

**PEMANFAATAN MATERIAL DAUR ULANG (RAP) PERKERASAN
BERASPAL UNTUK CAMPURAN BERASPAL DINGIN BERGRADASI
MENERUS DENGAN ASPAL CAIR
(UTILIZATION OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT MATERIALS
(RAP) FOR CONTINUOUS GRADED COLD MIX USING CUT-BACK
ASPHALT)**

N o n o

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jalan A.H. Nasution no.264, Bandung 40294
e-mail: nono.bbpj@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 9 Oktober 2015; direvisi: 16 November 2015; disetujui: 1 Desember 2015

ABSTRAK

Material daur ulang perkerasan beraspal (RAP) merupakan produk limbah yang diperoleh dari aktivitas pemeliharaan perkerasan lentur. Pada umumnya material daur ulang ini memiliki gradasi agregat menerus serta sifat aspal yang sudah mengalami penuaan, sehingga bila digunakan untuk campuran beraspal panas proporsi penggunaannya terbatas, karena temperatur pencampuran akan mengalami penurunan yang dapat mengakibatkan campuran beraspal tidak dapat dipadatkan secara optimum.. Namun bila digunakan dalam campuran dingin temperatur pencampuran tidak akan menjadi kendala. Tujuan dari studi ini adalah untuk melihat pengaruh pemakaian material daur ulang perkerasan beraspal (RAP) dalam campuran beraspal dingin dengan aspal cair mengikat sedang (MC-250) sebagai bahan pengikat. Metodologi yang digunakan dalam studi ini adalah pengujian dalam skala laboratorium. Hasil studi ini menunjukkan bahwa pada umumnya campuran beraspal dingin dengan aspal cair MC-250 yang tanpa dan dengan menggunakan RAP memiliki sifat campuran memenuhi persyaratan, kecuali untuk campuran dengan menggunakan 100% RAP, baik untuk yang RAP Bogor maupun RAP Jateng memiliki nilai pelelehan > 4 mm. Membandingkan antara nilai stabilitas campuran dingin dengan 100% RAP dengan yang tanpa dan 40% RAP maka nilai stabilitas campuran dingin yang menggunakan 100% RAP lebih besar, sedangkan untuk penggunaan 40% RAP memiliki nilai stabilitas lebih rendah dibandingkan dengan nilai stabilitas campuran dingin tanpa RAP. Berdasarkan sifat campuran dingin tersebut maka RAP dapat dimanfaatkan untuk perkerasan jalan yang bervolume lalu lintas rendah sampai dengan sedang. Namun demikian proporsi penggunaannya dapat diatur sehingga memiliki sifat yang sesuai dengan persyaratan

Kata kunci: *Daur ulang perkerasan beraspal (RAP), campuran beraspal dingin, aspal cair, gradasi menerus, perkerasan lentur*

ABSTRACT

Recycled asphalt pavement (RAP) is a waste product derived from flexible pavement maintenance activities. In general, the recycled material has a continuous gradation of aggregate and asphalt properties that has experienced aging, so that when it is used for hot mix asphalt, the proportion use is limited, because the mix temperature will decrease so that asphalt mixture can not be optimally compacted. However, when used in cold mix, mix temperatures will not be a constraint. The aim of this study was to determine the effect of the use of recycled asphalt pavement (RAP) material in cold mix asphalt with medium curing cut-back asphalt (MC-250) as a binder. The methodology used in this study is testing in a laboratory scale. The results of this study show that in general cold mix asphalt using MC-250 with and without RAP has mix properties that meet the requirements, except for the mixture using a 100% RAP, both for the RAP of Bogor and RAP of Java has a value of flow > 4 mm. Comparing the value of the stability of cold mix asphalt using 100% RAP, without RAP, and 40% of RAP, the value stability of cold mix asphalt using 100% RAP showed larger, while the use of 40% RAP has a stability value lower than the value of the stability of the cold mix asphalt without RAP. Based on the above properties of the cold mix asphalt, the RAP can be used for pavement with

low to moderate traffic volume . However, the proportion of use can be regulated so as to have properties in accordance with the requirements

Keywords: *Reclaimed asphalt pavement (RAP), cold mix asphalt, cut-back asphalt, dense graded, flexible pavement.*

PENDAHULUAN

Pada umumnya ruas-ruas jalan di Indonesia menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, yaitu lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada. Untuk pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahunnya selalu impor aspal, salah satu alternatif yang lainnya untuk mengatasi kendala kekurangan aspal adalah pemanfaatan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), khususnya untuk pekerjaan pemeliharaan (perbaikan atau rekonstruksi) jalan dengan menggunakan metode *cut and fill*. Metoda ini merupakan *green technology* karena memanfaatkan limbah dari perkerasan jalan. Pemanfaatan RAP ini dapat mengurangi penggunaan aspal baru sehingga dapat mengefisienkan pemakaian produk dari fraksi minyak bumi. Selain itu dapat menghemat penggunaan agregat baru yang keberadaannya makin lama makin berkurang.

Jalan nasional yang mengalami rusak berat masih sekitar 11%. Sedangkan yang rusak ringan (8%), dan rusak sedang (31%) dari total panjang jalan nasional sepanjang 34.628 km (Sony 2015). Berdasarkan data di atas untuk periode awal pembangunan perkerasan jalan, akan memperoleh RAP kurang lebih sebanyak 1,5 juta m³ dari hasil pengerukan jalan yang rusak berat.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dan aplikasi di lapangan penggunaan material daur ulang seringkali menemui beberapa kendala antara lain menurunnya sifat fisik dari material daur ulang, mengikat selama masa layannya telah menerima beban lalu lintas yang cukup berat. Selain itu material daur ulang juga memiliki tingkat variabilitas yang cukup tinggi sehingga dapat berdampak pada perubahan gradasi dan durabilitas dari campuran. Namun demikian teknologi daur ulang juga memberikan beberapa manfaat antara lain untuk mengatasi keterbatasan bahan perkerasan jalan. Untuk itu, teknologi ini bersifat efisien dan efektif serta dapat mengurangi penggunaan

agregat (45-100%) dan aspal baru (60%) sehingga nilai ekonomis bahan kupasan meningkat, hemat energi, dan geometrik jalan dapat dipertahankan serta melestarikan sumber daya alam.

Berhubung dengan sifat fisik dari material daur ulang dan tingkat variabilitas yang cukup tinggi sehingga dapat berdampak terhadap durabilitas dari campuran beraspal panas, maka pemanfaatan RAP pada campuran beraspal panas maksimum 15% (berpengaruh terhadap temperatur campuran) serta direkomendasikan tidak digunakan untuk lapis permukaan (Suaryana, N. S. 2008).

