

Pengaruh Penambahan Serbuk Enceng Gondok Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)

Taufik Achmad¹, Muspayani², Winarno Arifin³, St. Fauziah Badaron⁴, Salim⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

Jl. Urip Sumoharjo Km 05 Panaikang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231
Email: ¹taufikachmad031@gmail.com; ²muspayanibisman@gmail.com; ³winarno.arifin@umi.ac.id; ⁴sitifauziahbadrun@gmail.com; ⁵salim.salim@umi.ac.id

ABSTRAK

Jalan raya secara struktural dapat mengalami kerusakan akibat multi faktor diantaranya kelebihan beban lalu lintas, penggunaan tanpa perawatan berkala, kualitas buruk dari komposisi material tiap lapisan, serta pengaruh akumulatif dari genangan akibat curah hujan. Penulis bermaksud menganalisis karakteristik campuran HRS-WC jika menggunakan serbuk eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) sebagai bahan tambah agregat halus. Metode yang digunakan dalam mengelola data untuk dapat menghasilkan desain yang baik adalah Marshall Test untuk mengetahui kemungkinan terjadinya retakan pada lapis perkerasan. Setelah memenuhi spesifikasi dan diperoleh nilai KAO, dilakukan pembuatan benda uji dengan penambahan serbuk eceng gondok pada setiap benda uji dengan variasi kadar yaitu 0,3% 0,5% 0,7% 0,9% 1,1% yang diwakili tiga sampel pengujian pada setiap variasi kadar serbuk eceng gondok. Dari hasil penelitian campuran aspal beton dengan penggunaan bahan tambah serbuk eceng gondok diperoleh kadar aspal optimum yaitu 7,5%. Selain itu, keberadaan serbuk eceng gondok sebagai bahan tambah pada HRS-WC, menunjukkan bahwa penambahan kadar variasi serbuk eceng gondok dapat menurunkan mutu campuran HRS-WC.

Kata Kunci: Marshall Test , Serbuk Enceng Gondok, HRS-WC, agregat halus

ABSTRACT

*Roads are structurally damaged due to multi factors including overloaded traffic, use without regular maintenance, poor quality of the material composition of each layer, and the accumulative effect of inundation due to rainfall. The author intends to analyze the characteristics of the HRS-WC mixture when using water hyacinth (*Eichornia Crassipes*) powder as an additive for fine aggregate. The method used in managing data to produce a good design is the Marshall Test to determine the possibility of cracks in the pavement layer. After meeting the specifications and obtaining the KAO value, the test object was made by adding water hyacinth powder to each specimen with varying levels of 0.3% 0.5% 0.7% 0.9% 1.1% which was represented by three test samples. for each variation of water hyacinth powder levels. From the research results of concrete asphalt mixture with the use of water hyacinth powder added material, the optimum asphalt content was 7.5%. In addition, the presence of water hyacinth powder as an added ingredient in HRS-WC shows that the addition of water hyacinth powder variations can reduce the quality of the HRS-WC mixture.*

Keywords: Marshall Test, Hyacinth Powder, HRS-WC, fine aggregate

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang.

Kerusakan jalan raya secara struktural dapat dipicu oleh kelebihan beban lalu lintas, umur layan yang melampaui umur rencana, mutu komponen penyusun setiap lapisan perkerasan yang rendah, serta dampak cuaca yaitu dampak akumulatif dari genangan air hujan (Lasmaria,2011). Dengan penelitian ini akan dilakukan eksperimen pengaruh keberadaan serbuk eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) sebagai bahan tambah agregat halus terhadap karakteristik campuran HRS-WC.

Penggunaan serbuk eceng gondok diharapkan mampu meningkatkan mutu campuran beraspal, di mana fungsi serbuk eceng gondok yang memiliki kandungan silika cukup tinggi disinyalir mampu mejadi bahan pengikat yang baik dengan nilai adhesi yang memperkuat ikatan dengan material lain. Dari aspek nilai ekonomi, tanaman eceng gondok saat ini belum memiliki nilai jual tinggi disebabkan karena manfaat dari tumbuhan ini belum dikenal secara luas termasuk perannya sebagai material perkerasan.

