

**SEPULUH TAHUN HASIL PENELITIAN BAHAN
RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT DI
PUSAT STUDI TRANSPORTASI UMS**

Sri Sunarjono, Nurul Hidayati

Pusat Studi Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta
email: Sri.Sunarjono@ums.ac.id

Abstract

Reclaimed asphalt pavement (RAP) is material generated from milling process of road pavement that have been damaged. The energy and environment crisis issues push the usage this materials more frequent. Considering the importance of RAP material causes every single research to explore the properties of RAP becomes very demanding. This paper discusses the progress of research result conducted in Centre of Transportation Studies Universitas Muhammadiyah Surakarta for the end of 10 years. The discussion is divided 4 steps, i.e.: (a) performance of RAP stabilized with foamed bitumen, (b) development laboratory equipment for pavement, (c) policy of the use of RAP for road in Indonesia, (d) comprehensive properties of RAP collected from Pantura road. The overall results can be described as follow. RAP material is excellent for use as a pavement material. RAP material stabilized with foamed bitumen and Portland cement exhibit very good performance. It is noted that gradation is a key for RAP performance to increase density and CBR value. Centre for Transportation Studies UMS was therefore designed and built mixer and roller compactor laboratory equipment to support researches incorporated with RAP materials. It is recommended to conduct workshop and dissemination events in order to enhance understanding of RAP properties for engineers in Indonesia.

Keywords: *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Pavement Testing Facility, Laboratory equipment, Density, CBR.*

2. PENDAHULUAN

Bahan reclaimed asphalt pavement (RAP) adalah hasil penggarukan jalan beraspal yang telah rusak. Pada awalnya bahan RAP sering dibuang dan hanya menjadi limbah yang sering mendatangkan masalah. Pada tahap selanjutnya bahan RAP sering digunakan sebagai bahan urugan, namun seiring dengan tekanan isu lingkungan, bahan RAP mulai diolah menjadi bahan yang lebih bernilai dan bermanfaat. RAP kemudian sering dipakai sebagai bahan lapis pondasi jalan. Desakan kelangkaan energy dan berbagai isu lingkungan kemudian muncul berbagai upaya untuk memanfaatkan bahan RAP untuk berbagai kemungkinan jenis campuran yang lebih berkualitas. Saat ini stabilisasi bahan RAP dengan menggunakan aspal atau semen sering digunakan untuk bahan lapis pondasi atas dalam struktur perkerasan.

Campuran bahan RAP pada pelaksanaan pekerjaan *cold recycling* pada umumnya ditambah bahan peremaja dan atau agregat/bahan tambah lainnya, kemudian dihampar dan dipadatkan menjadi lapis perkerasan baru. Teknologi ini memiliki berbagai keuntungan, misal biaya pekerjaan lebih murah, pelaksanaan pekerjaan lebih mudah dan praktis, hemat energi karena menggunakan sistem pencampuran dingin, tidak terlampau banyak mengeksploitasi bahan agregat dan aspal, dan lebih bersifat ramah lingkungan karena luaran gas emisi sangat rendah. Teknologi ini telah diterapkan di Indonesia untuk rehabilitasi struktur perkerasan jalan nasional Pantura Jawa [1].

Pada perkembangan selanjutnya RAP menjadi bahan yang penting bagi perkembangan teknologi bahan jalan, terutama untuk teknologi daur ulang perkerasan jalan. Di

Indonesia penggunaan bahan RAP belum masif karena berbagai kendala baik teknis maupun non teknis. Alasan tersebut menjadi faktor penting akan perlunya investigasi bahan RAP secara lebih mendalam dalam rangka mendapatkan jenis campuran RAP yang memiliki kinerja lebih baik. Pada tulisan paper ini dibahas kemajuan penelitian mengenai bahan RAP yang telah dilaksanakan di Pusat Studi Transportasi selama 10 tahun terakhir.

