

**PENGARUH BAHAN PEREMAJA TERHADAP KINERJA CAMPURAN
BERASPAL PANAS BERGRADASI MENERUS MENGGUNAKAN
DAUR ULANG PERKERASAN BERASPAL
(THE INFLUENCE OF REJUVENATOR ON CONTINUOUS GRADED
HOT MIXED ASPHALT PERFORMANCE USING RECLAIMED
ASPHALT PAVEMENT)**

Nono

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jalan A.H. Nasution no.264, Bandung 40294
e-mail: nono.bbpj@pusjatan.pu.go.id
Diterima: 26 Mei 2016; direvisi: 30 Mei 2016; disetujui: 22 Juni 2016

ABSTRAK

Kebutuhan aspal dan agregat untuk pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahun selalu meningkat, padahal aspal selalu diimpor dan ketersediaan agregat juga semakin berkurang. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka salah satu upaya untuk mengatasinya adalah dengan memanfaatkan produk limbah yang diperoleh dari aktivitas pemeliharaan perkerasan lentur, yaitu material daur ulang perkerasan beraspal Reclaimed Asphalt Pavement. Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh tiga bahan peremaja terhadap kinerja campuran beraspal panas yang menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement. Metodologi yang digunakan adalah eksperimental di laboratorium, yaitu dengan membandingkan antara kinerja campuran beraspal yang menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement ditambah peremaja dan yang tidak menggunakan peremaja, serta membandingkan pengaruh tiga jenis peremaja terhadap kinerja setiap campuran beraspal panas. Hasil studi ini menunjukkan bahwa penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement dalam campuran beraspal panas yang tanpa peremaja adalah maksimum 10%. Hasil pengujian terhadap ketahanan deformasi dan kelelahan, diperoleh bahwa penggunaan peremaja RejIRE dalam campuran beraspal panas yang menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement dapat mencapai 30% dan memiliki kinerja yang terbaik. Penggunaan bahan peremaja RejIRE dalam campuran beraspal panas yang menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement dapat menjadi salah satu alternatif untuk digunakan dalam campuran beraspal.

Kata kunci: bahan peremaja, RejIRE, kinerja campuran beraspal, gradasi menerus, Reclaimed Asphalt Pavement.

ABSTRACT

The need of Asphalt and aggregate quantities for construction and maintenance of asphalt pavement each year is always increasing, whereas the asphalt is imported and aggregate availability also decreases. To overcome these problems, one of the efforts to resolve is to utilize waste products derived from flexible pavement maintenance activities, ie. material recycling of asphalt pavement Reclaimed Asphalt Pavement. The purpose of this paper is to evaluate the effect of three rejuvenators on the performance of hot mix asphalt using reclaimed asphalt pavement. The Methodology used is in experimental laboratory namely by comparing the performance of hot mix asphalt using Reclaimed Asphalt Pavement with and without rejuvenator, and comparing the effect of the three rejuvenators on each hot mix asphalt performance. The results of this study showed that the use of Reclaimed Asphalt Pavement in hot mix asphalt without rejuvenator is maximum 10%. According to the testing results against deformation and fatigue resistance, it is obtained that the use of RejIRE in hot mix asphalt using Reclaimed Asphalt Pavement reached up to 30% and showed the best performance. The use of RejIRE rejuvenator in hot mix asphalt using Reclaimed Asphalt Pavement could be an as alternative use for asphalt mixture.

Keywords: rejuvenator, RejIRE, asphalt mix performance, dense graded, Reclaimed Asphalt 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 untuk mengatasi kendala kekurangan aspal adalah pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*, khususnya untuk pekerjaan pemeliharaan perkerasan beraspal 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.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dan hasil aplikasi di lapangan, penggunaan material daur ulang seringkali menemui beberapa kendala antara lain menurunnya sifat fisik dari material daur ulang, mengingat 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 memberikan beberapa manfaat antara lain untuk mengatasi keterbatasan bahan perkerasan jalan (Subagio, B.S. 2009). 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.

Penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas dengan proporsi 15% atau lebih, harus menggunakan aspal baru yang lebih lunak (AASHTO 2012b). Qiu et al. (2013) menyampaikan untuk penggunaan aspal yang telah menua dapat ditambah dengan bahan peremaja aspal. Bahan peremaja merupakan suatu bahan pengikat untuk *RAP* yang mengandung senyawa aromatik ringan

untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi pada *RAP*.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mengevaluasi kinerja campuran beraspal panas menggunakan *RAP* dengan bahan pengikat aspal pen 60-70 dengan atau tanpa bahan peremaja dalam skala di laboratorium. Adapun jenis pengujiannya mencakup parameter Marshall, volumetrik campuran beraspal, ketahanan terhadap deformasi, dan ketahanan terhadap kelelahan.

KAJIAN PUSTAKA

Perkerasan beraspal dengan menggunakan bahan daur ulang

Salah satu metoda untuk mengatasi atau meningkatkan struktur perkerasan jalan beraspal adalah metoda daur ulang. penggunaan metode daur ulang untuk mengatasi permasalahan perbaikan jalan atau rekonstruksi jalan dapat menghemat penggunaan aspal dan agregat, serta tidak merusak geometri jalan akibat penambahan lapisan perkerasan yang terus menerus (Sumantri et al. 2014).

penurunan sifat fisik *RAP* selama pada masa layan dapat dimanfaatkan untuk bahan perkerasan jalan, dengan menambahkan *RAP* tersebut pada campuran beraspal baru (Novita, Subagio, dan Rahman 2011). Secara umum perkerasan daur ulang memanfaatkan kembali material (agregat dan aspal) perkerasan lama untuk dijadikan sebagai perkerasan baru yang ditambahkan agregat baru dan atau bahan peremaja. Untuk mencapai hasil yang memadai, 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 mempunyai kelelahan, sehingga aspal pada *RAP* menjadi mengeras (O'Sullivan 2011). Hasil kajian yang telah dilakukan oleh Suaryana (2008) tentang pengaruh penambahan *RAP* pada campuran beraspal

panas lapis antara (AC-BC) adalah makin banyak penggunaan *RAP* makin besar penurunan pada temperatur campuran (lihat Tabel 1). pengaruh *RAP* pada karakteristik campuran seperti ditunjukkan pada Tabel 2, terlihat makin banyak penggunaan *RAP* maka nilai stabilitas Marshall makin menurun.

Beberapa negara di Eropa telah membatasi penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal, yaitu berdasarkan kekerasan bitumennya (nilai penetrasi dan atau nilai titik leleh) seperti disajikan pada Tabel 3 (Nono 2015).

Pada Tabel 3 terlihat bahwa pada umumnya *RAP* yang digunakan untuk

campuran beraspal adalah yang memiliki nilai penetrasi >15 dmm dan titik lelehnya < 70 °C. Belgia dan Perancis masih mengizinkan menggunakan *RAP* yang memiliki nilai penetrasinya lebih rendah, yaitu berturut-turut >10 dmm dan >5 dmm.

Proporsi *RAP* dalam campuran beraspal panas yang praktis sesuai The Asphalt Institute (1993) adalah sekitar 10% - 35% untuk unit produksi jenis takaran, sedangkan untuk unit produksi jenis drum kuantitas yang praktis adalah sekitar 10% - 50%.

Tabel 1. pengaruh *RAP* pada temperatur campuran

No	Uraian	10% <i>RAP</i> dengan Variasi Kadar Air:				15% <i>RAP</i> dengan Variasi Kadar Air:				20% <i>RAP</i> dengan Variasi Kadar Air:			
		0%	2%	4%	6%	0%	2%	4%	6%	0%	2%	4%	6%
		1	Temperatur Agregat	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0
2	Temperatur <i>RAP</i>	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
3	Temperatur Aspal	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0
4	Temperatur Campuran												
	Awal	146,8	144,9	143,3	123,3	141,9	133,5	129,0	122,2	137,4	130,4	119,7	113,9
	1 menit	146,8	144,9	143,3	123,3	141,9	133,5	128,9	122,2	137,4	130,4	118,3	113,9
	2 menit	146,8	144,8	143,4	123,3	141,9	134,4	128,8	122,2	137,4	130,4	118,2	113,8
	5 menit	146,8	144,6	143,4	122,0	142,1	134,1	128,6	121,9	137,4	130,3	117,2	112,4
	10 menit	146,6	144,3	142,8	120,3	141,9	133,7	128,1	121,4	137,2	129,8	115,4	108,4
	15 menit	146,3	143,8	141,9	119,1	141,8	132,4	127,4	120,3	136,9	129,9	114,4	102,2
	30 menit	143,8	141,0	137,9	114,8	138,4	129,4	123,7	116,9	133,2	124,4	112,7	99,1
	45 menit	138,5	135,1	132,4	109,6	132,7	123,6	119,9	112,4	126,9	119,3	106,7	97,1
	60 menit	132,1	128,1	125,8	104,5	125,2	119,7	114,0	107,2	118,8	112,9	102,6	94,2