Berdasarkan hasil penelitian sebagaimana telah diuraikan maka untuk mengoptimalkan penggunaan RAP dapat dilakukan untuk campuran beraspal dingin. Campuran beraspal dingin dapat digunakan jalan dengan lalu lintas rendah dan sedang (The Asphalt Institute 1989). Sesuai The Asphalt Institute's (1993) yang dimaksud dengan jalan dengan lalu lintas rendah dan sedang adalah jalan yang direncanakan dengan lalu lintas rencana berturut-turut adalah ≤ 10.000 dan antara (10.000-1.000.000) Ekuivalen Beban Sumbu Standar (*Equivalent Standard Axle Load*, ESAL).

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik campuran beraspal dingin dengan aspal cair mengikat sedang (MC-250) yang menggunakan dengan dan tanpa RAP sebagai pembanding serta 100% RAP (tanpa penggunaan agregat baru) di laboratorium, baik parameter Marshall maupun volumetriknya. Adapun RAP yang digunakan terdiri dari 2 sumber, yaitu dari wilayah Jawa Tengah dan dari Bogor.

KAJIAN PUSTAKA

Sifat campuran beraspal

Beberapa metode desain telah berevolusi untuk menghasilkan campuran beraspal yang sesuai untuk situasi tertentu. Agar memenuhi

kriteria untuk kondisi lalu lintas tertentu maka campuran beraspal tersebut harus (Shell Bitumen 2003):

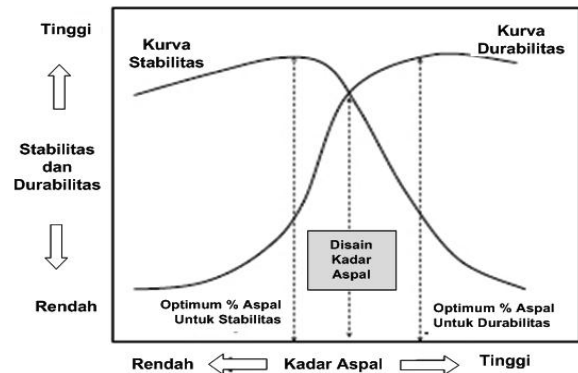
- mampu menahan deformasi permanen;
- mampu menahan kelelahan retak;
- mudah dilaksanakan selama penghamparan, memungkinkan material dapat dipadatkan secara memuaskan dengan peralatan yang tersedia;
- kedap, untuk melindungi lapisan bawah struktur jalan dari air;
- tahan lama, tahan abrasi oleh lalu lintas dan efek dari udara dan air;
- berkontribusi pada kekuatan struktur perkerasan;
- mudah dipelihara, dan yang paling penting
- biaya efektif.

Selain di atas, tentu saja permukaan bahan juga harus:

- tahan selip pada semua kondisi cuaca
- menghasilkan tingkat kebisingan yang rendah, dan
- memberikan kualitas permukaan yang nyaman.

Keruntuhan campuran beraspal berdasarkan SHRP A-410 (National Research Council 1994) terdiri atas deformasi plastis, retak leleh dan retak pada temperatur rendah dan menurut NAPA (1996) retak leleh dipengaruhi beberapa faktor, yaitu: struktur perkerasan, aspal, kadar aspal, VMA, karakteristik agregat pondasi (*cemented material*) dan karakteristik tanah dasar, sedangkan rutting/deformasi plastis sebagai akibat “kekakuan aspal rendah, kadar aspal tinggi dan VIM rendah” (fungsi dari gradasi dan kadar aspal).

Gradasi adalah sifat yang sangat penting dari campuran beraspal, karena mempengaruhi semua aspek campuran beraspal. Ketika proporsi agregat menjadi ukuran yang berbeda maka perencana dapat menentukan apa jenis tekstur permukaan perkerasan yang diinginkan. Spesifikasi gradasi untuk penentuan struktur agregat adalah menggunakan grafik dengan power 0,45. Hal ini dapat digunakan untuk menunjukkan stabilitas, ketahanan dan kemudahan pelaksanaan. Adapun untuk struktur agregat yang padat tidak memberi ruang/rongga untuk aspal.



Gambar 1. Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas dan durabilitas campuran beraspal (Sumber: WSDOT 2005).

Perkerasan daur ulang (*Recycling*)

Teknologi perkerasan daur ulang (*recycling*) yaitu teknologi yang memanfaatkan kembali material (agregat dan aspal) perkerasan lama untuk dijadikan kembali sebagai bahan perkerasan yang baru.

Penggunaan metode daur ulang untuk mengatasi permasalahan perbaikan jalan atau rekonstruksi jalan dapat menghemat penggunaan aspal dan agregat, serta tidak merusak geometri jalan akibat penumpukan lapisan perkerasan yang terus menerus (Sumantri dkk. 2014). Material yang digunakan untuk metode daur ulang adalah bahan kupasan aspal dan bila diperlukan ditambahkan aspal dan agregat baru. Bahan kupasan aspal ini mengandung aspal dan agregat lama. Untuk mencapai hasil yang memadai pada umumnya aspal dan agregat lama perlu diperbaharui baik sifat-sifatnya maupun gradasinya (Novita, Subagio dan Rahman 2011).

Aspal RAP secara signifikan telah mengalami penuaan pada saat diproduksi, pelayanan terhadap beban kendaraan, dan pengaruh lingkungan saat menjadi lapisan/struktur perkerasan. Hal ini dikarenakan reologi aspal telah teroksidasi dan mengalami kelelahan, sehingga aspal pada RAP menjadi mengeras (O’Sullivan 2011).

Penggunaan RAP dalam campuran beraspal agar bercampur efektif dengan bahan pengikat baru, beberapa Negara di Eropa telah membatasi kekerasan bitumen RAP yang dapat digunakan, yaitu nilai penetrasi dan titik lembek seperti disajikan pada Tabel 1 (Nikolaides Athanassios 2015).

Tabel 1. Batasan sifat aspal RAP hasil pemulihan yang direkomendasikan untuk daur ulang

Negara	Sifat aspal RAP	
	Penetrasi (dmm)	Titik lembek (°C)
Perancis	>5	<77
Belgia	>10	-
Ingris	>15	-
Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal	>15	<70
Slovakia	-	<70

Pada Tabel 1 terlihat bahwa untuk 5 negara (Ingris, Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal) membatasi nilai penetrasi aspal >15 dmm, sedangkan untuk Belgia dan Perancis membatasi nilai penetrasi lebih rendah. Untuk Slowakia tidak mensyaratkan nilai penetrasi namun persyaratkan titik lembek sama dengan kelima Negara di atas, yaitu 70°C.

