

**ANALISIS PENGARUH BAHAN TAMBAH KAPUR TERHADAP
KARAKTERISTIK RAP (*RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT*)**

Naskah Publikasi

untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat S-1 Teknik Sipil



disusun oleh :

WEDYORINI WINDI ASTUTI

D 100 100 048

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2015

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH BAHAN TAMBAH KAPUR TERHADAP
KARAKTERISTIK RAP (RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT)**

Naskah Publikasi

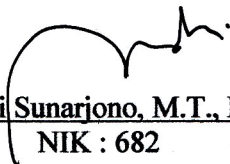
diajukan dan dipertahankan pada ujian pendadaran
Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji
pada tanggal 4 Juni 2015

diajukan oleh :

**WEDYORINI WINDI ASTUTI
D 100 100 048**

Susunan Dewan Penguji:


Pembimbing Utama


Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D
NIK : 682

Pembimbing Pendamping


Muslich Hartadi Sutanto, S.T., M.T., Ph.D
NIK : 815

Anggota


Senja Rum Harnaeni, S.T., M.T
NIK : 795

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D
NIK : 682

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Mochamad Solikin
NIK : 792

**SURAT PERNYATAAN
PUBLIKASI TUGAS AKHIR**

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Wedyorini Windi Astuti
NIM/ NIRM : D 100 00 048
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Sipil
Jenis : Tugas Akhir
Judul : Analisis Pengaruh Bahan Tambah Kapur Terhadap
Karakteristik *RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)*

Dengan ini menyatakan bahwa saya menyetujui untuk :

1. Memberikan hak bebas royalti kepada perpustakaan UMS atas penulisan Tugas Akhir saya, demi pengembangan ilmu pengetahuan.
2. Memberikan hak menyimpan, mengalih mediakan/mengalih formatkan mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikan serta menampilkannya dalam bentuk *soft copy* untuk kepentingan akademis kepada perpustakaan UMS. Tanpa meminta ijin dari saya selama masih mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UMS, dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam Tugas Akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan semoga dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 8 Juni 2015

Yang Menyatakan


(Wedyorini Windi Astuti)

ANALISIS PENGARUH BAHAN TAMBAH KAPUR TERHADAP KARAKTERISTIK RAP (*RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT*)

Wediyorini Windi Astuti¹⁾, Sri Sunarjono²⁾ dan Muslich Hartadi Sutanto³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan Surakarta 57102.

Email : windii62@yahoo.com

^{2), 3)} Staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan Surakarta 57102.

ABSTRAK

Propertis campuran beraspal menggunakan bahan *RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)* yang dimasak secara dingin belum kompetitif bila dibanding dengan propertis campuran beraspal *hot mix*. Bahan kapur biasanya digunakan sebagai bahan tambah campuran *RAP* untuk meningkatkan nilai daya dukungnya. Ada kebutuhan pengetahuan untuk menjawab penyebab rendahnya propertis campuran *RAP*, dan mekanisme kerja bahan tambah kapur dalam memperbaiki kinerja campuran *RAP*. Paper ini melaporkan hasil penyelidikan laboratorium untuk memenuhi kebutuhan pengetahuan tersebut. Tujuan penyelidikan adalah analisis pengaruh komponen *RAP* dan bahan tambah kapur terhadap daya dukung campuran *RAP*.

Metode penelitian menggunakan uji laboratorium terhadap sifat dasar *RAP* dan komponennya, hubungan sifat dasar bahan dengan daya dukung campuran *RAP*, pengaruh bahan tambah kapur terhadap daya dukung campuran *RAP*. Dengan prosentase kapur 0%, 1,5%, 3% dan 4,5%. Pada penelitian ini jenis pengujian yang dilakukan adalah uji identitas, abrasi, gradasi, ekstraksi, kepadatan, dan *California Bearing Ratio (CBR)*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Teknik Sipil UMS.

Hasil penyelidikan dapat dijelaskan sebagai berikut ini. Nilai abrasi agregat *RAP* sebesar 25,25%. Kadar aspal *RAP* berdasar uji ekstraksi sebesar 4,16%. Hasil uji kepadatan dan *CBR RAP* adalah nilai kepadatan maksimum 1,664 gr/cm³ pada kadar air optimum 2,83%, dan nilai *soaked CBR* 20%. Pengaruh penambahan kapur dapat meningkatkan nilai kepadatan maksimum, kadar air optimum, dan *CBR* yang lebih tinggi. Penambahan kapur hingga 4,5% mampu meningkatkan nilai kepadatan maksimum hingga 1,766 gr/cm³, kadar air optimum 3,85%, dan *soaked CBR* 42% (nilai *unsoaked CBR* hanya 29%). Nilai kepadatan *RAP* asli sebesar 1,972 gr/cm³ dengan kadar air optimum 5,5% dengan nilai *CBR Soaked* sebesar 50,67%. Pada penelitian ini ditemukan bahwa rekayasa gradasi *RAP* dapat meningkatkan nilai kepadatan maksimum hingga 1,993 gr/cm³ dicapai pada kadar air optimum 4,5%. Berdasar hasil penyelidikan dapat disimpulkan bahwa propertis campuran *RAP* dapat ditingkatkan melalui rekayasa gradasi dan penambahan kapur. Bahan tambah kapur bekerja lebih efektif pada kondisi campuran *RAP* terendam air.

Kata-kata kunci : *RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)*, *Kapur Padam*, *Pemadatan*, *CBR*.

PENDAHULUAN

Seiring dengan laju pertumbuhan penduduk disuatu daerah, jalan raya merupakan sarana transportasi yang mempunyai peran penting untuk menunjang aktifitas masyarakat. Karena jalan sebagai penggerak roda perekonomian diberbagai pembangunan daerah yang dibangun dan digunakan oleh masyarakat luas, maka dari itu dibutuhkan prasarana jalan yang memadai baik geometric maupun perkerasan (*pavement*). Agar penunjang pergerakan perekonomian masyarakat luas seperti jalan raya bernilai ekonomis digunakan *RAP* (*Reclaimed Asphalt Pavement*), karena *RAP* adalah salah satu dari bahan material yang dapat di daur ulang.

RAP adalah bahan bongkaran (limbah) perkerasan jalan yang telah rusak. Saat ini *RAP* banyak dimanfaatkan untuk bahan jalan melalui teknologi daur ulang dengan sistem pencampuran dingin (*cold mix recycling*). Pada pelaksanaan pekerjaan *cold mix recycling*, bahan *RAP* ini diolah kembali dengan menambahkan bahan peremaja yang biasanya berupa *flux oil* atau solar maupun minyak tanah dan/atau agregat/bahan tambah lainnya, kemudian dihampar dan dipadatkan menjadi lapis perkerasan baru. Teknologi ini menjanjikan berbagai keuntungan, yaitu konstruksi murah dan praktis, hemat energi, hemat penggunaan agregat dan aspal, mereduksi luaran gas emisi (Widajat, 2009).