Sumber: Suaryana (2008)

Tabel 2. pengaruh *RAP* pada karakteristik campuran

No	Karakteristik Campuran	Hasil pengujian untuk Variasi Proporsi <i>RAP</i> Dalam Campuran		
		10%	15%	20%
1	Kadar Aspal <i>RAP</i> ; %	5,4	5,4	5,4
2	Temperatur Agregat; °C	180	180	180
3	Temperatur Aspal; °C	150	150	150
4	Temperatur <i>RAP</i>	Temperatur Ruang	Temperatur Ruang	Temperatur Ruang
5	Temperatur Setelah pencampuran; °C	151	148	142
6	Kadar Aspal Optimum; %	5,90	5,90	5,90
7	Kepadatan; gr/cc	2,347	2,350	2,337
8	Rongga dalam Mineral Agregat; %	16,23	16,12	16,59
9	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>) Marshall; %	3,29	3,80	4,14
10	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>) pada kepadatan membal (<i>PRD</i>); %	-	-	-
11	Rongga Terisi Bitumen (<i>VFB</i>); %	79,7	76,4	75,0
12	Stabilitas; kg	843,1	838,9	789,0
13	Kelelahan; mm	4,01	4,36	4,95
14	Marshall Quotient; kg/mm	211,8	195,5	162,4
15	Stabilitas Dinamis; Lintasan/mm	1615,4	2520,0	1615,4

Sumber: Suaryana (2008)

Tabel 3. Batasan sifat aspal *RAP* hasil pemulihan yang direkomendasikan untuk daur ulang

Negara	Sifat aspal <i>RAP</i>	
	Penetrasi (dmm)	Titik lembek ($^{\circ}\text{C}$)
Perancis	>5	<77
Belgia	>10	-
Inggris	>15	-
Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal	>15	<70
Slowakia	-	<70

Bahan peremaja (*Rejuvenator*)

Rejuvenator merupakan suatu peremaja bahan pengikat untuk *RAP*, di mana didalamnya terkandung dan tersusun senyawa aromatik ringan, untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi pada *RAP*. Kemampuan senyawa aromatik ringan dari *rejuvenator* harus dapat menembus lapisan aspal dan berdifusi pada *RAP* sehingga dapat merekonstruksi aspal yang telah menua menjadi bahan lapis perkerasan baru (Qiu et al. 2013).

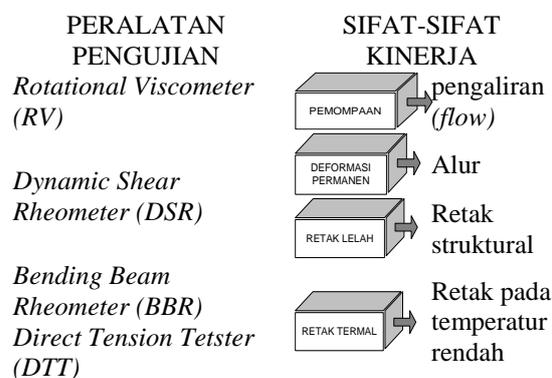
Rejuvenator merupakan suatu aditif dengan viskositas rendah yang dirancang untuk mengembalikan sifat-sifat bahan pengikat pada *RAP* dan untuk meningkatkan sifat-sifat campuran aspal yang mengandung *RAP*. Peremaja yang ideal tidak hanya mengembalikan sifat mekanik aspal, tetapi harus dapat mengoreksi komposisi kimia dari aspal (Lehtimäki 2012). Bahan *rejuvenator* dari senyawa aromatik yang sangat ringan dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak pada temperatur rendah dan deformasi permanen (Lehtimäki 2012). Ekstrak senyawa aromatik pada peremaja konvensional merupakan suatu molekul aromatik polar yang dominan, dengan kandungan sekitar 75% campuran minyak dan resin dengan sedikit minyak jenuh (Yu et al. 2014).

Bahan pengikat daur ulang dari bahan petrokimia yang asli, minyak goreng dan bitumen aspal yang lembek dengan penetrasi 160/220 dapat digunakan sebagai bahan *rejuvenator* (Dony et al. 2012).

Metoda pembuatan rancangan campuran beraspal panas menggunakan *RAP*

Berdasarkan spesifikasi aspal sesuai kelas kinerja (*Performance Grade, PG*), jenis pengujian aspalnya yaitu mengukur sifat-sifat

fisik yang dapat dikaitkan langsung dengan kinerja di lapangan menurut prinsip-prinsip teknis. Selain itu, pengujian aspal berdasarkan kelas kinerja juga dilakukan pada temperatur perkerasan di lapangan (AASHTO 2012a). Pada Gambar 1 ditunjukkan hubungan antara jenis pengujian dengan kinerja aspal.



Gambar 1. Hubungan antara pengujian dan kinerja aspal

Salah satu metode yang disarankan untuk meningkatkan daya tahan campuran beraspal panas dengan proporsi *RAP* yang tinggi adalah untuk menyesuaikan kelas pengikat baru yang akan digunakan. AASHTO M 323 (AASHTO 2012b) telah merekomendasikan penggunaan bahan pengikat baru didasarkan pada persentase penggunaan *RAP* (lihat Tabel 4). Cara pembuatan grafik pencampuran mengacu AASHTO M 323 (AASHTO 2012b).

Tabel 4. Kelas aspal yang direkomendasikan sesuai proporsi *RAP*

penggunaan <i>RAP</i> (%)	Kelas aspal baru yang direkomendasikan
< 15	Tidak ada perubahan kelas aspal baru
15-25	Pilih aspal baru dengan kelas satu tingkat lebih rendah (lebih lunak) dari Aspal yang biasa digunakan (misal, pilih PG 58 bilamana yang biasa digunakan PG 64)
>25	Direkomendasikan menggunakan Grafik pencampuran (<i>blending charts</i>)

Sumber: AASHTO M 323 (AASHTO 2012b)

Spesifikasi campuran beraspal panas

Acuan yang digunakan untuk mengevaluasi sifat campuran beraspal panas dengan memanfaatkan *RAP* adalah:

1. Sifat agregat dan aspal keras yang digunakan mengacu Spesifikasi Umum

Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi-3 (Indonesia 2014).

2. Gradasi agregat untuk campuran beraspal panas mengacu mengacu Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi-3 (Indonesia 2014), lihat Tabel 5.
3. Ketentuan campuran beraspal panas mengacu pada Tabel 6 Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi-3 (Indonesia 2014).
4. Persiapan benda uji untuk pengujian Marshall mengacu pada ASTM D6926-10 (ASTM 2011) dan pengujian parameter Marshall sesuai SNI 2489:2014. (BSN 2014)

Tabel 5. Ketentuan gradasi agregat campuran beraspal panas

Ukuran ayakan	Persen berat lolos terhadap total agregat dalam campuran Laston (AC)		
	WC	BC	Base
1 ½ in (37,5 mm)			100
1 in (25 mm)		100	90--100
¾ in (19 mm)	100	90--100	76--90
½ in (12,5 mm)	90--100	75--90	60--78
3/8 in (9,5 mm)	77--90	66--82	52--71
No. 4 (4,75 mm)	53--69	46--64	35--54
No. 8 (2,36 mm)	33--53	30--49	23--41
No. 16 (1,18 mm)	21--40	18--38	14--30
No. 30 (0,6 mm)	14-30	12--28	10--22
No. 50 (0,3 mm)	9--22	7--20	6--15
No. 100 (0,15 mm)	6--15	5--13	4--10
No. 200 (0,075 mm)	4--10	4--8	3--7

Sumber: Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Indonesia 2014)

Tabel 6. Ketentuancampuran beraspal panas

Sifat-sifat campuran	Laston		
	WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang	75		112
Rasio agregat lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif		0,6--1,4	
Rongga dalam campuran (VIM), %		3,0—5,0	
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min. 14	Min. 13	Min. 12
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min. 65	Min. 65	Min. 65
Stabilitas Marshall, kg	Min. 800	Min. 800	Min. 1800
Pelelehan, mm	2--4		3,5-- 5,5
Tensile Strength Ratio (TSR) pada VIM 7% ± 0,5% , (%)		Min. 80	
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>refusal</i>), %		Min. 2	

Sumber: Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Indonesia 2014)

HIPOTESIS

Penggunaan bahan peremaja dapat meningkatkan penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas yang memiliki kinerja baik. Jenis peremaja ReJIRE memberikan kinerja yang paling baik dibandingkan dengan peremaja minyak goreng curah nabati dan Oli SAE 10.