Perkerasan dengan menggunakan daur ulang memiliki kelebihan, antara lain:

- Apabila digunakan secara tepat, *recycling* dapat menghemat biaya yang berarti dibanding dengan penggunaan material baru.
- Membantu melakukan konservasi bahan alam dengan berkurangnya kebutuhan material baru.
- Dengan *recycling* maka dapat menjaga geometri perkerasan, karena tidak bertambahnya tebal perkerasan. Ketergangguan lalu lintas juga berkurang dibanding teknik rehabilitasi lainnya.

Penggunaan bahan daur ulang yang telah dikenal dengan beberapa teknik, yaitu daur ulang pelaksanaan di lapangan (*in place*) dan ditempat pencampur (*in plant*).

- Dilapangan (*in place*): Penggarukan, pembentukan dan pemadatan ditempat.
- Ditempat pencampur (*in plant*): Hasil garukan dibawa ke alat pencampur untuk diperbaiki propertiesnya. Ketebalan lapis perkerasan yang dibutuhkan dapat disesuaikan.

Pemilihan jenis daur ulang antara lain mempertimbangkan kondisi permukaan, lalu lintas, ketersediaan alat konstruksi yang dipilih.

Berdasarkan cara penggunaannya teknologi daur ulang dibagi menjadi 2, yaitu (Widajat D. 2007):

- Daur ulang campuran dingin (*cold mix recycling*) misal: CTRB (*Cement Treated Recycling Base*), CTRSB (*Cement Treated Recycling Sub Base*), campuran dengan pengikat aspal emulsi, campuran dengan pengikat aspal cair (*cutback asphalt*), dan menggunakan *Foam Bitumen*.
- Daur ulang campuran panas (*hot mix recycling*) misal: daur ulang bahan garukan yang dipanaskan kembali di AMP (*in plant*), permukaan (*in place*).

Campuran beraspal dingin yang menggunakan RAP dapat menggunakan aspal aspal cair (*cutback asphalt*) atau emulsi. Selama tahun 1970, perkerasan dengan campuran dingin menggunakan RAP. Uji coba pertama telah diproduksi menggunakan aspal cair, selanjutnya menggunakan aspal emulsi. Jenis aspal cair yang digunakan adalah tipe aspal cair MC-250 (*medium curing*). Untuk produk aspal emulsi adalah seperti High Floats, SS-1, CSS-1, dan CMS-2 (Esenwa, M.. et al 2013).

Berdasarkan FHWA (2001) gradasi agregat campuran beraspal dingin yang menggunakan RAP dapat disesuaikan gradasi RAP yang akan digunakan. Tipe gradasi tersebut seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Gradasi agregat campuran dingin menggunakan RAP

Ukuran saringan	Persentase berat lolos saringan untuk gradasi tipe:			
	A	B	C	D
1.5" (37,5 mm)	100			
1" (25,0 mm)	90-100	100		
3/4" (19,0 mm)		90-100	100	
1/2" (12,5 mm)	60-80		90-100	100
3/8" (9,5 mm)		60-80		90-100
No. 4 (4,75 mm)	25-60	35-65	45-75	60-80
No. 8 (2,16 mm)	15-45	20-50	25-55	35-65
No. 50 (0,300 mm)	3-20	3-21	6-25	6-25
No. 200 (0,075 mm)	1-7	2-8	2-9	2-10

Spesifikasi aspal cair

Jenis aspal cair yang akan digunakan pada studi ini adalah aspal cair mengikat sedang (*medium curing, MC*), yaitu sesuai SNI 4799:2008 seperti disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ketentuan sifat campuran menggunakan aspal cair mengikat sedang (MC-250)

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Persyaratan*	
			Minimum	Maksimum
1.	Viskositas pada 60°C; cSt	SNI 7729 : 2011	250	500
2.	Titik nyala (COC); °C	SNI 2433 : 2011	66	-
3.	Kadar air	SNI 06-2490-91	-	0,2
4.	Penyulingan :	SNI 2488 : 2011		
	Sulingan pada 225 °C; % total isi		0	10
	260 °C; % total isi		15	55
	315 °C; % total isi		60	87
	Sisa penyulingan sampai 360°C; % Isi		67	-
5.	Kelarutan dalam TCE	SNI 06-2438-1991	99	-
6.	Daktalitas; cm	SNI 2432 : 2011	100	-

* SNI 4799:2008

Spesifikasi campuran beraspal dingin RAP dengan aspal cair

Dalam studi campuran beraspal dingin RAP dengan menggunakan aspal cair mengikat sedang (MC-250) mengacu pada ketentuan yang ditetapkan pada spesifikasi *Asphalt Cold Mix Manual Series No.14* (The Asphalt Institute 1989), Campuran beraspal dingin dapat digunakan untuk lalu lintas rendah dan sedang. Spesifikasi gradasi agregat campuran untuk campuran beraspal dingin adalah seperti

disajikan pada Tabel 4, sedangkan untuk sifat campurannya disajikan pada Tabel 5. Pada Tabel 4 terlihat bahwa tipe gradasi dapat diambil salah satu tipe dengan ukuran maksimum yang sesuai dengan gradasi RAP yang akan digunakan. Adapun untuk sifat agregat baru dan agregat dari RAP harus memiliki sifat sesuai yang ditetapkan pada Seksi 6.3 spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan (Indonesia 2014).

Tabel 4. Spesifikasi gradasi agregat campuran dingin

Ukuran saringan	Persyaratan (Persen berat lolos)*	
	Ukuran maksimum	Ukuran maksimum
	19 mm	25 mm
1 in (25 mm)	-	100
¾ in (19 mm)	100	90 - 100
½ in (12,5 mm)	90 - 100	-
3/8 in (9,5 mm)	-	60 - 80
No.4 (4,76 mm)	45 - 70	35 - 65
No.8 (2,36 mm)	25 - 55	20 - 50
No.50 (0,300 mm)	5 - 20	3 - 20
No.200 (0,075 mm)	2 - 9	2 - 8

* The Asphalt Institute (1989)

Tabel 5. Ketentuan sifat campuran dingin menggunakan aspal cair mengikat sedang (MC-250)

Sifat campuran	Metode pengujian	Persyaratan*
Jumlah tumbukan perbidang		2 x 75
Rongga udara dalam agregat (VMA); %	AASHTO M 323-12	15 ¹ dan 16 ²
Rongga udara dalam campuran (VIM); %	AASHTO M 323-12	3 - 5
Stabilitas Marshall pada temperatur 25 °C; kg	SNI 2489 : 2014	Min. 340
Pelelehan; mm	SNI 2489 : 2014	2 - 4
Stabilitas sisa setelah perendaman selama 4 x 24 jam pada temperatur 25 °C; %	SNI 2489 : 2014	Min. 75

* The Asphalt Institute (1989). ¹ ukuran maksimum agregat 19 mm dan ² ukuran maksimum agregat 25,4mm