3. KAJIAN LITERATUR MENGENAI BAHAN RAP

Pengaruh bahan tambah terhadap propertis campuran RAP dan interaksi antara aspal dan agregat dalam RAP telah diselidiki [2][3]. Penggunaan bahan RAP dengan sistem daur ulang pencampuran panas telah diimplementasikan di ruas jalan Bawen-Kertosono, dan Bekasi-Cikampek tahun 1996 [4]. Sedangkan pemanfaatan RAP dengan sistem daur ulang pencampuran dingin telah dimulai pada tahun 2007 di ruas jalan Pantura, Sei Lilin, dan Pekalongan [5][6]. Propertis nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dan nilai modulus campuran RAP ditambah foamed bitumen dengan sistem pencampuran dingin telah dianalisa dalam proyek pekerjaan ini [5].

Propertis campuran RAP yang distabilisasi dengan foamed bitumen, semen, dan bahan tambah lainnya telah diselidiki [1] [7]. Penelitian terhadap campuran RAP yang diolah menggunakan foamed bitumen dan semen untuk *base course* juga telah dilaporkan hasilnya [1]. Hasibuan [7] telah mencermati sifat Marshal campuran RAP dari Tapanuli Selatan yang digunakan untuk CTRB (*Cement Treated Road Base*) + foamed bitumen. Propertis campuran aspal setelah diberi bahan peremaja telah diselidiki kinerja propertis Marshall dan *Indirect Tensile Strength* (ITS) nya [8].

4. METODE PENELITIAN

Dalam paper ini penulisan laporan kemajuan penelitian dalam 10 tahun terakhir di Pusat Studi Transportasi UMS. dikategorikan menjadi empat tahap, yaitu:

- a. Kinerja campuran stabilisasi RAP dengan foamed bitumen.
- b. Pengembangan alat laboratorium bahan perkerasan.

- c. Kebijakan penggunaan bahan RAP untuk bahan jalan di Indonesia.
- d. Properties komprehensif bahan RAP Pantura.

Tahap pertama adalah hasil penelitian *semi full scale* di laboratorium, yang mana campuran RAP yang telah dipadatkan diberi beban roda untuk diselidiki kinerja-nya. Tahap kedua dilaksanakan dengan melakukan desain dan manufaktur alat. Tahap ketiga dilaksanakan melalui survai kuesiner dan uji laboratorium, sedangkan tahap keempat dilaksanakan uji laboratorium secara lengkap terhadap identitas, sifat fisik, dan mekanik.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Keempat tahap tersebut diatas dilaksanakan selama kurun waktu 10 tahun, yaitu dimulai tahun 2005 hingga tahun 2015. Berikut ini keempat tahap tersebut dibahas secara rinci.

1. Kinerja Campuran Stabilisasi RAP Dengan Foamed Bitumen (FB)

Sebagai langkah awal, kinerja campuran stabilisasi RAP dengan foamed bitumen diinvestigasi melalui program kerjasama antara UMS dan NTEC (Nottingham Transportation Engineering Centre). Program ini dilaksanakan melalui skema *overseas double degree training* yang disponsori oleh program TPSDP Dikti Kemendiknas. Pihak UMS mengirim staf riset ke NTEC dan pihak NTEC menyediakan fasilitas alat laboratorium.

Pada tahap penelitian ini campuran stabilisasi RAP dengan foamed bitumen diamati kinerjanya menggunakan alat *Pavement Test Facility* (PTF). Obyek penelitian adalah ketahanan retak dan rutting campuran, serta prediksi nilai stiffness modulusnya.

PTF adalah alat simulasi pembebanan skala laboratorium yang mana campuran dihampar dan dipadatkan membentuk struktur perkerasan, kemudian dilintasi roda kendaraan dengan beban tertentu. Selama proses simulasi pembebanan, di bawah permukaan perkerasan dapat dipasang alat pengukur tegangan dan regangan yang terjadi sehingga stiffness modulus perkerasan dapat diprediksi. Gambar 1

menunjukkan alat PTF yang ada di laboratorium NTEC.



Gambar 1. Alat Pavement Test Facility (PTF) di NTEC

Pada penelitian ini, area perkerasan berukuran 2,4 x 4,8 m² dibagi menjadi 6 (enam) petak sama luas. Tiga petak adalah campuran RAP+FB, satu petak adalah campuran RAP+FB+PC (Portland Cement), dan dua petak campuran RAP+PC. Bahan RAP dikombinasikan dengan agregat baru. Penjelasan detil pembagian petak dapat dilihat pada Tabel 1.