METODOLOGI

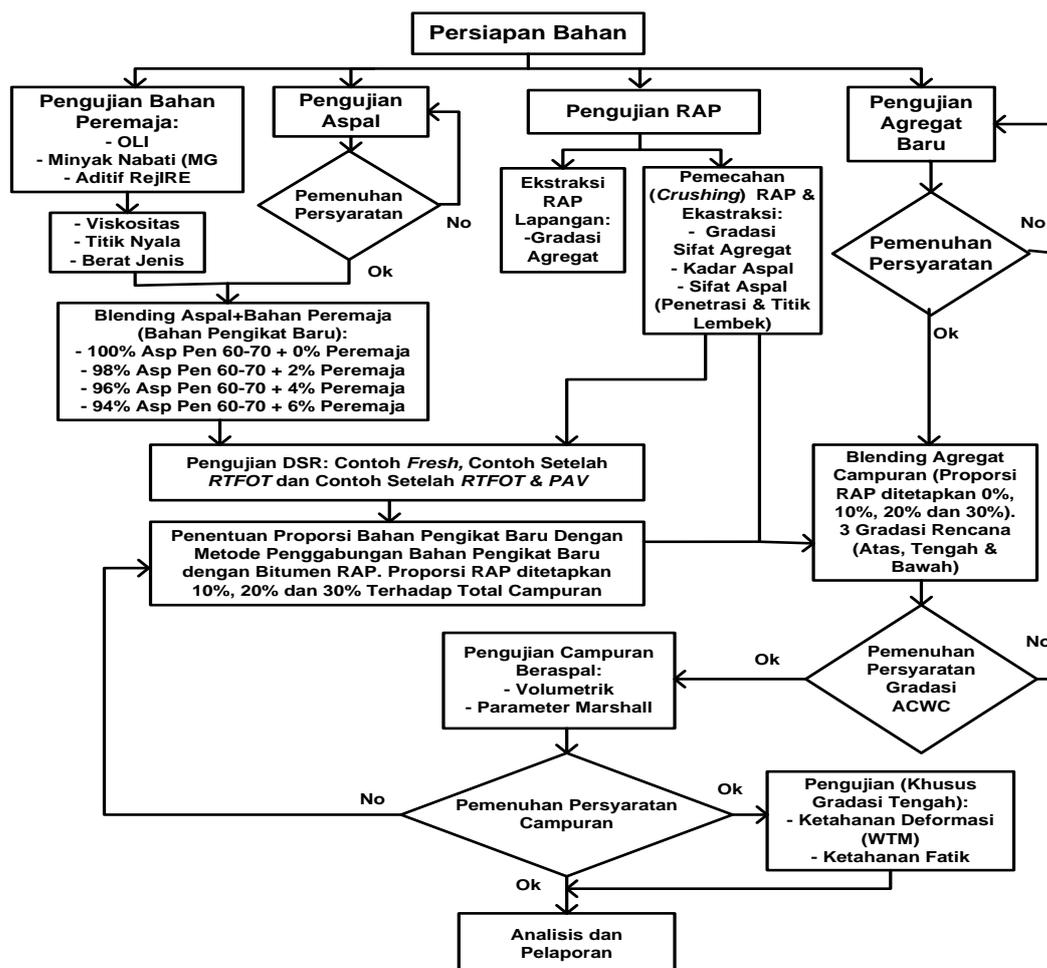
Dalam mengevaluasi pengaruh tiga bahan peremaja terhadap kinerja campuran beraspal panas yang menggunakan *RAP*, pengujian yang dilakukan terbatas pada pengujian skala di laboratorium dengan

tahapan sesuai bagan alir pada Gambar 2 dengan uraian sebagai berikut:

1. *RAP* yang digunakan adalah bersumber dari Bogor dan untuk persiapan contoh ujinya menggunakan SNI 13-6717-2002 (BSN 2002). Selanjutnya *RAP* dari lapangan di uji gradasinya dan sebagian dipecah menggunakan alat pemecah batu agar lolos saringan 19 mm. Untuk mengetahui kadar aspal dan gradasi agregat dari *RAP*, dilakukan pengujian ekstraksi sesuai SNI 03-3640-1994 (BSN 1994). Selain itu, untuk mengetahui nilai penetrasi dan titik lembek, maka aspal hasil ekstraksi tersebut di atas dipulihkan sesuai SNI 4797:2015 (BSN 2015). Selanjutnya dilakukan pengujian *DSR* untuk aspal *RAP* hasil pemulihan dan setelah *RTFOT*.

2. Menyiapkan aspal pen 60-70 dan melakukan pengujian sifat fisik sesuai spesifikasi umum serta melakukan pengujian *DSR* untuk aspal asli, setelah *RTFOT* dan setelah *PAV*.
3. Menyiapkan agregat, baik agregat kasar maupun agregat halus. Selanjutnya melakukan pengujian sifat masing-masing agregat tersebut serta melakukan penyaringan sesuai ukuran saringan yang sesuai ukuran saringan yang diperlukan.
4. Menyiapkan bahan peremaja yang terdiri atas minyak goreng curah nabati (MG), Oli SAE 10 dan bahan peremaja *RejIRE* hasil penelitian Sjahdnulirwan dan Nono (2015).
5. Campuran beraspal panas yang akan diuji adalah dengan proporsi *RAP* yang bervariasi, sedangkan penggunaan bahan peremaja proporsinya ditentukan sesuai

- proporsi *RAP* yang digunakan pada AASHTO M 323 (AASHTO 2012b) dan ditetapkan proporsinya sebanyak 0%, 10%, 20% dan 30%. Agar gradasi agregat campuran sesuai dengan gradasi rancangan maka penambahan agregat baru proporsinya disesuaikan untuk setiap ukuran saringan.
6. penentuan komposisi campuran untuk memperoleh kadar aspal total yang sesuai, umumnya dibuatkan beberapa contoh campuran dengan kadar aspal total yang bervariasi. Proses pencampuran beraspal yang menggunakan *RAP* dilaksanakan sistim kering atau agregat dipanaskan kemudian dicampur *RAP* dan baru kemudian bahan pengikat (aspal).



Gambar 2. Tahapan kegiatan pengujian di laboratorium

7. Untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum 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.
8. Untuk mengetahui pengaruh tiga bahan peremaja terhadap kinerja campuran beraspal panas dengan menggunakan RAP, jenis pengujianya adalah *Wheel Tracking Machine (WTM)* dan pengujian kelelahan dengan alat *Beam Fatigue Apparatus (BFA)*, yaitu pada campuran beraspal dengan kadar aspal optimum dengan gradasi ditengah-tengah persyaratan. Selain itu, pengujian kinerja tersebut dilakukan juga pada campuran beraspal panas dengan menggunakan 0% dan 10% RAP sebagai bahan pembanding.
9. Melakukan analisis dan evaluasi.

HASIL DAN ANALISIS

Sifat RAP

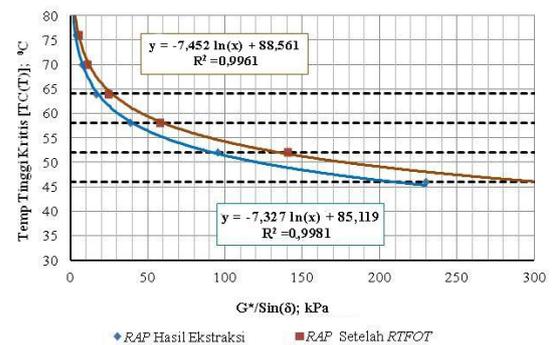
RAP yang diambil untuk kegiatan kajian adalah yang bersumber dari Bogor dan sifat fisiknya disajikan pada Tabel 7. Adapun hasil pengujian DSR pada aspal RAP hasil pemulihan dan hasil penuaan dengan *Rolling Thin-Film Oven (RTFO)* disajikan pada Gambar 3. RAP yang digunakan hasil pengujian DSR diperoleh RAP yang akan digunakan termasuk PG 82(28).

Tabel 7. Sifat fisik RAP

No	Jenis pengujian	Hasil pengujian	
		Asli	Hasil Ekstraksi
1	Analisa saringan; % berat lolos		
	1"	100	-
	3/4"	85,63	100
	1/2"	74,77	98,09
	3/8"	68,47	95,13
	No. 4	51,17	80,92
	No. 8	35,49	59,96
	No. 16	22,14	44,19
	No. 30	12,62	33,94
	No. 50	6,00	25,91
	No. 100	2,52	19,85
	No. 200	0,65	13,95

Tabel 7. Sifat fisik RAP, lanjutan

No	Jenis pengujian	Hasil pengujian	
		Asli	Hasil Ekstraksi
2	Kadar aspal; %	-	5,93
3	Kadar air; %	-	1,86
4	penetrasi; dmm	-	22
5	Titik lembek; °C	-	66
6	Daktilitas; cm	-	11,8
7	Berat jenis	-	1,0584



Gambar 3. Hubungan temperatur tinggi kritis RAP dengan $G^*/\text{Sin}(\delta)$;

Sifat agregat

Agregat yang digunakan untuk bahan campuran beraspal panas dengan menggunakan RAP adalah agregat yang bersumber dari Jawa Barat. Adapun data sifat fisik agregat seperti disajikan pada Tabel 8. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan.

