

LAPORAN PENELITIAN

Pengembangan
Teknologi
Berkelanjutan



**PENGARUH LIMBAH PADAT *STYROFOAM* DENGAN
VARIASI KADAR 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, DAN 6% PADA
CAMPURAN HRS-WC
DITINJAU DARI KARAKTERISTIK *MARSHALL***

oleh :

ANITA RAHMAWATI, ST., MSc.

(NIDN. 0512067701)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2016

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Kegiatan : Pengaruh Limbah Padat Styrofoam
dengan Variasi Kadar 0%, 1%, 2%, 3%,
4%, 5%, DAN 6% pada campuran HRS-
WC Ditinjau dari Karakteristik Marshall
2. Bidang Ilmu : Teknik Sipil
3. Ketua Tim Peneliti
Nama Lengkap dan Gelar : Anita Rahmawati, ST, MSc.
Jenis Kelamin : Perempuan
Golongan/Pangkat : Penata / III b
Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Sipil
4. Jumlah Anggota Peneliti : 2
5. Lokasi Penelitian : Laboratorium Teknik Sipil UMY
6. Kerjasama dengan institusi lain : -
7. Lama Penelitian : 4 (empat) bulan
9. Biaya Kegiatan Total
Sumber Universitas : Rp.
Sumber lain : Rp. 5.000.000 (lima juta rupiah)
Jumlah : Rp. 5.000.000 (lima juta rupiah)

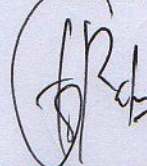
Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil UMY



Ir. Anita Widianti, MT
NIP. 19650720 199403 2 001

Yogyakarta, 1 Mei 2016

Ketua Tim



Anita Rahmawati, ST., MSc.
NIDN:0512067701

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
INTISARI.....	vi
I. PENDAHULUAN.....	1
II. RUMUSAN MASALAH.....	1
III. TUJUAN PENELITIAN.....	2
IV. TINJAUAN PUSTAKA	2
1. HRS.....	3
2. Parameter Marshall	8
V. METODOLOGI PENELITIAN	11
1. Bagan Alir Penelitian.....	11
2. Tahapan Penelitian.....	15
3. Lokasi Penelitian.....	21
VI. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
1. Hasil Pengujian Bahan.....	21
2. Hasil Pengujian <i>Aspal-Styrofoam</i>	22
3. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum.....	23
4. Hasil dan Pembahasan Pengujian Marshall Menggunakan Campuran aspal Styrofoam.....	24
VII. KESIMPULAN DAN SARAN	34
1. Kesimpulan	34
2. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Bagan alir penelitian.....	12
Gambar 2	Bagan alir pelaksanaan penelitian	13
Gambar 3	Hubungan antara Density dengan variasi <i>styrofoam</i>	25
Gambar 4	Hubungan antara Stabilitas dengan variasi <i>styrofoam</i>	26
Gambar 5	Hubungan antara <i>Flow</i> dengan variasi <i>styrofoam</i>	27
Gambar 6	Hubungan antara VIM dengan variasi <i>styrofoam</i>	28
Gambar 7	Hubungan antara VMA dengan variasi <i>styrofoam</i>	29
Gambar 8	Hubungan antara VFWA dengan variasi <i>styrofoam</i>	31
Gambar 9	Hubungan antara <i>Marshall Quotient</i> (MQ) dengan variasi <i>styrofoam</i>	32

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Ketentuan sifat-sifat campuran Lataston (HRS)	4
Tabel 2.	Spesifikasi pengujian agregat kasar dan halus	5
Tabel 3	Gradasi agregat untuk campuran HRS - WC	5
Tabel 4	Persyaratan Aspal Keras 60/70.....	6
Tabel 5	Syarat Filler	7
Tabel 6	Ketentuan Sifat Campuran HRS	11
Tabel 7	Hasil pengujian agregat kasar dan halus	21
Tabel 8	Hasil pengujian aspal keras penetrasi 60/70	22
Tabel 9	Hasil Pengujian Aspal- Styrofoam	22
Tabel 10	Hasil pengujian <i>Marshall</i>	23
Tabel 11	Hasil pengujian <i>Marshall</i> penentuan Kadar Aspal Optimum	23
Tabel 12	Nilai <i>Density</i> untuk masing-masing campuran <i>styrofoam</i>	25
Tabel 13	Nilai Stabilitas untuk masing-masing campuran <i>styrofoam</i>	26
Tabel 14	Nilai <i>Flow</i> untuk masing-masing campuran <i>styrofoam</i>	27
Tabel 15	Nilai VITM untuk masing-masing campuran <i>styrofoam</i>	28
Tabel 16	Nilai VMA untuk masing-masing campuran <i>styrofoam</i>	29
Tabel 17	Nilai VFWA untuk masing-masing campuran <i>styrofoam</i>	30
Tabel 18	Nilai <i>Marshall Quotient</i> untuk masing-masing campuran <i>styrofoam</i>	32
Table 19	Hasil uji <i>Marshall</i> aspal dengan campuran <i>styrofoam</i>	33
Tabel 20	KAO pada campuran Aspal <i>Styrofoam</i>	34

INTISARI

Penggunaan *styrofoam* didasarkan pada peningkatan produksi bahan tersebut di Indonesia. Seiring dengan itu, maka limbah *styrofoam* yang tidak terpakai di lingkungan semakin meningkat. Masalah ini semakin besar dikarenakan *styrofoam* tidak dapat terurai dengan mudah apabila hanya dibiarkan begitu saja. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengubah limbah bahan tersebut menjadi sesuatu yang lebih berguna, salah satunya sebagai bahan tambah (*additive*) yang digunakan dalam campuran HRS – *Wearing Course*, yang diharapkan selain menaikkan fungsi struktural jalan juga dapat menekan biaya pembuatan campuran perkerasan tanpa mengurangi kenyamanan dan keamanan pengguna jalan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrofoam* dalam campuran HRS-WC terhadap parameter *Marshall*.

Pada penelitian ini menggunakan *styrofoam* sebagai bahan tambah (*additive*) yang digunakan dalam campuran HRS – *Wearing Course* dengan kadar aspal optimum sebesar 7% dan kadar *styrofoam* yang diuji sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, dan 6% dengan metode *Marshall*.

Dari hasil penelitian dari nilai penetrasi, berat jenis, elastisitas cenderung menurun dengan bertambahnya kadar *styrofoam* dan untuk titik lembek semakin meningkat seiring bertambahnya kadar *styrofoam*. Selanjutnya untuk hasil KAO dari kadar aspal 7% dengan campuran *Styrofoam* pada pengujian *Marshall* yang meliputi nilai kerapatan (*density*), VFWA, Stabilitas, Kelelahan (*Flow*) dan *Marshall Quotient* (MQ) semakin meningkat dan untuk hasil dari VITM dan VMA semakin menurun seiring bertambahnya kadar *styrofoam*, namun untuk hasil VITM untuk 5% dan 6% tidak memenuhi persyaratan yang di tentukan yakni 4%-6%. Dari hasil yang di dapat di sesuaikan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).

Kata kunci : HRS-WC, *Marshall*, *Styrofoam*.

I. PENDAHULUAN

Styrofoam merupakan salah satu jenis plastik dari sekian banyak bahan lainnya. Bahan dasarnya terbuat dari *Polisterin*, suatu jenis plastik yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari antara lain digunakan untuk dekorasi, maket bangunan dan wadah penyajian bagi hidangan produk siap saji. Namun, pemanfaatan *styrofoam* yang luas menjadi permasalahan bagi lingkungan berupa pencemaran. *Styrofoam* yang dimanfaatkan dalam kegiatan pengemasan, alat rumah tangga, mainan, dan bahan pelengkap menyebabkan menumpuknya sisa hasil pemakaian berupa limbah. Limbah *styrofoam* sulit terurai dan sering kali menggunung di sungai. Bahkan limbah *styrofoam* menghasilkan 57 zat berbahaya ke udara

Styrofoam hanya salah satu dari puluhan, bahkan ratusan jenis plastik hasil proses pencampuran bahan kimia organik yang berasal dari minyak bumi, batu bara, atau gas alam. Sifat racun yang mencemari makan atau minuman bisa merangsang tumbuhnya sel tumor dan kanker serta potensi mengakibatkan cacat lahir. Selama ini penanganan limbah *styrofoam* dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu: penggunaan kembali tanpa melalui modifikasi, pembakaran, dan ditimbun dalam tanah. Namun cara-cara tersebut merupakan metode konvensional dan bersifat tidak ramah lingkungan.

Untuk mengurangi dampak limbah *Styrofoam* kita dapat mencampurkan *Styrofoam* ke dalam aspal untuk membuat *pavement* yang lebih kuat. Selain itu, pengolahan *Styrofoam* dapat dilakukan dengan menjadikannya sebagai salah satu bahan pembuatan batako, yaitu dengan mencampurkan *Styrofoam* dengan semen. Namun, pengolahan tersebut belum mendayagunakan limbah *Styrofoam* secara signifikan. Selain itu, proses-proses tersebut memerlukan energi yang cukup tinggi pula. Oleh karena itu, diperlukan usaha pemanfaatan limbah *Styrofoam* yang memiliki manfaat besar dan dapat mengefisiensikan energi.

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.

II. RUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian ini, bahan plastik telah digunakan sebagai campuran pada aspal dengan variasi 0%; 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 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 *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC)?

III. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui sifat fisik dari aspal campuran *styrofoam* yang digunakan sebagai perkerasan.
2. Mengetahui KAO (Kadar Aspal Optimum) yang akan di gunakan pada campuran HRS-WC terhadap stabilitas dan durabilitas campuran.
3. Mengevaluasi kinerja campuran *Marshall* aspal dengan aspal modifikasi limbah *styrofoam* dan campuran aspal panas (tanpa modifikasi aspal).

IV. TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan lentur merupakan jenis konstruksi perkerasan jalan yang dibedakan berdasarkan jenis bahan pengikatnya. Kontruksi perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (Sukirman, 1999). Dalam perkembangannya spesifikasi campuran beraspal dituntut harus memenuhi parameter seperti rongga dalam campuran berdasarkan kepadatan serta uji modulus elastisitas (Dachlan dan Sjahdanulirwan, 2012).

Menurut Oglesby dan Hicks (1996) stabilitas campuran dan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) merupakan hal penting yang harus diperhatikan dalam suatu campuran perkerasan lentur. Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk tetap. stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) adalah ketahanan dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur dan retak. Sementara beberapa sifat lain juga penting untuk menjamin *performance* yang baik dari suatu perkerasan, seperti ketahanan terhadap retak akibat temperatur, pelapukan dan kekusutan akibat pengelupasan, kekedapan air, dan ketahanan gesek.