Metode daur ulang dapat diaplikasikan dengan beberapa macam bahan tambah yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang berjalannya metode daur ulang seperti

Polimer, Semen Portland, Kapur dan masih banyak lagi. Pada penelitian kali ini bahan tambah yang digunakan adalah kapur padam yaitu batuan sedimen yang terdiri dari mineral "*Calcium Carbonat*" (CaCO_3) yang kemudian melalui pembakaran dengan suhu tinggi lalu disiram dengan air sehingga menghasilkan kapur padam "*Calcium Hidroksida*" (Ca(OH)_2). Kapur padam dapat digunakan sebagai bahan pengisi yang bersifat basa. Karena aspal yang terdapat pada *RAP* bersifat asam, maka reaksi netralisasi yang terjadi antara kapur padam dan aspal dapat menghasilkan ikatan yang kuat antara bahan pengisi dan bahan pengikat. Sehingga *RAP* yang dihasilkan memiliki kualitas properties yang baik karena terjadi perekatan yang cukup kuat antara kapur padam dan *RAP*. Kapur padam juga dapat digunakan sebagai bahan penstabil jalan raya, karena kapur padam bersifat basa kuat, sehingga ketika bereaksi akan terjadi perekatan yang cukup kuat antara aspal dan agregat. (penjelasan bahan tambah lainnya dapat dilihat selengkapnya pada tinjauan pustaka).

TINJAUAN PUSTAKA

A. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Reclaimed asphalt pavement merupakan limbah bongkaran aspal yang telah diangkat dari lapisan perkerasan jalan. *RAP* dibagi beberapa macam, yaitu fraksi kasar, medium, dan halus untuk mengurangi efek keberagaman material. Pada umumnya kandungan aspal *RAP* mempunyai penetrasi sangat rendah karena efek *ageing*, (Sunarjono, 2009).

B. Recycling (Daur Ulang Perkerasan Jalan)

Dikenal beberapa teknik daur ulang, yaitu pelaksanaan dilapangan (*in place*) dan ditempat (*in plant*).

- *In Place* adalah penggarukan, pembentukan dan pemadatan ditempat.
- *In Plant* adalah hasil garukan dibawa ke alat pencampur untuk diperbaiki propertisnya. Ketebalan lapis perkerasan yang dibutuhkan dapat disesuaikan.

Berdasarkan cara pencampuran daur ulang dibagi menjadi dua yaitu :

- Daur ulang campuran dingin (*cold recycling*), misalnya CTRB (*Cement Treated Recycling Base*), CTRSB (*Cement Treated Recycling Sub Base*), campuran dengan pengikat aspal emulsi, campuran dengan pengikat aspal cair, *Foam Bitumen*.
- Daur ulang campuran panas (*hot recycling*), misal daur ulang bahan garukan yang dipanaskan kembali di AMP (*In Plant*), permukaan (*In Place*). (Balitbang).

C. Aspal

Aspal merupakan campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral yang berwarna coklat tua atau hitam, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Aspal pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai pengikat dan pengisi antar agregat dan sebagai pelindung dari air.

D. Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain,

baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. (Sukirman, S, 2003).

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% - 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% - 85% agregat berdasarkan persentase volume.

E. Macam-macam Bahan Tambah

a. Polimer

Polimer merupakan senyawa yang besar yang terbentuk dari hasil penggabungan sejumlah (banyak) unit-unit molekul yang kecil. Unit molekul kecil pembentuk senyawa polimer terdiri dari banyak monomer.

b. Semen Portland

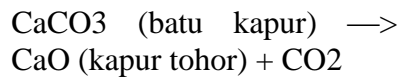
Semen Portland adalah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI 1982). Semen portland merupakan bahan pengikat yang baik.

c. Kapur

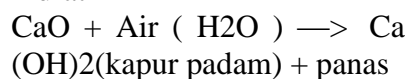
Kapur merupakan salah satu mineral industri yang banyak digunakan oleh sektor industri ataupun konstruksi dan pertanian, antara lain untuk bahan bangunan, bahan penstabil jalan raya, pengapuran untuk pertanian dll. Bahan Kapur adalah sebuah benda putih dan halus terbuat dari batu sedimen, membentuk bebatuan yang terdiri dari mineral kalsium. Kapur sangat ekonomis karena harganya yang murah.

Beberapa jenis kapur antara lain adalah sebagai berikut :

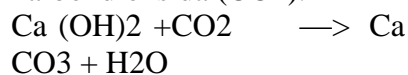
1. Kapur tohor adalah hasil pembakaran batu kapur alam yang komposisinya sebagian besar merupakan kalsium karbonat (CaCO_3) pada temperature diatas 900 derajat Celsius terjadi proses calsinasi dengan pelepasan gas CO_2 hingga tersisa padatan CaO atau bisa juga disebut *quick lime*.



2. Kapur padam adalah hasil pemadaman kapur tohor dengan air dan membentuk hidrat



3. Kapur udara adalah kapur padam yang apabila diaduk dengan air dan membentuk setelah beberapa waktu hanya dapat mengeras di udara karena pengikatan karbondioksida (CO_2).



4. Kapur hidrolis adalah kapur padam yang diaduk dengan air setelah beberapa waktu campuran dapat mengeras baik didalam air maupun didalam udara.

Sifat – sifat kapur padam :

1. Mempunyai sifat plastis yang baik (tidak getas)
2. Memberi kekuatan
3. Dapat mengeras dengan mudah dan cepat
4. Mudah dikerjakan
5. Mempunyai ikatan yang bagus dengan batu/bata

LANDASAN TEORI

A. Investigasi Karakteristik RAP

Investigasi atau penyelidikan karakteristik RAP merupakan langkah awal dalam penelitian untuk mengetahui bagaimana reaksi atau pengaruh bahan tambah (kapur) terhadap RAP. Jenis penyelidikan yang dapat dilakukan antara lain uji identitas RAP, uji pemadatan dan uji daya dukung dengan metode CBR (*California Bearing Ratio*).

B. Uji Identitas RAP

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat karakteristik RAP. Beberapa tes yang dilakukan adalah :

- a. Uji Ekstraksi

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar aspal yang terkandung didalam RAP. Ekstraksi juga digunakan untuk memisahkan antara aspal yang menempel pada agregat.

- b. Pemeriksaan Berat Jenis RAP

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dimaksudkan untuk menentukan berat jenis bulk, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu dari agregat kasar.

