

NASKAH SEMINAR TUGAS AKHIR¹

PENGARUH PENGGUNAAN *STYROFOAM* SEBAGAI PENGGANTI ASPAL PENETRASI 60/70 DENGAN KADAR 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% DAN 9,5% PADA CAMPURAN HRS-WC

Adella Pratita Sari², Anita Rahmawati, S.T., M.Sc.³, Emil Adly, S.T., M.Eng.⁴

INTISARI

Banyaknya produksi dan penggunaan styrofoam pada pembungkus makanan sehingga memicu banyaknya limbah. Untuk itu pemanfaatan limbah styrofoam yang tidak bisa hancur hingga 100 tahun kedepan harus dilakukan dengan cerdas mengingat bahan styrofoam yang ringan serta gangguan estetika yang timbul karena disebabkan oleh limbah yang terjadi apabila tidak dikelola secara baik dan benar. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk memanfaatkan limbah tersebut menjadi sesuatu yang lebih berguna. Styrofoam bersifat thermoplastic jika dipanaskan akan menjadi lunak dan mengeras kembali jika sudah dingin, diharapkan styrofoam dapat digunakan sebagai alternative substitusi pada aspal untuk membuat perkerasan yang lebih kuat.

Pada penelitian ini styrofoam digunakan sebagai bahan pengganti aspal penetrasi 60/70 pada campuran HRS – Wearing Course dengan kadar aspal optimum sebesar 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% dan kadar styrofoam yang di uji sebesar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% dengan metode Marshall yang dilakukan di lab teknik sipil UMY.

Dari hasil penelitian didapatkan nilai penetrasi, titik lembek, kepadatan, stabilitas, MQ dan VFA cenderung menurun seiring bertambahnya kadar styrofoam. KAO yang memenuhi spesifikasi untuk modifikasi adalah campuran HRS-WC dengan kadar aspal 6,5%. Sementara nilai berat jenis, VITM dan VMA semakin meningkat seiring bertambahnya kadar styrofoam. Untuk nilai yang tidak memenuhi persyaratan yaitu nilai kelelahan pada pada styrofoam cenderung tidak stabil, Nilai VITM pada kadar Styrofoam 7,5%, 8,5% dan 9,5% karena syarat pada Spesifikasi Umum Edisi 10 (Revisi 3) nilai VITM yaitu antara rentang 4-6%, dan nilai VFA pada kadar styrofoam 8,5% dan 9,5% tidak memenuhi syarat Bina Marga karena nilai VFA kurang dari 65%.

Kata Kunci : HRS-WC, Limbah Padat, Marshall, Styrofoam.

¹ Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir, 2 Mei 2017

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
NIM : 20130110269.

³ Dosen Pembimbing Tugas Akhir 1

⁴ Dosen Pembimbing Tugas Akhir 2

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Styrofoam banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari antara lain sebagai tempat makan, pembungkus elektronik, dekorasi, dan maket bangunan. Karena limbah *styrofoam* yang dianggap tidak berharga bagi para pemulung sehingga dibiarkan menumpuk pada tempat pembuangan akhir, maka untuk mengurangi dampak limbah *styrofoam* yang sulit terurai perlu dilakukan usaha pemanfaatan limbah *styrofoam*.

Penggunaan limbah bahan *styrofoam* cukup banyak dalam kehidupan sehari – hari tetapi sangat sedikit dimanfaatkan. Tingkat penggunaan *styrofoam* yang begitu banyak memicu limbah *styrofoam* yang banyak juga. Untuk itu pemanfaatan limbah *styrofoam* yang tidak bisa hancur hingga 100 tahun kedepan harus dilakukan dengan cerdas mengingat bahan *styrofoam* yang ringan serta gangguan estetika yang timbul karena disebabkan oleh limbah yang terjadi apabila tidak dikelola secara baik dan benar.

