

## UJI KEPADATAAN DAN CBR BAHAN RAP DENGAN GRADASI RUMUS FULLER

Sri Sunarjono<sup>1)</sup>, Agus Riyanto, Sofyan Ardinata<sup>2)</sup>

Pusat Studi Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos 1 Surakarta 57102

<sup>1)</sup>[Sri.Sunarjono@ums.ac.id](mailto:Sri.Sunarjono@ums.ac.id) <sup>2)</sup>[Agus.Riyanto@ums.ac.id](mailto:Agus.Riyanto@ums.ac.id) <sup>3)</sup>[ardinata.sofyan@gmail.com](mailto:ardinata.sofyan@gmail.com)

### Abstrak

RAP atau *Reclaimed Asphalt Pavement* sering dimanfaatkan sebagai bahan agregat dalam pekerjaan daur ulang perkerasan jalan. Bahan RAP, hasil penghancuran perkerasan jalan lama, dicampur secara dingin menggunakan bahan ikat foamed bitumen atau aspal emulsi dapat menghasilkan lapis perkerasan baru dengan kualitas yang memadai. Permasalahan yang sering dijumpai dalam pekerjaan ini adalah nilai kepadatan dan stabilitas produk campuran yang masih kurang konsisten. Perlu ada investigasi terhadap bahan RAP untuk mengetahui penyebab kelemahan ini. Tujuan penelitian yaitu untuk menyelidiki nilai kepadatan dan CBR bahan RAP yang gradasinya direkayasa menggunakan persamaan Fuller. Metode penelitian yaitu melakukan serangkaian uji kepadatan dan CBR terhadap bahan RAP rekayasa dan asli. Hasil dari uji kedua bahan tersebut kemudian dibandingkan. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi gradasi Fuller, yaitu ukuran nominal 1".  $\frac{3}{4}$ ", dan  $\frac{3}{8}$ ". Dari penelitian kepadatan yang memiliki nilai tertinggi adalah RAP Fuller D :  $\frac{3}{4}$ " dan yang terendah adalah RAP Asli, dengan nilai kepadatan maksimum RAP asli sebesar 1,55 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air optimum 3,07 %. RAP Fuller kepadatannya 1,71 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air optimum 8,4%. Pada pengujian CBR didapat bahwa nilai CBR yang tertinggi adalah RAP Fuller D :  $\frac{3}{4}$ " dan yang terendah adalah RAP Asli, RAP asli didapat nilai CBR = 27%, RAP Fuller nilai CBR = 60%. Hasil penelitian disimpulkan bahwa material RAP yang telah direkayasa gradasinya menggunakan rumus Fuller memiliki nilai kepadatan dan CBR yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan RAP asli.

**Kata Kunci:** RAP, gradasi, rumus Fuller, kepadatan, CBR

### PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi yang sangat berperan penting dalam berkembangnya suatu negara. Tidak hanya digunakan sebagai prasarana transportasi darat yang menghubungkan satu daerah ke daerah lain, fungsi jalan berperan penting dalam peningkatan dan stabilitas politik, ekonomi, sosial, budaya, pertahanan, dan keamanan maka dalam pembangunannya diperlukan perencanaan yang matang dan efisien.

RAP adalah bahan bongkaran perkerasan jalan lama yang sudah rusak, biasanya digunakan sebagai bahan urugan atau bahkan sering menjadi limbah, karena desakan krisis minyak dan isu lingkungan untuk mereduksi limbah, material RAP kemudian mulai dimanfaatkan secara progresif dengan cara diolah kembali dengan diberi bahan peremaja atau direkayasa gradasinya untuk dijadikan bahan perkerasan baru, tetapi masih perlu diteliti sejauh mana bahan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dapat digunakan sebagai bahan lapis perkerasan.

