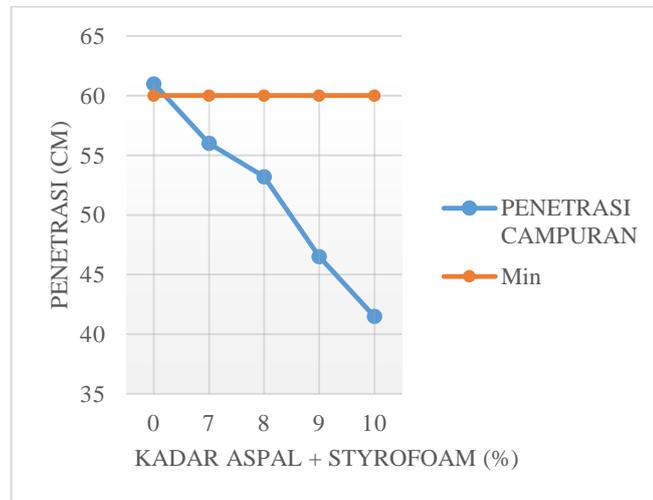
D. Hasil Penelitian Aspal – *Styrofoam*

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. Pengujian aspal *styrofoam* sangat penting dilakukan untuk dapat mengetahui perbandingan dari sifat fisik campuran aspal dan *styrofoam* yang meliputi penetrasi, titik lembek dan berat jenis. Teknik pencampuran untuk aspal *styrofoam* ini dilakukan dengan memotong Styrofoam menjadi kecil – kecil kemudian dicampurkan dengan aspal yang telah dipanaskan kemudian di aduk hingga rata. Pada pencampuran ini suhu aspal mencapai 280°C. hal ini dikarenakan suhu leleh *styrofoam* lebih tinggi dari aspal. Pencampuran aspal Styrofoam dengan suhu tinggi ini mengakibatkan perubahan komposisi mineral pada aspal. Semakin tinggi suhu akan membuat kandungan *resins* dan minyak dalam aspal semakin berkurang sehingga kandungan aspal yang tersisa adalah *asphaltnes*. Sehingga hal ini mengakibatkan aspal memiliki nilai titik lembek yang tinggi, lebih kaku dan keras, Hasil pengujian aspal dan *styrofoam* ditunjukkan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil pengujian aspal *styrofoam*

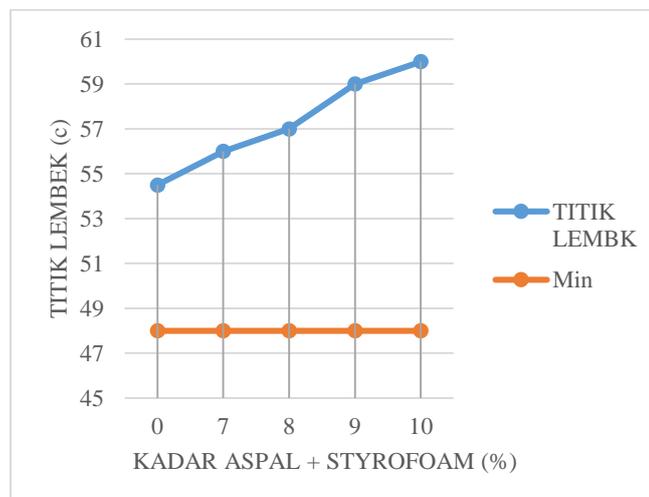
No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil
1	Penetrasi 0 %	0,1 mm	61
2	Penetrasi 7%	0,1 mm	56
3	Penetrasi 8%	0,1 mm	53.2
4	Penetrasi 9%	0,1 mm	46.5
5	Penetrasi 10%	0,1 mm	41.5
6	Titik Lembek 0%	°C	54.5
7	Titik Lembek 7%	°C	56
8	Titik Lembek 8%	°C	57
9	Titik Lembek 9%	°C	59
10	Titik Lembek 10%	°C	60
11	Berat Jenis 0%	gr/cm ³	1.02
12	Berat Jenis 7%	gr/cm ³	1.029
13	Berat Jenis 8%	gr/cm ³	1.035
14	Berat Jenis 9%	gr/cm ³	1.035
15	Berat Jenis 10%	gr/cm ³	1.11