1. Hot Rolled Sheet (HRS)

HRS adalah campuran aspal padat dengan gradasi tidak menerus untuk jalan yang lalulintasnya ringan, diletakkan sebagai lapis permukaan di atas dasar yang dipersiapkan dari permukaan perkerasan yang direkonstruksi. Campuran ini terdiri dari agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas. Tebal padat 2,5 cm atau 3,0 cm (Departemen PU Bina Marga No.12/PT/B/1983). Adapun ketentuan untuk sifat-sifat campuran HRS dapat dilihat pada Tabel 1.

Pembuatan HRS bertujuan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapisan antar pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi bawahnya. *HRS* bersifat lentur dan mempunyai durabilitas yang tinggi, hal ini disebabkan campuran HRS dengan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak (7-8%) tanpa terjadi bleeding. Selain itu, HRS mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kekedapan terhadap air dan udara tinggi.

Tabel 1. Ketentuan sifat-sifat Campuran Lataston

sifat- sifat campuran		Lataston			
		lapis Aus		lapis pondasi	
		senjang	semi senjang	senjang	semi senjang
kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,9	5,5	5,5
penyerapan Aspal (%)	Maks	1,7			
jumlah tumbukan per bidang		75			
Rongga dalam Campuran (%) ⁽¹⁾	Min	4,0			
	maks	6,0			
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	18		17	
Rongga terisi Aspal (%)	Min	68			
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	800			
Pelelehan (mm)	Min	3			
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250			
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽²⁾	Min	90			
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽³⁾	Min	3			

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3)

a Agregat

Agregat adalah material berbutir keras dan kompak, yang termasuk di dalamnya antara lain kerikil alam, agregat hasil pemecahan, abu batu dan pasir. Dalam Ditjen Prasarana Wilayah (2004), istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu dan pasir.

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran terkecil yang tertahan di atas saringan no. 8 (2,38 mm) atau partikel yang lebih besar 4,75 mm menurut ASTM, lebih besar dari 2 mm menurut AASHTO (Sukirman, 1992: 42). Agregat kasar berfungsi untuk memberikan kekuatan pada campuran. Bentuk serta permukaan yang diinginkan adalah yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan penguncian yang baik dengan material yang lain. Agregat yang biasa digunakan berupa batu pecah atau kerikil dalam keadaan kering.

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran terkecil yang tertahan di atas saringan no. 200 (0,074 mm). Agregat halus mempunyai fungsi untuk

meningkatkan stabilitas campuran melalui saling mengunci (*interlocking*) antarbutir dan pengisi ruang antarbutir agregat kasar. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butir pecahan batu atau pasir alam maupun campuran kedua-duanya.

Spesifikasi agregat yang disyaratkan untuk campuran Lataston dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan batasan gradasi agregat yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 3

Tabel 2. Spesifikasi pengujian agregat kasar dan halus

No	Jenis Pemeriksaan	Standar Rujukan	Persyaratan		Satuan
			Agregat kasar	Agregat halus	
1.	Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks 40		%
2.	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990 SNI 03-1970-1990	Min 2,5	Min 2,5	
3.	Absorpsi air	SNI 03-1969-1990 SNI 03-1970-1990	Maks 3	Maks 3	%

Sumber : SNI 03-1737-1989

Tabel 3 Gradasi agregat untuk campuran beraspal

Ukuran		% Berat yang lolos						
Saringan		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		Laston (AC) ²		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	BC	WC	BC	Base
1½"	37,5	-	-	-	-	-	-	100
1"	25	-	-	-	-	-	100	90 - 100
¾"	19	100	100	100	100	100	90 - 100	Mak. 90
½"	12,5	-	-	90 - 100	90 - 100	90 - 100	Mak. 90	-
3/8"	9,5	90 - 100	-	75 - 85	65 - 100	Mak. 90	-	-
No.8	2,36	-	75 - 100	50 - 72 ¹	35 - 55 ¹	28 - 58	23 - 49	19 - 45
No.30	0,600	-	-	35 - 60	15 - 35	-	-	-
No.200	0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 12	2 - 9	4 - 10	4 - 8	3 - 7
						ZONA LARANGAN		
No.4	4,75					-	-	39,5
No.8	2,36					39,1	34,6	26,8 - 30,8
No.16	1,18					25,6 - 31,6	22,3 - 28,3	18,1 - 24,1
No.30	0,600					19,1 - 23,1	16,7 - 20,7	13,6 - 17,6
No.50	0,300					15,5	13,7	11,4

Sumber : SNI 03-1737-1989

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga (3) kelompok yaitu:

- Kekuatan (*strength*) dan keawetan (*durability*) lapisan perkerasan
- Kemampuan dilapisi aspal dengan baik
- Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman

b Aspal

Fungsi aspal yang dalam perkerasan beraspal adalah sebagai bahan pengikat agar agregat tidak mudah lepas akibat lalu lintas dan lingkungan. Selain itu, aspal berfungsi sebagai lapisan kedap yang melindungi agregat dan material lain di bawahnya dari pengaruh air. Sebagai material konstruksi lentur, aspal merupakan salah satu komponen yang sangat kecil, umumnya hanya (4-10)% berdasarkan berat, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal.

Aspal yang baik adalah yang kekentalannya tidak mudah terpengaruh oleh perubahan temperatur. Karena konstruksi menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, maka aspal harus mempunyai dan memenuhi sifat yang baik terhadap perubahan temperatur. Aspal dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan sebagai pengikat, oleh karena itu aspal harus memiliki sifat-sifat berikut:

- a. Daya tahan (*Durabilitas*), yaitu kemampuan mempertahankan sifat aspal, akibat pengaruh suhu/ cuaca selama pelayanannya. Campuran harus tahan terhadap air dan perubahan sifat aspal karena penguapan dan oksidasi. *Durabilitas* dapat ditingkatkan dengan cara membuat campuran yang padat (memiliki sedikit rongga) dan kedap air, yang dapat diperoleh dengan menggunakan agregat bergradasi rapat dan aspal yang cukup banyak sehingga dapat menyelimuti agregat dengan baik.
- b. Sifat *adhesi* dan *kohesi*, *adhesi* yaitu kemampuan aspal untuk mengikat agregat dan *kohesi* yaitu kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat di tempatnya setelah terjadi pengikatan.
- c. Memberikan sifat elastik yang baik.

Tabel 4 Persyaratan aspal keras pen 60/70

No.	Jenis pengujian	Metode	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25°C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60 – 79
2.	Titik lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48 – 58
3.	Titik nyala, °C	SNI 06-2433-1991	min. 200
4.	Daktilitas 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	min. 100
5.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	min. 1,0
6.	Kelarutan dalam trichlor ethylen, % berat	RSNI M -04-2004	min. 99
7.	Penurunan berat (dengan TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	mak. 0,8
8.	Penetrasi setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2456-1991	min. 54
9.	Daktilitas setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2432-1991	min. 50
10.	Uji noda aspal - Standar naptha - Naptha xylene - Hephtane xylene	SNI 03-6885-2002	Negatif
Catatan: Apabila uji noda aspal disyaratkan, Direksi Teknis dapat menentukan salah satu pelarut yang akan digunakan.			

Sumber : SNI 03-1737-1989

c Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah agregat halus dengan partikel yang umumnya lolos saringan no. 200 atau lebih kecil dari 0,0075 mm menurut AASHTO (Sukirman, 1992 : 42). Filler mempunyai fungsi mempertinggi kepadatan dan stabilitas campuran, menambah jumlah titik kontak butiran, mengurangi jumlah bitumen yang digunakan untuk mengisi rongga dalam campuran. Persyaratan filler disajikan pada Tabel 5. (Ditjen Bina Marga, 2006).

Tabel 5 Syarat gradasi bahan pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	Persen (%) Lolos
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95 – 100
No. 100 (0,149 mm)	90 – 100
No. 200 (0,075 mm)	65 – 100

Sumber: SNI-03-1737-1989

d Styrofoam

Styrofoam adalah foamed polyesterene (FPS) merupakan Plastik sangat ringan, kaku, tembus cahaya dan murah. Hanya saja, kelemahannya adalah sifat

yang rapuh. Untuk penambahan kekuatan campuran senyawa butadiena yang merupakan karet sintesis, penambahan butadiena ini lah yang menyebabkan polistirena tidak jernih lagi dan berubah warna menjadi putih susu. *Styrofoam* hanya salah satu dari puluhan, bahkan ratusan jenis plastik hasil proses pencampuran bahan kimia organik yang berasal dari minyak bumi, batu bara, atau gas alam. Sifat racun yang mencemari makan atau minuman bisa merangsang tumbuhnya sel tumor dan kanser serta potensi mengakibatkan cacat lahir.

Styrofoam yang di modifikasi dengan aspal telah lama dikenal untuk memperbaiki sifat reologi aspal pada suhu rendah dan tinggi, serta membuat daya tahan lebih lama 3 kali lipat di dibandingkan dengan aspal konvensional. Meskipun harga aspal yang di modifikasi dengan *styrofoam* jauh lebih tinggi dari aspal konvensional, keuntungan yang di peroleh dengan penambahan umur aspal modifikasi tersebut menjadikan total harga yang lebih murah.

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/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.

2. Parameter Marshall

Bruce Marshall adalah seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department. The U.S. Army Corp Of Engineers* (Lavin, 2003) telah mengembangkan konsep dasar dari metode *Marshall* dengan melanjutkan penelitian secara 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.

Prosedur dalam perancangan campuran metode *Marshall* meliputi pemanasan, pencampuran, dan pemadatan pada campuran agregat dan aspal. Bentuk benda uji berupa silinder dengan tinggi 64 mm (2.5 inchi) dan diameter 102 mm (4 inchi).