Gradasi agregat dapat dikatakan sangat mempengaruhi pada campuran beraspal karena gradasi agregat berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi stabilitas dalam campuran, dengan kondisi saling mengunci (*interlocking*) dari masing-masing partikel. Untuk dapat menjaga agar agregat dengan gradasi yang disyaratkan menghasilkan sifat campuran yang diinginkan, maka gradasi campuran untuk material RAP harus terletak diluar "daerah larangan (*restriction-zone*)" dari lengkung gradasi. Kurva Fuller adalah kurva dengan gradasi dimana kondisi campuran memiliki kepadatan maksimum dengan rongga diantara mineral agregat (VMA) yang minimum (Sukirman, 2003).

Susunan butir agregat mempunyai pengaruh besar terhadap volume rongga yang terbentuk dalam campuran, mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan (*workability*) dan dapat menentukan nilai kekuatan (stabilitas). Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada. Sedangkan agregat bergradasi buruk adalah agregat yang memiliki ukuran butir yang hampir sama dan agregat yang memiliki distribusi ukuran butir yang tidak menerus (senjang). Agregat bergaradasi baik atau buruk juga dapat diperiksa dengan menggunakan rumus *Fuller* (Sukirman, 2003).

Persamaan *Fuller* merupakan agregat yang bergradasi baik, dapat dipadatkan sampai suatu keadaan kepadatan tinggi yang stabil. Meskipun demikian suatu keadaan yang stabil masih dapat diperoleh, jika distribusi gradasi agregat itu masih terletak dalam suatu batas deviasi di atas kurva tersebut (Soedarmo, 1997) maka maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kepadatan dan CBR dari bahan RAP setelah direkayasa gradasinya menggunakan rumus *Fuller*.

Pada *road recycling project* baik pada metode *in-situ* maupun *ex-situ*, campuran aspal dingin bahan RAP sering menggunakan bahan ikat *foamed bitumen*. Campuran ini sangat potensi digunakan sebagai lapis utama pada struktur perkerasan lentur karena memiliki kinerja yang baik dalam tiga properties, yaitu *stiffness* (Sunarjono 2007 dan 2010), ketahanan terhadap retak lelah (Sunarjono, 2006), dan ketahanan terhadap deformasi permanen (Sunarjono, 2013). Bila sifat kepadatan dan stabilitas campuran dapat ditingkatkan dalam penelitian ini maka campuran menggunakan bahan RAP dan *foamed bitumen* akan semakin diminati oleh para insinyur.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Sampel yang dibuat ada dua macam yaitu sampel RAP asli dan RAP yang telah direkayasa gradasinya menggunakan rumus Fuller. Pada RAP rekayasa ada 3 variasi gradasi yang digunakan. Gradasi 1 menggunakan diameter terbesar 1" (D : 1"). Gradasi 2 menggunakan diameter terbesar 3/4" (D : 3/4"), dan gradasi yang ke 3 menggunakan diameter terbesar 3/8" (D : 3/8"). Perhitungan proporsi campuran dapat menggunakan persamaan berikut :

$$p = 100x \left[ \frac{d}{D} \right]^{0.5} \quad (1)$$

dengan :

- P = persen lolos saringan dengan bukaan d mm
- d = ukuran agregat yang sedang diperhitungkan
- D = ukuran maksimum partikel dalam gradasi tersebut.

Adapun tahapan penelitian antara lain :

- Tahap I : Persiapan Alat dan Bahan
- Tahap II : Pengujian Karakteristik RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)
  - a. Uji Ekstraksi
  - b. Uji Berat Jenis
  - c. Uji Kadar Air
  - d. Uji Keausan (SNI 2417:2008)
  - e. Analisis Saringan
  - f. Uji Kepadatan (SNI 1742:2008)
  - g. Uji CBR (SNI 1744:2012)
- Tahap III : Menganalisis hasil pengujian karakteristik RAP
- Tahap IV : Pembuatan benda uji
  - 1. Pembuatan benda uji kepadatan dan CBR RAP asli
  - 2. Pembuatan benda uji kepadatan dan CBR RAP rekayasa