Penggunaan serbuk eceng gondok sebagai bahan tambah dalam campuran HRS-WC diharapkan dapat memberikan nilai tambah terhadap kekuatan dan ketahanan lapis perkerasan serta mengurangi limbah eceng gondok. Atas dasar itu, perlu dilakukan penelitian mengenai Pengaruh penambahan serbuk eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) terhadap karakteristik campuran HRS-WC.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan beberapa uraian permasalahan yang telah diidentifikasi sebelumnya, maka dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapakah kadar aspal optimum yang digunakan pada pencampuran aspal beton dengan menggunakan

serbuk eceng gondok sebagai bahan tambah pada pengujian Marshall test?

2. Bagaimanakah pengaruh penggunaan serbuk eceng gondok terhadap karakteristik campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud pelaksanaan penelitian ini yaitu untuk menganalisis karakteristik dari campuran HRS – WC dengan serbuk eceng gondok sebagai bahan tambah.

Adapun tujuan penelitian adalah:

- a. Menganalisis kadar aspal optimum yang digunakan pada campuran aspal beton dengan serbuk eceng gondok sebagai bahan tambah pada pengujian Marshall test
- b. Menganalisis pengaruh peningkatan kadar serbuk eceng gondok sebagai aditif terhadap karakteristik Marshall campuran HRS – WC.

2. Metode Penelitian

2.1 Metode Penggabungan Agregat

Metode yang digunakan pada penggabungan agregat menggunakan metode *Trial* dan *Error*. Sedangkan metode penelitian adalah metode eksperimen *Indirect Tensile Strength*.

Dalam hal ini dilakukan dengan membuat beberapa sampel dengan variasi kadar aspal tertentu lalu dilakukan pengujian stabilitas dan *flow*. Stabilitas menyatakan kekuatan campuran dalam bereaksi terhadap pembebanan. Terdapat dua jenis stabilitas yaitu stabilitas kering dan basah. Perbedaan kedua jenis stabilitas ini yaitu dalam pengkondisian sampel saat diukur ketahanannya dalam menerima beban dimana untuk stabilitas kering, sampel dikondisikan kering udara sementara untuk stabilitas basah, sampel dikondisikan berada dalam kondisi jenuh.

2.2 Bahan Dan Alat Penelitian

Bahan Penelitian

Material aspal yang dipakai yaitu aspal Peramina penetrasi 60/70 yang didapatkan dari PT Bumi Karsa. Agregat yang digunakan yaitu agregat kasar dan halus dari PT Bumi Karsa, disatukan kemudian dilakukan pengambilan sampel di laboratorium dengan metode perempatan yang mewakili sampel lainnya. Bahan tambah eceng gondok diambil di rawa pinggir jalan Toddopuli.

Alat Penelitian

Menggunakan alat-alat pengujian properti dan campuran yang ada di Laboratorium Jalan Raya Dan Transportasi Fakultas Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia

2.3 Tahapan Penelitian

- a. Pengambilan bahan benda uji
Benda uji yang telah dikumpulkan dari berbagai sumber disimpan di tempat yang terlindungi di laboratorium sebelum diuji.
- b. Pengujian Bahan Benda Uji
Untuk memastikan bahwa setiap material penyusun campuran aspal beton memenuhi syarat, maka dilakukan pengujian properti untuk setiap jenis agregat dimana langkah pengujiannya telah diatur pada beberapa standar yang berkaitan.
- c. Pembuatan Benda Uji
Langkah ini dilakukan untuk menyiapkan sampel berupa briket aspal yang akan digunakan dalam pengujian Marshall dalam penentuan kadar aspal optimum maupun untuk penentuan pengaruh kadar eceng gondok dalam campuran,

2.4 Sampel Pengujian

Sampel dalam penelitian ini tersusun dari material perkerasan yang telah memenuhi syarat sebagai material perkerasan jalan. Berikut ini adalah daftar pengujian properti material yang telah dilakukan untuk setiap material:

1. Pengujian Aspal

- a. Penetrasi Aspal keras
 - b. Titik lembek
 - c. Titik nyala Titik bakar
 - d. Daktilitas
 - e. Berat Jenis
2. Pengujian Agregat:
 - a. Analisa Saringan
 - b. Berat Isi
 - c. Berat jenis dan penyerapan
 - d. Soundnees Test
 - e. Sand Equivalent
 - f. Kelekatan Agregat terhadap Aspal

2.5 Metode Analisis Data

Pengolahan data untuk menghasilkan *design* campuran yang baik dilakukan untuk selanjutnya dilakukan pengujian Marshall. Pengelolaan data didapat setelah pengujian. Dari tahap pengujian yang telah dilakukan pada sampel dengan serbuk eceng gondok dengan variasi masing-masing sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8 dianalisis untuk memperoleh pengaruh penambahan eceng gondok terhadap kinerja campuran yang dinyatakan pada setiap parameter marshall.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Karakteristik Campuran Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

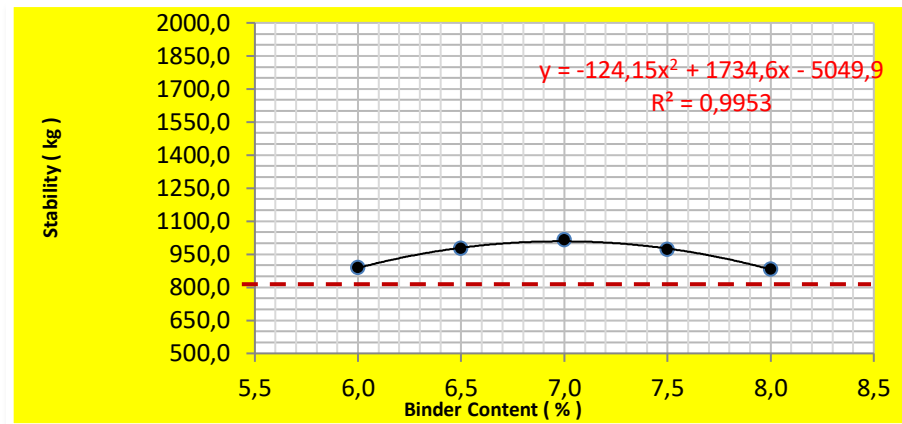
Sebelum kita melakukan analisis dari hasil pengujian *Marshall Test*, kita menghitung karakteristik campuran aspal yang terdiri dari Stabilitas, *Flow*, *Void in Mixture* (VIM), *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Density* dan *Marshall Quotient* dengan menggunakan Metode *Marshall Test* terlebih dahulu dari hasil pengujian Laboratorium lalu kemudian didapatkan hasil perhitungan karakteristik Marshall pada briket dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%.

Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Niai stabilitas campuran perlu diketahui sebaga langkah antisipasi agar ketika komposisi material yang sama digunakan pada lapisan perkerasan

jalan, tidak terjadi deformasi dalam berbagai bentuk kerusakan seperti

bergelombang, alur dan bleeding yang ditimbulkan dari beban kendaraan.



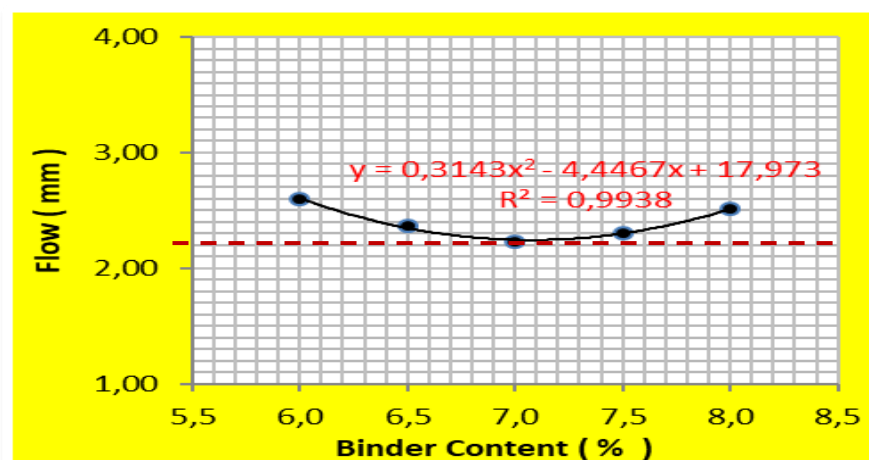
Gambar 1 Grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada kadar aspal 6 % diperoleh nilai stabilitas yaitu 888,60 kg sedangkan pada kadar aspal 6,5% terjadi peningkatan nilai stabilitas yaitu 976,35 kg dan pada kadar aspal 7% yaitu 1014,33 kg. Adapun untuk kadar 7,5% dan 6%, stabilitas menurun yaitu 971,28 kg dan 882,27 kg.

