

REKAYASA PEMANFAATAN *RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT* UNTUK PRESERVASI KONSTRUKSI JALAN

Sri Sunarjono¹, Agus Riyanto², Absori³

^{1,2}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

³Guru Besar bidang Kebijakan/Hukum Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: sri_sunarjono@ums.ac.id

Abstrak

Reclaimed asphalt pavement (RAP) adalah perkerasan jalan yang telah rusak akut yang kemudian digali dan dihancurkan menjadi semacam agregat. Pada awalnya, bahan RAP ini merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan dan menumpuk di suatu tempat yang mengganggu lingkungan sekitarnya. Bahan RAP ini kemudian mulai dimanfaatkan karena dorongan isu lingkungan untuk mengurangi eksploitasi sumber daya alam, hemat energi, dan mereduksi gas emisi CO₂. Pada periode awal, bahan RAP ini hanya digunakan sebagai bahan urugan yang tidak memerlukan persyaratan mutu tinggi. Namun belakangan, bahan RAP ini digunakan untuk bahan lapis pondasi, bahan lapis antara, bahkan untuk bahan lapis aus, yang kesemuanya memerlukan persyaratan mutu tinggi. Sehingga pemanfaatan bahan RAP memerlukan sebuah rekayasa agar kinerja campuran RAP mampu memenuhi persyaratan mutu campuran yang ditargetkan. Artikel ini melaporkan hasil penelitian yang bertujuan melakukan rekayasa pemanfaatan bahan RAP untuk preservasi jalan. Rekayasa bahan RAP dilakukan melalui pengujian laboratorium dan review hasil-hasil penelitian. Rekayasa laboratorium dilakukan dengan mengambil sampel bahan RAP dari lapangan. Kemudian propertis campuran bahan RAP diselidiki baik tanpa ataupun dengan bahan tambah, serta baik dengan pencampuran dingin, hangat, ataupun panas. Bahan tambah yang digunakan adalah kapur, semen, foamed bitumen, dan kombinasinya. Pencampuran dingin, hangat, dan panas dilakukan pada suhu kamar, di bawah titik didih, dan suhu sekitar 150°C.

Hasil investigasi dapat dirumuskan berikut ini. Campuran bahan RAP tanpa bahan tambah dengan sistem pencampuran dingin dan hangat menghasilkan kinerja yang rendah sehingga direkomendasikan hanya untuk bahan urugan pilihan/ lapis pondasi tanpa lapis penutup aspal kelas C bahan bahu jalan tanpa pengikat. Sedangkan campuran bahan RAP dengan sistem pencampuran panas walau tanpa bahan tambah menghasilkan peningkatan kinerja sehingga dapat digunakan untuk lapis pondasi atas. Sedangkan campuran bahan RAP dengan bahan tambah dengan ketiga sistem pencampuran tersebut memberikan kinerja yang sangat baik, sehingga dapat digunakan untuk lapis antara atau bahkan untuk lapis aus.

Kata-kata kunci: *Reclaimed asphalt pavement*, preservasi jalan, kapur, semen, foamed bitumen.

Pendahuluan

Tulisan ini didesain untuk melakukan kajian pemanfaatan material RAP melalui teknologi daur ulang jalan (*road recycling*). RAP (Recycling Asphalt Pavement) adalah bahan bongkaran perkerasan jalan yang telah rusak. Pada awalnya, material RAP hanya dibuang menjadi limbah yang menumpuk dan mengganggu lingkungan. Belakangan, muncul teknologi baru untuk memanfaatkan bahan limbah tersebut dengan menambah bahan semen/ aspal emulsi/ foamed bitumen untuk kemudian dijadikan material perkerasan yang baru sebagai bahan perkerasan jalan. Dalam tulisan ini, teknologi pemanfaatan RAP ini akan dikembangkan untuk program preservasi jalan dalam rangka meningkatkan kualitas hasil pekerjaan pemeliharaan jalan, dan sekaligus untuk mendukung isu lingkungan.

Hanya saja, penerapan teknologi ini masih terkendala karena belum adanya rancang bangun pemanfaatan material RAP untuk program preservasi jalan, dan belum adanya ideologi kebijakan yang kuat dalam mendukung isu lingkungan. Padahal penanganan pemeliharaan jalan dengan tanpa memperdulikan aspek lingkungan dapat berdampak serius terhadap aktivitas eksplorasi alam yang tidak terkontrol, penghamburan penggunaan energi, peningkatan kadar CO₂, dan menimbulkan berbagai problem limbah dalam kehidupan.

