

Styrofoam sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan Kadar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% pada Campuran AC-WC

Emil Adly

Program Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan Bantul, Yogyakarta, 55183 Indonesia
E-mail: *eadly_zola@yahoo.co.id*

Abstrak

Penggunaan aspal murni dalam pembuatan jalan sangat mempengaruhi ketersediaan aspal yang ada di dunia. Untuk meminimalisir penggunaan aspal dalam pembuatan jalan maka digunakan aspal modifikasi. Aspal modifikasi berperan penting dalam mengurangi penggunaan aspal untuk pembuatan jalan. Hal ini dikarenakan aspal modifikasi terdiri campuran material lain yang digunakan sebagai material penyusun aspal. Ada beberapa material yang dapat digunakan sebagai material pencampur aspal yaitu salah satunya adalah styrofoam. Styrofoam digunakan didasarkan pada cukup banyaknya penggunaan dalam kehidupan sehari-hari tetapi sedikit dimanfaatkan. Metode yang digunakan pada pengujian ini adalah metode Marshall.

Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh campuran aspal modifikasi dengan metode Marshall pada campuran AC-WC. Dari hasil pengujian didapat kadar aspal optimum sebesar 5,5% dengan campuran kadar styrofoam yang diuji adalah 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5%. Pada pengujian penggantian aspal dengan styrofoam dilakukan pengujian Marshall, yang dapat menentukan nilai VMA, VIM, VFA, stabilitas, flow, dan MQ. Dari parameter-parameter nilai Marshall kadar terbaik didapat pada campuran kadar aspal dengan styrofoam 7,5%. Dari campuran aspal dengan styrofoam didapat nilai VMA sebesar 17,21%, nilai VIM sebesar 4,89%, nilai VFA sebesar 71,66%, nilai stabilitas sebesar 1304,82 kg, nilai flow sebesar 1,68 mm, dan nilai MQ sebesar 925,30 kg/mm.

Keywords: *Aspal Modifikasi, Pengujian Marshall, Styrofoam*

1. Pendahuluan

Jalan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan pembangunan di Indonesia. Kualitas jalan sebanding dengan tingkat kelancaran transportasi jalan. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas jalan raya adalah material yang digunakan dalam pembuatan jalan. Material yang digunakan dalam pembuatan jalan diantaranya adalah aspal dan agregat. Penggunaan aspal murni dalam pembuatan sangat mempengaruhi ketersediaan aspal yang ada di dunia. Untuk meminimalisir penggunaan aspal dalam pembuatan jalan maka digunakan aspal modifikasi. Aspal modifikasi terdiri campuran material lain yang digunakan sebagai material penyusun aspal. Pencampuran material tersebut membuat penggunaan aspal menjadi berkurang. Ada beberapa material yang dapat digunakan sebagai material pencampur aspal yaitu salah satunya adalah styrofoam. Styrofoam memiliki sifat yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Hal ini membuat styrofoam memiliki potensi menjadi material pencampur yang

digunakan untuk membuat aspal modifikasi. Styrofoam digunakan didasarkan pada cukup banyaknya penggunaan dalam kehidupan sehari-hari tetapi sedikit dimanfaatkan. Penggunaan aspal modifikasi menggunakan bahan campuran styrofoam masih harus melewati beberapa tahapan pengujian dan evaluasi. Pengujian dan evaluasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari aspal modifikasi apabila diterapkan sebagai material pembuatan jalan raya.

Adapun tujuan penelitian ini dibuat adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui sifat fisis aspal yang dicampurkan dengan limbah styrofoam
- 2) Mengetahui kadar aspal optimum yang diperlukan
- 3) Mengetahui pengaruh campuran aspal dengan metode *marshall*

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Fungsi perkerasan adalah memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis [1].

