

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengujian Agregat

Penelitian ini menggunakan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. 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>	-	2,606	-	-	SNI 1969 : 2008
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,682	2,5	-	SNI 1969 : 2008
3	Berat jenis efektif	-	2,606	-	-	SNI 1969 : 2008
4	Penyerapan	%	1,092	-	3	SNI 1969 : 2008
5	Pengujian Abrasi	%	36,4	-	40	SNI 2417 : 2008
<b>II. Agregat Halus</b>						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,429	-	-	SNI 1970 : 2008
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,484	2,5	-	SNI 1970 : 2008
3	Berat jenis efektif	-	2,429	-	-	SNI 1970 : 2008
4	Penyerapan	%	0,915	-	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. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Hasil pengujian aspal diberikan dalam Tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Hasil pengujian aspal keras HRS-WC 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 <sup>3</sup>	1,02	1	-	SNI 2441 : 2011

Berdasarkan hasil dari 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. 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 lebih dari 100 cm, sehingga aspal yang digunakan memenuhi syarat.

Dari hasil pengujian terhadap sifat titik lembek dan nilai 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).

Dari hasil pemeriksaan berat jenis aspal diperoleh nilai sebesar 1,02 gr/cm<sup>3</sup> sehingga aspal dalam penelitian ini memenuhi syarat SNI 2441 : 2011 yaitu minimal 1 gr/cm<sup>3</sup>.

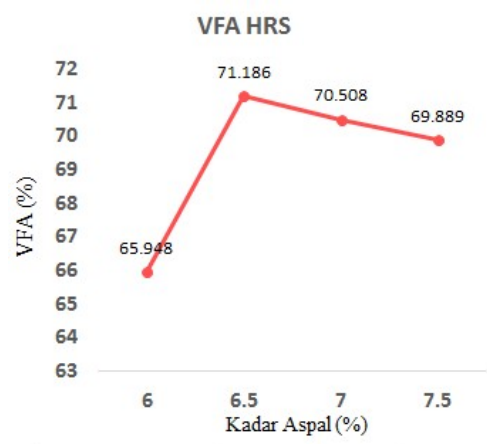
### C. Hasil Pengujian *Marshall* Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

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 KAO ini akan dihasilkan kadar aspal yang telah memenuhi persyaratan dalam pengujian *Marshall*. Untuk menentukan KAO dapat menggunakan formula 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 5.3 dan Gambar 5.1 sampai 5.7.

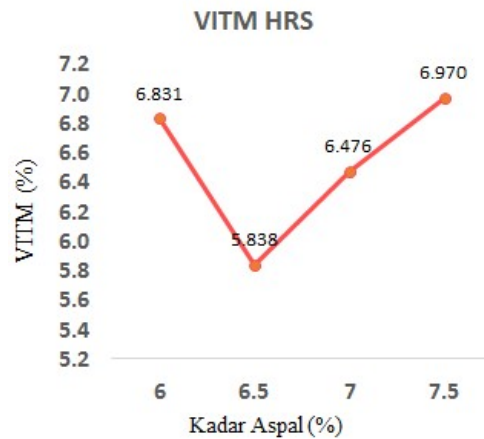
**Tabel 5.3** Hasil pengujian marshall

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal			
			6%	6,5%	7%	7,5%
1	Density		2,238	2,245	2,214	2,187
2	VFA	Min 68%	65,948	71,186	70,508	69,889
3	VITM	4-6	6,831	5,838	6,476	6,970
4	VMA	Min 18%	19,99	20,15	21,67	23,055
5	Stability	Min 800 Kg	1317,93	1231,20	1244,8	1264,61
6	Flow	>3	3,35	3,79	4,80	3,42
7	MQ	Min 250 Kg/mm	393,67	331,96	259,34	369,99



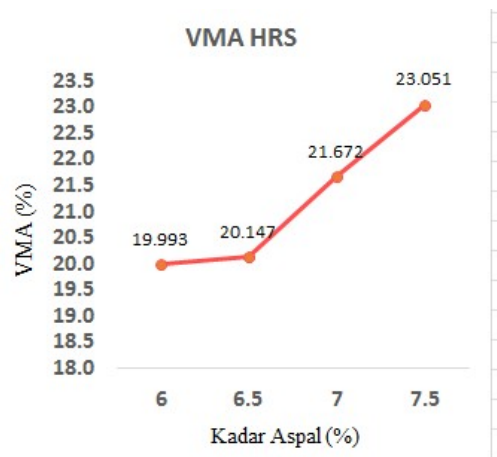
**Gambar 5.1** Hubungan antara VFA dan kadar aspal

Pada gambar 5.1 menunjukkan grafik hubungan antara VFA dengan kadar aspal. Persyaratan yang telah ditetapkan untuk nilai VFA adalah min 68%. Nilai VFA sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.



