

Analisis Durabilitas Campuran Beton Aspal Dengan Menggunakan Eceng Gondok Sebagai Filler

**Andi Anugrah Dwi Chandra Putra¹, Andi Nur Islamia², Winarno Arifin³,
Mukhtar Thahir Syarkawi⁴, Alimin Gecong⁵**

^{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: ¹andianugrahdc@gmail.com; ²andinislamia28@gmail.com; ³winarno.arifin@umi.ac.id;
⁴mukhtartahir.sarkawi@umi.ac.id; ⁵alimin.gecong@umi.ac.id

ABSTRAK

Berdasarkan penelitian terdahulu, para peneliti menemukan unsur- unsur silika pada tumbuhan eceng gondok dalam kondisi kering, sehingga tumbuhan yang telah di keringkan dan di haluskan tersebut bisa di fungsikan sebagai bahan pengikat aspal beton dan bahan pengisi rongga campuran . Maksud dari penelitian kami adalah untuk mengetahui pengaruh dari penambahan bahan serbuk eceng gondok terhadap nilai durabilitas campuran aspal beton serta untuk mengetahui bagaimana tingkat durabilitas campuran aspal beton akibat variasi perendaman dengan menggunakan eceng gondok sebagai filler, kadar aspal rencana yang digunakan yaitu 4,5%,5%,5,5%,6%,6,5%. Awal mula pengujian sample menggunakan alat MarshalTest untuk mengetahui KAO atau kadar aspal optimum. Setelah didapatkan KAO maka ditentukan perencanaan campuran untuk bahan tambah pembuatan benda uji. Adapun variasi bahan tambah yang digunakan ialah 0,3%,0,5%,0,7%,0,9%,1,1%. Pada persentase Variasi waktu perendaman 2 sampai 8 Hari yang digunakan sangat memengaruhi Durabilitas aspal beton dikarenakan seiring bertambahnya durasi waktu perendaman, ketahanan suatu aspal beton akan semakin menurun. Hal tersebut di sebabkan air dapat mengurangi Durabilitas aspal beton. Dari hasil penelitian Pengaruh serbuk eceng gondok dapat dilihat pada IDP pada hari kedelapan ada pengaruh eceng gondok terhadap peningkatan sifat adhesi sehingga nilai indeks kehilangan kekuatan bisa diminimalisir, sehingga indeks kehilangan kekuatannya lebih kecil dari hari keenam.

Kata Kunci: Durabilitas, serbuk eceng gondok, filler, beton aspal

ABSTRACT

The water hyacinth plant has potential to used in road construction. One solution to the use of water hyacinth plants is to process it into powder so that it can be used as a filler because of its very fine particle size, and from the research literature that has been done previously, dried water hyacinth contains silica so that it can function as cavity filling and asphalt binder. concrete. The purpose of this study was to determine the effect of adding water hyacinth to the resistance of the concrete asphalt mixture and to find out how the durability of the concrete asphalt mixture due to the variation of water hyacinth as an aspl filler as planned was 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%. The initial test used the Marshal test equipment to obtain optimal asphalt (KAO) levels. After KAO is obtained, a plan for mixing the materials added is added to the manufacture of the test object, while the variation of the additives used is 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9%, 1.1%. The immersion time percentage of 2 to 8 days that is used greatly affects the durability of the asphalt concrete because the longer the soaking time, the less resistance of the asphalt concrete will be. This is because water can reduce the durability of the asphalt concrete. From the results of the research the effect of water hyacinth powder can be seen on the eighth day IDP there is an effect of water hyacinth on the increase in adhesion properties so that the index value of strength loss can be minimized, so that the index loses strength. his strength was less than the sixth day.