Adapun parameter yang harus dimiliki oleh beton aspal campuran panas, antara lain adalah :

a Stabilitas / Stability

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* (Sukirman, 1992). Stabilitas tergantung dari gesekan *internal friction* (gesekan antar agregat) dan kohesi. Gesekan agregat tergantung dari tekstur permukaan gradasi agregat, bentuk partikel, kepadatan campuran dan tebal film aspal.

b Kelelehan / flow

Kelelehan adalah bentuk keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm. Parameter kelelehan diperlukan untuk mengetahui deformasi (perubahan bentuk) vertikal campuran pada saat dibebani hingga hancur (pada saat stabilitas maksimum). Kelelehan akan meningkat seiring meningkatnya kadar aspal (Lavin, 2003).

c Voids in Mix (VIM) / Rongga Udara dalam Campuran

VIM adalah presentase volume rongga terhadap volume total campuran setelah dipadatkan, dinyatakan dalam %. VIM digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran, sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil

(menimbulkan *bleeding*) atau terlalu besar (menimbulkan oksidasi/ penuaan aspal dengan masuknya udara). Nilai VIM mengalami penurunan dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai rongga udara dalam campuran minimum (Lavin, 2003).

d *Void in the Mineral Agregat (VMA) / Rongga di antara Mineral Agregat*

VMA adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume total benda uji.

e *Voids Filled with Asphalt (VFA) / Rongga Terisi Aspal*

VFA ditentukan dari jumlah VMA dan rongga udara di dalam campuran. VFA adalah persentase dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFA meningkat dengan penambahan kadar aspal (Sukirman, 1992).

f *Marshall Quotient (MQ)*

MQ adalah hasil bagi dari stabilitas dengan kelelahan yang dipergunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau kelenturan campuran, dinyatakan dalam kN/mm (Sukirman, 1992). Nilai MQ yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras tinggi. Lapis keras yang mempunyai nilai MQ yang terlalu tinggi akan mudah terjadi retak-retak akibat repetisi beban lalu lintas. Sebaliknya nilai MQ yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas.

Persyaratan untuk nilai karakteristik *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Ketentuan sifat-sifat Campuran HRS-WC

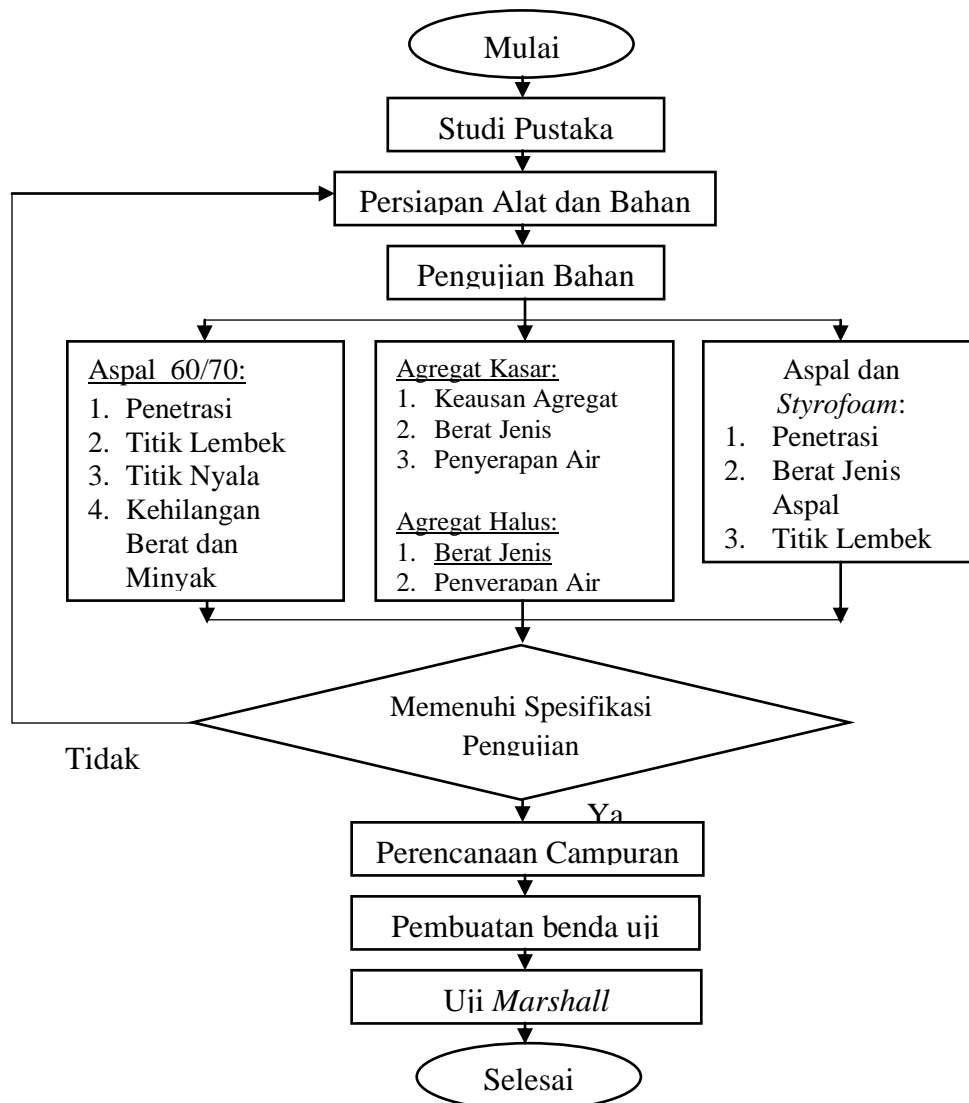
sifat- sifat campuran		Lataston			
		lapis Aus		lapis pondasi	
		senjan g	semi senjang	senjan g	semi senjang
kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,9	5,5	5,5
penyerapan Aspal (%)	maks	1,7			
jumlah tumbukan per bidang		75			
Rongga dalam Campuran (%) ⁽¹⁾	min	4,0			
	maks	6,0			
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	min	18		17	
Rongga terisi Aspal (%)	min	68			
Stabilitas Marshall (Kg)	min	800			
Pelelehan / flow(mm)	min	3			
Marshall Quotient (kg/mm)	min	250			
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽²⁾	min	90			
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽³⁾	min	3			

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3)

V. METODOLOGI PENELITIAN

1. Bagan Alir Penelitian

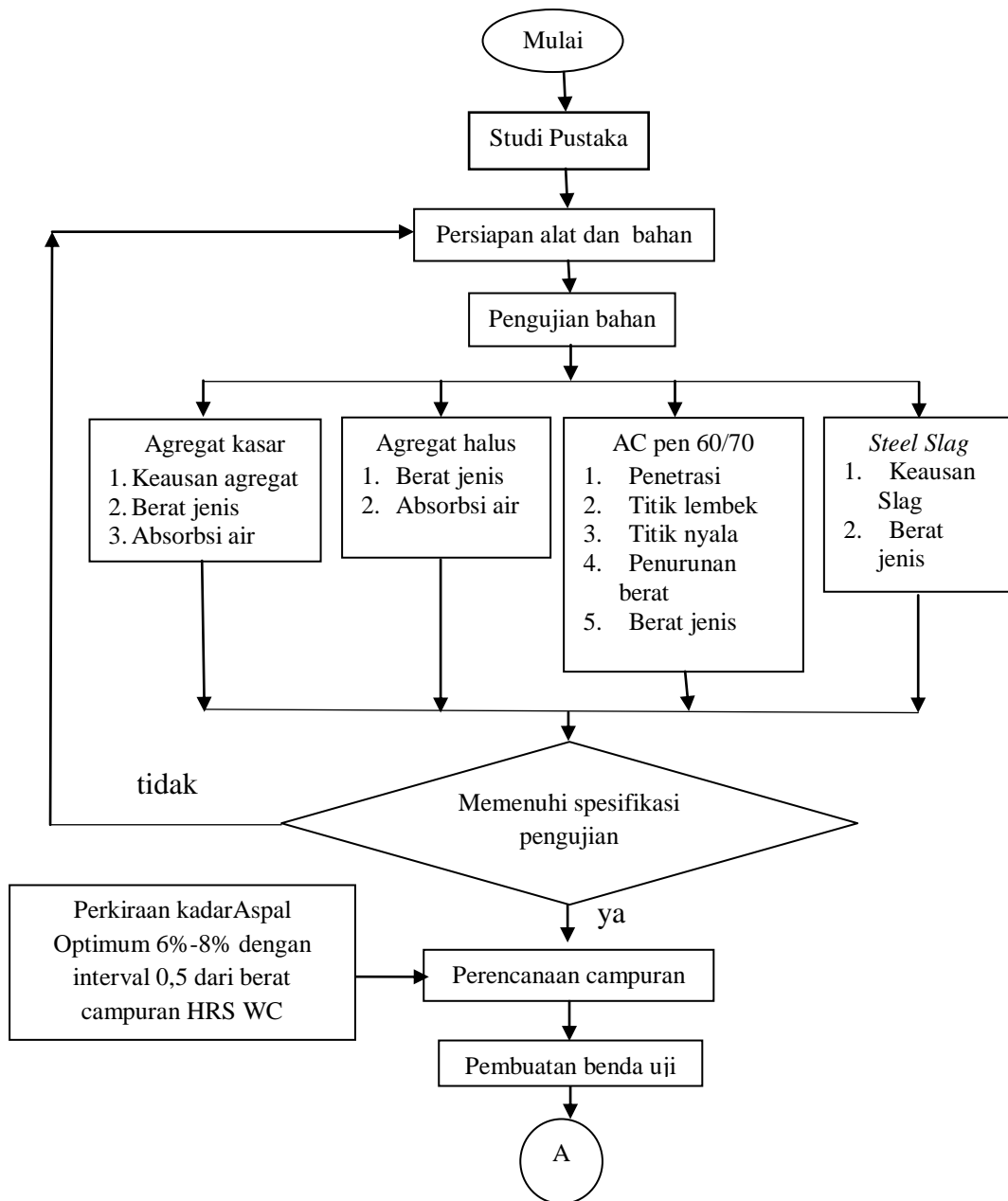
Sebelum melakukan suatu penelitian, maka perlu adanya perencanaan dalam penelitian. Pelaksanaan pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu pemeriksaan bahan seperti agregat maupun aspal, penentuan gradasi campuran, serta dilanjutkan dengan pengujian *Marshall*. Untuk penelitian di Laboratorium dapat dilihat pada Gambar 1.