Variasi campuran stabilisasi dimaksudkan untuk mengidentifikasi efek proporsi bahan RAP, jenis pen aspal, dan penambahan semen.

Perkerasan diterapkan pembebanan roda tunggal dengan skenario 5000 lintasan awal dengan beban roda 3 KN, kemudian 10000 lintasan kedua dengan beban roda 6 KN, dan 30000 lintasan terakhir dengan beban roda 12 KN. Hasil mix design laboratorium yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Pembagian Petak Jenis Perkerasan

Petak 1	75% RAP + FB pen 50/70
Petak 2	75% RAP + FB pen 70/100
Petak 3	50% RAP + FB pen 70/100
Petak 4	50%RAP+FB pen 70/100 + PC 1,5%
Petak 5	75% RAP + PC 6%
Petak 6	50% RAP + PC 6%

FB= foamed bitumen
PC= Portland cement

Tabel 2. Mix Design campuran

Komposisi RAP	50% RAP	75% RAP
Kepadatan maks (T/m ³)	2,20	2,02

Kadar air optimum (%)	4,5	4,2
Kadar FB optimum	2,6	2,4
PC	6%	6%

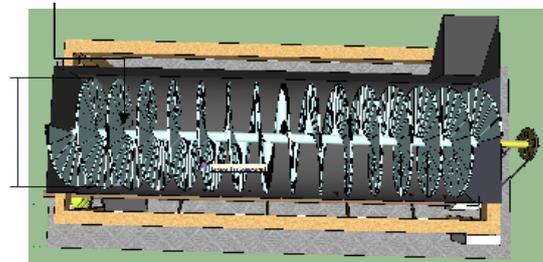
Hasil investigasi memberi pengetahuan bahwa keruntuhan campuran stabilisasi RAP menggunakan foamed bitumen akibat beban roda cenderung dikarenakan rutting daripada retak leleh. Ketahanan rutting campuran ini sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan RAP dan jenis aspal penetrasi yang digunakan. Campuran dengan kandungan RAP tinggi dan menggunakan jenis aspal lebih lunak menunjukkan sifat lebih rentan terhadap kerusakan rutting. Namun kecenderungan ini semakin tidak terlihat pada penerapan beban yang lebih tinggi, dan waktu curing lebih lama.

Penambahan sedikit semen dalam campuran sangat signifikan menambah ketahanan rutting. Nilai modulus campuran stabilisasi RAP dengan foamed bitumen lebih tinggi dibanding modulus agregat kelas A/B lapis pondasi, namun masih sebanding dengan modulus campuran beraspal lapis pondasi. Prediksi modulus RAP dan semen juga setara dengan modulus campuran beraspal lapis pondasi.

2. Pengembangan Alat Laboratorium Bahan Perkerasan

Alat mixer campuran aspal (AMCA)

AMCA didesain untuk mengaduk campuran bahan perkerasan baik pengadukan dingin ataupun panas. Alat ini berkapasitas 50 kg dan bersifat mobile. Campuran yang diaduk dapat berupa agregat dengan berbagai tipe gradasi, atau agregat dengan bahan pengikat baik aspal, semen, atau kapur. AMCA juga memungkinkan digunakan untuk pencampuran bahan tanah. Ukuran alat sekitar 75/150 cm. Desain AMCA dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. .Alat Mixer Campuran Aspal
Desain alat ini dibuat sederhana agar mudah operasionalnya, namun kapasitas 50 kg

terkadang kurang praktis untuk skala laboratorium. Oleh karenanya direkomendasikan kapasitas alat ini dapat direduksi. Namun demikian bila alat ini digunakan untuk pencampuran bahan yang akan dipadatkan menggunakan alat gelas (kapasitas 40 kg) sangatlah tepat. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam desain alat ini adalah cara membersihkan drum pengadukan setelah pemakaian, terutama bila digunakan untuk pengadukan campuran beraspal sistem panas.

