

**ANALISA LENDUTAN DAN MODEL RETAK LAPIS PERKERASAN AC-
WC DAUR ULANG YANG DIPERKUAT GEOGRID PRA-TEGANG**

Naskah Publikasi

untuk mencapai sebagian persyaratan
mencapai derajat S-1 Teknik Sipil



diajukan oleh :

RINTIS PERWITA SARI

NIM : D100 100 007

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2014

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA LENDUTAN DAN MODEL RETAK LAPIS PERKERASAN AC- WC DAUR ULANG YANG DIPERKUAT GEOGRID PRA-TEGANG

Naskah Publikasi

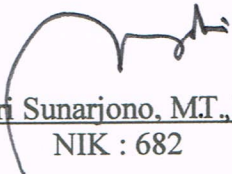
diajukan dan dipertahankan pada ujian pendadaran
Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji
pada tanggal 16 Desember 2014

diajukan oleh :

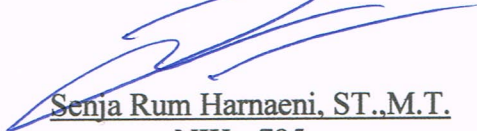
RINTIS PERWITA SARI
NIM : D 100 100 007

Susunan Dewan Penguji:

Pembimbing Utama


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

Pembimbing Pendamping


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

Anggota


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

Dekan Fakultas Teknik


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

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Mochamad Solikin
NIK : 792

ANALISA LENDUTAN DAN MODEL RETAK LAPIS PERKERASAN AC-WC DAUR ULANG YANG DIPERKUAT GEOGRID PRA-TEGANG

Rintis Perwita Sari¹⁾, Sri Sunarjono²⁾ dan Senja Rum Hernaeni³⁾

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

Email : rintis.perwita@gmail.com

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

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

ABSTRAK

Seiring perkembangan jaman, dihadapkan dengan terbatasnya sumberdaya alam untuk kebutuhan pembangunan konstruksi jalan. Maka dari itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pemanfaatan limbah perkerasan jalan yang sudah habis umur perencanaannya, dengan cara dimanfaatkan kembali dengan dicampur bahan perkerasan baru atau sering disebut *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). RAP yang telah ada biasanya mempunyai sifat fisik dan kekuatan yang berbeda dengan jenis perkerasan baru pada umumnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui lendutan dan model retak pada struktur perkerasan daur ulang tanpa geogrid dan yang diperkuat dengan geogrid pra-tagang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan penambahan aspal 2,58% dari jumlah total agregat dan diperkuat dengan geogrid pra-tegang dengan variasi 0%, 2%, 4% dan 6% dari panjang geogrid mula-mula. Selanjutnya di uji menggunakan alat *Beam Bending Apparatus* untuk mendapatkan besar nilai lendutan dengan beban maksimum dan model retak yang terjadi pada benda uji. Hasil analisis lendutan dan beban maksimum dengan variasi regangan 0%, 2%, 4%, dan 6% cenderung mengalami kenaikan. Pada lapis perkerasan semua arah rambatan retak dari bawah dan terjadi retak vertikal. Semakin besar regangan pada geogrid semakin lama terjadinya keretakan. Sebagian besar lokasi retakan terjadi antara agregat dan aspal, sebagian hanya terjadi retak pada agregat dan retak pada aspal.

Kata Kunci : *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), Beam Bending Apparatus, model retak, lendutan, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), geogrid pra-tegang.*

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan adalah salah satu hal yang paling penting untuk menunjang transportasi yang mudah dan aman, maka sangat diperlukan perkerasan jalan yang layak digunakan. Salah satu perkerasan jalan yang ramah lingkungan adalah daur ulang. Limbah-limbah perkerasan jalan yang sudah habis umur perencanaannya dimanfaatkan kembali dengan dicampur bahan perkerasan baru atau sering disebut *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP).

Secara umum, penyebab utama kerusakan perkerasan jalan adalah karena beban yang berlebih (*overloading*). Kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur, salah satunya adalah retak (*cracking*). Retak adalah suatu cacat permukaan yang memperlemah

perkerasan dan memungkinkan air meresap kedalamnya sehingga meningkatkan perlemahan. Bila retak mulai terjadi akibat kombinasi beban lalu lintas dan lingkungannya, maka penyebaran, keparahan, dan intensitas dari retak tersebut akan berkembang cepat dan akhirnya dapat menyebabkan *disintegrasi* pada lapis permukaan (Wiyono, 2010).

Perkuatan geogrid memberikan ketahanan perambatan retak lebih baik dibandingkan dengan yang tanpa geogrid. Geogrid akan mengurangi lenturan pada lapis perkerasan saat menerima beban roda, sehingga proses kelelahan yang terjadi pada bahan perkerasan aspal akan lebih tahan lama.

Bedasarkan penelitian sebelumnya (Setiyawan, 2014), yang bertujuan mengetahui tingkat kelelahan pada

lapis perkerasan AC-WC yang diperkuat geogrid pra-tegang. Dengan hasil pengujian gradasi RAP yang dilakukan untuk mendaur ulang RAP menjadi lapis perkerasan daur ulang baru AC-WC maka diperlukan penambahan agregat baru dan aspal baru. Penambahan agregat dan aspal baru bertujuan agar lapis daur ulang ini menjadi lapis perkerasan yang masuk spesifikasi serta mempunyai kekuatan yang baik. Seiring bertambahnya atau besarnya nilai regangan geogrid, beban yang mampu ditahan oleh lapis perkerasan dan nilai lendutan maka semakin besar beban yang ditahan. Akan tetapi beban akan menurun setelah mencapai beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Penelitian ini merupakan penelitian kelanjutan dari penelitian Setiyawan (2014), yang bertujuan mengetahui lendutan dan model retak pada lapis perkerasan AC-WC daur ulang yang diperkuat dengan geogrid pra-tegang.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Reclaimed asphalt pavement merupakan limbah bongkaran aspal yang telah diangkat atau di garuk dari lapisan perkerasan jalan. Dalam proses daur ulang perkerasan jalan, RAP merupakan bahan utama yang akan dikembangkan menjadi bahan perkerasan jalan baru. RAP juga bisa ditambah dengan bahan adiktif yaitu aspal tipe AC (*Aspal Concrete*) untuk menambah daya dukung RAP supaya dapat dipakai kembali sebagai lapisan perkerasan jalan.

RAP dibedakan beberapa macam, yaitu fraksi kasar, medium, dan halus untuk mengurangi efek keberagaman material. Gradasi RAP ditentukan berdasarkan *wash sieving* agar partikel halus lepas dari partikel kasar. Pada umumnya kandungan aspal RAP mempunyai penetrasi sangat rendah karena efek egeing. (Sunarjono, 2009).

B. Recycling (Teknologi Daurlang Perkerasan Jalan)

Metode daur ulang (*recycling*) adalah salah satu cara yang cocok untuk mengatasi masalah tentang bagaimana mencari metode untuk lebih banyak merehabilitas jalan dengan biaya yang lebih sedikit. Metode daur ulang memiliki beberapa keuntungan, antara lain mengembalikan kekuatan perkerasan dan mempertahankan geometrik jalan serta mengatasi ketergantungan akan material baru. Selain itu daur ulang perkerasan jalan ini juga ramah lingkungan dibandingkan dengan perkerasan dengan lapis beton.

