

## **PENGGUNAAN LEADCAP SEBAGAI MATERIAL ADITIF UNTUK WARM MIX ASPHALT (WMA)**

Muhammad Rifki Hanifan, Apriadi Simon Harianja,  
Bagus Hario Setiadji<sup>\*)</sup>, Y.I. Wicaksono<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Material LEADCAP merupakan material aditif yang akan ditambahkan pada aspal (dengan metode dry proses/wet process) dengan tujuan untuk menurunkan suhu campuran aspal. LEADCAP meleleh pada suhu sekitar 100°C dan benar – benar larut ke dalam aspal pada suhu 130°C. Untuk mengetahui kinerja LEADCAP terhadap campuran beraspal, dibuat 15 sampel untuk mengetahui kadar aspal optimum(KAO) dengan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%. Kemudian dengan KAO yang sudah didapat, dibuat campuran dengan 3 variasi kadar LEADCAP yaitu 2%,4%, dan 6%. Dari kadar LEADCAP tersebut, dibuat masing – masing 3 variasi suhu yaitu 145°C, 140°C, 135°C. Dari masing – masing suhu dibuat 3 sampel.*

**kata kunci :** *campuran beraspal, LEADCAP, WMA*

### **ABSTRACT**

*Material LEADCAP is an additive material to be added to the asphalt (by the dry/ wet process) for the purpose of reducing the temperature of the mixed asphalt. LEADCAP melts at about 100°C and completely dissolve into the asphalt at a temperature 130°C. To determine the performance of the asphalt mixture by LEADCAP, we made 15 samples to determine the optimum bitumen content (OBC) with a bitumen content of 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%. Then with the OBC has been obtained, the mixture is made with 3 variations LEADCAP levels of 2%, 4%, and 6%. From the LEADCAP levels, made respectively - each 3 variations in temperature is 145°C, 140°C, 130°C. Every each temperature we made 3.*

**keywords:** *asphalt mixture, LEADCAP, WMA*

### **LATAR BELAKANG**

Konstruksi perkerasan berbahan dasar aspal, sebagai bahan pengikat hingga saat ini masih tetap menjadi pilihan sebagai bahan konstruksi prasarana jalan raya. Pilihan ini terjadi di

---

<sup>\*)</sup> *Penulis Penanggung Jawab*

hampir seluruh negara di dunia termasuk di Indonesia. Komponen utama dari perkerasan ini adalah agregat dengan aspal sebagai bahan pengikatnya.

Dibutuhkan bahan bakar yang banyak untuk meningkatkan temperatur aspal dari suhu lingkungan ke temperatur yang diharapkan. Dampak dari penggunaan bahan bakar yang banyak adalah banyaknya emisi yang dihasilkan bagi lingkungan dimana hal tersebut secara tidak langsung turut mengambil peran dalam pencemaran udara dan proses pemanasan global.

Oleh karena itu dibutuhkan suatu teknologi pencampuran aspal yang lebih ramah lingkungan dan berbasis *green technology* guna menghindari dampak – dampak negatif tersebut. Proses yang dapat diterapkan untuk menurunkan kebutuhan temperatur tinggi diperkenalkan dengan menggunakan water releasing agent, seperti bahan zeolit. Dalam bentuk uap, kadar air ini memberi kontribusi secara efektif terhadap proses difusi bagi binder melalui kerangka mineral pada temperatur sekitar 120°C hingga 130°C. Sehingga akan terjadi pengurangan penggunaan energi sekitar 25%. Sebagai implikasi dari penggunaan tersebut, maka campuran aspal yang dibuat adalah jenis campuran aspal hangat (*warm mix asphalt*).

Banyak jenis bahan aditif yang telah dipatenkan dan digunakan sebagai katalis untuk mempercepat pencapaian konsistensi temperatur yang diperlukan, seperti Aspha-Min®, WAM-Foam®, Sasobit®, Evotherm®, Advera®, LEADCAP, dan Asphaltan B®. Pada penelitian ini akan dipilih LEADCAP sebagai bahan aditif campuran aspal hangat dengan metode *dry process* (penambahan aditif pada campuran agregat), dikarenakan belum banyak penelitian menggunakan bahan aditif ini.

