

# PENGARUH BAHAN TAMBAH BERBAHAN DASAR PARAFIN TERHADAP CAMPURAN BERASPAL HANGAT (THE EFFECT OF PARAFFIN BASED ADDITIVE ON WARM MIX ASPHALT)

Hendri Hadisi<sup>1)</sup>, Furqon Affandi<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup> Puslitbang Jalan dan Jembatan

<sup>1),2)</sup> Jl. A.H Nasution 264 Bandung 40294

<sup>1),2)</sup> e-mail: hhadisi@yahoo.com; furqon\_affandi@yahoo.com

Diterima : 20 Mei 2013; direvisi: 19 Juli 2013; disetujui: 01 Agustus 2013

## ABSTRAK

Kualitas campuran beraspal panas sangat dipengaruhi oleh temperatur pencampuran dan pematatannya yang harus sesuai dengan jenis aspal yang digunakan, karena penurunan temperatur akan menghasilkan campuran beraspal atau perkerasan yang tidak baik. Hal ini memerlukan disiplin dalam pengerjaannya disamping temperatur yang tinggi tersebut memerlukan penggunaan bahan bakar dan emisi yang cukup besar. Tulisan ini membahas pengaruh bahan tambah berbahan dasar parafin pada campuran beraspal panas untuk lapisan aus (wearing course) berdasarkan hasil percobaan dan analisa di laboratorium. Kadar bahan tambah berbahan dasar parafin yang optimal untuk penambahan ke campuran beraspal ialah 1% terhadap berat aspal, dimana campuran tersebut dapat menurunkan temperatur pencampuran / pematatan sebesar 31°C terhadap temperatur campuran beraspal panas tanpa bahan tambah dari 157°C menjadi 126°C, dengan kualitas campuran dan nilai parameter yang setara dan masih memenuhi persyaratan campuran yang ditentukan. Parameter campuran yang mudah mengalami perubahan akibat penurunan temperatur pencampuran dan pematatan, ialah parameter rongga dalam campuran (VIM), Marshall Quotient dan stabilitas rendaman sedangkan, stabilitas langsung, kepadatan, rongga antar agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFB) tidak mudah terpengaruh. Pengaruh kadar bahan tambah berbahan dasar parafin terhadap kecepatan penurunan modulus campuran beraspal pada temperatur pengujian 25°C ke 35°C hampir sama. Penurunan temperatur pencampuran dan pematatan sebesar 31°C, dapat menunjang pembangunan jalan ramah lingkungan, karena dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar sekitar 54%.

**Kata kunci:** Bahan Tambah berbahan dasar parafin, temperatur, kualitas campuran beraspal, parameter campuran beraspal, modulus, emisi.

## ABSTRACT

The quality of hot mix asphalt is strongly influenced by mix and compaction temperatur which must be suitable with the type of asphalt used, because the decrease in temperatur will result in unsatisfied asphalt mix or pavement. This requires discipline in the process in addition to the high temperatur which in turn quite large fuel use and emissions are needed. This paper discusses the effect of Paraffin based which has paraffin-base on hot asphalt mixture for wearing course based on the results of experiments and analysis in the laboratory. Optimum Paraffin based content for asphalt mix is 1% of asphalt weight, where the asphalt mixture with 1% Paraffin based can lower mixing and compaction temperatur of 31<sup>o</sup> C to hot asphalt mix without additive from 157 C to 126 C, with the quality of mix and parameter values are equal to and still comply with the requirements of specified mixture. Mix parameters which easily changed due to the decrease of mixing and compaction temperatures are Void In Mix, Marshall Quotient and retain Marshall stability, while the direct stability, density, Voids in Mineral Aggregates (VMA), Voids Filled with Bitumen (VFB) are not easily changed. The influence of Paraffin based content on the decrease rate of modulus of asphalt mixtures at a temperatur of

25 °C to 35 °C is almost the same. The decrease in mixing and compaction temperatures of 31 °C, can support the green construction, because it can reduce CO<sub>2</sub> emissions of approximately 54%

**Keywords:** Paraffin based additives, temperatur, quality of bituminous mixes, parameter of bituminous mixes properties, modulus, emission.

## PENDAHULUAN

Dibidang konstruksi perkerasan jalan, jenis perkerasan yang banyak dan populer digunakan, termasuk di Indonesia ialah campuran beraspal panas (*hot mix*). Sesuai dengan nama dan sifatnya, campuran beraspal panas tersebut memerlukan pemanasan pada suhu tertentu yang cukup tinggi pada *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, serta pemadatan tertentu pula, sesuai dengan jenis aspal yang digunakannya guna mendapatkan kualitas sesuai spesifikasi yang diinginkan. Penurunan temperatur pencampuran dan pemadatan dari yang ditentukan, akan menurunkan kualitas perkerasan jalan tersebut.

Untuk memenuhi keperluan pembangunan dan pemeliharaan perkerasan aspal di Indonesia, setiap tahun diperlukan aspal sekitar 1,2 – 1,3 juta ton aspal keras dimana sekitar 900.000 ton untuk jalan nasional dan 300.000 – 400.000 ton untuk jalan-jalan di daerah. Bila dianggap semua jenis campuran yang digunakan ialah campuran beraspal panas dengan perkiraan rata-rata kadar aspal dalam campuran 6%, maka akan menghasilkan  $(100/6) \times 1,3$  juta ton = 21,6 juta ton campuran beraspal panas. Angka ini cukup besar, yang berarti besar pula bahan bakar yang diperlukan maupun emisi yang akan dihasilkan.

Disisi lain pembangunan yang berwawasan lingkungan, sudah menjadi tuntutan di seluruh dunia, sehingga upaya ke arah tersebut dalam segala bidang terus ditingkatkan. Salah satu pertemuan penting ialah “*Protocol Kyoto*” mengenai “*Global Warming and Climate Change*” tahun 1997, dimana dunia akan menekan emisi buang akibat pembangunan yang dilakukan. Berkaitan dengan hal tersebut, berdasarkan *Copenhagen summit, global temperatures* tahun 2009,

Indonesia akan mengurangi emisi buangnya sebesar 26% pada tahun 2020 (Marbun J 2012).

Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh bahan tambah berbasal parafin, terhadap kinerja campuran beraspal panas.

## KAJIAN PUSTAKA

### Temperatur dan klasifikasi teknologi

Teknologi campuran beraspal hangat telah menjadi metode utama dalam penggunaan pembangunan jalan di Amerika Serikat maupun di dunia, hal tersebut dikarenakan penghematan penggunaan bahan bakar dalam proses campuran beraspal hangat, pengurangan emisi karbon dioksida, pengurangan oksidasi aspal, pembukaan lalu lintas yang lebih cepat dan lingkungan yang lebih bersih dan ramah pada saat kerja (Prowel 2011).