Hal ini menunjukkan bahwa hingga kadar tertentu nilai stabilitas akan terus meningkat, tetapi seiring dengan penambahan kadar serbuk eceng gondok hingga melebihi nilai optimum maka stabilitasnya akan menurun sehingga campuran akan mengalami kegemukan (*bleeding*) karena tebal selimut aspal bertambah dan mengurangi sifat saling kunci (*interlocking*) antar agregat.

Hubungan Kadar Aspal dan Flow

Flow merupakan parameter yang mensimulasikan besarnya deformasi atau penurunan pada lapisan perkerasan ketika menahan beban hingga mencapai batas runtuh. Nilai ini dipengaruhi oleh beberapa hal kadar aspal, viskositas, gradasi agregat dan proses pemadatan. Berikut memberikan gambaran hubungan kadar aspal dengan flow sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3.

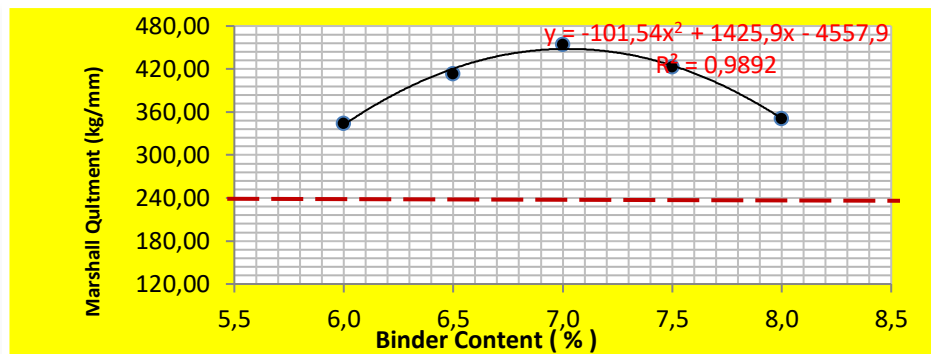


Gambar 2 Grafik hubungan kadar aspal dengan flow

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa nilai flow dari kadar aspal 6 % mengalami penurunan sampai kadar aspal 7 % . Hal ini disebabkan semakin bertambah kadar aspal maka aspal akan mengisi rongga yang kosong sehingga membuat campuran antara agregat dan aspal saling mengikat dengan baik dan nilai keruntuhan yang terjadi akan rendah. Akan tetapi penambahan kadar aspal berlebih dapat membuat campuran akan mengalami kegemukan atau *bledding* yang mengakibatkan campuran lebih rentang terhadap perubahan bentuk. Hubungan antara nilai *flow* dengan nilai stabilitas berbanding terbalik, Semakin tinggi nilai stabilitas maka semakin rendah nilai *flow* .

Hubungan Kadar Aspal dan terhadap Marshall Quotient (MQ)

MQ merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai MQ ini akan memberikan nilai kekakuan dan fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Besarnya nilai MQ tergantung pada stabilitas dan kelelahan suatu campuran. Grafik hubungan antara kadar aspal dan MQ dapat dilihat pada Gambar 3.