## **RUMUSAN MASALAH**

Berdasarkan pada pembahasan latar belakang sebelumnya, maka dapat dirumuskan beberapa masalah, antara lain:

1. Untuk melakukan evaluasi mengenai pemanfaatan bahan aditif LEADCAP dalam metode pencampuran hangat sehingga dapat diperoleh informasi rentang suhu pencampuran dan pepadatan;
2. Mengkaji seberapa besar signifikansi penurunan temperatur campuran dengan menggunakan metode *Dry Process*;
3. Mengkaji *Job Mix Formula* untuk *Warm Mix Asphalt* dengan menggunakan LEADCAP.

## **TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan temperatur suhu pencampuran dan pepadatan campuran aspal setelah ditambahkan LEADCAP dengan kadar tertentu, serta mengkaji kemampuan LEADCAP setelah ditambahkan pada campuran beraspal dengan penurunan suhu terhadap nilai parameter *Marshall*.

## **KAJIAN PUSTAKA**

### **Campuran Aspal Hangat/ *Warm Mix Asphalt***

Teknologi campuran aspal hangat (WMA) memungkinkan pencampuran, penghampanan, dan pemadatan campuran beraspal pada temperatur jauh lebih rendah dibandingkan dengan pencampuran aspal panas (HMA). Menurut Shad Sargand, J. Ludwig Figueroa, Willaim Edwards, dan Abdalla S. Al-Rawashdeh dalam laporan penelitian yang berjudul “*Performance Assesment of Warm Mix Asphalt (WMA) Pavement*” menyebutkan bahwa HMA diproduksi pada rentang suhu antara 138°C dan 160°C. Sementara WMA diproduksi pada rentang suhu antara 121°C dan 135°C. Begitu pula yang dijelaskan Zhanping You dan Shu Wei Goh dalam jurnal yang berjudul “*Laboratory Evaluation of Warm Mix Asphalt: A Preliminary Study*” menyebutkan bahwa suhu pencampuran dengan menggunakan teknologi WMA berada pada rentang suhu antara 121°C dan 135°C.

### **LEADCAP**

*Low Energy and Low Carbon-dioxide Asphalt Pavement (LEADCAP)* adalah aditif organik yang dikembangkan secara khusus untuk *Warm-Mixed Asphalt (WMA)* pada campuran aspal. LEADCAP diproduksi oleh Kumho Petrochemical Ltd yang merupakan salah satu produsen terbesar karet sintetis. Kumho dan *Korea Institute of Technology Construction (KICT)* bersama – sama menciptakan aditif ini. LEADCAP dapat mengontrol kristalisasi sehingga aspal tidak menjadi rapuh pada suhu rendah dan dapat meningkatkan ikatan pengikat aspal pada permukaan agregat (*LEADCAP performance, 2010*).