Styrofoam bersifat *thermoplastic* jika dipanaskan akan menjadi lunak dan mengeras kembali jika sudah dingin. Jika dicampur dengan bensin, *styrofoam* akan melunak dan berfungsi sebagai perekat. Melihat sifat dari *styrofoam* tersebut diharapkan *styrofoam* dapat digunakan sebagai alternative substitusi pada aspal untuk membuat perkerasan yang lebih kuat.

B. Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sifat fisis aspal dicampur dengan limbah *styrofoam* dengan kadar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% dan 9,5%?
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 (HRS-WC) ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui sifat fisik aspal yang dicampur dengan limbah *styrofoam*.
2. Mengetahui kadar aspal optimum yang diperlukan untuk penelitian aspal modifikasi pada campuran HRS-WC.
3. Mengetahui pengaruh campuran aspal modifikasi dengan metode *Marshall*

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini mengenai *Styrofoam* sebagai bahan *additive* dalam campuran aspal adalah sebagai berikut.

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

E. Batasan Masalah

Batasan masalah terhadap penelitian ini yaitu :

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 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%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, 9,5%.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum

A. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai antara lain adalah batu pecah, batu belah, batu kali dan hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antara lain adalah aspal, semen dan tanah liat (Tendriajeng, 2002).

B. Styrofoam

Styrofoam yang memiliki nama lain *polystyrene* adalah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Pada suhu ruangan, *polistirena*

biasanya bersifat padat, dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi.

Produksi aspal modifikasi dengan *styrofoam* dilakukan dengan cara tradisional yang sederhana yaitu mencampur aspal yang di panaskan lebih dari 200 °C dengan beberapa persen berat *styrofoam*. Produk yang dihasilkan mempunyai kekentalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal konvensional pada rentang suhu yang cukup luas. Keuntungan lain dengan meningkatkan sifat impermeabilitas atau tidak tembus. Tapi perlu di pertimbangkan juga kekurangannya yaitu hal yang berkaitan dengan proses persiapan selama penyimpanan campuran panas.

Beberapa studi menunjukkan bahwa penambahan bahan kimia dapat mengikat *styrofoam* dan aspal sehingga mengurangi pemisahan dan menghasilkan produk homogen yang lebih tahan lama. Pemisahan yang terjadi menurun drastis menjadi 5-7%. Hal ini dikarenakan terjadinya ikatan kimia bukan hanya campuran fisik. Peningkatan stabilitas campuran dan sifat yang lebih homogen mengurangi biaya penyimpanan dan meningkatkan umur jalan yang di aspal. Sifat baik yang muncul adalah meningkatkan sifat reologi pada suhu rendah dan tinggi (Rahmawati, 2016).

C. Hot Rolled Sheet (HRS-WC)

Hot Rolled Sheet (HRS) adalah salah satu jenis campuran aspal panas yang terdiri dari campuran agregat halus, agregat kasar, filler, dan aspal. HRS memiliki susunan agregat bergradasi senjang, dimana terdapat satu bagian fraksi yang tidak terdapat dalam campuran. Karakteristik yang terpenting dari campuran ini adalah durabilitas dan fleksibilitas, namun lapisan ini dituntut juga memiliki stabilitas yang cukup dalam menerima beban lalu lintas yang secara langsung bekerja pada lapisan ini. HRS memiliki fungsi sebagai lapisan penutup untuk mencegah masuknya air dari permukaan ke dalam konstruksi perkerasan bawahnya hingga

dapat mempertahankan kekuatan konstruksi. Sifat- sifat dari HRS antara lain adalah kedap terhadap air, tahan terhadap keausan lalu lintas, memiliki kekenyalan yang tinggi, mampu digunakan pada jalan dengan lalu lintas padat, tikungan tajam, perempatan jalan, dan daerah yang permukaan jalannya bisa menahan beban roda berat (Masykur, 2001).