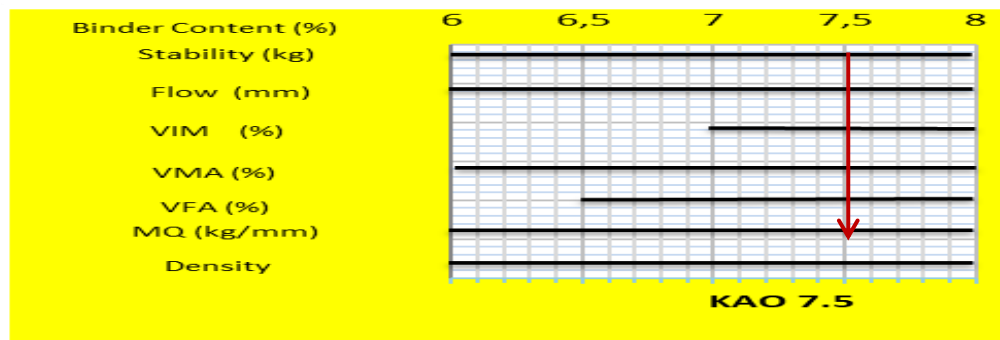


Gambar 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Marshall Quotient

Berdasarkan grafik dimana terlihat nilai MQ naik pada kadar aspal 6% sampai 7 % setelah itu kembali turun. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang telah melampaui nilai maksimum stabilitas. Di samping itu kelelehannya akan semakin tinggi

dengan meningkatnya aspal. Nilai stabilitas dan kelelahan mempengaruhi marshall quotient, makin tinggi nilai stabilitas maka makin rendah nilai kelelahan yang di dapatkan.

Hubungan Kadar Aspal dan terhadap Karakteristik Campuran Aspal



Gambar 4 Grafik Penentuan Nilai KAO

Dari hasil analisis grafik Barchat hubungan kadar aspal dengan karakteristik campuran di gunakan nilai tengah pada grafik yang memenuhi karakteristik Marshal Test, sehingga diperoleh KAO sebesar 6%.

$$KAO = \frac{7\% + 8}{2} = 7,5\%$$

Kadar Aspal Optimum pada campuran HRS - WC mempengaruhi beberapa parameter yang menunjukkan karakteristik campuran beraspal diantaranya *Density*, *Void In Mix* (VIM), *Void In Material Agregates* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Stability*, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Penurunan nilai VIM terjadi secara gradual seiring dengan penambahan kadar aspal. Nilai VFA bertambah secara gradual seiring dengan pertambahan kadar aspal. Untuk nilai stabilitas peningkatan kadar aspal

berbandung lurus hingga ke batas tertentu lalu turun. Sama halnya dengan nilai VIM, nilai *flow* juga meningkat secara konsisten seiring penambahan kadar aspal. Untuk *Marshall Quotient* nilainya terus bertambah seiring dengan penambahan kadar aspal kemudian menurun pada batas kadar tertentu.

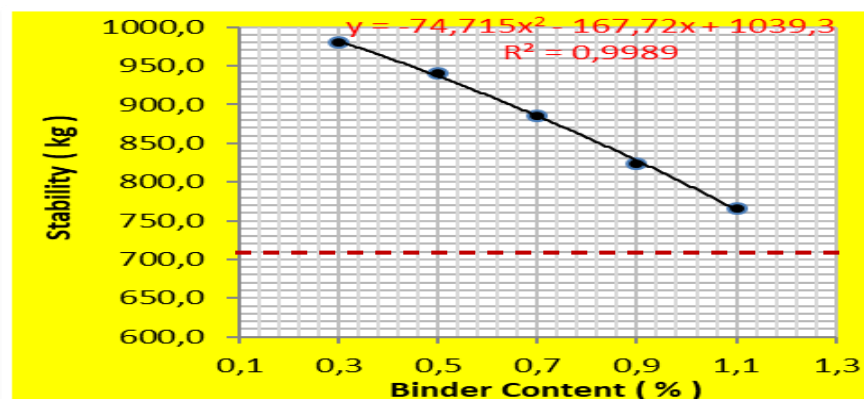
3.2 Pengaruh Penggunaan Serbuk Eceng Gondok Terhadap Stabilitas

Perkerasan dengan nilai stabilitas tinggi memiliki kemampuan untuk mempertahankan bentuknya agar tidak terjadi deformasi ketika menerima beban lalu lintas yang besar. Faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas adalah kohesi aspal, kadar aspal, ketahanan gesekan antar agregat, tekstur permukaan agregat, bentuk agregat, kepadatan campuran, kemampuan saling mengunci antar agregat (*interlocking*), dan gradasi agregat.