Penentuan kadar residu aspal perkiraan

Untuk memperoleh kadar residu aspal cair yang sesuai, umumnya dibuatkan beberapa contoh campuran dengan kadar residu aspal cair yang bervariasi. Sebagai perkiraan awal kadar residu aspal cair, digunakan Persamaan 1 di bawah ini. Selanjutnya kadar residu aspal cair divariasikan, minimum lima variasi (0,5%-1,0%) di atas dan di bawah kadar residu aspal cair perkiraan awal atau sampai menghasilkan suatu kurva hubungan antara kadar residu aspal cair dan stabilitas yang menunjukkan tercapainya stabilitas maksimum.

$$P_b = (0,02 A + 0,07 B + 0,15 C + 0,20 D) \dots\dots(1)$$

Keterangan:

P_b adalah persentase kadar residu aspal cair (terhadap massa kering agregat)

A adalah persentase agregat tertahan saringan 0,30 mm (No. 50)

B adalah persentase agregat lolos saringan 0,30 mm (No. 50) dan tertahan saringan 0,150 mm (No. 100)

C adalah persentase agregat lolos saringan 0,150 mm (No. 100) dan tertahan saringan 0,075 mm (No. 200).

D adalah persentase agregat lolos saringan 0,075 mm (No. 200)

Prosentase agregat yang tertahan pada masing-masing saringan mengacu pada prosentase agregat yang dihasilkan dari RAP hasil pengujian ekstraksi.

Prosedur pengujian campuran beraspal dingin dengan aspal cair

Pengujian campuran dingin RAP menggunakan aspal cair mengacu pada *Asphalt Institute Manual Series No. 14 (MS-14)*, sebagai berikut:

a. Persiapan contoh RAP

Contoh RAP dikeringkan di dalam oven pengering dengan temperatur 105⁰C – 110⁰C sampai mencapai massa konstan dan pisahkan contoh agregat yang ukuran butirnya lebih besar dari ukuran maksimum yang ditentukan (ukuran butir maksimum 25,0 mm dan 19,0 mm) dengan menggunakan ayakan yang sesuai.

b. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan

Temperatur pencampuran dan pemadatan ditentukan berdasarkan viskositas aspal cair yang harus dicapai, lihat CATATAN 1 dan

2. Temperatur pencampuran dan pemadatan ditentukan dengan mengacu pada kurva hubungan antara viskositas dan temperatur dari aspal cair yang digunakan, yang dapat diperoleh dari hasil pengujian aspal cair tersebut.

CATATAN 1 - Temperatur pencampuran adalah temperatur yang diperlukan untuk menghasilkan viskositas aspal cair (170 ± 20) centistokes.

CATATAN 2 - Temperatur pemadatan adalah temperatur yang diperlukan untuk menghasilkan viskositas aspal cair (280 ± 30) centistokes setelah aspal cair tersebut kehilangan bahan pelarut 50%.

c. Persiapan benda uji

1) Disiapkan sejumlah contoh RAP (minimum 15 benda uji, untuk 5 set variasi kadar residu dan setiap set terdiri dari 3 contoh) dengan massa yang sesuai untuk menghasilkan tebal campuran padat 63,5 ± 1,3 mm. Umumnya dilakukan percobaan pemadatan untuk mengetahui jumlah contoh RAP yang sesuai. Jika tebal padat benda uji tidak sesuai dengan yang ditetapkan, dilakukan koreksi jumlah RAP yang diperlukan dengan menggunakan Persamaan 2;

$$\text{Massa RAP terkoreksi} = \frac{63,5 \times \text{massa RAP yang digunakan}}{\text{tebal benda uji yang diperoleh}} \dots\dots(2)$$

2) Contoh RAP dipanaskan di dalam oven dengan temperatur sekitar 14⁰C di atas temperatur pencampuran. Prosentase agregat yang tertahan pada masing-masing saringan pada Persamaan 1 adalah prosentase agregat yang dihasilkan dari RAP hasil pengujian ekstraksi. Selanjutnya aspal cair dipanaskan sampai mencapai temperatur yang cukup sehingga mudah dituangkan ke dalam alat pencampur (temperatur aspal cair tidak boleh lebih dari temperatur pencampuran);

3) RAP yang telah dipanaskan ditimbang dan ditambahkan aspal cair sesuai yang diperhitungkan. Pada tahap ini, temperatur campuran RAP dan aspal cair harus dalam batas temperatur pencampuran yang telah ditentukan;

4) RAP dan aspal cair dicampur sampai merata, dan ditempatkan (*cured*) di dalam oven berventilasi dengan temperatur sekitar 11⁰C di atas

temperatur pemadatan (temperatur pemadatan adalah temperatur yang diperlukan untuk menghasilkan viskositas aspal cair (280 ± 30) centistokes setelah aspal cair tersebut kehilangan bahan pelarut 50%. Setelah 15 menit pertama dan selanjutnya setiap 10 menit, timbang contoh uji untuk mengetahui kehilangan massa bahan pelarut 50% dari massa awal bahan pelarut.

- 5) Contoh campuran yang telah mencapai temperatur dan kehilangan massa bahan pelarut sesuai yang ditentukan, dituangkan ke dalam cetakan dan dipadatkan atau ditumbuk dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali. Cetakan dibalik dan dilakukan pemadatan campuran dengan cara yang sama.
- 6) Setelah selesai dipadatkan, cetakan berisi benda uji dibiarkan mendingin. Benda uji dikeluarkan dari dalam cetakan dan ditempatkan di atas permukaan yang bersih dan halus sampai siap untuk diuji (minimum 16 jam setelah dipadatkan).
- d. Pengujian stabilitas Marshall
Pengujian stabilitas Marshall dan Pelelehan mengacu pada SNI 2489:2014.
- e. Penentuan kadar residu aspal cair desain
Kadar residu aspal cair merupakan rentang kadar residu terendah sampai dengan tertinggi dimana pada rentang tersebut semua karakteristik campuran yang ditentukan dalam spesifikasi terpenuhi. Kadar residu optimum umumnya diambil dari nilai rata-rata kadar residu terendah dan tertinggi.

HIPOTESIS

Penggunaan RAP sebagai bahan campuran beraspal dingin bergradasi menerus (rapat) dengan aspal cair mengikat sedang (MC-250) dapat dimanfaatkan dan memiliki sifat campuran beraspal dingin untuk perkerasan jalan beraspal berlalu lintas rendah sampai dengan sedang.