2.2. Styrofoam

Styrofoam merupakan suatu bahan sintesis yang banyak digunakan sebagai bahan pengganjal pada kemasan atau pengepakan barang-barang elektronik. Pada umumnya setelah tidak terpakai, Styrofoam ini dibuang begitu saja di tempat sampah. Penumpukan limbah Styrofoam di Tempat Pembuangan Akhir akan menimbulkan masalah yang baru, karena limbah ini sulit didaur ulang. Styrofoam adalah salah satu jenis polimer plastik yang bersifat termoplastik yang mana jika dipanaskan akan menjadi lunak dan mengeras kembali jika telah dingin. Bila dicampur dengan bensin, Styrofoam akan melunak dan dapat berfungsi sebagai perekat. Selain itu juga memiliki sifat tahan terhadap asam, basa, dan sifat korosif lainnya seperti garam dan memiliki sifat mudah larut dalam *hydrocarbon aromatic* [2].

2.3. Agregat

Agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar atau berupa fragmen-fragmen dan merupakan komponen utama dari lapis perkerasan: 90-95% berat, atau 75 – 85% volume.

Menurut Sukirman [1], sifat-sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan harus memenuhi:

- 1) Gradasi
Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, gradasi agregat menentukan besarnya rongga yang mungkin terjadi dalam suatu campuran. Agregat campuran yang terdiri agregat yang berukuran sama akan berongga banyak, karena tak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi
- 2) Ukuran maksimum agregat

Ukuran maksimum agregat ikut menentukan tebal minimum lapisan perkerasan yang mungkin dapat dilaksanakan

- 3) Kekuatan dan kekerasan
Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan degradasi akibat pecahnya butiran – butiran agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis, seperti gaya – gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan perkerasan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, kepanasan dan perubahan suhu sepanjang hari.

Faktor – faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat dan besarnya energi yang dialami oleh agregat tersebut.

- 1) Keawetan (soundness)
Keawetan adalah kemampuan bahan perkerasan untuk menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu, ataupun keausan akibat dari gesekan roda kendaraan, yang dapat mengakibatkan perubahan pada bahan pengikat (bitumen) dan mengelupasnya selaput bitumen dari agregat dan kehancuran agregat.
- 2) Bentuk dan tekstur permukaan agregat (*Surface texture*)
Bentuk butiran menyudut akan mempunyai angka gesek dalam (internal friction) yang tinggi dan saling mengunci (interlocking) sehingga menambah kestabilan konstruksi lapis keras. Penggunaan agregat yang pipih dan panjang selain mengurangi kestabilan konstruksi juga menimbulkan segregasi selama proses pencampuran. Bentuk dan tekstur mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Partikel agregat dapat berbentuk bulat (rounded), lonjong (elongated), kubus (cubical), pipih (flaky) dan tak beraturan (irregular). Berdasarkan jenis permukaan, agregat dibedakan atas agregat yang permukaannya kasar (rough), agregat yang permukaannya halus (smooth), agregat yang permukaannya licin dan mengkilap (glassy), dan agregat yang permukaannya berpori (porous). Gesekan timbul terutama pada partikel-partikel yang permukaannya kasar seperti ampelas. Sudut geser dalam antar partikel bertambah besar dengan semakin

bertambah kasarnya permukaan. Selain itu agregat kasar lebih mampu menahan deformasi yang timbul dan agregat dengan ikatan antara aspal.

- 3) Berat jenis
Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dengan berat dari volume air yang sama. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyak pori. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Disamping itu agregat dengan kadar pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak
- 4) Porositas
Semua agregat adalah porous, keporusan agregat menentukan banyaknya zat cair yang diserap oleh agregat. Kemampuan agregat untuk menyerap air (aspal) adalah suatu informasi yang penting yang harus diketahui dalam pembuatan campuran beraspal
- 5) Kebersihan permukaan
Kebersihan agregat ditentukan oleh banyaknya bahan impurities yang ada pada agregat seperti butiran yang lewat saringan no. 200, yaitu adanya lempung, lanau, ataupun adanya tumbuh-tumbuh pada campuran agregat. Apabila agregat mengandung butiran halus melebihi dari ketentuan, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah sebagai akibat dari butiran halus tersebut menghalangi ikatan aspal dengan agregat sehingga dapat berakibat nilai stabilitas rendah dan mudah lepasnya ikatan antara aspal dengan agregat
- 6) Daya lekat terhadap aspal (*afinitas agregat*)
Kelekatan agregat terhadap aspal adalah kecenderungan agregat untuk menerima, menyerap dan menahan lapisan aspal. Afinitas agregat adalah kecenderungan agregat untuk menerima dan menahan penyelimutan aspal. Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Agregat berupa diorit, andesit merupakan *hydro phobic* yaitu agregat yang mudah diresapi air, hal ini mengakibatkan agregat tersebut tak mudah terikat air, tetapi mudah terikat dengan aspal.

