

NASKAH SEMINAR

PENGARUH LIMBAH PADAT *STYROFOAM* DENGAN VARIASI 0%, 2%, 4% dan 6% PADA CAMPURAN AC-WC DI TINJAUH DARI KARAKTERISTIK MARSHALL¹

Windi Dewi Asaryanti², Anita Rahmawati, S.T., M.Sc.³, Emil Adly ST., M.Eng⁴

ABSTRACT

Penggunaan limbah bahan *Styrofoam* cukup banyak dalam kehidupan sehari-hari tetapi sangat sedikit yang dimanfaatkan. Tingkat penggunaan *Styrofoam* yang begitu banyak memicu limbah *Styrofoam* yang banyak juga. Untuk itu pemanfaatan limbah domestik *Styrofoam* yang tidak bisa hancur sehingga 100 tahun kedepan harus dilakukan dengan cerdas mengingat bahan yang ringan serta gangguan estetika yang timbul yang disebabkan oleh limbah yang terjadi jika tidak dikelola secara baik dan benar. Selain itu menipisnya persediaan agregat, seperti batu kerikil dan pasir juga menjadi masalah yang terkait dengan konstruksi dalam perkerasan jalan.

Metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu persiapan alat, pengujian bahan, perencanaan campuran, pembuatan benda uji dan pengujian Marshall. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Styrofoam*, Aspal penetrasi 60/70 dan Agregat. Gradasi agregat yang digunakan yaitu gradasi menerus (AC-WC). Untuk Parameter penentuan Kadar Aspal Optimum yaitu terdiri atas *Density*, *Voids Filled With Asphalt (FVWA)*, *Voids in Mix (VITM)*, *Void in the Mineral Agregat (VMA)*, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient (MQ)* dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% sedangkan kadar variasi *styrofoam* terhadap aspal yaitu mulai dari 0%, 2%, 4% dan 6%.

Dengan penambahan *styrofoam* pada aspal menunjukkan hasil yang signifikan terhadap pengujian sifat fisik aspal. Beberapa Parameter penentuan Kadar Aspal Optimum pada aspal dengan bahan tambah *styrofoam* mulai dari kadar variasi *styrofoam* 0%, 2%, 4% dan 6% juga telah memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3) dengan nilai FVWA diatas 65% yaitu mulai dari 75.203% - 80.133%, nilai VITM diantara 3-5% yaitu 4.440% - 3.375%, nilai VMA diatas 15% yaitu 17.905% - 16.990, nilai *Stability* diatas 1000kg yaitu 1580.460 – 1651.692, dan nilai *flow* diantara 2 - 4 mm yaitu mulai dari 3.900 mm – 2.460 mm.

Kata kunci: Limbah domestik, *Marshall Quotient (MQ)*, *Styrofoam*.

¹Disampaikan pada seminar Tugas Akhir

²20120110179, Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Email: windydea003@gmail.com

³Dosen Pembimbing I

⁴Dosen Pembimbing II

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penggunaan *styrofoam* cukup banyak dibandingkan pemanfaatan limbah *styrofoam* didalam kehidupan sehari-hari. Untuk itu pemanfaatan limbah domestik *Styrofoam* yang tidak bisa hancur sehingga 100 tahun kedepan harus dilakukan dengan cerdas mengingat bahan yang ringan serta gangguan estetika yang timbul yang disebabkan oleh limbah yang terjadi jika tidak dikelola secara baik dan benar.

Di sisi lain, masalah yang timbul terkait dengan konstruksi adalah menipisnya persediaan

agregat, seperti batu kerikil dan pasir. Agregat tersebut tidak hanya digunakan untuk perkerasan jalan saja, tetapi juga untuk proyek konstruksi lain, seperti pembuatan gedung-gedung bertingkat, perumahan dan bendungan.

Dengan latar belakang diatas maka penulis melakukan penelitian tentang “Pengaruh Limbah Padat *Styrofoam* dengan Variasi 0%, 2%, 4% dan 6% pada Campuran AC-WC di Tinjau dari Karakteristik Marshall”

Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, bahan *styrofoam* telah digunakan sebagai campuran pada aspal dengan

variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal. Beberapa masalah penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat fisis limbah *styrofoam* yang terikat dengan sifat fisis aspal yang digunakan?
2. Apakah penggunaan limbah *styrofoam* memberikan pengaruh terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran lapis Aspal beton *Asphalt Concrete-wearing course* (Laston-WC)?