METODOLOGI

Studi ini dititik beratkan pada pengujian skala laboratorium dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan RAP yang akan digunakan sesuai SNI 13-6717-2002. Selanjutnya RAP dari lapangan dipecah menggunakan alat pemecah batu agar lolos saringan 19 mm. Untuk mengetahui kadar aspal dan gradasi agregat dari RAP, melakukan pengujian ekstraksi sesuai SNI 03-3640-1994. Selain itu, untuk mengetahui kekerasan (nilai penetrasi) aspal maka dengan menggunakan aspal hasil ekstraksi tersebut di atas melakukan pemulihan aspal sesuai SNI 03-4797-1998.
2. Campuran beraspal dingin yang akan diuji adalah dengan proporsi masing-masing RAP yang digunakan pada campuran, yaitu:
 - a. 100% RAP (tanpa penambahan agregat baru) dengan gradasi sesuai gradasi RAP
 - b. 40% RAP (60% agregat baru) dan yang tanpa RAP (100% agregat baru) sebagai pembanding. Gradasi yang dirancang untuk campuran dengan dan tanpa RAP adalah gradasi ditengah-tengah rentang persyaratan (gradasi ideal). Untuk mendapatkan gradasi ideal tersebut maka khusus untuk yang menggunakan 40% RAP, proporsi penggunaan agregat baru pada setiap ukuran saringannya disesuaikan dengan kebutuhan.
3. Menyiapkan aspal cair mengikat sedang (MC-250) dan kemudian melakukan pengujian sifat fisik aspal cair, terutama mencakup:
 - a) Viskositas pada temperatur 60°C , sesuai SNI 06-6721-2002
 - b) Kadar residu aspal cair, sesuai SNI 2488-2011.
 - c) Viskositas pada temperatur 60°C setelah kehilangan bahan pelarut 50% sesuai SNI 06-6721-2002.

4. Penentuan komposisi campuran untuk memperoleh kadar residu aspal cair yang sesuai, umumnya dibuatkan beberapa contoh campuran dengan kadar residu aspal cair yang bervariasi. Sebagai perkiraan awal kadar residu aspal cair.
5. Pengujian campuran beraspal dilakukan sesuai dengan standar pengujian campuran beraspal dingin yang mengacu The Asphalt Institute (1989). Untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) digunakan perencanaan dengan Metoda Marshall. Kadar aspal optimum diperoleh berdasarkan variasi campuran. Selanjutnya campuran dengan masing-masing kadar aspal tersebut, dilakukan pengujian stabilitas Marshall dan pelelehan serta volumetrik campuran.
6. Melakukan analisis dan evaluasi.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengujian bahan

Aspal cair mengikat sedang (MC-250) yang digunakan sebagai bahan pengikat campuran beraspal dingin memiliki sifat (lihat Tabel 5) dan memenuhi persyaratan sesuai Tabel 1, yaitu dengan nilai viskositas Saybolt Furol pada temperatur 60°C sebesar 287 cSt dengan titik nyala 68°C (lihat Tabel 4).

Reclaimed asphalt pavement (RAP) yang digunakan untuk bahan campuran beraspal dingin berasal dari 2 sumber, yaitu dari wilayah Jawa Tengah dan dari Bogor. Berdasarkan hasil pengujian RAP tersebut memiliki karakteristik yang berbeda seperti disajikan pada Tabel 5. Pada Tabel 5 juga disajikan agregat baru yang digunakan untuk campuran dingin yang dengan atau tanpa RAP sebagai pembanding.

Pada Tabel 5 terlihat bahwa sifat agregat baru, baik yang fraksi kasar maupun yang fraksi halus memiliki sifat sesuai dengan yang disyaratkan pada Seksi 6.3 spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan (Indonesia, 2014 Rev-3). RAP dari Jawa Tengah memiliki kadar aspal sebesar 4,8% dengan nilai penetrasi aspal 36,7 dmm dan untuk sifat keausan agregat (abrasi) cukup baik, yaitu 17% atau lebih kecil dari 40% (memenuhi persyaratan). Adapun untuk RAP dari Bogor memiliki kadar aspal relatif tinggi, yaitu sebesar 5,93% dengan nilai penetrasinya sudah rendah, yaitu sebesar 22 dmm.

Membandingkan ukuran butir RAP untuk kedua RAP yang asli dan setelah hasil ekstraksi maka terjadinya perubahan gradasi pada seluruh ukuran saringan. Gradasi setelah hasil ekstraksi untuk kedua RAP menjadi harus dan keduanya diluar batas persyaratan. Hal tersebut kemungkinan pengaruh terjadinya pecahnya agregat oleh alat penggaruk lapisan beraspal (*cold milling*), namun untuk kedua gradasi masih membentuk gradasi rapat.

Tabel 4. Karakteristik aspal cair menguap sedang (MC-250)

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian
1.	Viskositas SF pada 60° C; cSt	SNI 7729:2011	287
2.	Titik nyala; °C	SNI 2433:2011	68
3.	Penyulingan; % total isi	SNI 2488:2011	
	Sulingan pada 190 °C		14,6
	225 °C		37,5
	260 °C		47,9
	315 °C		81,3
	360 °C		100
	Sisa penyulingan sampai 360°C; % Isi		76,0
4.	Penetrasi; 0,1 mm	SNI 2456:2011	220
5.	Daktilitas; cm	SNI 2432:2011	> 140
6.	Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃ ; %	SNI 06-2438-1991	99,89
7.	Berat jenis	SNI 2441:2011	0,965
8.	Kadar air; %	SNI 06-2490-91	0

Gradasi campuran beraspal dingin

Mengacu pada gradasi RAP sesuai Tabel 5 dan Spesifikasi gradasi agregat campuran dingin pada Tabel 2, maka berdasarkan gradasi ke dua RAP asli memiliki ukuran maksimum agregat 25,4 mm dan setelah diekstraksi ukuran butir agregat maksimumnya sebesar 19 mm, yaitu seperti disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 2. Tabel 6 dan Gambar 2 terlihat bahwa gradasi RAP asli berada pada disekitar batas bawah spesifikasi, sedangkan untuk gradasi setelah ekstraksi untuk RAP Bogor berada di atas batas atas spesifikasi, sedangkan

untuk RAP Jateng umumnya masih di dalam batas spesifikasi kecuali pada ukuran saringan No 50 dan No 200 keluar batas spesifikasi.

Berdasarkan data gradasi RAP tersebut, kajian lebih lanjut untuk mengetahui sifat campuran beraspal dingin dengan memanfaatkan RAP maka pembuatan benda uji campuran beraspal dingin dengan gradasi rencana ditengah-tengah spesifikasi, baik yang hanya menggunakan agregat baru dan yang menggunakan agregat baru ditambah 40% RAP, selain itu dilakukan juga yang menggunakan 100% RAP.