Berdasarkan hasil Tabel 5.6 hasil pengujian penetrasi dapat ditunjukkan sebagai berikut :



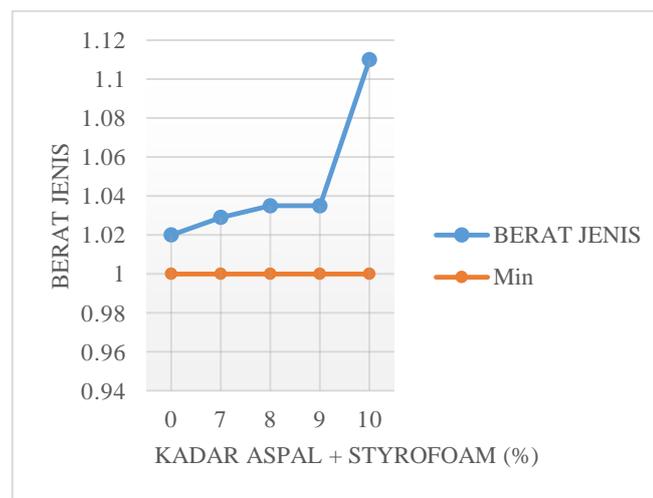
Gambar 5.1 Hubungan kadar aspal *styrofoam* dengan penetrasi.

Pada grafik pengujian penetrasi di atas menunjukkan hasil campuran aspal dengan penambahan kadar *styrofoam* sebesar 7%, 8%, 9% dan 10% cenderung mengalami penurunan. Semakin banyak kadar *styrofoam* yang ditambah maka semakin rendah nilai penetrasi yang didapatkan. Hal ini dikarenakan pencampuran *styrofoam* akan mempengaruhi tingkat keras lunaknya aspal. Semakin banyak kadar *styrofoam* yang digunakan maka akan semakin keras. Nilai penetrasi semakin kecil menunjukkan aspal semakin keras. Semakin kerasnya aspal dapat dipengaruhi oleh penguapan dan perubahan sifat kimiawi pada aspal yang lain.



Gambar 5.2 Hubungan kadar aspal *styrofoam* dengan titik lembek.

Pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa hasil pengujian titik lembek yang diperoleh dari pengujian menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar *styrofoam* yang digunakan nilai titik lembek semakin mengalami peningkatan. Hal ini dapat dipengaruhi pada tahap pencampuran aspal dan *styrofoam* dengan suhu yang tinggi hingga proses pengujian titik lembek. Titik lembek aspal harus lebih tinggi daripada suhu permukaan jalan agar tidak terjadi pelelehan aspal dipermukaan jalan.



Gambar 5.3 Hubungan kadar aspal *styrofoam* dengan berat jenis.

Pada grafik berat jenis diatas dapat disimpulkan bahwa pengujian berat jenis yang diperoleh cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar *styrofoam*. Hal ini dikarenakan berkurangnya minyak dan resins pada komposisi aspal yang mengakibatkan asphaltenes lebih banyak yang tersisa.

E. Hasil dan Pembahasan Pengujian *Marshall* Aspal – *Styrofoam*

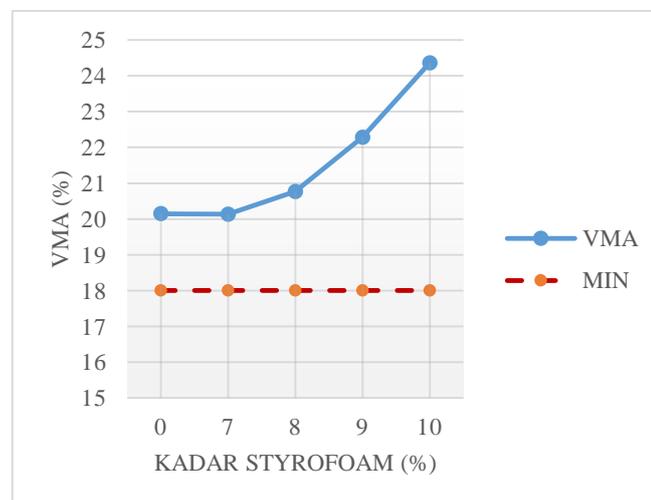
1. Pengaruh Presentase *Styrofoam* Terhadap Nilai VMA (*Voids in the Mineral Agregat*)

