

## Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

**Indra Maha**

Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung / Dinas Bina Marga Provinsi Jawa Barat, E-mail: indra\_maha@ymail.com

**Bambang Sugeng S.**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: bssubagio@yahoo.com

**Furqon Affendi**

Puslitbang Jalan dan Jembatan, Jalan AH Nasution No. 264 Bandung 40294

**Harmein Rahman**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: rahmanharmein@gmail.com

### Abstrak

Makalah ini menampilkan hasil sejumlah pengujian yang dilakukan pada campuran beraspal AC-BC yang memanfaatkan kembali perkerasan beraspal lama (Reclaimed Asphalt Pavement/RAP) dengan teknologi pencampuran hangat. 30% RAP dikombinasikan dengan agregat baru dalam campuran. Bahan peremaja Cyclogen Tipe L digunakan untuk mengaktifkan aspal RAP-nya. Dengan 3% Sasobit, temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan diatur pada 135°C dan 123°C lebih rendah 30°C dibandingkan dengan campuran beraspal panas konvensional yang menggunakan aspal minyak Pen 60/70. Tiga campuran disiapkan dalam penelitian ini yang terdiri dari campuran beraspal panas konvensional (HM), campuran beraspal hangat (SASO) dan campuran beraspal hangat dengan RAP (SASORAP). Prosedur perencanaan Marshall digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). KAO untuk masing-masing campuran adalah 5,2%, 5,2% dan 5,3% untuk HM, SASO dan SASORAP secara berurutan. Hasil pengujian kuat tegangan tarik tak langsung (Indirect Tensile Stress) menunjukkan semua campuran memenuhi persyaratan ketahanan terhadap kelembaban/air dimana nilai ITRR semua campuran diatas 80%. Dari hasil pengujian modulus resilien dan ketahanan terhadap kelelahan, SASO dan SASO RAP menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan campuran konvensional-nya (HM).

**Kata-kata Kunci:** Metode campuran hangat, RAP, KAO, ITRR, Modulus resilien, Ketahanan terhadap kuat lelah.

### Abstract

This paper presents the results of laboratory study of AC-BC asphalt mixture reusing reclaimed asphalt pavement (RAP) by warm mix method. 30% of RAP is combined with new aggregate in the mixture. Rejuvenating agent Cyclogen L was used to activate RAP asphalt binder. With 3% organic wax Sasobit, temperature of mixing and paving was set at 135°C and 123°C, 30°C lower than conventional hot mix asphalt (HMA) with unmodified asphalt binder 60/70 penetration. Three mixtures were set in this research, consisting of hot mix asphalt conventional mixture (identified as HM), warm mix asphalt mixture (identified as SASO) and warm mix asphalt with RAP (identified as SASORAP). Marshall design procedure was used to determine the optimum bitumen content (OBC). OBC for each mixture was 5,2%, 5,2% and 5,3% for HMA, SASO and SASORAP respectively. From Indirect Tensile Stress test result, all asphalt mixture meet moisture sensitivity requirement where Indirect Tensile Stress Ratio (ITSR) is higher than 80%. From resilient modulus and fatigue resistance test result, SASO and SASORAP showed a better performance than conventional mixture (HMA).

**Keywords:** Warm mix method, RAP, OBC, ITRR, Resilient modulus, Fatigue resistance.

### 1. Pendahuluan

Penggunaan energi yang rendah (*saving energy*) dan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable construction*) saat ini menjadi isu yang penting dalam

rekayasa perkerasan jalan. Penerapan *green* atau *sustainable (technology) pavement* yang merupakan pemenuhan perkerasan yang aman, efisien dan ramah lingkungan dengan tanpa membahayakan pemenuhan kebutuhan (perkerasan) yang sama pada saat

mendatang telah menjadi perhatian bagi industri-industri perkerasan di benua Amerika dan Eropa. Isu-isu tersebut merupakan pendorong yang kuat dalam pengembangan teknologi perkerasan terutama pengembalian kondisi perkerasan beraspal lama yang telah rusak dengan mendaur ulang nya sebagai material campuran beraspal termasuk pengurangan penggunaan energi bahan bakar dalam pemanasan campuran.

RAP merupakan perkerasan beraspal lama yang telah rusak dan didaur ulang untuk digunakan kembali sebagai material campuran beraspal. Sejumlah RAP ditambahkan pada agregat baru dan dicampur aspal untuk membentuk material perkerasan beraspal. Pemanfaatan RAP diketahui menghasilkan penghematan terhadap biaya penggunaan material, bahan energi, mempertahankan elevasi permukaan perkerasan dan menjaga sumber daya alam. Penggunaan RAP diketahui terus meningkat dari tahun ke tahun. Saat ini hampir 91 juta ton perkerasan lama dikupas dan hampir 80%-nya digunakan sebagai RAP (Xiao, 2006).