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui sifat-sifat fisik limbah *styrofoam* yang digunakan sebagai campuran aspal pada perkerasan jalan.
2. Mengetahui KAO (kadar Aspal Optimum) yang akan di gunakan pada campuran AC-WC terhadap stabilitas dan durabilitas campuran.
3. Mengetahui kinerja campuran Aspal dan *Styrofoam* dengan Metode *Marshall*.

Manfaat Penelitian

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

1. Sebagai pedoman dalam perencanaan penggunaan *styrofoam* sebagai bahan tambah dalam aspal pada perkerasan jalan.
2. Optimalisasi pemanfaatan *styrofoam* untuk mengurangi pencemaran yang di akibatkan oleh limbah *styrofoam*.
3. Sebagai sebab untuk mendorong penelitian lainnya mengenai pemanfaatan *styrofoam*.

Batasan Masalah

Batasan masalah kegiatan penelitian ini adalah :

1. Pemeriksaan aspal (penetrasi, titik lembek, titik nyala, penurunan berat aspal, daktilitas, berat jenis aspal).
2. Pengujian *Marshall* dengan komposisi *styrofoam* 0%, 2%, 4%, dan 6% dari berat aspal.
3. Komposisi kimia pada agregat dan bahan *additive* (*Styrofoam*) dan pengaruhnya terhadap campuran tidak dibahas dalam laporan ini.

4. Aspal yang di gunakan adalah penetrasi 60/70 produksi Pertamina.
5. Pengujian ini dibatasi pada campuran lapis tipis aspal beton jenis AC-WC sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2010 revisi 3.
6. Pengujian dilakukan laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
7. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode pengujian *Marshall*.

TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang terletak diatas tanah dasar, yang telah mengalami pemadatan dan mempunyai fungsi untuk mendukung lalu lintas. Beban lalu lintas kemudian disebarkan ke badan jalan, sehingga tanah dasar tidak menerima beban yang lebih besar dari pada daya dukung tanah dasar yang diijinkan. Jenis perkerasan jalan dalam penelitian ini adalah Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*). Dimana perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.

Struktur perkerasan lentur terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun sebagai berikut :

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)
2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)
3. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)
4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Jenis Campuran beraspal yang digunakan yaitu *Asphalt Concrete- Wearing Course* (AC-WC). Menurut Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3) Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran yaitu AC Lapis Atas (AC-WC), AC Lapis Antara (*AC-Binder Course*, CA-BC) dan AC Lapis Pondasi atau sering disebut dengan *AC-Base* dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4mm, dan 37,5mm. Setiap jenis Campuran AC yang menggunakan bahan aspal polimer atau 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 :

1. Aspal
2. Agregat, terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan *filler*.

Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, maka campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam spesifikasi. Dua kunci utama yaitu :

1. Gradasi yang benar-benar senjang, maka selalu dilakukan pencampuran pasir halus dengan agregat pecah mesin.
2. Sisa rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan dalam spesifikasi.

Desain Campuran dalam penelitian ini adalah Metode *Marshall*. Konsep metode *Marshall* untuk rancangan campuran perkerasan dirumuskan oleh Bruce Marshall dan kemudian dikembangkan oleh *The US Army Corp Engineer*. (Lavin, 2003) melanjutkan penelitian dengan intensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan akhirnya mengembangkan rancangan campuran pengujian ini, yang telah distandarisasikan di dalam ASTM D-1559.

LANDASAN TEORI

Bahan Penyusun Campuran AC-WC

Adanya lapisan padat dan awet pada beberapa lapisan beraspal dikarenakan aspal tersebut memiliki susunan agregat yang terdiri dari agregat

kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan bahan ikat aspal yang telah dicampur di pusat instalasi pencampuran, serta dihampar dan dipadatkan diatas pondasi atau permukaan jalan yang telah disiapkan, oleh karena itu semua jenis pencampuran itu harus sesuai spesifikasi yang ada.

Pembagian Butir Agregat

Pembagian butir (gradasi) agregat adalah distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu yang diperoleh dari hasil analisis saringan dengan menggunakan satu set saringan yang dinyatakan dalam persentase lolos, atau persentase tertahan, dihitung berdasarkan berat agregat.

Gradasi agregat dapat dikelompokkan dalam 3 jenis, yaitu:

1. Gradasi menerus (*Continous Graded*)
2. Gradasi Tunggal (*Single Graded*)
3. Gradasi Senjang (*Gap Graded*)

Pada campuran AC – WC digunakan agregat dengan gradasi menerus (*Single graded*) dimana gradasi menerus ini adalah butiran agregat yang mayoritas satu ukuran, biasanya masih terdapat sedikit butiran halus yang ikut dibawa sehingga tidak dapat mengisi agregat. Seperti terlihat pada contoh batas-batas ‘‘bahan bergradasi menerus’’ yang lolos ayakan No. $\frac{3}{4}$ (19 mm) dan tertahan ayakan No. 200 (0,075 mm) dalam Tabel 1.