Keywords: Durability, hyacinth powder, filler, asphalt concrete

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah Negara yang beriklim tropis yang memiliki nilai intensitas hujan yang tinggi dalam jangka waktu yang lama sehingga rentan terjadinya banjir yang dapat menyebabkan kasus genangan air (Aquaplaning) pada permukaan jalan. Kondisi jalan yang selalu tergenang dapat mengakibatkan retakan pada struktur perkerasan jalan sehingga menurunkan sifat durabilitas (ketahanan) pada struktur perkerasan jalan dan juga parameter kinerja campuran perkerasan lentur. Untuk itu dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan khususnya pada lapis permukaan sangat ditentukan oleh material penyusunnya dan disesuaikan dengan keadaan lingkungan serta kondisi lainnya. Selain aspal, abu batu atau agregat halus, kerikil atau agregat kasar, dan bahan tambah (*filler*) yang memiliki peranan penting untuk membentuk sebuah perkerasan struktur jalan.

Dalam struktur perkerasan jalan raya, eceng gondok memiliki potensi besar untuk dipakai sebagai salah satu komponen bahan campuran. Karena ukurannya yang kecil setelah di olah, eceng gondok yang menyerupai bubuk kami menemukan solusi untuk memanfaatkan tumbuhan ini adalah dengan cara menjadikannya sebagai bahan pengisi atau filler, dan menurut pedoman penelitian sebelumnya eceng gondok dapat di fungsikan sebagai bahan pengisi rongga campuran dan bahan pengikat campuran karena eceng gondok dalam keadaan kering mengandung unsur-unsur silika (Lail, 2008).

Rumusan masalah yang akan di teliti Menurut latar belakang tersebut yaitu:

- 1) Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk tanaman eceng gondok

terhadap durabilitas campuran aspal beton?

- 2) Bagaimanakah tingkat durabilitas campuran Aspal Beton akibat variasi perendaman menggunakan Eceng Gondok sebagai Filler terhadap nilai IKS, IDP, dan IDK?

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan yang akan di capai pada penelitian ini Dengan melihat permasalahan yang ada sebagai berikut:

- 1) Menganalisis dan mengetahui pengaruh penambahan serbuk eceng gondok terhadap durabilitas campuran aspal beton
- 2) Mengetahui tingkat durabilitas campuran Aspal Beton akibat variasi perendaman menggunakan Eceng Gondok sebagai Filler terhadap nilai IKS, IDP, dan IDK.

2. Metode Penelitian

2.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini akan di laksanakan di Laboratorium Jalan Raya dan Transportasi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, dengan menggunakan metode berbasis laboratorium.

2.2 Bahan Penelitian

- a) Aspal

Aspal minyak penetrasi 60/70 adalah aspal yang kami gunakan dalam penelitian ini

- b) Agregat

Agregat yang kami gunakan adalah agregat yang diambil dari proses pemecahan batu alam dari daerah bili-bili Kab.Gowa dengan Agregat yang kami gunakan adalah Agregat Kasar tertahan pada saringan No.4, dan Agregat Halus tertahan pada saringan No.200, dan lolos saringan No.4 dan, dan filler tertahan pada PAN dan lolos saringan 200

- c) Bahan Tambah

Eceng Gondok yang diperoleh disungai Toddopuli lalu di olah menjadi serbuk:



Gambar 1. Serbuk eceng gondok

2.3 Alat Penelitian

Alat uji pemeriksa aspal, (penetrasi, Titik lembek, viskositas, Titik nyala dan Titik bakar, daktilitas, berat jenis), alat uji pemeriksaan agregat (analisis saringan, berat isi, berat jenis, *soundness test*, kelekatan agregat terhadap aspal) alat uji karakteristik campuran aspal (*marshall test*), dan alat pengujian durabilitas waterbath dan Marshal test.