Ada beberapa teknik daur ulang yaitu daur ulang yang dilaksanakan di lapangan atau *in place* dan ditempat pencampuran *in plant*.

1. Pelaksanaan di lapangan atau *in place* yaitu pengarukan, pembentukan dan pemadatan ditempat.
2. Ditempat pencampuran atau *in plant* yaitu hasil garukan dibawa ke tempat pencampuran untuk diperbaiki *properties* RAP.

Bedasarkan pencampuran daur ulang dibedakan menjadi dua, antarlain :

1. Daurlang campuran dingin atau *cold recycling* yaitu campuran dengan pengikat aspal emulsi, campuran dengan pengikat aspal cair dan *Foam Bitumen*.

2. Daurlang campuran panas atau *hot recycling* yaitu daurlang bahan garukan dipanaskan kembali di AMP atau *in plant*.

C. Aspal

Aspal adalah campuran yang terdiri dari bintumen dan mineral yang berwarna coklat tua atau hitam, pada temperatu ruang berbentuk agak padat sampai padat. Aspal pada perkerasan jalan berfungsi sebagai pengikat dan pengisi antar agregat dan sebagai perlindungan dari air.

Bedasarkan cara memperolehnya, aspal dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Aspal alam, yang terdiri dari aspal gunung dan aspal danau.
2. Aspal buatan, yang merupakan hasil dari penyulingan minyak bumi, yang dapat dibedakan menjadi aspal keras, aspal cair dan aspal emulsi.

Aspal yang akan digunakan harus sesuai dengan memenuhi ketentuan yang terdapat pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 seperti pada table II.1 dibawah ini.

Tabel II.1. Ketentuan-ketentuan aspal keras.

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2010

D. Agregat

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60 -70
1	Penetrasi pada suhu 25° C (0,1mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2	Viskositas 135° C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48
4	Indek Penetrasi	-	≥-1,0
5	Daktilitas pada suhu 25° C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥232
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene(%)	AASTH0 T44-03	≥99
8	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥1,0
9	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	

Agregat merupakan komponen utama dari suatu perkerasan jalan. Agregat terdiri atas agregat kasar yaitu kerikil atau batu baur dan agregat halus yaitu pasir. Agregat juga dibedakan berdasarkan besar ukurannya.

Agregat bergradasi baik yaitu agregat yang ukuran butirannya, antara lain :

1. Agregat kasar yaitu agregat yang memiliki ukuran butiran besar, tertahan saringan no.4.
2. Agregat halus yaitu agregat yang memiliki ukuran butiran relative lebih halus, yaitu lolos saringan no.4.

E. Geogrid

Geogrid adalah salah satu jenis material Geosintetik yang mempunyai bukaan yang cukup besar, dan kekakuan badan yang lebih baik dibandingkan Geotextile. Berdasarkan bentuknya Geogrid dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Geogrid Uniaxial adalah geogrid yang mempunyai bentuk tunggal dalam satu ruas.

2. Geogrid Biaxial adalah geogrid yang berbentuk persegi.
3. Geogrid Triax adalah geogrid yang berbentuk segitiga.

Fungsi geogrid secara umum adalah sebagai bahan Geosintetik yang berfungsi sebagai perkuatan dan stabilitas.

F. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan lentur dibagi menjadi 4, antara lain :

1. Lapis permukaan (*surface coarse*)
Lapis permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang paling atas, yang berfungsi untuk menahan beban roda, yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan. Sebagai lapisan kedap air dan sebagai lapisan aus yang menahan gesekan akibat roda kendaraan.
2. Lapis pondasi atas (*base coarse*)
Lapis pondasi atas adalah bagian lapis perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah, yang berfungsi sebagai penahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban kelapis di bawahnya.
3. Lapis pondasi bawah (*sub base coarse*)
Lapis pondasi bawah, yang berfungsi untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
4. Lapis tanah dasar (*sub grade*)
Tanah dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan tanah galian. Tanah dasar ini bersangkutan dengan lendutan.

LANDASAN TEORI

A. Pengujian Karakteristik

Pengujian karakteristik RAP bertujuan untuk mengetahui bahan-bahan penyusun RAP yang meliputi pengujian gradasi, berat jenis, LA abrasi, dan ekstraksi.

Pemeriksaan *ekstraksi* bertujuan untuk memisahkan antara agregat kasar, agregat halus, dan aspal yang terkandung didalam RAP. Berdasarkan pemeriksaan ini maka dapat di selidiki *properties* aspalnya dan pemeriksaan gradasi terhadap agregatnya.

Pemeriksaan mutu bahan penyusun RAP terbagi menjadi dua yaitu :

1. Pemeriksaan mutu agregat yang meliputi keausan, berat jenis agregat, analisis saringan, dan kelekatan terhadap aspal.
2. Pemeriksaan mutu aspal meliputi *penetrasi*, berat jenis, titik lembek, titik bakar, dan titik nyala.

B. Campuran Asphalt Concrete Wearing Course

Beton aspal adalah campuran antara agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat dan agregat sebagai bahan pengisi yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas maupun keadaan dingin pada suhu tertentu. Pembuatan beton aspal bertujuan untuk mendapatkan suatu lapisan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur dan sebagai lapisan kedap air pada lapis perkerasan (Sukirman, 2003).

Beton Aspal *Wearing Course* adalah lapis pekerasan permukaan yang berfungsi sebagai lapis perata dari lapis perkerasan atau laston yang berada pada bagian paling atas. AC/WC mempunyai ukuran agregat relative lebih halus dibandingkan dari lapisan yang lain. AC/WC mempunyai ukuran agregat maksimum adalah 19,0 mm.

Untuk mendapatkan campuran beton aspal yang baik maka diperlukan nilai kadar aspal optimum (KAO). Parameter yang bisa digunakan untuk mengetahui kadar aspal optimum (KAO) adalah :

1. VMA (*Void in the mineral aggregate*)

VMA adalah banyaknya volume pori yang berada di dalam masing-masing butir agregat didalam beton aspal padat, yang dinyatakan dalam prosentase.

VMA dapat dihitung melalui 2 cara yaitu :

- a. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai *presentase* dari beton aspal padat, maka menggunakan rumus :

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb \cdot Ps}{Gsb}\right) \% \text{ dari volume } bulk\text{beton aspal padat} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

VMA = Volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk*beton aspal padat.

Gmb = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat.

Ps = Kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat.

Gsb = Berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat.

- b. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai *persentase* dari berat agregat, maka rumus yang digunakan adalah :

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 - Ps}\right) \% \text{ dari volume } bulk\text{beton aspal padat} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dengan :

VMA = Volume pori antara agregat didalam beton aspal padat, % dari volume *bulk*beton aspal padat.

Gmb = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat.

Ps = Kadar agregat, % terhadap agregat.

Gsb = Berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat.

2. VIM (*Void in the mix*)

VIM adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dapat dinyatakan dalam *presentase* terhadap volume beton aspal padat. Rumus yang digunakan adalah :

$$VIM = \left(100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}\right) \% \text{ dari volume } bulk\text{beton aspal padat} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan :

VIM = Volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk*beton aspal padat.

Gmm = Berat jenis maksimum beton padat yang belum dipadatkan.

Gmb = Berat jenis bulk dari beton aspal padat.