- Tahap V : Pengujian benda uji
1. Pengujian kepadatan dan CBR RAP asli
  2. Pengujian kepadatan dan CBR RAP rekayasa
- Tahap VI : Menganalisis hasil pengujian
1. Analisis Hasil Pengujian kepadatan dan CBR RAP asli
  2. Analisis Hasil Pengujian kepadatan dan CBR RAP rekayasa
- Tahap VII : Analisis perbandingan nilai Kepadatan dan CBR antara RAP asli dengan RAP rekayasa
- Tahap VIII : Kesimpulan dan saran

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Warna, Berat Jenis, dan Keausan Agregat

a. Pemeriksaan Warna

Bila dilihat secara visual, RAP yang didapat dari Kabupaten Tegal berwarna coklat keabu – abuan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Warna RAP

b. Berat Jenis

Hasil pengujian berat jenis RAP dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Berat Jenis RAP

Keterang.an	Hasil	
	RAP Kasar $\geq 4,75$ mm	RAP Halus $< 4,75$ mm
Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,62	2,01
Berat Jenis SSD	2,63	2,08
Berat Jenis Semu	2,64	2,17
Penyerapan ( <i>Absorpsi</i> )	0,27	3,73

Berdasarkan Tabel 1, RAP kasar mempunyai berat jenis lebih besar daripada RAP halus, tapi pada pengujian penyerapan (*absorpsi*) RAP halus penyerapannya lebih besar daripada RAP kasar. Penyerapan RAP halus lebih besar dikarenakan permukaan dari RAP halus lebih banyak, sehingga mampu menyerap air lebih besar.

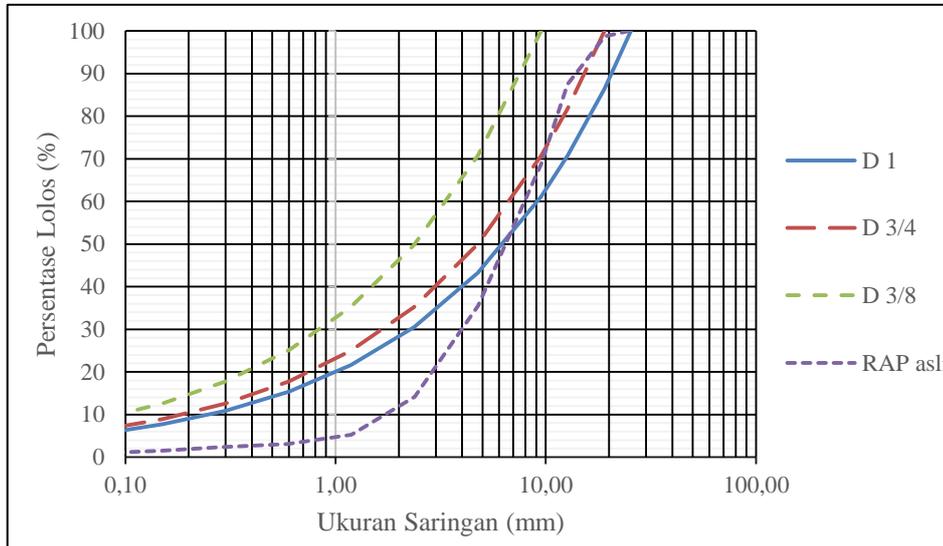
c. Keausan Agregat

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Berdasarkan hasil percobaan diperoleh hasil keausan RAP sebesar 26,69 %. Ini membuktikan bahwa RAP yang berasal

dari Kabupaten Tegal tersebut mempunyai mutu yang baik, karena nilainya lebih kecil dari spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu 40% (untuk semua campuran aspal kecuali AC Modifikasi).