Pengurangan emisi dalam campuran beraspal hangat di Indonesia sangat berkaitan dan mendukung Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2011 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2011), bahwa pemenuhan kriteria peringkat hijau ditunjukkan dengan sudah dilakukannya efisiensi energi, penurunan emisi melalui reduksi hidrokarbon dan konservasi pemakaian air melalui re-injeksi air terproduksi untuk peningkatan kapasitas produksi.

Teknologi campuran beraspal hangat merupakan salah satu teknologi dalam perkerasan jalan yang ramah lingkungan. Salah satu bahan yang inovatif pada akhir-akhir ini adalah bahan tambah organik yang berbasal parafin, dimana komposisi utamanya adalah perekayasa pada struktur kristal parafin dan bahan sintesis buatan (Kim Yongjoo 2011).

Salah satu hal yang diperlukan dalam membuat campuran beraspal panas di *AMP*, ialah perlunya temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan yang cukup tinggi, sesuai dengan jenis dan *grade* aspal yang digunakan. Temperatur pencampuran ialah temperatur dimana aspal mempunyai viskositas  $170 \pm 20$  cSt sedangkan untuk temperatur pemadatan viskositas aspalnya antara  $280 \pm 30$  cSt. (*Asphalt Institute* 1993)

Campuran beraspal dengan aspal minyak penetrasi 60, umumnya memerlukan temperatur pencampuran sekitar  $160^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk aspal modifikasi yang ditujukan untuk lalu-lintas berat, sebagaimana dicantumkan pada Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010) memerlukan pemanasan untuk pencampuran di *AMP* yang lebih tinggi lagi, sekitar  $175^{\circ}\text{C}$ .

Penurunan temperatur pencampuran dan pemadatan, akan mengakibatkan viskositas aspal naik, sehingga peneyelimitan agregat oleh aspal bisa berkurang dan kesulitan pada proses pemadatan. Hal ini akan mengakibatkan sifat campuran seperti rongga dalam campuran menjadi besar, kepadatan berkurang, stabilitas campuran menurun drastis, yang pada akhirnya menjadikan perkerasan menjadi cepat rusak.

Dikarenakan tuntutan akan pembangunan yang lebih ramah lingkungan dan efisiensi penggunaan bahan bakar, di beberapa negara lain telah dikembangkan campuran beraspal dengan temperatur pencampuran dan pemadatan yang lebih rendah dari campuran beraspal panas, atau yang dikenal dengan *WMA - Warm Mix Asphalt* dengan berbagai bahan tambahannya. Campuran beraspal hangat ini, diproduksi di *AMP* dan dipadatkan di lapangan dengan tetap dapat menjaga *workability* yang diperlukan sehingga dapat dihampar dan dipadatkan dengan baik (Gierhart 2009). *Workability* merupakan hal yang penting pada campuran beraspal dengan temperatur yang lebih rendah dari campuran beraspal panas (Cabrera and Dixon 1994).

Salah satu klasifikasi Campuran Beraspal Hangat (CBH) ialah berdasarkan pengurangan temperatur pencampuran, dimana campuran beraspal panas diklasifikasikan bila temperatur pencampuran lebih besar dari  $135^{\circ}\text{C}$ , sedangkan

campuran beraspal hangat ialah lebih besar dari  $100^{\circ}\text{C}$  dan campuran setengah beraspal hangat (*half - warm asphalt mixtures*) bila temperturnya lebih rendah dari  $100^{\circ}\text{C}$ . (Gierhart 2009)

Klasifikasi campuran beraspal hangat berdasarkan teknologinya, dapat diklasifikasikan atas tiga macam, yaitu berdasarkan penggunaan bahan tambah kimia (*additive*), proses yang menggunakan air dan proses yang menggunakan air serta *additive*. (Gierhart 2009; SE States Pavement Association Management; 2009). Tipe bahan tambah kimia berfungsi sebagai "*asphalt flow improver*", dimana bahan tersebut bisa menurunkan viskositas aspal, sehingga akan menurunkan temperatur yang diperlukan untuk pencampuran maupun pemadatan (Damm 2002).

Fungsi bahan tambah dengan memanfaatkan air yang dikandungnya, bisa untuk memperbesar volume aspal sewaktu pencampuran dan sekaligus memudahkan tingkat pengerjaan pencampuran maupun pemadatan (Hurley and Prowel 2009). Sedangkan bahan tambah yang menggunakan air, aspal dan bahan kimia, misalnya *Evotherm®* yang dasarnya ialah merupakan satu paket kimia, yang didalamnya sudah termasuk *additive* untuk perbaikan kelekatan terhadap agregat (*coating*) dan kemudahan kerja, meningkatkan adhesi dan emulsifikasi *agent*, dengan penggunaan sekitar 0,5 % dari berat aspal. Bahan tambah lainnya dengan memanfaatkan air, ialah *Advera* dan *Aspha-min®* yang berasal dari Jerman. *Aspha-min®* dibuat dari sodium aluminium *silicate* sintesis dengan rongga yang besar dan dapat menahan dan melepaskan air dengan cepat tanpa merusak struktur kristalnya, yang lebih dikenal dengan nama Zeolit (Hurley and Prowel; Gierhart 2009).

Temperatur pemadatan untuk campuran beraspal hangat dapat dilakukan dengan cara mencoba coba sedemikian rupa sehingga kepadatan dari campuran beraspal hangat yang dipadatkan pada temperatur tertentu sama dengan kepadatan dari campuran beraspal panas (Zaumanis 2010). Penentuan kadar aspal optimum pada campuran beraspal hangat

diambil sama dengan kadar aspal pada campuran beraspal panas, dengan pertimbangan keawetan, permeabilitas dan ketahanan terhadap air, walaupun ada indikasi tidak langsung terhadap kadar aspal optimum tersebut. Indikasi itu ialah kadar aspal pada campuran beraspal hangat bisa lebih rendah karena penyerapan aspal oleh agregat akan lebih sedikit serta pemadatan pada campuran beraspal hangat bisa lebih baik, sehingga rongga dalam campuran akan menjadi lebih kecil (Zaumanis 2010).

### ***Stiffness Modulus* campuran beraspal**

Modulus campuran beraspal merupakan salah satu parameter penting dalam suatu sifat campuran beraspal, dimana salah satunya dari sifat ini ialah menunjukkan kekuatan dari campuran beraspal tersebut, dan berpengaruh terhadap tebal lapisan yang diperlukan pada suatu susunan konstruksi perkerasan untuk suatu beban lalu lintas tertentu. Modulus campuran beraspal ini sudah banyak dipelajari sebelumnya, dimana salah satunya ialah yang disampaikan oleh Read and Whiteoak (2003), bahwa modulus campuran beraspal tersebut tergantung pada sifat aspal dan volumetrik campuran serta sifat aspalnya sendiri, yaitu tergantung pada modulus aspalnya sendiri, volume agregat dalam campuran dan volume aspal dalam campuran (Read and Whiteoak 2003). Pengukuran modulus campuran beraspal secara langsung, dipandang lebih baik, yang bisa dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat UMATTA (*Universal Material Testing Apparatus*) pada kondisi pengujian tertentu seperti temperatur dan waktu pembebanan yang diinginkan.