Tabel 1. Gradasi agregat gabungan untuk campuran Laston (AC-WC)

Ukuran Ayakan		% Berat lolos terhadap total agregat	
Inchi	Mm	Wearing Coarse (WC)	Base
1½	37,5	-	100
1	25	-	90 – 100
$\frac{3}{4}$	19	100	76 – 90
$\frac{1}{2}$	12,5	90 – 100	60 – 78
$\frac{3}{8}$	9,5	77 – 90	52 – 71
No.40	4,75	53 – 69	35 – 54
No.8	2,36	33 – 53	23 – 41
No.16	1,18	21 – 40	13 – 30
No.30	0,6	14 – 30	10 – 22
No.50	0,3	9 – 30	6 – 15
No.100	0,15	6 – 15	4 – 10
No.200	0,075	4 – 9	3 – 7

Pengujian Metode Marshall

Pada pengujian ini meliputi pengukuran stabilitas dan pelelehan (*flow*) suatu campuran beraspal dengan butir agregat berukuran maksimum 25,4 mm. Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Alir (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm. Acuan normatif yaitu SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-97, AASHTO T 209-90, BS 598, dan *Asphalt Institute MS-2-1994*.

Metode Pengujian Material

1. Agregat Kasar

Beberapa perhitungan dalam agregat kasar yaitu:

$$Sd = \frac{A}{B-C} \quad (1)$$

$$Ss = \frac{B}{B-C} \quad (2)$$

$$Sa = \frac{A}{A-C} \quad (3)$$

$$Sw = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (4)$$

$$Keausan = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (5)$$

2. Agregat Halus

Merupakan pasir sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4)

Beberapa perhitungan dalam agregat halus yaitu :

$$Sd = \frac{A}{B-C} \quad (6)$$

$$Ss = \frac{B}{B-C} \quad (7)$$

$$Sa = \frac{A}{A-C} \quad (8)$$

$$Sw = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (9)$$

Dimana,

Sd = Berat jenis Curah Kering

Ss = Berat jenis Curah (Jenuh Kering permukaan)

Sa = Berat jenis Semu

Sw = Penyerapan Air

A = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan diudara (gr)

C = Berat benda uji dalam air

a = Berat benda uji semula (gr)

b = Berat benda uji tertahan saringan No.12 (1,70mm) (gr)

3. Aspal

Pengujian aspal tersebut antara lain :

a. Penetrasi

b. Titik Lembek

c. Berat jenis

$$\text{Berat Jenis} = \frac{C-A}{((B-C)-(D-C))} \quad (10)$$

Dimana,

A = Massa piknometer dan penutup

B = Massa piknometer dan penutup berisi air

C = Massa piknometer, penutup dan benda uji

D = Massa piknometer, penutup, benda dan air

d. Daktilitas

e. Kehilangan Berat Minyak dan Aspal.

$$\text{Penurunan Berat} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (11)$$

Dimana,

A = Berat benda uji semula

B = Berat benda uji setelah pemanasan

f. Elastisitas

$$\% \text{Elastisitas} = \frac{10-x}{10} \times 100\% \quad (12)$$

Dimana,

X = Perpanjangan benda uji dalam satuan cm setelah mengalami Elastisitas.

g. Titik Nyala dan Titik Bakar

$$\text{Titik Nyala} = C + 0,25 (101,3-K) \quad (13)$$

Dimana,

C = Titik Nyala /Titik Bakar, °C

K = Tekanan Barometer udara, kPa

Metode Pengujian Campuran

Didalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter penunjuk berat, yaitu berat jenis. Analisis berat jenis diperlukan dalam perhitungan untuk mencari karakteristik *Marshall*, sehingga perlu dipahami terlebih dahulu konsep mengenai berat jenis kering agregat, berat jenis efektif agregat, dan berat jenis maksimum teoritis campuran.

Karakteristik Marshall

Karakteristik campuran dari lapisan perkerasan dipengaruhi oleh susunan dan kualitas dari bahan-bahan penyusunnya, selain itu proses pelaksanaan dalam pengerjaannya dapat mempengaruhi kualitas campuran. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh beton aspal campuran panas, antara lain adalah :

1. Kepadatan (*Density*)
2. Rongga antara Mineral Agregat (*VMA*)
3. Rongga Udara dalam Campuran (*VITM*)
4. Rongga terisi Aspal (*VFWA*)
5. Stabilitas
6. Kelelehan Plastis atau Alir (*Flow*)
7. *Marshall Quetient (MQ)*

Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum adalah hasil dari pengujian marshall yang berupa nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi campuran.