WMA adalah teknologi yang dikembangkan untuk mengijinkan pencampuran, penghantaran dan proses pemadatan pada temperatur yang rendah (dibandingkan dengan campuran aspal panas/*Hot Mix Asphalt*) yaitu dengan cara menurunkan viskositas dari aspal dan atau meningkatkan kemudahan pencampuran dalam temperatur yang rendah (Chowdhury, 2008). Newcomb (2006) membedakan campuran dari produksinya yaitu campuran beraspal dingin yang diproduksi pada temperatur ambient sekitar 20°C sampai dengan 49°C (68°F sampai dengan 120°F), campuran beraspal panas pada 140°C sampai dengan 171°C (285°F sampai dengan 340°F) dan campuran beraspal hangat pada temperatur sedang yaitu 93°C sampai dengan 135°C (200°F sampai

dengan 275 °F). Salah satu teknologi yang digunakan dalam pengurangan temperatur pencampuran dan pemadatan adalah bahan tambah berbasis lilin (*wax*) Sasobit. Bahan aditif ini terdiri rangkaian panjang aliphatic hidrokarbon yang dihasilkan dari proses sintesis Ficher-Tropsch terhadap batubara atau gas alam (Kanitpong et. al, 2007). Sasobit dapat berbentuk pelet maupun cair dan prosesnya ditambahkan langsung pada aspal pada tangki aspal pada unit pencampur aspal (*asphalt mixing plant*).

Meskipun teknologi WMA dengan memanfaatkan RAP memiliki banyak manfaat, namun di Indonesia teknologi ini belumlah banyak dikenal. Berkenaan dengan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui lebih jauh sifat campuran dengan RAP yang dibuat dengan teknologi hangat secara laboratorium sehingga diperoleh gambaran kekuatan dan katahanan-nya serta kinerjanya terhadap persyaratan campuran beraspal yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010.

## 2. Bahan Material

Agregat baru yang digunakan untuk seluruh campuran berasal dari lokasi setempat daerah Klari, Kabupaten Karawang Provinsi Jawa Barat dengan karakteristik yang memenuhi standar untuk campuran beraspal sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010 (BM 2010).

Material RAP diperoleh dari penggarukan perkerasan lama yang mengalami retak buaya pada ruas jalan Cibiru-Cileunyi (Cinunuk) Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat. Hasil pengujian terhadap material RAP tersaji sebagaimana terlihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Karakteristik RAP**

Pengujian	JMF 2009	Hasil		Satuan
Kadar Aspal	5,9	4,74		%
Kadar Air	-	1,50		%
Penetrasi	63,7	20,8		Dmm
Titik Melembek	48,9	62,4		°C
Daktalitas	>140	27		Cm
Abrasi Agregat	< 40	23		%
Analisa Ayakan		Sebelum Ekstraksi	Setelah Ekstraksi	
• Ukuran Saringan 1“	100,0	100,0	100	%
• Ukuran Saringan 3/4“	100,0	94,4	100	%
• Ukuran Saringan 1/2“	95,2	81,9	96,6	%
• Ukuran Saringan 3/8“	86,5	70,5	92,5	%
• Ukuran Saringan No. 4	57,0	44,6	64,4	%
• Ukuran Saringan No. 8	35,4	25,6	45,3	%
• Ukuran Saringan No. 16	23,1	13,5	34,1	%
• Ukuran Saringan No. 30	17,1	6,6	27,5	%
• Ukuran Saringan No. 50	13,6	3,5	22,4	%
• Ukuran Saringan No. 100	9,4	1,4	18,3	%
• Ukuran Saringan No. 200	6,9	6,3	14,2	%

Aspal minyak yang digunakan adalah aspal minyak Penetrasi 60/70 (AM.P60/70) yang diproduksi oleh PT. Pertamina (Persero) dan dalam penelitian ini merupakan sebagai aspal dasar/kontrol-nya. Bahan tambah yang digunakan dalam metode pencampuran hangat adalah Sasobit yang bahan dasarnya adalah *organic wax* berbentuk pelet. Modifikasi aspal minyak dalam campuran beraspal dilakukan dengan menambahkan Sasobit sebesar 3% terhadap aspal dasarnya AM.P60/70 berdasarkan perbandingan berat. Pencampuran Sasobit dengan AM.P60/70 dilakukan pada temperatur 125°C selama 20-25 menit. Hasil pengujian terhadap karakteristik AM.P60/70 dan aspal modifikasi Sasobit 3% (SASO) diperlihatkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2. Karakteristik AM.P60/70 dan aspal modifikasi sasobit 3% (SASO)**

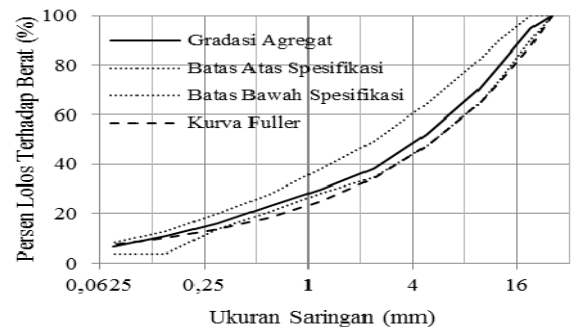
Pengujian	Aspal	
	AM.P60/70	SASO
Penetrasi	64,7	43,7
Titik melembek; °C	49,5	65,9
Daktilitas, 25 °C; cm	>140	> 140
Berat Jenis	1,036	1,036
Indeks Penetrasi	-0,697	0,18
Viskositas pada temperatur pada 125 °C (Cst)	400	525
Setelah Kondisi RTFOT		
Kehilangan Berat (%)	0,0195	0,0122
Penetrasi (dmm)	88,6	80,8
Titik melembek (°C)	51,9	78,7
Daktilitas, 25 °C; cm	>140	118

Bahan peremaja Cylogen Tipe L yang diproduksi oleh TRICOR Refining, LLC digunakan untuk mengaktifkan aspal RAP. 7% Cyclogen Tipe L terhadap berat aspal RAP ditambahkan pada campuran. Karakteristik aspal RAP yang telah ditambahkan bahan Cylogen Tipe L sebesar 7 % dapat terlihat pada **Tabel 3**.