Tabel 8. Sifat agregat

No	Jenis pengujian	Jenis pengujian		
		Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus
1	Abrasi; %	17,75	-	-
2	Setara Pasir	-	-	60,75
3	Berat jenis	-	-	-
	bulk	2,677	2,629	2,606
	SSD	2,704	2,677	2,658
	apparent	2,763	2,762	2,750
4	penyerapan; %	0,977	1,832	2,010
5	Angularitas Halus; %	-	-	59,64
6	Angularitas Kasar; %	100	100	-
7	Kelekatan; %	-	> 95	-
8	Partikel Pipih dan lonjong; %	10	-	-

Sifat bahan Peremaja (*Rejuvenator*)

Untuk penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas, terutama dengan *RAP* proporsi tinggi harus menggunakan aspal *PG* rendah (aspal yang lunak). Untuk membuat aspal *PG* rendah tersebut pada tulisan ini dicoba dengan menggunakan 3 jenis bahan pelunak atau peremaja, yaitu minyak goreng curah nabati (*MG*), Oli SAE-10 dan *RejIRE*. Sifat ketiga bahan peremaja tersebut disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Sifat bahan peremaja

No.	Jenis pengujian	Hasil pengujian		
		MG	Oli	RejIRE
1.	Viskositas pada 25°C; cSt	103	165	276
	Viskositas pada 60°C; cSt	28,6	34,9	39,1
2.	Titik nyala; °C	322	218	296
3.	Berat jenis	0,921	0,874	0,996

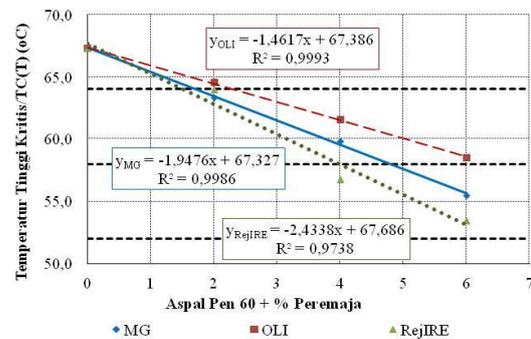
Sifat Aspal pen 60 dan setelah ditambah variasi bahan peremaja

Sifat Aspal pen 60 yang akan digunakan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi-3 (Indonesia 2014) dan hasil pengujian *DSR* aspal pen 60-70 yang digunakan termasuk *PG 64*(19).

Untuk membuat aspal baru, yaitu campuran antara aspal pen 60-70 dengan variasi bahan peremaja, maka pembuatannya

dilakukan dengan menggunakan alat pencampur khusus. Proses pencampuran aspal pen 60 dipanaskan sampai dengan 130°C kemudian dimasukkan bahan peremaja kemudian diaduk selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm.

Sifat fisik campuran antara aspal pen 60 dengan jenis dan variasi proporsi masing-masing peremaja disajikan pada Tabel 10. Adapun temperatur kritis campuran antara aspal pen 60 dengan variasi proporsi *MG*, dengan variasi proporsi Oli, dan dengan variasi proporsi *RejIRE* hasil pengujian *DSR* disajikan pada Tabel 11 serta pada Gambar 4 (temperatur tinggi kritis benda uji *fresh*), Gambar 5 (temperatur tinggi kritis benda uji setelah *RTFO*) dan Gambar 6 (temperatur menengah kritis { $T_{C(M)}$ } yaitu benda uji setelah *PAV*).



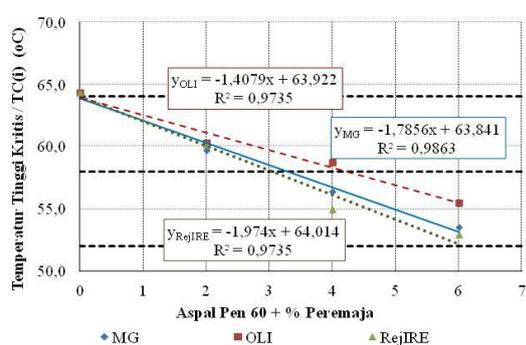
Gambar 4. Hubungan antara temperatur tinggi kritis benda uji *fresh* dengan penambahan variasi peremaja

Tabel 10. Sifat fisik bahan pengikat Aspal pen 60-70 ditambah variasi *MG*, Oli dan *RejIRE*

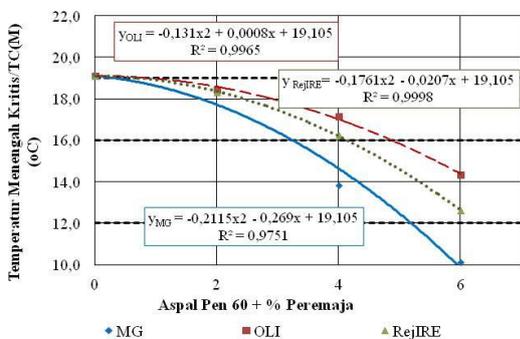
No.	Jenis pengujian	Hasil pengujian									
		Aspal pen 60-70	MG + pen 60-70			Oli + pen 60-70			RejIRE + pen 60-70		
			2% MG: 98% pen 60-70	4% MG: 96% pen 60-70	6% MG: 94% pen 60-70	2% Oli: 98% pen 60-70	4% Oli: 96% pen 60-70	6% Oli: 94% pen 60-70	2% RejIRE: 98% pen 60-70	4% RejIRE: 96% pen 60-70	6% RejIRE: 94% pen 60-70
1.	penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik; 0,1 mm	66	104	141	195	91	122	172	102	155	255
2.	Viskositas absolut pada 60°C; Pa.s	211,1	75,9	68,9	40,1	107	93,5	72,6	89,5	75,3	59,9
3.	Viskositas pada 135°C; cSt	380,4	305	250	215	350	300	255	330	275	225
4.	Titik lembek; °C	48,4	44,7	41,1	38,5	46,0	44,0	41,0	45,5	41,5	39,0
5.	Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/ menit; cm	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140
6.	Titik nyala (<i>COC</i>); °C	287	339	337	333	326	315	302	325	323	307
7.	Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ ; %	99,8323	99,851	99,828	99,816	99,866	99,854	99,818	99,868	99,801	99,776
8.	Berat jenis	1,039	1,0371	1,0342	1,0304	1,0354	1,0307	1,0267	1,0394	1,0378	1,0368
9.	Kehilangan berat (<i>TFOT</i>); %	0,0376	0,033	0,046	0,058	0,007	0,056	0,095	0,009	0,040	0,043
10.	penetrasi setelah <i>TFOT</i> ; %	80,6	76,0	76,2	84,6	79,1	63,9	64,5	74,5	71,6	60
11.	Daktilitas setelah <i>TFOT</i> ; cm	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140	>140
12.	Perkiraan suhu pencampuran; °C	150-156	146-152	142-148	139-145	147-153	144-150	141-147	148-153	141-147	139-144
13.	Perkiraan suhu pematangan; °C	135-145	134-139	130-135	128-133	134-140	131-137	129-134	137-142	131-135	127-132

Tabel 11. Temperatur kritis bahan pengikat Aspal pen 60-70 ditambah variasi MG, Oli dan RejIRE hasil pengujian DSR

Peremaja	FRESH			Setelah RTFOT		Setelah PAV	
	% Bhn Tambah	G*/Sin(δ) Pa, Min.	Temperatur Kritis (Tc)	G*/Sin(δ) Pa, Min.	Temperatur Kritis (Tc)	G* Sin(δ) Pa, Min.	Temperatur Kritis (Tc)
MG	0	1000	67,29	2200	64,34	5000	19,11
	2		63,36		59,68		18,52
	4		59,81		56,37		13,85
	6		55,49		53,55		10,14
Oli	0	1000	67,29	2200	64,34	5000	19,11
	2		64,59		60,26		18,44
	4		61,57		58,72		17,16
	6		58,55		55,47		14,35
RejIRE	0	1000	67,29	2200	64,34	5000	19,11
	2		64,02		60,17		18,31
	4		56,75		54,93		16,26
	6		53,48		52,93		12,63