3. VFWA (*Volume of voids Filled with Asphalt*)

VFWA adalah presentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus yang digunakan adalah :

$$VFWA = \left(\frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \right) \% \quad \text{dari VMA} \quad (3.4)$$

Dengan :

VFWA = Volume pori antara butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

4. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja, tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur dan bleeding dinyatakan dalam satuan Kg atau lbs. Nilai stabilitas terkoraksi dapat dihitung dengan rumus :

$$S = q \times C \times k \times 0,454 \quad (3.5)$$

Dengan :

S = Nilai Stabilitas

q = Pembacaan nilai stabilitas pada dial alat Marshall

k = Faktor kalibrasi alat

C = Angka kolerasi ketebalan

5. Flow

Kelelahan atau flow merupakan besarnya deformasi sampel yang terjadi pada saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan menurun. Pengukuran flow bersamaan dengan pengukuran stabilitas marshall.

6. Marshall Quotient (MQ)

MQ merupakan hasil pembagian dari stabilitas dan flow. Sifat marshall tersebut dapat digitung dengan menggunakan rumus :

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (3.6)$$

Dengan :

MQ = Marshall Quotient (Kg/mm)

S = Stabilitas

F = Flow

Spesifikasi ACWC

C. Lendutan

Struktur perkerasan akan mengalami lendutan pada saat menerima beban roda kendaraan (Kokasih 2004). Secara teoritis, (Kokasih 2004) menjelaskan bahwa besar lendutan struktur perkerasan jalan dapat dihitung dari komposisi dan tebal lapis perkerasan, karakteristik bahan perkerasan (modulus elastisitas dan konstanta poisson), dan konfigurasi beban roda kendaraan.

Lendutan yaitu fungsi dari kekakuan yaitu perkalian antara modulus elastisitas dan inersia penampang (EI). Lendutan sering juga disebut dengan

istilah EI. Lendutan harus dibatasi, karena menyangkut masalah kenyamanan. SNI-Beton-2002.

Lendutan sering juga disebut lekukan kebawah. Lekukan yang disebutkan oleh suatu beban yang bekerja pada bidang tertentu.

D. Model Retak

Jalan yang di lewati beban terus menerus dan berulang akan mengalami perlemahan pada struktur lapisan sehingga menyebabkan retakan pada lapis bawah. Retak menyebar dari bawah naik ke atas.

Lokasi terjadinya retak, antara lain :

1. Retak pada aspal.

Retak pada aspal ini dikarenakan oleh umur aspal yang sudah menua, komposisi aspal yang tidak bagus dan aspal yang getas.

2. Retak pada agregat

Retak pada agregat ini dikarenakan karena jenis agregat yang kurang baik.

3. Retak di tengah aspal dan agregat

Retak ini dikarenakan kelekatan agregat dengan aspal yang kurang baik, adanya gradasi campuran yang kurang baik, dan adanya rongga – rongga antar agregat.

E. Beam Bending Apparatus

Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah *Beam Bending Apparatus*. Alat dibuat dengan cara modifikasi alat CBR yang telah ada, yaitu dengan cara menambah dudukan sampel. Alat ini mempunyai nilai *displacement rate* 1 mm/menit. Alat ini berfungsi untuk mengetahui besar beban maksimum dan besar lendutan yang terjadi.

METODE PENELITIAN

A. Umum

Penelitian ini melakukan beberapa percobaan-pecobaan untuk mendapatkan hasil dari penelitian yang diinginkan. Penelitian ini membutuhkan beberapa sampel dengan beberapa percobaan. Dan 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 di lakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

C. Bahan Dan Material

Dalam penelitian ini menggunakan bahan dan material antara lain :

1. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60-70 yang berasal dari Cilacap Jawa Tengah.

2. Agregat

Agregat yang digunakan adalah dari PT. Watu Agung Bawen Semarang. Yang berasal dari daerah Kandangan Bawen.

3. RAP
RAP yang digunakan berasal dari PT. Puri Intan yang bersa;l dari sisa-sisa bongkaran Jl. Boyolali-Semarang.
4. Geogrid
Geogrid yang digunakan adalah geogrid Biaxial.

D. Peralatan Penelitian

Dalam penelitian inii menggunakan alat yang berada di dalam Laboratorium Teknik Sipil. Adapun alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Satu set alat pencampuran aspal
Alat yang digunakan pada proses pencampuran aspal adalah alat pemanas, wajan, kompor, timbangan, spatula, *thermometer*
2. Satu set alat pemadat dengan *press*
Alat yang digunakan adalah alat cetakan benda uji dan alat *press*.
3. *CBR* modifikasi (*Beam Bending*)
Yaitu alat yang sudah dimodifikasi dengan alat *CBR* yang telah ada. Dan alat ini berfungsi untuk mengetahui besar beban maksimum dan besar lendutan yang terjadi.
4. Alat pendukung lainnya yaitu kamera, spatula , pengaris.

Tahapan Penelitian

Adapaun tahapan penelitian tersebut antara lain :

- Tahap I : Perumusan masalah, studi *literature*, persiapan alat dan bahan
- a. Perumusan masalah
Perumusan masalah bertujuan untuk memfokuskan dan memperjelas penelitian. Sehingga penelitian tersebut dapat menjawab pokok dan pertanyaan permasalahan yang ada.
 - b. Studi *literature*
Studi *literature* bertujuan untuk mendalami materi yang akan diteliti, sekaligus untuk mengetahui penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya, guna untuk menanggulangi pengulangan, dan bisa untuk menyempurnakan atau menambah dari penelitian sebelumnya.
 - c. Persiapan alat dan bahan
Persiapan alat dan bahan bertujuan untuk mengetahui kondisi alat dan kondisi bahan yang akan digunakan untuk pengujian penelitian, agar dapat memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditentukan.
- Tahap II : Pemeriksaan karakteristik RAP dan aspal
Pengumpulan data sekunder Setyawan (2014), untuk pemeriksaan karakteristik RAP dan aspal bertujuan untuk mengetahui mutu RAP yang

Tahap III

Tahap IV

Tahap V

Tahap VI

Tahap VII

akan digunakan dan kandungan aspal yang terdapat pada kandungan RAP dan mengetahui perlu tidaknya penambahan bahan tambah baru.

: Pemeriksaan mutu agregat baru

Pengumpulan data sekunder Setyawan (2014), pemeriksaan mutu bahan bertujuan untuk mengetahui mutu bahan yang harus sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010. Pemeriksaan meliputi pemeriksaan mutu agregat kasar, pemeriksaan agregat halus, dan pemeriksaan mutu aspal.

: Menentukan kadar aspal optimum campuran

Pengumpulan data sekunder Setiyawan (2014) ,untuk pengujian karakteristik RAP meliputi ekstraksi, kadar aspal dan gradasi saringan. Pengujian Karakteristik Aspal meliputi penetrasi, titik lembek, titik bakar, dan berat jenis. Pembuatan Benda Uji dengan compactor *Marshall Hammer* dengan menambah kadar aspal 1 %, 1,5 %, 2 %, 2,5 %, 3 %, 3,5 % , uji *marshall* dan analisis hasil uji *Marshall* untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO).

: Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji campuran AC/WC dengan menggunakan nilai kadar optimum (data sekunder Setyawan 2014). Pada tahapan ini, benda uji dengan ukuran 5 cm x 6,3 cm x 38 cm yang tengahnya tanpa dipasang geogrid dan dipasang geogrid dengan variasi regangan 0%, 2%, 4%, 6%. Untuk merekatkan lapis atas dan lapis bawah diperlukan *tack coat*. Berdasarkan spesifikasi maka digunakan aspal emulsi yang dicampur dengan minyak tanah dengan perbandingan 30 gr minyak tanah dan 100 gr aspal. Untuk *tack coat* daur ulang berdasarkan spesifikasi di dapat 3 gram, akan tetapi setelah dilakukan percobaan, lapis atas dan lapis bawah tidak dapat merekat. Dengan demikaian dilakukan percobaan lagi dengan sehingga diputuskan menggunakan *tack coat* sebesar 5x lipat yaitu 15 gram.

: Pengujian benda uji dengan *Beam Bending Apparatus*

Pada tahap ini benda uji yang berbentuk persegi panjang akan di uji dengan alat *Beam Bending Apparatus*. Pengujian ini akan mendapatkan nilai lendutan dan model retak.

: Analisia dan pembahasan

Setelah dilakukan pengujian dan penelitian akan diperoleh data-data. Dari data-data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menjawab rumusan masalah yaitu nilai lendutan dan model retak.

Tahap VIII : Kesimpulan dan saran.

Dari hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan, maka akan didapat kesimpulan yang menjadi tujuan dari penelitian dan diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan yang ada. Jika belum dapat menyelesaikan permasalahan yang ada dapat ditindak lanjuti pada penelitian sebelumnya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Sekunder Penelitian Sebelumnya yang Dijadikan Acuan (Setyawan, 2014)

1. Pemeriksaan Ekstraksi

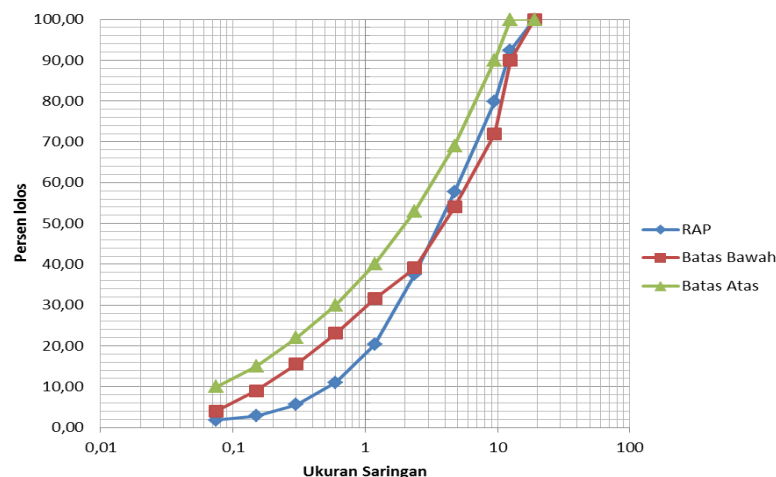
Hasil pemeriksaan ekstraksi diperoleh kadar aspal sebesar 4,6 % dari 500 gram sampel material RAP yang diambil secara acak.

2. Pemeriksaan Gradasi (Analisa Saringan)

Metode analisa saringan menggunakan standar lapisan aus menurut Bina Marga 2010. Pemeriksaan ini menggunakan material RAP yaitu sesudah diekstraksi. Hasil pemeriksaan *Gradasi* dapat dilihat pada Tabel V.1 untuk pembagian *gradasi* dapat dilihat pada Gambar V.1

Tabel V.1 Hasil pemeriksaan gradasi RAP sesudah diekstraksi

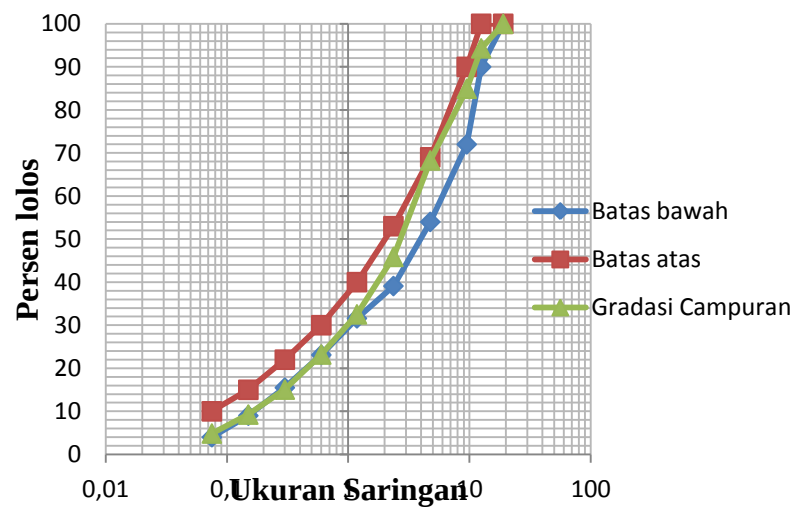
No. Ayakan	Ø Saringan (mm)	Spack BM 2010			Gradasi RAP		
		Medium Spek	Berat lolos	Berat Tertahan	Persen lolos	Berat lolos	Berat tertahan
¾ "	19	100.0	1250	0.0	100.00	1250	0.00
½ "	12.5	95.0	1187.5	62.5	92.40	1155	95.00
3/8 "	9.5	81.0	1012.5	175.0	79.90	998.75	156.25
No. 4	4.75	61.5	768.8	243.8	57.70	721.25	277.50
No. 8	2.36	46.1	575.6	193.1	37.50	468.75	252.50
No. 16	1.18	35.8	447.5	128.1	20.30	253.75	215.00
No. 30	0.6	26.6	331.9	115.6	11.00	137.50	116.25
No. 50	0.3	18.8	234.4	97.5	5.60	70.00	67.50
No. 100	0.15	12.0	150.0	84.4	2.80	35.00	35.00
No. 200	0.075	7.0	87.5	62.5	1.80	22.50	12.50
Pan	0	0.0	0.0	87.5	0.00	0.00	22.50



Gambar V.1 Pembagian butiran RAP sesudah diekstraksi
Untuk besar penambahan agregat dapat dilihat pada Tabel V.2

Tabel V.2 Hasil Pemeriksaan gradasi setelah diperbaiki

No. Saringan (mm)	Persen Lolos RAP (%)	Persen Lolos Agregat Baru (%)	Kebutuhan Agregat		Gradasi Campuran	Speck. BM 2010		Ket.
			RAP (%)	Agregat Baru (%)		Batas Bawah	Batas Atas	
19	100.00	100.00	75.00	25.00	100.00	100	100	Masuk
12.5	92.40	100.00	69.30	25.00	94.30	90	100	Masuk
9.5	79.90	100.00	59.93	25.00	84.93	72	90	Masuk
4.75	57.70	100.00	43.28	25.00	68.28	54	69	Masuk
2.36	37.50	71.00	28.13	17.75	45.88	39.1	53	Masuk
1.18	20.30	69.20	15.23	17.30	32.53	31.6	40	Masuk
0.6	11.00	59.80	8.25	14.95	23.20	23.1	30	Masuk
0.3	5.60	46.00	4.20	11.50	15.70	15.5	22	Masuk
0.15	2.80	28.60	2.10	7.15	9.25	9	15	Masuk
0.075	1.80	14.00	1.35	3.50	4.85	4	10	Masuk
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	Masuk



Gambar V.2 Pembagian butiran agregat setelah diperbaiki

3. Pemeriksaan Berat Jenis dan penyerapan Agregat RAP

Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat dapat dilihat pada Tabel V.3.