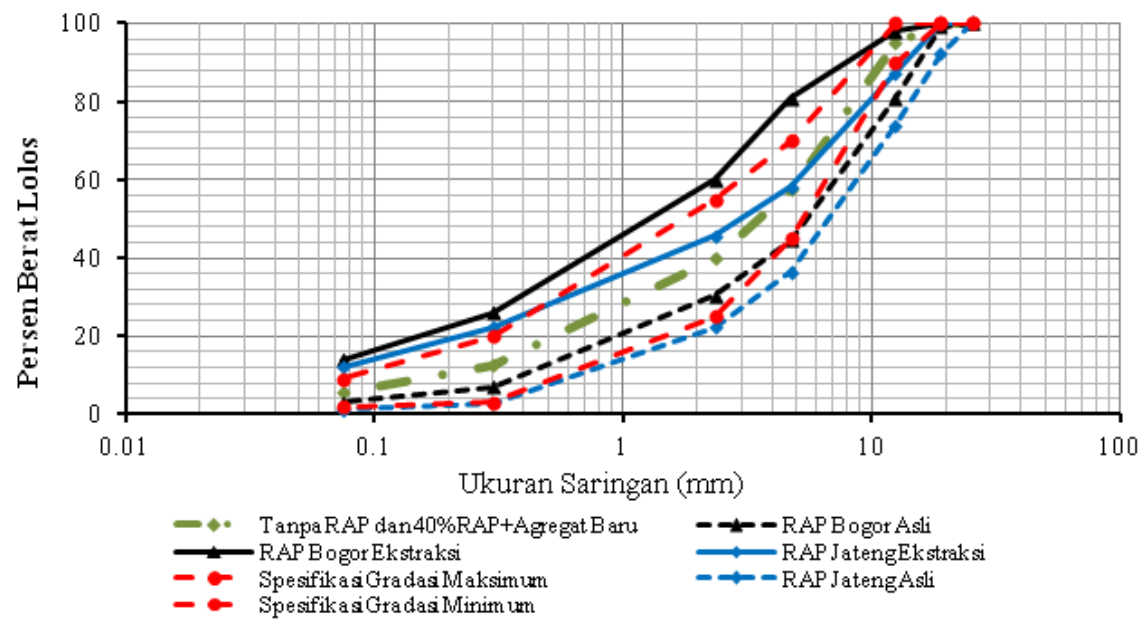
Tabel 5. Karakteristik agregat baru dan *reclaimed asphalt pavement* (RAP)

No	Jenis pengujian	Metode pengujian	Hasil pengujian					
			Agregat Baru		RAP Bogor		RAP Jateng	
			Kasar	Halus	Asli	Ekstraksi	Asli	Ekstraksi
1.	Kadar aspal; %	SNI 03-3640-1994			-	5,93	-	4,8
2.	Penetrasi; 0,1 mm	SNI 2456 : 2011			-	22	-	36,7
3.	Abrasi; %	SNI 2417:2008	17,75		-	20	-	17
4.	Berat jenis agregat kasar							
	Bulk	SNI 03-1969-2008	2,629		2,36	2,54	2,34	2,60
	SSD	&	2,677		2,39	2,53	2,38	2,64
	Apparent	SNI 03-1970-2008	2,762		2,47	2,64	2,44	2,72
	Penyerapan; %	SNI 031969-2008	1,305		1,4	1,6	1,6	1,7
5.	Berat jenis agregat halus							
	Bulk			2,606	2,51	2,64	2,53	2,65
	SSD			2,658	2,54	2,65	2,56	2,71
	Apparent			2,750	2,59	2,67	2,61	2,81
	Penyerapan; %			2,010	1,2	1,7	1,1	2,1
6.	Angularitas agregat kasar; %	SNI 7619:2012	100	59,6	-	98/96	-	94/92
7.	Analisa saringan; % lolos	SNI ASTM C 136:2012						
	1" (25,4 mm)		100		100		100	
	3/4" (19,1 mm)		100		99,3	100	92,3	100
	1/2" (12,5 mm)		13,33		81,0	98,1	74,0	87,4
	3/8" (9,5 mm)		4,05	100	68,6	95,1	60,6	76,7
	# 4 (4,76 mm)		1,89	98,98	44,5	80,9	36,5	58,1
	# 8 (2,36 mm)		1,51	68,87	30,3	60,0	22,3	45,7
	# 10 (2,00 mm)		1,45	54,3	28,2	55,1	20,2	43,2
	# 16 (1,18 mm)		1,37	39,58	21,4	44,2	13,4	36,2
	# 30 (0,60 mm)		1,29	25,85	13,0	33,9	6,6	30,1
	# 40 (0,425 mm)		1,21	22,67	10,0	30,2	4,8	26,4
	# 50 (0,30 mm)		1,18	18,06	7,0	25,9	2,9	22,4
	# 100 (0,149 mm)		1,00	13,64	4,6	19,9	1,6	17,0
	# 200 (0,075 mm)		0,68	9,86	3,2	13,9	1,2	12,2

Tabel 6. Gradasi rencana campuran beraspal dingin

Ukuran saringan	Gradasi Rencana (% berat lolos)						Spesifikasi Gradasi (% berat lolos)*	
	Tanpa RAP dan 40%RAP+ Agregat Baru	RAP Bogor		RAP Jateng		Minimum	Maksimum	
		Asli	Ekstraksi	Asli	Ekstraksi			
1" (25,4 mm)	100	100	100	100	100	100	100	
3/4" (19,1 mm)	100	99,3	100	92,3	100	100	100	
1/2" (12,5 mm)	95,0	81,0	98,1	74,0	87,4	90,0	100	
No. 4 (4,75 mm)	57,5	44,5	80,9	36,5	58,1	45,0	70,0	
No. 8 (2,36 mm)	40,0	30,3	60,0	22,3	45,7	25,0	55,0	
No. 50 (0,30 mm)	12,5	7,0	25,9	2,9	22,3	3,0	20,0	
No. 200 (0,075 mm)	5,6	3,2	13,9	1,2	12,2	2,0	9,0	

*) The asphalt Institute (1989)



Gambar 2. Gradasi rencana campuran beraspal dingin

Hasil pengujian campuran

Pengujian campuran dingin RAP menggunakan aspal cair mengacu pada *Asphalt Institute Manual Series No. 14 (MS-14)*, yaitu sesuai prosedur pengujian campuran beraspal dingin dengan aspal cair, seperti telah diuraikan pada kajian pustaka. Berdasarkan hasil pengujian, sifat campuran beraspal dingin dengan aspal cair tipe MC-250, baik yang tanpa RAP maupun yang menggunakan RAP 40% dan 100%, disajikan pada Tabel 7. Pada Tabel 7 terlihat bahwa volumetrik campuran beraspal dingin dengan MC-250, baik yang menggunakan agregat baru maupun yang

kombinasi agregat baru dengan 40% RAP serta yang menggunakan 100% RAP Bogor dan Jateng, memenuhi persyaratan. Begitu juga untuk nilai stabilitas dan stabilitas sisanya memenuhi persyaratan, namun untuk campuran beraspal dingin dengan 100% RAP, baik yang RAP Bogor maupun RAP Jateng, nilai pelelehannya di atas 4 mm atau di atas batas maksimum persyaratan.