III. LANDASAN TEORI

1. Penelitian ini menggunakan jenis aspal keras dengan angka penetrasi 60/70 yang mengacu pada spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3), seperti pada Tabel.

Tabel 1. Persyaratan sifat campuran untuk HRS-WC

No	Persyaratan sifat-sifat campuran	Spesifikasi
1	Rongga terisi aspal (VFA) (%)	min 68%
2	Rongga dalam campuran (VITM) (%)	4-6%
3	Rongga dalam agregat (VMA) (%)	min 18%
4	Stabilitas / <i>Stability</i> (kg)	Min 800 Kg
5	Kelelehan / <i>Flow</i> (mm)	>3 mm
6	<i>Marshall Quotient</i> (MQ) (kg/mm)	>250

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3)

2. Perhitungan Marshall
 - a. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat
 - 1) Agregat Kasar
 - a) Berat jenis kering

$$S_d = \frac{A}{(B - C)} \dots \dots \dots (1)$$
 - b) Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{(A - C)} \dots \dots \dots (2)$$
 - c) Penyerapan air

$$S_w = \left(\frac{B - A}{A} \times 100\% \right) \dots \dots (3)$$

d) Berat jenis efektif

$$BJ \text{ efektif} = \frac{Sa + Sd}{2} \dots\dots(4)$$

Keterangan :

- Sd : Berat jenis kering
- Sa : Berat jenis semu
- Sw : Penyerapan air
- A : berat benda uji kering oven
- B : berat benda uji jenuh kering permukaan
- C : berat benda uji dalam air

2) Agregat Halus

a) Berat jenis kering

$$Sd = \frac{Bk}{(B + SSD - Bt)} \dots\dots (5)$$

b) Berat jenis semu

$$Sa = \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \dots\dots(6)$$

c) Penyerapan air

$$Sw = \left(\frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100\% \right) \dots(7)$$

d) Berat jenis efektif

$$BJ \text{ efektif} = \frac{Sa + Sd}{2} \dots\dots(8)$$

Keterangan :

- Sd : Berat jenis kering
- Sa : Berat jenis semu
- Sw : Penyerapan air
- Bk : Berat pasir kering
- B : Berat piknometer + air
- Bt : Berat piknometer + pasir + air
- SSD : Berat pasir kering permukaan

3) Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

VMA = *Voids mineral aggregate* (%)

G_b = Berat jenis agregat (gr/cc)

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

P_s = Persen agregat terhadap berat total campuran (%)

4) Rongga dalam Campuran (VITM)

$$VITM = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

VITM= kadar rongga terhadap campuran (%)

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

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

5) Rongga terisi Aspal (VFA)

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VITM}{VMA} \dots\dots\dots(11)$$

dengan,

VFA = rongga terisi aspal (%)

VMA= rongga diantara mineral agregat (%)

VITM= rongga di dalam campuran (%)

6) *Marshall Quotient* (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(12)$$

dengan,

MQ= *Marshall Quotient* (kg/mm)