Tabel V.3 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan Agregat RAP

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Jenis <i>bulk</i>	2.43	
Berat Jenis SSD	2.48	
Berat Jenis semu	2.56	
Penyerapan (<i>absorsi</i>)	2.02	%

(Sumber : Setyawan, 2014)

4. Pemeriksaan Keausan Agregat RAP

Hasil pemeriksaan keausan agregat dapat dilihat pada Tabel V.4.

Tabel V.4 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat

Keterangan	Sebelum Diekstraksi	Sesudah Diekstraksi
Pemeriksaan Keausan	35.48 %	29.8 %

(Sumber : Setyawan, 2014)

5. Pemriksaan Mutu Aspal yang terkandung pada RAP

Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel V.5.

Tabel V.5 Hasil Pemeriksaan Aspal lama

No.	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi	(0.1 mm)	60-70	41.30	Tidak memenuhi
2	Titik Lembek	°C	≥48	67.5	Memenuhi
3	Titik Nyala dan Titik Bakar	°C	≥232	363.5	Memenuhi
4	Berat Jenis		≥1.0	1.061	Memenuhi

(Sumber : Setyawan, 2014)

6. Pemeriksaan Mutu Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari PT. Pertamina. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel V.6.

Tabel V.6 Hasil pemeriksaan mutu aspal baru

No.	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi	(0.1 mm)	60-70	65.27	Memenuhi
2	Titik Lembek	°C	≥48	48.5	Memenuhi
3	Titik Nyala dan Titik Bakar	°C	≥232	360	Memenuhi
4	Berat Jenis		≥1.0	1.03	Memenuhi

(Sumber :Setyawan, 2014)

7. Pemeriksaan Mutu Agregat

Pemeriksaan mutu agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel V.7 dan Tabel V.8.

Tabel V.7 Hasil pemeriksaan agregat kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Abrasi <i>Los Angeles</i>	%	Max. 30	21.41	Memenuhi
2	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	%	Min. 95	100	Memenuhi
3	Berat jenis semu		> 2.50	2.84	Memenuhi
4	Penyerapan (<i>Absorsi</i>)	%	< 3.00	1.15	Memenuhi

(Sumber : Setyawan, 2014)

Tabel V.8 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis semu		> 2.50	2.85	Memenuhi
2	Penyerapan (<i>absorsi</i>)	%	< 5.00	2.89	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i>	%	Min. 60	91.67	Memenuhi

(Sumber : Styawan, 2014)

8. Hasil pengujian benda uji

Jumlah keseluruhan benda uji yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum yaitu 12 benda uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel V.9.

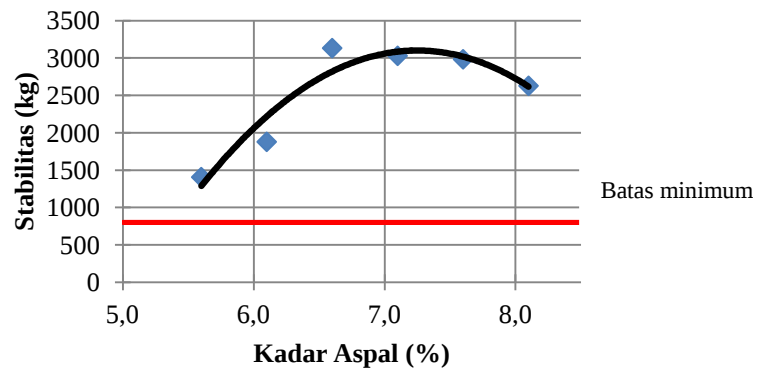
Tabel V.9 Hasil pengujian benda uji *Marshall hammer*

No	Sifat <i>Marshall</i> AC-WC	Spesifikasi	Kadar aspal (%)					
			5.60	6.10	6.60	7.10	7.60	8.10
1	Stabilitas (kg)	min. 800	1405.10	1877.26	3131.13	3027.82	2981.43	2626.59
2	<i>Flow</i> (mm)	min. 3	2.28	3.50	3.15	3.85	3.35	3.18
3	<i>Marshall Quotients</i> (kg/cm ²)	min. 250	616.99	551.55	996.81	797.60	888.90	827.79
4	<i>Density</i> (gr/cm ²)	-	2.24	2.24	2.27	2.26	2.27	2.28
5	VMA (%)	min. 15	18.32	18.51	17.67	18.72	18.78	18.78
6	VITM (%)	3-5	6.70	5.82	3.74	3.86	2.81	1.69
7	VFWA (%)	min. 65	61.40	66.22	75.88	76.17	81.35	86.79

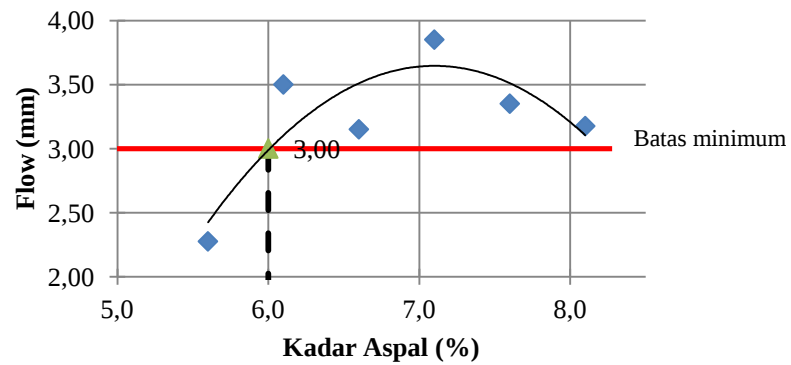
(Sumber : Setyawan, 2014)

9. Kadar aspal optimum

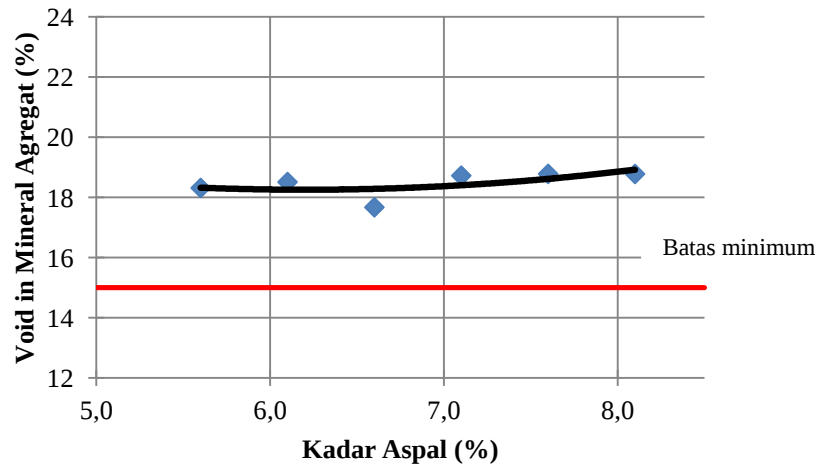
Hasil karakteristik *Marshall* campuran asphalt concrete-wearing course dapat dilihat pada Gambar V.3 sampai Gambar V.9.