Penggunaan aspal cair untuk setiap komposisi campuran adalah berbeda dan makin RAP yang digunakan maka pada Tabel 7 terlihat kadar residu MC-250 yang diperlukan makin sedikit.

Tabel 7. Gradasi rencana campuran beraspal dingin

Parameter Campuran	Hasil Pengujian					Persyaratan*)
	Tanpa RAP	RAP Bogor		RAP Jateng		
		40% RAP Bogor	100% RAP Bogor	40% RAP Jateng	100% RAP Jateng	
Kadar aspal optimum, %	4,55	5,15	7,70	4,85	6,35	-
• Kadar residu MC-250; %	4,55	2,80	1,82	2,80	1,55	-
• Kadar aspal RAP, %	-	2,35	5,88	2,05	4,80	-
Kepadatan; tom/m ³	2,38	2,33	2,25	2,34	2,27	-
VFB; %	72,19	75,39	79,56	75,71	79,42	-
VIMmarshall; %	4,21	3,83	3,68	3,71	3,81	3,0 - 5,0
VMA; %	15,31	15,69	18,09	15,42	18,44	Min. 15
Stabilitas; kg	543,55	415,46	1089,92	405,73	981,75	Min. 340
Pelelehan; mm	3,73	3,50	4,72	3,66	4,11	2 - 4
Stabilitas Sisa; %	98,00	98,10	90,80	97,40	93,80	Min. 75

PEMBAHASAN

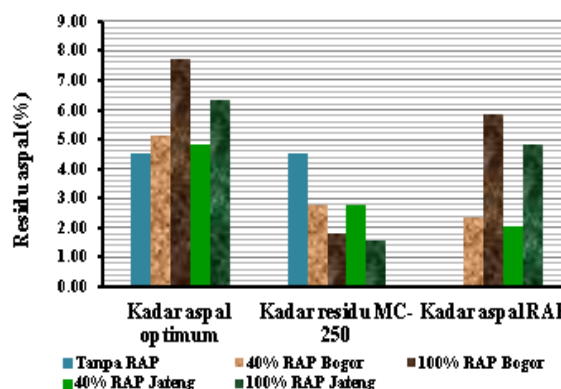
Aspal cair mengikat sedang (MC-250) yang digunakan sebagai bahan pengikat campuran beraspal dingin (lihat Tabel 4) memiliki sifat yang memenuhi persyaratan sesuai Tabel 1 (SNI 4799:2008), yaitu dengan nilai viskositas Saybolt Furol pada temperatur 60°C sebesar 287 cSt dengan titik nyala 68 °C, residu hasil penyulingan sebesar 76%, penetrasi 220 dmm, daktilitas > 140 mm dan kelarutan 99,89%.

Berdasarkan data pada Tabel 5, ukuran butir maksimum *Reclaimed asphalt pavement* (RAP) asli dari Bogor dan dari Jawa Jateng adalah 25,4 mm, sedangkan hasil ekstraksi ukuran agregat maksimum dari kedua RAP tersebut adalah 19,0 mm.

RAP dari Jawa Tengah memiliki kadar aspal lebih rendah dibandingkan RAP dari Bogor, namun untuk tingkat kekerasan aspalnya maka aspal RAP dari Jawa Tengah cukup tinggi, yaitu dengan nilai penetrasinya sebesar 36,7 dmm dan dan aspal RAP Bogor sudah rendah (22 dmm). Kekerasan agregat dari kedua RAP cukup baik dengan nilai abrasinya ≤ 20%, begitu juga agregat kasarnya memiliki bidang pecah dua lebih dari di atas 90%.

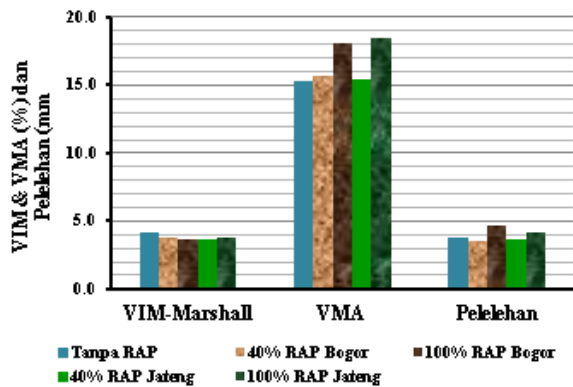
Campuran beraspal dingin dengan menggunakan RAP makin tinggi memerlukan aspal cair MC-250 semakin rendah seperti disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 3. Hal demikian dapat dipahami karena aspal yang terserap oleh agregat RAP sudah pasti kecil

atau hanya diserap sama agregat yang mengalami pecah pengaruh alat penggaruk (*cold milling*).



Gambar 3. Kadar aspal campuran beraspal dingin dengan dan tanpa RAP

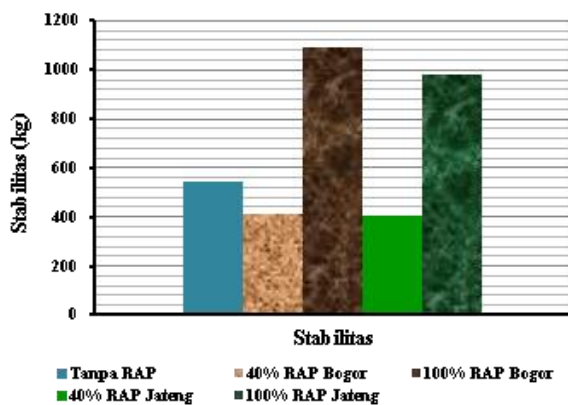
Volumetrik campuran beraspal dingin untuk semua komposisi seperti disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 4 memenuhi persyaratan. Namun untuk campuran beraspal dingin dengan 100% RAP, baik yang RAP Bogor maupun RAP Jateng, nilai pelelehannya di atas 4 mm atau di atas batas maksimum persyaratan.



Gambar 4. Nilai rongga dan pelelehan campuran beraspal dingin dengan dan tanpa RAP

Pada Tabel 7 serta Gambar 4 dan Gambar 5, untuk semua komposisi campuran beraspal dingin dengan aspal MC-250 memiliki nilai stabilitas dan stabilitas sisanya memenuhi persyaratan. Campuran beraspal dingin dengan menggunakan 100% RAP memiliki stabilitas cukup tinggi dan yang menggunakan dari Bogor memiliki nilai stabilitas tertinggi dibandingkan dengan yang menggunakan 100% RAP dari Jawa Tengah.