- c. Pemeriksaan Gradasi

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

- d. Pemeriksaan Abrasi (Keausan)

Pemeriksaan abrasi dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin *Los Angeles*. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat aus

lewat saringan No. 12 terhadap berat semula dalam persen.

e. Pemeriksaan *Sand Equivalent*

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar debu atau lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus. Adanya lumpur dapat mengakibatkan kembang susut yang besar dan mempengaruhi lekatan tanah agregat. Spesifikasi Bina Marga untuk *Sand Equivalent* agregat halus adalah lebih dari 50% (AASHTO T-176).

Adapun rumus yang digunakan untuk mengetahui nilai *Sand Equivalent*.

$$\text{Sand Equivalent (SE)} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100\%$$

C. Uji Pemadatan

Uji pemadatan dilakukan untuk mengurangi volume pori (udara) yang ada didalam campuran RAP dan untuk mengetahui kepadatan dengan didapatkan nilai kepadatan maksimal dan kadar air optimum RAP dengan cara menumbuk benda uji dengan beberapa tumbukan yang telah ditentukan.

Uji kepadatan ada dua macam yaitu :

1. Uji *Standard Compaction Test*

Standard proctor telah distandarisasi dalam AASHTO T-99 dan ASTM D-698. Test ini menggunakan 25 pukulan pemadat seberat 5,5 lbs yang dijatuhkan pada ketinggian 1 ft pada masing-masing lapisan material yang diletakkan pada cetakan tersebut berisi 3 lapis material.

2. Uji *Modified Compaction Test*

Uji *Modified Compaction Test* juga telah distandarisir dalam AASHTO T-180. Test ini menggunakan 25 pukulan pemadat seberat 10 lbs yang dijatuhkan pada ketinggian 18 in pada masing-masing lapisan material yang diletakkan pada cetakan tersebut berisi 5 lapis material. Dari pengujian tersebut didapatkan nilai γ_d maksimum (berat volume kering) dan W_{optimum} (kadar air optimum).

D. Uji CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standard dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama cara umum. CBR laboratorium dibedakan menjadi dua macam yaitu CBR laboratorium rendaman (*Soaked laboratory CBR*) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked laboratory CBR*). Penentuan nilai CBR dilaksanakan terhadap contoh tanah yang sudah dipadatkan dengan pemadatan standar. Untuk CBR laboraorium rendaman dilakukan perendaman selama 4 hari (96 jam) kemudian baru dipenetrasi. CBR lapangan digunakan untuk memperoleh nilai CBR asli dilapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umum digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tinggi (musim penghujan).

METODE PENELITIAN

A. Umum

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan melakukan beberapa percobaan-pecobaan untuk mendapatkan hasil dari penelitian yang diinginkan. Penelitian ini membutuhkan beberapa sampel untuk mendapatkan hasil dengan beberapa percobaan. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa kegiatan antara lain pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pengambilan keputusan secara umum dari suatu percobaan yang dilakukan di Laboratorium.

B. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

C. Bahan Dan Material

Dalam penelitian ini menggunakan bahan dan material antara lain :

1. RAP yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari DPU Kab. Tegal.
2. Kapur yang digunakan adalah kapur padam.

D. Peralatan Penelitian

Dalam menunjang keberhasilan penelitian ini perlu memerlukan beberapa alat yang berada di lingkup Laboratorium Bahan Perkerasan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Mesin *Los Angeles*
2. Mesin *CBR (California Bearing Ratio)*
3. Rammer
4. Mold

F. Rencana Benda Uji

Tabel 3.1 jumlah benda uji menggunakan alat CBR tanpa bahan tambah kapur dan menggunakan bahan tambah kapur.

5. Saringan standar
6. Timbangan
7. Oven
8. *Picnometer*

E. Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan penelitian untuk memperjelas proses penelitian. Adapun tahapan penelitian tersebut antara lain :

Tahap I : Perumusan masalah, studi *literature*, persiapan alat dan bahan.

Tahap II : Pemeriksaan karakteristik/sifat dasar RAP meliputi warna, kadar air, kadar aspal, dan gradasi saringan.

Tahap III : Pemeriksaan mutu aspal RAP meliputi ekstraksi, penetrasi, titik Lembek dan berat jenis.

Tahap IV : Pemeriksaan mutu agregat RAP meliputi tes abrasi, berat jenis, penyerapan agregat dan analisis saringan,.

Tahap V : Pengujian kepadatan benda uji dengan uji *modified proctor* dan pengujian dengan menggunakan mesin CBR (*California Bearing Ratio*).

Tahap VI : Analisis dan pembahasan

Tahap VII : Kesimpulan dan saran.

| No. Benda Uji | Variasi Bahan Tambah | Jumlah Benda Uji |
|-----------------|----------------------|------------------|
| 1 | Tanpa Kapur | 3 |
| 2 | 1,5% | 3 |
| 3 | 3% | 3 |
| 4 | 4,5% | 3 |
| Total Benda Uji | | 12 |

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pemeriksaan Sifat Dasar *RAP*, Agregat *RAP* dan Aspal *RAP*

a. Pemeriksaan Sifat Dasar *RAP*

Pada penelitian ini didapatkan hasil uji sifat dasar *RAP* yaitu sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Warna *RAP*

Berdasarkan uji warna yang dilakukan secara visual, dan pada saat keadaan *RAP* kering udara. *RAP* yang berasal dari DPU Kabupaten Tegal tersebut berwarna **coklat keabu-abuan**. Dapat dilihat pada gambar V.1.

2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan *RAP*

Tabel V.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis *RAP*

| Keterangan | Hasil | | | Satuan |
|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------|--------|
| | <i>RAP</i> kasar | <i>RAP</i> medium | <i>RAP</i> halus | |
| | (10-20 mm) | (5-10 mm) | (<5 mm) | |
| Berat jenis <i>bulk</i> | 2.06 | 2.12 | 1.78 | gr |
| Berat jenis SSD | 2.09 | 2.14 | 1.83 | gr |
| Berat jenis semu | 2.13 | 2.17 | 1.88 | gr/cc |
| Penyerapan (<i>absorpsi</i>) | 1.72 | 1.01 | 3.09 | % |