Tulisan ini dimaksudkan untuk mendesain rancang bangun pemanfaatan material RAP dalam pembangunan pemeliharaan jalan, dan menyusun model kebijakan strategi yang matang sebagai ruh, arah, panduan, dan *pressure*

penggunaan *green technology* dalam penanganan kerusakan jalan nasional. Penggunaan *green technology* sangat diharapkan mampu mereduksi kerusakan lingkungan dan sekaligus menawarkan sebuah alternatif konstruksi yang murah, berkualitas, dan ramah lingkungan sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup manusia.

Teknologi Pemanfaatan Bahan RAP

Pengembangan *green Technology* untuk pemeliharaan infrastruktur jalan di Indonesia merupakan inovasi teknologi yang sangat diperlukan dalam pengembangan ilmu dan pengetahuan di bidang teknologi infrastruktur jalan dalam rangka memelihara alam lingkungan dan meningkatkan kualitas hidup manusia.

Konsep *green technology* untuk pemeliharaan infrastruktur jalan dapat melalui teknologi material perkerasan badan jalan, teknologi penataan cross section jalan, teknologi pengelolaan drainase jalan, ataupun penataan lalu lintasnya. Penelitian ini fokus pada pengembangan teknologi pemanfaatan material RAP yang ramah lingkungan, yaitu teknologi daur ulang perkerasan jalan atau sering dikenal dengan *road recycling*.

Pemanfaatan material RAP untuk pekerjaan preservasi jalan di Indonesia, meskipun telah diinisiasi sejak tahun 1994-an, melalui proyek pemeliharaan ruas jalan Bandung-Sukabumi dengan menggunakan konsep *hot recycling*, belum menjadi teknologi alternatif yang menarik. Pada tahun 2007, Badan Litbang Jalan (Pusjatan) Bandung melakukan inisiasi percobaan *fullscale* teknologi *cold recycling* menggunakan *foamed bitumen* sebagai bahan ikat agregatnya, dan kemudian pada tahun 2009, paling tidak ada dua buah proyek pekerjaan *recycling* yaitu di ruas jalan Pantura jalur Jatibarang-Kalimanan-Cirebon menggunakan bahan tambah foamed bitumen dan di ruas jalan Boyolali (Solo – Semarang) menggunakan bahan tambah semen. Namun sayangnya, rancang bangun dan model pedoman dan spesifikasi pekerjaan penggunaan teknologi ini untuk konstruksi jalan di Indonesia belum ada. Selama ini rancang bangun, dan pedoman & spesifikasi yang dipakai di lapangan masih bersifat coba-coba dengan menggunakan model spesifikasi dari negara lain. Padahal sifat bahan, kondisi iklim dan karakteristik beban kendaraan untuk kondisi Indonesia berbeda dengan kondisi luar negeri, sehingga tidak sepenuhnya tepat menggunakan model pedoman dan spesifikasi dari negara lain.

Hasil penelitian ini sangat diharapkan mampu memecahkan problem kritical di lapangan dalam menerapkan teknologi pemeliharaan jalan yang ramah lingkungan, dan sekaligus melakukan penyebaran ilmu pengetahuan kepada para pengguna teknologi pemeliharaan jalan dalam rangka mengembangkan ipteks di bidang teknologi infrastruktur jalan.

Masyarakat dan lingkungan hidup

Upaya masyarakat internasional untuk menyelamatkan lingkungan melalui KTT Bumi di Johannesburg Afrika Selatan (2002) telah merumuskan deklarasi politik pembangunan berkelanjutan melalui program aksi dan deklarasi politik yang merupakan dukungan terhadap agenda 21. Kesepakatan agenda 21 melalui deklarasi pembangunan dan lingkungan hidup di Rio de Janeiro Brasil (1992) sebenarnya merupakan misi serius dalam menyelamatkan bumi melalui semangat *deep ecology*. Semangat ini berpandangan bahwa manusia adalah bagian integral dari alam kehidupan. Perilaku perusakan dan pencemaran bumi adalah tidak etis karena bumi dan sumber daya alam dipandang sebagai sesuatu yang memiliki hak hidup seperti manusia karena semuanya merupakan ciptaan Tuhan (Lihat Absori, 2009).

Konsep pembangunan berkelanjutan pada Pertemuan Komite Persiapan Konperensi Tingkat Tinggi di Bali (2002) adalah terwujudnya pemerintah yang bertanggungjawab dan dipercaya, transparan, membuka partisipasi masyarakat lebih luas, dan menjalankan penegakan hukum secara lebih tegas dan efektif dalam program lingkungan. Kekuatan masyarakat dalam memperjuangkan lingkungan digambarkan oleh Breyman (dalam Haynes, 2000) sebagai *'knowledge as power'*. Menurut Absori (2009), hubungan antara masyarakat manusia dan lingkungan secara kodrati sebenarnya keduanya merupakan satu kesatuan kehidupan sebagai *biotif community*. Manusia dan komunitasnya, disamping diberi hak untuk memanfaatkan, juga mempunyai tanggungjawab untuk menyelamatkan dan melestarikan lingkungan.