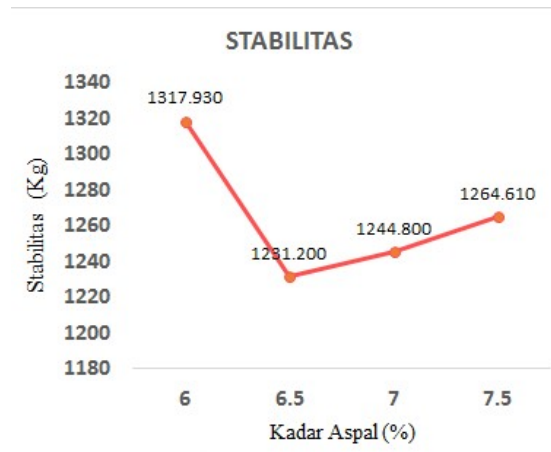
**Gambar 5.2** Hubungan antara VITM dan kadar aspal

Pada gambar 5.2 menunjukkan grafik hubungan antara VITM dengan kadar aspal. Persyaratan yang telah ditetapkan untuk nilai VITM adalah min 4 - 8. Nilai VITM pada pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa untuk kadar aspal 6,5% memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sedangkan pada kadar aspal 6%, 7% dan 7,5% tidak memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Nilai pada kadar 6% lebih tinggi dibandingkan nilai pada kadar 6,5% kemungkinan disebabkan oleh kurang telitinya saat melakukan pembuatan benda uji.



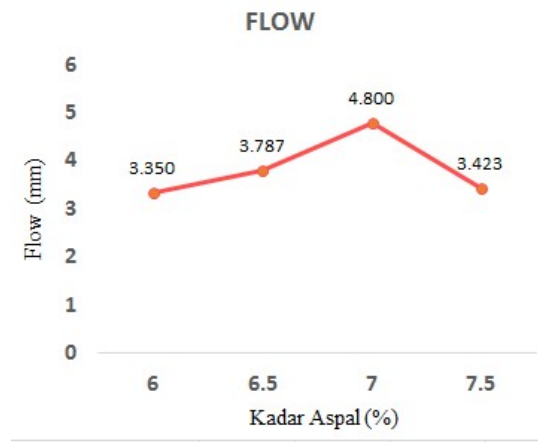
**Gambar 5.3** Hubungan nilai VMA dan kadar aspal

Pada gambar 5.3 menunjukkan grafik hubungan antara VMA dengan kadar aspal. Persyaratan yang telah ditetapkan untuk nilai VMA adalah min 18%. Nilai VMA pada pengujian yang didapat memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.



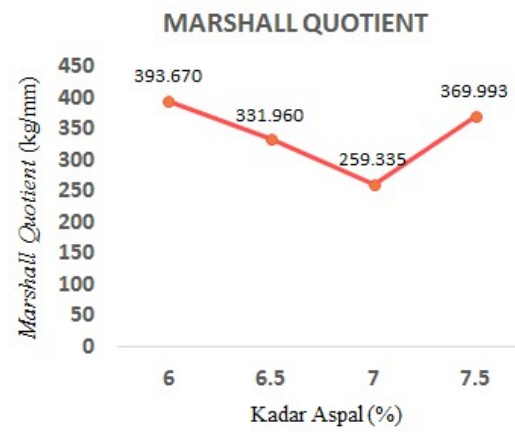
**Gambar 5.4** Hubungan stabilitas dan kadar aspal

Pada gambar 5.4 menunjukkan grafik hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal. Persyaratan yang telah ditetapkan untuk nilai stabilitas minimal 800 kg/mm. Nilai stabilitas pada pengujian yang didapat memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.



**Gambar 5.5** Hubungan *flow* dan kadar aspal

Pada gambar 5.5 menunjukkan grafik hubungan antara *flow* dengan kadar aspal. Persyaratan yang telah ditetapkan untuk nilai *flow* adalah  $> 3$ . Nilai *flow* pada pengujian yang didapat memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.



