

NASKAH SEMINAR TUGAS AKHIR
PENGARUH PENGGUNAAN STYROFOAM SEBAGAI PENGGANTI ASPAL
PENETRASI 60/70 DENGAN KADAR 0%, 7%, 8%, 9% DAN 10% PADA CAMPURAN
AC-WC¹

Reni Permanasari², Anita Rahmawati, S.T., M.Sc³, Emil Adly, S.T., M.Eng⁴

INTISARI

Aspal merupakan bahan pengikat untuk perkerasan lentur. Sifat aspal mempengaruhi sifat dan ketahanan dari perkerasan lentur itu sendiri. Telah banyak dikembangkan penelitian mengenai cara untuk meningkatkan mutu aspal salah satunya dengan mencampur styrofoam kedalam aspal. Styrofoam dipilih karena limbah tersebut tidak akan hancur bahkan sampai 100 tahun sehingga perlu penanganan khusus. Penggunaan styrofoam sebagai bahan campur diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah styrofoam dan meningkatkan sifat fisik aspal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik aspal yang dicampur dengan styrofoam dan pengaruhnya pada karakteristik Marshall.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan styrofoam bekas tempat makanan sebagai alternatif untuk campuran AC-WC. Styrofoam dimasukkan kedalam campuran AC-WC dengan cara dicampurkan kedalam aspal pada suhu $\pm 280^{\circ}\text{C}$. Kadar styrofoam yang diuji adalah 7%, 8%, 9%, dan 10% dari berat aspal optimum (KAO). Metode pengujian yang digunakan adalah metode Marshall yaitu dengan cara merendam benda uji ke dalam waterbath dengan temperatur 60°C selama 30 menit. Pengujian Marshall dilakukan untuk memperoleh nilai VMA, VITM, VFWA, stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ).

Berdasarkan hasil pengujian terhadap aspal yang dicampur dengan styrofoam didapat hasil bahwa seiring peningkatan kadar styrofoam nilai titik lembek dan berat jenis semakin meningkat sedangkan nilai penetrasi menurun. Nilai KAO didapat sebesar 5,5%. Hasil dari pengujian Marshall standar untuk aspal campuran styrofoam didapat hasil terbaik pada kadar 7% yang lebih banyak memenuhi syarat dengan nilai stabilitas sebesar 1348,92 kg, nilai VITM 4,85%, VMA 17,17%, VFWA 72,0%, flow 1,18 mm, dan MQ 1215,28 kg/mm. Pada semua kadar styrofoam nilai flow menurun drastis dan tidak ada yang memenuhi spesifikasi.

Kata kunci: AC-WC, aspal, Marshall, styrofoam

¹Disampaikan pada seminar tugas akhir, Mei 2017

²Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

³Dosen Pembimbing I

⁴Dosen Pembimbing II

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Sebagian besar jalan yang ada di Indonesia merupakan perkerasan lentur. Perkerasan lentur memiliki sifat fleksibel dan dapat menyerap getaran dari kendaraan sehingga lebih nyaman untuk dilewati. Aspal merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai bahan pengikat dan pelapis agregat dalam perkerasan lentur. Telah banyak dikembangkan penelitian mengenai cara untuk meningkatkan mutu aspal, salah satunya dengan mencampur dengan bahan *styrofoam*. *Styrofoam* sendiri banyak digunakan sebagai tempat makan, pembungkus elektronik, dekorasi dan lain

sebagainya. Penggunaan *styrofoam* yang semakin banyak berakibat meningkatnya limbah *styrofoam*. Limbah *styrofoam* sendiri merupakan limbah yang sulit terurai oleh karena itu perlu adanya pengolahan kembali maupun penanganan khusus terhadap *styrofoam*. *Styrofoam* memiliki sifat *thermoplastic* yaitu akan melunak jika dipanaskan dan mengeras jika dingin. *Styrofoam* akan meleleh pada suhu yang lebih tinggi dari aspal. Perbedaan suhu leleh diharapkan dapat meningkatkan suhu titik lembek aspal pada campuran sekaligus mengurangi jumlah limbah *styrofoam*.

2. Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana sifat fisik aspal jika dicampur dengan limbah *styrofoam* dengan kadar 0%, 7%, 8%, 9% dan 10%?
- 2) Berapa kadar aspal optimum yang diperlukan untuk penelitian aspal modifikasi?
- 3) Apa pengaruh dari penggunaan aspal modifikasi tersebut terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran aspal (AC-WC)?

3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk:

- 1) Membandingkan sifat fisik aspal yang dicampur dengan limbah *styrofoam*.
- 2) Mencari kadar aspal optimum yang diperlukan untuk penelitian aspal modifikasi pada campuran AC-WC.
- 3) Mengevaluasi pengaruh campuran aspal modifikasi dengan metode *Marshall*.

4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian mengenai *styrofoam* sebagai bahan pengganti sebagian aspal dalam campuran adalah sebagai berikut:

- 1) Sebagai pedoman dalam perencanaan penggunaan *styrofoam* sebagai bahan pengganti dalam aspal pada perkerasan jalan
- 2) Optimalisasi pemanfaatan *styrofoam* sebagai salah satu usaha untuk mengurangi pencemaran yang diakibatkan oleh limbah *styrofoam*
- 3) Sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian lainnya mengenai pemanfaatan *styrofoam*.

5. Batasan Masalah

Penelitian mengenai pengaruh penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti aspal ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini menggunakan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta.
- 2) Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina
- 3) *Styrofoam* yang digunakan adalah *styrofoam* bekas pembungkus makanan.
- 4) Pemeriksaan aspal meliputi penetrasi, titik lembek, titik nyala, titik bakar, daktilitas, dan berat jenis aspal.

- 5) Variasi perbandingan kadar *styrofoam* yang digunakan sebagai pengganti aspal adalah 0%, 7%, 8%, 9%, dan 10%.
- 6) Penelitian ini dibatasi pada campuran Lapis Aspal Beton jenis AC-WC sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2010 revisi 3.
- 7) Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode pengujian *Marshall*
- 8) Komposisi kimia pada agregat, bahan *styrofoam* dan pengaruhnya terhadap campuran tidak dibahas dalam laporan ini.
- 9) Dalam penelitian ini tidak dikaji mengenai efek perubahan mineral pada aspal.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak ada kerusakan yang berarti (Sukirman, 2003).

2. Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

Beton aspal (*asphalt concrete*) adalah jenis perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instansi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan (Sukirman, 2003).

3. Styrofoam

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 *hidrocarbon aromatic* (Giri, 2008).

4. Penggunaan Styrofoam sebagai bahan campuran dalam aspal

Saleh (2014) melakukan penelitian mengenai penambahan limbah *styrofoam* untuk meningkatkan kualitas aspal sebagai pengikat

beton aspal. Gradasi yang digunakan adalah gradasi terbuka dengan variasi kadar *styrofoam* 5%, 7%, dan 9% menggunakan standar *Australian Asphalt Pavement Association* 1997. Hasil penelitian diperoleh KAO 5,76% dengan kadar aspal terbaik 6,26% untuk kadar *styrofoam* 9%.

Asaryanti (2016) melakukan penelitian mengenai penambahan limbah *styrofoam* dengan variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap campuran AC-WC. Pengujian menggunakan uji *Marshall* dan penentuan spesifikasi berdasarkan Bina Marga 2010 revisi 3. Nilai KAO yang didapat adalah 6% dengan semua hasil memenuhi syarat untuk setiap kadar *styrofoam*.

Soandrijanie (2011) melakukan penelitian mengenai pengaruh *styrofoam* terhadap stabilitas dan nilai *Marshall* beton aspal. Kadar *styrofoam* yang digunakan adalah 0%, 0,01%, 0,015%, 0,02%, 0,025% dan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% untuk mengetahui karakteristik *Marshall* berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1987. Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar aspal optimal 6% dan yang memenuhi syarat adalah komposisi *styrofoam* 0,01% dengan kadar aspal 5%.