AMCA ini akan sangat sesuai untuk mencampur bahan RAP dan foamed bitumen memerlukan alat pencampur dengan *speed* tinggi dan agitator yang dinamis. Telah diketahui bahwa homogenitas campuran *foamed asphalt* akan berkurang bila *speed* dan *power mixer* kurang baik dikarenakan umur *foamed bitumen* sangat pendek. Homogenitas campuran selanjutnya sangat mempengaruhi nilai *stiffness modulusnya*.

Alat pemadat roller slab (APRS)

APRS didesain menggunakan roda baja dengan sistem beban portal ungit. Komponen utama dibangun dalam rumah rangka baja yang kokoh dan bersifat *mobile*. Tempat cetakan atau bak kerja dapat bergerak otomatis maju dan mundur menggunakan motor penggerak. Desain APRS dapat dilihat pada Gambar 3. Kelebihan jenis alat pemadat ini adalah metode pemadatnya mirip pemadat roller di lapangan. Sehingga diharapkan karakteristik campuran hasil *mix design* di laboratorium menyerupai campuran di lapangan.



Gambar 3. Alat Pemadat Roller Slab

Hasil evaluasi percobaan awal APRS adalah gerakan bolak balik cetakan yang kurang

stabil sehingga hasil pemadatan juga kurang rata. Untuk mendapatkan bentuk sampel yang lebih sempurna maka direkomendasikan ukuran sampel adalah 30cm x 30cm. Dengan sampel yang lebih kecil maka benda uji yang didapatkan lebih homogen dengan kepadatan yang baik.

Penggunaan alat ini untuk bahan RAP akan menghasilkan kinerja yang sama dengan bahan agregat biasa. Namun belum diketahui apakah alat ini mampu memperbaiki workabilitas bahan RAP yang kurang baik akibat adanya gaya kohesi antar aspal saat proses pemadatan.

3. Kebijakan penggunaan bahan RAP untuk bahan jalan di Indonesia

Kebijakan *green technology* melalui pemanfaatan bahan RAP dapat meningkatkan kualitas hidup karena memberikan benefit berupa mereduksi eksploitasi bahan alam, pengurangan dan pemanfaatan limbah, mereduksi pemakaian bahan bakar, dan mengurangi emisi gas. Kebijakan untuk mendorong pemanfaatan bahan RAP secara lebih massif sangat diperlukan untuk mengantisipasi keraguan pelaksanaan di lapangan. Penggunaan bahan RAP selama ini terutama di Indonesia belum populer karena adanya anggapan bahwa RAP memiliki resiko bila digunakan sebagai bahan jalan terutama untuk mendukung lalu lintas berat.

Pada penelitian tahap ketiga ini kemudian diketahui bahwa kendala implementasi *green road technology* adalah penguasaan ilmu bahan campuran dingin yang masih terbatas, demikian juga sosialisasi dan pelatihan penggunaan bahan daur ulang jalan masih kurang, serta pedoman kerja belum tersedia lengkap. Pekerjaan daur ulang yang dilaksanakan di jalan Pantura atau di beberapa pekerjaan lainnya masih menggunakan pedoman kerja dari negara lain, terutama terkait penggunaan bahan pengikat *foamed bitumen*.

Penyelidikan cara pengolahan bahan RAP menghasilkan setidaknya ada beberapa variasi cara, yaitu (1) digunakan langsung, (2) digunakan dengan bahan tambah, (3) diolah secara pencampuran dingin, (4) diolah secara pencampuran panas, dan (5) dilaksanakan dengan metode *in-plant* dan *in-place*.

4. Properties komprehensif bahan RAP Pantura

Target utama penelitian tahap ke-4 ini adalah untuk menguak tabir penyebab rendahnya kinerja bahan RAP yang dicampur dengan cara dingin dibanding dengan campuran *hot-mix* konvensional mengguna-kan *fresh aggregate*. Titik utama penyelidikan adalah untuk mengetahui peran dan fungsi masing-masing komponen RAP, yaitu aspal tua dan agregat RAP. Peran fungsi komponen RAP kemudian akan diselidiki hubungannya dengan proses dan sifat kepadatan dan daya dukung RAP.