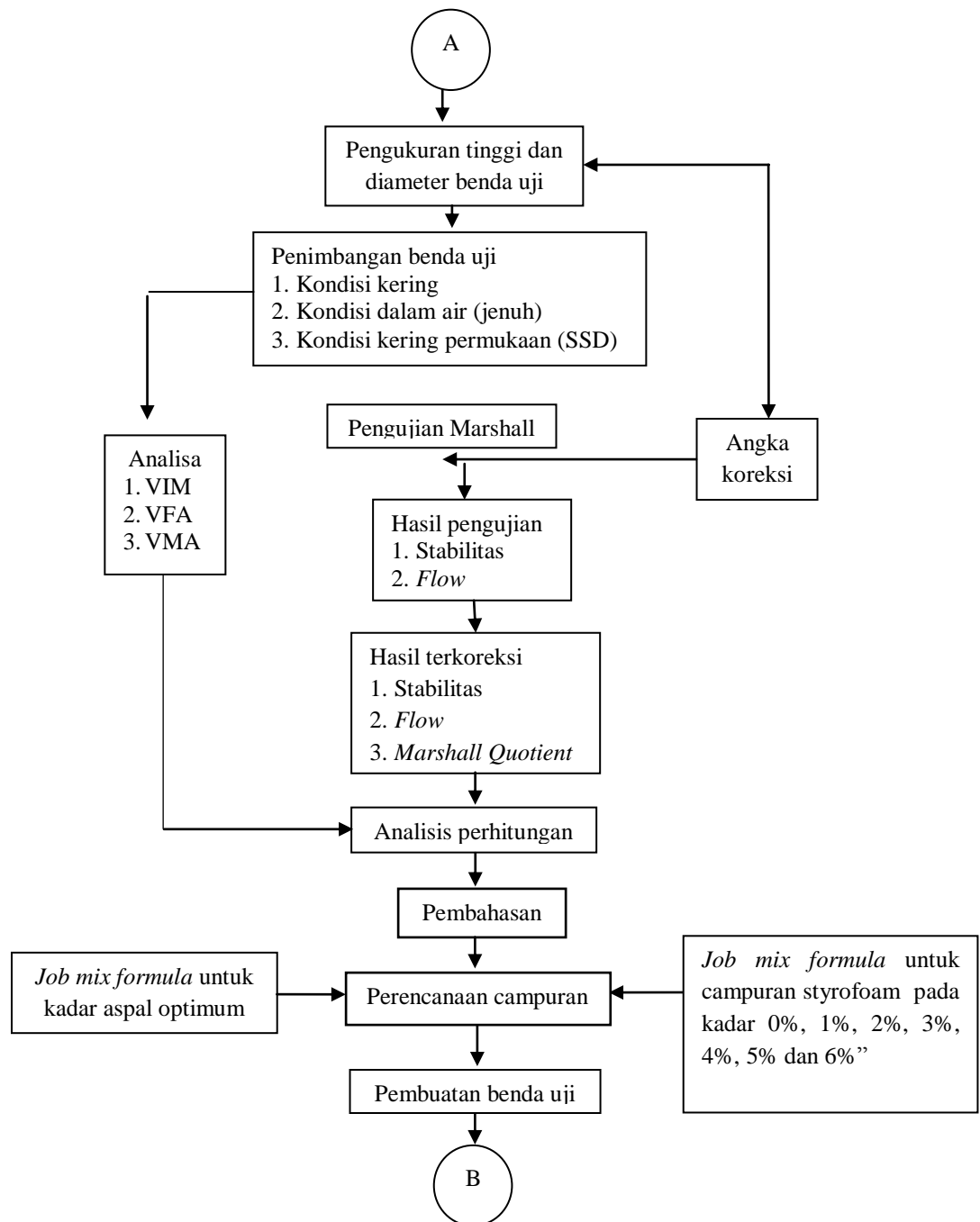
Gambar 1. Bagan alir penelitian di laboratorium

Dalam penelitian di Laboratorium hal pertama yang di lakukan adalah studi pustaka yang bertujuan untuk mendapatkan referensi yang akan digunakan sebagai dasar dalam penelitian. Dilanjutkan dengan persiapan dan pengujian alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Tujuan dari pengujian bahan yaitu untuk mengetahui apakah bahan yang akan digunakan memenuhi spesifikasi pengujian.

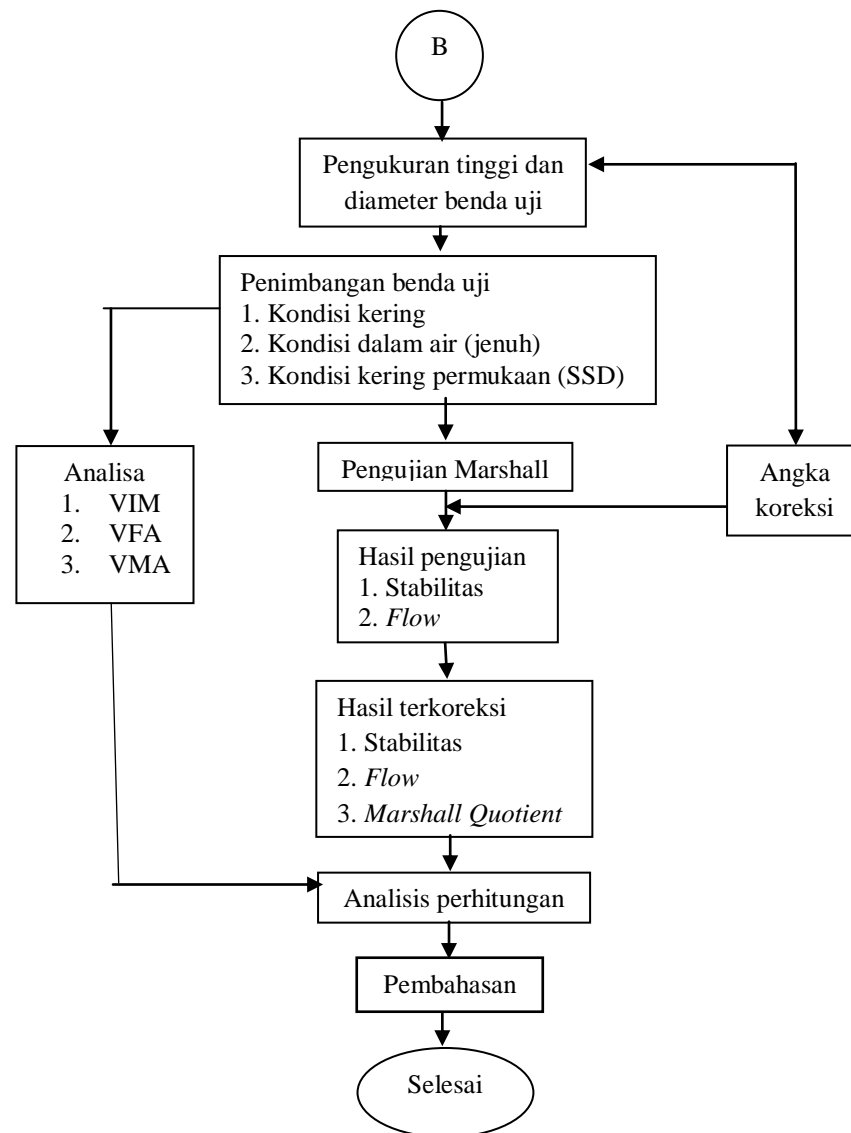
Apabila material memenuhi syarat, maka dapat dibuat benda uji sesuai dengan perencanaan campuran dan selanjutnya diuji dengan metode *Marshall*. Adapun tahap-tahap pelaksanaan penelitian secara keseluruhan dapat di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian



Gambar 2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian (lanjutan)



Gambar 2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian (lanjutan)

2. Tahapan Penelitian

a. Tahap persiapan

Kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan adalah menyiapkan bahan-bahan yang diperlukan untuk penelitian. Kegiatan persiapan terdiri dari pemilihan agregat kasar, penyaringan agregat halus dan *filler*, menyiapkan kebutuhan aspal 60/70 dan persiapan peralatan yang akan digunakan untuk penelitian.

b. Pengujian bahan

Pemeriksaan dilakukan terhadap agregat dan aspal. Diperlukan pengujian karena agregat sebagai bahan utama dalam campuran perkerasan yang akan mendukung beban lalu lintas. Sedangkan aspal merupakan bahan ikat butiran batuan hingga menjadi kesatuan butir yang kompak.

1) Pemeriksaan Penetrasi

Nilai penetrasi didapat dari uji penetrasi dari alat *penetrometer* pada suhu 25° C dengan beban 100 gram selama 5 detik, dilakukan sebanyak 5 kali.

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).

2) Pemeriksaan Titik Lembek

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengukur nilai temperatur saat bola-bola baja mendasar turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga aspal tersebut menyentuh dasar pelat yang terletak dibawah cincin pada jarak 1 inchi, sebagai akibat dari percepatan pemanasan tertentu. Berat bola baja 3,45 – 3,55 gram dengan diameter 9,53 mm. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal. Pengamatan titik lembek dimulai dari suhu 5° C sebagai batas paling tinggi sifat kekakuan dari aspal yang disebabkan oleh sifat termoplastik. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

3) Berat Jenis Aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk menentukan berat jenis dan berat isi aspal keras dengan menggunakan piknometer. Pemeriksaan berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

4) Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pemeriksaan ini untuk menentukan suhu dimana diperoleh nyala pertama di atas permukaan aspal dan menentukan suhu dimana terjadi terbakarnya

pertama kali di atas permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik bakar aspal, maka dapat diketahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sebelum terbakar. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

5) Pemeriksaan Kehilangan Berat Minyak

Pemeriksaan ini berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur – unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Apabila aspal dipanaskan di dalam oven pada suhu 163° C dalam waktu 4,5 – 5 jam, maka akan terjadi reaksi terhadap unsur – unsur pada aspal, sehingga dimungkinkan sifat aspal akan berubah, hal ini tidak diharapkan pada lapis perkerasan lentur, untuk itu disyaratkan kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8% dari berat semula. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 (Revisi 3).

6) Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat kasar.

7) Pemeriksaan Keausan Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Tujuannya untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Daya tahan agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur oleh pengaruh mekanis ataupun kimia. Agregat yang akan digunakan pada konstruksi perkerasan harus mempunyai daya tahan terhadap gradasi yang mungkin timbul selama pencampuran, pemadatan, repetisi beban serta tahan terhadap desintegrasi yang menghancurkan agregat menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada saat penimbunan, pemadatan, maupun repetisi beban, sedangkan desintegrasi didefinisikan sebagai pelapukan atau beda

suhu. Pengujian keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* ini menggunakan standar dengan nilai persyaratan maksimum 40%.

8) Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk menguji ketahanan penyelimutan film aspal pada permukaan suatu agregat. Kelekatan atau penyelimutan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan agregat yang diselimuti aspal terhadap permukaan agregat. Nilai kelekatan agregat terhadap aspal sebagaimana yang dipersyaratkan di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) adalah minimal 95%.

c. Perencanaan campuran

Kadar aspal yang digunakan adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dari total campuran agregat. Gradasi agregat yang digunakan untuk campuran HRS diambil dari spesifikasi HRS seperti yang dijelaskan pada Bab II Tabel 2.3. Kemudian setelah semua material memenuhi syarat, maka dapat dibuat benda uji sesuai dengan kadar aspal perkiraan dan selanjutnya diuji dengan metode *Marshall*. Pengujian bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum.

d. Pencampuran *styrofoam* kedalam campuran HRS

Setelah Kadar aspal optimum di dapat, selanjutnya membuat benda uji dengan menggunakan *styrofoam* sebanyak 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan 6 % dari berat total aspal yang digunakan.

e. Pembuatan benda uji

Untuk membuat benda uji campuran perkerasan aspal diperlukan 1200 gram agregat yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*), dengan komposisi sesuai dengan rancangan campuran.