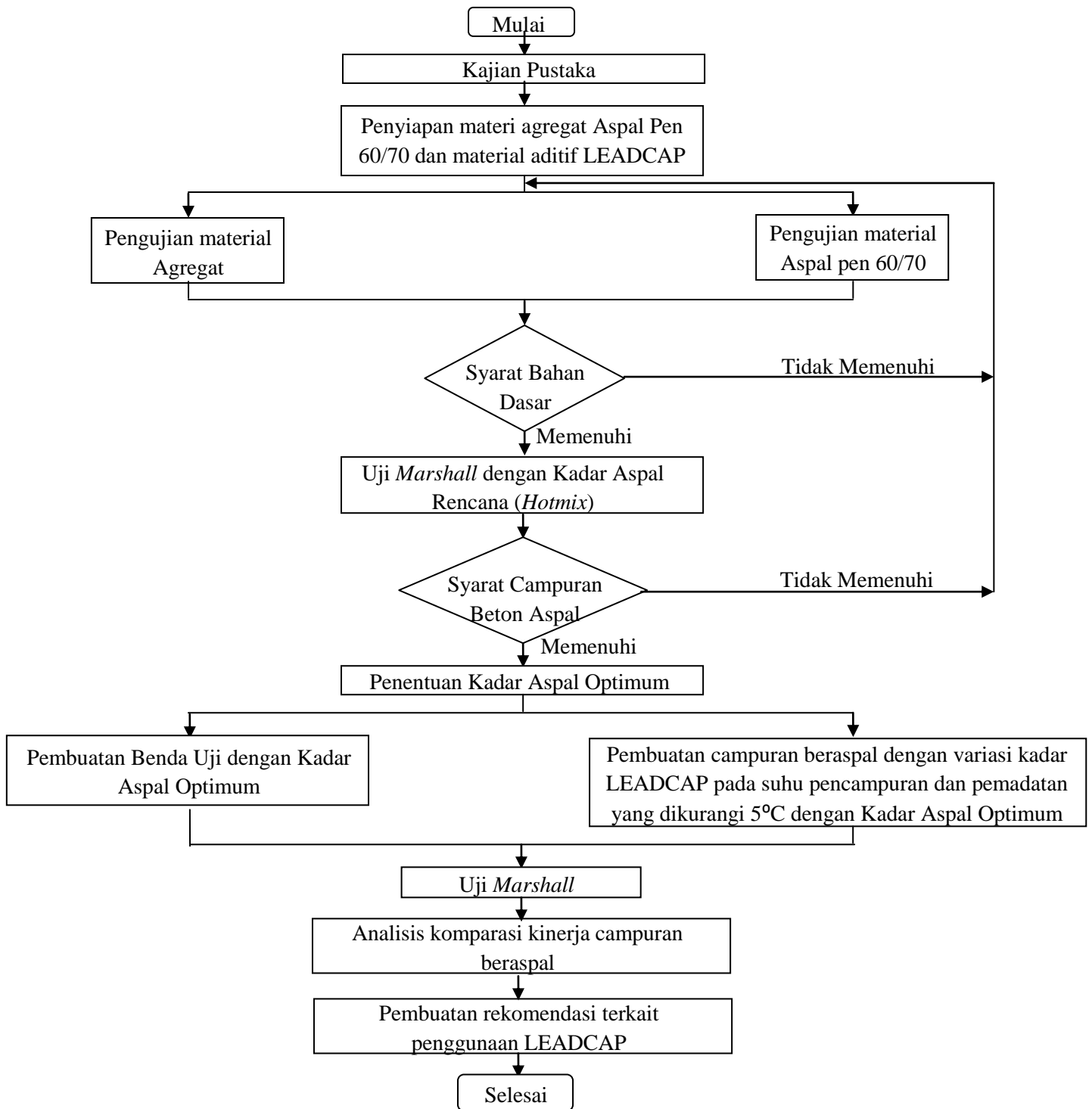
## **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini, akan digambarkan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 1.

### **Penyiapan dan Pengujian Material**

Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari material agregat, aspal Pen 60/70 dan aditif LEADCAP. Material aspal yang digunakan merupakan aspal Pertamina, sedangkan material agregat kasar dan agregat halus masing – masing diperoleh dari PT. Adhi Karya dan Muntilan, dimana masing-masing material agregat kasar dan agregat halus penyusun gradasi tersebut harus diuji dan dipastikan memenuhi persyaratan/spesifikasi. Pengujian agregat yang dilakukan adalah pengujian berat jenis, penyerapan air, tes abrasi Los Angeles, dan kelekatan aspal.

Material aspal merupakan material yang lebih kompleks dibandingkan dengan material agregat. Sebelum material aspal tersebut digunakan dalam pembuatan campuran beraspal, maka material aspal yang digunakan harus diuji dan dipastikan memenuhi persyaratan berdasarkan pengujian. Pengujian aspal yang akan dilakukan diantaranya pemeriksaan penetrasi aspal, titik lembek/lunak, titik nyala dan titik bakar dengan *cleveland open cup*, pemeriksaan kelarutan bitumen dalam karbon tetraklorida/karbon bisulfida (*solubility test*), pemeriksaan daktilitas aspal, pemeriksaan berat jenis aspal (*specific gravity test*) dan pemeriksaan viskositas.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Pembuatan dan Pengujian Campuran Beraspal

Prosedur pembuatan dan pengujian campuran beraspal dengan menggunakan pedoman Dirjen Bina Marga (2010). Penggunaan LEADCAP sebagai material aditif aspal pada penelitian ini dilakukan berdasarkan variasi LEADCAP yang direncanakan. Dalam penelitian ini, penghamparan LEADCAP akan dilakukan dengan metode *dry process*.