Hasil uji berat jenis, penyerapan, dan keausan Los Angeles dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4. Uji berat jenis dapat digunakan untuk mengestimasi kepadatan dan daya dukung RAP. Berat jenis RAP juga dibandingkan dengan nilai agregat baru secara *face to face* untuk melacak kelemahan bahan RAP. Berdasarkan data Tabel tersebut diketahui dengan jelas bahwa berat jenis RAP masih dibawah nilai agregat baru. Nilai penyerapan RAP sangat rendah. Nilai ini menunjukkan bahwa kemampuan serap bahan RAP terhadap aspal juga rendah, yang kemudian mengakibatkan kekuatan ikat aspal terhadap RAP juga rendah.

Tabel 3. Berat Jenis dan Penyerapan RAP

Keterangan	RAP			<i>fresh</i> agregat	
	CA	MA	FA	CA	FA
<i>Bulk SG</i>	2.06	2.12	1.78	2,45	1,988
SSD SG	2.09	2.14	1.83	2,50	2,041
App SG	2.13	2.17	1.88	2,58	2,099
Penyerapan %	1.72	1.01	3.09	2,05	2,669

Ket: CA 10-20mm, MA 5-10mm, FA <5mm

Tabel 4. Hasil Uji Keausan RAP

Jenis Sampel	Nilai LA
Agregat hasil ekstrak RAP (jalan Pantura wilayah Tegal), uji LA metode B	25,25 %
RAP (jalan Pantura wilayah Tegal)	24,58%
RAP ruas jalan Tegal [9]	35,80%
RAP ruas jalan Sragen, uji LA metode D [10]	57 %

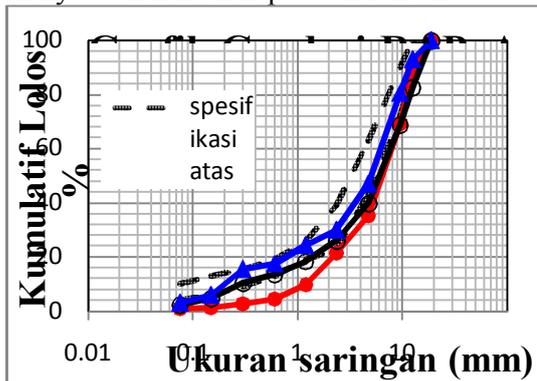
Hasil uji LA terhadap bahan RAP masih menunjukkan hasil yang belum konsisten. Beberapa hasil penelitian menunjukkan nilai LA bahan RAP tinggi melebihi persyaratan teknis untuk campuran beraspal (nilai LA 40%). Namun pada penyelidikan terakhir nilai LA RAP dan agregat baru berimbang yaitu sekitar 25%. Hasil ini belum dapat ditafsirkan secara presisi dan mungkin masih perlu data pembandingan lagi.

Gambar 4 menunjukkan hasil uji saringan terhadap bahan RAP (asli), bahan agregat RAP (hasil ekstraksi RAP), bahan RAP rekayasa (gradasi didekatkan ke spesi-fikasi AC-WC). Gradasi RAP dan agregat RAP mendekati spesifikasi gradasi AC-WC dapat dijadikan petunjuk bahwa kemungkin-an sumber RAP adalah dari campuran AC untuk *wearing course* atau *binder course*.

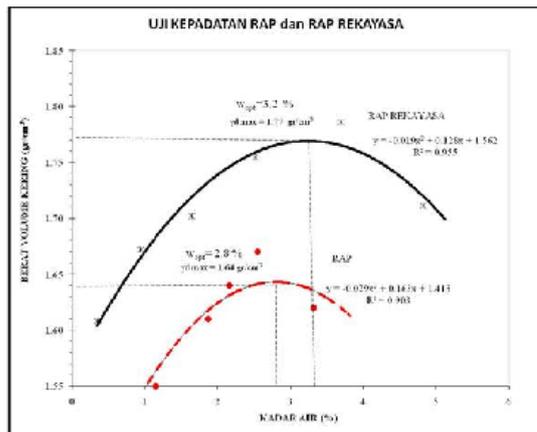
Gradasi agregat RAP hampir berimpit dengan batas bawah spesifikasi AC-WC dan posisinya tampak masih lebih halus dibanding gradasi RAP. Hal ini wajar karena agregat RAP telah dihilangkan bagian aspalnya, sehingga selisih kedua gradasi tersebut merupakan pengaruh komponen aspal RAP. Bila diperhatikan secara seksama maka komponen aspal RAP banyak menempel pada ukuran RAP fraksi halus < 5mm. Pengetahuan masalah ini sangat penting karena memang penelitian ini hendak menyelidiki peran dan fungsi komponen aspal dan agregat dalam RAP. Faktor ini pula yang diduga menjadi penyebab nilai LA bahan RAP berimbang dengan agregat baru dikarenakan fraksi kasar RAP yang diuji LA memang sangat sedikit terkandung komponen aspal.