Urutan pelaksanaan pembuatan benda uji dalam penelitian ini adalah :

- 1.) Sebelum dilakukan pencampuran, agregat dipanaskan terlebih dahulu di dalam oven hingga mencapai suhu antara 165°C - 175°C kemudian aspal AC 60/70 dipanaskan pada suhu 150°C - 180°C.

- 2.) Setelah suhu pada masing-masing bahan tercapai kemudian bahan-bahan tersebut dicampurkan dengan cara diaduk-aduk hingga kedua bahan tersebut tercampur dan homogen. Bahan yang telah homogen tersebut kemudian dimasukkan kedalam cetakan (*mold*) dengan ukuran \varnothing 10,16 cm (4 inchi) dan tinggi 7,52 cm yang telah disiapkan, kemudian ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak sebanyak 25 kali.
- 3.) Pemadatan standar dilakukan dengan alat penumbuk *Marshall* sebanyak 75 kali tumbukan pada masing-masing sisi.
- 4.) Setelah dipadatkan, cetakan yang berisi benda uji didiamkan hingga mendingin pada suhu ruangan yang dapat dibantu dengan kipas angin. Setelah benda uji mendingin kemudian dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan *ejector*, dan benda uji siap di uji dengan metode *Marshall*.

f. Pengujian benda uji dengan menggunakan Alat Uji *Marshall*.

Prinsip dasar dari metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Pengujian *Marshall* untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991. Dari hasil gambar hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*, maka akan diketahui kadar aspal optimumnya. Pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- 1) Dilakukan penimbangan agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing benda uji dengan berat campuran 1200 gram. Kemudian dilakukan pengeringan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu 165 °C.
- 2) Agregat dipanaskan di oven dengan suhu pencampuran 165 °C, sedangkan aspal dipanaskan dengan suhu 155 °C, kemudian aspal dicampur dengan agregat dengan suhu 160 °C dan diaduk merata.
- 3) Setelah temperatur pemadatan tercapai, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan dan diolesi oli terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas yang telah dipotong sesuai dengan

diameter cetakan sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali di bagian tepi dan 10 kali di bagian tengah.

- 4) Dilakukan pemadatan bolak balik dengan menumbuk dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 kali.
- 5) Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
- 6) Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang berat benda uji kering.
- 7) Benda Benda uji dimasukkan ke dalam air bersuhu 25 °C selama 5 menit dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- 8) Benda uji dikeluarkan dari bak dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*, SSD) kemudian ditimbang.
- 9) Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu 60 °C selama 30 menit.
- 10) Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan diberi lapisan plastik agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- 11) Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, lalu diletakkan tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian bagian atas kepala diletakkan dengan memasukkan lewat batang penuntun. Setelah pemasangan sudah lengkap maka diletakkan tepat di tengah alat pembebanan. Kemudian arloji kelelehan (*flow meter*) dipasang pada dudukan di atas salah satu batang penuntun.
- 12) Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelehan pada angka nol.
- 13) Nilai pelelehan (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan dicatat pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3. Lokasi Penelitian

Penelitian yang dilaksanakan mulai dari penelitian agregat, aspal dan *Steel Slag* dilaksanakan di Laboraturium Transportasi dan Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Bahan

Hasil pengujian sifat-sifat fisik agregat dan aspal yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Mak	
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	%	2,77	-	3	SNI 1969-2008
5	Kelekatan terhadap aspal	%	98	95	-	SNI 2439-2011
6	Abrasi dengan mesin Los Angeles (500 putaran)	%	36,4	-	40	SNI 2417-2008
Agregat Halus						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,564	-	-	SNI 1970-2008
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,666	2,5	-	SNI 1970-2008
3	Berat jenis efektif	-	2,606	-	-	SNI 1970-2008
4	Penyerapan	%	1,646	-	3	SNI 1970-2008

Dari tabel hasil pengujian agregat diatas dapat dilihat bahwa nilai yang didapat dari pengujian telah masuk dalam standar yang ada dalam SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-2417-1991, sehingga agregat tersebut layak digunakan sebagai bahan dasar campuran aspal dari penelitian ini.

Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini ialah aspal dengan penetrasi 60/70 murni. Sebelum melakukan penelitian terhadap campuran dengan menggunakan *styrofoam*, maka aspal yang digunakan perlu dilakukan pengujian guna mengetahui kelayakan aspal tersebut. Standar menurut Direktorat Jendral

Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum (2010) yang telah ditetapkan dapat dilihat dalam Tabel 8

Tabel 8 Hasil pengujian aspal keras AC 60/70

No	Jenis Pengujian	Hasil	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	66,6	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Titik lembek (⁰ C)	50	SNI 2434-2011	48 – 58
3	Penetrasi setelah kehilangan berat(%)	97,6	SNI 06-2456-1991	Min. 54
4	Berat jenis (gr/cc)	1,045	SNI 2441-2011	>1
5	Kehilangan berat (%)	0,03	SNI 06-2440-1991	Max 0,8
6	Daktalitas (cm)	130	SNI 2432-2011	>100
7	Titik Nyala (⁰ C)	338	SNI 2433-2011	>232

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 9, menunjukkan bahwa aspal yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan yang ada sehingga layak untuk digunakan.

2. Hasil pengujian Aspal-Styrofoam

Pemeriksaan terhadap campuran aspal *styrofoam* dengan variasi kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, dan 6% ditunjukkan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengujian campuran Aspal-Styrofoam

No	JENIS PENGUJIAN	KADAR STYROFOAM						
		0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
1	Penetrasi (dmm)	66,6	64,8	64,2	63	60,2	56,4	53,4
2	Titik Lembek (⁰ C)	50	51	52	53	54	54,5	56
3	Berat Jenis (gr/cc)	1,045	1,042	1,041	1,038	1,035	1,033	1,03
4	Elastisitas (%)		90	87	86	84	82	80

Dari tabel pengujian di atas terlihat bahwa setelah menambahkan kadar *styrofoam* 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, dan 6% pada campuran aspal mengakibatkan nilai penetrasi yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini terjadi karena *styrofoam* termasuk ke dalam jenis polimer yang memiliki sifat yang mampu menahan beban yang berat namun tetap elastis. Semakin banyak kadar *styrofoam*

yang ditambahkan, semakin rendah penetrasi yang dihasilkan. Untuk hasil pengujian titik lembek yang diperoleh dari pengujian meningkat seiring dengan penambahan *styrofoam* dalam campuran aspal. Hal ini terjadi karena *styrofoam* mempunyai sifat *high temperature resistance*, daya tahan panas sampai suhu 120⁰C. Sedangkan hasil pengujian berat jenis yang diperoleh dari pengujian menurun seiring dengan penambahan *styrofoam* dalam campuran aspal. Hal ini terjadi karena semakin mengecilnya rongga dalam campuran maka penyerapan aspal ke dalam pori akan semakin mengecil. Sedangkan hasil pengujian elastisitas yang diperoleh dari pengujian menurun seiring dengan penambahan *styrofoam* dalam campuran aspal. Hal ini terjadi karena sifat *styrofoam* yang cepat mengeras sehingga semakin banyak *styrofoam* maka aspal tidak dapat kembali ke bentuk semula atau tidak elastis.

3. Hasil Pengujian *Marshall* untuk KAO

Pemeriksaan terhadap kadar aspal optimum dengan kadar aspal rencana 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% ditunjukkan dalam Tabel 11. dan 12.

Tabel 11. Hasil Pengujian *Marshall* untuk KAO

No	JENIS PENGUJIAN	Kadar Aspal (%)				
		6,00%	6,50%	7,00%	7,50%	8%
1	Kerapatan (<i>Density</i>) (gr/cc)	2,31	2,3	2,29	2,28	2,27
2	VFA (%)	69,92	73,18	75,44	77,33	79,34
3	VIM (%)	5,71	5,26	5,01	4,98	4,54
4	VMA (%)	18,99	19,62	20,4	21,33	21,97
5	Stabilitas (Kg)	1554,48	1512,12	1559,13	1447,29	1707,23
6	<i>Kelelehan (Flow)</i> (mm)	3,7	3,3	3,6	3,59	3,08
7	<i>Marshall Quotient (MQ)</i> (Kg/mm)	426,63	455,83	516,3	424	558,41

Tabel 12. Hasil pengujian kadar aspal optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal				
			6%	6.5%	7%	7.5%	8%
1	Density		—	—	—	—	—
2	VFWA	Min 68%	—	—	—	—	—
3	VITM	4-6%	—	—	—	—	—
4	VMA	Min 18%	—	—	—	—	—
5	Stability	Min 800 Kg	—	—	—	—	—
6	Flow	Min 3 mm	—	—	—	—	—
7	MQ	Min 250 Kg/mm	—	—	—	—	—
Sehingga didapat kadar aspal design =							7%

Dari Tabel di atas dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum yang dipakai sebesar 7%. Hal ini dikarenakan nilai *Density*, VMA, VIM, VFA, Stabilitas, Kelelahan, dan *Marshall Question* dari benda uji yang telah diuji *marshall* memenuhi persyaratan Bina Marga (2010).

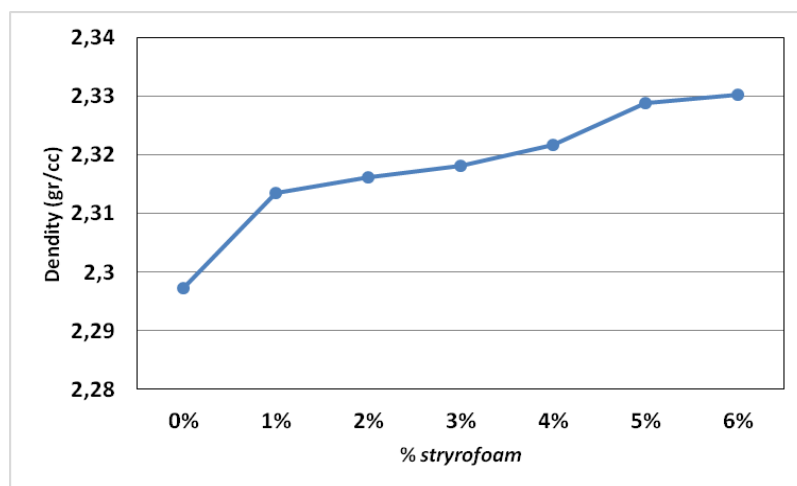
4. Hasil dan Pembahasan Pengujian *Marshall* Campuran dengan *Styrofoam*

a. *Density*

Nilai *density* (kerapatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai *density* yang rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan. Suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam, dan porositas butiran rendah. Hasil nilai *density* dapat dilihat pada Tabel 13 dan Gambar 3

Tabel.13 Nilai *density* untuk masing-masing kadar *styrofoam*

Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Density</i> (gr/cc)						
	0% <i>Styrofoam</i>	1% <i>Styrofoam</i>	2% <i>Styrofoam</i>	3% <i>Styrofoam</i>	4% <i>Styrofoam</i>	5% <i>Styrofoam</i>	6% <i>Styrofoam</i>
7	2,297	2,313	2,316	2,318	2,321	2,328	2,33032



Gambar 3. Hubungan antara *density* dan variasi kadar *styrofoam*

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tingginya kadar *Styrofoam* yang diberikan maka semakin tinggi nilai *density* yang dihasilkan. Ini disebabkan oleh penambahan *Styrofoam* akan mengisi rongga antara butiran agregat sehingga rongga dalam campuran menjadi lebih kecil dan campuran menjadi lebih rapat.