**Gambar 5.6** Hubungan antara *Marshall Quotient* dan kadar aspal

Pada gambar 5.6 menunjukkan grafik hubungan antara *MQ* dengan kadar aspal. Persyaratan yang telah ditetapkan untuk nilai *MQ* minimal 250 kg/mm. Nilai *MQ* pada pengujian yang didapat memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

Dari gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.7 dapat disimpulkan ke dalam grafik untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) seperti pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4** Hasil pengujian marshall untuk me nentukan Kadar Aspal Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal			
			6%	6.5%	7%	7.5%
1	Density		[Red horizontal line across all columns]			
2	VFA	Min 68%	[Red horizontal line across all columns]			
3	VITM	4-6		[Red horizontal line]		
4	VMA	Min 18%	[Red horizontal line across all columns]			
5	Stability	Min 800 Kg	[Red horizontal line across all columns]			
6	Flow	>3	[Red horizontal line across all columns]			
7	MQ	Min 250 Kg/mm	[Red horizontal line across all columns]			

Dari Tabel 5.4 di atas dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah 6.5 %. Nilai kadar aspal optimum yang digunakan sebesar 6.5 % karena pada nilai VMA, VIM, VFWA, Stabilitas (*stability*), Kelelehan (*Flow*) dan *Marshall Quotient* (MQ) yang memiliki nilai yang

memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).

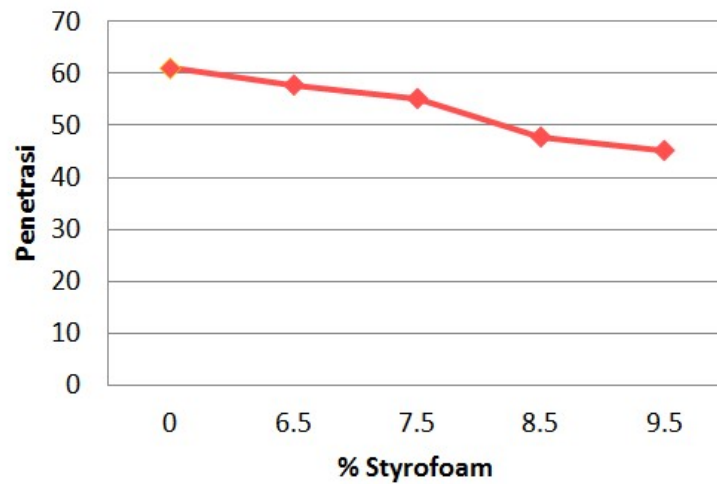
#### D. Hasil Pengujian Aspal *Styrofoam*

*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 5.5.

**Tabel 5.5** Hasil pengujian aspal *styrofoam*

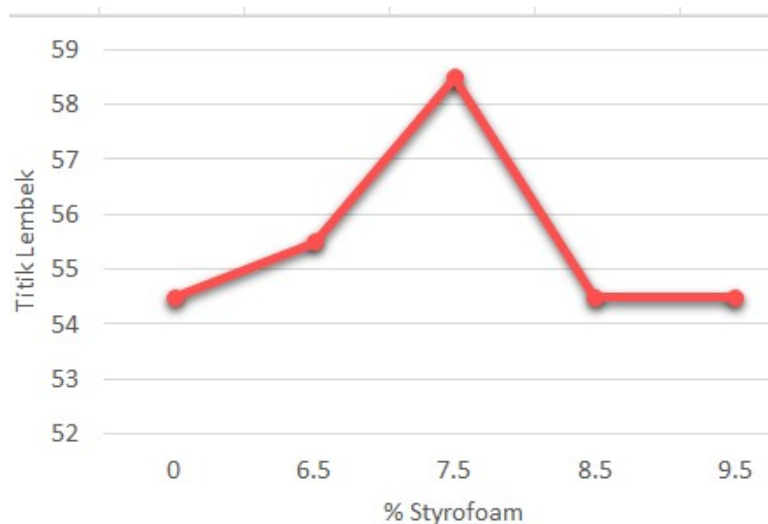
No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi 6,5%	0,1 dmm	57,8	40	-	SNI 06-2456-1991
2	Penetrasi 7,5%	0,1 dmm	55,2	40	-	SNI 06-2456-1991
3	Penetrasi 8,5%	0,1 dmm	47,8	40	-	SNI 06-2456-1991
4	Penetrasi 9,5%	0,1 dmm	45,2	40	-	SNI 06-2456-1991
5	Titik Lembek 6,5%	°C	55,5	54	-	SNI 2434 : 2011
6	Titik Lembek 7,5%	°C	58,5	54	-	SNI 2434 : 2011
7	Titik Lembek 8,5%	°C	54,5	54	-	SNI 2434 : 2011
8	Titik Lembek 9,5%	°C	54,5	54	-	SNI 2434 : 2011
9	Berat Jenis 6,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,017	1	-	SNI 2441 : 2011
10	Berat Jenis 7,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,032	1	-	SNI 2441 : 2011
11	Berat Jenis 8,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,03	1	-	SNI 2441 : 2011
12	Berat Jenis 9,5%	gr/cm <sup>3</sup>	1,05	1	-	SNI 2441 : 2011