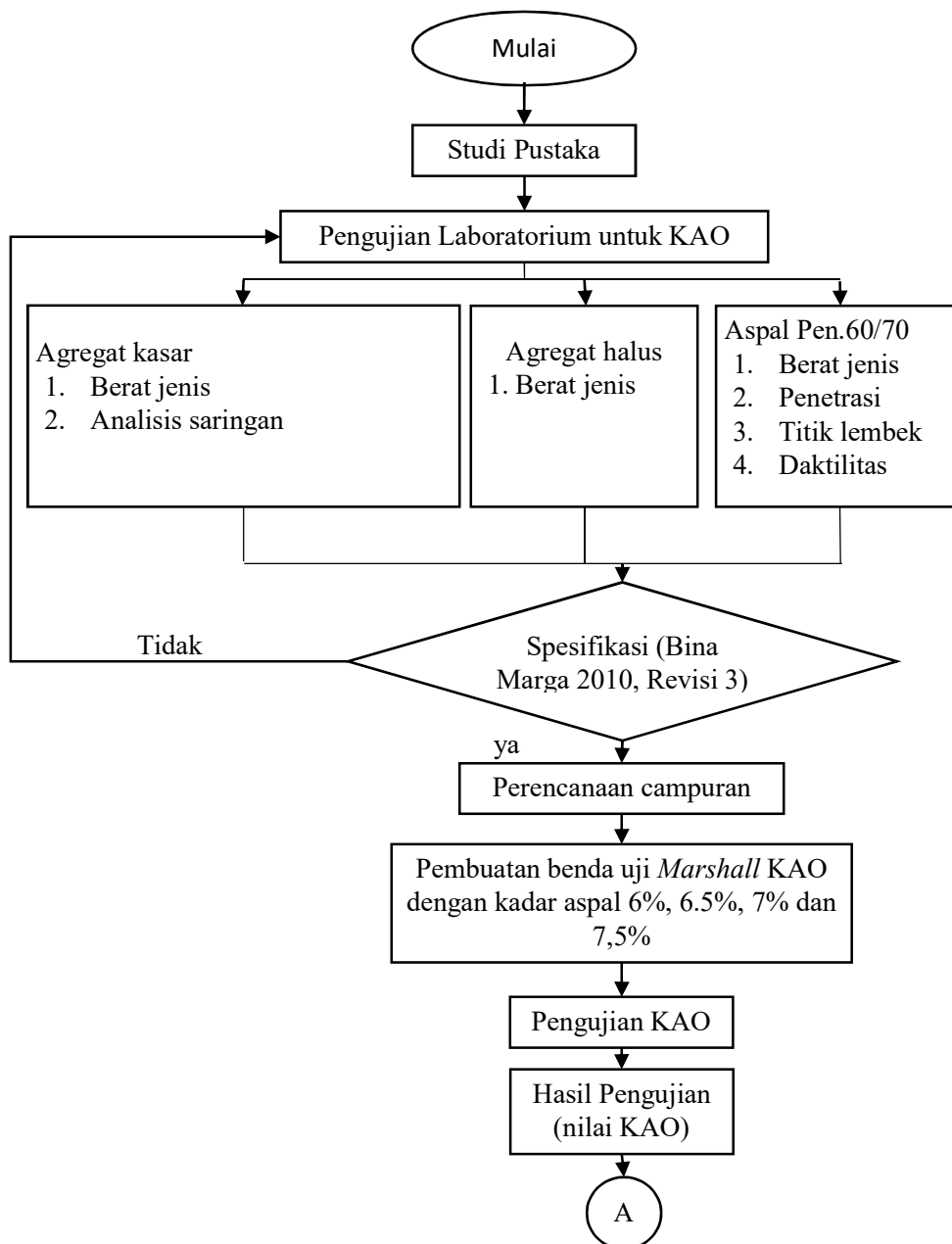
MS = *Marshall Stability* (kg)