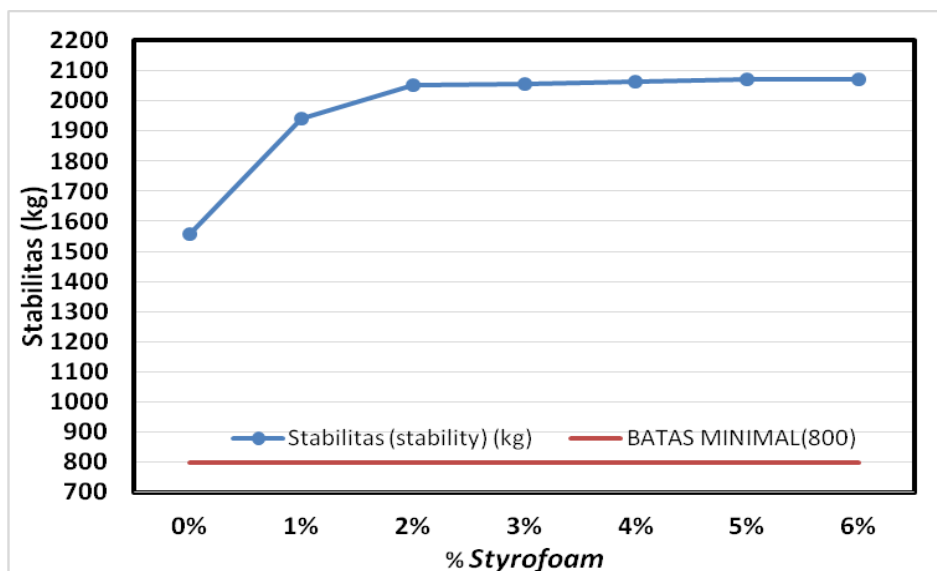
b. Stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (defomasi) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas. Perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas yang besar, tetapi stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi terlalu kaku, sehingga perkerasan akan mudah retak-retak saat menerima beban. Sebaliknya dengan nilai stabilitas yang rendah maka perkerasan akan mudah mengalami alur (*rutting*) oleh beban lalu lintas.

Nilai stabilitas untuk masing-masing campuran dapat dilihat pada Tabel 14. dan Gambar 4.

Tabel.14. Nilai stabilitas untuk masing-masing campuran

Kadar Aspal (%)	Nilai Stability (kg)						
	0% <i>Styrofoam</i>	1% <i>Styrofoam</i>	2% <i>Styrofoam</i>	3% <i>Styrofoam</i>	4% <i>Styrofoam</i>	5% <i>Styrofoam</i>	6% <i>Styrofoam</i>
7	1559,13413	1941,3185	2053,86	2057,2165	2063,41	2069,612	2072,27



Gambar 4. Hubungan antara stabilitas dan variasi kadar *styrofoam*

Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* pada campuran beraspal dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran *styrofoam* dari 1% sampai dengan 6%.

Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada campuran *styrofoam* pada kadar 6% yakni sebesar 2072,27 kg. Berdasarkan 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.

Semakin bertambahnya kadar *styrofoam* yang digunakan, maka akan semakin rendah penetrasi yang dihasilkan. Nilai penetrasi yang rendah mengakibatkan nilai stabilitas yang didapat tinggi, sehingga akan menyebabkan perkerasan akan menjadi kaku. Demikian pula sebaliknya, jika nilai stabilitas yang dihasilkan terlalu rendah akan menyebabkan mudahnya terjadi deformasi.

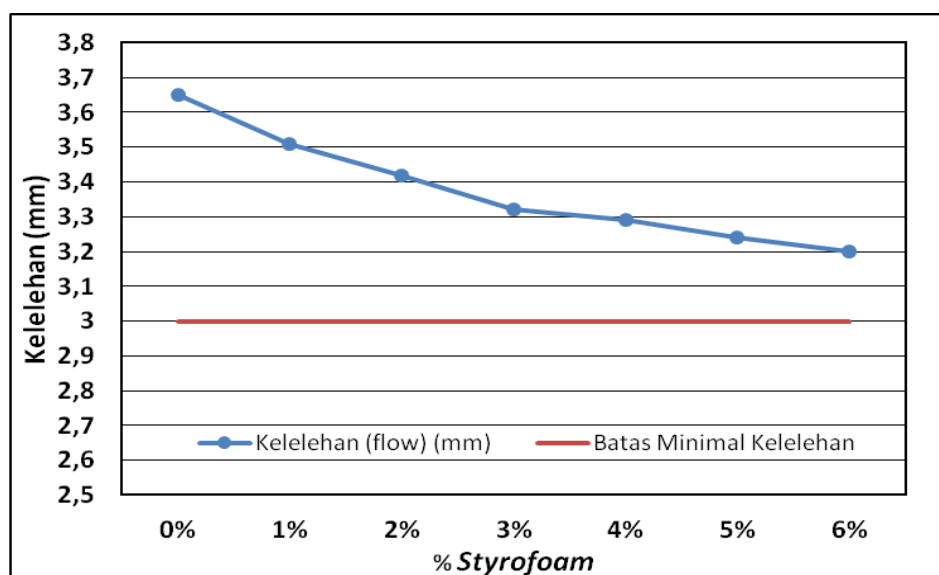
c. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan. Nilai kelelahan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat. Nilai ini langsung dapat dibaca dari pembacaan arloji kelelahan (*flow*) saat pengujian *Marshall*. Nilai *flow* pada arloji dalam

satuan *inch*, maka harus dikonversikan dalam satuan millimeter. Hasil kelelehan ditunjukkan dalam Tabel 15 dan Gambar 5.

Tabel 15. Nilai kelelehan untuk masing-masing campuran

Kadar Aspal (%)	Nilai Flow (mm)						
	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
	<i>Styrofoam</i>	<i>Styrofoam</i>	<i>Styrofoam</i>	<i>Styrofoam</i>	<i>Styrofoam</i>	<i>Styrofoam</i>	<i>Styrofoam</i>
7	3,65	3,51	3,42	3,32	3,29	3,24	3,2



Gambar 5. Hubungan antara kelelehan (*Flow*) dan variasi kadar *styrofoam*

Penggunaan *styrofoam* dalam campuran HRS-WC cenderung mengalami penurunan nilai kelelehan terhadap peningkatan kadar *styrofoam*. Hal ini menandakan bahwa seiring bertambahnya kadar *styrofoam* dalam campuran akan mengakibatkan semakin getas yang ditandai dengan nilai kelelehan yang rendah. Sebagai contoh, pada campuran dengan kadar aspal 0% dengan angka 3,65 mm, 1% dengan angka 3,51 mm, 2% dengan angka 3,42 mm, 3% dengan angka 3,32 mm, 4% dengan angka 3,29 mm, 5% dengan angka 3,24 mm dan 6% dengan angka 3,2 mm.

Semakin bertambahnya kadar *styrofoam* kedalam campuran HRS-WC semakin mengurangi kelenturan campuran. Hal ini diakibatkan oleh mengerasnya aspal sesuai dengan nilai penetrasi menjadi semakin mengecil dan titil lembek semakin meningkat. Sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3), maka nilai kelelehan tidak boleh

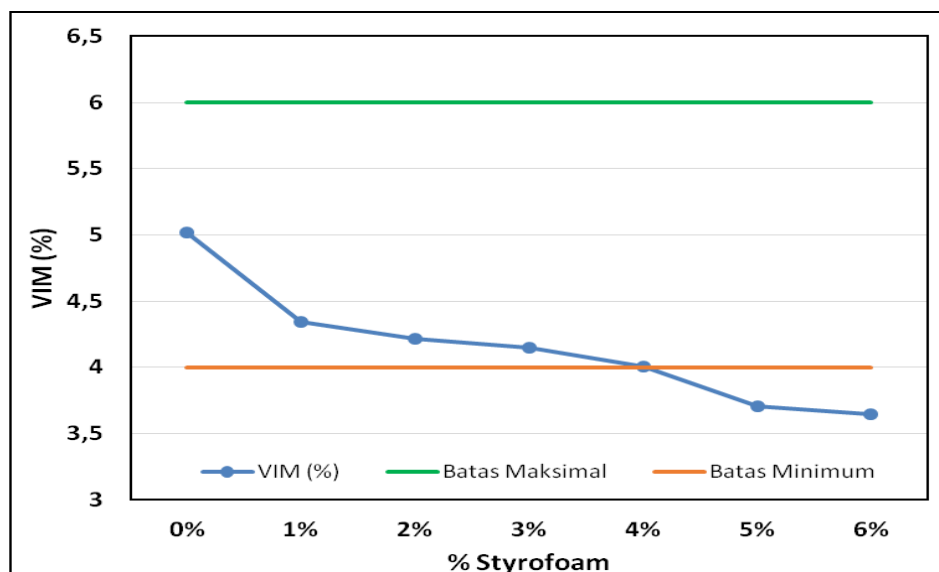
lebih kecil dari 3 mm, sehingga hasil pengujian nilai kelelahan pada campuran aspal tersebut masih memenuhi syarat.

d. *Voids in The Mix (VIM)*

Nilai VIM menunjukkan nilai persentase rongga dalam suatu campuran aspal. Nilai VIM berpengaruh terhadap nilai dari durabilitas, semakin besar nilai VIM menunjukkan campuran bersifat keropos (*porous*). Proses ini mengakibatkan udara dan air mudah masuk ke dalam lapis perkerasan sehingga berakibat meningkatkan proses oksidasi yang dapat mempercepat penuaan aspal. Nilai VIM secara umum mengalami penurunan sejalan dengan penambahan kadar *styrofoam* sehingga pada kadar *styrofoam* 5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi. Dari VIM berkisar antara 4%-6% dan hasil dari VIM pada kadar 5% sebesar 3,70549% dan 6% sebesar 3,64722%. Hasil nilai VIM ditunjukkan pada Tabel 16 dan Gambar 6.