Untuk menghasilkan campuran dengan metode *dry process*, LEADCAP ditambahkan ke dalam campuran agregat beraspal dengan variasi kadar 2%, 4% dan 6%.

Penurunan suhu dengan LEADCAP, agar mampu memperoleh hasil yang optimal, maka digunakan cara berikut ini :

- Membuat campuran aspal beraditif LEADCAP dengan KAO (3 sampel) dan campur serta padatkan pada suhu yang dikurangi, misalnya 145°C dan 135°C, lalu mencari nilai property *Marshall*nya.
- Membuat campuran beraspal lagi dengan KAO (3 sampel) dan mencampur serta memadatkan pada suhu yang dikurangi lagi, misalnya 140°C dan 130°C, lalu mencari property *Marshall*nya.
- Ketika suhu pencampuran dan pemadatan pada saat nilai property *Marshall* sudah berubah maksimal 10% merupakan suhu pencampuran dan pemadatan optimal yang dapat diperoleh dengan menggunakan LEADCAP.
- Mengulangi langkah tersebut di atas dengan menggunakan variasi kadar LEADCAP lainnya.

Jumlah sampel yang akan dibuat dalam penelitian ini diperkirakan sebagai berikut :

Tabel 1. Jumlah Sampel pada Pengujian Tekan

No.	Jenis Sampel	Jumlah Sampel	Jumlah Variasi	Variasi Suhu	Total Jumlah Sampel
1.	Campuran beraspal dengan aspal Pen 60/70	15	1	1	15
2.	Campuran beraspal dengan aspal LEADCAP pada KAO	3	3	3	27
3.	Campuran beraspal dengan aspal Pen 60/70 pada KAO	3	1	1	3
Total					45

## ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Agregat

Hasil dari pengujian agregat yakni:

1. Agregat kasar ukuran  $\frac{3}{4}$ "

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar Ukuran  $\frac{3}{4}$ "

No	Pengujian	Standard	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min	Max		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 1969 : 2008	2,5	-	2,682	gr/cc
2	Berat jenis semu	SNI 1969 : 2008	2,5	-	2,806	gr/cc
3	Berat jenis efektif	SNI 1969 : 2008	2,5	-	2,744	gr/cc
4	Penyerapan air	SNI 1969 : 2008	-	3,0	1,657	%
5	Tes abrasi <i>Los Angeles</i>	SNI 2417 : 2008	-	40	15,43	%
6	Kelekatan dengan aspal	SNI 03-2439-1991	95	-	98	%

2. Agregat kasar ukuran ½"

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar Ukuran ½"

No	Pengujian	Standard	Spesifikasi		Satuan	Hasil
			Min	Max		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 1969 : 2008	2,5	-	2,718	gr/cc
2	Berat jenis semu	SNI 1969 : 2008	2,5	-	2,817	gr/cc
3	Berat jenis efektif	SNI 1969 : 2008	2,5	-	2,768	gr/cc
4	Penyerapan air	SNI 1969 : 2008	-	3,0	1,296	%
5	Tes abrasi <i>Los Angeles</i>	SNI 2417 : 2008	-	40	23,25	%
6	Kelekatan dengan aspal	SNI 03-6751-2002	95	-	98	%

3. Pengujian Pasir

Tabel 4. Hasil Pengujian Pasir

No	Pengujian	Standard	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min	Max		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 1970 : 2008	2,5	-	2,733	gr/cc
2	Berat jenis semu	SNI 1970 : 2008	2,5	-	2,836	gr/cc
3	Berat jenis efektif	SNI 1970 : 2008	2,5	-	2,769	gr/cc
4	Penyerapan air	SNI 1970 : 2008	-	3,0	1,327	%