Absori (2009) mempunyai keyakinan, sebagaimana kacamata teologi lingkungan, bahwa kesadaran keyakinan masyarakat dapat merubah persepsi menjadi realitas. Sehingga keyakinan bahwa manusia adalah khalifah di muka bumi dapat didayagunakan untuk membangun kesadaran lingkungan masyarakat (Abdillah, 2001). Akumulasi gerakan kesadaran lingkungan akan semakin kuat tumbuh di kalangan masyarakat dengan penanaman pemahaman bahwa mencintai, memelihara, dan melestarikan lingkungan merupakan bagian dari ibadah.

Bahan dan Metode Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil UMS. Pengamatan lapangan dilakukan di beberapa ruas jalan Pantura. Selain data hasil investigasi laboratorium, juga dikumpulkan data hasil pelaksanaan beberapa proyek daur ulang jalan, dan beberapa hasil penelitian terkait penggunaan RAP untuk bahan jalan. Pengujian laboratorium menggunakan alat penelitian yang telah tersedia di laboratorium Teknik Sipil UMS. Bahan penelitian menggunakan bahan RAP dari daerah Kabupaten Sragen Jawa Tengah.

Langkah penelitian dikategorikan menjadi beberapa kegiatan, yaitu:

1. Pengumpulan berbagai kebijakan mengenai pembangunan berkelanjutan , dan data pekerjaan preservasi jalan dengan metode recycling.
2. Pengembangan kebijakan penerapan *green technology* untuk peningkatan kualitas hidup dalam program pembangunan preservasi jalan.
3. Analisis karakteristik dasar material RAP, dan
4. Rancang bangun pemanfaatan material RAP dengan berbagai skenario campuran.

Kebijakan Green Technology dalam Pembangunan Preservasi Jalan

Secara lebih kongkrit teknologi hijau adalah aplikasi sains alam sekitar untuk memelihara sumberdaya alam serta mengelola dampak negatif akibat aktivitas manusia. Teknologi hijau adalah teknologi rendah karbon dan lebih ramah lingkungan. Produk akan aman digunakan dan menyediakan lingkungan yang sehat dan lebih baik untuk semua kehidupan. Ia juga menghemat energi dan sumberdaya alam serta menggalakkan sumber-sumberdaya yang renewable. Tujuannya adalah mengurangi penggunaan energi dan sekaligus meningkatkan pembangunan ekonomi. Selain itu, teknologi hijau memastikan pembangunan lestari dan memelihara sumberdaya alam untuk generasi mendatang serta meningkatkan pendidikan dan kesadaran masyarakat terhadap teknologi hijau dan menyebarluaskan aplikasi teknologi hijau. Teknologi hijau juga mampu mengurangi emisi karbon ke udara yang menyebabkan fenomena perubahan iklim global.

Dalam hal ini, teknologi hijau merujuk kepada pembangunan dan aplikasi produk, peralatan serta sistem untuk memelihara lingkungan hidup dan sumberdaya alam dan meminimumkan atau mengurangi dampak negatif akibat aktivitas manusia. Teknologi hijau merujuk kepada produk, peralatan, atau sistem yang memenuhi kriteria berikut : 1). Meminimumkan degradasi kualitas lingkungan, 2). Mempunyai pembebasan gas rumah kaca (GHG) yang rendah, 3). Aman untuk digunakan dan menyediakan lingkungan hidup sehat dan lebih baik untuk semua kehidupan, 4). Menghemat energi dan sumberdaya alam, 5). Menggalakkan sumber-sumber yang dapat diperbaharui (renewable). (Anonim, Green Road Technology, Perda RTRW Kota Bogor, 2012).

Berkaitan dengan pembangunan preservasi jalan dengan menggunakan pendekatan green technology yang memanfaatkan recycling asphalt pavement (RAP) dengan menerapkan teknologi daur ulang jalan (road recycling) diperoleh gambaran bahwa penggunaan limbah aspal jalan (material RAP) pada mulanya dikeruk dan kemudian dibuang atau dibiarkan menumpuk sehingga menggagu lingkungan. Melalui studi ini dengan menerapkan teknologi baru limbah material aspal dimanfaatkan dengan menambahkan bahan semen/aspal emulsi/foamed bitumen untuk dijadikan material perkerasan baru yang dapat dijadikan bahan perkerasan jalan. Pemanfaatan RAP dapat dikembangkan untuk program preservasi jalan, yang bermanfaat untuk meningkatkan kualitas jalan dan ramah lingkungan.