2.4. Asphalt Concrete Wearing Course (ACWC)

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan [1].

Asphalt concrete berdasarkan Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3) [3], lebih dikenal dengan istilah Lapis Aspal Beton (Laston). Berdasarkan fungsinya, aspal beton atau Asphalt concrete dapat diklasifikasikan menjadi:

- 1) AC-WC.
Wearing Course atau lapis aus merupakan lapis diatas pondasi. ACWC berfungsi sebagai lapis permukaan yang tahan cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis dibawahnya dari rembesan air.
- 2) Asphalt Concrete- Binder Course (AC-BC).
Binder Course atau lapis pengikat atau lapis antara merupakan lapis transisi antara lapis pondasi dengan lapis permukaan. AC-BC berfungsi sebagai lapis pengikat.
- 3) Asphalt Concrete- Base (AC-BC).
Berfungsi sebagai lapis pondasi jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan. Setiap jenis Campuran AC yang menggunakan aspal dimodifikasi dengan aspal Alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*. Bahan penyusun dari AC-WC yaitu aspal dan agregat, dimana agregat ini terdiri atas agregat kasar, agregat halus dan filler

3. Landasan Teori

3.1. Karakteristik Marshall

Karakteristik campuran lapis perkerasan dipengaruhi oleh kualitas dan susunan bahan-bahan penyusunnya serta proses pelaksanaan dalam pengerjaannya. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh aspal beton campuran panas antara lain:

- 1) Kepadatan (*density*)
- 2) Stabilitas (*stability*)
- 3) Kelelehan (*flow*)
- 4) Rongga diantara mineral agregat / Voids in Mineral Aggregate (VMA)
- 5) Rongga dalam campuran / Voids in the Mix (VIM)
- 6) Rongga terisi aspal / Voids Filled with Asphalt (VFA)
- 7) Marshall Quotient (MQ)

Tabel 1. Persyaratan sifat campuran untuk Laston (AC-WC)

No	Sifat-sifat Campuran	Persyaratan	
		Min	Max
1	Stabilitas(kg)	-	-
2	Flow (mm)	2	4
3	VMA (%)	15	-
4	VIM (%)	3	5
5	VFA (%)	65	-
6	MQ (kg/mm)	-	-

3.2. Formula Perhitungan Marshall

- 1) Rongga Udara dalam Campuran (Voids in Mix, VIM)

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \quad (1)$$

dengan,

VIM = kadar rongga terhadap campuran (%)

Gmb = berat volume benda uji (gr/cc)

Gmm = berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)

- 2) Rongga antara Mineral Agregat (Void in the Mineral Agregat, VMA)

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (2)$$

dengan,

VMA = Voids mineral aggregate (%)

Gb = Berat jenis agregat (gr/cc)

Gmb = Berat jenis curah campuran padat (gr/cc)

Ps = Persen agregat terhadap berat total campuran (%)

- 3) Rongga terisi Aspal (Voids Filled with Asphalt, VFA)

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad (3)$$

dengan,

VFA = rongga terisi aspal (%)

VMA = rongga diantara mineral agregat (%)

VIM = rongga di dalam campuran (%)

- 4) Stabilitas

$$O = q \times \text{kalibrasi proving ring} \times \text{koreksi tebal benda uji} \quad (4)$$

$$O = q \times \text{kalibrasi proving ring} \times \text{koreksi tebal benda} \quad (5)$$

dengan,

O = stabilitas (kg)

q = nilai pembacaan arloji

- 5) Marshall Quotient (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (6)$$

dengan,

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

MS = Marshall Stability (kg)

MF = Flow Marshall (mm)

4. Metode Penelitian

4.1. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pelaksanaan pengujian ditunjukkan pada Gambar xxx.