**Table 3. Karakteristik Aspal RAP dengan 7% Cylogen Tipe L**

Pengujian	Hasil	Satuan
Penetrasi	62	Dmm
Titik melembek	49,6	°C
Daktilitas	>140	Cm
Berat jenis	1,0541	Gr/cm3
Indeks penetrasi	-0,783	
Viscositas pada 125 °C	400	Cst
Titik nyala	246	°C
Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCL <sub>3</sub>	99,89	%
Setelah RTFOT		
Kehilangan berat	0,535	%
Penetrasi setelah RTFOT	84,88	Dmm
Titik melembek setelah RTFOT	52	°C
Duktilitas after RTFOT	>140	Cm

Untuk mencapai tujuan penelitian, tiga campuran dengan satu gradasi Laston Lapis Pengikat/AC-BC dirancang menggunakan prosedur Marshall dengan memperhatikan seluruh persyaratan campuran Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010. Rancangan gradasi terpilih, batasan spesifikasi dan kurva Fuller terlihat sebagaimana pada **Gambar 1**. Campuran pertama merupakan campuran konvensional beraspal panas (HM) yang dirancang menggunakan 100% agregat baru dan aspal non modifikasi (AM.P60/70). Campuran kedua merupakan campuran hangat (SASO) yang dirancang menggunakan 100% agregat baru dan aspal AM.P60/70 yang telah dimodifikasi dengan bahan aditif Sasobit sebesar 3%. Sedangkan campuran ketiga merupakan campuran hangat dengan RAP (SASORAP) yang gradasinya identik dengan campuran HM dengan menggunakan 30% RAP sebagai pengganti agregat baru, dan menggunakan aspal yang telah dimodifikasi dengan Sasobit serta penambahan bahan peremaja Cyclogen Tipe L sebesar 7% terhadap aspal RAP. Cara penyiapan material masing-masing campuran terlihat pada **Tabel 4**.

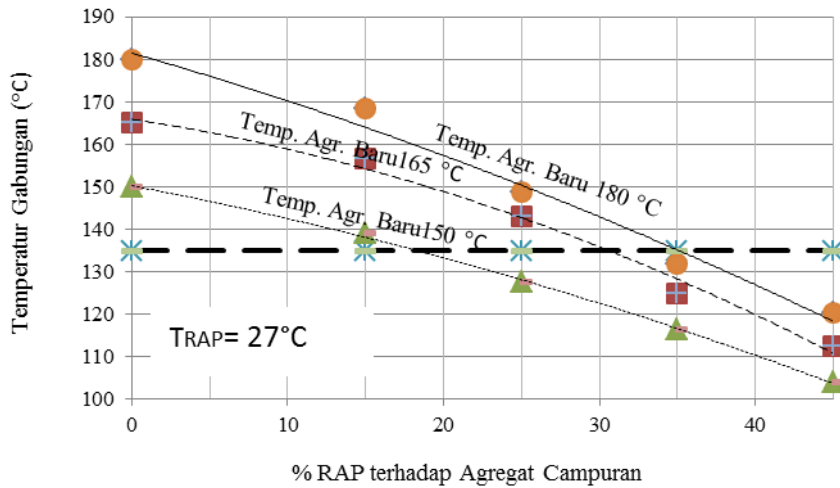


**Gambar 1. Gradasi agregat terpilih**

**Tabel 4. Temperatur penyiapan campuran**

Material	Temperatur (°C)		
	Campuran HM	Campuran SASO	Campuran SASORAP
Agregat Baru	165	135	165-170
Aspal	165	135	135
RAP	-	-	Temperatur ruang ±27°C

Pengambilan RAP sebesar 30% sebagai bahan pengganti agregat baru didalam penelitian ini dikaitkan dengan metode pencampuran hangat khususnya terhadap temperatur pencampuran yaitu pada 135°C (hasil modifikasi AM.P60/70 akibat penambahan Sasobit). Pada pengujian pencampuran antara agregat baru dengan RAP akan diperoleh temperatur baru yang besarnya dibatasi minimal 135°C. Dengan mengambil temperatur pencampuran aspal AM.P60/70 pada 165°C sebagai temperatur pemanasan terhadap agregat barunya, maka diperoleh perkiraan RAP yang dapat digunakan yaitu sebesar 30%. Hubungan temperatur agregat baru dan jumlah RAP dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hubungan temperatur gabungan terhadap jumlah RAP

### 3. Hasil dan Diskusi

#### 3.1 Efek sasobit dan RAP terhadap volumetrik dan Parameter Marshall

Data hasil pengujian volumetrik campuran dan parameter Marshall-nya untuk masing campuran HM, campuran SASO dan Campuran SASORAP dapat terlihat pada Tabel 5.