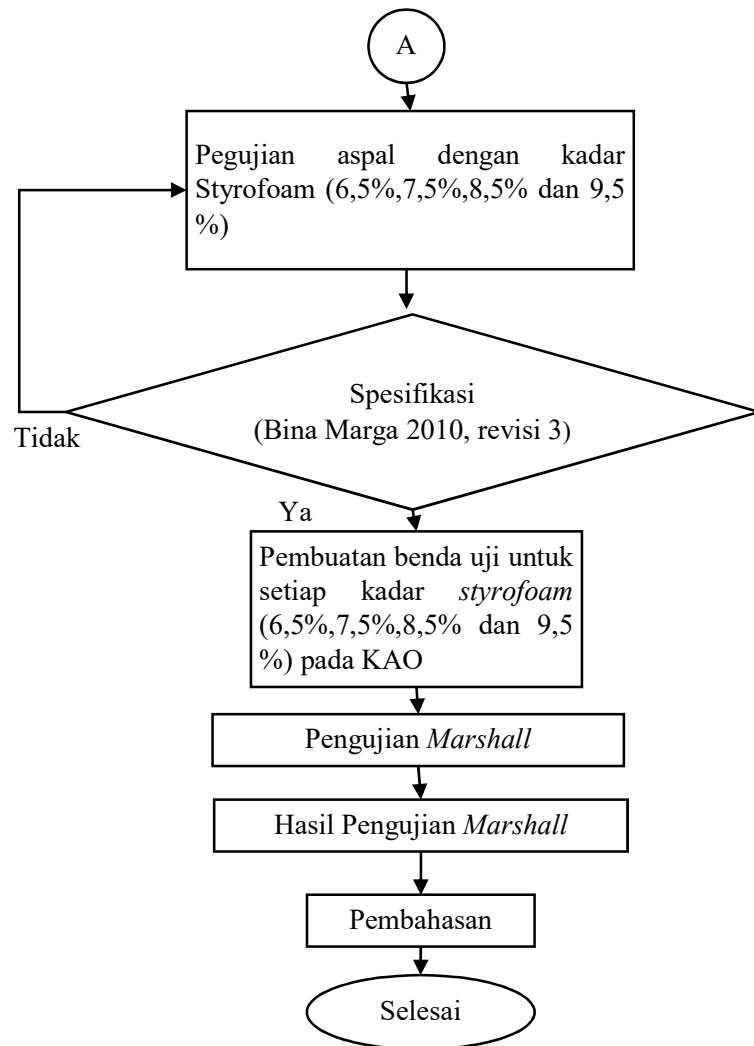
MF = *Flow Marshall* (mm)

IV METODE PENELITIAN

1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu tahap persiapan, pemeriksaan terhadap spesifikasi, penentuan rencana campuran (*mix design*), pembuatan benda uji dan pengujian *Marshall*. Bagan alir tahapan umum penelitian dapat dilihat pada Gambar 1





Gambar 1. Bagan alir pelaksanaan pengujian

2. Tahapan Penelitian

Persiapan pada tahap ini dilakukan penyiapan material berupa agregat kasar, agregat halus, aspal dan *styrofoam* serta peralatan pengujian. Aspal yang digunakan merupakan aspal jenis penetrasi 60/70 yang didapatkan dari PT. Pertamina, sedangkan *Styrofoam* didapatkan dari limbah sisa tempat makanan.

Setelah itu dilakukan pengujian bahan yang meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, aspal murni, dan aspal modifikasi. Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dan halus adalah pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air agregat kasar dan halus, sedangkan pada pengujian aspal dilakukan pengujian Berat Jenis Aspal, Penetrasi, Titik Lembek, dan Daktilitas. Benda uji menggunakan agregat sebesar 1200 gram, gradasi agregat menggunakan spesifikasi Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).

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. Lalu pembuatan benda uji *hot mix* yaitu dengan cara mencampur agregat dan aspal yang telah diuji dan lolos spesifikasi dengan suhu campuran yang telah ditentukan masing-masing benda uji dengan kadar aspal yang sama dibuat sejumlah tiga benda uji. Sehingga untuk pengujian KAO diperlukan 3 x 4 benda uji yaitu 12 buah, dan untuk variabel *styrofoam* diperlukan 3 x 4 buah benda uji yaitu 12 benda uji. Setelah pembuatan benda uji selesai lalu dilakukan pengujian *Marshall* yaitu untuk menentukan nilai stabilitas dan *flow*.

V HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan dua kali pengujian *Marshall* yaitu pengujian untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), kemudian KAO tersebut akan dipakai menjadi kadar aspal untuk campuran menggunakan *styrofoam*.