4.2. Tahapan Penelitian

4.2.1. Persiapan

Tahap persiapan meliputi penyiapan material berupa agregat kasar, agregat halus, aspal, dan styrofoam serta peralatan pengujian. Aspal yang digunakan merupakan aspal jenis pen.60/70.

4.2.2. Pengujian Bahan

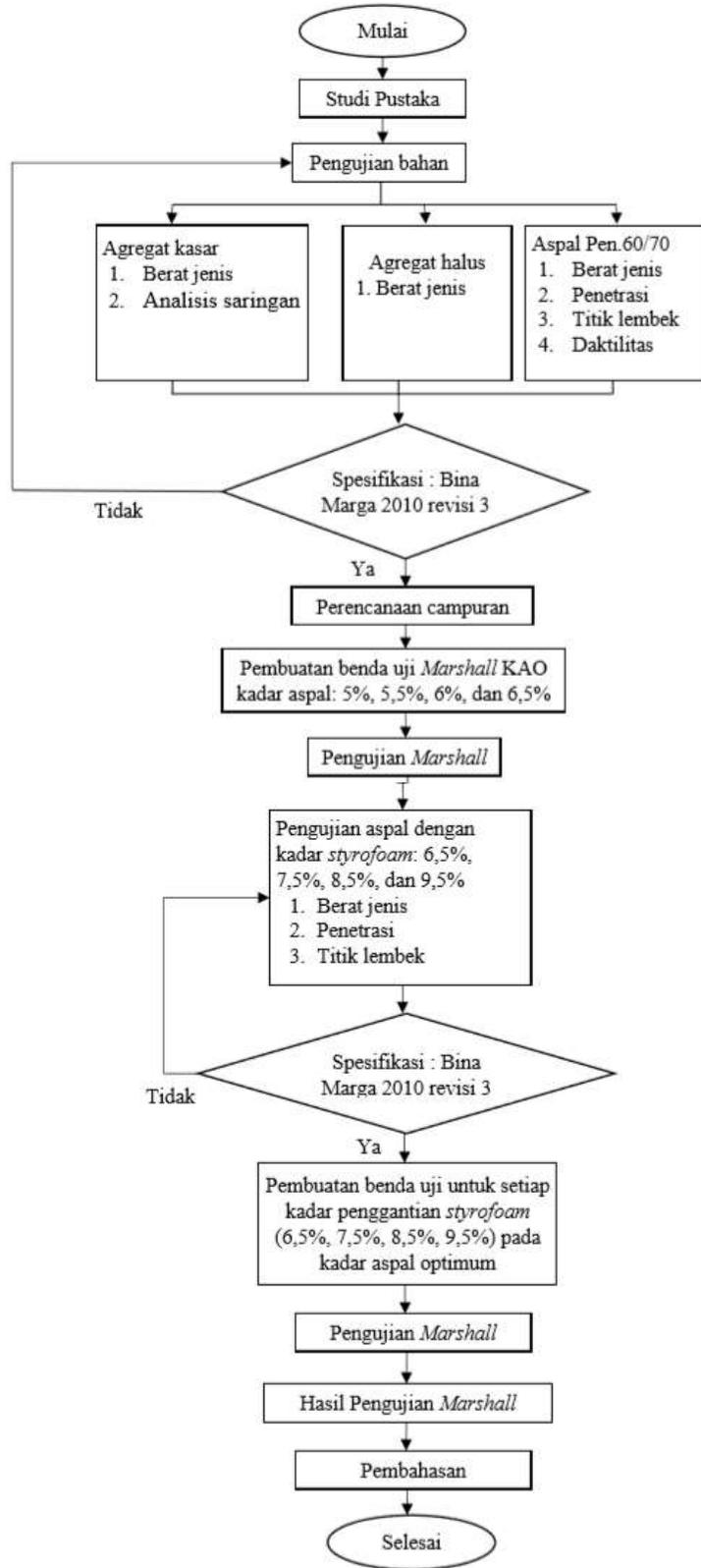
Pengujian bahan meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, aspal murni, dan aspal modifikasi.