Pemanfaatan RAP untuk bahan campuran/olahan aspal akan diperoleh berbagai kelebihan, yakni (1) pemanfaatan limbah aspal hasil pengerukan jalan yang rusak (mengelembung) yang tidak terpakai akan dapat mengatasi problem lingkungan, seperti lokasi pembuangan dan pencemaran, (2) penggunaan limbah aspal hasil pengerukan akan dapat mengurangi bahan aspal alam natural yang selama ini diperoleh dari dieksplotasi bahan tambang yang dapat merusak lingkungan, (3) pengolahan aspal dengan menggunakan bahan campuran limbah material aspal akan lebih mudah dan ramah lingkungan, karena akan dapat mengurangi kadar debu limbah di udara yang dapat menimbulkan pencemaran udara, (4) pemanfaatan RAP untuk bahan campuran pemeliharaan jalan dari sisi ekonomi akan lebih murah (ekonomis).

Analisis Karakteristik Dasar Bahan RAP

Karakteristik dasar material RAP yang dibahas dalam penelitian ini adalah lokasi & jenis asal perkerasan, kadar air *initial*, ukuran nominal butiran RAP, kekuatan keausan, *particle density*, nilai *sand equivalent*, karakteristik kepadatan, daya dukung, karakteristik Marshall, dan karakteristik volumetriknya. Penyusunan karakteristik RAP ini dibuat berdasarkan hasil investigasi tim peneliti, data sekunder hasil penelitian lain, termasuk data material RAP dari United Kingdom (UK) hasil penelitian Sunarjono (2009). Data sebagai bahan kajian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Bahan RAP

| No | Lokasi asal | Sifat fisik | |
|----|--|---|--|
| 1 | Sragen Jawa Tengah (Hasil investigasi kolaborasi tim peneliti dan mahasiswa UMS Danny dan Wahyu) | Jenis perkerasan= hot mix/lapen Ukuran butir maksimum= 25mm Kekuatan keausan: nilai abrasi= 57% | Kepadatan: MDD= 2,86 kg/cm3, OMC 7,5% Daya dukung: CBR= 37% Cold mix: uji Marshall tidak memungkinkan |
| 2 | Palu Sulawesi (Kasan (2009)) | Ukuran butir maksimum= 19mm | |

| | | | |
|---|---|--|---|
| 3 | Subang Jawa Barat, Suroso (2009) | Ukuran butir maksimum= 19mm | |
| 4 | Sanggau Kalimantan Barat, Juniardi dkk (2010) | Jenis perkerasan= HRS-WC Hot mix: Stabilitas Marshall= 543 kg, | VIM= 5% |
| 5 | Tegal Jawa Tengah Suroyo (2004) | Jenis perkerasan: AC+ATBL Ukuran butir maksimum= 25mm Kekuatan keausan: nilai abrasi= 36% Berat jenis= 2,6, penyerapan=1,395% Nilai SE= 90% | Soundness= 1,87% Hot mix: Stabilitas Marshall= 1265 kg, Flow= 3,09mm VMA=15%, VFWA=79%, VIM=3,11% |
| 6 | Mojokerto Jawa Timur Suwanto (2010) | Jenis perkerasan: AC-WC Hot mix: Stabilitas Marshall= 899 kg, | Flow= 4,13 mm, Density= 2,28 kg/cm ³ , VFWA=52%, VIM=8,11% |
| 7 | UK, Sri Sunarjo (2008) | Ukuran butir maksimum= 28mm (wash sieving), 39mm (dry sieving) Kadar air initial= 3,6% | Particle density= 2,47 (oven dried) Kepadatan: MDD= 2,19 kg/cm ³ , OMC = 6,0% LL=17,9%, PL= 15,2% |

Secara umum, material RAP terlihat abu-abu kehitaman pada kondisi kering, atau terlihat lebih kehitaman pada kondisi basah. Materi RAP terdiri atas butiran halus, sedang, dan kasar. Butiran kasar terkadang merupakan gabungan beberapa butiran sedang dan halus. Disamping itu, di dalam material RAP juga terlihat bongkahan besar yang keras. Proporsi agregat halus sangat rendah atau terjadi defisiensi agregat halus. Oleh sebab itu Wirtgen (2005) merekomendasikan metode pencucian (wash sieving) untuk uji penyaringan material dengan maksud agar masing-masing butiran yang telah menggumpal dapat terpisah. Sifat fisik material RAP ini disimpulkan berdasarkan hasil pemeriksaan terhadap enam lokasi asal sebagaimana terinci pada Tabel 1. Jenis material asal RAP rata-rata berasal dari lapis permukaan jenis hot-mix asphalt concrete (AC) ataupun hot rolled sheet (HRS). Jenis material tersebut ditemukan juga berkombinasi dengan material lapis penetrasi (LAPEN) dan asphalt treated base levelling (ATBL). Perlu diketahui bahwa jenis material yang sering digunakan di Indonesia selain AC dan HRS adalah split mastic asphalt (SMA). Sedangkan untuk jalan Kabupaten juga ada variasi jenis BURTU dan BURDA. Material RAP sangat dimungkinkan tercampuri material lapis pondasi agregat pecah kelas A dan B, ataupun sirtu kelas C. Sifat fisik material RAP sangat dipengaruhi oleh jenis asal materialnya.