2.4 Tahapan Penelitian

Persiapan Bahan

Kami melakukan pemeriksaan, pengujian dan persiapan bahan pada Laboratorium Jalan Raya dan Transportasi jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

Pengujian Bahan

1. Pengujian Aspal
 - a. Penetrasi aspal keras
 - b. Titik lembek
 - c. Titik nyala titik bakar
 - d. Daktilitas
 - e. Berat Jenis
2. Pengujian Agregat
 - a. Analisis saringan
 - b. Berat isi
 - c. Berat jenis dan penyerapan
 - d. Soundness Test
 - e. Kelekatan Agregat terhadap aspal

Rancangan Benda Uji.

Sample yang akan di rancang dibuat melalui pengelompokan material campuran yang akan dipilih ,

pengelompokan agregat pencampuran tersebut adalah yang lolos saringan No.4 (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2016). Nilai dapat di tentukan dengan menguji coba kadar aspal mulai dari 4,5% - 6,5 % dengan tingkat kenaikan persentasi 0,5%. Ada beberapa parameter yang di anjurkan untuk di penuhi yaitu Parameter Nilai Stabilitas , flow, Marshal Quotient, VIM, VFA, VMA, dan Density (Suhardi et al., 2016). Dalam penelitian kami untuk penentuan KAO kami akan membuat masing masing 3 buah briket pada setiap variasi persentasi kadar aspal. Setelah menemukan nilai KAO maka kami menentukan perencanaan campuran untuk penambahan bahan tambah pada setiap benda uji . Dengan melakukan pendekatan studi literatur , adapun variasi penambahan bahan tambah yang kami gunakan adalah 0,3%, 0,5%, 0,7 %, 0,9 % dan 1,1 %.

Pembuatan Benda Uji

Pada pengujian *durabilitas* berdasarkan *durasi perendaman* ada beberapa tahap yang dilakukan yaitu:

- 1) Untuk mendapatkan proporsi campuran yang lebih tepat pertama-tama kita menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan setelah itu kita menentukan persentase masing masing variasi campuran untuk mempermudah pencampuran dengan melakukan penimbangan secara

- kumulatif setiap bahan yang di gunakan.
- 2) Campuran agregat yang telah ditimbang, dituangkan kedalam wajan lalu dipanaskan sampai mencapai suhu $\pm 130^{\circ}\text{C}$. Kemudian dimasukkan serbuk eceng gondok, lalu aspal dipanaskan sampai mencapai suhu pencampuran, setelah agregat mencapai suhu yang telah dipanaskan kemudian dituangkan kedalam wajan yang berisi aspal yang telah ditimbang berdasarkan dengan persentase berat total agregat.
 - 3) Setelah agregat dicampurkan bersama aspal, campuran kemudian dilakukan pengadukan secara merata hingga campuran mencapai suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya campuran dimasukkan kedalam cetakan (PUPR, 2018).
 - 4) Campuran dipadatkan sebanyak 75 tumbukan. Selanjutnya benda uji di dinginkan pada suhu ruang, selanjutnya dikeluarkan dari cetakan dan di timbang kering lalu di rendam kedalam air selama 1 kali 24 jam.
 - 5) Kemudian sample di keluarkan dari air rendaman dan di lakukan penimbangan berat kering permukaan dan penimbangan dalam air.

- 6) Benda Uji di rendam kedalam waterbath dengan suhu 60°C dengan durasi perendaman 2,4,6,dan 8 hari .

Pengujian Benda Uji

Setelah melakukan pengujian bahan dengan dilakukan perlakuan terhadap benda uji , maka dilakukan pengujian marshal test untuk mengetahui nilai stabilitas dan flow .

Pengolahan Data dan Analisis

Untuk mendapatkan nilai IKS , IPD dan IDK perlu dilakukan pengolahan data dan juga analisis data sehingga dapat menghasilkan kesimpulan dan hasil data yang lebih akurat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Pengujian Marshall

Hasil Pengujian Marshall Test Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).