VMA (*Voids in the Mineral Agregat*) adalah rongga diantara agregat dalam campuran aspal agregat yang telah dipadatkan dan dinyatakan dalam presentase dari volume campuran aspal agregat. Nilai VMA yang besar dapat dipengaruhi oleh kadar aspal, bentuk dan gradasi agregat serta cara pemadatan. Nilai VMA dapat berpengaruh terhadap ketahanan dari campuran aspal. Nilai VMA ditentukan dalam spesifikasi umum bidang jalan raya Depetemen

Pekerjaan Umum (2010) sebesar 18%. Nilai hasil pengujian VMA dapat ditunjukkan pada tabel 5.8 dan Gambar 5.4

Tabel 5.7 Nilai VMA untuk masing – masing campuran

KADAR ASPAL	KADAR <i>STYROFOAM</i> (%)	VMA (%)
6,5 %	0 %	20,146
	7 %	20,134
	8 %	20,766
	9 %	22,248
	10 %	24,361



Gambar 5.4 Hubungan antara VMA dan variasi kadar *Styrofoam*.

Pada Gambar 5.4 menunjukkan bahwa semakin besar kadar *styrofoam* yang digunakan maka semakin besar nilai VMA yang didapatkan. Hal ini dikarenakan sifat aspal jika dicampur dengan *styrofoam* akan cenderung kaku sehingga sulit untuk merektkan butir – butir agregat sehingga jarak rongga antar agregat akan semakin besar dan aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal. Nilai VMA akan meningkat jika diselimuti aspal yang lebih tebal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka (Sukirman, 2003).

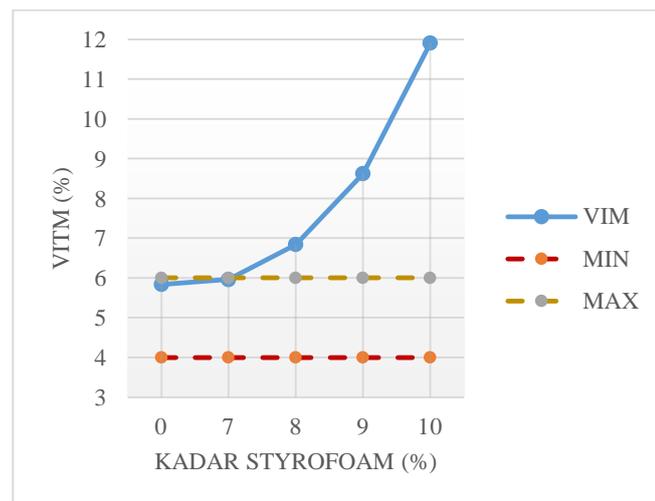
2. Pengaruh Presentase *Styrofoam* Terhadap Nilai VITM (*Voids in The Mix*)

VITM (*Voids in The Mix*) adalah rongga diantara butir – butir agregat yang diselimuti oleh aspal dinyatakan dengan presentase terhadap volume

beton aspal padat. Semakin besar nilai VITM maka dapat mengakibatkan campuran kurang kedap air, sehingga dapat meningkatkan proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan dapat menurunkan durabilitas campuran, apabila nilai VITM terlalu kecil dapat mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding jika suhu meningkat (Sukirman, 2003).