C. LANDASAN TEORI

1. Karakteristik *Marshall*

Karakteristik campuran dari lapisan perkerasan dipengaruhi oleh susunan dan kualitas dari bahan-bahan penyusunnya. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh beton aspal campuran panas, antara lain adalah kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), rongga diantara Mineral Agregat / *Void in Mineral Agregat* (VMA), rongga dalam campuran / *Void in the Mix* (VIM), rongga terisi aspal / *voids filled with Asphalt* (VFA), *Marshall Quotient* (MQ). Persyaratan untuk campuran AC-WC ditampilkan dalam tabel 1.

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

No.	Sifat-sifat campuran	Persyaratan	
		Min	Maks
1	Rongga dalam campuran (VITM) %	3	5
2	Rongga dalam agregat (VMA) %	15	-
3	Rongga terisi aspal (VFA) %	65	-
4	Stabilitas, kg	800	-
5	Kelelahan, mm	2	4
6	<i>Marshall Quotient</i> (MQ) kg/mm	-	-

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2010)

2. Formula Perhitungan *Marshall*

- a. Rongga dalam agregat (*void in the mineral agregat*, VMA)

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan,

VMA = *Voids in the mineral aggregate* (%)

G_{sb} = Berat jenis agregat (gr/cc)

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat (gr/cc)

P_s = Persen agregat terhadap berat total campuran (%)

- b. Rongga dalam campuran (*void in the mix*, VITM)

$$VITM = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan,

VITM = kadar rongga terhadap campuran (%)

G_{mb} = berat volume benda uji (gr/cc)

G_{mm} = berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)

- c. Rongga yang terisi aspal (*voids filled with asphalt*, VFWA)

$$VFWA = 100 \times \frac{VMA - VITM}{VMA} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan,

VFWA = rongga terisi aspal (%)

VMA = rongga diantara mineral agregat (%)

VITM = rongga dalam campuran (%)

- d. Stabilitas

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

Dengan,

O = stabilitas (kg)

q = nilai pembacaan arloji

- e. *Marshall Quotient* (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan,

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS = Stabilitas *Marshall* (*Marshall Stability*) (kg)

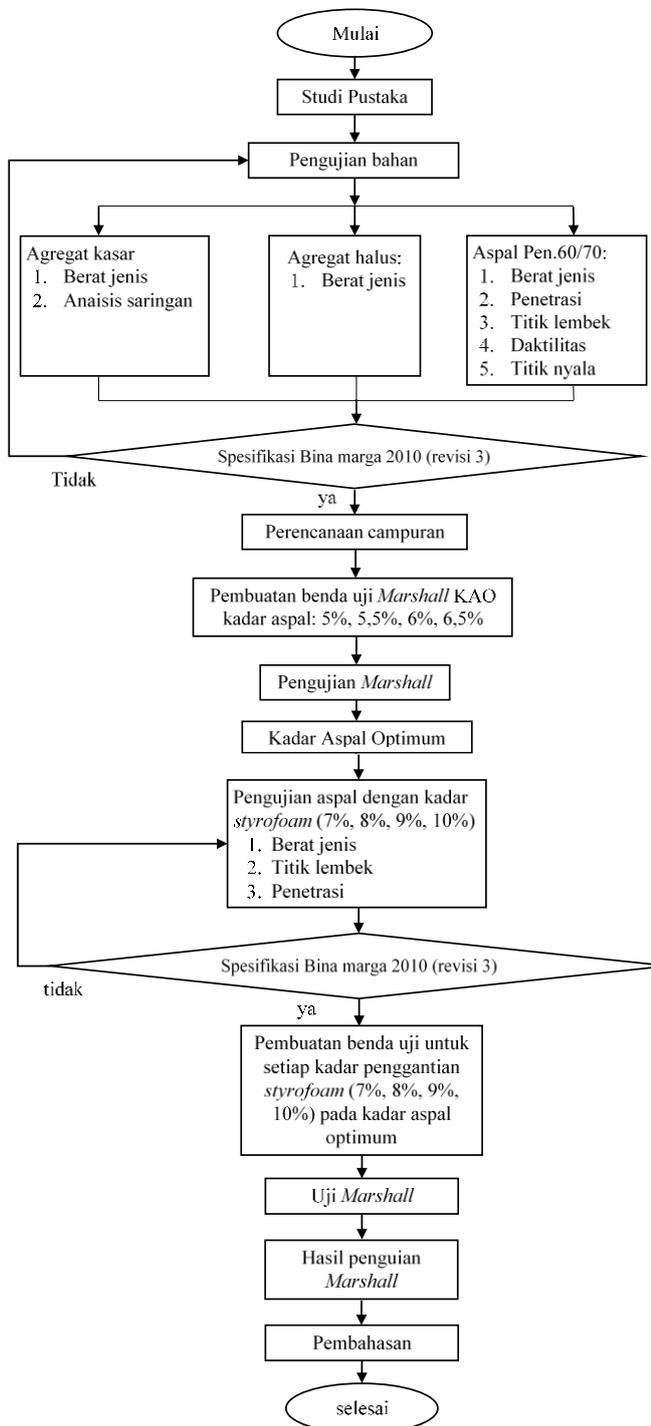
MF = Kelelahan (*Flow Marshall*) (mm)