4. Pengujian Abu batu

Tabel 5. Hasil Pengujian Abu batu

No	Pengujian	Standard	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min	Max		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 1970 : 2008	2,5	-	2,752	gr/cc
2	Berat jenis semu	SNI 1970 : 2008	2,5	-	2,845	gr/cc
3	Berat jenis efektif	SNI 1970: 2008	2,5	-	2,785	gr/cc
4	Penyerapan air	SNI 1970 : 2008	-	3,0	1,179	%

**Hasil Pengujian Aspal**

Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 6. Hasil Pengujian Aspal

Kadar Aspal	Spesifikasi	Hasil	Satuan
Penetrasi	60 - 70	67,1	Dmm
Titik Lembek	≥48	48,5	°C
Titik Nyala	≥232	268	°C
Kelarutan aspal	≥98	98	%berat
Daktilitas	≥100	112	Cm
Berat Jenis	≥1,0	1,037	gr/cc

**Hasil Pengujian Viskositas**

Tabel dibawah menunjukkan hasil pengujian viskositas:

Tabel 7. Hasil Pengujian Viskositas

Jenis Pengujian	Prosedur	Hasil	Satuan
Pengujian Aspal 60/70			
Viscositas Kinematik pada 120°C	SNI-06-6721-2002	635	Cst
Viscositas Kinematik pada 140°C		278	Cst
Viscositas Kinematik pada 160°C		119	Cst
Suhu Pencampuran		150,25	°C
Suhu Pematatan		139,8	°C

**Penentuan Kadar Aspal Rencana**

Penentuan kadar aspal rencana diperoleh melalui perhitungan berikut:

$$P_b = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\% \text{ filler}) + \text{Absorpsi Aspal}$$

$$P_b = 0.035 (50,40) + 0.045 (41,62) + 0.18 (7,98) + ((0,13 \times 1,6) + (0,48 \times 1,2) + (0,17 \times 1,1) + (0,22 \times 1,3)) \times 0,5$$