d. Gradasi

RAP digradasi ulang menggunakan rumus Fuller dengan variasi ukuran butiran terbesar (D) yaitu D 1", D 3/4", dan D 3/8". Hasil perhitungan gradasi Fuller dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Gradasi Fullerr dan RAP asli

Dari kurva Fuller tersebut kemudian dicari nilai Cc dan Cu dengan cara sebagai berikut :

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{2}$$

dengan : Cu : Koefisien Keseragaman (*coefficient of uniformity*)  
 D60 : Diameter yang bersesuaian dengan lolos 60 % ayakan  
 D10 : Diameter yang bersesuaian dengan lolos 10 % ayakan

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \tag{3}$$

dengan : Cc : *coefficient of curvature* (koefisien kelengkungan)  
 D10 : Diameter yang bersesuaian dengan lolos 10 % ayakan  
 D30 : Diameter yang bersesuaian dengan lolos 30 % ayakan  
 D60 : Diameter yang bersesuaian dengan lolos 60 % ayakan

Berdasarkan perhitungan dari persamaan diatas maka didapatkan nilai dari Cc dan Cu. Nilai Cc dan Cu pada gradasi Fullerr dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Cc dan Cu gradasi Fuller

Gradasi	Cu	Cc
D : 1"	36	2,25
D : 3/4"	36	2,25
D : 3/8"	36	2,25

Gradasi dianggap baik apabila mempunyai koefisien gradasi  $1 < Cc < 3$  dengan  $Cu > 4$  untuk kerikil, dan  $Cu > 6$  untuk pasir. Tanah disebut bergradasi sangat baik bila  $Cu > 15$ . Dari ketiga gradasi , nilai Cc dan Cu masuk dalam kriteria sehingga dapat disimpulkan bahwa gradasi Fuller merupakan gradasi baik.

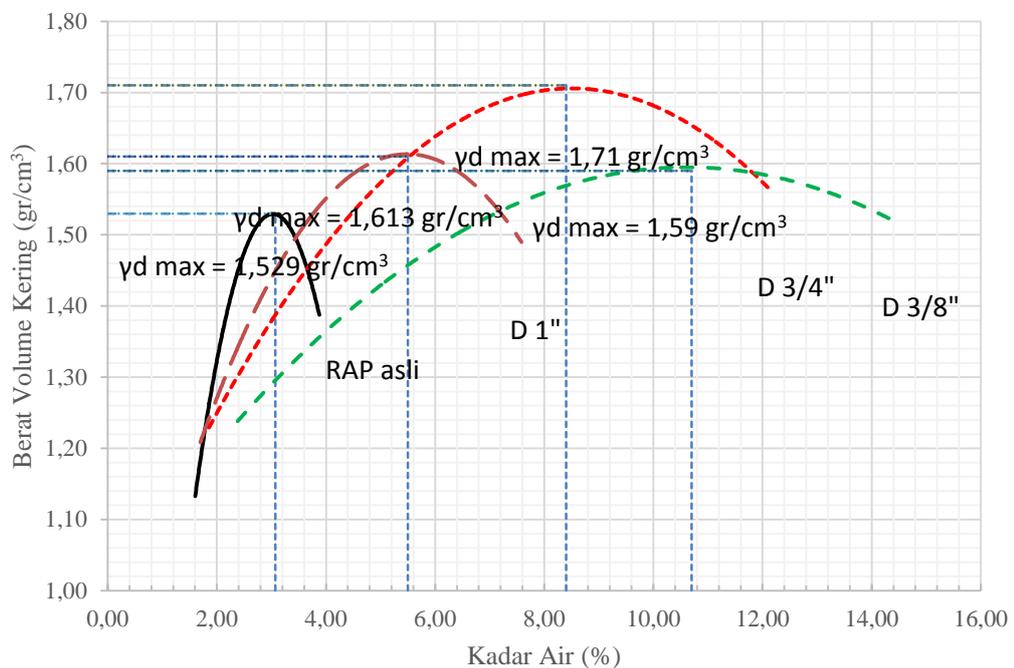
**Analisis Nilai Kepadatan RAP Asli dan RAP rekayasa**