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.5, hasil pengujian Penetrasi, dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 5.7** Hubungan kadar *styrofoam* dengan Penetrasi

Berdasarkan Gambar 5.7, hasil penetrasi masih berada dalam batas untuk aspal yang dimodifikasi yaitu minimal 40. Nilai penetrasi aspal dengan penambahan *styrofoam* semakin rendah dengan semakin banyak 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 rendah penetrasi yang dihasilkan.

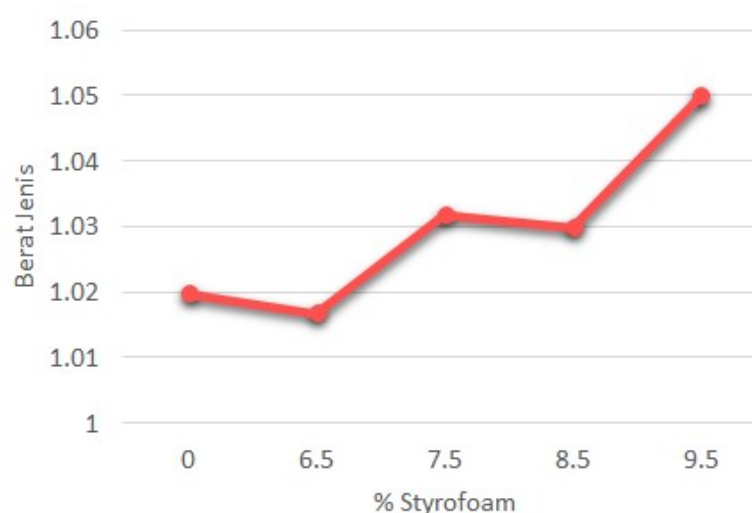


**Gambar 5.8** Hubungan kadar *styrofoam* dengan Titik Lembek



Pada Gambar 5.8 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 54,5°C, 55,5°C, 58,5°C, 54,5°C, dan 54,5°C dari kadar aspal *styrofoam* 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% dan 9,5%, dapat dilihat bahwa hasil pengujian elastisitas yang diperoleh dari pengujian tidak stabil seiring dengan penambahan *styrofoam* dalam campuran aspal. Hal ini terjadi karena sifat *styrofoam* yang cepat mengeras sehingga semakin banyak *styrofoam* maka aspal tidak dapat kembali ke bentuk semula atau tidak elastis.

Untuk hasil pengujian Berat jenis aspal *styrofoam*, digambarkan pada Gambar 5.10 berikut ini:



**Gambar 5.9** Hubungan kadar *styrofoam* dengan Berat Jenis

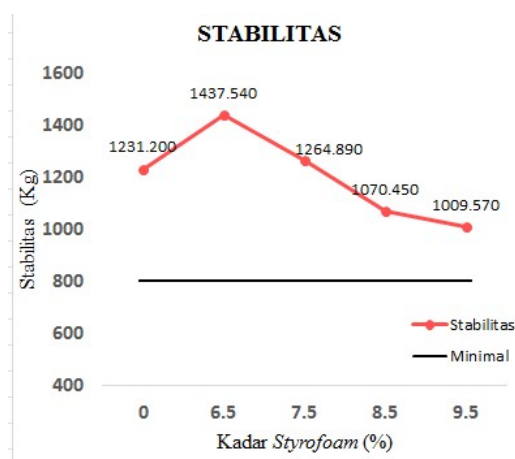
Berat jenis aspal *styrofoam* diperoleh 1,02 gr/cm<sup>3</sup>, 1,017 gr/cm<sup>3</sup>, 1,032 gr/cm<sup>3</sup>, 1,03 gr/cm<sup>3</sup>, dan 1,05 gr/cm<sup>3</sup> untuk kadar persen *styrofoam* 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% terhadap aspal. Pemeriksaan Elastisitas masih masuk dalam persyaratan SNI 2441 : 2011 yaitu dengan batas minimum 1 gr/cm<sup>3</sup>. Berat jenis yang dihasilkan pada pengujian menghasilkan data yang tidak stabil yang dapat dilihat dalam grafik diatas yang menghasilkan nilai grafik yang naik-turun/fluktuasi.

## E. Hasil dan Pembahasan Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk menentukan analisis hubungan antara perubahan kadar *styrofoam* dengan parameter Marshall yaitu Stabilitas, kelelahan, VITM, VMA, VFA.

### 1. 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 diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshall*. Nilai stabilitas untuk masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 5.10.



**Gambar 5.10** Hubungan kadar *styrofoam* dengan Stabilitas

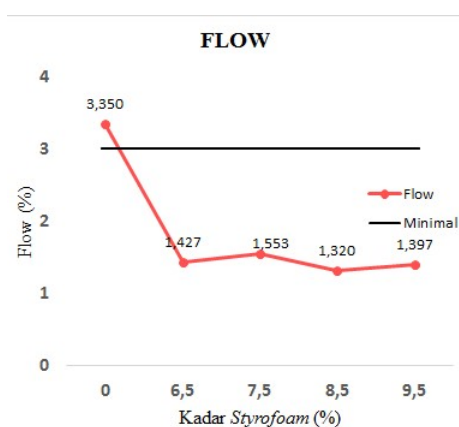
Dari grafik di atas terlihat bahwa hasil pada campuran 6,5% *styrofoam* mengalami kenaikan dibandingkan dengan campuran yang tanpa menggunakan *styrofoam*. Namun pada campuran 7,5%, 8,5%, dan 9,5% *styrofoam* nilai stabilitas mengalami penurunan. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada campuran menggunakan *styrofoam* pada kadar aspal 6,5%, yakni sebesar 1231.20 kg. Sedangkan nilai stabilitas terendah dicapai pada kadar aspal 9,5%, yakni sebesar 1009,57 kg, pada campuran 6,5% dan 7,5%

nilai stabilitas cenderung lebih tinggi dari pada tanpa campuran *styrofoam* dan pada campuran *styrofoam* pada kadar 8,5% dan 9,5% hal ini disebabkan karena *styrofoam* cenderung meningkatkan kekakuan aspal, sehingga mengurangi keelastisan pada campuran aspal yang berakibat pada meningkatnya stabilitas terhadap beban.

Berdasarkan Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3), persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg, sehingga dari campuran-campuran tersebut sudah memenuhi syarat minimal untuk stabilitas.

## 2. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Nilai flow diperoleh dari hasil pembacaan pada alat *Marshall*. Nilai kelelahan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat. Hasil kelelahan ditunjukkan dalam Gambar 5. 11.



**Gambar 5.11** Hubungan kadar *styrofoam* dengan kelelahan (*flow*)

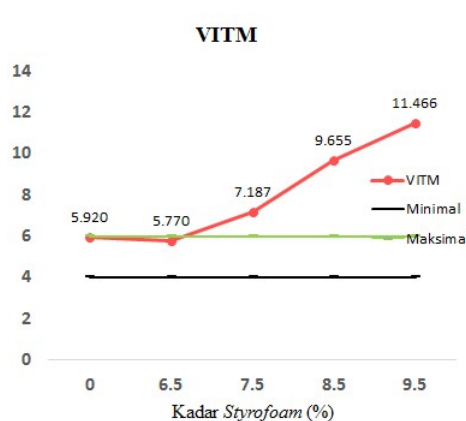
Penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti aspal dalam campuran HRS-WC cenderung tidak stabil sebagaimana terlihat di dalam grafik di atas, berdasarkan Gambar 5.11, nilai kelelahan terbesar yaitu pada campuran tanpa menggunakan *styrofoam* yaitu sebesar 3,35 mm dan masih memenuhi syarat Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3). Sedangkan pada kadar aspal 6,5%, 7,5%, 8,5% dan 9,5% yaitu 1,427 mm, 1,553 mm, 1,32 mm dan 1,397 mm, nilai *flow* pada penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti

aspal tidak memenuhi syarat karena nilai *flow* kurang dari 3 mm. Pada penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti aspal maka aspal 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*).

Penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti aspal campuran HRS-WC semakin mengurangi kelenturan campuran. Hal ini diakibatkan oleh mengerasnya aspal. Sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan Bina Marga, maka nilai kelelehan tidak boleh lebih kecil dari 3 mm. Hasil pengujian kelelehan pada *styrofoam* sebagai pengganti aspal tersebut tidak memenuhi untuk syarat kelelehan.

### 3. *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 4%-8%. Hasil nilai VITM ditunjukkan pada Gambar 5. 12.



**Gambar 5.12** Hubungan kadar *styrofoam* dengan VITM

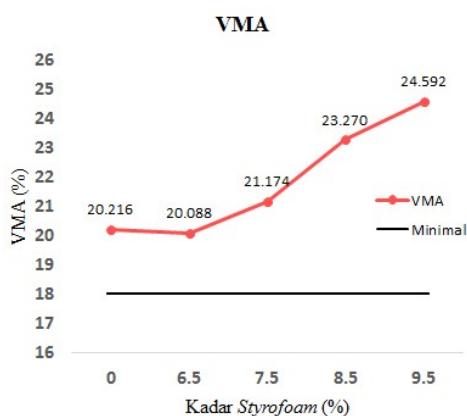
Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* pada campuran HRS-WC dapat menaikkan nilai VITM. Pada aspal campuran

*styrofoam* dengan kadar 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% nilai dari VITM mengalami kenaikan dengan nilai berturut-turut sebesar 5,770%, 7,187%, 9,654% dan 11,466% dibandingkan dengan aspal tanpa campuran *styrofoam* dengan nilai sebesar 5,920%. Nilai VITM dengan kadar *styrofoam* 0% dan 6,5%, masuk dalam Spesifikasi, namun pada kadar *styrofoam* 7,5%, 8,5% dan 9,5% tidak masuk dalam Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3).

Parameter yang berkaitan dengan nilai VITM adalah durabilitas dan kekuatan dari campuran. Nilai VITM yang besar mengakibatkan lapisan tidak kedap air dan udara sehingga dapat masuk ke dalam campuran. Dengan nilai VITM yang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan persentase *styrofoam* kemungkinan diakibatkan oleh sifat aspal yang dicampur dengan *styrofoam* akan cenderung lebih kaku 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.

#### 4. *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. 13.



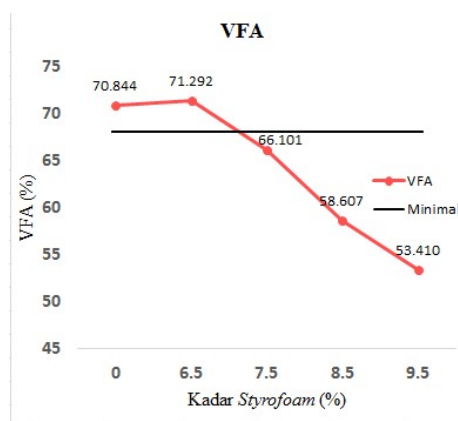
**Gambar 5.13** Hubungan kadar *styrofoam* dengan nilai VMA

Dari grafik di atas terlihat bahwa seiring penambahan *styrofoam* cenderung menaikkan nilai VMA. Pada campuran tanpa menggunakan *styrofoam* nilai VMA yakni sebesar 20,216% dan pada campuran menggunakan *styrofoam* dengan kadar 6,5%, 7,5%, 8,5% dan 9,5% mengalami kenaikan dengan nilai berturut-turut sebesar 20,088%, 21,174%, 23,270%, dan 24,592%.

Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya kadar *styrofoam* sebagai bahan campuran aspal ke dalam campuran HRS-WC, memberikan pengaruh terhadap berat isi campuran yang nilainya cenderung bertambah dan mengakibatkan kenaikan 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).