$$P_b = 5,07 + 0,62 = 5,69\% \approx 5,5 \%$$

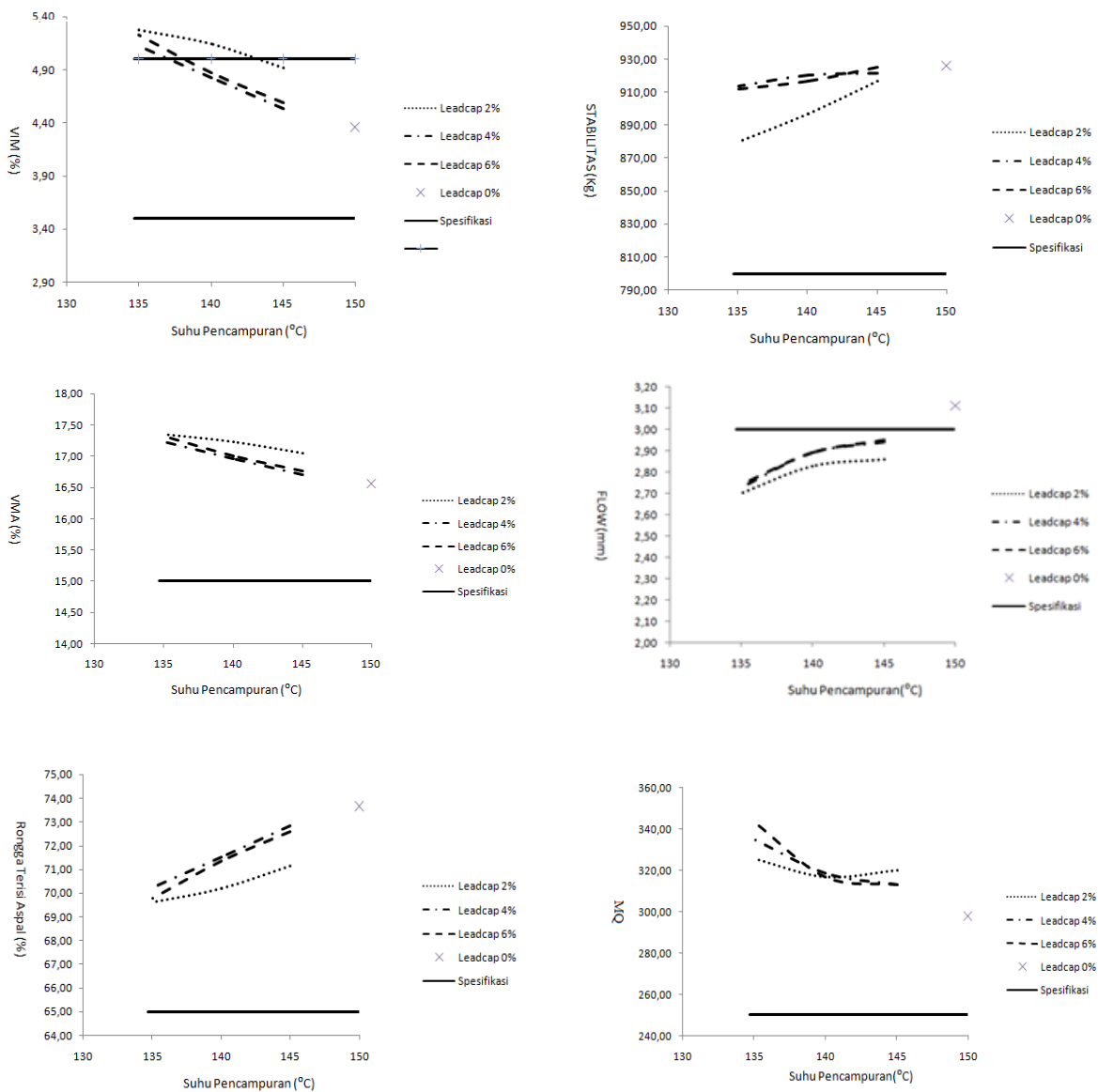
Dari kadar aspal rencana yang didapat maka diperoleh kadar aspal yang akan dibuat adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

**Hasil pengujian Marshall**

Setelah didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum, selanjutnya KAO digunakan untuk membuat briket campuran beraspal tanpa ditambahkan LEADCAP dengan suhu pencampuran dan suhu pematatan sesuai dengan viskositas aspal pen 60/70 (HMA) dan briket campuran beraspal yang ditambahkan LEADCAP dengan variasi kadar LEADCAP 2%, 4% dan 6% pada suhu pencampuran dan pematatan yang dikurangi sebesar 5°C dari viskositas aspal pen 60/70 (WMA). Hasil properti *Marshall* dari campuran beraspal tanpa LEADCAP akan dipakai sebagai acuan untuk mengetahui peningkatan / penurunan properti *Marshall* dari campuran beraspal dengan penambahan LEADCAP. Berikut hasil properti *Marshall* tersebut.

Tabel 8. Nilai Karakteristik Aspal pada Variasi Suhu dan Kadar LEADCAP

% LEADCAP	Suhu pencampuran (°C)		Suhu pematatan (°C)		VIM (%)	VMA (%)	Rongga terisi aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Kelelehan (mm)	MQ (Kg/mm)
	Batas bawah	Batas atas	Batas bawah	Batas atas						
0	148	152,5	137,4	142,2	4,36	16,56	73,65	925,96	3,11	297,74
	143	147,5	132,4	137,2	4,92	17,05	71,14	916,46	2,86	319,88
	138	142,5	127,4	132,2	5,14	17,24	70,18	896,93	2,83	316,93
4	133	137,5	122,4	127,2	5,27	17,36	69,61	879,85	2,70	325,87
	143	147,5	132,4	137,2	4,54	16,71	72,86	921,72	2,94	312,98
	138	142,5	127,4	132,2	4,83	16,97	71,54	920,35	2,89	318,46
6	133	137,5	122,4	127,2	5,13	17,23	70,24	913,46	2,73	335,21
	143	147,5	132,4	137,2	4,59	16,76	72,60	925,19	2,95	313,09
	138	142,5	127,4	132,2	4,87	17,00	71,36	916,61	2,89	316,62
	133	137,5	122,4	127,2	5,23	17,32	69,79	911,92	2,74	343,37