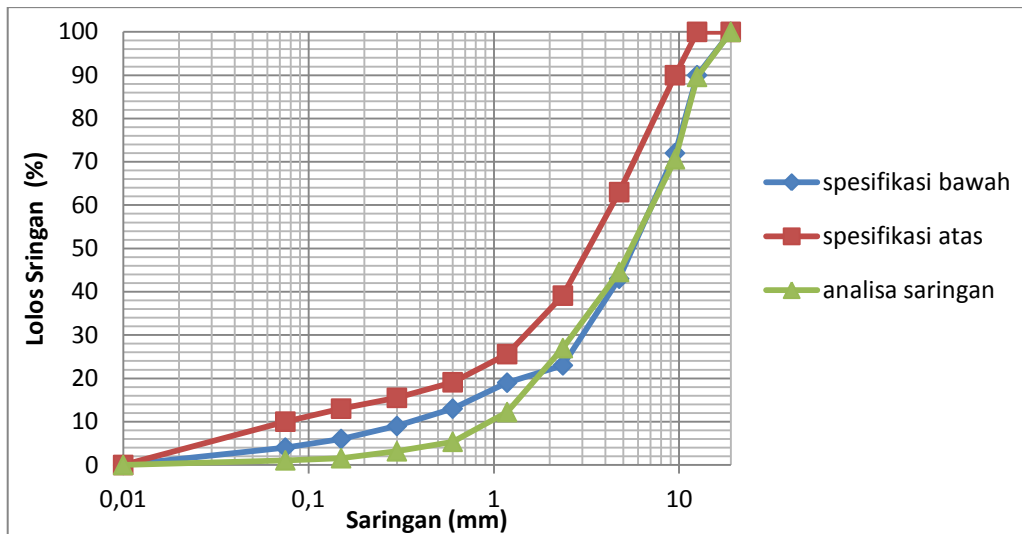
(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari hasil pemeriksaan berat jenis *RAP* pada tabel V.1 diketahui *RAP* halus dengan gradasi >5mm yang paling besar penyerapannya. Berat jenis semu yang memiliki nilai terbesar yaitu berat jenis semu *RAP* medium. Begitu pula dengan berat jenis SSD dan berat jenis *bulk* bahwa *RAP* medium dengan gradasi antara 5-10mm lebih besar dari pada *RAP* kasar maupun *RAP* halus.

3. Pemeriksaan Kadar Aspal

Pemeriksaan ekstraksi dimaksudkan untuk mengetahui kadar aspal yang berada pada *RAP*. Pemeriksaan ini juga dimaksudkan untuk mengetahui persentase kandungan aspal yang hilang, karena larutan dalam cairan bensin dan melekat pada kertas *filter*. Hasil dari pemeriksaan ekstraksi ini didapatkan kadar bitumen 4,16 %. Karena aspal yang diuji berasal dari *RAP*, maka dari itu nilai ekstraksi sangatlah rendah. Hal ini dikarenakan kadar aspal telah hilang akibat adanya pengaruh kikisan dari air hujan, suhu maupun cuaca.

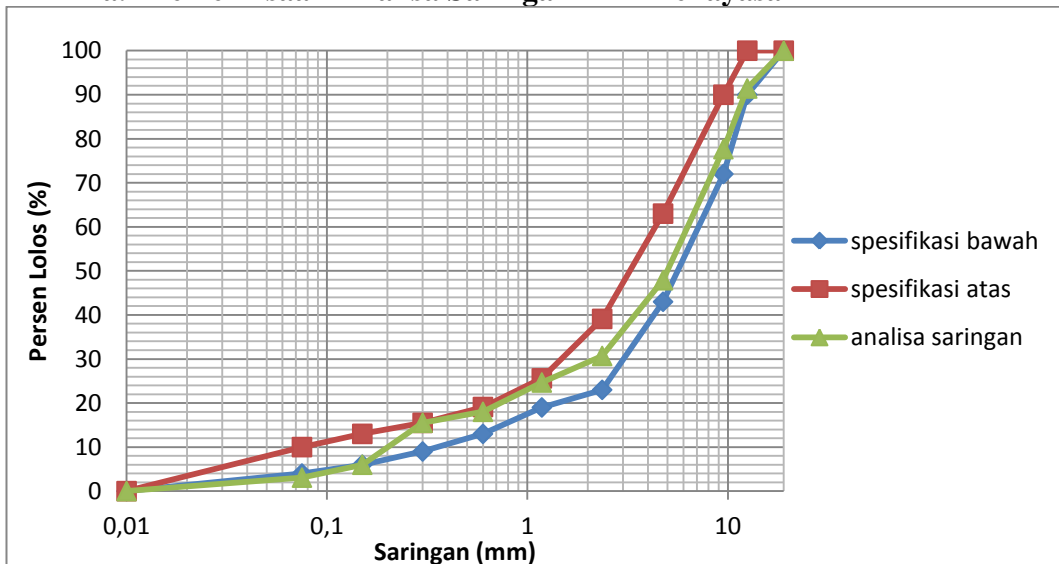
4. Pemeriksaan Gradasi *RAP*



Gambar V.2. Grafik Analisa Saringan *RAP*

Dari gambar V.2 dapat disimpulkan bahwa analisa saringan *RAP* yang telah diuji dengan menggunakan spesifikasi AC tidak menunjukkan sama sekali bahwa gradasi tersebut adalah gradasi dengan spesifikasi AC. Dapat dibaca dari gambar V.2 bahwa alur analisa saringan yang telah diuji hanya beberapa nomor saringan saja yang masuk batas atas maupun batas bawah spesifikasi. Hal ini dimungkinkan karena aspal *RAP* yang masih menempel pada agregat *RAP*.

a. Pemeriksaan Analisa Saringan *RAP* Rekayasa 2



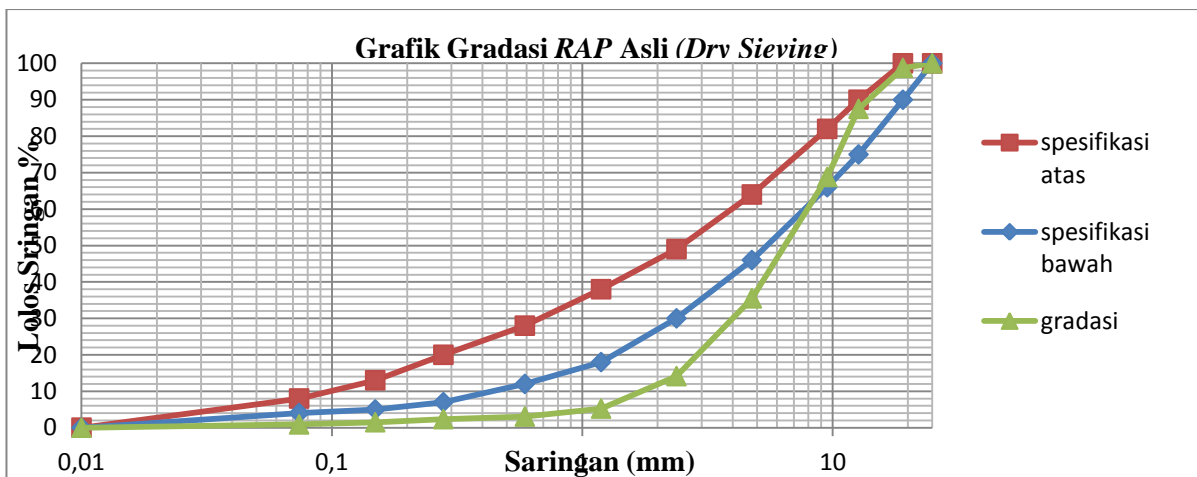
Gambar V.3. Grafik Analisa saringan *RAP* Rekayasa 2