D. METODE PENELITIAN

1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Tahapan penelitian dapat dilihat pada bagan alir berikut ini.



Gambar 1. Bagan alir pengujian di laboratorium

Tahap pertama adalah pengujian bahan di laboratorium untuk agregat kasar, agregat halus, dan aspal untuk mengetahui kelayakan bahan tersebut dalam penelitian. Setelah lolos spesifikasi kemudian dilakukan perencanaan campuran

meliputi gradasi agregat yang dipakai dan persen campuran aspal. Benda uji yang dibuat sebanyak 12 benda uji, masing-masing 3 benda uji untuk setiap kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Kemudian dilakukan pencampuran secara panas (*hot mix*) dan penumbukan sebanyak 75 kali untuk kedua sisi benda uji. Benda uji yang telah dibuat kemudian diukur dimensi dan beratnya. Setelah itu direndam dalam *waterbath* selama 30 menit pada suhu 60°C baru kemudian diuji *Marshall*.

Setelah itu dilakukan pengujian terhadap aspal *styrofoam* untuk mendapatkan nilai berat jenis, titik lembek, dan penetrasi. Pencampuran aspal *styrofoam* dilakukan pada suhu $\pm 280^{\circ}\text{C}$ karena suhu leleh *styrofoam* lebih tinggi dari pada aspal. Pencampuran dilakukan dengan cara memanaskan aspal kemudian potongan-potongan kecil *styrofoam* dimasukkan sampai meleleh dan tercampur rata dengan aspal. Kemudian dilakukan pembuatan benda uji dan pengujian *Marshall* untuk aspal *styrofoam* dengan kadar 7%, 8%, 9%, dan 10%.

2. Bahan yang digunakan

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina (Persero) Tbk sedangkan agregat berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.

E. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sifat aspal yang dicampur dengan *styrofoam* dan dua kali pengujian *Marshall* yaitu pengujian untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), kemudian nilai tersebut digunakan pada pengujian untuk penggantian aspal dengan *styrofoam*.

1. Pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO

Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, kadar yang memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 revisi 3 adalah pada kadar 5,5% dan 6,5%. KAO yang dipakai dalam penelitian ini adalah 5,5%.

2. Pengujian aspal dengan *styrofoam*

Hasil pengujian campuran aspal dengan *styrofoam* ditunjukkan pada Gambar 2. *Styrofoam* yang dicampurkan kedalam aspal menyebabkan penetrasi aspal menurun hal itu berarti aspal

menjadi semakin keras, titik lembek meningkat, dan berat jenis bertambah. Selama pemanasan dan pencampuran dengan *styrofoam* komposisi kimia dalam aspal berubah, *resins* dan minyak banyak yang hilang dan yang tersisa banyak adalah bagian

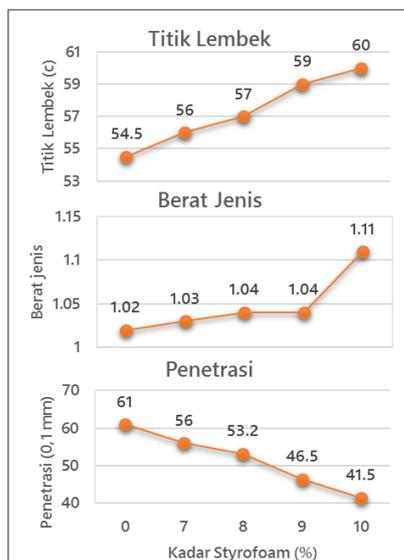
asphaltenes, sehingga aspal menjadi semakin keras, titik lembek meningkat, dan berat jenisnya bertambah.