### **Bahan tambah berbahan dasar parafin**

Bahan tambah berbahan dasar parafin merupakan bahan buatan yang terbuat dari bahan dasar *parafin* yang berbeda dengan parafin normal, dimana *bahan berbahan dasar parafin* ini mengandung *crystal controller* dan bahan peningkat kelekatan. Bahan ini bisa mengontrol kristal dengan cara mereduksi pengaruh kristalisasi. *Parafin* normal mempunyai sifat pengristalan yang tinggi, sehingga

mempunyai yang mudah menjadikan campuran beraspal mengalami retak pada temperatur rendah. (Cho Dong Woo 2013; Cho Dong Woo 2012).

Aditif berbahan dasar parafin ini dibentuk rantai alifatik karbon yang panjang (C40-C115), yang ditambahkan suatu senyawa sintetik lain (Fazaeli 2012). Bahan ini berupa pelet butiran kecil dengan ukuran sekitar 5 sampai 10 mm, dan sangat mudah mencair pada temperatur dibawah 100°C.

### **Perkembangan penggunaan campuran campuran beraspal hangat**

Penggunaan teknologi campuran beraspal hangat tengah dikembangkan di berbagai negara, diantaranya ialah menggunakan bahan tambah bersifat kimia dengan merek dagang seperti *Sasobit* yang telah dicoba sejak tahun 1997. Bahan tambah ini telah digunakan pada 142 proyek dengan jumlah 2.271.499 m<sup>2</sup>, di beberapa Negara seperti Austria, Belgia, Cina, Denmark, Perancis, Jerman, Hongaria, Itali, Macau, Malaysia, Belanda, Selandia Baru, Rusia, Afrika Selatan, Swedia, Switzerland, Inggris dan Amerika Serikat dengan berbagai jenis campuran beraspal seperti campuran beraspal bergradasi rapat, *Stone Mastic Asphalt* dan *Gussasphalt*. Penggunaan *Sasobit* sekitar antara 0,8% sampai 4% dari berat aspal (Hurley and Prowel 2011).

### **Penggunaan bahan bakar dan emisi**

Dari sisi penggunaan bahan bakar, campuran beraspal hangat lebih rendah sekitar 32% dibanding konsumsi bahan bakar pada campuran beraspal panas. Zaumanis (2010) menyampaikan bahwa pengurangan bahan bakar saat produksi tergantung pada jenis bahan tambah yang digunakan, bervariasi antara 30% - 40% bila menggunakan bahan tambah *Foam*, 30% bila menggunakan *Aspha-Min*, 20% bila menggunakan *Sasobit* dan antara 50% - 70% bila menggunakan Evoterm. Payne & Dolan (2009) menyampaikan bahwa pengurangan bahan bakar saat produksi sekitar antara 11% - 25%.

Konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari campuran beraspal dapat diukur di

laboratorium melalui pengujian pada tabung gelas 2000 ml yang berisi 200 gram campuran beraspal yang dapat dihitung dengan persamaan  $C_{CO_2} = 2,175.e^{0,039.T}$  (Tao and Mallick 2009).

Disisi lain pengurangan CO<sub>2</sub> juga disampaikan oleh Mallick dan Bergendahi (2009), seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

## HIPOTESIS

Campuran beraspal hangat dengan bahan tambah berbahan dasar parafin bisa menurunkan temperatur campuran dan mempunyai kualitas campuran yang setara dengan campuran beraspal.

## METODOLOGI

Metode penelitian berupa metode eksperimental, melalui percobaan serta

pengamatan di laboratorium dari campuran beraspal hangat, yang selanjutnya dianalisa dan dievaluasi melalui telaahan dan pengamatan sifat fisik serta hasil pengujian.

Ringkasan jenis percobaan dan bahan tambah yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.

## Bahan

Analisa dilakukan terhadap bahan untuk percobaan tersebut, meliputi:

1. Sifat agregat yang akan digunakan.
2. Sifat aspal keras penetrasi 60
3. Sifat aspal keras pen 60 yang telah ditambah bahan tambah.

Baik sifat agregat maupun sifat aspal akan dibandingkan dengan persyaratan umum dari agregat dan aspal untuk campuran beraspal panas pada Spesifikasi Umum revisi 2 (2010).

**Tabel 1.** Prakiraan pengurangan CO<sub>2</sub> untuk berbagai penurunan temperatur

Temperatur <i>Hot Mix</i> (perkiraan °C)	Emisi <i>Hot Mix Asphalt</i> ( ppm)	Temperatur <i>Warm Mix Asphalt</i> (campuran hangat – °C )	Emisi <i>Warm Mix Asphalt</i> (campuran hangat) (ppm)	% pengurangan emisi
150	755,23	140	511.3	32,29
150	755,23	130	346.2	54,16
150	755,23	120	234.4	68,96

Sumber: Mallick, R.B dan Bergendahi, J (2009)

**Tabel 2.** Ringkasan rancangan percobaan untuk evaluasi pengaruh dari bahan tambah berbahan dasar parafin terhadap campuran beraspal

Jenis Pengujian	Jumlah satuan benda uji		
	Kontrol	Bahan tambah Berbahan dasar parafin	Satuan
<b>Pengujian di Laboratorium</b>			
Sifat aspal dengan dan tanpa bahan tambah	V	V	<i>Set</i>
Perencanaan campuran dan analisa sifat <i>volumetric</i>	V	V	<i>Set Marshall</i>
Sifat pemadatan (densifikasi)	V	V	<i>Set</i>
<i>Resilient Modulus</i>	V	V	<i>Set</i>

Catatan: V = Kegiatan yang dilakukan

## Campuran beraspal

Analisa akan dilakukan terhadap hasil percobaan, yang meliputi pengujian sifat semua campuran yang direncanakan seperti, sifat *volumetric*, sifat pemadatan (densifikasi) dan *resilient modulus*. Sifat campuran dan volumetrik nya, termasuk modulus campuran beraspalnya dilakukan dengan cara melakukan pengujian pada berbagai temperatur pencampuran dan pemadatan dengan beberapa kadar bahan tambah berbasah dasar parafin serta membandingkannya dari setiap sifat tersebut antara yang tanpa bahan tambah (standar) dan yang ditambah dengan bahan tambah pada berbagai temperatur pemadatan. Perbandingan tersebut didasarkan atas data hasil pengujian secara langsung, dan hasil dari analisis.

Bahan aspal yang digunakan pada dasarnya aspal keras pen 60 yang ditambah dengan bahan tambah berbasah dasar parafin, yang diperkirakan bisa membuat campuran beraspal pada temperatur yang lebih rendah, dibanding dengan campuran beraspal biasanya, sedangkan agregat dan gradasi yang dipergunakan tetap sama.