Ukuran butir maksimum ditemukan sekitar 19-25 mm. Sesuai diskusi dalam Sunarjo (2009) maka ukuran butir dapat dipengaruhi oleh metode saringan yang digunakan. Sunarjo (2009) mendapatkan, untuk kasus RAP UK, bahwa bila menggunakan metode saringan basah (wash sieving) maka akan didapat ukuran butir lebih kecil bila dibanding metode kering. Hal ini dikarenakan dalam keadaan kering, material RAP berukuran besar (bongkahan) dapat merupakan cluster butiran kasar, sedang, halus, dan filler.

Hasil penelitian Herman (2004), bahan RAP yang berasal dari Tegal Jawa Tengah menunjukkan bahwa hasil uji Sand equivalent agregat pada job mix 64,80% < Sand equivalent agregat hasil bongkaran didapat 86,67%, terjadi kenaikan tetapi masih memenuhi spesifikasi minimum yaitu 50%.

Hasil uji abrasi didapat hasil 57% dari rata-rata tiga hasil percobaan yang telah dilakukan. Spesifikasi Laston 1985 maksimum 40% untuk lapis perkerasan jalan, jadi material RAP ini tidak masuk spesifikasi, tapi mampu melayani beban lalu lintas rendah. Menurut Herman (2004), bahan RAP (berasal dari daerah Tegal Jawa Tengah), hasil uji kualitas Abrasi menunjukkan agregat pada job mix 24,16 % > abrasi agregat hasil bongkaran didapat 35,80, terjadi kenaikan tetapi masih memenuhi spesifikasi maksimum 40%.

Kandungan material RAP berdasarkan uji ekstraksi. Hasil pengujian ekstraksi didapat rata-rata kadar aspal 6,7%. Maka material RAP mengandung kadar aspal 6,7% atau kandungan agregatnya sekitar 3,3%. Saat pengujian ekstraksi, kadar aspal yang terekstraksi sangat sedikit, maka aspal pada RAP tidak bisa diketahui penetrasinya. Menurut Herman (2004) dengan menggunakan bahan RAP dari jalan disekitar daerah Tegal menyatakan bahwa aspal mengalami perubahan, seperti Penetrasi aspal pada job mix 73,5 > penetrasi aspal hasil bongkaran didapat 57,20, mengalami penurunan; hasil uji tes Daktilitas menunjukkan aspal pada job mix diatas 150 cm > Daktilitas aspal hasil bongkaran didapat 87,5 cm, mengalami penurunan.

Komponen agregat dalam RAP diketahui ukuran maksimumnya adalah sekitar 9,5 mm. Komposisi komponen agregat dalam RAP kurang lebih:

- a. Ukuran kasar (>10mm) = 14%
- b. Ukuran medium (5-10 mm) = 27%
- c. Ukuran halus (s.d 5 mm) = 59%.

Karakteristik distribusi ukuran butir material RAP berdasarkan uji gradasi. Material Rap dibagi menjadi 3 bagian, yaitu ukuran > 9,5mm, ukuran 4,75-9,5mm, dan ukuran < 4,75mm. RAP ukuran kasar (>9,5%)

memiliki butiran ukuran >9,5% sebanyak 83%, RAP ukuran medium memiliki butiran 4,75-9,5mm sebanyak 92%, sedangkan RAP ukuran halus memiliki ukuran < 4,75mm sebanyak 100%. Berdasarkan uji gradasi, material tambah agregat kasar diketahui memiliki ukuran terbesar butiran adalah 25 mm (sekitar 39%) dan ukuran terkecil adalah 0,075 mm (filler). Ukuran dominan adalah 9,5 mm sebesar 60%.

Karakteristik kepadatan material RAP berdasarkan uji Modified Proctor. Kepadatan maksimum sebesar 2,86 kg/cm³ dapat dicapai pada kadar air sekitar 7,5%. Pada kondisi kering dengan kadar air sekitar 3% nilai kepadatan sekitar 2,83 kg/cm³, dan pada kondisi basah dengan kadar air 12% nilai kepadatan juga didapatkan sekitar 2,83%.