4.2.3. Mix Design Agregat

Benda uji menggunakan agregat seberat 1200 gram. Gradasi agregat menggunakan spesifikasi bina marga edisi 2010 revisi 3, maka diperoleh berat tertahan dari masing masing saringan. Untuk penentuan KAO digunakan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Sedangkan rencana campuran aspal dan styrofoam menggunakan aspal murni (0%), serta penggantian 6,5%, 7,5%, 8,5% dan 9,5% dari berat aspal KAO.

4.3. Pembuatan Benda Uji Hot Mix

Agregat dan aspal yang telah diuji dan lolos spesifikasi dicampur secara panas (hot mix) dengan suhu campuran yang telah ditentukan. Pembuatan benda uji dibuat dengan kadar aspal yang sama dibuat sejumlah tiga benda uji. Sehingga untuk pengujian KAO diperlukan 3x4 benda uji yaitu 12 buah, dan untuk variabel styrofoam diperlukan 3 x 5 buah benda uji yaitu 15 benda uji.



Gambar 1. Bagan alir pelaksanaan pengujian

4.4. Lokasi Penelitian

Penelitian untuk pengujian sifat fisif aspal dan styrofoam, pengujian agregat, pembuatan benda uji dan pengujian marshal dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY)

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. Hasil Pengujian Aspal

Tabel 2. Hasil pengujian aspal keras C 60/70

No	Jenis Uji	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian	
				Min	Max
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 ³	1,02	1	-

5.2. Hasil Pengujian Kadal 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 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadal Aspal Optimum (KAO)

No	Jenis uji	Kadar KAO				Spesifikasi
		5 %	5,5 %	6 %	6,5 %	
1	Density	2,238	2,306	2,23	2,270	-
2	VMA	19,25	17,214	20,21	19,380	>15%
3	VIM	8,285	4,778	7,068	4,915	3%-5%
4	VFA	57,01	72,519	65,30	74,70	>65%
5	Stabilitas	1519,6	1400,7	1244,7	1178,8	>800 kg
6	Flow	2,567	2,100	4,567	3,100	2-4 mm
7	MQ	608,3	676,24	282,78	383,05	-

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal			
			5%	5,50%	6%	6,50%
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		—	—	—	—

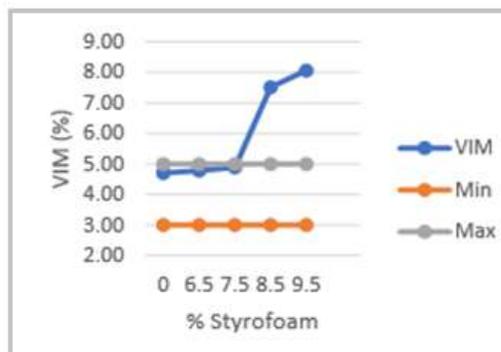
Tabel 4. Hasil pengujian styrofoam

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	°C	54,5	Min 48
7	Titik Lembek	°C	55,5	Min 54
8	Titik Lembek	°C	58,5	Min 54
9	Titik Lembek	°C	55	Min 54
10	Titik Lembek	°C	56	Min 54
11	Berat Jenis	gr/cm ³	1,02	1
12	Berat Jenis	gr/cm ³	1,017	1
13	Berat Jenis	gr/cm ³	1,032	1
14	Berat Jenis	gr/cm ³	1,03	1
15	Berat Jenis	gr/cm ³	1,05	1

5.3. Hasil dan Pembahasan Pengujian Marshall

5.3.1. Hubungan Styrofoam dengan VIM

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 karena rongga yang terdapat dalam benda uji terlalu banyak. Grafik dapat dilihat pada Gambar 2.

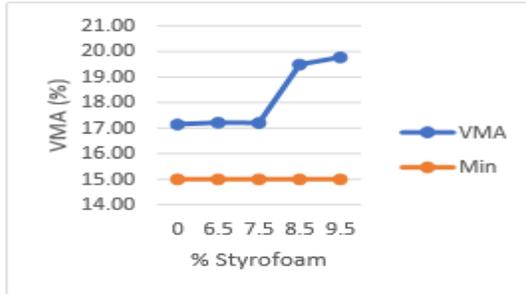


Gambar 2. Hubungan Kadar Styrofoam dengan VIM

5.3.2. Hubungan styrofoam dengan VMA

Dapat dilihat pada grafik Gambar 3 terlihat bahwa 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