Tabel 1 Rekapitulasi nilai stabilitas

Kadar serbuk eceng gondok	Stabilitas
0,3	980,47
0,5	940,32
0,7	885,30
0,9	824,23
1,1	766,19

Data di atas selanjutnya dapat di plot ke dalam grafik sebagai berikut



Gambar 5 Grafik hubungan eceng gondok dengan stabilitas

Dari hasil analisis grafik menunjukkan bahwa campuran eceng gondok dengan variasi 0,3, 0,5, 0,7, dan 0,9, menyatakan mampu menahan beban serta memenuhi spesifikasi. Sedangkan variasi 1,1 tidak memenuhi persyaratan nilai stabilitas minimum 800 kg. Jika hanya sedikit penambahan eceng gondok dalam pencampuran, maka stabilitasnya juga tinggi. Sebaliknya, jika terlalu banyak penambahan eceng

gondok maka stabilitasnya akan menurun.

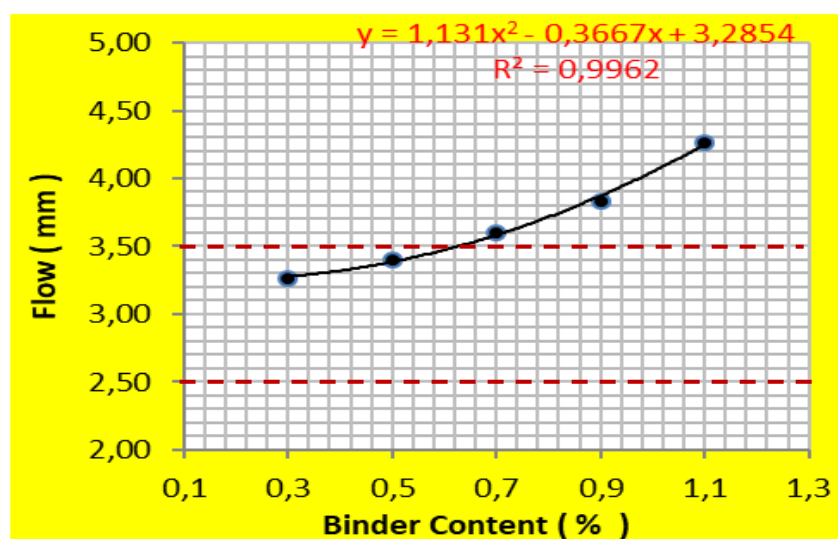
Pengaruh Penggunaan Serbuk Eceng Gondok Terhadap Flow

Suatu campuran dengan *flow* tinggi cenderung lembek, sehingga lebih peka terhadap perubahan bentuk akibat besarnya beban yang diterima. Sebaliknya, nilai *flow* terlalu rendah menyebabkan campuran menjadi kaku dan mudah retak jika ditimpa beban yang melebihi daya dukungnya.

Tabel 2 Rekapitulasi nilai flow

Kadar serbuk eceng gondok	Flow (kelelahan)
0,3	3,27
0,5	3,40
0,7	3,60
0,9	3,83
1,1	4,27

Data di atas selanjutnya dapat di plot ke dalam grafik sebagai berikut



Gambar 6 Grafik hubungan eceng gondok dengan *flow*

Hasil analisis grafik Ditinjau bahwa variasi kadar 1,1 tidak memenuhi spesifikasi. Dari persentase variasi kadar serbuk eceng gondok menunjukkan nilai flow meningkat seiring bertambahnya variasi serbuk eceng gondok, besarnya nilai *flow* pada campuran dapat menggambarkan bahwa campuran

tersebut lebih rentan terhadap deformasi. Semakin kecil nilai flow maka campuran tersebut lebih tahan terhadap kelelahan yang akan terjadi pada campuran.