Gambar 5 menunjukkan hasil uji kepadatan menggunakan dua buah bahan, yaitu bahan RAP dan bahan RAP rekayasa. Kedua gradasi bahan ini telah ditunjukkan pada Gambar 4. Perbedaan signifikan kedua gradasi tersebut adalah kurva gradasi RAP rekayasa posisi fraksi kasar sedikit lebih atas (lebih halus), dan posisi fraksi halus jauh diatas (jauh lebih halus) dan masuk amplop spesifikasi gradasi AC-WC. Ternyata perbedaan ini menyebabkan nilai kepadatan bahan RAP rekayasa jauh lebih bagus dibanding kepadatan bahan RAP. Kadar air

optimum bahan RAP rekayasa juga lebih besar yang menunjukkan daya serap air RAP rekayasa lebih bagus. Faktor kemampuan resap air ini juga diprediksi menjadi penyebab perubahan kinerja kepadatan karena air berperan sebagai bahan pelumas saat proses pemadatan. Bila air yang tersedia sedikit maka pergerakan partikel semakin terbatas dan menyebabkan hasil kepadatan rendah.



Gambar 4. Gradasi RAP, Agregat RAP, dan RAP Rekayasa



Gambar 5. Hasil Uji Kepadatan RAP

Tabel 5 mempresentasikan hasil uji kepadatan berupa nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Pemberian kapur 1,5% terhadap bahan RAP tidak meningkatkan kepadatan secara signifikan. Kepadatan RAP rekayasa justru menunjukkan kinerja yang lebih baik dibanding bahan RAP asli. Hal ini lebih memperkuat dugaan bahwa gradasi RAP memang sangat krusial. Perlu dicatat bahwa nilai kepadatan kedua jenis RAP tersebut masih dibawah kepadatan agregat baru, namun data

yang dihadirkan pada Tabel tersebut adalah jenis agregat dengan ukuran nominal lebih besar.

Hasil evaluasi daya dukung bahan RAP menggunakan uji CBR dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa (1) Kepadatan RAP sensitif dengan kepadatannya (jumlah tumbukan), (2) Dalam keadaan kering, pengaruh kondisi *soaked* dan pengaruh penambahan kapur tidak mempengaruhi daya dukung RAP, (3) Pengaruh kapur sangat signifikan mempengaruhi daya dukung bahan RAP dalam kondisi *soaked*.

Tabel 5. Hasil Uji Kepadatan (Modified Proctor)

Jenis campuran	D (mm)	γ_{max} (gr/cm ³)	KAO (%)
RAP	19	1,64	2,83
RAP+kapur 1.5%	19	1,68	3,30
RAP rkys	19	1,77	,23
Agregat baru	37,5	2,37	2,70

Tabel 6. Hasil Uji CBR Bahan RAP

Juml tumb	RAP		RAP + Kapur 1,5%	
	Un Soak ed	Soak ed	Unsoa ked	Soaked
10 x	5.62	4.24	7.67	10.26
35 x	12.31	12.73	11.67	20.51
65 x	16.98	20.51	15,56	22.92

6. SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan maka simpulan kemajuan penelitian terhadap bahan RAP selama 10 tahun terakhir di Pusat Studi Transportasi UMS adalah sebagai berikut:

- Bahan RAP sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan dengan kualitas yang baik. Stabilisasi bahan RAP menggunakan foamed bitumen memiliki kinerja yang sangat baik. Bila ditambahkan bahan semen maka kinerja campuran stabilisasi bertambah baik. Campuran stabilisasi RAP ini diketahui cenderung