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

Tabel 1. 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 65%	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

Tabel 2. Hasil pengujian marshall untuk me
nentukan Kadar Aspal Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal			
			6%	6.5%	7%	7.5%
1	Density					
2	VFA	Min 65%				
3	VITM	4-6				
4	VMA	Min 15%				
5	Stability	Min 800 Kg				
6	Flow	>3				
7	MQ	Min 250 Kg/mm				

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

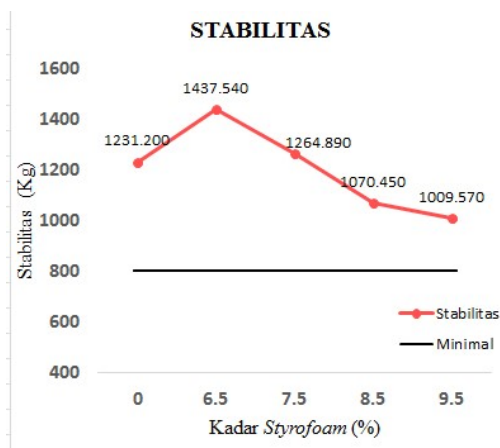
2. Hasil dan Pembahasan Aspal *Styrofoam* dengan Metode *Marshall*

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. Nilai stabilitas untuk masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 2



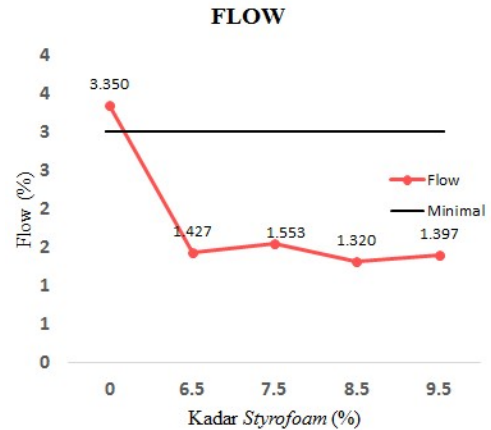
Gambar 2. Hubungan kadar Styrofoam dengan Stabilitas

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*. Hasil kelelahan ditunjukkan dalam Gambar 3



Gambar 3. Hubungan kadar Styrofoam dengan kelelahan (*flow*)

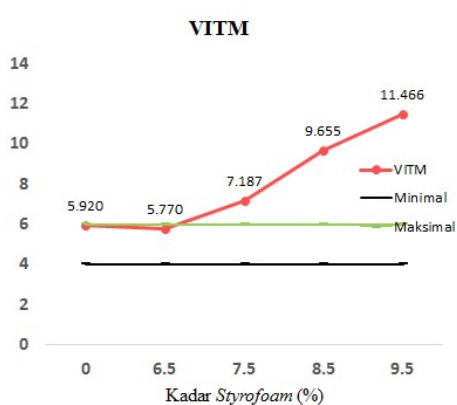
Penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti aspal dalam campuran HRS-WC cenderung tidak stabil sebagaimana terlihat di dalam grafik di atas, berdasarkan Gambar 5.11, nilai kelelahan terbesar yaitu pada campuran tanpa menggunakan *styrofoam* yaitu sebesar 3,35 mm dan masih memenuhi syarat Spesifikasi Departemen 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 kelelahan. Tingginya nilai kelelahan mengindikasikan terjadinya problem durabilitas pada perkerasan, sedangkan nilai kelelahan 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 kelelahan tidak boleh lebih kecil dari 3 mm. Sehingga hasil pengujian kelelahan pada *styrofoam* sebagai pengganti aspal tersebut tidak memenuhi untuk syarat kelelahan.