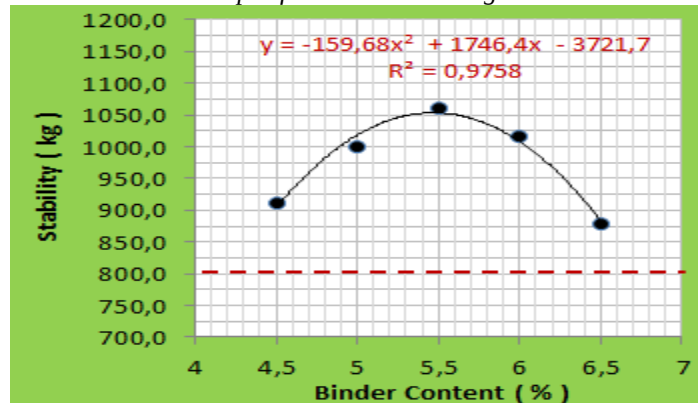
Kami menggunakan lima persentase variasi kadar aspal yaitu mulai dari persentase aspal 4,5 %, sampai 6,5 %. dengan perbedaan 0,5 %. Variasi kadar aspal tersebut kami dapatkan dengan terlebih dahulu menghitung karakteristik campuran menggunakan metode marshall test. Setelah itu di lakukanlah analisis dari hasil pengujian Marshal Test.

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi pengujian *marshall* campuran AC- WC pen 60/70 pada kadar aspal optimum (KAO)

Sifat-sifat campuran	Hasil Pengujian					Spesifikasi
Kadar Aspal; %	4.5	5	5.5	6	6.5	
Stabilitas; kg	911,46	999,73	1061,06	1016,06	878,08	800-1800 kg
Flow; mm	2,80	2,50	2,39	2,72	3,35	Min 2 mm
VIM; %	7,535	5,592	4,157	3,188	2,721	≥ 3%
VFA; %	54,872	64,991	73,516	80,025	83,495	≥ 63%
VMA; %	16,682	15,949	15,688	15,850	16,450	≥ 15%
Density	2.206	2.237	2.256	2.263	2.259	≥2.2 kg/mm³
Marshall Quotient; kg/mm	270,27	353,00	443,32	374,02	300,80	Min 180

Hubungan kadar aspal terhadap stabilitas

Spesifikasi 800 – 1800 kg

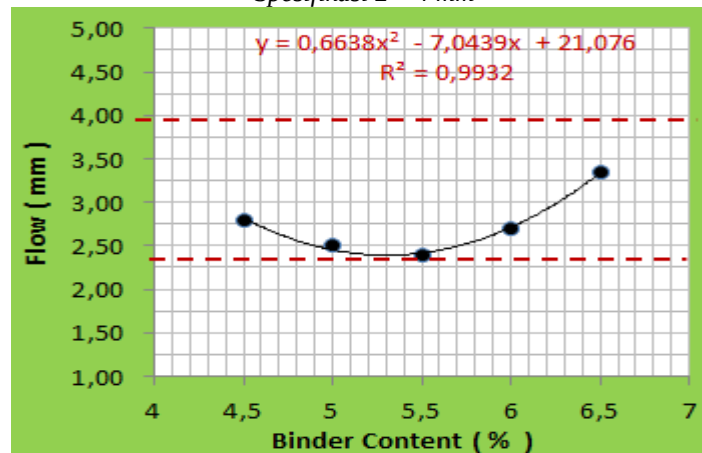


Gambar 1. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas

Hasil analisis yang terdapat pada gambar satu pada nilai persentase aspal 4,5% lebih rendah dibanding kadar 5%, sedangkan pada persentase aspal 5,5% mengalami peningkatan dari kadar aspal sebelumnya. Hal ini disebabkan karena nilai stabilitas yang tinggi menyebabkan aspal tidak mudah mengalami keruntuhan. Pada saat penambahan persentase aspal 6 % sampai 6,5% nilai