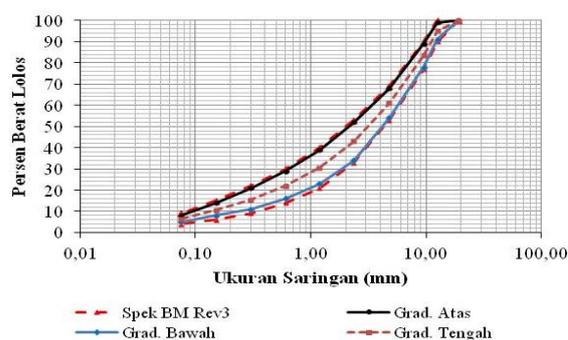
Gambar 5. Hubungan antara temperatur tinggi kritis benda uji setelah RTFOT dengan penambahan variasi peremaja



Gambar 6. Hubungan antara temperatur menengah kritis benda uji setelah PAV dengan penambahan variasi peremaja

Gradasi campuran beraspal panas rencana dengan atau tanpa RAP

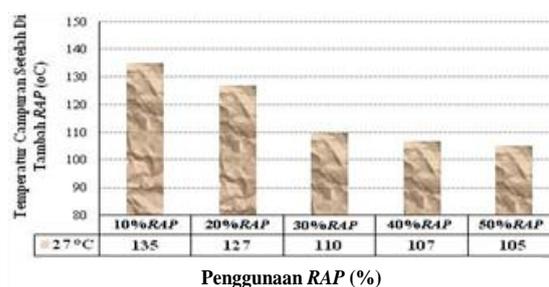
Gradasi agregat campuran untuk pembuatan campuran beraspal panas adalah gradasi lapis aus (ACWC) sesuai spesifikasi umum Bina Marga Revisi-3 dengan 3 variasi gradasi, yaitu gradasi atas, tengah dan bawah, baik gradasi campuran dengan RAP maupun tanpa RAP (lihat Gambar 7).



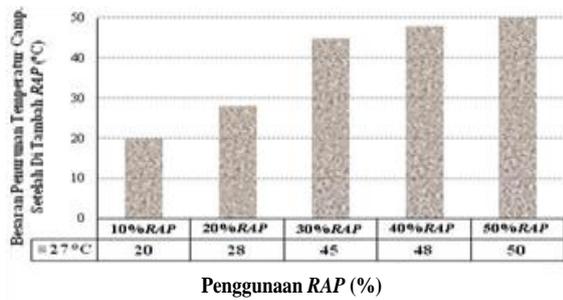
Gambar 7. Variasi gradasi campuran rencana

Pengaruh penambahan RAP terhadap temperatur campuran beraspal panas dengan bahan pengikat aspal pen 60-70

Pengaruh variasi penambahan RAP terhadap total campuran beraspal panas telah dilakukan di laboratorium, yaitu seperti terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Temperatur pencampuran dengan aspal pen 60-70 adalah 155°C sesuai Tabel 10.



Gambar 8. Temperatur campuran beraspal panas dengan aspal pen 60-70 setelah ditambah variasi proporsi RAP



Gambar 9. Besaran penurunan temperatur campuran beraspal panas dengan aspal pen 60-70 setelah ditambah variasi proporsi *RAP*

Berdasarkan data pada Gambar 8 dan Gambar 9 maka dengan penggunaan 10% *RAP* temperatur mengalami penurunan sekitar 20°C. Untuk itu, agar sesuai dengan temperatur pencampuran dan pemadatan sesuai dengan viskositas aspal pen 60-70, diperlukan pemanasan agregat yang lebih tinggi.

Penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas dan bahan peremaja

Proporsi penggunaan *RAP* dapat ditentukan berdasarkan spesifikasi gradasi dan kelas bahan pengikat yang tersedia. Untuk itu, sesuai AASHTO M 323 (AASHTO 2012b), ada dua cara untuk penggunaan *RAP*, yaitu:

1. Pencampuran pada persentase *RAP* yang telah diketahui
2. Pencampuran dengan bahan pengikat baru yang diketahui

Bilamana bahan pengikat baru yang diketahui maka berdasarkan data *DSR* yang telah diperoleh, yaitu temperatur tinggi kritis $\{T_{C(T)}\}$ untuk *RAP* = 82,53 °C dan $T_{blend} (RAP + Asp\ pen\ 60 + Rejuvenator)$ yang ditargetkan masuk PG 64(25) maka dengan variasi $T_{C(T)} Asp\ pen\ 60 + Rejuvenator$ yang tersedia diperoleh proporsi *RAP*. Untuk menentukan komposisi aspal baru, yaitu perbandingan antara aspal pen 60-70 dengan masing-masing bahan peremaja dapat menggunakan Gambar 4 (temperatur tinggi kritis, $T_{C(T)}$) dan Gambar 5 (temperatur menengah kritis, $T_{C(M)}$).

Proporsi *RAP* yang diijinkan dan komposisi aspal baru berdasarkan temperatur tinggi kritis $\{T_{C(T)}\}$ disajikan pada Tabel 12. Pada Tabel 12, proporsi penggunaan *RAP* yang diijinkan apabila menggunakan aspal baru dengan PG 58 adalah sebanyak 24,5%, untuk aspal baru PG 52 sebanyak 39,3% dan untuk aspal baru PG 46 sebanyak 49,3%. Adapun proporsi *RAP* yang diijinkan dan komposisi aspal baru berdasarkan temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$ disajikan pada Tabel 13. Bilamana $T_{blend} (RAP + Asp\ pen\ 60 + Rejuvenator)$ pada temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$ yang ditargetkan masuk PG 64 (25) maka pada Tabel 13 proporsi penggunaan *RAP* yang diijinkan apabila menggunakan aspal baru dengan PG 58(16) adalah sebanyak 13,5%, untuk aspal baru PG 52(10) sebanyak 20,7% dan untuk aspal baru PG 46(0) sebanyak 30,2%. Berdasarkan data di atas, maka yang menentukan adalah sesuai temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$.

Tabel 12. Temperatur Proporsi *RAP* yang diijinkan dan komposisi aspal baru berdasarkan temperatur tinggi kritis $\{T_{C(T)}\}$

Aspal Baru							
Komposisi Aspal Baru :		PG 58		RAP =	24,5 %		
-	96,80 %		Aspal pen 60-70	+	3,20 %		MG
-	95,80 %		Aspal pen 60-70	+	4,20 %		Oli
-	97,00 %		Aspal pen 60-70	+	3,00 %		RejIRE
Komposisi Aspal Baru :		PG 52		RAP =	39,3 %		
-	93,40 %		Aspal pen 60-70	+	6,60 %		MG
-	91,60 %		Aspal pen 60-70	+	8,40 %		Oli
-	94,00 %		Aspal pen 60-70	+	6,00 %		RejIRE
Komposisi Aspal Baru :		PG 46		RAP =	53,7 %		
-	90,10 %		Aspal pen 60-70	+	9,90 %		MG
-	87,30 %		Aspal pen 60-70	+	12,70 %		Oli
-	90,90 %		Aspal pen 60-70	+	9,10 %		RejIRE

Tabel 13. Temperatur proporsi *RAP* yang diijinkan dan komposisi aspal baru berdasarkan temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$

Komposisi Aspal Baru :	<i>PG 58 (16)</i>	<i>RAP = 13,5 %</i>	
- 96,80 %	Aspal pen 60-70	+	3,20 % MG
- 95,30 %	Aspal pen 60-70	+	4,70 % Oli
- 96,00 %	Aspal pen 60-70	+	4,00 % <i>RejIRE</i>
Komposisi Aspal Baru :	<i>PG 52 (10)</i>	<i>RAP = 20,6 %</i>	
- 94,10 %	Aspal pen 60-70	+	5,90 % MG
- 91,70 %	Aspal pen 60-70	+	8,30 % Oli
- 92,90 %	Aspal pen 60-70	+	7,10 % <i>RejIRE</i>
Komposisi Aspal Baru :	<i>PG 46 (0)</i>	<i>RAP = 30,3 %</i>	
- 91,11 %	Aspal pen 60-70	+	8,89 % MG
- 87,92 %	Aspal pen 60-70	+	12,08 % Oli
- 89,65 %	Aspal pen 60-70	+	10,35 % <i>RejIRE</i>

Sifat campuran beraspal panas tanpa dan dengan *RAP*

Gradasi agregat campuran, baik untuk campuran beraspal panas yang tanpa *RAP* maupun yang menggunakan *RAP*, terdiri atas 3 variasi gradasi. Temperatur pencampuran dan pematatan campuran beraspal panas yang tanpa *RAP* adalah sesuai viskositas aspal pen 60-70, yaitu temperatur pencampuran 155°C dan untuk pematatan 135°C.