#### 5. *Voids Filled with Asphalt (VFA)*

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 VFA dapat dilihat pada Gambar 5. 14



**Gambar 5.14** Hubungan kadar *styrofoam* dengan VFA

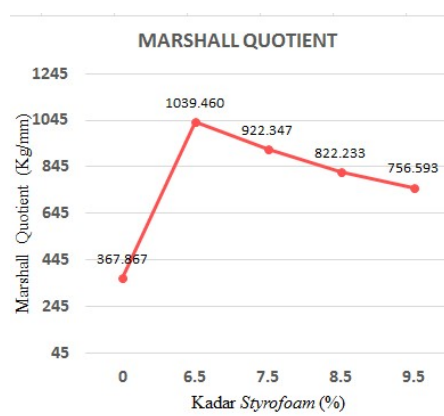
Dari grafik diatas didapat nilai VFA pada campuran *styrofoam* mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai VFA tanpa campuran *styrofoam*, nilai VFA tertinggi didapat dari aspal tanpa campuran *styrofoam*

dengan nilai sebesar 71,292%. Nilai VFA dari kadar *styrofoam* 0%, dan 6,5%, telah memenuhi spesifikasi minimum yang dipersyaratkan oleh Bina Marga untuk VFA sebesar 68% . Namun pada kadar *styrofoam* 7,5%, 8,5% dan 9,5% tidak memenuhi syarat Bina Marga karena nilai VFA kurang dari 65%.

Dengan bertambahnya penggunaan kadar *styrofoam* sebagai pengganti aspal cenderung menurunkan nilai VFA. Bertambahnya kadar *styrofoam* akan mengakibatkan semakin banyaknya rongga dalam campuran (VITM) yang merupakan bagian dari pembagi dalam menentukan nilai VFA. Selain itu, dengan masuknya *styrofoam* ke dalam campuran maka penyerapan aspal kedalam pori material akan semakin mengecil. Nilai VFA sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan raya Depetemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran HRS – WC adalah  $> 68$ . Maka untuk kadar *styrofoam* 0% dan 6,5% memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

## 6. Marshall Quotient (MQ)

*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. Hasil untuk pengujian MQ tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. 15.



**Gambar 5.15** Hubungan kadar aspal *styrofoam* dengan MQ.

Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* pada campuran HRS-WC dengan kadar 6,5% mengalami kenaikan secara drastis

yakni sebesar 1039,46 kg/mm dibandingkan dengan campuran tanpa menggunakan *styrofoam* yakni sebesar 364,18 kg/mm.

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa semua campuran HRS-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 menurun pada campuran yang menggunakan *styrofoam*, dengan bertambahnya penggunaan *styrofoam*.

Dari hasil parameter MQ tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *styrofoam* sebanyak 6,5% sampai 9,5% membuat campuran HRS-WC semakin lentur yang ditunjukkan dengan semakin menurunnya nilai MQ. *Marshall Quotient* dipengaruhi nilai stabilitas dan *flow*, karena nilai MQ merupakan hasil bagi dari nilai stabilitas dan *flow*.

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 5.6** Perbandingan MQ benda uji dengan aspal murni dan benda uji dengan aspal bercampur *styrofoam*.

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar <i>styrofoam</i> terhadap aspal				
			0%	6,5%	7,5%	8,5%	9,5%
1	VFA (%)	min 68%	70,843	71,292	66,101	58,607	53,410
2	VITM (%)	4-6%	5,920	5,770	7,187	9,655	11,466
3	VMA (%)	min 18%	20,216	20,088	21,174	23,270	24,592
4	Stability (kg)	Min 800 Kg	1231,2	1437,54	1264,89	1070,45	1009,57
5	Flow (mm)	>3 mm	3,35	1,427	1,553	1,320	1,397
6	MQ (kg/mm)	-	367,867	1039,46	922,347	822,233	756,593



Pada penelitian ini terlihat bahwa hanya beberapa kadar aspal *styrofoam* yang masuk ke dalam spesifikasi, sedangkan pada nilai kelelehan tidak ada yang masuk spesifikasi, hal ini disebabkan karena pemanasan yang terlalu berlebih pada saat pencampuran aspal dan *styrofoam*, pada saat pencampuran aspal *styrofoam* suhu yang digunakan adalah  $>200$  °C sampai *styrofoam* mencair dan tercampur dengan aspal, sedangkan pada aspal dengan suhu  $>200$  °C menyebabkan kerusakan pada aspal.