Pada gambar V.3 mengalami perubahan yang cukup signifikan yaitu alur grafik gradasi lebih sempurna pada spesifikasi AC, meskipun untuk gradasi halusnya di lolos saringan No.200 tidak memasuki spesifikasi. Karena yang diuji adalah *RAP* yang sudah direkayasa dengan membagi butiran menjadi tiga bagian, yaitu <math><5\text{mm}</math>,

antara 5-10mm, dan 10-20mm, tidak menjadikan hasil pengujian 100% dapat masuk dalam spesifikasi yang telah diatur pada Binamarga 2010. Hal ini dimungkinkan karena *filler* yang ada telah menempel pada agregat *RAP* sehingga waktu di analisa saringan kembali *fillernya* sangatlah sedikit yang didapatkan. Sedangkan bagaimana cara untuk mengetahui besar persentase *filler* yang menempel pada agregat *RAP* tentunya sangat bervariasi. Sehingga peneliti merekomendasikan untuk dilakukannya penelitian lanjutan.

Dengan kadar aspal sebesar 4,16% dan gradasi *RAP* baik rekayasa 1 maupun rekayasa 2 menunjukkan bahwa kemungkinan gradasi tersebut merupakan gradasi berspesifikasi AC. Karena jika diamati, kadar aspal yang lebih sedikit dengan ukuran butiran tertutup (baik).

b. Pemeriksaan Analisa Saringan *RAP* Asli (max 19mm)

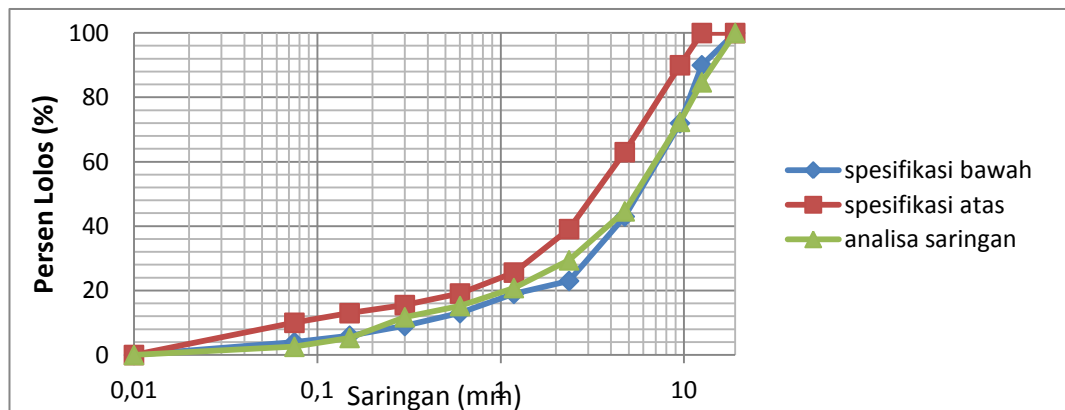


Gambar V.4. Grafik Analisa Saringan *RAP* Asli (max 19mm)

Berdasarkan data yang diperoleh dari analisa saringan *RAP* Asli, dengan menggunakan spesifikasi AC-WC tidak menunjukkan bahwa *RAP* tersebut merupakan spesifikasi AC-WC. Hal ini dikarenakan data atau lolos saringan tidak masuk baik spesifikasi atas maupun spesifikasi bawah.

b. Pemeriksaan Sifat Dasar Agregat *RAP* Rekayasa 3

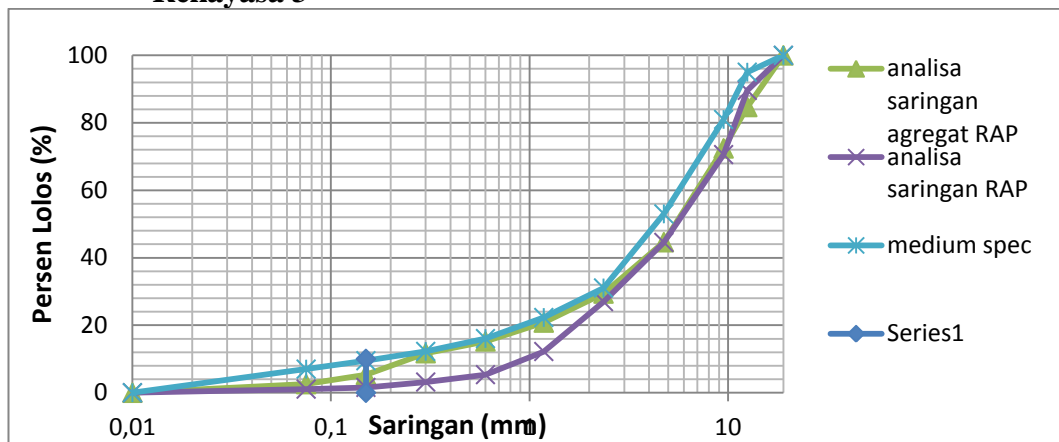
1. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat *RAP* Rekayasa 3



Gambar V.5. Grafik Analisa Saringan Agregat *RAP* Rekayasa 3

Dari hasil uji analisa saringan agregat *RAP* yang ditampilkan pada gambar V.5 dan tabel V.5, meskipun lolos saringan 1/2" dan lolos saringan No.200 tidak memasuki spesifikasi AC, namun besar kemungkinan gradasi yang terlihat pada gambar V.5 yang didapat dari tabel V.5 adalah bergradasi AC. Hal ini ditandai dengan alur garis grafik analisa saringan agregat *RAP* yang dapat memasuki batas bawah spesifikasi AC.

2. Penyimpangan gradasi *RAP* Rekayasa 1 dan agregat *RAP* Rekayasa 3



Gambar V.6. Grafik Penyimpangan Gradasi *RAP* Rekayasa 1 dan Agregat *RAP* Rekayasa 3

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai penyimpangan terbesar terdapat pada agregat *RAP* sebesar 5,3%, ini disebabkan karena agregat *RAP* sudah tidak tercampur dengan aspal, dan juga adanya reaksi dari agregat setelah terkena bensin saat proses ekstraksi agregat yang kemudian mengakibatkan terjadinya kerapuhan pada butiran kasar dan menjadi butiran halus saat proses analisa saringan. Dengan grafik yang menunjukkan bahwa *RAP* lebih menyimpang dari batas spesifikasi hal ini menandakan bahwa *RAP* mempunyai gradasi yang lebih kasar bila dibandingkan dengan gradasi agregat *RAP*.

3. Pemeriksaan Abrasi

Pemeriksaan abrasi atau keausan agregat dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan agregat. Dalam pemeriksaan agregat *RAP* ini digunakan tipe B yaitu agregat *RAP* yang lolos saringan 3/8 tertahan saringan 1/2 seberat 2500 gram dan yang lolos saringan 1/2 tertahan saringan no.4 seberat 2500 gram.