Kadar Aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi sifat campuran yang diinginkan dengan rentang kadar aspal optimum lebih besar 0,5%.

Persyaratan karakteristik campuran Laston yang diuji *Marshall* harus memenuhi persyaratan yang ditentukan. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga edisi 2010 revisi 3 persyaratan campuran Laston dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan sifat-sifat campuran AC-WC

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Mak	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Mak	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Mak	4		6
Stabilitas Marshall (%) setelah perendaman selama 24 jam. 60°C	Min.	90		
VITM (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

METODOLOGI PENELITIAN

agregat Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan adalah dari Clereng, Kulonprogo, Yogyakarta. Pengujian ini meliputi pengujian Berat jenis Agregat, Keausan agregat dengan Mesin Los Angeless dan pengujian Analisis saringan

Bahan yang digunakan dalam pengujian material aspal ini adalah penetrasi 60/70. Untuk pengujian aspal maupun pengujian aspal dengan campuran styrofoam, yaitu mencakup pengujian penetrasi, Berat jenis aspal, Kehilangan berat minyak (Loss on Heating), Titik lembek (Softening Point Test),

Titik nyala dan Titik bakar dan Pengujian Daktailitas

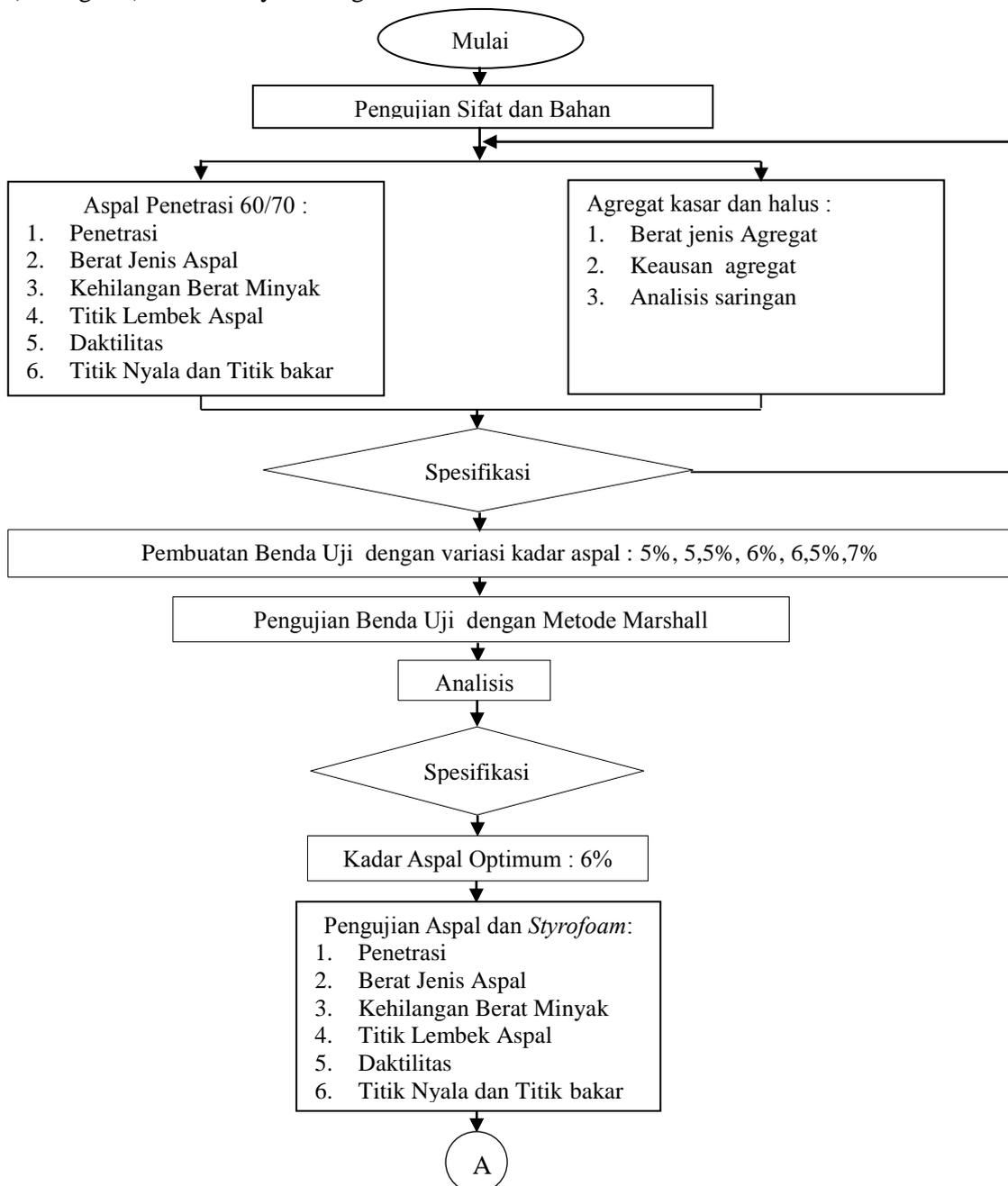
Dalam perencanaan campuran, kadar aspal optimum yang digunakan sebesar 6% dari total agregat (1200 gram) yaitu sebanyak 72 gram. Kadar styrofoam yang direncanakan sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6%. Sebagai contoh, untuk kadar aspal Styrofoam 2% di dapat dari berat total aspal (72 gram) adalah sebesar 1,44 gram. Kemudian Styrofoam yang sudah ditimbang dilelehkan dalam wadah yang berbeda dengan wadah aspal. Setelah Styrofoam meleleh, kemudian dicampurkan kedalam aspal yang sedang