Pemeriksaan kepadatan RAP asli dengan RAP rekayasa untuk membandingkan nilai dari RAP asli dengan RAP yang sudah direkayasa gradasinya. Bahan perkerasan yang telah di *recycling* dari Kabupaten Tegal di Jalur Pantura nilai kepadatandapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Kepadatan RAP Asli dan RAP rekayasa**

Variasi Kepadatan	Kepadatan maksimum	Kadar air Optimum
RAP asli <i>Standart Proctor</i>	1,53 gr/cm <sup>3</sup>	3,07%
RAP rekayasa (D = 1") <i>Standart Proctor</i>	1,62 gr/cm <sup>3</sup>	5,50%
RAP rekayasa (D = 3/4") <i>Standart Proctor</i>	1,71 gr/cm <sup>3</sup>	8,40%
RAP rekayasa (D = 3/8") <i>Standart Proctor</i>	1,59 gr/cm <sup>3</sup>	10,70%

Dari tabel 3 , didapatkan hasil bahwa nilai kepadatan tertinggi yaitu RAP rekayasa *Fuller* D = 3/4" dengan nilai kepadatan maksimum 1,71 gr/cm<sup>3</sup>, kemudian disusul RAP rekayasa *Fuller* D = 1" dengan nilai kepadatan maksimum 1,62 gr/cm<sup>3</sup>, RAP rekayasa *Fuller* D = 3/8" dengan nilai kepadatan maksimum 1,59 gr/cm<sup>3</sup>, kemudian yang terendah adalah RAP asli dengan nilai kepadatan maksimumnya sebesar 1,53 gr/cm<sup>3</sup> . Untuk melihat perbandingan nilai kepadatan antara RAP asli dengan RAP rekayasa dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2. Perbandingan Nilai Kepadatan RAP asli dan RAP rekayasa**

Pada pengujian kepadatan menggunakan 1 sampel, dengan variasi penambahan air 50 ml. Jumlah penambahan air sebanyak 7 kali. Untuk menentukan kadar air optimum digunakan *TrendlinePolynomial*. Dari keempat sampel tersebut yang paling padat adalah sampel ketiga yaitu RAP yang telah direkayasa dengan gradasi *Fuller* D = 3/4", dikarenakan komposisi yang seimbang antara jumlah agregat halus dan kasar Selain itu kadar air tertinggi ada pada gradasi *Fuller* D = 3/8".

Hal ini dikarenakan banyaknya agregat halus pada gradasi Fuller  $D = 3/8''$ , walaupun rongga antar agregat lebih kecil, namun untuk penyerapan airnya semakin besar. Fungsi dari air adalah sebagai pelumas tetapi karena jumlahnya terlalu banyak sehingga mengisi rongga antar agregat dan mengakibatkan kepadatannya menurun.

#### Analisis Nilai CBR RAP Asli dan RAP Rekayasa

Pemeriksaan CBR dimaksudkan untuk mengetahui besar nilai CBR yang telah dilakukan. Pemeriksaan CBR RAP asli dan RAP rekayasa dilakukan tanpa perendaman (*Unsoaked*). Hasil pemeriksaan CBR dapat dilihat pada Tabel 4, 5, dan 6.