Pada bahan ini yang diuji adalah agegat *RAP*, yaitu agregat hasil ekstraksi. Didapatkan hasil uji keausan agregat dengan nilai rata-rata 25,25 %. Hal ini bias dikatakan baik karena nilai keausan agregat *RAP* kurang dari 30%. Namun akan lebih baik lagi nilai abasanya dengan menggunakan agregat baru, karena kemungkinan nilai keausannya akan lebih rendah jika dibandingkan dengan agregat *RAP*.

4. Pemeriksaan *Sand Equivalent*

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kebersihan kandungan lumpur pada agregat halus dan pasir. Pada pengujian ini benda uji yang digunakan adalah agregat halus dari *RAP* yang telah diekstraksi terlebih dahulu. Hasil pemeriksaan *sand equivalent* yaitu sebesar 92,93 %. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa benda uji mempunyai tingkat kebersihan kadar lumpur yang baik, karena semakin besar nilai *sand equivalent* maka semakin bagus agregat halus yang telah digunakan. Karena diketahui bahwa kandungan lumpur pada *RAP* sedikit yaitu hanya sebesar 7,07 % saja.

c. Pemeriksaan Sifat Dasar Aspal *RAP*

1. Pemeriksaan Titik Lembek

Tabel V.7. Hasil Pemeriksaan Titik Lembek

| Jenis Pengujian | Titik lembek °C |
|---|-----------------|
| Titik Lembek Aspal <i>RAP</i> | 38.5 °C |
| Titik Lembek Aspal <i>RAP</i> +kapur 1.5% | 47°C |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada pemeriksaan titik lembek dalam penelitian ini menggunakan variasi pengujian, yaitu titik lembek aspal *RAP* dan titik lembek aspal *RAP* + kapur 1,5%. Hasil pengujian titik lembek aspal *RAP* didapat nilai lebih rendah dari pada titik lembek aspal *RAP* yang telah ditambah kapur sebanyak 1,5% dari berat aspal, jadi dengan adanya penambahan kapur tersebut yang menyebabkan nilai titik lembek lebih tinggi. Karena pada dasarnya kapur dapat mengeras apabila telah bereaksi dengan aspal, hal ini dikarenakan minyak dari aspal akan cenderung terserap oleh kapur sehingga komposisi dari aspal akan berubah menjadi lebih keras. Dan dengan nilai titik lembek tanpa kapur sebesar 38,5°C hal ini dapat dikatakan bahwa aspal *RAP* memiliki sensitifitas lebih tinggi terhadap suhu. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada lampiran.

2. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal *RAP*

Berat jenis aspal pada pengujian ini didapatkan nilai sebesar 1,01. Hal ini dapat dikatakan bahwa aspal *RAP* tidak begitu buruk meskipun nilainya sangat rendah. Karena pada batas spesifikasi yaitu 1-1,05 berat jenis aspal *RAP* tersebut masih masuk.

B. Pemeriksaan Kepadatan

1. Pemeriksaan Kepadatan *RAP*

Pemeriksaan kepadatan *RAP* tanpa bahan tambah kapur pada penelitian ini dilakukan dengan tiga jenis *RAP* yaitu *RAP* yang telah direkayasa, *RAP* yang tidak direkayasa dan *RAP* Asli. Hasil uji kepadatan *RAP* tanpa rekayasa dan *RAP* yang telah direkayasa dapat dilihat pada tabel V.8.

Tabel V.8. Kepadatan *RAP* Asli dan *RAP* Rekayasa Tanpa Bahan Tambah Kapur

| Variasi Kepadatan | Kepadatan Maksimum | Kadar Air Optimum |
|---|-------------------------|-------------------|
| <i>RAP</i> Asli Tanpa Bahan Tambah Kapur Dengan Metode <i>Modified Proctor</i> (max 19mm) | 1972 gr/cm ³ | 5,5 % |

| | | |
|--|--------------------------|--------|
| <i>RAP</i> Yang Tidak Direkayasa Tanpa Bahan Tambah Kapur Dengan Metode <i>Modified Proctor</i> (4,75mm) | 1,644 gr/cm ³ | 2,83 % |
| <i>RAP</i> Rekayasa Tanpa Bahan Tambah Kapur Dengan Metode <i>Modified Proctor</i> | 1,993 gr/cm ³ | 4,5 % |
| <i>RAP</i> Rekayasa Tanpa Bahan Tambah Kapur Dengan Metode <i>Standart Proctor</i> | 1,680 gr/cm ³ | 4,8 % |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pemadatan yang dilakukan didapatkan nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Karena nilai kepadatan yang dihasilkan dari kepadatan *RAP* rekayasa tanpa bahan tambah kapur dengan menggunakan metode *Standart Proctor* adalah hasil dari kadar air optimum yang diperoleh dari *RAP* rekayasa tanpa bahan tambah kapur dengan metode *Modified Proctor*, maka grafik pada *RAP* rekayasa tanpa bahan tambah kapur dengan menggunakan metode *Standart Proctor* tidak dapat dibuat. Kurva pada grafik yang digunakan adalah *polynomial* dengan *R-squared* mencapai 0,9 adalah nilai terbesar yang didapatkan dibandingkan dengan menggunakan *trendline* yang lain. Dapat disimpulkan bahwa *RAP* yang telah direkayasa dengan menggunakan metode *Modified Proctor* memiliki nilai kepadatan maksimum yang lebih besar dari pada *RAP* yang tidak direkayasa baik itu *RAP* Asli (max 19mm) maupun *RAP* Asli (4,75mm). Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya komposisi fraksi halus yang lebih banyak, sehingga rongga antar agregat yang tercipta lebih kecil, namun untuk penyerapan airnya semakin besar karena agregat halus lebih banyak menyerap air dibandingkan dengan agregat kasar. Hal inilah yang menyebabkan adanya perbedaan yang cukup besar antara *RAP* yang telah direkayasa dengan *RAP* yang tidak direkayasa. Maka dari itu untuk penelitian selanjutnya diharapkan dalam melakukan pemeriksaan *RAP* direkayasa terlebih dahulu dengan memisahkan gradasi menjadi tiga fraksi, yaitu antara 10-20 mm, antara 5-10 mm dan <5 mm.

Merekayasa gradasi *RAP* dengan ukuran butiran yang sama, yaitu > 5mm, antara 5-10mm dan < 20mm tidak menjadikan hasil yang diperoleh juga sama. Hal ini dibuktikannya dengan pemadatan metode *Modified Proctor* memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode *Standart Proctor*. Dan perbandingan dari kedua metode tersebut ialah metode *Standart Proctor* 84,30 % nya dari metode *Modified Proctor*. Maka dari itu, metode *Modified Proctor* akan lebih baik digunakan karena memiliki nilai kepadatan yang paling besar.