Gambar 2. Tinjauan Penambahan LEADCAP terhadap Suhu Pencampuran

## PEMBAHASAN

Berdasarkan pada Gambar 2, perbedaan pengaruh campuran beraspal dengan penambahan LEADCAP adalah sebagai berikut:

a. Faktor VIM

LEADCAP dengan kadar 4% merupakan kadar terefektif dimana pada kadar ini memiliki nilai VIM terkecil, sehingga rongga dalam campuran akan lebih kecil juga dibandingkan dengan kadar LEADCAP 2% ataupun 6%.

b. Faktor VMA

Pada faktor VMA, LEADCAP dengan kadar 2% merupakan kadar terbaik, dimana pada kadar 2% memiliki nilai VMA terbesar dibandingkan kadar lainnya, dimana dengan VMA yang lebih besar maka akan tersedia banyak ruang untuk menampung banyak aspal dalam campuran.



- c. Faktor VFA  
Rongga terisi aspal (VFA) memiliki sifat berkebalikan dengan VIM, dimana nilai VFA terbesar merupakan nilai terbaik. Dalam hal ini, penambahan LEADCAP 4% merupakan kadar terefektif karena memiliki nilai VFA terbesar meskipun dibandingkan dengan kadar 6%.
- d. Faktor Stabilitas  
Semakin tinggi nilai stabilitas, maka semakin baik pula campuran beraspal tersebut. Campuran dengan stabilitas tinggi mampu menahan perubahan bentuk seperti gelombang, alur, maupun *bleeding*. Dalam hal ini, LEADCAP dengan kadar 4% merupakan kadar terefektif karena memiliki nilai stabilitas yang sama tinggi nya dengan penambahan kadar LEADCAP terbesar.
- e. Faktor *Flow*  
LEADCAP dengan kadar 4% merupakan kadar terefektif karena memiliki nilai *flow* yang sama dengan kadar 6%, walaupun pada seluruh penambahan kadar LEADCAP tidak mampu mencapai spesifikasi.
- f. Faktor *Marshall Quotient* (MQ)  
Marshall Quotient merupakan nilai bagi antara stabilitas dengan flow. Pada faktor ini, akibat penambahan LEADCAP membuat nilai MQ meningkat dibandingkan sebelum ditambahkan LEADCAP. Hal ini berarti, campuran beraspal setelah ditambahkan LEADCAP menjadi lebih kaku.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis, kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh LEADCAP terhadap karakteristik campuran adalah sebagai berikut:
  - a. *Void In Mix* (VIM) semakin membesar akibat nilai VMA dan VFA pada campuran yang semakin membesar dengan adanya penambahan LEADCAP, yaitu dengan perbedaan terbesar mencapai  $\pm 20,8\%$ .
  - b. *Void in Mineral Agregates* (VMA) pada campuran semakin membesar dengan adanya penambahan LEADCAP, yakni mencapai  $\pm 4,8\%$ .
  - c. *Void Filled with Asphalt* (VFA) pada campuran semakin berkurang seiring penambahan kadar LEADCAP hal ini dikarenakan sifat aspal yang ditambah LEADCAP lebih cair sehingga lebih mudah diserap oleh agregat. Pengurangan terbesar adalah sebesar  $\pm 5,5\%$ .
  - d. Stabilitas mengalami penurunan, namun tidak terlalu signifikan terhadap penambahan LEADCAP yakni hanya 3% dari penurunan terbesar.
  - e. Nilai *flow* mengalami penurunan akibat penambahan LEADCAP, yakni mengalami penurunan mencapai  $\pm 13,1\%$ .
  - f. *Marshall Quotient* (MQ) meningkat akibat pengaruh penambahan LEADCAP dikarenakan nilai *flow* yang turun. Peningkatan nilai MQ tersebut mencapai  $\pm 12,5\%$ .
2. Pengaruh penambahan LEADCAP pada suhu pencampuran dan suhu pemadatan terhadap properti *Marshall*
  - a. Dari nilai properti *Marshall* dapat diketahui bahwa, tinjauan terhadap faktor VIM dan *flow* memberikan perbedaan nilai karakteristik yang terbesar.
  - b. Penambahan LEADCAP mempercepat pencapaian konsistensi suhu aspal yang diperlukan untuk pencampuran dan pemadatan melalui pemanasan. Dalam hal ini,