Tabel 5.8 Nilai VITM untuk masing – masing campuran

KADAR ASPAL	KADAR <i>STYROFOAM</i> (%)	VITM (%)
6,5 %	0 %	5,83
	7 %	5,96
	8 %	6,84
	9 %	8,58
	10 %	11,9



Gambar 5.5 Hubungan antara VITM dan variasi kadar *styrofoam*.

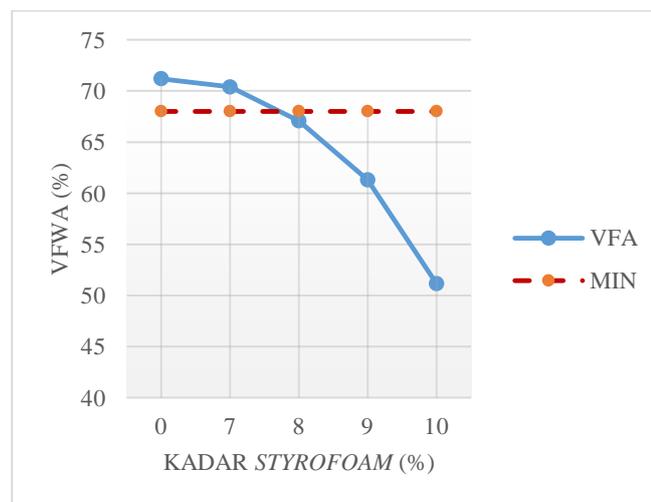
Pada Gambar 5.5 menunjukkan bahwa semakin besar kadar *styrofoam* yang digunakan maka semakin besar nilai VITM yang didapatkan. Hal ini kemungkinan terjadi karena sifat aspal jika di campur dengan *styrofoam* akan cenderung lebih kaku dan memiliki nilai titik leleh yang lebih tinggi daripada aspal murni sehingga sulit untuk merekatkan butir – butir agregat pada suhu pemadatan yang sama pada aspal murni. Nilai VITM sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan raya Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran HRS – WC minimum 4% dan nilai maksimum 6%.

3. Pengaruh Presentase *Styrofoam* Terhadap Nilai VFWA (*Voids Filled With Agregat*)

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 agregat didalam beton aspal (Sukirman, 2003). Nilai hasil pengujian VFWA dapat ditunjukkan pada tabel 5.10 dan Gambar 5.6

Tabel 5.9 Nilai VFWA untuk masing – masing campuran

KADAR ASPAL	KADAR <i>STYROFOAM</i> (%)	VFWA (%)
6,5 %	0 %	71,18
	7 %	70,38
	8 %	67,06
	9 %	61,42
	10 %	51,15



Gambar 5.6 Hubungan antara VFWA dan variasi kadar *styrofoam*.

Pada Gambar 5.6 menunjukkan bahwa semakin besar kadar *styrofoam* yang digunakan maka semakin rendah nilai VFWA yang didapatkan. Hal ini dikarenakan aspal yang mengisi rongga antar agregat (VMA) sedikit sehingga rongga udara besar mengakibatkan agregat yang diselimuti aspal kecil yang dapat menyebabkan campuran tidak tahan lama. Nilai VFWA sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan raya Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada

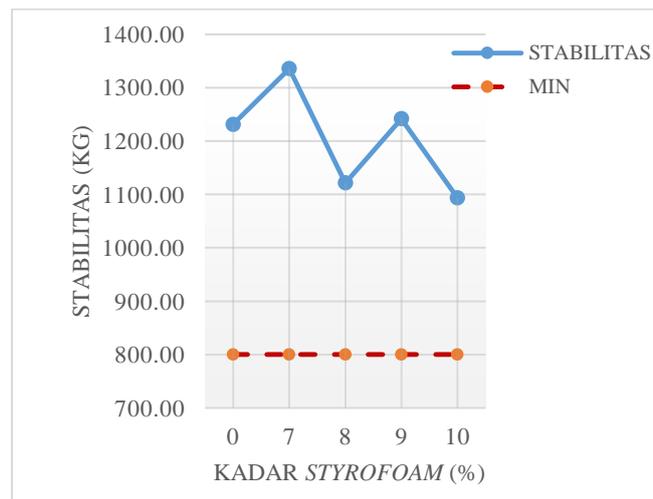
campuran HRS – WC adalah > 68 . Maka untuk kadar *styrofoam* 0%- 8% memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