**Tabel 4. Nilai CBR 10 kali Tumbukan**

Variasi CBR <i>Unsoaked</i>	Jumlah Pukulan	Nilai CBR (%)
RAP asli	10 Pukulan	8
RAP rekayasa Fuller ( $D = 1''$ )		15,16
RAP rekayasa Fuller ( $D = 3/4''$ )		14,66
RAP rekayasa Fuller ( $D = 3/8''$ )		9,5

**Tabel 5. Nilai CBR 30 Kali Tumbukan**

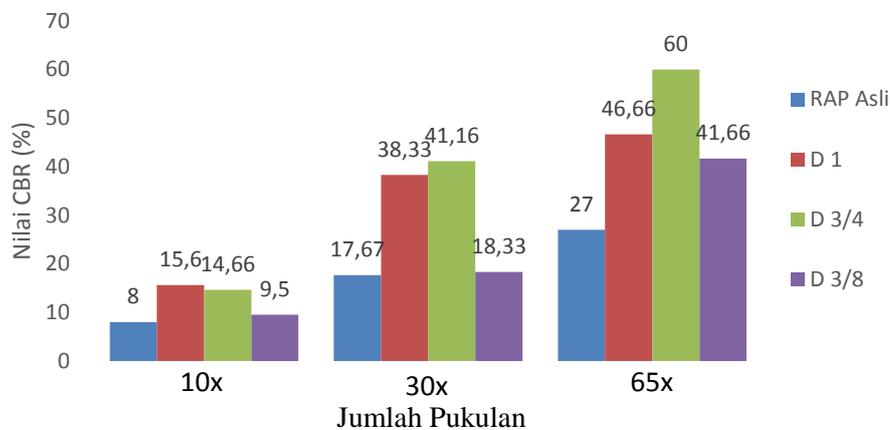
Variasi CBR <i>Unsoaked</i>	Jumlah Pukulan	Nilai CBR (%)
RAP asli	30 Pukulan	17,67
RAP rekayasa Fuller ( $D = 1''$ )		38,33
RAP rekayasa Fuller ( $D = 3/4''$ )		41,16
RAP rekayasa Fuller ( $D = 3/8''$ )		18,33

**Tabel 6. Nilai CBR 65 kali Tumbukan**

Variasi CBR <i>Unsoaked</i>	Jumlah Pukulan	Nilai CBR (%)
RAP asli	65 Pukulan	27
RAP rekayasa Fuller ( $D = 1''$ )		46,66
RAP rekayasa Fuller ( $D = 3/4''$ )		60
RAP rekayasa Fuller ( $D = 3/8''$ )		41,66

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian, nilai daya dukung dari RAP asli lebih rendah daripada RAP rekayasa. Pada gambar diatas dapat dilihat nilai CBR masing-masing campuran dari pengujian 10 kali pukulan, 30 kali pukulan, dan 65 kali pukulan. Dari ketiga macam jumlah pukulan tersebut terjadi perubahan posisi nilai tertinggi tetapi untuk yang terendah campurannya tetap yaitu RAP asli. Pada pengujian 10 kali pukulan nilai CBR tertinggi adalah RAP Fuller  $D = 1''$  yaitu sebesar 15,6% kemudian yang terendah adalah RAP Asli dengan nilai 8. Pada pengujian 30 kali pukulan nilai CBR tertinggi adalah RAP Fuller  $D = 3/4''$  yaitu sebesar 41,16% kemudian yang terendah adalah RAP Asli dengan nilai 17,67%. Pada pengujian 65 kali pukulan nilai CBR tertinggi adalah RAP Fuller  $D = 3/4''$  yaitu sebesar 60 kemudian yang terendah adalah RAP Asli dengan nilai 27%.

Dari keempat sampel tersebut, nilai RAP asli selalu jadi yang terendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa gradasi Fuller dapat meningkatkan daya dukung dari RAP. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai CBR RAP Asli dan RAP Rekayasa