akibat nilai VIM, rongga dalam campuran LEADCAP 2% akan baik bila diproses dengan suhu pencampuran  $\geq \pm 143^{\circ}\text{C}$ , sedangkan LEADCAP 4% & 6% pada suhu  $\geq \pm 137^{\circ}\text{C}$ .

3. Penggunaan LEADCAP yang efektif untuk campuran aspal yaitu dengan kadar LEADCAP 4%. Dikarenakan memiliki VIM yang paling kecil diantara sampel lainnya, memiliki nilai VFA paling besar diantara sample lainnya, dan memiliki nilai *flow* yang relatif sama dengan kadar LEADCAP 6%. Penambahan LEADCAP melebihi 4% dapat dikatakan kurang efektif. Hal ini dikarenakan pada beberapa tinjauan *Marshall*, dengan penambahan kadar LEADCAP lagi, tidak mampu memberikan perbedaan yang cukup signifikan.
4. Dengan penambahan LEADCAP cukup memberi manfaat dalam menghemat penggunaan aspal dan mengurangi emisi hasil pencampuran pada suhu yang lebih rendah.
5. Penambahan LEADCAP juga memiliki kekurangan dimana campuran menjadi lebih kaku dan keras, hal ini ditinjau dari nilai Marshall Quotient (MQ) yang semakin meningkat akibat penambahan LEADCAP.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Dirjen Bina Marga, 2010. *Spesifikasi Umum Divisi 6 Seksi 6.3 Campuran Beraspal Panas*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum.
- FHWA, 2012a. *Warm Mix Asphalt Introduction*, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, <http://www.fhwa.dot.gov/everydaycounts/technology/asphalt/intro.cfm>, diakses pada Maret 2013.
- FHWA, 2012b. *Warm Mix Asphalt Introduction*, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, <http://www.fhwa.dot.gov/everydaycounts/technology/asphalt/intro.com>, diakses pada Maret 2013.
- Puslitbang Teknologi Prasaranan Jalan, 2000. *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*. Bandung: Departemen Pemukiman dan Pengembangan Wilayah.
- Sasol Wax GmbH, 2004. *LEADCAP: the Bitumen Additive for Highly Stable Easily Compactible Asphalts*, Product Information, Hamburg, Jerman.
- Sunarjono, S., 2006. *Evamarshallluasi Engineering Bahan Perkerasan Jalan Menggunakan RAP dan Foamed Bitumen*, Jurnal Eco Rekayasa, Vol. 2, No. 2, pp. 65-71.
- Soehartono, Ir., 2010. *Teknologi Aspal dan Penggunaannya Dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum PT. Mediatama Saptakarya, Jakarta.
- Sukirman Silvia, 1999, 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*, Perkerasan Lentur Jalan Raya Granit, Jakarta.
- The Asphalt Institute, 1975. *Model Specifications for Small Paving Jobs, CL-2*, College Park, Maryland: The Asphalt Institute.
- Timothy, D. M., dan Bahia, Hussain U., 2009. *Sustainable Asphalt Pavements: Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities*. University Wisconsin Madison MARC White Paper, 1-7, <http://uwmarc.wise.edu/files/MARC-Sustainable-Asphalt-Pavements-white-paper.pdf>, diakses Juni 2010

- You, Zhanping., Goh, Shu Wei, 2008. *Laboratory Evaluation of Warm Mix Asphalt :A Preliminary Study*. China: International Journal of Pavement Research and Technology.
- Y. Kim, S. Hwang, S. Kwon, K. Jeong, S. Yang, and Y. Kim, 2011. *Laboratory and field experiences of low energy and low carbon-dioxide asphalt pavement in Korea*, in *Proceedings of the 2nd GeoHunan International Conference*, Hunan, China.