Tabel 1. Hasil pengujian *Marshall* untuk penentuan KAO

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

Tabel 2. Hasil pengujian kadar aspal optimum

No.	Parameter	Spesifikasi	5%	5,5%	6%	6,5%
1	VMA	Min. 15%	[Bar chart showing VMA values across 5% to 6.5% asphalt content]			
2	VITM	3-5%	[Bar chart showing VITM values across 5% to 6.5% asphalt content]			
3	VFWA	Min. 65%	[Bar chart showing VFWA values across 5% to 6.5% asphalt content]			
4	Stabilitas	800 kg	[Bar chart showing Stabilitas values across 5% to 6.5% asphalt content]			
5	Flow	2-4 mm	[Bar chart showing Flow values across 5% to 6.5% asphalt content]			
6	MQ	Min. 250 kg/mm	[Bar chart showing MQ values across 5% to 6.5% asphalt content]			



Gambar 2. Hubungan *styrofoam* dengan penetrasi, titik lembek, dan berat jenis

3. Pengujian *Marshall* penggantian aspal dengan *styrofoam*

Selanjutnya dilakukan pengujian pada setiap kadar *styrofoam*. Benda uji dibuat sebanyak 12 buah dengan persentase penggantian *styrofoam* sebanyak 7%, 8%, 9%, dan 10% masing-masing 3 buah benda uji. Kadar aspal yang digunakan adalah

5,5%. Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* untuk masing-masing kadar *styrofoam* yang telah diperoleh berdasarkan rata-rata dari tiga benda uji.

Tabel 3. Hasil pemeriksaan *Marshall* dengan variasi kadar *styrofoam*

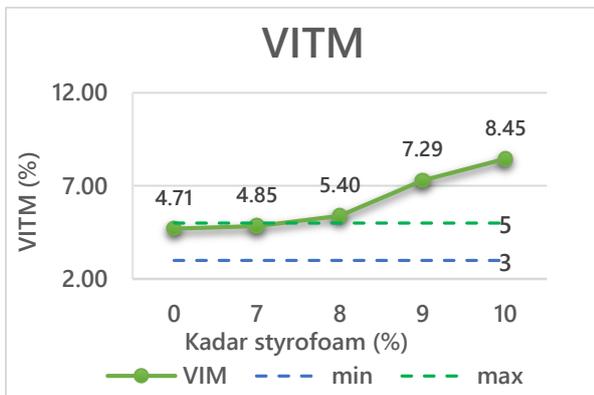
No	Parameter	Kadar penggantian <i>styrofoam</i> (%)				
		0	7	8	9	10
1	VITM	4,71	4,85	5,40	7,29	8,45
2	VMA	17,15	17,17	17,55	19,19	19,59
3	VFWA	72,75	72,00	69,26	62,16	56,89
4	Stabilitas	1307,36	1348,92	1392,13	1223,74	1344,43
5	Flow	2,05	1,21	1,18	1,32	1,82
6	QM	642,21	1215,28	1194,53	930,54	832,98

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

a. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VITM

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

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.



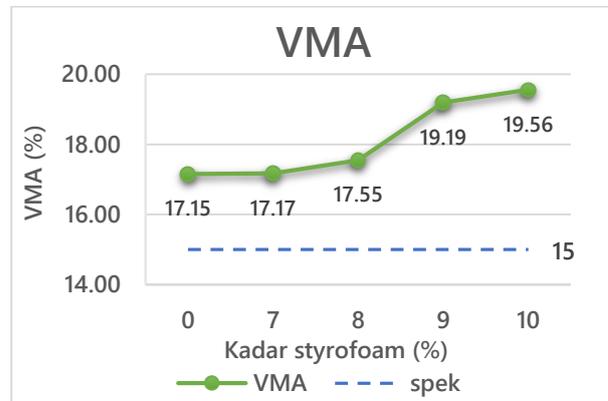
Gambar 3. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VITM

Dari Gambar 3 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.

b. 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).