2. Pemeriksaan Kepadatan *RAP* Asli (max 4,75mm) Dengan Bahan Tambah Kapur

Tabel V.9. Variasi Kepadatan *RAP* dengan Bahan Tambah Kapur

| Variasi Kepadatan | Kepadatan Maksimum | Kadar Air Optimum |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| <i>RAP</i> + Kapur 0% | 1,644 gr/cm ³ | 2,83 % |
| <i>RAP</i> + Kapur 1,5% | 1,640 gr/cm ³ | 3,30 % |
| <i>RAP</i> + Kapur 3% | 1,715 gr/cm ³ | 3,48 % |
| <i>RAP</i> + Kapur 4,5% | 1,766 gr/cm ³ | 3,85 % |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Variasi penambahan bahan tambah kapur sebagai bahan pengisi ternyata berpengaruh terhadap kenaikan nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Hal ini disebabkan kapur yang mengisi rongga pori *RAP*, yang pada kondisi *RAP*, rongga pori tersebut terisi oleh air dan udara. Akibat adanya kapur dalam rongga pori *RAP* ini, persentase air yang terkandung dalam *RAP* semakin bertambah. Untuk itu, diperlukan pembagian butiran gradasi untuk merekayasa *RAP* agar hasil pemadatan lebih maksimal.

C. Pemeriksaan *CBR* (*California Bearing Ratio*)

1. Pemeriksaan *CBR RAP*

Tabel V.10. Nilai *CBR RAP Unsoaked*

| Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|----------------|------------------|
| 10 Pukulan | 5.6 |
| 35 Pukulan | 12 |
| 65 Pukulan | 16 |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel V.11. Nilai *CBR RAP Soaked*

| Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|----------------|------------------|
| 10 Pukulan | 3.96 |
| 35 Pukulan | 12.73 |
| 65 Pukulan | 20.44 |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan nilai *CBR* dengan perendaman mengalami kenaikan dibandingkan dengan *CBR* tanpa perendaman. Hal ini dikarenakan karena *RAP* yang telah dipadatkan dengan metode pemadatan *modified proctor* masih mempunyai pori-pori meskipun sudah dipadatkan dalam *mold*.

2. Pengaruh Rekayasa *RAP* dan Bahan Tambah Kapur Terhadap *CBR*

2.1. Pengaruh Rekayasa *RAP* dan Bahan Tambah Kapur Terhadap *CBR Unsoaked*

Tabel V.12. Variasi *CBR Unsoaked* Dengan Bahan Tambah Kapur

| Variasi <i>CBR Unsoaked</i> | Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|---|----------------|------------------|
| <i>RAP</i> Asli (max 19mm) Tanpa Bahan Tambah | 10 Pukulan | 5.33 |
| <i>RAP</i> Tanpa Bahan Tambah | | 5.62 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 1,5 % | | 5.47 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 3 % | | 8.98 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 4,5% | | 13.11 |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel V.13. Variasi *CBR Unsoaked* Dengan Bahan Tambah Kapur

| Variasi <i>CBR Unsoaked</i> | Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|---|----------------|------------------|
| <i>RAP</i> Asli (max 19mm) Tanpa Bahan Tambah | 35 Pukulan | 14.56 |
| <i>RAP</i> Tanpa Bahan Tambah | | 12,00 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 1,5 % | | 12.02 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 3 % | | 10.82 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 4,5% | | 10.87 |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel. V.14. Variasi *CBR Unsoaked* Dengan Bahan Tambah Kapur

| Variasi <i>CBR Unsoaked</i> | Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|--|----------------|------------------|
| <i>RAP</i> Asli (max19mm) Tanpa Bahan Tambah | 65 Pukulan | 37.78 |
| <i>RAP</i> Tanpa Bahan Tambah | | 16,00 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 1,5 % | | 15.89 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 3 % | | 6.67 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 4,5% | | 31.11 |

(Sumber : Hasil Penelitian)

2.2.Pengaruh Rekayasa *RAP* dan Bahan Tambah Kapur Terhadap *CBR Soaked*

Tabel V.15. Variasi *CBR Soaked* Dengan Bahan Tambah Kapur

| Variasi <i>CBR Soaked</i> | Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|---|----------------|------------------|
| <i>RAP</i> Asli (max 19mm) Tanpa Bahan Tambah | 10 Pukulan | 5.33 |
| <i>RAP</i> Tanpa Bahan Tambah | | 3.96 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 1,5 % | | 9.93 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 3 % | | 16.56 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 4,5% | | 19.56 |

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel V.16. Variasi *CBR Soaked* Dengan Bahan Tambah Kapur

| Variasi <i>CBR Soaked</i> | Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|---|----------------|------------------|
| <i>RAP</i> Asli (max 19mm) Tanpa Bahan Tambah | 35 Pukulan | 22.89 |
| <i>RAP</i> Tanpa Bahan Tambah | | 12.73 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 1,5 % | | 20.60 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 3 % | | 25.04 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 4,5% | | 32.22 |

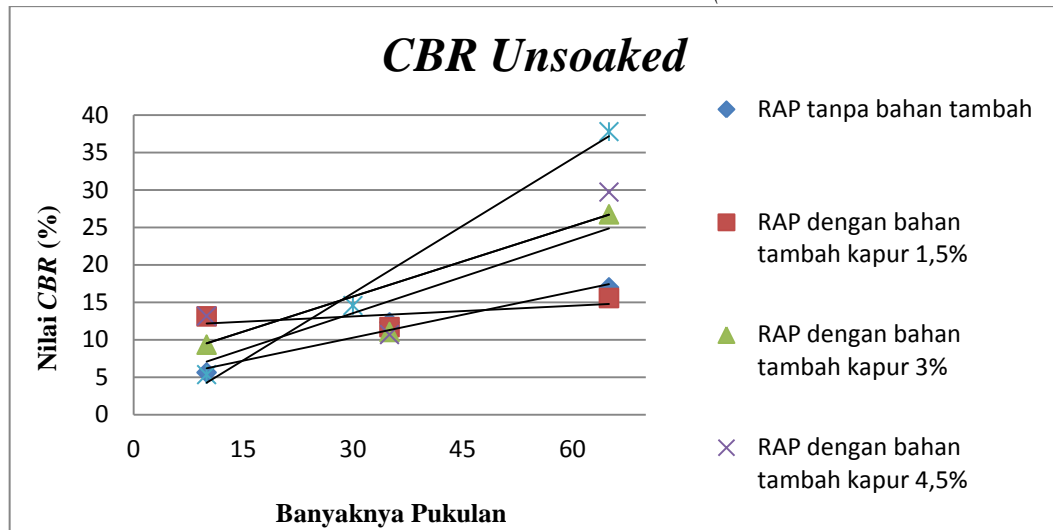
(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel V.17. Variasi *CBR Soaked* Dengan Bahan Tambah Kapur

| Variasi <i>CBR Soaked</i> | Jumlah Pukulan | Nilai <i>CBR</i> |
|---|----------------|------------------|
| <i>RAP</i> Asli (max 19mm) Tanpa Bahan Tambah | 65 Pukulan | 50.67 |

| | |
|----------------------------------|-------|
| <i>RAP</i> Tanpa Bahan Tambah | 20.44 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 1,5 % | 22.67 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 3 % | 25.69 |
| <i>RAP</i> Dengan BT Kapur 4,5% | 45.11 |