Hubungan Kadar Aspal terhadap Flow

Spesifikasi 2 – 4 mm



Gambar 2. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan flow

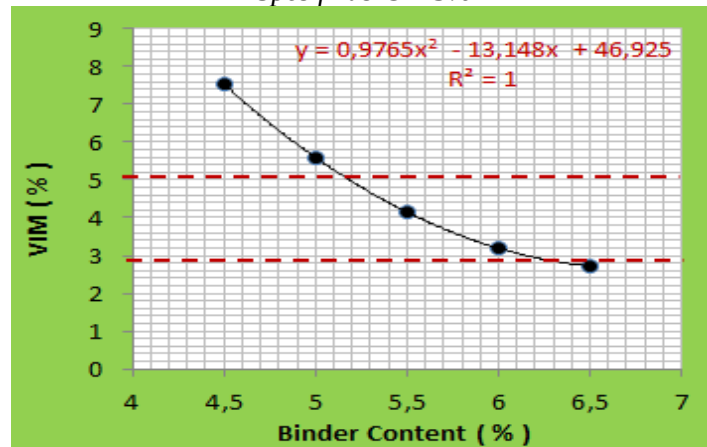
Hasil analisis grafik gambar dua dapat dilihat Nilai flow dari persentase campuran 4,5%, menurun dengan bertambahnya kadar binder content dari kadar 5% sampai dengan 5,5% yang berarti bahwa menurunnya tingkat kelelahan (Flow) maka campuran tahan terhadap keruntuhan atau kelelahan. Akan tetapi pada saat penambahan kadar aspal lebih dari 6% sampai 6,5% nilai

stabilitas mulai menurun, ini disebabkan karena bertambahnya kadar aspal sehingga aspal tidak efektif lagi menerima beban sehingga mudah mengalami keruntuhan akibat banyaknya aspal yang terkandung dalam campuran. Semakin banyak penambahan kadar aspal, sifat saling kunci antar agregat menjadi semakin berkurang.

flow mengalami Hal ini menjelaskan bahwa kandungan aspal yang berlebihan dapat mengakibatkan mudahnya terjadi kelelahan atau keruntuhan pada campuran aspal dan besarnya nilai flow pada campuran dapat menggambarkan bahwa campuran tersebut akan berpotensi mengalami perubahan bentuk.

Hubungan Kadar Aspal terhadap Void In Mixture (VIM)

Spesifikasi 3 – 5%



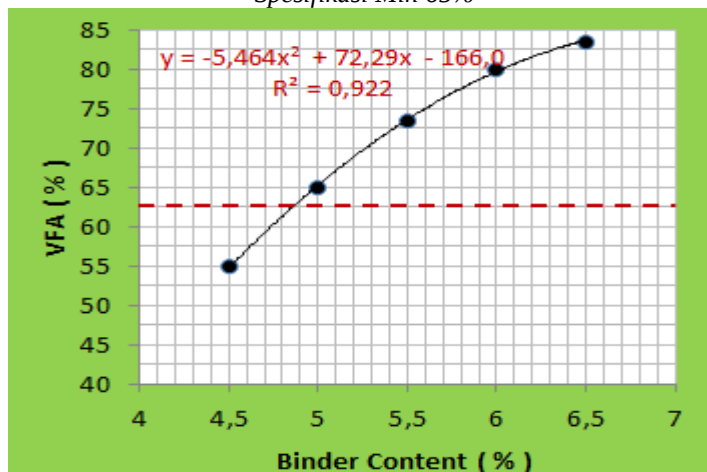
Gambar 3. Grafik hubungan antara kadar aspal dan VIM

Hasil analisis grafik gambar Tiga di atas dapat kita lihat bahwa nilai VIM pada persentase campuran 4,5% menurun secara konsisten sampai dengan campuran 6,5%. Akan tetapi, dapat

dilihat pada persentase campuran 4,5% hingga campuran 5% nilai VIM melebihi nilai VIM 5% , yang artinya tidak memenuhi spesifikasi.