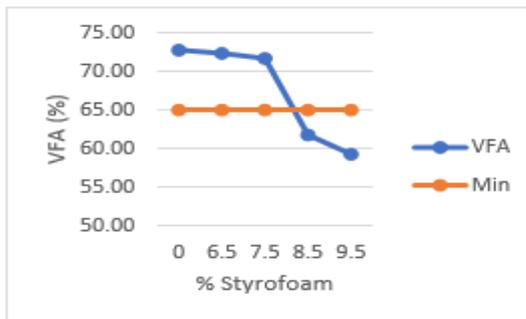
19,77%. VMA cenderung meningkat diakibatkan oleh sifat aspal yang dicampur styrofoam yang dilakukan pemanasan terlalu lama dan dengan suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan sifat kimia pada aspal mejadi hilang atau rusak. Sehingga sulit untuk aspal merekat dengan butir-butir agregat, sehingga rongga antar agregat semakin besar.



Gambar 3. Hubungan Kadar Styrofoam dengan VMA

5.3.3. Hubungan styrofoam dengan VFA

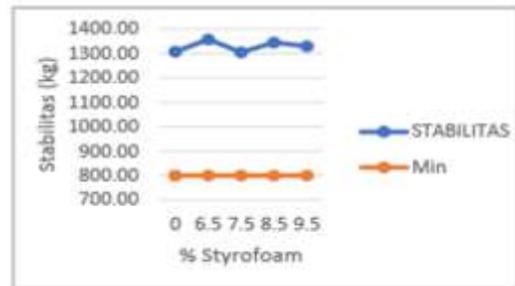
Pada campuran kadar 0% sebesar 72,75%, campuran kadar 6,5% sebesar 72,31%, nilai pada campuran kadar 7,5% yaitu 71,66%, kadar 8,5% sebesar 61,75%, dan kadar 9,5% sebesar 59,25%. Peningkatan kadar styrofoam mengakibatkan penurunan nilai VFA, pada campuran kadar 0% - 7,5% masuk kedalam spesifikasi. Penurunan 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. Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Kadar Styrofoam dengan VFA

5.3.4. Hubungan Styrofoam dengan Stabilitas

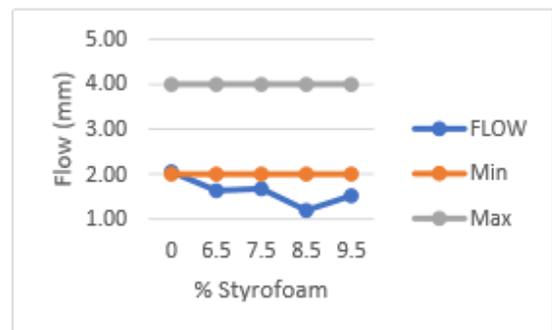
Pada grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai stabilitas kadar 0% sebesar 1307,36 kg, nilai stabilitas tertinggi terdapat pada campuran styrofoam dengan kadar 6,5% sebesar 1357,32 kg. Nilai stabilitas terendah pada campuran kadar 7,5% yaitu 1304,82 kg, kadar 8,5% sebesar 1345,33 kg, dan kadar 9,5% sebesar 1329,18 kg. Berdasarkan spesifikasi persyaratan bina marga untuk nilai stabilitas minimum adalah 800 kg, sehingga dari campuran campuran tersebut memenuhi syarat minimal untuk stabilitas.



Gambar 5. Hubungan Kadar Styrofoam dengan Stabilitas

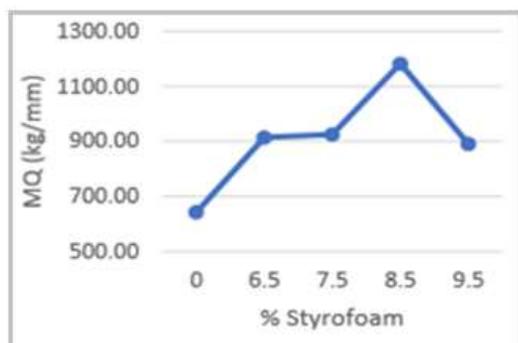
5.3.5. Hubungan styrofoam dengan flow

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. Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Kadar Styrofoam dengan Flow