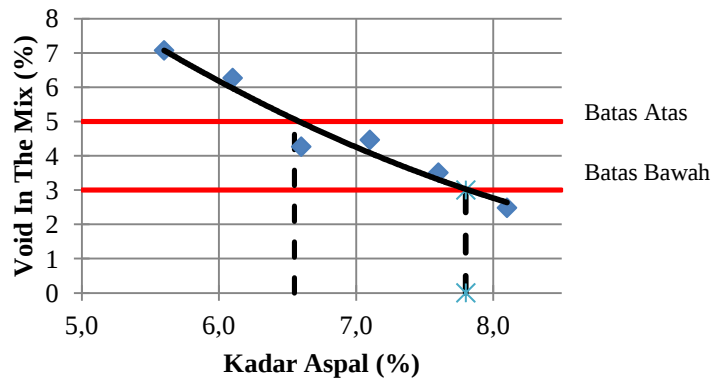
Gambar V.3 Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas



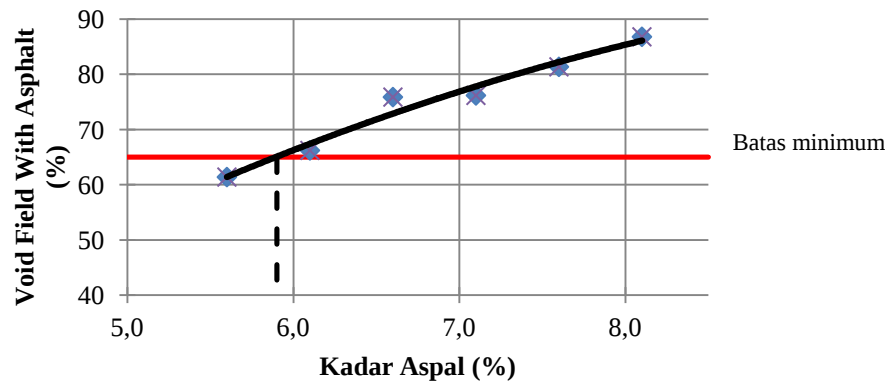
Gambar V.4 Hubungan antara kadar aspal dengan kelelahan (*flow*)



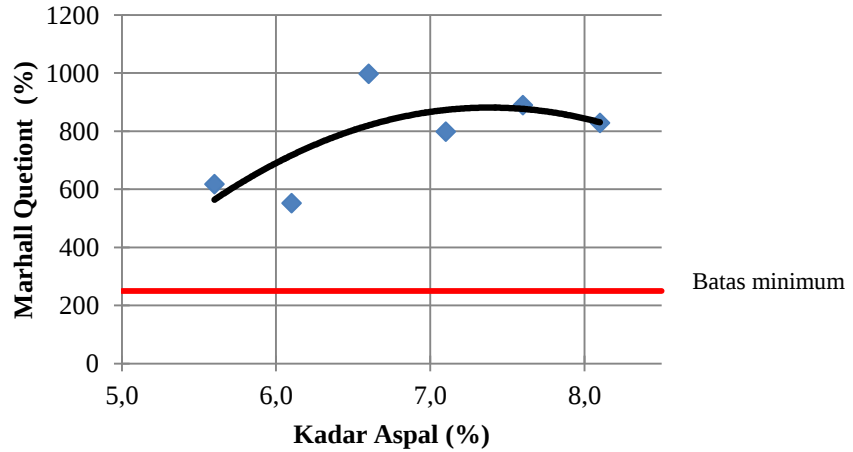
Gambar V.5 Hubungan antara kadar aspal dengan VMA (*Void in mineral Agregate*).



Gambar V.6 Hubungan antara kadar aspal dengan VITM (*Void in The Mix*)

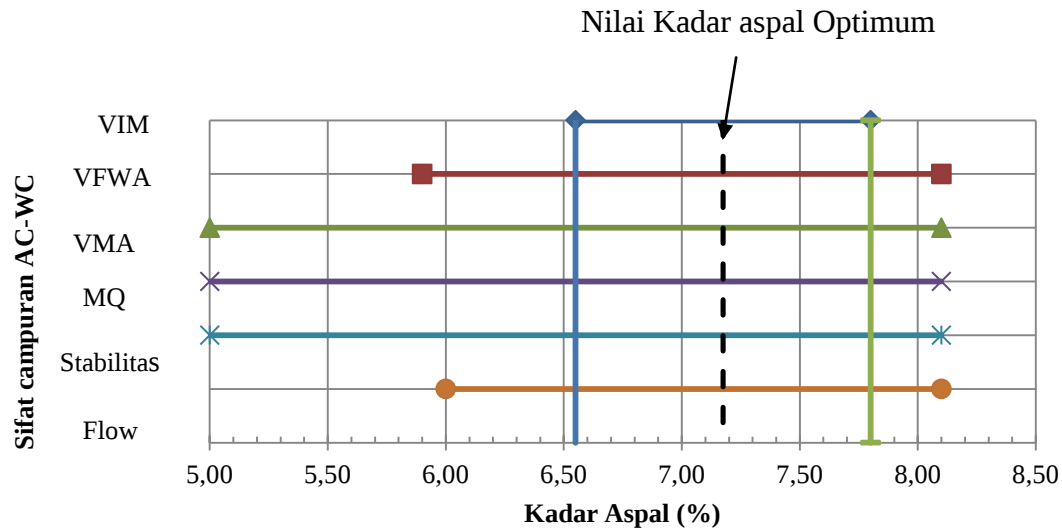


Gambar V.7 Hubungan antara kadar aspal dengan VFWA (*Void Field With Asphalt*)



Gambar V.8 Hubungan antara kadar aspal dengan *Marshall quotient*

Dari beberapa hubungan kadar aspal dengan karakteristik *Marshall* campuran *asphalt concrete-wearing course* diperoleh kadar aspal optimum sebagai berikut :



Gambar V.9 Penentuan kadar aspal optimum

Dari Gambar V.9 diperoleh nilai kadar aspal optimum untuk campuran *asphalt concrete-wearing course* yaitu sebesar 7.18 % atau 2.58% dari agregat RAP dan agregat baru.

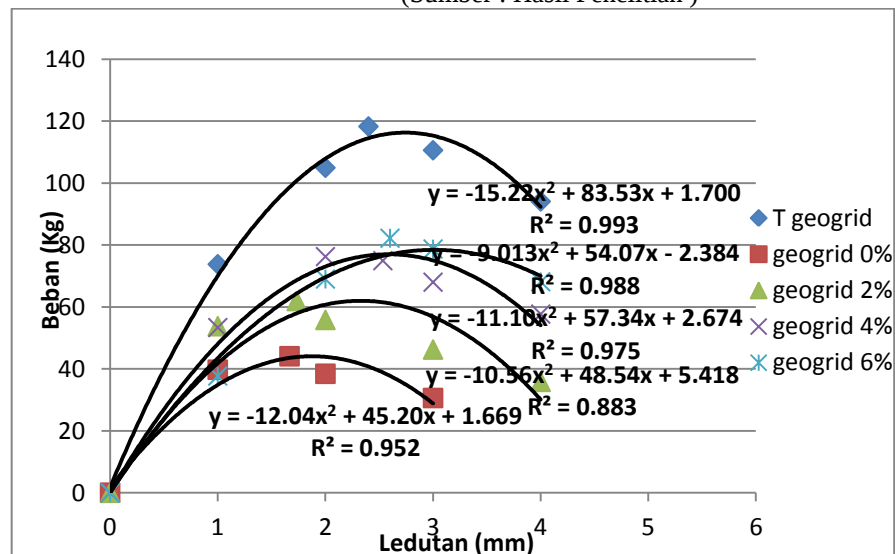
B. Hasil Pengujian Lendutan dan Beban Maksimum pada Lapis Perkerasan Tanpa Geogrid dan Diperkuat Geogrid

Untuk mengetahui besar beban maksimum dan besar lendutan dari suatu lapis perkerasan daur ulang yang di perkuat dengan geogrid pra-tegang dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6% dan tanpa geogrid, diperlukan pengujian. Adapun hasil pengujiannya adalah sebagai berikut.