Pada saat proses pencampuran dengan penambahan *RAP* sebesar 10% dalam keadaan dingin (sesuai temperatur ruang sekitar 27°C), maka agar sesuai dengan temperatur pencampuran dan pematatan sesuai dengan viskositas aspal pen 60-70, temperatur agregat lebih tinggi 20°C di atas temperatur pencampuran aspal.

Untuk penggunaan *RAP* sebanyak 20% dan 30% maka bahan pengikat yang digunakan adalah aspal baru atau aspal pen 60-70 dengan menambahkan peremaja. Dengan komposisi aspal baru sesuai Tabel 13, telah dilakukan

pengujian viskositas sehingga diperoleh temperatur pencampuran dan pematatan seperti disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Temperatur pencampuran dan pematatan beraspal panas

Proporsi <i>RAP</i> dan aspal baru	Temperatur (°C)	
	pencampuran	Pematatan
<i>20% RAP</i>		
Aspal baru dengan MG	139-145	128-133
Aspal baru dengan Oli	138-144	126-131
Aspal baru dengan <i>RejIRE</i>	137-142	126-130
<i>30% RAP</i>		
Aspal baru dengan MG	137-143	126-131
Aspal baru dengan Oli	132-138	121-125
Aspal baru dengan <i>RejIRE</i>	134-139	122-127

Sifat campuran beraspal panas yang tanpa dan dengan menggunakan 10% *RAP* disajikan pada Tabel 15. Adapun sifat campuran beraspal panas dengan menggunakan 20% *RAP* dan 30% *RAP* dengan temperatur pencampuran dan pematatan sesuai Tabel 14 adalah berturut-turut dan Tabel 16 dan Tabel 17.

Tabel 15. Sifat campuran beraspal panas tanpa dan dengan 10% *RAP* bahan pengikat Aspal pen 60-70

Parameter Campuran	Hasil pengujian					
	0% <i>RAP</i>			10% <i>RAP</i>		
				Tanpa Pemanasan		
	Gradasi					
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
Kadar aspal optimum; %	5,90	5,80	5,25	5,80	5,75	5,20
Kepadatan; ton/m ³	2,369	2,359	2,383	2,359	2,374	2,374
Rongga dalam agregat (<i>VMA</i>); %	16,8	16,9	15,8	17,1	16,3	16,1
Rongga terisi aspal (<i>VFB</i>); %	78,07	78,24	76,1	75,62	77,21	73,68
Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>) Marshall; %	3,63	3,63	2,95	4,12	3,66	4,21
Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>) <i>PRD</i> ; %	2,7	3,02	3,7	2,8	2,85	2,8
Stabilitas; kg	1145	1141	1080	1141	1140	1070
Pelelehan; mm	3,39	3,29	3,33	3,62	3,52	3,46
Stabilitas sisa; %	97,9	93,10	98,7	91,8	95,3	90,5

Tabel 16. Sifat campuran beraspal panas dengan 20% RAP dipanaskan 60°C dengan bahan pengikat aspal pen 60-70 ditambah peremaja

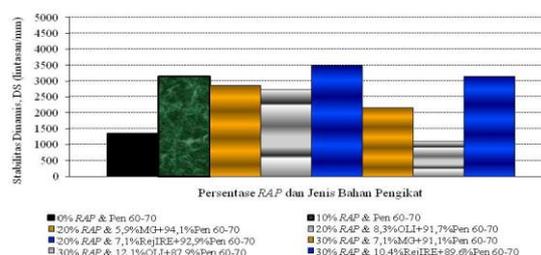
Parameter campuran	Hasil pengujian								
	5,9%MG+94,1%pen 60-70			8,3%Oli+91,7%pen 60-70			7,1%RejIRE+92,9%pen 60-70		
	Tipe Gradasi								
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
Kadar aspal optimum; %	5,80	5,55	5,15	5,80	5,45	5,25	5,80	5,55	5,20
Kepadatan; ton/m ³	2,367	2,367	2,386	2,357	2,347	2,376	2,359	2,362	2,384
Rongga dalam agregat (VMA); %	18,8	16,3	15,6	17,1	17,4	15,9	16,9	16,6	15,7
Rongga terisi aspal (VFB); %	76,77	74,19	73,42	74,29	74,04	74,48	75,62	73,54	73,31
Rongga dalam campuran (VIM) Marshall; %	3,84	4,15	4,09	4,37	4,23	4,14	3,98	4,38	4,18
Rongga dalam campuran (VIM) PRD; %	2,60	2,45	2,60	2,86	2,48	2,92	2,92	2,43	2,89
Stabilitas; kg	1141	1126	1059	1141	1114	1080	1141	1126	1070
Pelelehan; mm	3,29	3,62	3,31	3,72	3,47	3,39	3,62	3,32	3,55
Stabilitas sisa; %	92,0	91,4	90,5	92,1	91,2	91,6	91,2	91,7	90,3

Tabel 17. Sifat campuran beraspal panas dengan 30% RAP dipanaskan 75°C dengan bahan pengikat aspal pen 60-70 ditambah peremaja

Parameter campuran	Hasil pengujian								
	8,9MG+91,1%pen 60-70			12,1%Oli+87,9%pen 60-70			10,4%RejIRE+89,6%pen 60-70		
	Tipe Gradasi								
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
Kadar aspal optimum; %	5,80	5,40	5,10	5,75	5,40	5,15	5,90	5,55	5,30
Kepadatan; ton/m ³	2,359	2,370	2,379	2,355	2,363	2,379	2,361	2,357	2,381
Rongga dalam agregat (VMA); %	17,0	16,2	15,7	17,1	16,4	16,0	17,1	16,7	15,9
Rongga terisi aspal (VFB); %	74,93	73,61	73,29	74,14	73,02	72,62	74,82	73,50	73,00
Rongga dalam campuran (VIM) Marshall; %	4,25	4,28	4,16	4,39	4,43	4,35	4,29	4,41	4,26
Rongga dalam campuran (VIM) PRD; %	2,7	2,55	2,4	2,6	2,70	2,4	2,2	2,49	2,5
Stabilitas; kg	1050	927	944	1038	943	900	1123	848	859
Pelelehan; mm	2,72	3,47	3,38	3,93	3,53	3,45	4,05	3,54	3,98
Stabilitas sisa; %	92,8	92,3	90,6	91,5	92,5	90,9	88,8	91,9	93,7

Hasil pengujian Wheel Tracking Machine

Berdasarkan hasil pengujian ketahanan deformasi pada temperatur 60°C dengan alat Wheel Tracking Machine (WTM) digambarkan dengan hubungan antara nilai deformasi dan waktu, kecepatan deformasi dan stabilitas dinamis, yaitu seperti diperlihatkan pada Tabel 18 dan Gambar 10.



Gambar 10. Stabilitas dinamis campuran beraspal panas tanpa dan dengan variasi RAP

Tabel 18. Ketahanan deformasi campuran beraspal panas dengan dan tanpa RAP dengan variasi bahan pengikat aspal pen 60-70 ditambah peremaja

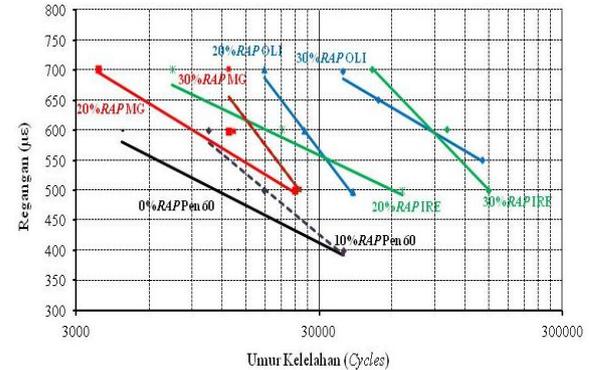
Waktu (menit)	Lintasan	Hasil pengujian										Satuan
		0% RAP		10% RAP		20% RAP			30% RAP			
		Bahan pengikat										
		pen 60-7	pen 60-7	5,9% MG + 94,1% pen 60-70	8,3% Oli + 91,7% pen 60-70	7,1% RejIRE + 92,9% pen 60-70	8,9% MG + 91,1% pen 60-70	12,1% Oli + 87,9% pen 60-70	10,4% RejIRE + 89,6% pen 60-70			
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	mm	
1	21	0,79	0,52	1,03	0,32	1,16	0,66	1,17	1,16	1,16	mm	
5	105	1,57	1,24	1,56	0,79	1,74	1,19	1,91	1,69	1,69	mm	
10	210	2,09	1,59	1,86	1,05	2,02	1,52	2,37	1,98	1,98	mm	
15	315	2,48	1,83	2,06	1,26	2,21	1,72	2,71	2,15	2,15	mm	
30	630	3,30	2,23	2,46	1,66	2,58	2,16	3,50	2,52	2,52	mm	
45	945	3,88	2,49	2,75	1,96	2,82	2,49	4,14	2,75	2,75	mm	
60	1260	4,35	2,69	2,97	2,19	3,00	2,78	4,71	2,95	2,95	mm	
DO = Deformasi Awal		2,47	1,89	2,09	1,27	2,28	1,62	2,43	2,15	2,15	mm	
RD = Kecepatan Deformasi		0,0313	0,0133	0,0147	0,0153	0,0120	0,0193	0,0380	0,0133	0,0133	mm/menit	
DS = Dinamis Stabilitas		1340,4	3150,0	2863,6	2739,1	3500,0	2172,4	1105,3	3150,0	3150,0	lintasan/mm	