#### Analisis Perbandingan Kepadatan dan CBR RAP Asli dengan RAP Rekayasa

Nilai kepadatan antara RAP asli dengan RAP rekayasa lebih tinggi RAP rekayasa. Baik pada gradasi Fuller D : 1", D : 3/4", dan D : 3/8". Dari ketiga sampel RAP Rekayasa, yang mempunyai nilai kepadatan tertinggi adalah gradasi D : 3/4". Pada gradasi D : 3/4" proporsi agregat halus dan agregat kasar lebih seimbang, agregat kasarnya tidak terlalu banyak seperti gradasi D : 1" dan agregat halusnya juga tidak terlalu banyak seperti gradasi D : 3/8". Terlalu banyak agregat kasar mengakibatkan banyaknya rongga udara didalam campuran, sedangkan jika terlalu banyak agregat halus maka mengakibatkan daya serap air semakin tinggi sehingga mengisi rongga antar agregat. Oleh sebab itu gradasi Fuller D : 3/4" nilainya kepadatannya lebih tinggi daripada gradasi fuller D :1" maupun D : 3/8".

Pada pengujian CBR dengan jumlah tumbukan 10 kali nilai CBR tertinggi ada pada gradasi Fuller D : 1" namun pada 30 kali dan 65 kali tumbukan nilai CBR tertinggi ada pada gradasi Fuller D : 3/4". Saat pengujian CBR dengan jumlah 10 nilai CBR gradasi lebih rendah dikarenakan gradasi Fuller D : 3/4" belum mencapai kepadatan yang maksimum sehingga masih terdapat rongga udara yang ada pada campuran, akan tetapi setelah dipadatkan dengan 30 dan 65 kali tumbukan rongga udara yang ada pada campuran lebih sedikit sehingga dapat membuat campuran lebih padat dan daya dukung dari campuran meningkat.

#### KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan pemeriksaan kepadatan yang dilakukan dengan dengan *standardproctor*, mendapatkan nilai kepadatan maksimum RAP asli sebesar  $1,55 \text{ gr/cm}^3$  dengan kadar air optimum sebesar 3,07 %. RAP yang telah direkayasa dengan gradasi Fuller D = 1" mempunyai nilai kepadatan  $1,62 \text{ gr/cm}^3$  dengan kadar air 5,50%. Kemudian RAP rekayasa dengan gradasi Fuller D = 3/4" mempunyai nilai kepadatan  $1,71 \text{ gr/cm}^3$  dengan kadar air optimum 8,4%. Yang terakhir pengujian kepadatan RAP rekayasa dengan gradasi Fuller D = 3/8" mempunyai nilai kepadatan  $1,59 \text{ gr/cm}^3$  dengan kadar air optimum 10,70%. Dari keempat macam benda uji yang mempunyai nilai kepadatan terbesar adalah RAP yang telah direkayasa dengan gradasi Fuller dengan nilai D = 3/4".
2. Berdasarkan pengujian CBR yang dilakukan tanpa perendaman (*Unsoaked CBR*), RAP asli yang tidak direkayasa mempunyai nilai CBR = 27%, RAP rekayasa dengan gradasi Fuller D = 1"

mempunyai nilai CBR = 46,66%, RAP rekayasa dengan gradasi *Fuller*  $D = 3/4''$  mempunyai nilai CBR = 60%, dan RAP rekayasa dengan gradasi *Fuller*  $D = 3/8''$  mempunyai nilai CBR = 41,66%, dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan yang mempunyai nilai CBR terbesar adalah RAP yang telah direkayasa dengan gradasi *Fuller* dengan nilai  $D = 3/4''$ .