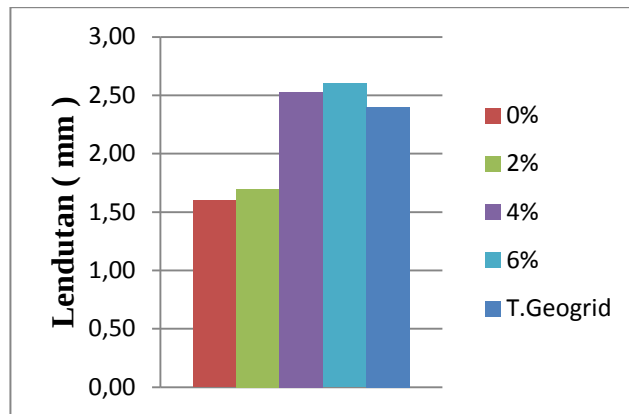
Tabel V.10 Hasil Pengujian Besar Lendutan dan Beban Maksimum

No.	Regangan (%)	Beban Maksimum (Kg)	Lendutan (mm)
1	T. Geogrid	118,0	2,40
2	0%	44,00	1,60
3	2%	61,80	1,70
4	4%	76,00	2,53
5	6%	82,00	2,60

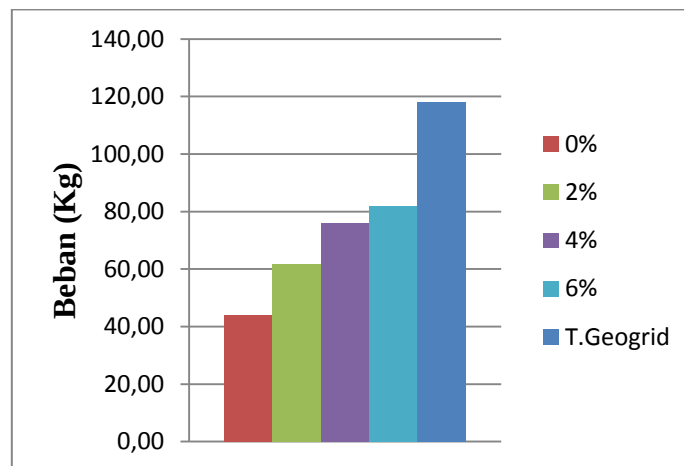
(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar V.10 Hubungan antara lendutan dengan beban pada lapisan tanpa geogrid dan diperkuat dengan geogrid pra-tegang



Gambar V.11 Besar lendutan pada saat beban maksimum pada tiap variasi



Gambar V.12 Besar beban maksimum pada tiap variasi

Dari hasil pengujian diatas, didapat bahwa semakin besar nilai lendutan maka semakin besar pula beban yang ditahan. Tetapi besar beban akan menurun setelah mencapai beban maksimum dari beban yang mampu ditahan benda uji.

Dari gambar diatas, menunjukkan bahwa pada setiap variasi regangan geogrid berpengaruh pada besar lendutan yang terjadi. Semakin besar regangan geogrid yang ada, maka semakin besar pula nilai lendutan yang terjadi. Geogrid dapat membantu mengurangi lendutan yang terjadi. Akan tetapi berbeda dengan benda uji yang tanpa geogrid. Hal ini disebabkan karena antara lapis atas dan lapis bawah pada benda uji mempunyai rongga yang kecil, sehingga menyebabkan lapisannya dapat melekat dengan kuat dan lebih tebal.

Variasi pada regangan juga mempengaruhi besar beban yang terjadi. Semakin besar regangan pada geogrid maka semakin bertambah beban yang mampu ditahan oleh lapis perkerasan daur ulang. Hal ini dikarenakan beban maksimum yang ditumpu pada lapis perkerasan akan dibantu dengan kekuatan geogrid yang diregangkan. Sehingga keretakan dan keruntuhan karena beban akan segera berkurang. Sedangkan benda uji yang tanpa diperkuat geogrid, beban yang terjadi lebih besar dan lebih mudah patah.

C. Hasil Pengujian Model Retak pada Lapis Perkerasan Tanpa Geogrid dan Diperkuat Geogrid

1. Mekanisme arah retak.

Dari penelitian yang dilakukan ada 2 kemungkinan awal terjadi keretakan. Yang pertama retakan terjadi pada lapis bawah, yang kedua retakan terjadi pada lapis atas. Dalam penelitian ini semua benda uji mengalami awal retak pada lapis bawah terlebih dahulu.

Untuk arah rambatan retak, pada semua pengujian mengalami hal yang sama yaitu arah rambatan retak pada lapis atas dan lapis bawah merambat dari arah bawah.

2. Hubungan antara lendutan dengan panjang retakan yang terjadi

Tabel V.11 Hubungan antara lendutan dengan panjang retakan yang terjadi

Variasi Regangan	Sampel 1 (mm)			Sampel 2 (mm)			Sampel 3 (mm)		
	Step	Panjang Retakan	Lendutan	Step	Panjang Retakan	Lendutan	Step	Panjang Retakan	Lendutan
Tanpa Geogrid	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0
	Step 1	0-18,9	3	Step 1	0-17,5	3	Step 1	0-19	2,8
	Step 2	0-29	3,4	Step 2	0-26	3,6	Step 2	0-27	3,1
	Step 3	0-36	3,8	Step 3	0-32	3,7		30-39	3,5
	Step 4	0-59	4	Step 4	0-53	4	Step 3	30-52	3,7
0%	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0
	Step 1	0-17	1,3	Step 1	0-15,2	1,4	Step 1	0-19	1,2
	Step 2	0-25,2	1,7	Step 2	0-22,4	1,9	Step 2	0-16,3	1,5
	Step 3	0-45,8	2,3	Step 3	0-39	2,5	Step 3	0-47,2	2,1
	Step 4	0-58,4	3	Step 4	0-44	3	Step 4	0-57,3	2,6
2%	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0
	Step 1	0-21	1,9	Step 1	0-23	1,7	Step 1	0-22,1	1,6
	Step 2	0-25,2	2,3	Step 2	0-27	2,6	Step 2	0-25,5	2,2
	Step 4	0-58,4	3	Step 3	30-53,2	3	Step 4	0-54,6	2,9
4%	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0
	Step 1	0-18	2,7	Step 1	0-14	2,5	Step 1	0-17	2,4
	Step 2	0-33,6	3	Step 2	0-27	2,9	Step 2	0-29,7	2,8
	Step 3	0-49	3,6	Step 3	0-36	3,1		30-46,2	3,1
	Step 4	0-59	3,8	Step 4	0-52	3,8	Step 3	30-57	3,5
6%	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0	Step 0	0-0	0
	Step 1	0-17	2,9	Step 1	0-15	2,6	Step 1	0-16,2	2,6
	Step 2	0-25,2	3,2		30-44,3	3	Step 2	0-28,4	3,2
	Step 3	0-45,8	3,7	Step 2	0-22,1	3,4		30-38,2	3,6
	Step 4	0-58,4	4		30-58	4	Step 3	30-59,1	4

(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari tabel V.11 diatas, didapat bahwa semakin besar geogrid yang di regangkan dapat menahan lendutan yang lebih besar dan semakin lama meredam retakan yang terjadi. Untuk arah retakannya, benda uji mengalami arah retakan dari bawah lanjut ke atas, dan benda uji mengalami keretakan pada lapis bawah dan lapis tengah yang bersamaan.