Hasil pengujian kelelahan dengan alat *Beam Fatigue Apparatus (BFA)*

Pengujian kelelahan dilakukan pada temperatur $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, pada balok-balok dengan 2 (dua) variasi campuran yang berbeda pada nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Tiap variasi campuran diuji pada 3 (tiga) tingkat regangan yang berbeda, yaitu sesuai AASHTO T321-14 (AASHTO 2014) dengan regangan yang direkomendasikan antara $(250-750) \mu\epsilon$. Ketiga tingkatan regangan ini berusaha dipertahankan dengan menyesuaikan nilai tegangan. Makin besar regangan yang berusaha dipertahankan maka makin besar pula tegangan yang terjadi.

Khusus untuk campuran beraspal panas yang tanpa dan yang menggunakan RAP dengan variasi bahan pengikat yang menggunakan gradasi ditengah-tengah persyaratan diperoleh dari hasil pengujian Marshall serta analisis volumetrik, maka selanjutnya dilakukan pengujian kelelahan digunakan alat *Beam Fatigue Apparatus (BFA)*. Hasil pengujian kelelahan digambarkan dengan hubungan antara nilai

regangan tarik dan umur kelelahan (*cycles*) untuk setiap campuran beraspal panas yang menggunakan gradasi agregat ditengah-tengah persyaratan gradasi, baik yang tanpa maupun yang menggunakan RAP dengan menggunakan variasi bahan pengikat, yaitu seperti diperlihatkan pada Tabel 19 serta Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan antara nilai regangan tarik dan umur kelelahan (*cycles*) untuk campuran beraspal panas dengan dan tanpa RAP dengan variasi bahan pengikat baru

Tabel 19. Hubungan antara nilai regangan tarik dan umur kelelahan (*cycles*) untuk campuran beraspal panas dengan dan tanpa RAP dengan variasi bahan pengikat aspal pen 60-70 ditambah peremaja

Jenis Campuran Beraspal Panas		Regangan Tarik ($\mu\epsilon$)		Modulus of Elasticity (MPa)			Umur Kelelahan (Cycles)
Proporsi RAP (%)	Bahan pengikat	Awal	Saat pengujian	Awal	Saat pengujian	Rata-rata	
0	pen 60/70	400	399	2851	1424	2830	37550
		501	500	2820	1405		13780
		600	601	2820	1383		4630
10	pen 60/70	400	401	3139	1560	2941	37770
		500	500	2902	1448		17880
		600	600	2781	1388		10530
20	5,9% MG + 94,1% pen 60-70	500	500	3428	1708	3366	23820
		599	599	3293	1643		12700
		701	699	3376	1675		3700
	8,3% Oli + 91,7% pen 60-70	499	500	2982	1490	3112	41300
		600	599	3240	1615		26020
		701	699	3115	1550		17880
	7,1% RejIRE + 92,9% pen 60-70	500	498	3675	1837	3605	65860
		601	599	3808	1899		21140
		701	700	3332	1664		7450
8,9% MG + 91,1% pen 60-70	501	499	1059	520	1112	25010	
	598	600	1130	559		13360	
	702	698	1147	570		12780	
30	12,1% Oli + 87,9% pen 60-70	551	549	1757	875	1577	141120
		651	651	1519	758		52390
		699	701	1454	723		37640
	10,4% RejIRE + 89,6% pen 60-70	500	500	2555	1338	2265	149620
601		599	2161	1076	101110		
		701	699	2078	1036		49680

PEMBAHASAN

Sifat RAP yang berasal dari Bogor sesuai Tabel 7 dan Gambar 3 setelah

dilakukan ekstraksi mengalami perubahan gradasi. Nilai penetrasi aspal RAP sebesar 22 dmm dan titik lembeknya sekitar 66°C atau masih memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh

Inggris, Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal. Hasil pengujian *DSR*, *RAP* yang akan digunakan termasuk *PG 82(28)*.

Sifat ketiga bahan Peremaja seperti disajikan pada Tabel 9 terlihat sifat fisik ketiga bahan peremaja memiliki viskositas, titik nyala dan berat jenis bervariasi. Viskositas MG dan Oli lebih rendah (encer) daripada *RejIRE*. Adapun ketiga peremaja memiliki titik nyala cukup tinggi sehingga aman bila digunakan

Sifat aspal pen 60 setelah ditambah variasi bahan peremaja sesuai yang disajikan pada Tabel 10, terlihat bahwa makin banyak penambahan bahan peremaja menaikkan nilai penetrasi dan menurunkan nilai titik lembek serta menurunkan nilai viskositas. penambahan peremaja *RejIRE* pada aspal pen 60-70 menaikkan nilai penetrasi yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua peremaja lainnya. Bila memperhatikan perubahan nilai titik lembek maka untuk ketiga peremaja mengalami penurunan yang relatif sama kecuali yang penambahan dengan Oli penurunan nilai titik lembeknya lebih rendah. Begitu juga untuk nilai viskositas kecenderungan penurunan hampir sama. Berdasarkan hasil pengujian *DSR* pada contoh aspal pen 60-70 yang telah dicampur dengan masing-masing peremaja dengan proporsi yang sama, seperti disajikan pada Tabel 11, Gambar 4 (temperatur tinggi kritis benda uji *fresh*) dan Gambar 5 (temperatur tinggi kritis benda uji setelah *RTFO*). Pada Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa aspal baru dengan ketiga peremaja mengalami penurunan nilai temperatur tinggi kritis $\{T_{C(T)}\}$ dari benda uji *fresh* dengan benda uji setelah *RTFO*. Dari ketiga peremaja yang mengalami penurunan $T_{C(T)}$ adalah relatif kecil, kecuali *RejIRE*. Pada Gambar 6 terlihat bahwa temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$, yaitu benda uji setelah *PAV*, aspal baru dengan peremaja MG mengalami perubahan menjadi paling terendah. Adapun untuk aspal baru dengan peremaja Oli dan *RejIRE* kecenderungan sama seperti pada temperatur tinggi kritis $\{T_{C(T)}\}$. Berdasarkan Gambar 6 maka penggunaan peremaja MG lebih sedikit dibandingkan dengan ketiga peremaja lainnya.

Mengacu pada Tabel 12 dan Tabel 13, proporsi *RAP* yang menentukan adalah berdasarkan temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$. Jadi untuk T_{blend} (bitumen *RAP* +

Aspal pen 60 + *Rejuvenator*) yang ditargetkan masuk *PG 64(25)*, maka proporsi *RAP* maksimum untuk setiap aspal baru adalah aspal baru *PG 58 (16)* maka *RAP* maksimum sekitar 13%; aspal baru *PG 52 (10)* maka *RAP* maksimum 20%; dan aspal baru *PG 46 (0)* maka *RAP* maksimum 30%. Memperhatikan data di atas, maka penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas tanpa menggunakan bahan peremaja adalah maksimum 10%.

pengaruh penambahan *RAP* sebanyak 10% terhadap berat total campuran beraspal panas dengan aspal pen 60-70 menurunkan temperatur campuran beraspal panas sebesar 20°C dari temperatur pencampuran target 155°C (Gambar 8 dan 9). Untuk itu, agar sesuai dengan temperatur (viskositas) pencampuran dan pemadatan aspal pen 60-70, diperlukan pemanasan agregat yang lebih tinggi. Fakta tersebut sesuai dengan AASHTO M 323 (AASHTO 2012b) bahwa penggunaan *RAP* makin banyak diperlukan bahan pengikat yang lebih lunak, sehingga temperatur agregat tidak terlalu tinggi, aspal *RAP* dapat teremajakan dan temperatur pencampuran dan pemadatan dapat sesuai dengan viskositas aspal yang digunakan.