Hubungan Kadar Aspal terhadap Void Fillet with Asphalt (VFA)

Spesifikasi Min 65%

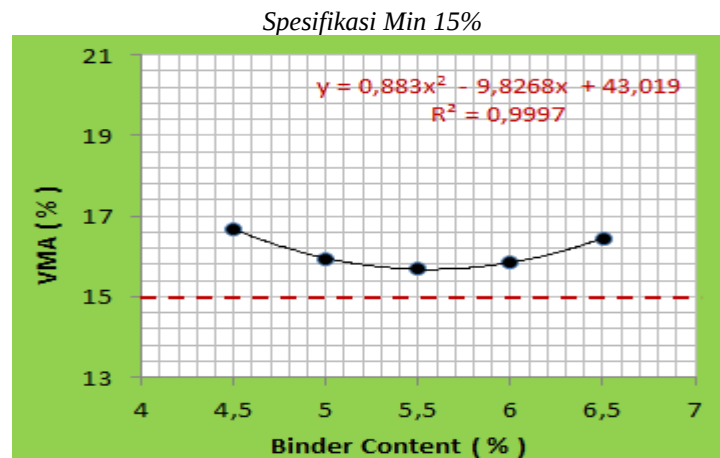


Gambar 4. Grafik hubungan antara kadar aspal dan VFA

Hasil analisis grafik pada gambar empat kita dapat melihat bahwa pada kadar aspal 4,5% sangat rendah dengan nilai VFA 55%, Nilai VFA naik secara konsisten pada penambahan kadar aspal 5% sampai 6,5% . dalam grafik tersebut memperlihatkan Semakin banyak persentase penambahan aspal maka

semakin meningkat juga nilai VFA dalam campuran. Tetapi, persentase penambahan aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga terhadap nilai VFA, dan pada persentase kadar aspal 5% sampai dengan 6,5% memiliki nilai VFA di atas 65% yang artinya telah memenuhi spesifikasi.

Hubungan Kadar Aspal terhadap VMA

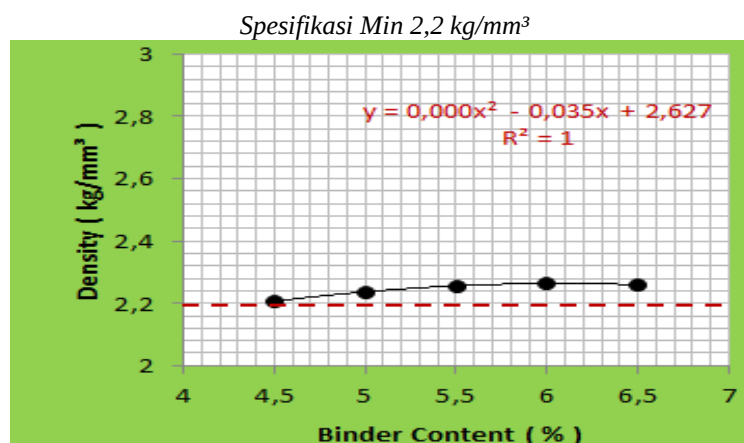


Gambar 5. Grafik hubungan antara kadar aspal dan VMA

Hasil analisis grafik gambar Lima dapat dilihat pada persentase campuran aspal 4.5% masih terdapat rongga pada agregat, saat penambahan kadar aspal 5%, sampai 6% volume rongga dalam agregat semakin berkurang dan menanjak lagi pada 6.5%, hal tersebut dikarenakan semakin meningkatnya kadar aspal dalam campuran semakin berkurang pula rongga dalam campuran. dari grafik tersebut bisa dilihat penambahan kadar aspal 4.5% sampai 5.5 % mengalami penurunan nilai VMA dan mulai meningkat

lagipada penambahan 6% dan 6.5%. Untuk semua persentase penambahan kadar aspal yang digunakan didapatkan hasil nilai VMA berada diatas spesifikasi yaitu minimal 15%. Hal tersebut membuktikan bahwa rongga yang terdapat pada campuran pada semua variasi penambahan kadar aspal sudah memenuhi besaran rongga yang seharusnya di miliki suatu campuran dan di tunjukkan oleh nilai VMA yang dihasilkan yang telah memenuhi spesifikasi.