Dari penelitian, benda uji kebanyakan mengalami arah retakan dari bawah lanjut ke atas, dan hanya beberapa yang mengalami retakan pada lapis bawah dan tengah bersamaan.

3. Pola arah keruntuhan

Dapat dilihat bahwa terjadi retak vertikal. Selain itu juga lapis atas dan lapis bawah mengalami lepas dari geogridnya. Hal ini di karenakan *tack coat* tidak bekerja dengan baik setelah diadakan pengujian dan pemasangan geogrid yang kurang tepat.

Setelah dilakukan pemasangan geogrid yang lebar geogridnya disamakan dengan lebar sampel, lapis atas, lapis bawah dan geogrid dapat menyatu dan merekat.

4. Lokasi Retak

Tabel V.12 Lokasi retak

Variasi Regangan		Lokasi Retak
Tanpa Geogrid	Benda Uji 1	Retak agregat
	Benda Uji 2	Retak aspal
	Benda Uji 3	Retak antara agregat dan aspal
Regangan 0 %	Benda Uji 1	Retak aspal
	Benda Uji 2	Retak antara agregat dan aspal
	Benda Uji 3	Retak antara agregat dan aspal
Regangan 2 %	Benda Uji 1	Retak antara agregat dan aspal
	Benda Uji 2	Retak aspal
	Benda Uji 3	Retak antara agregat dan aspal
Regangan 4 %	Benda Uji 1	Retak agregat
	Benda Uji 2	Retak antara agregat dan aspal
	Benda Uji 3	Retak aspal
Regangan 6 %	Benda Uji 1	Retak aspal
	Benda Uji 2	Retak aspal
	Benda Uji 3	Retak agregat

(Sumber : Hasil Penelitian)

Lokasi retak pada pengujian ini, baik lapisan atas dan lapisan bawah mengalami lokasi retak yang sama. Sebagian besar retak terjadi antara aspal, setelah itu retak pada agregat dan aspal dan retak pada agregat.

Pada lapis bawah terjadi keretakan terlebih dahulu dikarenakan lapisan bawah tidak merekat dengan geogrid dan lapisan atas. Geogrid hanya bisa menahan lendutan dilapis atas dan lapisan bawah mengalami keretakan terlebih dahulu.

Untuk mendapatkan daya lekat yang baik pada lapis atas, geogrid dan lapis bawah diperlukan perekat dan pemasangan geogrid yang baik. Hal ini belum juga di dapatkan pada penelitian ini. Pada pengujian ini, lapisan atas dan lapisan bawah setelah pengujian tidak dapat menyatu kembali dengan geogrid, disebabkan karena perekat diantara lapisan ini tidak dapat bekerja dengan baik.

Retakan pada agregat disebabkan karena agregatnya kurang baik sehingga menyebabkan keretakan pada agregat. Retak antara aspal dan agregat dikarenakan campuran pada aspal dan agregat tidak bisa tercampur dengan baik, dan pada saat pemadatan masih terdapat rongga – rongga antara aspal dan agregat. Dan retak pada aspal terjadi karena aspal yang sudah menua, aspal getas dan komposisi aspal yang kurang bagus.

Penelitian ini menggunakan beban statis dengan displacement rate 1 mm/menit dan suhu benda uji 25°C-28°C.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh geogrid pra-tegang terhadap lapis perkerasan daur ulang AC/WC sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Hasil pengujian pada sampel dengan menggunakan alat *beam bending apparatus* menunjukkan bahwa besar beban yang mampu ditahan lapis perkerasan daur ulang dengan geogrid pada tegangan 0 % adalah 44 Kg, pada 2 % sebesar 61 Kg pada 4 % sebesar 76 Kg pada 6 % sebesar 82 Kg dan sebesar 118 Kg pada lapis perkerasan tanpa geogrid. Dan hasil pengujian pada sampel juga menunjukkan nilai lendutan yang terjadi, baik pada lapis perkerasan tanpa geogrid dan lapis perkerasan dengan geogrid. Pada lapis perkerasan tanpa geogrid adalah 2,4 mm, pada 0 % adalah 1,6 mm, pada 2 % adalah 1,7 mm, pada 4 % adalah 2,53 mm dan pada 6 % adalah 2,6 mm.
- Pada lapis perkerasan mekanime arah retak terjadi dari bawah, pola arah keruntuhan terjadi retak vertikal. Untuk panjang retakan per besar lendutan menunjukkan bahwa semakin besar tegangan pada geogrid semakin lama terjadinya keretakan, tetapi berbeda dengan lapis perkerasan tanpa geogrid yang lama terjadi keretakan tetapi lebih mudah patah.

Sebagian besar lokasi retakan terjadi pada aspal, antara agregat dan aspal, dan terjadi pada aspal.

Saran – saran

Berdasarkan hasil pembahasan pada lapis daur ulang AC/WC tanpa diperkuat geogrid dan diperkuat geogrid dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut :

- Perlu diadakan pengkajian ulang pada besar *tack coats* yang akan digunakan pada lapis perkerasan daur ulang.
- Perlu di teliti lebih lanjut dampak untuk pemasangan geogrid pra-tegang pada lapis perkerasan dengan pemasangan geogrid yang lebar geogridnya disamakan dengan lebar benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

<http://geotextile.web.id/geogrid-definisi-dan-fungsi.html>

., January 20, 2011.

Kementrian Pekerjaan Umum, 2010, Spesifikasi Umum 2010, Direktorat Jendral Bina Marga.

Nugroho, S , 2006, Pengamatan Lendutan dan Rambatan Retak pada Perkerasan Lentur Diperkuat Geosintetik Akibat Beban Siklik, Jurnal, vol.15 no.4 (Oktober.2006).

- Pamungkas, 2009, Kajian Uji Kuat Tekan Pada *Asphalt Concrete* Campuran Panas Dengan RAP, Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Read Maddison, 1996, *Fatigue Cracking Of bituminous Paving Mixtures*, Dissertation, Univesity of Nottingham.
- Setiyawan, 2014, Konstruksi Lapis Pakerasan AC/WC Daur Ulang Diperkuat Dengan Geogrid Pra-Tegang, Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Granit
- Sunarjono, S, 2006, *Evaluasi Engineering Bahan Perkerasan Jalan Menggunakan Rap Dan Foamed Bitumen*, Jurnal, UMS, Surakarta.
- Suroso, T.,W., 2008, Faktor – Faktor Penyebab Kerusakan Dini Pada Perkerasan Jalan,Jurnal Jalan-Jembatan vol.25 no.3 (Des.2008), Halaman 272-290.
- Suwantoro, 2006, Optimalisasi Penggunaan Material Hasil *Cold Milling* Untuk Daur Ulang Lapis Perkerasan Jalan Beton Aspal Type AC (*Asphalt Concrete*), Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.