Sifat campuran beraspal panas yang tanpa dan dengan menggunakan 10% *RAP*, yang menggunakan 20% *RAP* dan yang menggunakan 30% *RAP* dapat dilihat pada Tabel 15, Tabel 16, dan Tabel 17. Pada Tabel 15 terlihat bahwa ketiga gradasi agregat campuran untuk campuran beraspal panas dengan 10% *RAP* memiliki kadar aspal dan rongga terisi aspal (*VFB*) sedikit lebih rendah dari campuran beraspal panas tanpa *RAP*. Namun untuk rongga dalam agregat (*VMA*) dan rongga dalam campuran (*VIM*) serta pelelehan juga lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beraspal panas tanpa *RAP*. Perbedaan sifat campuran tersebut kemungkinan besar pengaruh penurunan temperatur pada saat pencampuran. Pada Tabel 15 sampai dengan Tabel 17 terlihat bahwa semua sifat campuran beraspal, baik yang tanpa dan yang menggunakan *RAP* memenuhi persyaratan, sedangkan untuk stabilitas sisa campuran beraspal panas dengan gradasi atas dengan menggunakan 30% *RAP* dengan bahan pengikat 10,4% *RejIRE* + 89,6% aspal pen 60-70 memiliki stabilitas sisa kurang dari 90%. Pada umumnya campuran beraspal panas

menggunakan *RAP* 30% memiliki nilai stabilitas Marshall lebih rendah dari pada Stabilitas Marshall pada campuran beraspal yang lainnya. *VIM* campuran beraspal dengan ketiga jenis bahan pengikat adalah relatif sama, yaitu pada umumnya di bawah 4%, begitu juga untuk nilai pelelehan relatif sama, yaitu antara (3-4) mm.

Berdasarkan pengujian ketahanan campuran terhadap deformasi dengan alat *WTM* seperti disajikan pada Tabel 18 dan Gambar 10, diperoleh bahwa deformasi awal dan deformasi total yang tinggi adalah untuk campuran beraspal panas tanpa *RAP* dengan bahan pengikat aspal pen 60-70 dan dengan 30% *RAP* dengan bahan peremaja 12,1% Oli. Adapun campuran beraspal panas yang memiliki nilai stabilitas dinamis yang tinggi adalah campuran beraspal panas 10% *RAP* dengan aspal pen 60-70, sedangkan yang dengan 20% dan 30% *RAP* adalah yang menggunakan peremaja *RejIRE* dengan proporsi berturut-turut 7,1% 10,4%. Campuran beraspal panas yang nilai stabilitas dinamisnya terendah adalah yang menggunakan 30% *RAP* dengan 12,1% Oli peremaja dan campuran beraspal panas tanpa *RAP* dengan bahan pengikat aspal pen 60-70.

Hasil pengujian kelelahan maka sifat campuran, baik yang tanpa maupun yang menggunakan *RAP* sesuai Tabel 19 serta Gambar 11 diperoleh bahwa campuran beraspal panas dengan bahan pengikat aspal pen 60-70 dengan 10% *RAP* umur kelelahannya menurun dibandingkan dengan yang tanpa *RAP*. Campuran beraspal panas dengan *RAP* sebanyak 20% yang memiliki umur kelelahan terbaik adalah yang menggunakan 7,1% peremaja *RejIRE*, sedangkan yang menggunakan 30% *RAP* adalah dengan 12,1% peremaja Oli dan 10,4% peremaja *RejIRE*. Memperhatikan Tabel 19 terlihat bahwa modulus campuran beraspal panas dengan menggunakan *RAP* meningkat sampai dengan 20%, namun untuk penggunaan 30% *RAP* pada campuran beraspal panas dengan ketiga bahan peremaja modulusnya mengalami penurunan. Namun demikian, campuran beraspal panas dengan menggunakan 30% *RAP* dengan menggunakan bahan peremaja 10,4% *RejIRE* memiliki modulus yang tertinggi dibandingkan dengan campuran lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Ketiga bahan peremaja memiliki sifat fisik viskositas, titik nyala dan berat jenis bervariasi. Viskositas MG dan Oli lebih rendah (encer) daripada *RejIRE* dan ketiga bahan peremaja memiliki titik nyala cukup tinggi sehingga aman bila digunakan.

Penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas dengan aspal pen 60-70 tanpa bahan peremaja maksimum 10%, sedangkan dengan menambahkan bahan peremaja penggunaan *RAP* dapat mencapai 30%.

Dari hasil pengujian diperoleh sifat campuran beraspal panas dengan memanfaatkan *RAP* yang terbaik adalah yang menggunakan peremaja *RejIRE*, baik yang menggunakan 20% *RAP* maupun 30% *RAP*.

Saran

Untuk meningkatkan manfaat *RAP* di Indonesia disarankan untuk melakukan uji coba skala lapangan terhadap campuran beraspal panas yang menggunakan *RAP* dan peremaja untuk melihat kemudahan pengerjaan dan efektifitas serta kinerja pada skala lapangan.

RAP yang akan digunakan disarankan dipecah terlebih dahulu dengan mesin pemecah batu dengan ukuran butir maksimum sesuai campuran beraspal yang direncanakan.

Bilamana produksi campuran beraspal menggunakan Unit pencampur Aspal dengan sistem timbangan maka diperlukan alat pemasok *RAP*.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway Transportation Officials. 2012a. "Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder". AASTHO M 320-10. *Standard Specifications for Transportation Materials*

- and Methods of Sampling and Testing. Part I B Specification*. Washington, D.C.: AASHTO.
- _____. 2012b. "Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design". AASTHO M 323-12. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. Part I B Specification*. Washington, D.C.: AASHTO
- _____. 2014. "Standard Method of Test Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending". AASHTO T 321-14. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. 34th ed. Washington, D.C. : AASHTO.
- American Society for Testing Materials. "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus". ASTM D6926-2010. *2011 Annual Book of ASTM Standards*, section 04, volume 04.03. *Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems*. West Conshohocken : ASTM International.
- Asphalt Institute. 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types*, Manual Series No. 2. Second Edition. Lexington: The Asphalt Institute
- Badan Standardisasi Nasional. 1994. *Metode pengujian kadar aspal dalam campuran beraspal dengan cara ekstrasi menggunakan alat soklet*. SNI 03-3640-1994. Jakarta: BSN.
- _____. 2002. *Tata cara penyiapan benda uji dari contoh agregat*. SNI 13-6717-2002. Jakarta: BSN.
- _____. 2014. *Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall* SNI 2489:2014, Jakarta: BSN.
- _____. 2015. *Tata cara pemulihan aspal dari larutan dengan penguap putar*. SNI 4797:2015. Jakarta: BSN.
- Dony, A., Colin, J., Bruneau, D., Drouadaine, I., & Navaro, J. 2012. Reclaimed asphalt concretes with high recycling rates: *Changes in reclaimed binder properties according to rejuvenating agent*. Elsevier, 175-181.
- Indonesia. Kementerian PU. Direktorat Jenderal Bina Marga. 2014. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3*. Jakarta : Ditjen Bina Marga.
- Lehtimaki, H. 2012. "Rejuvenating RAP with light oil products and a new mixing method for hot in-plant recycling". *In Via 2012 Congress*. Espoo: Aalto University.
- Nono. 2015. "Pemanfaatan Material Daur Ulang (RAP) Perkerasan Beraspal untuk Campuran Beraspal Dingin Bergradasi Menerus dengan Aspal Cair". *Jurnal Jalan-Jembatan*. 32. (3) :171-18.
- Novita, P., B.S. Subagio, dan H. Rahman. 2011. "Kinerja Kelelahan Campuran Beton Aspal". *Jurnal Transportasi*. 11. (3) : 163-172.
- O'Sullivan, K. A. 2011. *Rejuvenation of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Hot Mix Asphalt Recycling with High RAP Content*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.
- Qiu, J., E. van de Ven Schlangen, and M. Shirazi. 2013. "Reintroducing The Intrinsic Self-Healing Properties In Reclaimed Asphalt by Rejuvenation". *Proceeding of the 4th International Conference on Self-Healing Materials*. Ghent: Ghent University.
- Sjahdanulirwan dan Nono. 2015. *pengembangan Teknologi Aditif Campuran Beraspal Panas*, Laporan penelitian. Bandung: Pusat penelitian dan pengembangan Jalan dan Jembatan.
- Suaryana, N. 2008. *Laporan uji coba daur ulang perkerasan beraspal di Jalan Pantura (lokasi Losari)*. Bandung: Pusat Litbang Jalan.
- Subagio, B.S. 2009. *Perkembangan Desain dan Teknologi Foam Bitumen Untuk Material Daur Ulang*. Bandung: ITB.
- Yu, X., M. Zaumanis, S.D. Santos, and L.D. Poulidakos. 2014. *Rheological, microscopic, and chemical characterization of the rejuvenating on asphalt binders*. Amsterdam: Elsiiviers.