Hubungan Kadar Aspal terhadap Berat Volume (*Density*)



Gambar 6. Grafik hubungan antara kadar aspal dan *density*

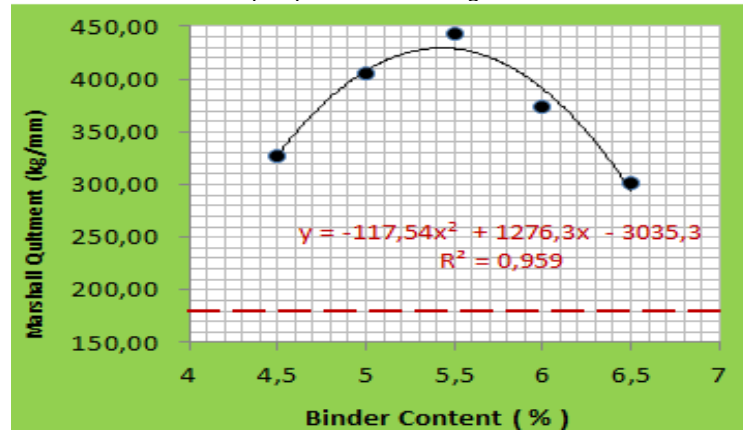
Hasil analisis grafik gambar enam di atas dapat dilihat bahwa nilai *density* naik dari variasi persentase penambahan kadar aspal 4,5% sampai dengan 5,5%,

kemudian sedikit menurun pada persentase penambahan kadar 6,5%. Jadi dari hasil analisis grafik yang diperoleh semua variasi penambahan kadar aspal

memenuhi spesifikasi yaitu nilai density diatas $2,2 \text{ kg/mm}^3$.

Hubungan Kadar Aspal terhadap Marshall Quotient.(MQ)

Spesifikasi Min 250 kg/mm

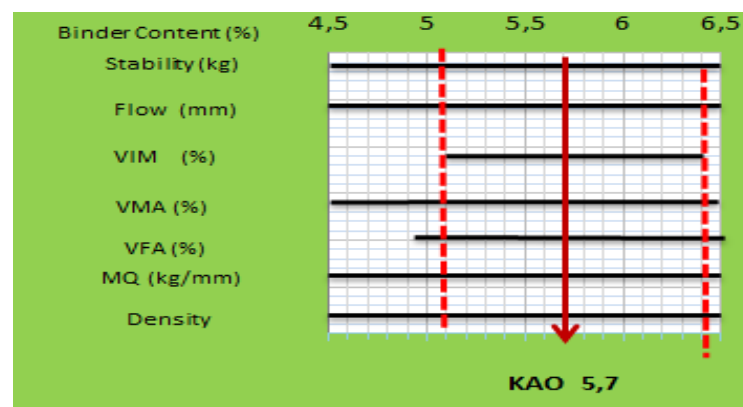


Gambar 7. Grafik hubungan antara kadar aspal terhadap MQ

Hasil analisis grafik pada gambar Tujuh menunjukkan bahwa pada variasi penambahan kadar aspal 4.5% sampai pada variasi penambahan kadar aspal 5.5% terjadi peningkatan nilai MQ kemudian pada variasi penambahan kadar 6,0 % sampai 6,5 % terjadi penurunan nilai Marshal Quotient dari sebelumnya. Dapat dilihat pada grafik tersebut Nilai MQ pada semua variasi penambahan kadar aspal memiliki nilai di atas 350 kg/mm yang artinya telah

memenuhi spesifikasi. Nilai MQ pada diagram menunjukkan adaptabilitas kombinasi, khususnya semakin penting harga MQ dalam paduan black-top, semakin kaku (mudah pecah) campurannya, apalagi jika semakin sederhana nilai MQ, semakin menonjol. adaptasi campuran (terlalu mudah beradaptasi pada umumnya akan kurang stabil).