4. Pengaruh Presentase *Styrofoam* Terhadap Nilai Stabilitas (*Stability*)

Nilai stabilitas dapat menunjukkan besarnya kemampuan benda uji menahan beban sampai terjadi keruntuhan. Semakin tinggi nilai stabilitas maka semakin besar beban lalu lintas yang ditahan, tetapi nilai stabilitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan campuran menjadi kaku sehingga mudah mengalami retak – retak saat menerima beban lalu lintas. Sebaliknya semakin rendah nilai stabilitas maka akan mudah mengalami kerusakan alur (*rutting*). Berdasarkan Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3), persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.

Tabel 5.10 Nilai Stabilitas untuk masing – masing campuran

KADAR ASPAL	KADAR <i>STYROFOAM</i> (%)	STABILITAS (Kg)
6,5 %	0 %	1231,2
	7 %	1335,7
	8 %	1121,45
	9 %	1241,56
	10 %	1093,33



Gambar 5.7 Hubungan antara stabilitas dan variasi kadar

Stabilitas dapat dipengaruhi oleh sifat kohesi aspal dan gesekan antar agregat (Sukirman, 2003). Perubahan nilai dalam stabilitas dapat dipengaruhi karena perubahan komposisi yang ada di dalam aspal. Nilai stabilitas tertinggi pada kadar *styrofoam* 7% sebesar 1335,7 Kg.

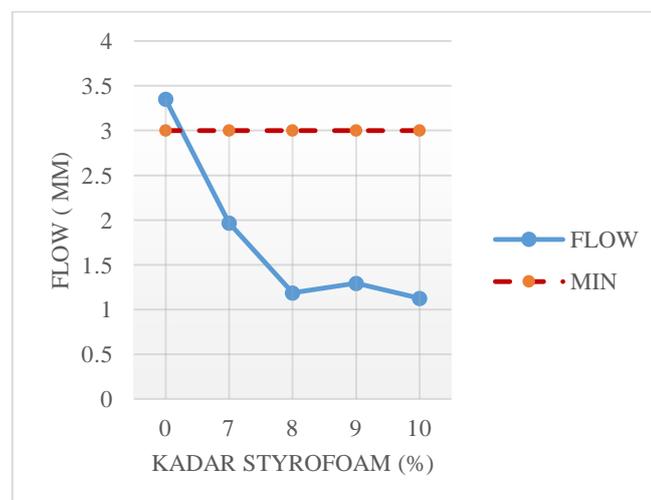
5. Pengaruh Presentase *Styrofoam* Terhadap Nilai Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya penurunan suatu campuran yang terjadi akibat beban yang dinyatakan dalam satuan mm. Nilai kelelehan dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi aspal, viskositas dan temperatur pemadatan.

Nilai kelelehan rendah dan dengan nilai stabilitas yang tinggi cenderung akan menghasilkan campuran yang semakin kaku, sehingga mengakibatkan mudah retak apabila menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sebaliknya apabila nilai kelelehan yang tinggi maka akan bersifat plastis yang mengakibatkan perubahan bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi.

Tabel 5.11 Nilai Kelelehan untuk masing – masing campuran

KADAR ASPAL	KADAR <i>STYROFOAM</i> (%)	KELELEHAN (mm)
6,5 %	0 %	3,35
	7 %	1,967
	8 %	1,187
	9 %	1.293
	10 %	1.125



Gambar 5.8 Hubungan antara *flow* dan variasi kadar *styrofoam*.