Karakteristik daya dukung material RAP berdasarkan uji CBR. Nilai CBR umumnya dipilih pada penetrasi 0,1", Jika nilai CBR pada penetrasi 0,2" lebih besar, maka percobaan harus diulang, jika percobaan diulang memberikan hasil sama, nilai CBR pada penetrasi 0,2" seharusnya digunakan.

Dengan nilai CBR > 50 %, untuk lapis pondasi atas dan 20% untuk lapis pondasi bawah, tetapi setelah dilakukan percobaan tiga sampel didapat nilai CBR penetrasi 0,2 inchi yang berbeda-beda. Karena perbedaan yang signifikan RAP tidak bisa di rekomendasikan dalam lapis pondasi perkerasan jalan. Untuk mendapatkan nilai CBR yang seragam dan hasil sesuai spesifikasi lapis perkerasan jalan, material RAP perlu penambahan material baru, karena dari hasil uji gradasi material RAP cenderung masuk pada lapis pondasi atas (*base course*).

Analisis dasar rancang bangun material RAP

Gradasi material RAP terlampau halus maka diperlukan bahan tambah berupa agregat kasar. Komposisi material rancang bangun adalah agregat fresh kasar = 41%, RAP \geq 9.5 mm= 15%, RAP \geq 4,75 mm= 14%, RAP \leq 4,75 mm = 25%, dan Filler = 5%

Kepadatan maksimum sebesar 2,45 kg/cm³ dapat dicapai pada kadar air sekitar 4,9%. Pada kondisi kering dengan kadar air sekitar 2% nilai kepadatan sekitar 2,38 kg/cm³, dan pada kondisi basah dengan kadar air 8% nilai kepadatan juga didapatkan sekitar 2,36%.

Dari beberapa pengujian, nilai CBR lebih stabil tetapi hasil yang didapat pada penetrasi 0,2 inchi masih belum memenuhi syarat spesifikasi lapis pondasi atas. Dikarenakan RAP tidak memenuhi syarat keausan agregat. Syarat keausan agregat untuk lapis pondasi atas adalah 0 – 40 %. Tetapi yang didapat dari uji keausan agregat (*Abrasi*) adalah 57 %. Dan bahan agregat kasar dimungkinkan bukan batuan yang keras karena hasil uji abrasi yang di hasilkan 36%, syarat untuk lapis pondasi 40 %. Dan nilai CBR untuk agregat kasar baru sebesar pada pembacaan penetrasi 0,2 inchi 41,1%. Walau pun sudah masuk spesifikasi tapi agregat kasar tersebut masih belum mampu memperbaiki daya dukung RAP. Jadi dalam kasus ini material RAP belum memenuhi syarat untuk digunakan sebagai lapis pondasi atas tapi dapat digunakan untuk lapis pondasi bawah.

Karakteristik Marshall material rancang bangun RAP dengan hot-mix

Rancang bangun RAP dapat dilakukan dengan cara mengolah RAP secara panas sebagaimana diteliti oleh Suwanto (2010). Material RAP tanpa bahan tambah kemudian dipanaskan hingga 140°C, dicampur, dan kemudian dipadatkan untuk diuji Marshall tes. Hasil uji dapat dilihat pada Tabel di bawah ini. Perlu dicatat bahwa material RAP pada penelitian ini berasal dari ruas jalan nasional Mojokerto-Gemekan (Link-09) perkerasan jenis AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). RAP diambil pada tahun 2005. Kalau diperhatikan karakteristik Marshall material rancang bangun RAP ini, nilai stabilitasnya masih cukup tinggi yaitu sekitar 800-1000 kg. Nilai kepadatan sekitar 2,28 kg/cm³ dengan nilai maksimum teoritisnya sekitar 2,48 kg/cm³. Kadar aspal didapatkan sebesar 4,04%. Karakteristik voidnya adalah sebesar rata-rata 17% (Void in mix aggregate) dan 8% (void in the mix). Nilai rata-rata flow campuran sekitar 4 mm, sehingga nilai Marshall Quotient sekitar 225 kg/mm. Bila menggunakan kriteria spesifikasi AC maka campuran rancang bangun RAP ini memiliki karakteristik void yang tidak memenuhi syarat, namun nilai stabilitasnya sudah memenuhi syarat. Berdasarkan hasil ini dapat digarisbawahi bahwa rancang bangun RAP memang mempunyai kendala masalah kepadatannya.