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar V.17. Grafik Variasi *CBR Unsoaked* 65 Pukulan

Berdasarkan data yang didapat dari pengujian test *CBR* laboratorium Universitas Muhammadiyah Surakarta, nilai *CBR* yang diperoleh semakin banyak pukulan semakin besar nilai *CBR*. Baik itu *CBR soaked* maupun *Unsoaked*. Bahkan hasil dari *CBR* rendaman tersebut jauh lebih besar dari pada yang tidak direndam. Dengan adanya kapur sebagai pengisi yang dapat mesntabilkan *RAP*, bahan tambah ini telah berguna dengan dibuktikannya pada test *CBR* tersebut. Semakin banyak kapur yang ditambahkan, maka semakin besar pula hasil yang didapatkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian tentang Analisis Pengaruh Bahan Tambah Kapur Terhadap Karakteristik *RAP* sebagai berikut:

1. Hasil uji identitas dan uji fisik sebagai berikut:
 - a. Hasil uji identitas *RAP* yang berasal dari DPU Kabupaten Tegal tersebut mempunyai warna coklat keabu-abuan. Dengan nilai kadar aspal sebesar 4,16 %, dengan kadar aspal yang

sedikit (rendah) hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan gradasi sebelumnya makai spesifikasi AC. Nilai titik lebek aspal *RAP* 38,5°C dan titik lebek aspal *RAP* + kapur 1,5% yaitu 47°C. Karena titik lebek 38,5°C maka keadaan aspal *RAP* lebih sensitif terhadap suhu. Berat jenis aspal 1,01. Hasil uji abrasi agregat *RAP* dengan nilai

- total rata-rata sebesar 25,25 %.
- b. Hasil uji analisa saringan *RAP*, agregat *RAP* dan *RAP* Rekayasa menunjukkan bahwa *RAP* rekayasa yang lebih memenuhi spesifikasi AC menurut ketentuan Bina Marga 2010 dibandingkan dengan *RAP* maupun agregat *RAP*.
2. Berdasarkan pemeriksaan kepadatan didapatkan nilai kepadatan maksimum *RAP* Asli (19mm) tanpa bahan tambah adalah $1,972 \text{ gr/cm}^3$, *RAP* Asli (4,75mm) tidak direkayasa tanpa bahan tambah sebesar $1,644 \text{ gr/cm}^3$, dan *RAP* rekayasa dengan metode *Modified Proctor* sebesar $1,993 \text{ gr/cm}^3$ dan *RAP* rekayasa tanpa bahan tambah kapur dengan metode *Standart Proctor* sebesar $1,680 \text{ gr/cm}^3$. Nilai kepadatan maksimum *RAP* Asli (max 19mm) tanpa rekayasa lebih kecil dibandingkan dengan *RAP* yang telah direkayasa. Analisa pengaruh rekayasa *RAP* dan bahan tambah kapur terhadap kepadatan adalah pada pengujian pemadatan, semakin bertambahnya persentase kapur yang ditambahkan maka semakin tinggi nilai kepadatan dan daya dukungnya, namun dengan adanya pemadatan *RAP* yang telah direkayasa hasil
 4. maka didapatkan hasil kapur mampu memperbaiki *properties* dari pada *RAP*. Tetapi akan lebih baik lagi kepadatan jauh lebih meningkat bahkan pemadatan *RAP* dengan bahan tambah kapur 4,5% nilai kepadatannya lebih rendah dibandingkan *RAP* yang direkayasa. Untuk perbandingan prosentase *RAP* Rekayasa *Standart Proctor* sebesar 84,30% dari *RAP* Rekayasa *Standart Proctor*.
 3. Nilai *CBR Unsoaked* lebih rendah dibandingkan dengan nilai *CBR Soaked*, baik tanpa bahan tambah maupun dengan bahan tambah. Hal ini juga berlaku pada uji *CBR* dengan bahan tambah kapur, yaitu semakin banyak kapur maka semakin tinggi pula nilai *CBR* nya. Dan *CBR Soaked* (rendaman) memiliki nilai *CBR* yang lebih tinggi dari pada *CBR Unsoaked* (tanpa rendaman). Respon bahan tambah kapur terhadap *RAP* guna penguatan struktur antara *RAP* dengan bahan tambah yaitu kapur yang bersifat hidrolis dan mengisi rongga antar *RAP* dapat meningkatkan kepadatan, daya dukung, menstabilkan dan memperkuat campuran. Dengan adanya hasil penelitian yang ada bahwa penambahan kapur mampu memperbaiki *properties RAP*. Hal ini berupa kepadatan dan daya dukung. Sehingga sesuai dengan fungsi dari kapur padam tersebut, hasilnya apabila pengujian menggunakan *RAP* yang direkayasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Girry, 2010, "Karakteristik Daya Dukung Material *RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)* Sebagai Bahan Daur Ulang Perkerasan Jalan", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ipakadar, 2014. *Mana Asam? Mana Basa?*. <https://ipakadar.wordpress.com/2014/3/21/mana-asam-mana-basa/>
- Kementrian Pekerjaan Umum, 2010, Spesifikasi Umum 2010, Direktorat Jendral Bina Marga.
- Mustika, 2009, "Observasi Karakteristik *Marshall* Pada *Asphalt Concrete* Campura Panas Dengan *RAP*", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pamungkas, 2009, "Kajian Uji Kuat Tekan Pada *Asphalt Concrete* Campuran Panas Dengan *RAP*", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Pramudyo, 2013, "Investigasi Karakterik *RAP* Artifisial", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sari, 2014, "Analisa Lendutan dan Model Retak Lapis Perkerasan AC/WC Daur Ulang Yang Diperkuat Geogrid Pra-Tegang", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Setyawan, 2014, "Konstruksi Lapis Perkerasan AC/WC Daur Ulang Diperkuat Dengan Geogrid Pra-Tegang", Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sunarjono, S, 2006, *Evaluasi Engineering Bahan Perkerasan Jalan Menggunakan RAP dan Foamed Bitumen*, Jurnal, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Sunarjono, S, 2014, *Rekayasa Kepadatan dan Stabilitas Campuran RAP Menggunakan Teknologi Cold Mix Road Recycling Dalam Penanganan Kerusakan Ruas Jalan Pantura*.