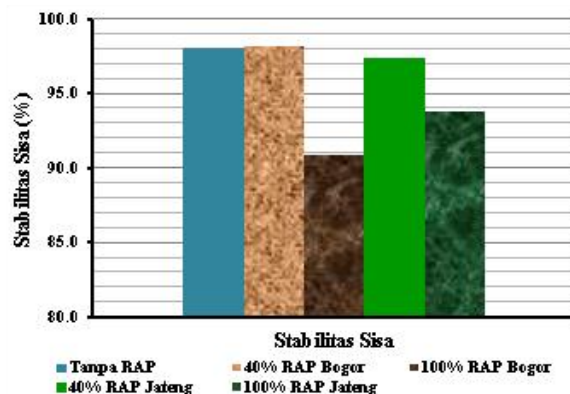
Adapun untuk nilai stabilitas sisa yang mencerminkan durabilitas campuran maka pada Gambar 6 terlihat bahwa penggunaan RAP makin banyak berpotensi memiliki durabilitas semakin rendah.



Gambar 5. Nilai stabilitas campuran beraspal dingin dengan dan tanpa RAP

Membandingkan antara campuran beraspal dingin dengan menggunakan 40% RAP dengan yang seluruhnya menggunakan agregat baru, maka pada Gambar 6 terlihat untuk campuran beraspal dingin yang

menggunakan 40% RAP Bogor memiliki nilai stabilitas sisa yang relatif sama dengan yang menggunakan seluruhnya agregat baru.



Gambar 6. Nilai stabilitas sisa campuran beraspal dingin dengan dan tanpa RAP

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Aspal cair mengikat sedang (MC-250) yang digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal dingin RAP memiliki sifat yang memenuhi persyaratan sesuai SNI 4799:2008. Adapun untuk sifat agregat baru dan agregat dari RAP harus memiliki sifat sesuai yang ditetapkan pada Seksi 6.3 spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan (Indonesia 2014).

Reclaimed asphalt pavement (RAP) asli dari kedua sumber adalah 25,4 mm, sedangkan hasil ekstraksi ukuran agregat maksimum dari RAP tersebut adalah 19,0 mm. Aspal dari RAP Bogor lebih tinggi dari pada dar RAP Jateng, namun kekerasan aspal RAP Jateng masih relatif lunak dibandingkan aspal dari RAP Bogor. Kedua RAP memiliki kualitas agregat masih cukup bagus yang memiliki nilai abrasi $\leq 20\%$ dan agregat kasarnya memiliki bidang pecah lebih dari dua di atas 90%.

Semua komposisi campuran beraspal dingin memiliki nilai volumetric yang memenuhi persyaratan. Penggunaan RAP makin banyak pada campuran beraspal dingin dapat mengurangi penggunaan aspal cair MC-250) atau dapat menghemat penggunaan aspal baru.

Penggunaan RAP 100% pada campuran beraspal dingin ini, baik RAP Bogor maupun RAP Jateng, dapat meningkatkan nilai

stabilitas. Namun untuk nilai pelelehan dan stabilitas sisanya menurun. Untuk itu, penggunaan 100% RAP pada campuran beraspal dingin dengan aspal cair MC-250 kemungkinan kurang awet atau durabilitas menurun. Sedangkan untuk penggunaan 40% RAP meskipun stabilitasnya relatif rendah tapi masih memiliki nilai stabilitas sisa yang relatif sama dengan yang menggunakan seluruhnya agregat baru.

Saran

Diperlukan uji coba skala lapangan terhadap campuran beraspal dingin dengan bahan pengikat aspal cair MC-250 dengan menggunakan variasi komposisi RAP untuk melihat workabilitas dan efektifitas serta kinerjanya

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada, Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, serta Kepala Balai Perkerasan Jalan yang telah mendukung sehingga dapat terwujudnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Asphalt Institute. 1989. *Asphalt Cold Mix Manual*, Manual Series No. 14, Third Edition. Washington DC: The Asphalt Institute.

_____. 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types*. Manual Series No. 2. Second Edition. Washington DC: The Asphalt Institute.

Badan Standar Nasional. 2014. *Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall SNI 2489:2014*. Jakarta: BSN.

_____. 2008. *Spesifikasi aspal cair tipe penguapan sesedang, SNI 4799:2008*. Jakarta: BSN.

Esenwa, M. et al. 2013. *100% Recycled Asphalt Paving, Our Experience*. Ontario: Canadian Technical Asphalt Association.

FHWA. 2001. *Basic Asphalt Recycling Manual*. New York: Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation.

Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga. 2014.

Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga

National Asphalt Pavement Association. 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Second Edition. Maryland: NAPA .

Nikolaides Athanassios. 2015. *Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality*. New York: CRC Press .

Novita, P., Subagio, B. S., & Rahman, H. 2011. *Kinerja Kelelahan Campuran Beton Aspal*. *Jurnal Transportasi*, 11.

O'Sullivan, K. A. 2011. *Rejuvenation of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Hot Mix Asphalt Recycling with High RAP Content*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.

Suaryana, Nyoman. 2008. *Laporan uji coba daur ulang perkerasan beraspal di Jalan Pantura (lokasi Losari)*. Bandung: Pusat Litbang Jalan.

Sugeng B.S., Rahman H. dan Bethary R.T.. 2010, *Kinerja Fatigue dari Campuran Lapis Pengikat (AC-BC) yang Memakai Material Hasil Daur Ulang (Recycling) dan Polimer Neoprene*. *Jurnal FSTPT*. Simposium XIII, Semarang: Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi.

Shell Bitumen. 2003. *Shell Bitumen Handbook Fifth Edition*. London: Thomas Telford Publishing.

National Research Council. 1994. *Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave)*. SHRP-A-410. Washington DC: TRB.

Sony. 2015. *Pemerintah Terus Upayakan Perbaikan Jalan Yang Rusak*. [www.pu.go.id: http://www1.pu.go.id/uploads/berita/ppw080606sn.htm](http://www1.pu.go.id/uploads/berita/ppw080606sn.htm) (diakses Mei 2015)

Sumantri, B. dkk. 2014. "Pengaruh Peremaja Oli Bekas dan Solar Terhadap Karakteristik Marshall Perkerasan Daur Ulang Dengan Asbuton". *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*. No. 235.

Washington State Department of Transportation (WSDOT), January 2005. *Hot Mix Asphalt Production and Testing, Construction Inspector's Training Manual*. Washington, DC : WSDOT.

Widajat D. 2007. *Laporan uji coba daur ulang perkerasan beraspal di Jalan Pantura (lokasi Jatibarang)*. Pusat Litbang Jalan, Bandung