dipanaskan dan diaduk sampai *Styrofoam* dan aspal tercampur merata.

Gradasi agregat yang digunakan untuk campuran Laston diambil dari gradasi tengah spesifikasi Laston seperti yang dijelaskan pada Tinjauan pustaka. Kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% dari total campuran agregat. *Styrofoam* yang digunakan sebanyak 0%, 2%, 4%, dan 6% dari berat total aspal.

Setelah itu agregat ditimbang sesuai dengan perencanaan gradasi setiap nomor saringan atau fraksinya. Misalnya jumlah agregat yang tertahan saringan No. 4 sebanyak 25% dari total berat agregat (1200 gram) atau sebanyak 300 gram.

Lalu agregat dipanaskan hingga suhu 160°C, kemudian dicampur dengan aspal yang telah ditambahkan *Styrofoam* sesuai kadar yang direncanakan, yakni 0%, 2%, 4%, dan 6% dari total berat aspal. Kemudian campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan untuk ditumbuk sebanyak 2×75 kali. Benda uji dibuat sebanyak dua buah untuk setiap kadar aspal. Setelah itu pengujian benda uji dengan menggunakan Alat Uji Marshall. Selesai pengujian ini didapat nilai KAO, dimana nilai KAO ini akan digunakan sebagai acuan dalam pengujian selanjutnya yaitu pengujian aspal *styrofoam*. Agar lebih jelas, untuk bagan alir penelitiannya adalah sebagai berikut :



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian agregat

Tabel 3 . Hasil pengujian agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Minimal	Maksimal	
I. Agregat Kasar						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,59	-	-	SNI 1969 : 2008
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,79	2,5	-	SNI 1969 : 2008
3	Berat jenis efektif	-	2,69	-	-	SNI 1969 : 2008
4	Penyerapan	%	0,028	-	3	SNI 1969 : 2008
5	Pengujian Abrasi	%	36,4	-	40	SNI 2417 : 2008
II. Agregat Halus						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,5646	-	-	SNI 1970 : 2008
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,6667	2,5	-	SNI 1970 : 2008
3	Berat jenis efektif	-	2.6158	-	-	SNI 1970 : 2008
4	Penyerapan	%	1,6466	-	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.

Hasil Pengujian aspal

Tabel 4. Hasil pengujian Aspal pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	72,2	60	79	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek	°C	50	48	58	SNI 2434 : 2011
3	Titik Nyala	°C	338	232	-	SNI 2433 : 2011
4	Daktilitas	cm	130	100	-	SNI 2432 : 2011
5	Berat Jenis	gr/cm ³	1,045	1	-	SNI 2441 : 2011
6	Kehilangan Berat	% berat	0,03	-	0,8	SNI 06-2441-1991

Berdasarkan hasil pada Tabel 4, menunjukkan bahwa pengujian penetrasi rata-rata adalah 72,2 dmm. Hasil ini masih berada dalam batas untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu antara 60-79. 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 sebesar 130 cm, sehingga aspal yang digunakan memenuhi syarat.

Dari hasil pengujian terhadap sifat titik lembek dan nyala aspal diperoleh nilai rata-rata titik lembek sebesar 50°C dan titik nyala aspal

pada suhu 338°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).