#### 3.2 Pengaruh sasobit dan RAP terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran dan proses pencampuran aspal RAP terhadap aspal baru

Rentang kadar aspal dari campuran diperoleh melalui perbandingan volumetrik termasuk parameter Marshall-nya terhadap batasan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010, sedangkan Kadar Aspal Optimum (KAO) didefinisikan sebagai titik tengah dari rentang kadar aspalnya. Dari pengujian yang telah dilakukan

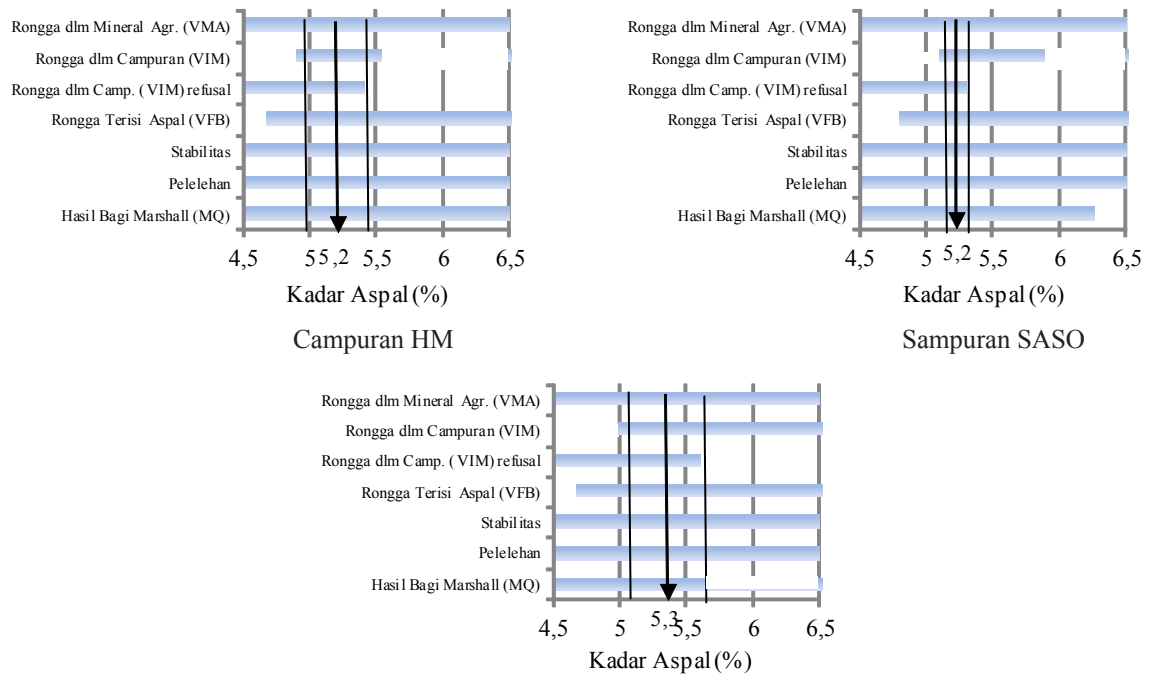
diperoleh KAO yang sama untuk campuran HM dan campuran SASO yaitu sebesar 5,2%, sedangkan untuk campuran SASORAP KAO-nya 5,3%. Penentuan kadar aspal masing-masing campuran dapat terlihat pada Gambar 3.

Pengujian untuk memperoleh gambaran karakteristik campuran pada KAO-nya dilakukan pada masing-masing campuran. Untuk campuran SASORAP rancangan pencampuran pada KAO-nya dapat dilihat pada Gambar 4 dan hasil pengujian karakteristik ketiga campuran dapat dilihat pada Tabel 6.

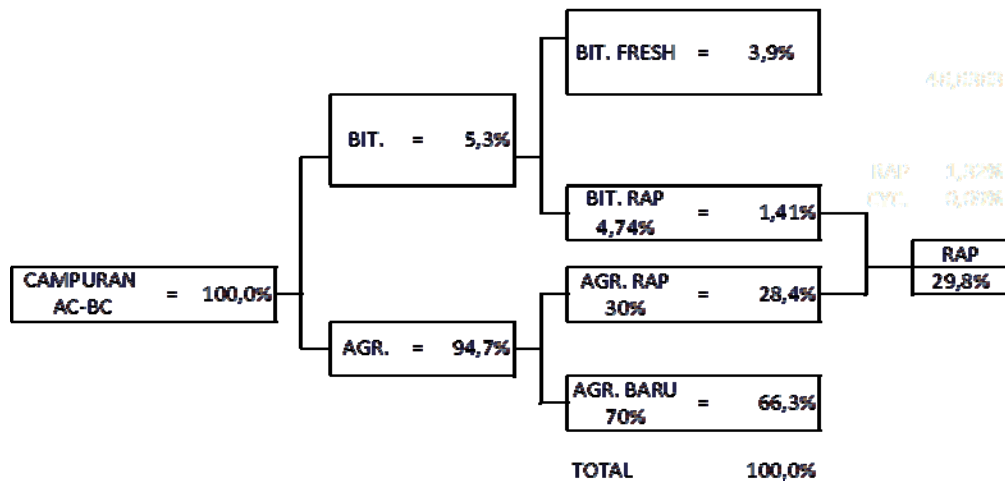
Memperhatikan sifat karakteristik campuran HM dan campuran SASO sebagaimana terlihat pada Tabel 6, maka diketahui penurunan temperatur hingga ±30°C pada campuran SASO akibat modifikasi aspalnya (dengan Sasobit) masih memberikan kinerja yang hampir sama dengan campuran HM. Dari Gambar 3 juga terlihat bahwa campuran SASO lebih sensitif terhadap kadar aspal mengingat rentang kadar aspalnya yang lebih sempit dibandingkan dengan campuran HM.