## HASIL DAN ANALISIS

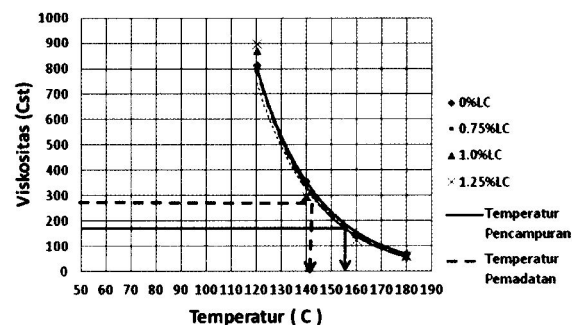
### Hasil pengujian aspal dan aspal yang ditambah bahan tambah

Pengujian aspal dilakukan pada aspal keras pen 60 baik tanpa maupun yang ditambah dengan berbasah dasar parafin Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Hasil pengujian viskositas untuk menentukan temperatur pencampuran dan pemadatan diperlihatkan pada Gambar 1. Temperatur pencampuran didapat berdasarkan viskositas antara  $170 \pm 20$  CSt sedangkan untuk temperatur pemadatan diambil pada viskositas antara  $280 \pm 30$  CSt sesuai dengan ketentuan pada *Asphalt Institute MS 2* (1993) yang selama ini dipergunakan.

Pada Gambar 1 tersebut terlihat bahwa grafik antara viskositas dan temperatur dari aspal yang tanpa dan ditambah berbasah dasar parafin letaknya sangat berdekatan.

### Hubungan Antara Kadar Parafin dengan Viskositas



**Gambar 1.** Hubungan antara viskositas dan temperatur untuk aspal pen 60/70 dan aspal pen 60/70 yang ditambah berbagai kadar bahan tambah berbasah dasar parafin

Temperatur pencampuran dan pemadatan untuk aspal pen 60 dengan bahan tambah hanya menunjukkan perbedaan  $5^{\circ}\text{C}$  sampai  $4^{\circ}\text{C}$  lebih rendah dari aspal pen 60 tanpa bahan tambah. Kalau dilihat dari viskositas dan dikaitkan dengan temperatur pencampuran dan pemadatan saja, maka seolah-olah penambahan bahan tambah ini tidak bisa menurunkan temperatur pencampuran dan pemadatan dengan berarti. Hal ini sejalan dengan percobaan yang dilakukan oleh Zaumanis M (2010), bahwa pengukuran viskositas dan ketentuan dengan cara tersebut hanya cocok untuk aspal konvensional atau aspal modifikasi, tetapi tidak cocok untuk pengujian aspal bagi campuran beraspal hangat.

### Pengujian agregat

Pengujian agregat dilakukan terhadap dua macam agregat, yaitu agregat kasar dan agregat halus, yang keduanya diambil dari sumber yang sama yaitu dari P.T Kadi, di Karawang Timur. Hasil pengujian sifat sifat teknis agregat, memenuhi persyaratan agregat untuk campuran beraspal panas dari Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010).

### Gradasi gabungan agregat untuk campuran beraspal

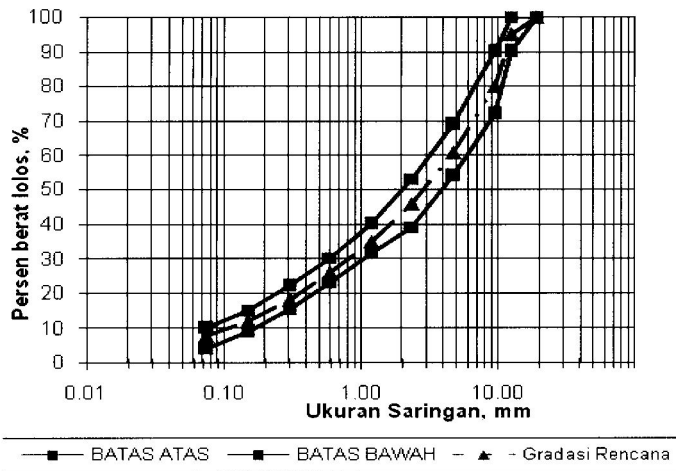
Gradasi agregat untuk campuran beraspal, didasarkan pada spesifikasi lapisan

aus (*wearing course*), Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010).

Adapun gradasi agregat campuran tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2.

### Campuran beraspal

Sifat campuran beraspal mengacu pada Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010), untuk lapisan aus (*wearing course*) seperti disajikan pada Tabel 5.



**Gambar 2.** Gradasi agregat gabungan untuk lapisan aus (*wearing course*) dan batasannya

**Tabel 3.** Hasil pengujian aspal konvensional pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi <sup>*)</sup>	Satuan
		Pengujian	Pengujian		
1.	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456-1991	65.3	60 - 70	dmm
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	50.9	≥ 48	°C
3.	Daktalitas pada 25°C, 5 cm / menit	SNI 06-2432-1991	>140	≥ 100	cm
4.	Titik nyala (COC)	SNI 06-2433-1991	-	≥ 232	°C
5.	Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCL <sub>3</sub>	SNI 06-2438-1991	99.63	≥ 99	%
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1.0359	≥ 1,0	-
7.	Kehilangan berat (TFOT)	SNI 06-2440-1991	0.0174	≤ 0,8	%
8.	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-1991	83.9	≥ 54	%
9.	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434-1991	53.4	-	°C
10.	Daktalitas setelah TFOT	SNI 06-2432-1991	>140	≥ 100	cm
11.	Kadar parafin	SNI 03-3639-1994	-	≤ 2	%
12.	Perkiraan suhu pencampuran	ASSHTO-27-1990	154-160	-	°C
13.	Perkiraan suhu pematatan	ASSHTO-27-1990	143-147	-	°C
14.	Viskositas 135 °C	ASSHTO T-201-03	420	≥ 300	Cst
15.	Indeks Penetrasi	-	-0.331	≥ -1	-

\*) Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010)

**Tabel 4.** Pengujian sifat aspal untuk campuran hangat dengan bahan tambah berbahan dasar parafin (0,75 %; 1,0% dan 1,25 % )