Tabel 16 Nilai VIM untuk masing-masing campuran

Kadar Aspal (%)	Nilai VIM (%)						
	0% Styrofoam	1% Styrofoam	2% Styrofoam	3% Styrofoam	4% Styrofoam	5% Styrofoam	6% Styrofoam
7	5,01638553	4,3447474	4,21778	4,1469486	4,00339	3,7054912	3,64722



Gambar 6. Hubungan antara VIM dan variasi kadar *styrofoam*

VIM atau rongga udara dalam suatu campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil

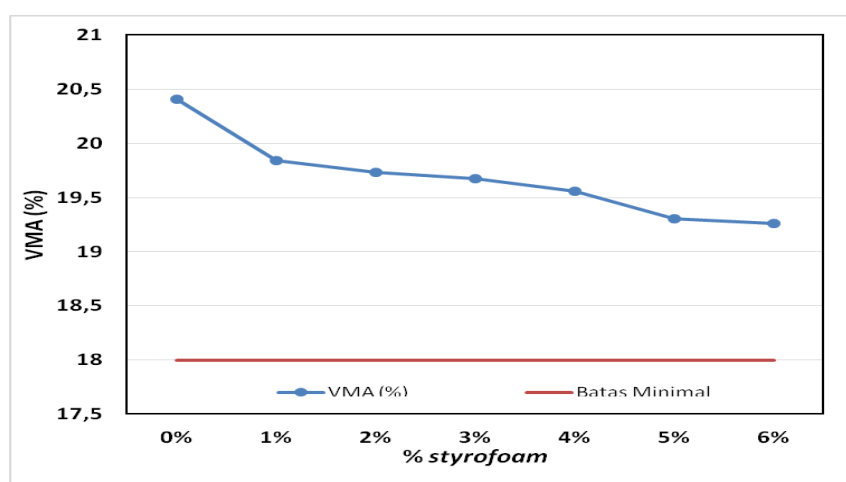
nilai VIM, maka campuran akan bersifat lebih kedap air, namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan atau *bleeding*. Dari perhitungan di atas, semakin bertambahnya kadar *styrofoam* yang digunakan maka semakin rendah nilai VIM yang diperoleh. Nilai VIM yang kecil mengakibatkan lapisan kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran. Dan apabila penggunaan aspal yang cukup banyak mempengaruhi nilai VIM yang kecil. Jika nilai VIM kecil serta kadar aspal yang digunakan cukup tinggi, maka kemungkinan terjadinya *bleeding* besar.

e. *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan. 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 dari rongga yang terisi aspal. Nilai hasil pengujian VMA ditunjukkan pada Tabel 17 dan Gambar 7.

Tabel 17. Nilai VMA untuk masing-masing campuran

Kadar Aspal (%)	Nilai VMA (%)						
	0% <i>Styrofoam</i>	1% <i>Styrofoam</i>	2% <i>Styrofoam</i>	3% <i>Styrofoam</i>	4% <i>Styrofoam</i>	5% <i>Styrofoam</i>	6% <i>Styrofoam</i>
7	20,4043449	19,841516	19,7351	19,6757623	19,5555	19,305824	19,257



Gambar 7. Hubungan antara VMA dan variasi kadar *styrofoam*

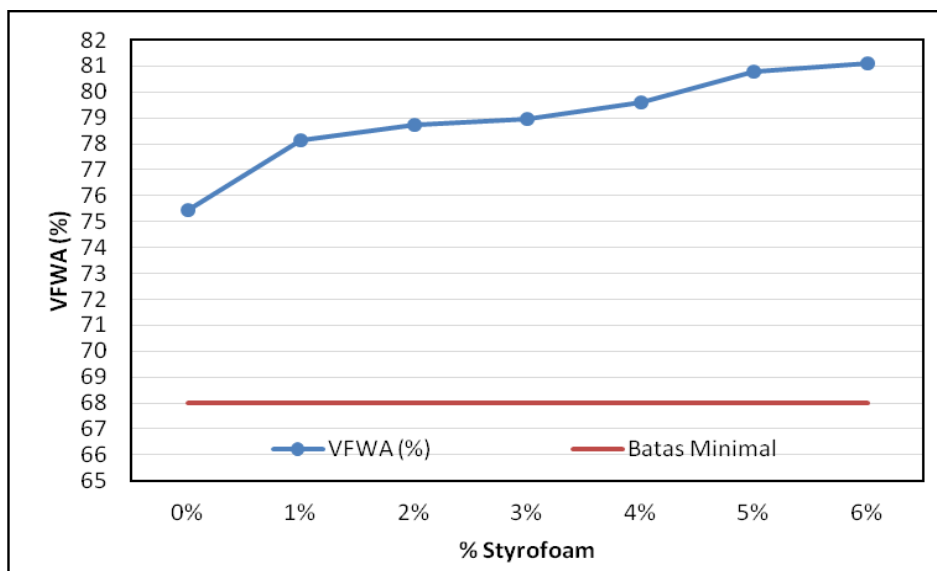
Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* pada campuran HRS-WC cenderung mengalami penurunan. Pada campuran dengan kadar *styrofoam* sebanyak 1%, nilai VMA menjadi sebesar 19,8415%, *styrofoam* 2% sebesar 19,7351%, *styrofoam* 3% sebesar 19,6757%, *styrofoam* 4% sebesar 19,5555%, *styrofoam* 5% sebesar 19,3058% dan kadar *styrofoam* 6% dengan nilai VMA sebesar 19,257%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai VMA masih memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3). Dari hasil analisis, semakin bertambahnya kadar *styrofoam* yang digunakan maka nilai VMA akan semakin menurun, 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 penurunan nilai VMA.

f. 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. Kriteria VFWA bertujuan untuk menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. Hasil nilai VFWA dapat dilihat pada Tabel 18 dan Gambar 8.

Tabel 18. Nilai VFA untuk masing-masing campuran

Kadar Aspal (%)	Nilai VFWA (%)						
	0% <i>Styrofoam</i>	1% <i>Styrofoam</i>	2% <i>Styrofoam</i>	3% <i>Styrofoam</i>	4% <i>Styrofoam</i>	5% <i>Styrofoam</i>	6% <i>Styrofoam</i>
7	75,4453044	78,125107	78,7541	78,9456805	79,5814	80,80782	81,1102



Gambar 8. Hubungan antara VFA dan variasi kadar *styrofoam*

Penggunaan *styrofoam* sebagai bahan campuran pada aspal cenderung mengalami kenaikan nilai VFWA seperti yang terlihat di grafik di atas. Sebagai contoh pada campuran dengan kadar *styrofoam* 1% mengalami peningkatan sebesar 78,1251% dan nilai tertinggi pada kadar *styrofoam* 6% yakni 81,1102% maka hasil dari campuran aspal 1% sampai 6% masih memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3).

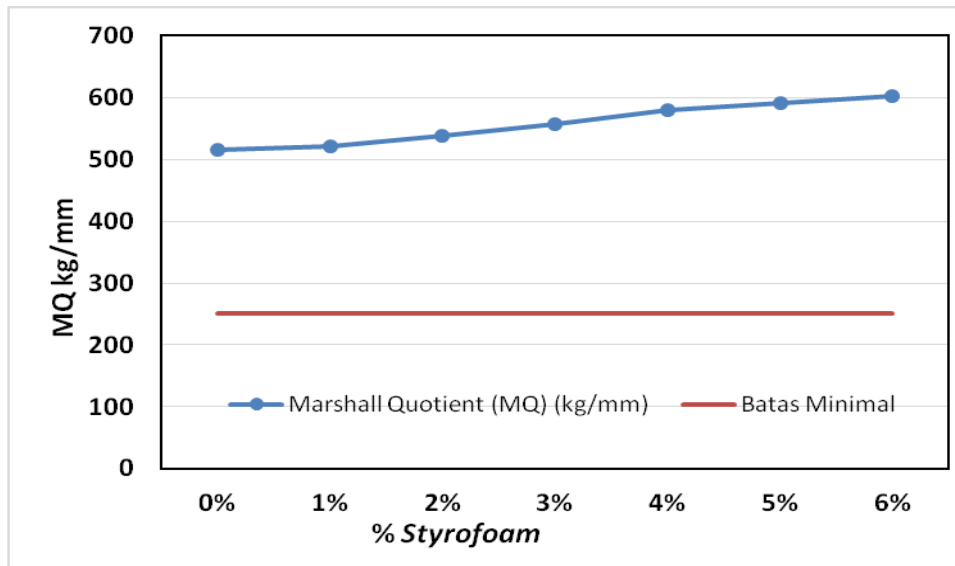
Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar *styrofoam* sebagai bahan campuran aspal pada campuran HRS-WC, akan mengakibatkan semakin mengecilnya rongga dalam campuran. Bertambahnya nilai VFWA pada penelitian ini diakibatkan oleh mengecilnya rongga dalam campuran (VIM) yang merupakan bagian dari pembagi dalam menentukan nilai VFWA. Selain itu, dengan masuknya *styrofoam* ke dalam campuran maka penyerapan aspal kedalam pori material (*absorbs*) akan semakin mengecil.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

MQ dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai MQ suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Hasil untuk pengujian MQ tersebut dapat dilihat pada Tabel 19 dan Gambar 9

Tabel 19 Nilai *Marshall Quotient* untuk masing-masing campuran

Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)						
	0% Styrofoam	1% Styrofoam	2% Styrofoam	3% Styrofoam	4% Styrofoam	5% Styrofoam	6% Styrofoam
7	516,3404298	520,975493	539,128	556,417146	579,26	590,24738	603,256

Gambar 9. Hubungan antara MQ dan variasi kadar *styrofoam*

Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *styrofoam* pada campuran HRS-WC cenderung mengalami kenaikan nilai MQ. Nilai MQ pada campuran menggunakan 1% *styrofoam* sebesar 520,975 kg/mm, 2% *styrofoam* sebesar 539,128kg/mm, 3% *styrofoam* sebesar 556,417 kg/mm, 4% *styrofoam* sebesar 579,26%, 5% *styrofoam* sebesar 590,247 kg/mm, dan untuk 6% *styrofoam* sebesar 603,256 kg/mm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa masih memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3).