Tabel 5. Hasil pengujian Marshall

Tipe Campuran	Kadar Aspal	Kepadatan	VMA	VIM	VIM PRD	VFB	Stabilitas	Pelelehan	Marshall Quotient
HM	4,5	2,322	15,7	6,8		57,0	1431,9	3,9	363,9
	5,0	2,355	14,9	4,7	3,5	68,4	1578,8	3,7	434,3
	5,5	2,367	14,8	3,4	2,4	77,3	1444,2	3,9	378,3
	6,0	2,374	15,1	2,5	1,5	83,2	1283,4	4,3	302,0
	6,5	2,371	15,8	2,1		86,5	998,5	4,4	222,4
SASO	4,5	2,305	16,3	7,2		56,2	1194,4	3,3	371,2
	5,0	2,338	15,5	5,1	3,2	67,1	1379,5	3,6	387,9
	5,5	2,351	15,5	3,9	2,3	74,9	1277,7	3,9	332,8
	6,0	2,357	16,0	3,3	1,5	79,6	1293,4	4,4	229,9
	6,5	2,359	16,1	2,2		86,5	970,3	4,9	197,9
SASORAP	4,5	2,300	16,4	7,2		56,0	1270,9	4,9	271,0
	5,0	2,341	15,3	4,9	3,5	68,2	1369,0	5,5	247,7
	5,5	2,359	14,9	3,2	2,7	78,7	1266,7	4,8	271,2
	6,0	2,366	15,2	2,3	2,1	84,6	1030,7	4,8	213,8
	6,5	2,360	16,0	2,0		87,6	983,5	5,9	166,5



Gambar 3. Penentuan kadar aspal optimum



Gambar 4. Perancangan campuran SASORAP pada kadar aspal 5,3%

Tabel 6. Karakteristik campuran pada kadar aspal optimum

No	Sifat-Sifat Campuran	Satuan	Hasil Pengujian		
			HM	SASO	SASORAP
1.	Kadar Aspal	%	5,2	5,2	5,3
2.	Kepadatan	Gr/mm <sup>3</sup>	2,355	2,348	2,339
3.	VIM	%	4,46	4,43	4,54
4.	VMA	%	15,2	15,4	15,7
5.	VFB	%	70,5	71,2	71,0
6.	Stabilitas	Kg	1287	1225,5	1359,9
7.	Pelelehan	Mm	3,9	3,9	3,7
8.	Marshall Qoutient	Kg/mm	332,6	311,7	400,4

Dalam skema perancangan campuran SASORAP pada kadar aspal 5,3% sebagaimana **Gambar 4**, terlihat bahwa dengan kadar aspal baru (modifikasi kontrol dan Sasobit) hanya sebesar 3,9% (terhadap campuran) dan kadar aspal RAP 1,41%. Bila RAP berlaku sebagai murni agregat (*black agregat*) maka kadar aspal dalam campuran hanya sebesar 3,9% dan karakteristik volumetrik pada kadar aspal tersebut tidak akan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010 mengingat pada pengujian kadar aspal 4,5% nilai VIM sebesar 7,2% dan VFB-nya sebesar 56%. Hal tersebut menunjukkan adanya aktivasi aspal RAP terhadap aspal modifikasinya (aspal AM.P60/70 dan Sasobit) pada campuran SASORAP yang ditunjukkan nilai KAO SASORAP yang hanya sebesar 5,3% yaitu lebih besar 0,1% dibandingkan KAO campuran HM maupun campuran SASO. Dalam **Tabel 6** juga ditunjukkan penurunan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan pada campuran yang menggunakan RAP juga masih memberikan karakteristik yang memenuhi batasan dalam Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010 dan tidak jauh berbeda dibandingkan dengan campuran HM.

Setelah diperoleh KAO dari campuran SASORAP, baru dilakukan pengujian terhadap sifat aspal SASORAP 5,3%. Dibandingkan dengan karakteristik aspal AM.P60/70 dan aspal RAP dengan 7% Cylogen Tipe L, sifat aspal SASORAP 5,3% lebih mendekati aspal modifikasi SASO. Hasil pengujian aspal SASORAP 5,3% dapat terlihat sebagaimana pada **Tabel 7**.

**Tabel 7. Karakteristik Aspal SASORAP pada KAO 5,3%**

Test	Result	Unit
Penetrasi	48,6	dmm
Titik melembek	63,8	°C
Daktilitas	>140	cm
Setelah RTFOT		
Kehilangan berat	0,2537	%
Penetrasi	77,6	dmm
Titik melembek	68,9	°C
Duktilitas	>140	C m

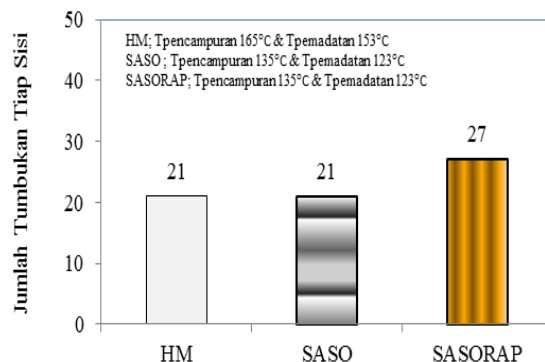
**3.3 Pengaruh RAP terhadap sensitivitas kelembaban (Air)**

Prosedur AASTHO-T283 (*Standart Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage*) yang dimodifikasi dilakukan pada seluruh campuran untuk mengetahui kinerjanya berupa tahanan terhadap kelembaban (air). Maksud dari modifikasi adalah tidak dilakukannya pendinginan benda uji di kondisi basah pada temperatur -18°C mengingat Indonesia berada di wilayah tropis.