Pemeriksaan kehilangan berat aspal berguna untuk mengetahui pengurangan berat

akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal atau untuk mengetahui kemurnian aspal. Penurunan berat aspal optimum yang diperkenankan adalah 0,8 % dari berat semula dan hasil pemeriksaan menunjukkan penurunan aspal sebesar 0,03%, dengan demikian benda uji memenuhi persyaratan SNI 06-2441-1991.

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

Dari hasil pemeriksaan berat jenis aspal diperoleh nilai sebesar 1,045 gr/cc sehingga aspal dalam penelitian ini memenuhi syarat SNI 2441 : 2011 yaitu minimal 1 gr/cc.

dan *Styrofoam* perlu di periksa di laboratorium. Hasil modifikasi ini yang masuk dalam Spesifikasi maka bisa digunakan untuk bahan pengikat dalam campuran perkerasan. Hasil pengujian aspal *Styrofoam* diberikan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5 Hasil pengujian aspal *styrofoam*

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi 2%	0,1 mm	64,2	40	-	SNI 06-2456-1991
2	Penetrasi 4%	0,1 mm	60,2	40	-	SNI 06-2456-1991
3	Penetrasi 6%	0,1 mm	53,4	40	-	SNI 06-2456-1991
4	Titik Lembek 2%	°C	52	54	-	SNI 2434 : 2011
5	Titik Lembek 4%	°C	54	54	-	SNI 2434 : 2011
6	Titik Lembek 6%	°C	56	54	-	SNI 2434 : 2011
7	Elastisitas 2%	%	87	60	-	AASHTO T 301 - 98
8	Elastisitas 4%	%	84	60	-	AASHTO T 301 - 98
9	Elastisitas 6%	%	80	60	-	AASHTO T 301 - 98
10	Berat Jenis 2%	gr/cm ³	1,041	1	-	SNI 2441 : 2011
11	Berat Jenis 4%	gr/cm ³	1,035	1	-	SNI 2441 : 2011
12	Berat Jenis 6%	gr/cm ³	1,030	1	-	SNI 2441 : 2011

Berdasarkan Tabel 5 hasil penetrasi masih berada dalam batas untuk aspal yang dimodifikasi yaitu minimal 40, pada pengujian titik lembek, Elastisitas dan Berat jenis juga masih berada dalam batas minimal untuk aspal modifikasi yaitu

54°C (Titik lembek), 60% (Elastisitas) dan 1 gr/cm³ (Berat Jenis).

Terjadinya penurunan nilai Penetrasi, Elastisitas, Berat jenis aspal *styrofoam* dan kenaikan nilai Titik lembek dikarenakan adanya

kandungan karet sintetis pada *styrofoam* dan menandakan bahwa penambahan *styrofoam* bagus

digunakan sebagai bahan tambahan untuk bahan pengikat perkerasan jalan

Hasil pengujian Marshall

Tabel 6. Hasil pengujian *Marshall*

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar <i>styrofoam</i> terhadap aspal			
			0%	2%	4%	6%
1	Density		2.35	2.34	2.27	2.28
2	VFWA (%)	min 65	75.97	75.49	65.09	64.28
3	VITM (%)	3-5	4.27	4.62	4.05	7.26
4	VMA (%)	min 15	17.76	18.06	20.56	20.33
5	Stability (kg)	Min 800	1643.91	1651.69	1654.36	1659.07
6	Flow (mm)	2-4	3.90	3.21	3.15	2.46
7	MQ (kg/mm)	min 250	609.14	500.76	513.74	677.41

Kepadatan adalah berat campuran yang diukur tiap satuan volume, nilai kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kadar aspal dan kekentalan aspal. Campuran dengan kepadatan yang tinggi mempunyai kemampuan menahan beban lalu lintas yang lebih baik, serta memiliki kekedapan yang tinggi terhadap air dan udara. Dari grafik diatas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* cenderung menurunkan nilai kepadatan (*density*) dikarenakan penambahan *styrofoam* mengandung karet sintetis sehingga mengakibatkan lebih peka terhadap suhu.

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*. Dari Tabel 7 terlihat bahwa nilai stabilitas tertinggi dicapai dengan kadar *styrofoam* 6% yaitu sebesar 1659.07 kg dan nilai terendah dikadar *styrofoam* 0% yaitu 1643.91, kenaikan stabilitas di kadar *styrofoam* 6% dikarenakan nilai penetrasi yang dihasilkan dari pencampuran aspal *styrofoam* lebih rendah dibandingkan dengan aspal pen 60/70.