No	Pengujian	Metoda Pengujian	Hasil Pengujian			Satuan
			0,75%	1,0%	1,25%	
1.	Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456-1991	76	75	72,6	dmm
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	46,2	47,95	48,05	°C
3.	Daktilitas (25 °C, 5 cm/menit)	SNI 06-2432-1991	>140	> 140	>140	cm
4.	Titik nyala ( COC )	SNI 06-2433-1991	315	315	315	°C
5.	Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCL <sub>3</sub>	SNI 06-2438-1991	99. 92	99,86	99,89	%
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1.0362	1,0361	1,0317	-
7.	Kehilangan berat ( TFOT )	SNI 06-2440-1991	0.0160	0,0241	0,0165	%
8.	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-1991	76	78	83	%
9.	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434-1991	49	49,2	49	°C
10.	Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2432-1991	>140	>140	>140	cm
11.	Kadar paraffin	SNI 03-3639-1994	0.2482	0,25	0,25	%
12.	Uji kelekatan	SNI 03-2439-1991	99	99	99	
13.	Perkiraan suhu pencampuran	ASSHTO-27-1990	152-159	152 - 159	150 - 155	°C
14.	Perkiraan suhu pemadatan	ASSHTO-27-1990	138 -144	139 - 144	139-144	°C
15.	Indeks Penetrasi	-	-1.213	-0.747	-0.807	-

\*) Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010)

**Tabel 5.** Persyaratan campuran beraspal untuk lapisan aus (*wearing course*)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Penyerapan aspal (%)	Maks		1,2	
Jumlah tumbukan per bidang			75	112
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min.		3	
	Maks		5	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	63	60
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.		800	1500
Pelelehan Minimum (mm)	Min.		3	4,5
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min.		250	300
Stabilitas <i>Marshall Sisa</i> (%)	Min.		90	
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal ( <i>refusal</i> )	Min.		2	

\*) Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010)



## Campuran beraspal dengan aspal konvensional Pen 60

Untuk mendapatkan perbandingan dari campuran beraspal dengan bahan tambah yang akan dicoba, terlebih dahulu dibuat campuran beraspal sesuai spesifikasi yang diacu, dengan menggunakan jenis aspal keras pen 60, dengan menggunakan metode *Marshall* AASHTO T-245 (AASHTO 2012).

Percobaan *Marshall* dilakukan pada kadar aspal antara 5% sampai 7% dengan kenaikan setiap 0,5%, yang dilakukan pada temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan sesuai dengan hasil pengujian aspal konvensional pen 60 yang akan dipergunakan, yaitu antara 154°C–160°C, sedangkan temperatur pemadatan antara 143°C–147°C. Pada percobaan ini ditetapkan untuk temperatur pencampuran 157°C dan temperatur pemadatan 145°C.

Berdasarkan hasil percobaan *Marshall* tersebut diperoleh kadar aspal optimum 5,9%, dengan sifat campuran seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Sifat campuran beraspal dengan aspal konvensional Pen 60

Marshall Suhu Normal Pengujian pada Kadar Aspal Optimum	Temp. Pencampuran/ Pemadatan 157°C / 145°C	*)Persyaratan
Kadar Aspal (%)	5.9	
Kepadatan (t/m <sup>3</sup> )	2.357	-
VMA (%)	16.31	min 15
VIM (%)	4.04	3.0 - 5.0
VFB (%)	75.35	min 65
Stabilitas (kg)	1245.1	min 800
<i>Indirect Tensile Strength Retain (%)</i>	82	min 80
Persen Stabilitas		
Sisa (%)	88.7	min 90
Kelelahan (mm)	3.84	min 3
<i>Marshall Quotien (MQ) (kg/mm)</i>	310.8	min 250

\*) Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010)

## Percobaan campuran beraspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin

Bahan berbahan dasar parafin yang dipergunakan pada percobaan ini, ialah

berbahan dasar parafin. Percobaan *Marshall* untuk campuran beraspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin ini, pertama tama dilakukan berdasarkan temperatur pencampuran dan pemadatan yang didapat dari hasil pengujian viskositas aspal di laboratorium, dimana temperatur pencampuran dan pemadatan untuk kadar berbahan dasar parafin 0,75% dan 1,0% adalah 156°C dan 142°C, sedangkan untuk kadar berbahan dasar parafin 1,25% temperatur pencampurannya ialah 153°C dan temperatur pemadatannya 142°C.

Berdasarkan literatur bahwa penambahan bahan tambah untuk campuran hangat umumnya bisa menurunkan temperatur pencampuran sebesar 30°C, maka pada percobaan ini dilakukan pemadatan sampai 40°C dibawah temperatur pencampuran dan pemadatan berdasarkan viskositas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sesuai dengan petunjuk dari produsen berbahan dasar parafin bahwa penambahan berbahan dasar parafin yang disarankan antara 1% sampai 1,5% terhadap berat aspal (*Korea Institute of Construction Technology* 2011), maka percobaan dilakukan dengan variasi kadar berbahan dasar parafin mulai dari 0,75% sampai 1,25% dengan interval 0,25%. Ringkasan hasil pengujian tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.

## Prinsip kerja berbahan dasar parafin dalam campuran beraspal panas

Pemanasan aspal pada campuran beraspal panas, merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan dari campuran beraspal itu sendiri. Temperatur yang diperlukan untuk memanaskan aspal, tergantung pada tingkat penetrasi aspal tersebut yang harus mencapai tingkat keenceran yang diinginkan (viskositas tertentu). Bahan berbahan dasar parafin bisa merupakan pelumas tambahan pada aspal yang dipanaskan, sehingga akan memberikan pengaruh kemudahan pada saat pencampuran dan pemadatan. Kemudahan pencampuran dan pemadatan ini karena tegangan permukaan aspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin menjadi lebih kecil dari aspal penetrasi 60 tanpa bahan

tambah. Semakin besar prosentase bahan tambah berbahan dasar parafin yang dicampurkan terhadap aspal, semakin kecil tegangan permukaan yang terjadi. Tegangan permukaan dari aspal pen 60 pada temperatur 160°C ialah sebesar 1,1 kg/ dt<sup>2</sup>, akan menurun menjadi sebesar 0,60; 0,47; 0,40; 0,20 dan 0,17 kg/dt<sup>2</sup> untuk masing masing penambahan berbahan dasar parafin sebesar 0,75%; 1,0%; 1,25%; 3,25% dan 3,50%. (Hadisi dan Affandi 2013).

### **Sifat campuran beraspal dengan bahan tambah Berbahan dasar parafin**

Campuran beraspal, mengacu kepada Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010), untuk lapisan aus, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5 sebelumnya.

Percobaan dilakukan menggunakan kadar aspal yang bervariasi dari 5% sampai 7%, dengan tingkat kenaikan kadar aspal setiap 0,5%, baik. Kadar berbahan dasar parafin yang digunakan ialah sebanyak 0,75%; 1% dan 1,25% terhadap berat aspal.

Untuk mengetahui kemampuan campuran yang menggunakan bahan tambah berbahan dasar parafin, dilakukan pengujian campuran pada temperatur pencampuran dan pemadatan yang lebih rendah dari temperatur yang normal, pada kadar aspal optimum sesuai hasil yang didapat sebelumnya. Temperatur pencampuran atau pemadatan yang digunakan ialah 156°C/142°C; 146°C/132°C; 136°C/122°C; 126°C/112°C dan 116°C/102°C, untuk campuran beraspal dengan kadar berbahan dasar parafin 0,75% dan 1,0%, sedangkan untuk campuran dengan kadar berbahan dasar parafin 1,25% dilakukan pencampuran dan pemadatan pada temperatur 153°C/142°C; 143°C/132°C; 133°C/122°C; 123°C/112°C dan 113°C/102°C.