Semua campuran, HM, SASO maupun SASORAP dikondisikan pada nilai VIM  $7 \pm 0.5\%$ . Pengujian *indirect tensile strength test* (ITS) dilakukan pada kondisi kering dan basah (perendaman). Perbandingan nilai ITS pada kondisi basah terhadap kondisi kering diketahui sebagai *Tensile Strength Ratio* (TSR), yaitu merupakan indikator tahanan terhadap kelembaban (air). The Asphalt Institute (Superpave) membatasi tahanan campuran terhadap kelembaban dengan memberikan nilai minimum TSR sebesar 80%.

Sebagaimana disebutkan di atas, pengujian ITS dilakukan pada nilai VIM campuran  $7 \pm 0.5\%$ . Untuk memperoleh VIM tersebut maka dilakukan variasi tumbukan untuk masing-masing campuran. Hasil dari pengujian VIM diperoleh banyaknya tumbukan pada masing-masing sisi sebagaimana terlihat pada **Gambar 5**. Dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa penambahan Sasobit sebesar 3% pada aspal AM.P60/70 disertai dengan penurunan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan mencapai 30°C, masih memberikan kemudahan pencampuran (*workability*) yang sama dengan campuran kontrol-nya. Hal ini ditunjukkan dengan jumlah tumbukan yang sama antara campuran SASO dengan campuran kontrol.

Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui untuk seluruh campuran memiliki nilai TSR diatas 80%, dimana campuran SASO menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan kedua campuran lainnya. Namun demikian bila dilihat dilihat dari rata-rata nilai ITS baik untuk kondisi kering maupun kondisi basah, campuran SASO lebih rendah dibandingkan dengan campuran lainnya, sedangkan campuran SASORAP lebih superior dibandingkan campuran HM maupun campuran SASO. Nilai rata-rata ITS dan TSR masing-masing campuran dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Gambar 6**.

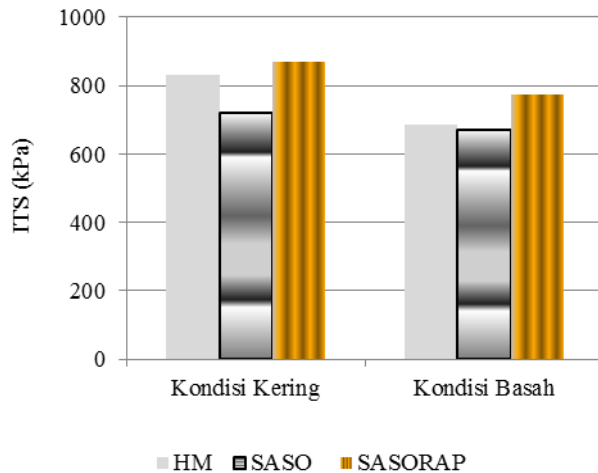


**Gambar 5. Jumlah tumbukan pada nilai VIM  $7 \pm 0.5\%$  masing-masing campuran**

**Tabel 8. Nilai ITS and TSR**

Mix type	ITS (kPa)		TSR (%)
	Dry Conditions	Wet Conditions	
HM	830,9	686,8	82,7
SASO	718,4	669,6	93,2
SASO RAP	869,9	772,2	88,8





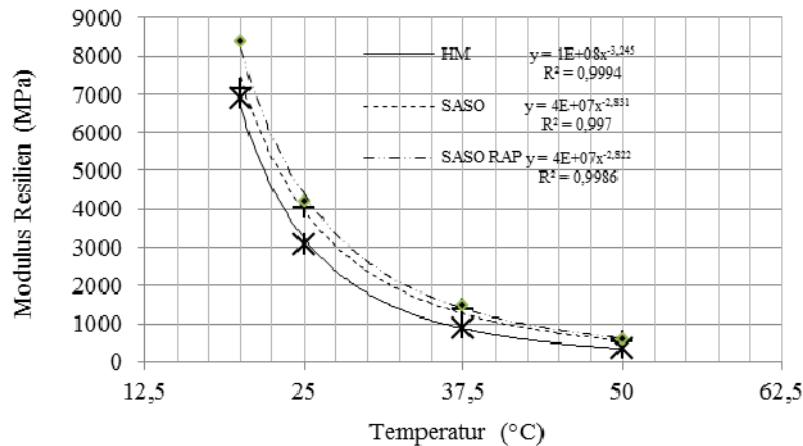
Gambar 6. Perbandingan nilai ITS pada kondisi kering dan kondisi basah

### 3.4 Pengaruh RAP terhadap nilai modulus resilien

Modulus resilien merupakan modulus elastisitas yang diperoleh dari hubungan regangan yang kembali (*recoverable strains*) terhadap beban berulang yang terjadi. Dalam penelitian ini modulus resilien campuran diperoleh dari pengujian yang menggunakan alat UMATTA pada 0,33Hz (*pulse repetition period of 3000 ms*) dengan 4 variasi temperatur 20°C, 25°C, 37,5°C and 50°C. Pengujian dilakukan dengan minimal 2 benda uji untuk masing-masing kondisi dengan rata-rata nilai sebagaimana terlihat pada Tabel 9 dan Gambar 7.