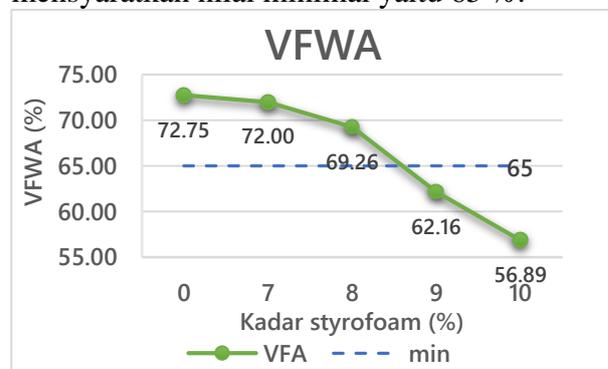


Gambar 4. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VMA

Gambar 4 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 leleh aspal sehingga suhu optimal yang dibutuhkan untuk pemadatan juga akan berubah.

c. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VFVA

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

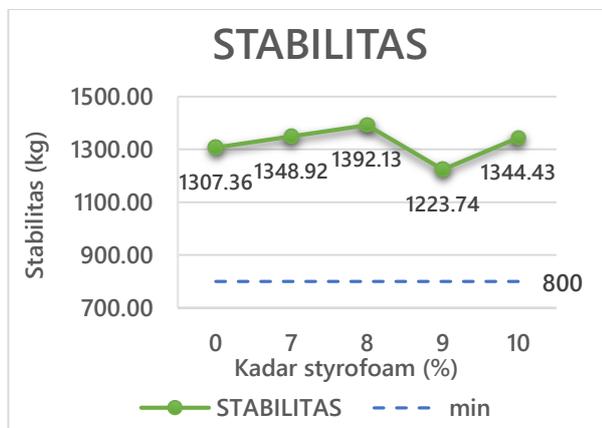


Gambar 5. Hubungan kadar *styrofoam* dengan VFVA

Gambar 5 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.

d. 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 6 menunjukkan bahwa pada benda uji dengan pencampuran *styrofoam* cenderung mempunyai nilai yang lebih tinggi dari benda uji tanpa *styrofoam* kecuali pada kadar 9%.



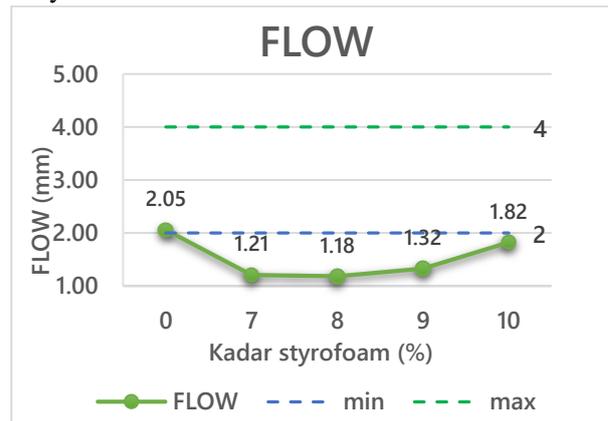
Gambar 6. Hubungan kadar *styrofoam* dengan stabilitas

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.

e. Hubungan kadar *styrofoam* dengan *flow*

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



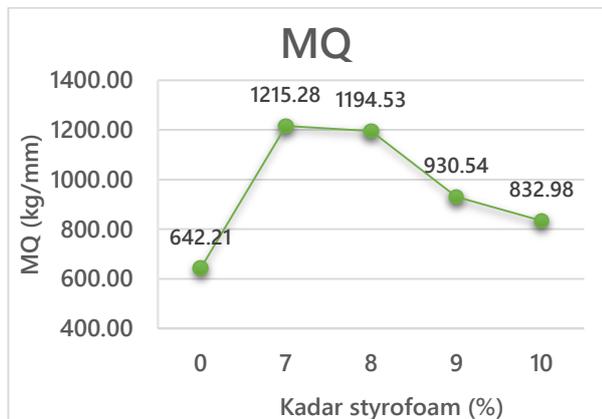
Gambar 7. Hubungan kadar *styrofoam* dengan *flow*

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.