Untuk memudahkan penyajian, yang dimasukkan pada sumbu horizontal pada gambar hanya temperatur pencampurannya saja, tetapi artinya ada temperatur pemadatan yang mengikutinya, misalnya tertulis dalam grafik 156°C artinya pencampuran 156°C dan

pemadatannya 142°C, begitu seterusnya sesuai dengan kadar berbahan dasar parafin yang dipergunakan.

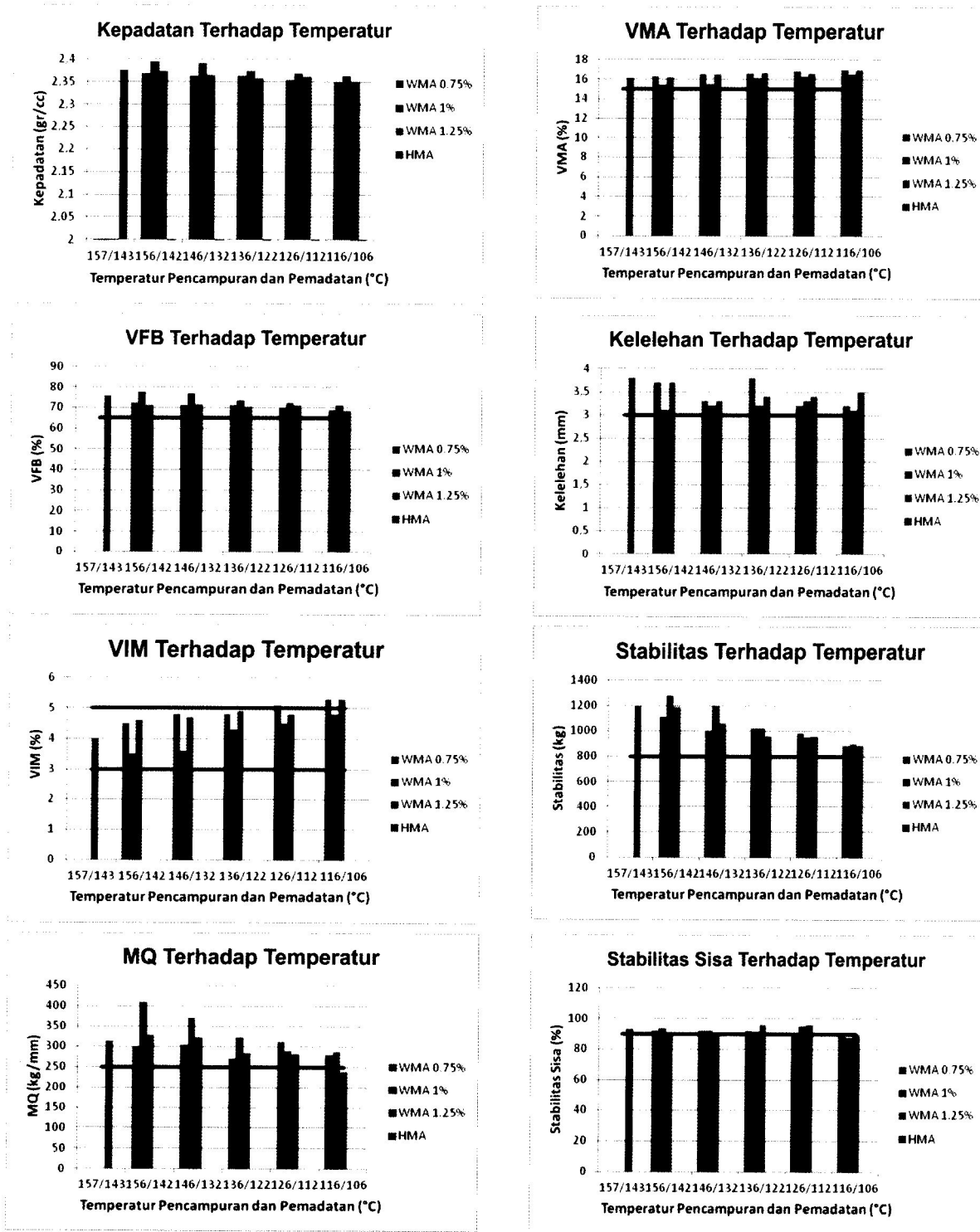
Pengaruh penurunan temperatur campuran/pemadatan terhadap karakteristik campuran yang diperiksa berdasarkan pengujian *Marshall* diperlihatkan pada Gambar 3.

Pada campuran beraspal hangat dengan kadar berbahan dasar parafin 0,75% dimana temperatur pencampuran/pemadatan sebesar 126°C/112°C, dan 116°C/102°C, nilai besaran VIM sudah keluar dari batas yang ditentukan, walaupun pada temperatur 126°C/112°C nilai VIM yang diluar batas sangat kecil sekali (0,1%) sedangkan sifat campuran lainnya seperti stabilitas, VFB, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ) dan prosen stabilitas rendaman masih memenuhi persyaratan yang ditentukan, tetapi pada temperatur pencampuran/pemadatan 116°C/102 °C besaran besaran VIM dan prosen stabilitas rendaman sudah keluar dari batas – batas yang ditentukan.

Pada campuran beraspal dengan kadar berbahan dasar parafin 1%, hampir semua parameter campuran dipenuhi pada berbagai temperatur pencampuran dan pemadatan, kecuali satu parameter yaitu prosen stabilitas sisa pada pencampuran dan pemadatan 116°C/102°C berada dibawah persyaratan, yaitu hanya 87,6%.

Sedangkan pada campuran beraspal dengan kadar berbahan dasar parafin 1,25%, dengan temperatur pencampuran dan pemadatan sebesar 113°C/102°C, parameter VIM, MQ dan prosen stabilitas rendaman berada diluar batas spesifikasi, sedangkan semua besaran parameter pada berbagai temperatur pencampuran/pemadatan diatasnya berada dalam batasan spesifikasi yang ditentukan.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa kadar berbahan dasar parafin yang paling baik untuk campuran beraspal hangat tersebut, ialah sebesar 1%, dengan temperatur pencampuran dan pemadatan paling rendah sebesar 126°C/112°C.