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa campuran HRS-WC untuk berbagai variasi penggunaan *styrofoam* memenuhi syarat yang ditetapkan untuk nilai MQ yaitu lebih dari 250 kg/mm. Nilai MQ cenderung semakin meningkat dengan bertambahnya penggunaan kadar *styrofoam*.

Hasil bagi *Marshall* atau *Marshall Quotient* (MQ) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*) yang juga merupakan indikator

terhadap kekakuan campuran secara empiris. Jika stabilitas naik dengan nilai *flow* menurun maka MQ menjadi lebih baik. Dengan bertambahnya kadar *styrofoam* kedalam campuran HRS-WC mempengaruhi nilai MQ yang semakin tinggi.

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.

Sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan raya dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3) maka nilai MQ pada campuran HRS - WC dengan pengujian *Marshall* adalah sebesar 250 kg/mm.

h. Hasil Kadar Aspal Styrofoam Optimum

Pengujian *marshall* untuk campuran dengan *styrofoam* dilakukan untuk mengetahui karakteristik *marshall*. Dimana kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal optimum. Hasil pengujian *marshall* dengan menggunakan kadar *styrofoam* 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan 6%% dari berat aspal dapat dilihat pada Tabel 20 dan Tabel 21

Tabel 21. Hasil Karakteristik *Marshall* campuran dengan variasi kadar styrofoam

No.	ASPAL DENGAN CAMPURAN STYROFOAM							
	JENIS PENGUJIAN	KADAR STYROFOAM						
		0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
1	Kepadatan (<i>Density</i>)	2,2972	2,31345	2,31625	2,31823	2,3217	2,32891	2,33032
2	VFWA (%)	75,445	78,1251	78,7541	78,9457	79,5814	80,8078	81,1102
3	VIM (%)	5,0164	4,34475	4,21778	4,14695	4,00339	3,70549	3,64722
4	VMA (%)	20,404	19,8415	19,7351	19,6758	19,5555	19,3058	19,257
5	Stabilitas (<i>stability</i>) (kg)	1559,1	1941,32	2053,86	2057,22	2063,41	2069,61	2072,27
6	Kelelahan (<i>flow</i>) (mm)	3,65	3,51	3,42	3,32	3,29	3,24	3,2
7	<i>Marshall Quotient</i> (MQ) (kg/mm)	516,34	520,975	539,128	556,417	579,26	590,247	603,256

Tabel 22. Kadar *styrofoam* Optimum untuk campuran HRS-WC

No	Kriteria	Spesifikasi	Aspal			
			0%	1%	3%	5%
1	Density		—	—	—	—
2	VFWA	Min 68%	—	—	—	—
3	VITM	4-6%	—	—	—	—
4	VMA	Min 18%	—	—	—	—
5	Stability	Min 800 Kg	—	—	—	—
6	Flow	Min 3 mm	—	—	—	—
7	MQ	Min 250 Kg/mm	—	—	—	—

Dari semua hasil karakteristik *Marshall*, dan dengan mempertimbangkan nilai yang didapat pada setiap karakteristik tersebut, maka kadar *styrofoam* yang paling optimum untuk campuran HRS-WC adalah 1%.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan yang dilakukan pada campuran Lataston / *Hot Rolled Sheet -wearing course* (HRS-WC) dengan menggunakan polimer *styrofoam* sebagai campuran pada aspal, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- Sifat fisik *styrofoam* yang diperoleh dari pengujian penetrasi aspal sebesar 64,8 dmm untuk campuran *styrofoam* 1%, 64,2 dmm untuk campuran *styrofoam* 2%, 63 dmm untuk campuran *styrofoam* 3%, 60,2 dmm untuk campuran *styrofoam* 4%, 56,4 dmm untuk campuran *styrofoam* 5% dan 53,4 dmm untuk campuran *styrofoam* 6% dengan standar yang di gunakan minimum 40 dmm sehingga memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).
- Titik lembek pada aspal campuran *styrofoam* yang di dapat sebesar 51⁰C untuk campuran *styrofoam* 1%, 52⁰C untuk campuran *styrofoam* 2%, 53⁰C untuk campuran *styrofoam* 3%, 54⁰C untuk campuran *styrofoam* 4%, 54,5⁰C

- untuk campuran *styrofoam* 5% dan 56°C untuk campuran *styrofoam* 6% dengan standar yang digunakan minimum 48°C sehingga memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).
- c Sifat fisik *styrofoam* yang diperoleh dari pengujian didapatkan hasil bahwa berat jenis yang didapat sebesar 1,042 untuk *styrofoam* 1%, 1,041 untuk *styrofoam* 2%, 1,038 untuk *styrofoam* 3%, 1,035 untuk *styrofoam* 4%, 1,033 untuk *styrofoam* 5% dan 1,030 untuk *styrofoam* 6% dengan standar yang digunakan minimum 1,00 sehingga memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).
- d Sifat fisik *styrofoam* pada uji Elastisitas sebesar 90% untuk campuran *styrofoam* 1%, 87% untuk *styrofoam* 2%, 86% untuk campuran *styrofoam* 3%, 84% untuk *styrofoam* 4%, 82% untuk campuran *styrofoam* 5% dan 80% untuk *styrofoam* 6% dengan syarat elastisitas $\geq 60\%$ sehingga memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3).
- e Penggunaan *styrofoam* pada aspal dalam campuran HRS-WC menyebabkan perubahan nilai karakteristik Marshall, dengan hasil-hasil pengujian sebagai berikut :
- 1) 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.
 - 2) Nilai kelelehan tertinggi terjadi pada campuran HRS-WC menggunakan 0% *styrofoam*, yakni sebesar 3,6 mm. Sedangkan nilai kelelehan terendah terjadi pada campuran HRS-WC menggunakan 6% *styrofoam*, yakni sebesar 3,2 mm.
 - 3) Nilai VIM secara umum mengalami penurunan sejalan dengan penambahan kadar *styrofoam* sehingga pada kadar *styrofoam* 5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi dari VIM berkisar antara 4%-6% dan hasil dari VIM pada kadar 5% sebesar 3,70 % dan 6% sebesar 3,64%.

- 4) Nilai VMA secara umum juga mengalami penurunan, dilihat dari kadar *styrofoam* sebanyak 1% didapatkan sebesar 19,84%, untuk *styrofoam* 2% sebesar 19,73%, untuk *styrofoam* 3% sebesar 19,67%, untuk *styrofoam* 4% sebesar 19,55%, untuk kadar *styrofoam* 5% sebesar 19,30% dan untuk *styrofoam* 6% sebesar 19,25%. Tetapi nilai tersebut masih memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3) minimal sebesar 18%.
 - 5) Nilai VFA pada campuran dengan kadar *styrofoam* 1% mengalami peningkatan sebesar 78,12% dan nilai tertinggi pada kadar *styrofoam* 6% yakni 81,11% maka hasil dari campuran aspal 1% sampai 6% masih memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010 (Revisi 3).
 - 6) Nilai MQ yang terjadi pada campuran mengalami kenaikan dilihat dengan menggunakan 1% *styrofoam* didapatkan nilai sebesar 520,97 kg/mm, 2% *styrofoam* sebesar 539,128 kg/mm, 3% *styrofoam* sebesar 556,41 kg/mm, 4% *styrofoam* sebesar 579,26 kg/mm, 5% *styrofoam* sebesar 590,24 dan 6% *styrofoam* sebesar 603,256 kg/mm.
- f) Adapun perbandingan nilai karakteristik Marshall campuran HRS -WC menggunakan *styrofoam* sebanyak 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan 6%, sebagai berikut:
- 1) Semakin banyak *styrofoam* yang digunakan dalam campuran perkerasan dapat meningkatkan nilai stabilitas. Meningkatkan stabilitas campuran yaitu meningkatkan kemampuan campuran HRS -WC untuk memikul beban lalu lintas sampai terjadi kelelahan plastis.
 - 2) Semakin banyak *styrofoam* yang digunakan dalam campuran HRS-WC cenderung menurunkan nilai kelelahan (*flow*) karena aspal semakin mengeras.
 - 3) Penggunaan *styrofoam* sebagai campuran pada aspal cenderung menurunkan nilai VIM.
 - 4) Semakin banyak *styrofoam* sebagai campuran pada aspal cenderung menurunkan nilai VMA.

- 5) Penambahan *styrofoam* pada campuran aspal HRS -WC cenderung meningkatkan nilai VFA, sehingga meningkatkan kadar aspal efektif yang akan menyelimuti material dan menentukan kinerja campuran dalam suatu konstruksi.
- 6) Penggunaan *styrofoam* cenderung meningkatkan nilai MQ. Penambahan plastik dapat meningkatkan kemampuan konstruksi jalan dalam menerima beban.

2. Saran

- a. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengujian untuk mengetahui keterkaitan kimia antara aspal- *styrofoam*.
- b. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan jenis aspal dan campuran lain sebagainya untuk variasi terhadap temperatur.
- c. Pada penelitian bisa di gunakan jenis aspal dan *styrofoam* yang berbeda untuk mengetahui sifat fisik dari aspal modifikasi.
- d. Dapat dilakukan dengan pengkajian tentang kohesitas campuran terhadap kadar aspal dengan menggunakan metode ITS (*Indirect Tensile Strength*).
- e. Dilakukan pengkajian terhadap pelaksanaan perkerasan dengan campuran HRS – WC menggunakan *styrofoam* di lapangan.
- f. Dengan hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pedoman dalam perencanaan penggunaan *styrofoam* sebagai campuran jenis perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course* (HRS-WC).

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.

- Lavin, P.G, 2003, *Asphalt Pavement, London and New York* : Spon press.
- Nurmalitasari, Amalia, *Tinjauan Laboratorium Pemanfaatan Crumb Rubber Sebagai Modifikasi aspal pada Campuran HRS- WC ditinjau Dari Karakteristik Marshall*, Universitas Gadjha Mada, Yogyakarta.
- Kerbs dan Walker, 1971, *Higway Material*, Mc. Graw – Hill Book Campony, New York, USA
- Oglesby dan Hick, 1996, *Teknik Jalan Raya – Translate Bahasa Indonesia, Jilid 2, Edisi Keempat*, Penerbit Erlangga.
- Saodang, 2005, *Kontruksi Jalan Raya – Perancangan Perkerasan Jalan Raya, Buku 2*, Penerbit Nova , Bandung.
- Sukirman, S, 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit NOVA, Bandung.
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit : Granit, Jakarta.
- Tahir A dan Setiawan A. 2009, *Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau Dari Faktor Variasi Suhu Pemasukan dan Lama Perendaman*, Jurnal SMARTek Vol 7 No 1 Februari 2009.
- Totomohardjo, S, 2004, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, BPTS, Yogyakarta