3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa RAP yang telah direkayasa dengan rumus *Fuller* mempunyai nilai kepadatan dan CBR yang lebih baik daripada RAP yang tidak direkayasa gradasinya. Campuran yang memiliki nilai kepadatan tertinggi adalah RAP yang telah digradasi ulang menggunakan rumus *Fuller* dengan nilai  $D = 3/4''$  yaitu sebesar  $1,71 \text{ gr/cm}^3$ , sedangkan untuk RAP asli sebesar  $1,55 \text{ gr/cm}^3$ . Nilai CBR tertinggi adalah RAP rekayasa dengan gradasi *Fuller* dengan nilai  $D = 3/4''$  yaitu sebesar 60%, sedangkan untuk RAP Asli sebesar 27%. Gradasi yang dilakukan dapat memperbaiki propertis sehingga setiap rongga yang ada pada RAP semakin rapat maka kepadatannya semakin tinggi dan daya dukungnya juga bertambah. Hasil dari uji karakteristik dari RAP yang telah diambil dari Kabupaten Tegal tersebut mempunyai warna coklat. Memiliki kadar aspal sebesar 4,7 %. Kadar air 1,11 %, dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan, baik itu pengujian kepadatan maupun pengujian CBR, RAP yang telah direkayasa hasilnya lebih baik daripada RAP asli yang tidak digradasi ulang.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti 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.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2001, Pedoman Penyusunan "Laporan Tugas Akhir", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Astuti, 2015, "Analisis Pengaruh Bahan Tambah Kapur Terhadap Karakteristik RAP", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Departement Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standard Nasional Indonesia, *Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah*, SNI 1742:2008
- Departement Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standard Nasional Indonesia, *Metode Uji CBR Laboratorium*, SNI 1744:2012
- Departement Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standard Nasional Indonesia, *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat kasar*, SNI 1969:2008
- Departement Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standard Nasional Indonesia, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*, SNI 03-1970-1990.
- Departement Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standard Nasional Indonesia, *Cara uji Keausan dengan Mesin Abrasi Los Angeles*, SNI 2417-2008.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2006, Pekerjaan Lapis Pondasi, Buku 3, Lapis Pondasi Agregat, Direktorat Jendral Bina Marga.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010, Spesifikasi Umum 2010, Direktorat Jendral Bina Marga.
- Pamungkas, 2009, "Kajian Uji Kuat Tekan Pada *Asphalt Concrete* Campuran Panas Dengan RAP", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Soedarmo, G.D. dan Purnomo, S.J.E., 1997, *Mekanika Tanah I*, Yogyakarta, Penerbit Kanisius.
- Sukirman, S., 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit Nova, Bandung.
- Sumiati, S., 2014, Pengaruh Nilai Gradasi Agregat terhadap Nilai Karakteristik Aspal Beton (AC-BC), *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 10, No. 1, Maret hal 85-87, Jurusan Teknik Sipil, Palembang.
- Sunarjono, Sri. (2006). A Study on Fatigue Performance of Reclaimed Asphalt Pavement Stabilised with Foamed Bitumen. Seminar Teknik Sipil Desember 2006, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Sunarjono, Sri., Zoorob, S.E., Thom, N.H. (2007). Influence of foaming water on the foaming process and resultant asphalt mix stiffness. Fourth international SIIV congress, Palermo, Italy, 12-14

- September 2007. [http://www.siiv.net/site/sites/default/files/Documenti/palermo/63\\_2848\\_20080108102258.pdf](http://www.siiv.net/site/sites/default/files/Documenti/palermo/63_2848_20080108102258.pdf), diunduh 5 Mei 2016.
- Sunarjono, Sri. (2010). Laboratory stiffness characterization of foamed cold-mix asphalt using indirect tensile stiffness modulus test. Jurnal terakreditasi Dinamika TEKNIK SIPIL/Vol. 10/No. 1/Januari 2010/Sri Sunarjono/Halaman : 1-8. [https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/1652/\(1\)-Sri%20Sunarjono-UMS.pdf?sequence=3](https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/1652/(1)-Sri%20Sunarjono-UMS.pdf?sequence=3), diunduh 5 Mei 2016.
- Sunarjono, Sri. (2013). Performance of Foamed Asphalt under Repeated Load Axial Test. *Procedia Engineering*, Volume 54, 2013, Pages 698–710, Scencedirect , <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813004189>.
- Sunarjono, S, 2014, *Rekayasa Kepadatan dan Stabilitas Campuran RAP Menggunakan Teknologi Cold Mix Road Recycling Dalam Penanganan Kerusakan Ruas Jalan Pantura*.