Kelelahan menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Nilai kelelahan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat. Terlihat didalam Tabel 7 bahwa

penggunaan *styrofoam* dalam campuran Laston menurunkan nilai kelelahan, kejadian penurunan itu dipengaruhi oleh kadar aspal dalam campuran, suhu dan partikel agregat. 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*).

Untuk 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*) dan untuk nilai 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*. Pada Tabel 7 terlihat bahwa dengan penambahan *styrofoam* dapat meningkatkan nilai VITM dan VMA. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VITM dan VMA tinggi yaitu karena campuran terlalu kasar, kesalahan perbandingan campuran, pada saat penumbukan dilakukan campuran sudah terlalu dingin, kecerobohan pekerja dan bisa dikarenakan adanya kesalahan dalam *batch*. Nilai VITM terus meningkat hingga penambahan *Styrofoam* sebanyak 6% namun disini ada sedikit penurunan angka VITM pada penambahan *Styrofoam* sebanyak 4%. Dan Nilai VMA tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 4% *Styrofoam*, yakni sebesar 20,56% dan di 6% *Styrofoam* mengalami sedikit penurunan namun

masih lebih tinggi dari pada kadar 2% *styrofoam*. Jadi Nilai VITM yang masuk spesifikasi yaitu pada kadar *styrofoam* 0%, 2% dan 4%, sedangkan untuk nilai VMA semuanya masuk spesifikasi.

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. Penggunaan % *styrofoam* sebagai pengganti agregat cenderung menurunkan nilai VFWA seperti yang terlihat di Tabel diatas dikarenakan kadar *styrofoam* yang digunakan sebagai bahan tambah tidak memiliki sifat adhesi dan kohesi seperti aspal. Dari grafik di atas terlihat bahwa yang memenuhi spesifikasi minimum yang dipersyaratkan oleh Bina Marga untuk VFWA sebesar 65% adalah campuran 0% *Styrofoam*, 2%, dan 4%. Kadar *styrofoam* yang lebih dari 6% *Styrofoam* tidak bisa menjadi bahan *addictive* campuran Laston, karena nilai VFWA 6% *Styrofoam* tidak memenuhi spesifikasi minimum yang dipersyaratkan.

Nilai 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. Dilihat dalam Tabel 7 nilai MQ mengalami penurunan dikadar *styrofoam* 2% namun kemudian mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *styrofoam*, ini dikarenakan seiring penambahan *styrofoam* membuat perkerasan kaku karena perbandingan stabilitas dan kelelahan. Namun nilai MQ disini masih masuk spesifikasi yang disyaratkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan yang dilakukan pada campuran Laston dengan menggunakan polimer *styrofoam* sebagai campuran pada aspal, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Sifat fisik *styrofoam* yang diperoleh dari pengujian didapatkan hasil berat jenis sebesar 1,041 untuk *styrofoam* 2%, 1,035 untuk *styrofoam* 4% dan 1,03 untuk *styrofoam* 6%.
2. Sifat fisik *styrofoam* Kehilangan berat akibat pemanasan didapat sebesar 0,03 %wt, sedangkan standar yang diperbolehkan adalah kuang dari 0,8 %wt, titik lembek yang

di dapat sebesar 52⁰C untuk campuran *styrofoam* 2%, 54⁰C untuk campuran *styrofoam* 4% dan 56⁰C untuk campuran *styrofoam* 6%.

3. Sifat fisik *styrofoam* pada uji Elastisitas sebesar 87% untuk campuran *styrofoam* 2%, 84% untuk campuran *styrofoam* 4% dan 80% untuk campuran *styrofoam* 6% dengan syarat elastisitas $\geq 60\%$ sehingga Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).
4. Sifat fisik *styrofoam* yang diperoleh dari pengujian Pentrasi aspal sebesar 64,2 untuk campuran *styrofoam* 2%, 60,2 untuk campuran *styrofoam* 4%, dan 53,4 untuk campuran *styrofoam* 6% dengan standar yang di gunakan minimum 40.
5. Penggunaan *styrofoam* pada aspal dalam campuran Laston menyebabkan perubahan nilai karakteristik Marshall, dengan hasil-hasil pengujian sebagai berikut :
 - a. Nilai stabilitas semakin meningkat dengan bertambah nya kadar *styrofoam* dan nilai stabilitas memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3), persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg, sehingga dari campuran-campuran tersebut memenuhi syarat minimal untuk stabilitas
 - b. Nilai kelelahan tertinggi terjadi pada campuran Laston menggunakan 0% *styrofoam*, yakni sebesar 3,65 mm. Sedangkan nilai kelelahan terendah terjadi pada campuran Laston tanpa menggunakan 6% *styrofoam*, yakni sebesar 3,2 mm.
 - c. Nilai VITM secara umum mengalami kenaikan sejalan dengan penambahan kadar *styrofoam* sehingga pada kadar *syrofoam* 6% tidak memnuhi spesifikasi dari VITM berkisar antara 3%-6% dan hasil dari VITM pada kadar 6% sebesar 7,26%
 - d. Nilai VMA kadar *styrofoam* sebanyak 2%, nilai VMA menjadi sebesar 18,06% dan untuk *styrofoam* 4% nilai VMA 20,56% dan kadar *styrofoam* 6% dengan nilai VMA sebesar 20,33% dan masih memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3).
 - e. Nilai VFWA pada campuran dengan kadar *styrofoam* 2% mengalami sedikit penurunan sebesar 75,49% dan nilai tertinggi pada kadar *styrofoam* 0% yakni 75,97% namun hasil dari campuran aspal