Pengaruh penambahan serbuk Eceng Gondok Terhadap Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekauan suatu campuran aspal dalam menerima beban. Nilai MQ diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi terhadap dilai kelelahan (*flow*) dan dinyatakan dalam satuan Kg/mm.

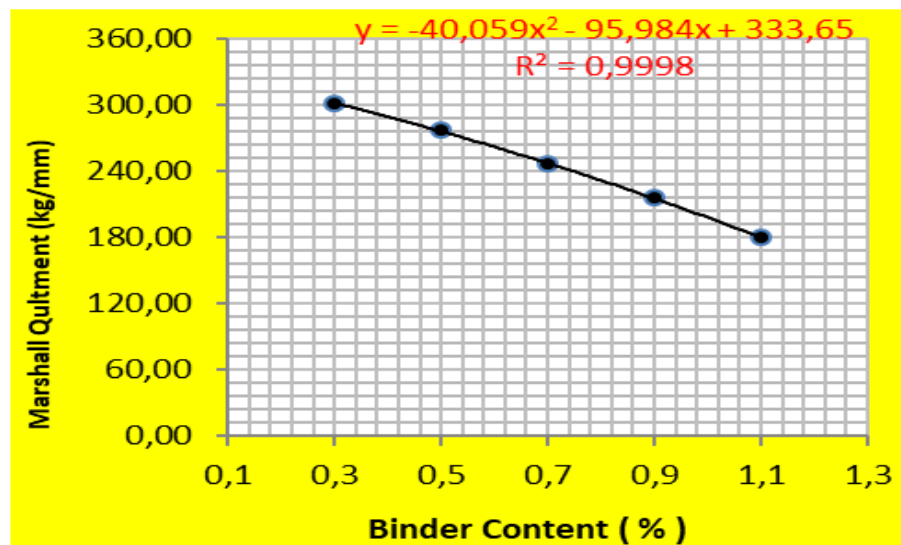
Nilai MQ menunjukkan fleksibilitas campuran yaitu semakin

besar nilai MQ pada suatu campuran maka akan semakin kaku (bila terlalu kaku cenderung mudah retak) campuran tersebut, demikian juga bila semakin kecil nilai MQ maka tingkat kelenturan semakin besar (terlalu lentur cenderung kurang stabil). Besarnya nilai MQ menunjukkan bahwa seberapa besar nilai kekuatan suatu campuran dalam menerima beban yang di atasnya sampai terjadinya deformasi.

Tabel 3 Rekapitulasi nilai marshall quotient

Kadar Serbuk eceng gondok	MQ (Marshall Quotient)
0,3	300,886
0,5	276,690
0,7	245,881
0,9	215,042
1,1	179,600

Data di atas selanjutnya dapat di plot ke dalam grafik sebagai berikut



Gambar 7 Grafik Eceng Gondok Terhadap Marshall Quotient (MQ)

Dari hasil analisis grafik untuk kadar eceng gondok 0,3% sampai 1,1% nilai MQ mengalami penurunan. Pada variasi 0,3 dan 0,5 masih masuk pada spesifikasi, tapi pada kadar variasi 0,7, 0,9 dan 1, tidak masuk dalam spesifikasi. Hal tersebut disebabkan karena penambahan serbuk eceng gondok yang terlalu banyak dapat menyebabkan

kelenturan yang berlebihan dan cenderung tidak stabil.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Hasil penelitian terhadap campuran aspal beton dengan penggunaan bahan tambah serbuk eceng gondok membawa

peneliti pada kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari kadar aspal rencana didapatkan kadar aspal optimum yaitu 7,5%
2. Berdasarkan hasil analisis pengaruh penggunaan serbuk eceng gondok sebagai bahan aditif pada campuran HRS-WC, pada uji marshall yang meliputi nilai flow, Void Filled with Asphalt (VFA), Stabilitas, Marshall Quotient, Void in Mixture (VIM), Voids in Mineral Aggregates (VMA), dan Density, menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar serbuk eceng gondok dapat menurunkan mutu campuran HRS-WC (tidak memenuhi spesifikasi) pada karakteristik tertentu, seperti Stabilitas pada kadar serbuk eceng gondok 1.1%, Marshall Quotient pada kadar serbuk eceng gondok 0.7%, 0.9% dan 1.1%, dan Void in Mixture (VIM) pada kadar serbuk eceng gondok 0.7%, 0.9% dan 1.1%.