3. Voids In The Mix (VITM)

Nilai VITM menunjukkan nilai persentase rongga dalam suatu campuran aspal. Hasil nilai VITM ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan kadar Styrofoam dengan VITM

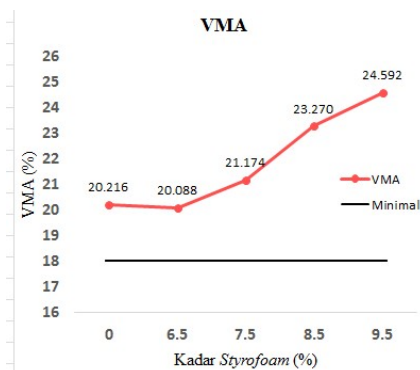
Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* pada campuran HRS-WC dapat menaikkan nilai VITM. Pada aspal campuran *styrofoam* dengan kadar 6,5%, 7,5%, 8,5%, dan 9,5% nilai dari VITM mengalami kenaikan dengan nilai berturut-turut sebesar 5,770%, 7,187%, 9,654% dan 11,466% dibandingkan dengan 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 lembek 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.



Gambar 5. Hubungan kadar Styrofoam dengan nilai VMA

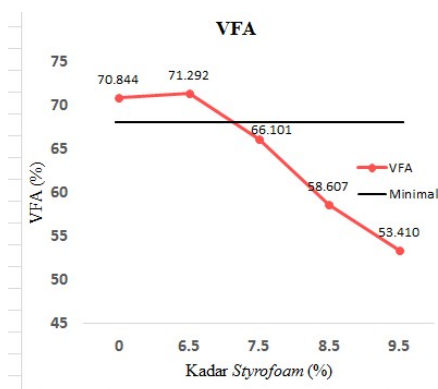
Dari grafik di atas terlihat bahwa seiring penambahan *styrofoam* cenderung menaikkan nilai VMA. Pada campuran tanpa menggunakan *styrofoam* nilai VMA yakni sebesar 20,216% dan pada campuran menggunakan *styrofoam* dengan kadar 6,5%, 7,5%, 8,5% dan 9,5% mengalami kenaikan dengan nilai berturut-turut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



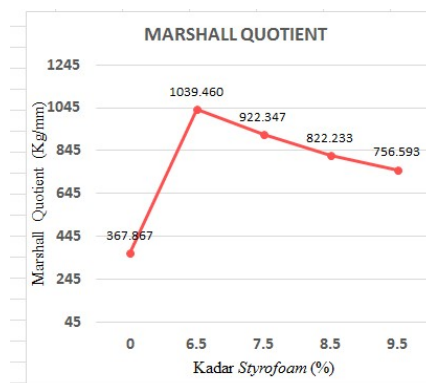
Gambar 6 Hubungan kadar Styrofoam dengan VFA

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.

6. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap keelehan 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 7



Gambar 7 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 3. 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	Stabilitas (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/m ³)	-	367,867	1039,46	922,347	822,233	756,593

VI KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, analisis dan pembahasan yang dilakukan pada campuran HRS-WC dengan menggunakan *Styrofoam* sebagai pengganti aspal, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Sifat fisik *styrofoam* yang diperoleh dari pengujian Penetrasi aspal sebesar 57,8 untuk campuran *styrofoam* 6,5%, 55,2 untuk campuran *styrofoam* 7,5%, 47,8 untuk campuran *styrofoam* 8,5%, dan 45,2 untuk campuran *Styrofoam* 9,5%. Sifat fisik *styrofoam* yang diperoleh dari pengujian Titik Lembek

yaitu sebesar 55,5°C untuk campuran *styrofoam* 6,5%, 58,5°C untuk campuran *styrofoam* 7,5%, 54,5°C untuk campuran *styrofoam* 8,5%, dan 54,5 °C untuk campuran *styrofoam* 9,5%. Sifat fisik *styrofoam* yang diperoleh dari pengujian didapatkan hasil bahwa berat jenis yang didapat sebesar 1,017 gr/cm³ untuk *styrofoam* 6,5%, 1,032 gr/cm³ untuk *styrofoam* 7,5%, 1,03 gr/cm³ untuk *styrofoam* 8,5, dan 1,05 gr/cm³ untuk *styrofoam* 9,5%.

2. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperlukan untuk penelitian aspal modifikasi pada campuran HRS-WC yaitu dengan kadar aspal 6,5%.
3. Penggunaan *styrofoam* sebagai bahan pengganti aspal pada campuran HRS-WC menyebabkan perubahan nilai karakteristik *Marshall*, dengan hasil-hasil pengujian sebagai berikut :
 - a. Nilai kepadatan semakin menurun dengan bertambahnya kadar *styrofoam*. Karena pada nilai kepadatan tidak ada syarat minimal dan maksimal, maka nilai kepadatan pada penelitian ini sudah memenuhi syarat.
 - b. Nilai stabilitas pada penelitian ini mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar *styrofoam* dan nilai stabilitas memenuhi persyaratan Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3) karena nilai stabilitas lebih dari 800 kg.
 - c. Nilai kelelahan pada *styrofoam* sebagai pengganti aspal cenderung tidak stabil. Nilai kelelahan tertinggi yaitu pada campuran tanpa menggunakan *styrofoam*. Sedangkan pada kadar aspal yang menggunakan *styrofoam* sebagai pengganti aspal nilai kelelahan tidak ada yang memenuhi syarat, karena nilai kelelahan kurang dari 3 mm.
 - d. Nilai VITM cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *styrofoam*. Pada kadar *styrofoam* 0% dan 6,5% masih

- masuk dalam spesifikasi, namun pada kadar *styrofoam* 7,5%, 8,5% dan 9,5% tidak masuk dalam spesifikasi, karena syarat pada Spesifikasi Umum Edisi 10 (Revisi3) nilai VITM yaitu antara rentang 4-6%.
- e. Nilai VMA semakin meningkat seiring penambahan *styrofoam*. Nilai terkecil yaitu pada kadar *styrofoam* 6,5% nilai VMA didapat 18,122%, sedangkan nilai tertinggi yaitu pada kadar *styrofoam* 9,5% dengan nilai VMA 21,258%. Namun pada penelitian ini semua kadar pada nilai VMA masih memenuhi persyaratan yaitu min 15%.
 - f. Nilai VFA pada penelitian ini secara umum mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar *styrofoam*. Syarat yang ditentukan pada nilai VFA yaitu min 65%, maka VFA yang memenuhi syarat yaitu pada kadar *styrofoam* 0%, dan 6,5%. Namun pada kadar *styrofoam* 7,5%, 8,5% dan 9,5% tidak memenuhi syarat Bina Marga karena nilai VFA kurang dari 68%.
 - g. Nilai MQ tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 6,5% *styrofoam* yaitu mencapai 1039,46 kg/mm, pada campuran 7,5% dengan nilai 922,347 kg/mm, campuran 8,5% dengan nilai 822,233 kg/mm, dan dengan nilai terkecil yaitu pada campuran 9,5% dengan nilai 756,593 kg/mm.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan jenis aspal dan campuran lain sebagainya untuk variasi terhadap temperatur.
2. Dilakukan pengkajian terhadap pelaksanaan perkerasan dengan campuran HRS-WC menggunakan *styrofoam* di lapangan.

3. Dengan hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pedoman dalam perencanaan penggunaan limbah *styrofoam* sebagai campuran jenis perkerasan HRS.

Daftar Pustaka

- Direktorat Jendral Bina Marga, 2010. *Spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3*. Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia.
- Masykur, M. M, Ir. (2001), *Analisa Uji Simulasi Pembebanan WTM pada Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston)*, Universitas Muhammadiyah Metro
- Rahmawati. A. 2016 “Pengaruh Limbah Padat *Styrofoam* Dengan Variasi Kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, Dan 6% Pada Campuran Hrs-Wc Ditinjau Dari Karakteristik *Marshall*” Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia.
- Tenriajeng, A. T. 2002. *Rekayasa Jalan Raya-2* : Gunadarma