Tabel 9. Hasil pengujian modulus resilien

Temperatur (°C)	Frekuensi (Hz)	HM	SASO	SASORAP	Satuan
20	0,33	6899,5	7146,0	8362	MPa
25	0,33	3087,3	4037,5	4188,7	Mpa
37,5	0,33	872,7	1361,0	1467,3	Mpa
50	0,33	343,7	523,5	604,3	Mpa



Gambar 7. Grafik hubungan modulus resilien campuran terhadap temperatur

Memperhatikan Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa nilai modulus resilien campurannya dipengaruhi oleh temperatur, yaitu semakin tinggi temperatur semakin kecil nilai modulus resiliennya. Pada gambar tersebut juga terlihat modifikasi terhadap aspal dasarnya AM.P60/70 dengan menambahkan Sasobit sebesar 3% dan penggunaan RAP sebesar 30% akan meningkatkan nilai modulus resiliennya. Hasil pengujian memperlihatkan nilai modulus resisien campuran SASORAP lebih superior dibandingkan dengan dua campuran lainnya. Peningkatan nilai modulus resilien pada campuran SASORAP dibandingkan nilai modulus resilien campuran HM maupun campuran SASO juga menunjukkan adanya indikasi terjadinya aktivasi dan pencampuran aspal RAP terhadap aspal barunya.

### 3.5 Pengaruh RAP terhadap tahanan lelahnya (*Fatigue Resistance*)

Keretakan fatigue pada perkerasan fleksibel didasarkan pada regangan tarik horisontal yang terjadi pada bagian bawah perkerasan aspalnya. Kriteria kegagalan berkaitan dengan jumlah repetisi beban yang diijinkan pada regangan tarik pada contoh benda uji campuran beraspal panas pada pengujian fatigue di laboratorium (Huang, 1993).

Pada penelitian ini *4 Point Bending Aparatus* digunakan untuk menentukan tahanan fatigue dari campuran beraspal. Pengujian dilakukan pada sistem kontrol regangan (*control strain system*), dimana umur fatigue didefinisikan sebagai jumlah siklus pada saat

tegangan yang terjadi telah mencapai 50% dari tegangan awalnya (*initial stress*). Terdapat enam variasi regangan yang dilakukan untuk masing-masing campuran yaitu pada 400, 450, 500, 550, 600 and 650 *microstrain* serta 124 *microsecond load time pulse width*, frekuensi 8.06 Hz dan temperatur pengujian pada 20°C. Hasil pengujian untuk campuran HM, campuran SASO dan campuran SASORAP dapat dilihat pada **Tabel 10**, **Tabel 11** and **Tabel 12**.

**Tabel 10**, **Tabel 11** and **Tabel 12** menunjukkan jumlah siklus beban dipengaruhi oleh regangan yang diberikan untuk kesemua campuran, semakin besar regangan yang diberikan semakin pendek jumlah

siklus perulangan bebannya. Dari **Gambar 8** menunjukkan garis kecenderungan (*trendline*) umur fatigue campuran SASORAP diatas dan dengan sudut kemiringan garis yang lebih besar dibandingkan campuran HM dan campuran SASO. Hal tersebut menunjukkan campuran SASORAP memiliki kinerja campuran ketahanan fatigue yang lebih baik dibandingkan dengan dua campuran lainnya (pada regangan 400µε dan pengujian 100.000 perulangan), namun demikian bila diberikan regangan yang lebih kecil dari 400µε maka campuran SASORAP diprediksi akan memiliki umur fatigue yang lebih kecil dibandingkan dua campuran lainnya).

**Tabel 10. Hasil uji fatigue campuran HM**

No	Siklus Beban	Beban N	Lendutan Balok Mm	Tegangan Tarik kPa	Regangan Tarik (µs)	Kekakuan Lentur MPa	Sudut Putar degree	Dissipated Energy J/m <sup>3</sup>	Kumulatif Dissipated Energy J/m <sup>3</sup>
1.	54160	0.5125	0.2107	1104	400	2761	31.3	0.922	56.690
2.	22280	0.4590	0.2367	1215	450	2700	28.2	1.157	31.388
3.	10310	0.6007	0.2588	1243	500	2485	30.4	1.334	16.718
4.	10070	0.6424	0.2841	1326	550	2409	35.1	1.534	17.853
5.	4070	0.6634	0.3056	1159	599	1934	34.4	1.479	7.625
6.	2910	0.6608	0.3416	1417	649	2182	35.8	1.985	7.244

**Tabel 11. Hasil uji fatigue campuran SASO**

No	Siklus Beban	Beban N	Lendutan Balok Mm	Tegangan Tarik kPa	Regangan Tarik (µs)	Kekakuan Lentur MPa	Sudut Putar degree	Dissipated Energy J/m <sup>3</sup>	Kumulatif Dissipated Energy J/m <sup>3</sup>
1.	83050	0.5256	0.2069	1078	401	2690	30.7	0.921	88.140
2.	35690	0.5960	0.241	1312	450	2912	32.8	1.254	51.974
3.	20970	0.5919	0.2664	1291	500	2580	34.2	1.378	33.177
4.	9930	0.6568	0.2897	1424	548	2600	34.7	1.636	19.490
5.	6760	0.6472	0.3227	1429	600	2382	35.1	1.833	14.667
6.	4330	0.6608	0.3416	1417	649	2182	35.8	1.985	7.244