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

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio dari stabilitas terhadap kelelahan 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 8. Hubungan kadar *styrofoam* dengan MQ

Gambar 8 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.

F. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis, dan pembahasan yang telah dilakukan pada campuran Laston (AC-WC) dengan campuran *styrofoam*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Sifat fisik aspal yang dicampur dengan *styrofoam* meliputi pengujian penetrasi, berat jenis, dan titik lembek didapat hasil:
 - 1) Nilai penetrasi mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *styrofoam* dengan nilai terendah pada kadar 10% yaitu 41,5 dmm.
 - 2) Nilai titik lembek mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *styrofoam* dengan nilai tertinggi pada kadar 10% yaitu 60°C.
 - 3) Nilai berat jenis mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *styrofoam*

dengan nilai tertinggi pada kadar 10% yaitu 1,11.

- b. Kadar aspal optimum yang diperoleh dengan pengujian *Marshall* untuk penelitian aspal dengan campuran *styrofoam* adalah 5,5%
- c. Pengaruh campuran aspal dengan *styrofoam* terhadap karakteristik *Marshall* adalah sebagai berikut:
 - 1) Nilai VITM cenderung meningkat seiring penambahan *styrofoam* dari 7% sampai 10%. Nilai VITM yang masih memenuhi spesifikasi adalah pada kadar 7% yaitu 4,85%
 - 2) Nilai VMA cenderung meningkat seiring penambahan *styrofoam* dari 7% sampai 10%. Semua nilai memenuhi spesifikasi.
 - 3) Nilai VFWA cenderung menurun seiring penambahan *styrofoam* dari 7% sampai 10%. Nilai VFWA yang memenuhi spesifikasi adalah pada kadar 7% dan 8% yaitu 72% dan 69,26%
 - 4) Nilai stabilitas semua memenuhi spesifikasi, nilai paling tinggi terdapat pada kadar *styrofoam* 8% yaitu 1392,13 kg.
 - 5) Nilai *flow* menurun drastis dan tidak ada yang memenuhi spesifikasi. Nilai tertinggi pada kadar 10% yaitu 1,82 mm dan terendah pada kadar 8% yaitu 1,18 mm.
 - 6) Kadar terbaik yang didapat adalah pada penggantian aspal dengan *styrofoam* kadar 7%.

2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis data memberikan beberapa saran untuk dapat ditindak lanjuti yaitu sebagai berikut:

- a. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai temperatur pencampuran maupun pemadatan yang cocok untuk aspal *styrofoam* karena sifat aspal terhadap temperatur berubah setelah dicampur dengan *styrofoam*.
- b. Perlu adanya teknis pencampuran aspal dengan *styrofoam* agar pencampuran lebih homogen dan tidak menggumpal.
- c. Perlunya alternatif teknis pembuatan campuran dengan lebih ramah lingkungan,

karena limbah *styrofoam* saat dibakar akan menimbulkan polusi udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Asaryanti, W.D. 2016. Pengaruh Limbah Padat *Styrofoam* dengan Variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% pada Campuran AC-WC Ditinjau dari Karakteristik *Marshall*. Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Dharma Ghiri, I.B, dkk. 2008. "Kuat Tekan Modulus Elastisitas Beton Dengan Penambahan *Styrofoam (Styrocon)*", *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 12, No.1

- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI (Revisi 3). Jakarta.
- Saleh, S. M., R. Anggraini, dan H. Aquina. 2014. "Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi *Styrofoam* pada Aspal Penetrasi 60/70". *Jurnal Teknik Sipil* 21 No.3. (2014). 241-250
- Soandrijanie, J. F. 2011. Pengaruh *Styrofoam* terhadap Stabilitas dan Nilai *Marshall* Beton Aspal. Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional-1 BMPTTSSI-KoNTekS 5 Universitas Sumatera Utara, Oktober 2011, di Medan.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuan Panas*. Jakarta: Granit.