Hasil penelitian Herman (2004) terhadap material hot-mix menggunakan bahan RAP dari daerah Tegal Jawa Tengah, menyatakan bahwa hasil analisa ketiga rongga (VMA, VFWA, dan VIM) menunjukkan ketiga campuran baik, dengan nilai Job Mix AC (15,62%;76,76%;4,10%), campuran recycling agregat bongkaran (14,94%;79,22%;3,11%), dan campuran recycling agregat barn (15,30%;75,23%;3,79%). Hasil pengujian benda uji (Stabilitas, Flow, MQ dan ISS) menunjukkan ketiga campuran baik, dengan nilai Job Mix AC (1102 kg; 3,1mm, 348,5 kg/mm; 79%), campuran recycling agregat bongkaran (1265 kg; 3,09 mm, 411,8 kg/mm; 91%), dan campuran recycling agregat ban (1274 kg; 3,04 mm; 425,3kg/mm; 92%). Dengan pemanfaatan material jalan secara optimal maka teknik daur ulang merupakan salah satu alternatif untuk pemeliharaan dan rehabilitasi lapis keras lentur.

Karakteristik material rancang bangun cold-mix RAP dengan foamed bitumen

Foamed bitumen (FB) atau busa aspal dapat dibuat dengan cara menyuntikkan sedikit air dingin ke dalam aspal panas (Mobil oil, 1968). Bila FB disemprotkan ke agregat (*unheated*) maka akan terbentuk campuran aspal untuk bahan perkerasan jalan.

Berdasarkan hasil investigasi terhadap campuran RAP dan FB dengan bahan tambah semen yang dilakukan secara semi full scale melalui percobaan *trafficking*, campuran RAP menunjukkan kinerja yang sangat baik. Percobaan dilakukan terhadap 4 variasi campuran Mix 1 s/d Mix 4 dengan rincian sebagai berikut:

Mix 1: RAP 75% + busa aspal Pen 50/70

Mix 2: RAP 75% + busa aspal Pen 70/100

Mix 3: RAP 50% + busa aspal Pen 70/100

Mix 4: RAP 50% + busa aspal Pen 70/100 + semen 1,5 %

Inspeksi dilakukan secara kontinyu terhadap permukaan perkerasan baik kemungkinan adanya retak maupun rutting yang terjadi. Pada material campuran semen tidak ditemukan distress apapun. Sedangkan pada material campuran busa aspal terjadi rutting begitu beban roda 3 kN diaplikasikan. Rutting hanya terjadi pada lintasan roda dan terjadi lompatan kedalaman deformasi saat beban roda ditingkatkan. Pada setiap level beban, percepatan kedalaman rutting diketahui berkurang. Saat *trafficking* mencapai kurang lebih 15000 lintasan yaitu setelah diaplikasikan beban 12 kN, pada material campuran busa aspal terjadi retak sepanjang lintasan roda di bagian pinggir. Retak ini diperkirakan bukanlah akibat *fatigue*, namun semata-mata akibat kedalaman rutting yang berlebih. Secara umum, penggunaan RAP 50% memberikan performance lebih baik dari pada RAP 75%. Demikian juga penggunaan aspal Pen 50/70 dapat mereduksi distress yang terjadi. Penggunaan semen pada campuran busa aspal sangat signifikan mengurangi tingkat distress dimana hanya terlihat sedikit rutting serta tidak muncul retak sepanjang lintasan roda.

Sebagaimana prediksi semula, kecuali respon strain pada Mix 2, nilai strain bertambah saat diaplikasikan beban roda yang lebih berat. Ada lompatan respon strain saat beban roda ditingkatkan menjadi 6 kN dan atau 12 kN. Respon strain yang terjadi pada Mix 2 mungkin disebabkan oleh rapuhnya kohesi antara permukaan gauge dengan material campuran disekitarnya. Nilai tensile strain terlihat relatif konstan selama beban roda sebesar 3 dan 6 kN diaplikasikan. Hal ini dimungkinkan adanya perimbangan antara peningkatan kekuatan struktural material yang mendorong penurunan nilai strain dan berulangnya pembebanan roda yang mendorong nilai strain naik. Saat diaplikasikan beban roda 12 kN, nilai strain tampak turun secara gradual. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kekuatan struktural material karena efek curing lebih dominan daripada pengaruh beban. Namun trend ini tidak terlihat pada Mix 2 sehingga menguatkan dugaan bahwa gauge pada blok ini ada sesuatu yang salah. Kemungkinan terbesar kesalahan terjadi saat pemasangan gauge yang mana material yang dilapiskannya terlampaui kering sehingga menurunkan rekatan kohesi antara gauge dan material.