**Tabel 12. Hasil uji fatigue campuran SASORAP**

No	Siklus Beban	Beban N	Lendutan Balok Mm	Tegangan Tarik kPa	Regangan Tarik (µs)	Kekakuan Lentur MPa	Sudut Putar degree	Dissipated Energy J/m <sup>3</sup>	Kumulatif Dissipated Energy J/m <sup>3</sup>
1.	96200	0.6875	0.2134	1456	402	3626	24.3	1.278	150.137
2.	53620	0.6722	0.2336	1362	451	3023	27.7	1.315	83.625
3.	20410	0.7988	0.2639	1699	498	3409	27.7	1.824	42.943
4.	18120	0.8657	0.2944	1892	550	3443	28.9	2.259	50.687
5.	15960	0.8911	0.32	1921	598	3211	28.8	2.495	45.793
6.	7260	0.9535	0.3368	1921	651	2953	28.5	2.724	24.033



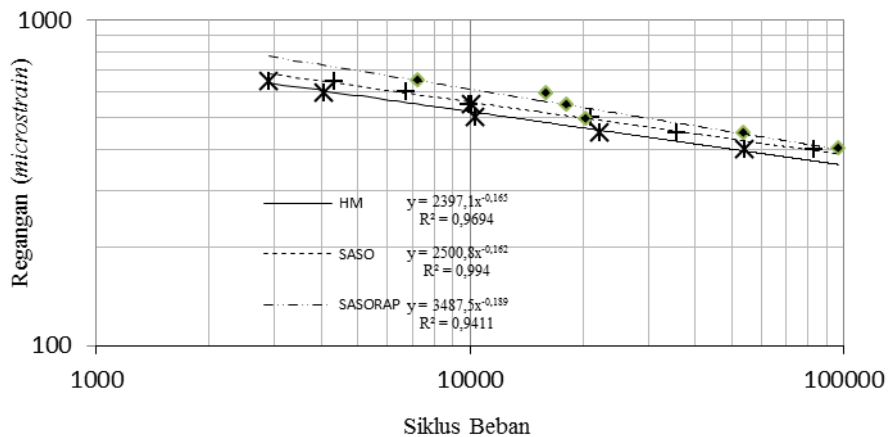


Figure 8. Hubungan besaran regangan terhadap jumlah siklus beban

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan dapat ditarik sebagaimana tercantum dibawah ini :

1. Modifikasi aspal minyak Penetrasi 60/70 dengan bahan aditif Sasobit dapat menurunkan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan hingga  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  dengan nilai volumetrik dan parameter Marshall campuran yang hampir sama dari campuran menggunakan aspal tanpa modifikasi (aspal minyak Pen 60/70), baik pada campuran dengan ataupun tanpa RAP sebagai pengganti agregat baru-nya.
2. Pencampuran hangat yang dilakukan diatas titik melembek aspal RAP memperlihatkan adanya aktifasi aspal RAP terhadap aspal barunya yang ditunjukkan dengan jumlah kebutuhan aspal lebih tinggi hanya 0,1% antara campuran yang menggunakan RAP terhadap campuran tanpa RAP. Aktifasi juga ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai modulus resilien pada campuran yang memanfaatkan RAP.
3. Modifikasi aspal dengan penambahan Sasobit sebesar 3% pada aspal minyak Penetrasi 60/70 diiringi penurunan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan hingga  $30^{\circ}\text{C}$  dan disertai penggunaan RAP sebesar 30% sebagai pengganti agregat baru masih memberikan kinerja ketahanan terhadap kelembaban (air) seperti yang dipersyaratkan dalam The Asphalt Institute (Superpave).
4. Penggunaan Sasobit sebagai aditif teknologi pencampuran hangat dan pemanfaatan RAP sebagai bahan pengganti agregat baru (dengan disertai penggunaan bahan peremaja untuk mengaktifkan aspal RAP-nya) dapat meningkatkan kinerja campuran baik berupa nilai modulus resilien maupun tahanan fatiguenya.

## Daftar Pusaka

- American Association of State and Highway Transportation Officials [AASHTO], 2003, *Standart Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage*, AASHTO-T283-03.
- Chowdury, A. and Button, J., 2008, *A Review of Warm Mix Asphalt*. Texas Transportation Institute. Springfield, Virginia : National Technical Information Service, December, Technical Report
- Huang, Y.H., 1993, *Pavement Analysis and Design*.
- Kanitpong, K., Sonthong S., Nam, K., Martono, W., Bahia, H.U., 2007, *Laboratory Study on Warm Mix Additives*, Paper #07-1364, Transportation Research Board Annual Meeting.
- Newcomb, D., 2006, *An Introduction to Warm Mix Asphalt*, National Asphalt Pavement Association.
- Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010
- Xiao, F., 2006, *Development of Fatigue Predictive Models of Rubberized Asphalt Concrete (RAC) Containing Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Mixtures*, Dissertation.