- 2% sampai 6% masih memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3).
- f. Nilai MQ tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 6% *styrofoam* sebesar 677, 4 kg/mm, 4% *styrofoam* sebesar 513,7 kg/mm dan untuk 2% *styrofoam* mengalami penurunan sebesar 500,8 kg/mm.
6. Adapun perbandingan nilai karakteristik Marshall campuran Laston menggunakan *styrofoam* sebanyak 0%, 2%, 4% dan 6%, sebagai berikut :
 - a. Semakin banyak *styrofoam* yang digunakan dalam campuran perkerasan dapat meningkatkan nilai stabilitas. Meningkatkan stabilitas campuran yaitu meningkatkan kemampuan campuran Laston -WC untuk memikul beban lalu lintas sampai terjadi kelelahan plastis.
 - b. Semakin banyak *styrofoam* yang digunakan dalam campuran Laston cenderung menurunkan nilai kelelahan karena aspal semakin mengeras.
 - c. Penggunaan *styrofoam* sebagai campuran pada aspal menaikkan nilai VITM, atau dalam hal ini air dan udara dapat mudah masuk dalam perkerasan yang menyebabkan oksidasi dan integritas..
 - d. Semakin banyak *styrofoam* sebagai campuran pada aspal cenderung menurunkan nilai VMA, sehingga konstruksi jalan dapat lebih awet.
 - e. Penambahan *styrofoam* pada campuran aspal Laston cenderung menurunkan nilai VFWA, sehingga mempengaruhi kadar aspal efektif yang akan menyelimuti material dan menentukan kinerja campuran dalam suatu konstruksi.
 - f. Penggunaan *styrofoam* cenderung meningkatkan nilai MQ. Penambahan *Styrofoam* dapat meningkatkan kemampuan konstruksi jalan dalam menerima beban, namun konstruksi tersebut masih fleksibel dan lentur.
 - g. Penggunaan aspal yang terlalu banyak mengakibatkan nilai VMA meningkat dan VITM kecil dan terjadi *bleeding*.
 7. *Styrofoam* dapat digunakan sebagai campuran aspal pada perkerasan Lapis Aspal Beton (Laston)

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengujian untuk mengetahui keterkaitan kimia antara aspal- *styrofoam*.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan jenis aspal dan campuran lain sebagainya untuk variasi terhadap temperatur.
3. Pada penelitian bisa di gunakan jenis aspal dan *styrofoam* yang berbeda untuk mengetahui sifat fisik dari aspal modifikasi.
4. Dapat dilakukan dengan pengkajian tentang kohesitas campuran terhadap kadar aspal dengan menggunakan metode ITS (*indirect Tensile Strength*).
5. Dilakukan pengkajian terhadap pelaksanaan perkerasan dengan campuran AC – WC menggunakan *styrofoam* di lapangan.
6. Dengan hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pedoman dalam perencanaan penggunaan *styrofoam* sebagai campuran jenis perkerasan hot Rolled Sheet.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga, 1983, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) no 13 /PT/B/1983*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Bina Marga, 1999, *Pedoman Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Bina Marga, 2010, *Spesifikasi Umum* Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, Yogyakarta.
- Hesty dan Sofyan, 2014, *Pengaruh Substitusi Styrofoam kedalam Aspal Penetrasi 60/70 terhadap karakteristik Campuran Aspal Porus*, jurnal Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala.
- Lavin, P.G, 2003, *Asphalt Pavement, London and New York* : Spon press.
- Sukirman, S, 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit NOVA, Bandung.
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit : Granit, Jakarta.
- Totomohardjo, S, 2004, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, BPTS, Yogyakarta

Saran