Respon yang diberikan strain gauge arah longitudinal dapat dikatakan selalu lebih besar bila dibandingkan dengan strain gauge arah transversal. Hal ini diperkirakan akibat beban roda memberi efek tekan dan tarik pada arah longitudinal, sedangkan pada arah transversal hanya ada efek tekan. Namun pola ini tidak berlaku pada Mix 6 dimana respon strain transversal lebih besar. Kemungkinan campuran semen dengan proporsi RAP 50% menjadi lebih kaku dan memberikan respon yang berbeda. Nilai-nilai modulus mempunyai rentang yang cukup lebar dikarenakan oleh adanya variasi respon gauge. Variasi respon gauge dapat disebabkan oleh 3 faktor yaitu (1) fluktuasi besar load selama *trafficking*, (2) variasi tebal lapisan dan (3) variasi kondisi struktural lapisan pondasi. Secara garis besar, modulus lapis perkerasan campuran busa aspal diatas pondasi dengan modulus 60 MPa pada awal umurnya berkisar antara 300 MPa pada nilai terendah dan 2500 MPa pada nilai tertinggi. Nilai modulus ini merupakan fungsi dari komposisi agregat dan waktu curing. Sedangkan untuk material campuran semen mempunyai rentang nilai antara 1000 sampai 3000 MPa.

Campuran RAP dan foamed bitumen telah diterapkan di Jalan Pantura Ruas Jatibarang-Palimanan Jawa Barat. Pada kasus ini, lapisan permukaan beton aspal setebal 30 cm dan lapisan pondasi agregat dengan tebal variasi 30-50 cm, didaur ulang menjadi lapisan pondasi CTRB (*cement treated recycled base*) setebal 30 cm, dan lapisan CMRFB (*cold mix recycling with foamed bitumen*) setebal 20 cm. Diatas lapisan CMRFB ini kemudian ditutup dengan lapisan AC-BC dan AC-WC setebal masing-masing 5 cm. Campuran CMRFB dengan komposisi RAP 50%, agregat 50%, FB 2%, dan semen 1%, berdasarkan investigasi laboratorium memiliki kinerja ITS soaked diatas 300 kPa dan modulus diatas 2000 Mpa. Namun ketika campuran ini dipadatkan di lapangan, kekuatannya ditemukan lebih tinggi yaitu nilai ITS antara 400-600 kPa, baik menggunakan metode *in-place* ataupun *in-plant*.

Kesimpulan dan Saran

Campuran bahan RAP tanpa bahan tambah dengan sistem pencampuran dingin dan hangat menghasilkan kinerja yang rendah sehingga direkomendasikan hanya untuk bahan urugan pilihan/ lapis pondasi tanpa lapis penutup aspal kelas C bahan bahu jalan tanpa pengikat. Sedangkan campuran bahan RAP dengan sistem pencampuran panas walau tanpa bahan tambah menghasilkan peningkatan kinerja sehingga dapat digunakan untuk lapis pondasi atas. Sedangkan campuran bahan RAP dengan bahan tambah dengan ketiga sistem pencampuran tersebut memberikan kinerja yang sangat baik, sehingga dapat digunakan untuk lapis antara atau bahkan untuk lapis aus.

Daftar Pustaka

- Absori, (2009), "Hukum Penyelesaian Sengketa Lingkungan Hidup, Sebuah Model Penyelesaian Sengketa Lingkungan Hidup Dengan Pendekatan Partisipatif", Muhammadiyah University Press, Surakarta.
- Abdillah, M., (2001), "Agama Ramah Lingkungan", Perspektif Al-Qur'an, Paramadina, Jakarta.
- Juniardi, F., Widodo, S., Zain, Z., (2010), "Studi Empiris Standarisasi Kinerja Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Hot Rolled Sheet (HRS) Hasil Recycling (daur Ulang) Sebagai Dukungan Upaya Strategis Nasional Untuk Peningkatan Kualitas Infrastruktur Transportasi", Institusi Lembaga Penelitian, Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Kasan, M., (2009), "Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang" *Majalah Ilmiah Mektek*, Tahun XI, No 2 Mei 2009, Palu.
- Sunarjono, S., (2009), "Investigating Rutting Performance of Foamed Cold-Mix Asphalt Under Simulated Trafficking" *Dinamika Teknik Sipil*, Vol 9, No. 2, Juli 2009, Akreditasi B, ISSN: 1411-8904.
- Suroso, T., W., (2009), "Meningkatkan Mutu Aspal Di Perkerasan Jalan Yang Telah Lapuk Dengan Cara Dingin", Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Suroyo, H., (2004), "Pengaruh Daur Ulang Bahan Bongkaran Aspal Terhadap Sifat - Sifat Fisik Beton Aspal (Studi Kasus Di Jalan Gajahmada Tegal)", Masters thesis, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Suwantoro, (2010), "Optimalisasi Penggunaan Material Hasil Cold Milling Untuk Daur Ulang Lapisan Perkerasan Jalan Beton Aspal Type AC/Asphalt Concrete".