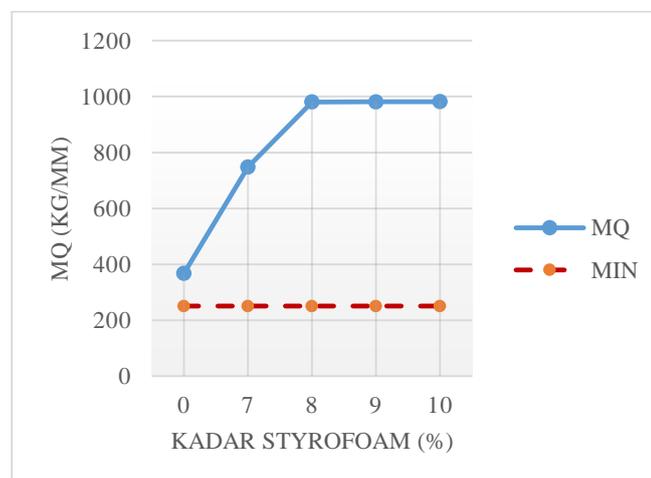
Sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan raya dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum (2010) nilai kelelahan (*flow*) memiliki batas minimum sebesar 3 mm. Semakin banyak kadar *styrofoam* yang digunakan nilai kelelahan yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini dikarenakan susunan mineral pada aspal yang di campur dengan *styrofoam* berubah dan mengakibatkan sifat aspal memiliki titik lembek yang tinggi dan aspal lebih keras dapat membuat campuran akan menjadi kurang fleksibel.

6. Pengaruh Presentase *Styrofoam* Terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai dari *Marshall Quotient* (MQ) menunjukkan sifat kekakuan suatu campuran. Apabila nilai MQ semakin tinggi menunjukkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Sebaliknya apabila nilai MQ yang didapatkan rendah maka campuran akan lebih plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. *Marshall Quotient* (MQ) adalah rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran (Sukirman, 2003).

Tabel 5.12 Nilai *Marshall* untuk masing – masing campuran

KADAR ASPAL	KADAR <i>STYROFOAM</i> (%)	MQ (Kg/mm)
6,5 %	0 %	364.18
	7 %	739.04
	8 %	958,4
	9 %	965,59
	10 %	981,85



Gambar 5.9 Hubungan antara MQ dan variasi kadar *styrofoam*.

Sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan raya Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3) maka nilai MQ pada campuran HRS - WC dengan pengujian *Marshall* adalah sebesar 250 kg/mm. Pada grafik di atas menunjukkan bahwa campuran HRS-WC untuk berbagai variasi penggunaan *styrofoam* memenuhi syarat yang ditetapkan untuk nilai MQ yaitu lebih dari 250 kg/mm. Nilai MQ cenderung semakin meningkat dengan bertambahnya penggunaan kadar *styrofoam*. Campuran yang baik adalah campuran yang memiliki nilai MQ di atas rata-rata tetapi tidak terlalu besar. Campuran yang memiliki nilai MQ dibawah rata – rata akan menyebabkan perkerasan lentur dan campuran yang memiliki nilai MQ terlalu besar akan menyebabkan perkerasan kaku dan menimbulkan retak.

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

Tabel 5.13 Perbandingan MQ benda uji dengan aspal murni dan benda uji dengan aspal bercampur *styrofoam*

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar <i>styrofoam</i> terhadap aspal				
			0%	7%	8%	9%	10%
1	VFWA (%)	min 68	71,185	70,389	67,062	61,429	51,153
2	VITM (%)	4-6%	5,83	5,96	6,84	8,58	11,9
3	VMA (%)	min 18%	20,146	20,134	20,766	22,248	24,361
4	Stabilitas(kg)	Min 800 Kg	1231,2	1335,7	1121,45	1241,56	1093.3
5	<i>Flow</i> (mm)	min 3 mm	3.35	1.967	1.1867	1.2933	1.125
6	MQ (kg/mm)	min 250 Kg/mm	367,8	748,4	980,8	965.59	981.85

Dilihat dari tabel diatas kadar aspal *styrofoam* yang baik digunakan adalah kadar 7%, karena semua nilai parameter *Marshall* memenuhi spesifikasi kecuali nilai *flow* yang tidak sesuai dengan spesifikasi.