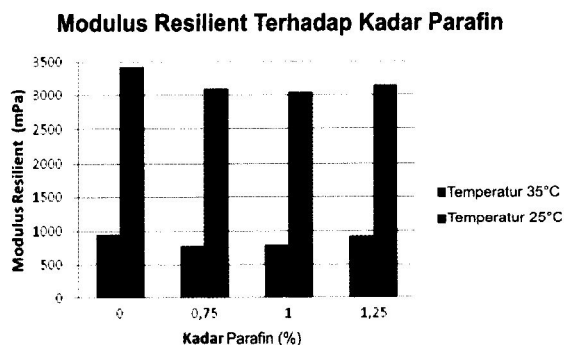


Gambar 3. Pengaruh kadar berbahan dasar parafin terhadap karakteristik campuran beraspal pada berbagai temperatur pencampuran/pemadatan

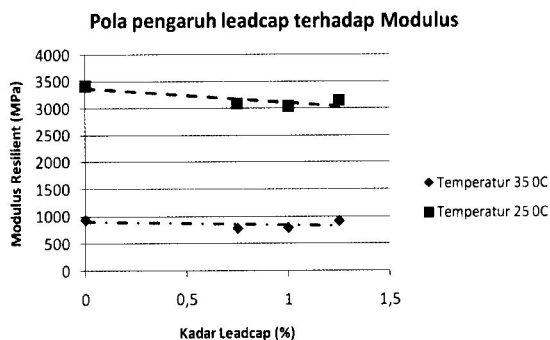
**Pengaruh bahan tambah berbahan dasar parafin terhadap modulus campuran.**

Pengujian resilient modulus, dilakukan pada contoh yang menggunakan aspal konvensional pen 60 maupun aspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin 0.75% sampai dengan 1,25% (campuran hangat), dengan menggunakan alat UMMATA. Pengujian dilakukan pada temperatur 25°C, 35°C; dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Campuran dengan bahan tambah berbahan dasar parafin dicampur dan dipadatkan pada temperatur 126°C/112°C untuk kadar berbahan dasar parafin 0,75% dan 1%, dan campuran dengan berbahan dasar parafin 1,25% dicampur dan dipadatkan pada 123°C/112°C sedangkan campuran dengan aspal pen 60 tanpa berbahan dasar parafin (sebagai kontrol) dicampur dan dipadatkan pada temperatur 157°C/143°C, sesuai hasil pengukuran viskositas.



Gambar 4. Hasil pengujian resilient modulus pada temperatur 35°C dan 25°C



Gambar 5. Pengaruh kadar berbahan dasar parafin terhadap modulus

Pada Gambar 4, terlihat modulus campuran beraspal dengan aspal pen 60, lebih tinggi dari campuran yang menggunakan bahan tambah berbahan dasar parafin untuk setiap temperatur pengujian. Besar modulus pada temperatur pengujian 25°C dari campuran beraspal dengan Pen 60 saja sebesar 3425 MPa sedangkan pada temperatur 35°C sebesar 945 MPa, dan pada campuran hangat dengan berbahan dasar parafin 0,75%; 1% dan 1,25% masing masing sebesar 3097 MPa dan 3043 MPa dan 3153 MPa pada temperatur pengujian 25°C dan menurun menjadi masing – masing sebesar 783 MPa; 796 MPa; serta 922 MPa pada temperatur pengujian 35°C. Secara umum pengujian yang dilakukan pada 35°C akan menurunkan nilai *Stiffness Modulus* campuran beraspal tanpa bahan tambah sekitar 73%, sedang yang menggunakan bahan tambah antara 71% sampai 75%.

Kecepatan penurunan modulus akibat peningkatan temperatur pengujian, antara campuran dengan aspal pen 60 dan dengan yang ditambah bahan tambah berbahan dasar parafin, hampir dapat dikatakan sama terlihat dari kemiringan garisnya yang hampir sejajar, walaupun kecepatan penurunan modulus pada campuran dengan aspal Pen 60 saja, sedikit lebih besar yang ditandai dengan kemiringan garisnya yang sedikit lebih curam, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.

**Pengaruh temperatur pencampuran terhadap emisi buang**

Dari hasil percobaan di atas, campuran beraspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin dapat dicampur pada temperatur yang lebih rendah yaitu minimal sebesar 126°C dan pematatannya lebih rendah lagi, yaitu sebesar 112°C, untuk campuran dengan kadar berbahan dasar parafin 1% .

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Mallick dan Bergendahi (2009), tentang pengaruh penurunan temperatur campuran beraspal terhadap emisi buang, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dapat digunakan untuk memperkirakan pengurangan emisi dari campuran beraspal hangat.

Dengan menggunakan Tabel 1 dan temperatur campuran dengan aspal Pen 60 saja (*hot mix*), sebesar 157°C (sekitar 150°C) dan campuran dengan berbahan dasar parafin 126°C (sekitar 120°C) didapat pengurangan emisi buang yang dihasilkan sekitar sebesar 54 %.

## PEMBAHASAN

Sifat berbahan dasar parafin sebagai pelumas, memudahkan pencampuran dan pemadatan campuran beraspal pada temperatur yang lebih rendah. Hal ini terlihat dari sifat kepadatan campuran dengan bahan tambah berbahan dasar parafin yang hampir sama dengan kepadatan dengan campuran tanpa berbahan dasar parafin. Kemudahan pencampuran dan pemadatan dari campuran dengan bahan tambah berbahan dasar parafin ini, didukung oleh tegangan permukaan aspal yang ditambah berbahan dasar parafin lebih rendah dari tegangan permukaan aspal tanpa berbahan dasar parafin, sebagaimana telah disampaikan sebelumnya. Tegangan permukaan dari aspal dengan penambahan bahan tambah berbahan dasar parafin 1% terhadap berat aspal bisa menurunkan tegangan permukaan sebesar 57% sampai 43% pada temperatur pencampuran masing-masing sebesar 160°C dan 140°C.

Sifat ini memudahkan pencampuran dengan agregat secara merata dan sekaligus memudahkan pemadatannya. Pembuatan campuran beraspal hangat dengan berbahan dasar parafin ini, bisa menurunkan temperatur pencampuran dan pemadatan sampai 31°C, yaitu dari temperatur pencampuran dan pemadatan tanpa berbahan dasar parafin sebesar 157°C/145°C menjadi 126°C/112°C dengan kadar bahan berbahan dasar parafin 1%, dimana semua persyaratan campuran beraspal masih bisa dipenuhi seperti stabilitas, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), *flow* (kelelehan), Marshall *Quotient* sesuai Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010). Parameter campuran beraspal dari campuran dengan bahan tambah berbahan dasar parafin, akibat penurunan temperatur campuran dan pemadatan yang paling cepat

mengalami perubahannya dibandingkan dengan besaran pada campuran beraspal panas ialah rongga dalam campuran (VMA), Marshall *Quotient* serta stabilitas rendaman, sebagaimana ditunjukkan oleh perbedaan besaran pada grafik yang cukup besar antara campuran dengan berbahan dasar parafin dan campuran beraspal panas atau batasan spesifikasi yang dipergunakan, sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Parameter campuran yang sedikit mengalami perubahan akibat penurunan temperatur pencampuran dan pemadatan serta masih bisa memenuhi batas spesifikasi yang dipergunakan, ialah kepadatan, rongga dalam agregat (VMA), stabilitas, rongga terisi aspal (VFB) yang ditunjukkan oleh masing-masing grafik yang nilainya cukup berdekatan dengan nilai dari campuran beraspal tanpa berbahan dasar parafin sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Campuran beraspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin ini, mempunyai batasan temperatur terendah yang dapat dilakukan sangat dipengaruhi oleh sifat stabilitas dan Marshall *Quotient*-nya, dimana kedua parameter ini membatasi temperatur pencampuran dan pemadatan minimum yang masih memenuhi spesifikasi pada temperatur 126°C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Penggunaan bahan tambah berbahan dasar parafin pada campuran beraspal ini ditinjau dari penurunan temperatur yang dapat dilakukan, menurunkan temperatur pencampuran sebesar 30°C, setara dengan bahan tambah lain untuk campuran hangat seperti *sasobit*, *evoterm*, *advera* yang bisa menurunkan temperatur pencampuran sekitar 30°C.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari percobaan ini, ialah:

1. Bahan tambah berbahan dasar parafin dapat digunakan untuk menurunkan temperatur pencampuran/pemadatan sebesar 31°C lebih rendah dari campuran beraspal panas (*hot mix*), yaitu dari 157°C menjadi 126°C.

2. Kadar bahan tambah berbahan dasar parafin yang sesuai untuk campuran beraspal serta menghasilkan campuran beraspal yang setara dengan *hot mix asphalt*, ialah 1% terhadap berat aspal.
3. Mutu campuran beraspal hangat dengan bahan tambah berbahan dasar parafin 1% yang dicampur dan dipadatkan pada temperatur 31°C lebih rendah dari campuran beraspal panas mempunyai kualitas setara dengan campuran beraspal panas.
4. Pengaruh kenaikan temperatur pengujian dari 25°C ke 35°C terhadap tingkat penurunan modulus campuran beraspal yang mengandung berbahan dasar parafin, adalah relatif sama dengan penurunana dari campuran beraspal panas, yang ditunjukkan dengan garis penurunan kemiringan yang hampir sama.
5. Penurunan temperatur pencampuran dan pemadatan dari campuran dengan berbahan dasar parafin bisa mengurangi emisi buang sebesar 54% dan sekaligus menunjang pembangunan jalan ramah lingkungan .
6. Parameter rongga dalam campuran (VIM), Marshall *Quotient* dan stabilitas rendaman, merupakan parameter yang lebih mudah mengalami perubahan akibat penurunan temperatur dibanding parameter stabilitas langsung, kepadatan, rongga antar agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFB) akibat penurunan temperatur pencampuran dan pemadatan.
7. Penentuan temperatur campuran beraspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin, tidak bisa didasarkan atas pengujian viskositas aspalnya, sebagaimana yang biasa digunakan untuk campuran beraspal panas dengan aspal keras.

#### Saran

Perlu dilakukan pengamatan uji coba lapangan dari campuran beraspal dengan bahan tambah berbahan dasar parafin di Indonesia, untuk mendapatkan gambaran lengkap dari sifat campuran beraspal tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2012. Resistance to plastic flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. *AASHTO T 245-97(2008). Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling And Testing*, Washington, DC.: *AASHTO*.
- Asphalt Institute. 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types*. MS -2 Sixth Edition. Lexington: Asphalt Institute.
- Cabrera, J.G and Dixon, J.R. 1994. "Performance and durability of bituminous material". In *Proceeding of symposium* . Leed: University of Leed.
- Cho, Doong Woo. 2012. "Development of Warm Mix Asphalt Technology". In *Joint Work shop between KICT and IRE October 29 – 30, 2012* . Bandung: IRE.
- \_\_\_\_\_. 2013. "Development and Aplication of High RAP Warm Mix Asphalt Technology". In *The 11<sup>th</sup> Indonesia – Korea Road Conference* . Yogyakarta: IRE.
- Damm, K. *et al.* 2002. "Asphalt flow improvers as, Intelligent Fillers' for hot asphalt – A New Chapter". *Asphalt Technology*". *Journal of Applied Aspl.ilt Binder Technology*, April 2002: pp 36 – 69.
- Fazaeli, H., dkk. 2012. "*High and low temperaturs properties of FT-Paraffin-modified bitumen*". New York: Hindawi Publishing Corporation *Advances in Materials Science and Engineering*. 2012.
- Gierhart, D. 2009. "Warm mix asphalt – what is it and how can we benefit?". In *SE States Pavement Association Management and Design Conference Southeast Pavement Preservation Partnership Meeting*. Lexington: Asphalt Institute.
- Hadisi dan Affandi 2013. "Pengaruh Bahan Tambah Leadcap terhadap perubahan tegangan permukaan aspal pwn 60/70. *Proceeding Kolokium Jalan dan Jembatan*. Bandung: Pusjatan.
- Hurley, Graham C. and Brian D Prowell. 2009. *Evaluation of potential processes for use in warm mix asphalt*, North Carolina: National Center for Asphalt Technology.

- Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum revisi 2*. Jakarta: Ditjen Bina Marga.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. *Peraturan menteri negara lingkungan hidup Republik Indonesia nomor 05 tahun 2011 tentang program penilaian peringkat kinerja perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup*. Jakarta: KLH.
- Kim, Yongjoo. 2011. *“Laboratory and Field Experiences of Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt Pavement in Korea*. Geotechnical Special Publication No. 212. Reston: ASCE.
- Korea Institute of Construction Technology- 2011. *LEADCAP Warm Mix Asphalt Pavement Guidelines* . Korea: KICT.
- Mallick.R.B dan Bergendahi. J. 2009. “ A laboratory study on CO2 emission from asphalt binder and its reduction with the use of warm mix asphalt” *International Journal of Sustainable Engineering* Volume 2. December 2009: 275 – 283.
- Marbun, J. 2012. “Masa Depan Dan Road Map Green Road Indonesia” . *Workshop Penerapan Green Road di Indonesia*. Jakarta: Pusjatan.
- Payne & Dolan. 2009. “Warm Mix Asphalt a Contractor’s prespective”. In *AASHTO Subcommittee on Construction Annual Meeting*, Washington, DC.: AASHTO.
- Prowell, B. D, Hurley, G. C and B. Frank. 2011. *Warm-Mix Asphalt: Best Practices, National Asphalt Pavement Association*, Lanham: NAPA.
- Read dan Whiteoak .2003. *The Shell Bitumen Handbook*. London: Thomas Telford.
- States Pavement Association Management and Design. 2009. *Conference Southeast Pavement Preservation Partnership Meeting*, Nashville: SEPPP.
- Tao, M. O’Sullivan dan Mallick R. 2009. *Warm Mix Asphalt*. Maine: DOT
- Zaumanis M. 2010. Warm mix asphalt Investigation. Master of Science. Thesis, Riga Technical University.