5.3.6. Hubungan styrofoam dengan Marshall Quotient (MQ)



Gambar 7. 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 pada Gambar 7 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

Dilihat dari Tabel 5 bahwa 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)

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis, dan pembahasan yang dilakukan pada campuran AC-WC, dengan menggunakan styrofoam sebagai bahan additive yang dicampur dengan aspal, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

- 1) Nilai sifat fisik styrofoam pada pengujian penetrasi, titik lembek, dan berat jenis adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai pengujian penetrasi pada campuran kadar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% adalah sebesar 61 mm, 57,8 mm, 55,2 mm, 47,8 mm, dan 45,2 mm. Seiring bertambahnya kadar styrofoam terjadi penurunan nilai penetrasi.
 - b. Nilai sifat fisik styrofoam pada pengujian titik lembek pada campuran kadar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% sebesar 54,5 °C, 55,5 °C, 58,5 °C, 55 °C, dan 56 °C. Mengalami kenaikan pada kadar 7,5%, mungkin diakibatkan kurang homogenya antara aspal dan styrofoam.
 - c. Nilai sifat fisik styrofoam pada pengujian berat jenis pada campuran kadar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% sebesar 1,02 gr/cm³, 1,017 gr/cm³, 1,032 gr/cm³, 1,03 gr/cm³, dan 1,05 gr/cm³. Mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar styrofoam.
- 2) Dari pengujian nilai kadar aspal optimum didapat nilai kadar aspal optimum sebesar 5,5%.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Marshall dengan Variasi Kadar Styrofoam

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal				
			0%	6,50%	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	Stability	min 800 kg	1307	1357,3	1305	1345,3	1329,18
5	Flow	2-4 mm	2,05	1,63	1,68	1,19	1,52
6	MQ	kg/mm	642,2	914,4	925,3	1182,1	890,88

- 3) Terjadi perubahan nilai karakteristik Marshall pada campuran aspal dan styrofoam, berikut adalah hasil pengujian:
- Nilai VIM yang tidak memenuhi spesifikasi adalah kadar 8,5% dan 9,5%, karena rongga yang terdapat dalam benda uji terlalu banyak. Hasil pengujian nilai VIM cenderung mengalami kenaikan.
 - Dari campuran kadar 0% - 9,5% memenuhi syarat minimal untuk nilai VMA.
 - Peningkatan kadar styrofoam mengakibatkan penurunan nilai VFA, pada campuran kadar 0% - 7,5% masuk kedalam spesifikasi.
 - Nilai stabilitas pada campuran kadar 0% - 9,5% masuk kedalam spesifikasi. Nilai stabilitas terendah didapat pada kadar 0% dan nilai spesifikasi tertinggi pada kadar 6,5%.
 - Dari pengujian campuran aspal dan styrofoam bahwa nilai flow kadar 6,5% - 9,5% tidak masuk kedalam spesifikasi, ini dikarenakan sifat aspal yang dicampur dengan styrofoam mengakibatkan benda uji lebih kaku sehingga tidak mudah terdeformasi.
 - Kadar terbaik yang didapat pada pengujian penggantian aspal dengan styrofoam adalah 7,5%

BMPTSSIKoNTekS 5 Universitas Sumatera Utara, Oktober 2011, di Medan

Daftar Pustaka

- [1] Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Granit.
- [2] Giri Dharma, I.B, dkk. "Kuat Tekan Modulus Elastisitas Beton dengan Penambahan Styrofoam". Jurnal Ilmiah Teknik Sipil 12. Universitas Udayana. (2008).
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga. 2014. Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3. Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia.
- [4] Asaryanti, Windi Dewi. 2016. Pengaruh Limbah Padat Styrofoam dengan Variasi Kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% Pada Campuran ACWC Ditinjau Dari Karakteristik Marshall. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [5] Saleh, S.M. "Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70". Jurnal Teknik Sipil. Universitas Syiah Kuala. (2014).
- [6] Soandrijanie, J. F. 2011. Pengaruh Styrofoam terhadap Stabilitas dan Nilai Marshall Beton Aspal. Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional-1