4.2 Saran

Dari seluruh proses dan hasil penelitian yang diperoleh, peneliti mengusulkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk para peneliti diharapkan membersihkan dan mengatur kembali alat-alat yang telah dipakai sedemikian rupa.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan adanya alat yang digunakan untuk menghaluskan *bahan tambah*
3. Diharapkan agar peneliti lainnya dapat melakukan penelitian lanjutan dengan penggunaan serbuk eceng gondok sebagai *bahan tambah* pada, Latasir, maupun jenis lapisan perkerasan lain serta kepadatan mutlak.
4. Disarankan untuk penelitian selanjutnya untuk meneliti dengan menggunakan jenis aspal yang lebih bervariasi untuk lebih mengetahui pengaruh bahan tambah serbuk eceng gondok dengan jenis aspal yang berbeda.

5. Penelitian lanjutan juga dapat dilakukan erhadap karakteristik campuran yang berbeda dengan menggunakan serbuk eceng gondok sebagai *bahan tambah*

Daftar Pustaka

- Lasmini dkk. 2009. *Pengaruh kadar batu bara sebagai filler terhadap karakteristik dan indeks kekuatan sisa (IKS) pada campuran Hot Rolled Sheet (HRS-WC)*
- Pepi Nega Akmus. 2013. *Pengaruh penambahan plastik high density polyetelene (HDPE) dalam campuran Hot Rolled Sheet (HRS – WC) terhadap parameter Marshall , Kuat tekan dan kuat tarik belah.*
- Bina Marga. 2010. *Campuran Beraspal panas*
- Nikmatul Azizah, Boedi Rihardjo. 2017. *Kinerja campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) dengan filler abu ampas tebu*
- Asep Suryadi, dkk 2014. “Analisis pengaruh komposisi serat limbah eceng gondok terhadap kekuatan tekan dan lentur beton”
- Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya 2008 “Petunjuk pelaksanaan praktikum bahan perkerasan jalan raya . Jurusan Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar .*
- March Setiawan, Rossian. 2013. “Komparasi penggunaan filler kaca pada campuran HRS dan SMA terhadap karakteristik Marshall dan Workabilitas.
- RCA Winata, 2017 “ *Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes*
- Anam, dkk. 2015. “*Pemanfaatan Serbuk Eceng Gondok Sebagai Campuran Beton Mutu Tinggi*”. *Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang*
- Bina Marga , 1987 “*lapisan aspal beton* “

Pengaruh Penambahan Serbuk Enceng Gondok Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet–Wearing Course (HRS-WC)

- Dham, 2010. "Eceng gondok, gulma perairan yang menyerap logam berat"*
- Gustina, Dessy, "Pencemaran logam berat Timbal (Pb) di udara dan upaya penghapusan bensin bertimbal"*
- Kreb, RD & Walker, RD, 1971 "Definisi Aspal"*
- Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya 2008 "Petunjuk pelaksanaan praktikum bahan perkerasan jalan raya . Jurusan Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar .*
- March Setiawan, Rossian. 2013. "Komparasi penggunaan filler kaca pada campuran HRS dan SMA terhadap karakteristik Marshall dan Workabilitas"*
- Putri Aulia Irwan, Dea Resky Nawir, 2017. "Pengaruh model perlakuan serat ijuk dengan perendaman air laut terhadap karakteristik campuran betona spal"*
- Silvia sukirman , 1999. " Perkerasan lentur jalan raya "*
- Silvia sukirman , 2003. " Penyusun utama campuran "*