- mengalami keruntuhan akibat kerusakan rutting. Persentasi RAP sebagai agregat akan mempengaruhi kinerja campuran.
- b. Pusat Studi Transportasi UMS telah mendesain alat pencampur dan alat pemadat bahan perkerasan skala laboratorium yang masing-masing disebut AMCA dan APRS.
 - c. Implementasi pemanfaatan bahan RAP perlu didorong dengan mengadakan berbagai pelatihan dan sosialisasi untuk menambah penguasaan pemahaman ilmu bahan RAP.
 - d. Bahan RAP dapat dimanfaatkan melalui beberapa cara, yaitu (1) digunakan tanpa dan dengan bahan tambah, (2) diolah secara pencampuran dingin dan panas, dan dilaksanakan dengan metode *in-plant* dan *in-place*.
 - e. Komponen aspal dalam bahan RAP dominan terdistribusi pada fraksi halus sehingga hal ini mempengaruhi sifat fisik bahan RAP. Gradasi bahan RAP memegang kunci nilai kepadatan dan daya dukung bahan RAP. Bahan tambah kapur sangat berperan meningkatkan daya dukung bahan RAP pada kondisi terendam air (*soaked*).

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Koordinasi Perguruan Tinggi Swasta Wilayah VI Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membantu pembiayaan penelitian ini sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Tahun 2015 Nomor: 007/K6/KM/SP2H/ PENELITIAN_BATCH-1/2015, tanggal 30 Maret 2015. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada LPPM, laboratorium UMS, dan laboratorium University of Nottingham yang telah memberi bantuan fasilitas penelitian. Peneliti juga berterima kasih kepada Dr. Jitareekul, Dr. Muslich Hartadi S., Ir. Agus Riyanto, MT., Ir. Aliem Sudjamiko, MT., Prof. Absori, Riyanto, ST., Aris, ST., dan Widyorini Windi Astuti, ST.

8. REFERENSI

- [1] Widajat, D., 2009. Uji coba teknologi daur ulang campuran dingin dengan foam bitumen pada jalan Pantura. Jurnal Jalan-Jembatan, Vol 26, No. 1, April 2009, Bandung.
- [2] Asphalt Institute. Asphalt Hot Mix Recycling, Manual Series No.20, Second Edition, Lexington, Kentucky, 1986.
- [3] Kiggundu, B. M. and J. K. Newman, 1987. Asphalt-Aggregate Interactions in Hot Recycling. New Mexico ERI, Report No. ESL-TR-87-07, July 1987, Albuquerque, New Mexico.
- [4] Tindodi, K., L., 2010. Teknologi Daur Ulang untuk Preservasi Jalan. PT Tindodi Karya Lestari, <http://www.tindodi.com/?h=&ms=1&s=2&l=id> di-unduh 26 Agustus 2012.
- [5] Yamin, R, A., Widajat, D., 2008. Penggunaan foam bitumen untuk daur ulang perkerasan jalan. Jurnal Jalan-Jembatan, Vol 25 No 2 Agustus 2008, 130-153.
- [6] Conbloc, 2007. Penggunaan teknologi Lapis Cement Treated Recycling Base, Daur Ulang Campuran Beraspal Dingin dengan Foam Bitumen, Jalan Sei Lilin - Betung Sekayu.
- [7] Hasibuan, W., 2009. Analisa Perbandingan Rancangan Anggaran Biaya Perkerasan Daur Ulang Dengan Perkerasan Konvensional (Studi Kasus : Jln Pal XI – Aek Godang).
- [8] Suwanto, 2010. Optimalisasi Penggunaan Material Hasil Cold Milling Untuk Daur Ulang Lapisan Perkerasan Jalan Beton Aspal Type AC/Asphalt Concrete.
- [9] Herman, S., 2004. Pengaruh Daur Ulang Bahan Bongkaran Aspal Terhadap Sifat-Sifat Fisik Beton Aspal (Studi Kasus Di Jalan Gajahmada Te-gal. Master thesis, Undip, Semarang.
- [10] Sunarjono, Absori, Riyanto, 2012. Pengembangan Green Technology Melalui Pemanfaatan Material RAP Untuk Preservasi Jalan Nasional di Indonesia. PUPT, UMS, Surakarta.