Hubungan Kadar aspal dengan Karakteristik Campuran Aspal



Gambar 8. Grafik penentuan nilai KAO

Hasil Analisis grafik pada gambar delapan dapat dilihat untuk menentukan nilai KAO pada campuran kita dapat

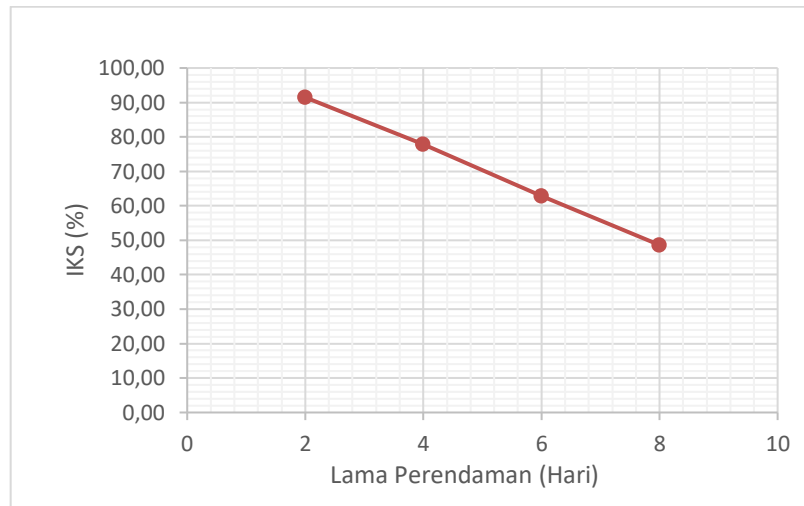
mengambil nilai pertengahan pada grafik gambar yang memenuhi spesifikasi dari ketujuh karakteristik

campuran, dan didapatkan hasil nilai KAO sebesar 5,7.

3.2. Pengaruh variasi durasi perendaman terhadap campuran aspal beton dengan menggunakan eceng gondok sebagai filler

Tabel 2. Hubungan antara Indeks Kekuatan sisadan lama perendaman

Suhu awal (So)	Stabilitas (kg)	Lama Perendaman (jam)							
		2		4		6		8	
		Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)	Stabilitas (kg)	IKS (%)
60°C	1052,05	1027,87	97,70	810,20	77,01	640,91	60,92	566,78	53,87
	1039,96	931,13	89,53	842,61	81,02	628,81	60,47	490,47	47,16
	1027,87	894,85	87,06	773,92	75,29	691,70	67,29	459,52	44,71
Rata-rata	1039,96	951,28	91,47	809,91	77,78	653,81	62,87	505,59	48,62



Gambar 9. Grafik hubungan indeks kekuatan sisa dengan lama perendaman

Berdasarkan hasil analisis grafik pada gambar sembilan dapat dilihat hubungan (IKS) dengan lama perendaman (hari). Dapat dilihat Bahwa nilai IKS atau indeks keekuatan sisa untuk variasi rendaman 2, 4, 6 dan 8 hari semakin menurun. Dari hasil analisis gambar diatas perendaman 2 dan 4 hari memiliki nilai IKS masing – masing sebesar 90% dan 80% yang artinya telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga (PUPR, 2018) dengan spesifikasi ialah $\geq 75\%$. Sedangkan perendaman pada hari ke 6 dan 8 tidak

memenuhi spesifikasi yang telah di tentukan. (PUPR, 2018).

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Dengan ini hasil Analisis Durabilitas Campuran Beton Aspal Dengan Menggunakan Serbuk Eceng Gondok Sebagai Filler dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Pada persentase Variasi waktu perendaman 2 , 4 , 6 , dan 8 Hari yang digunakan sangat memengaruhi Durabilitas aspal beton dikarenakan seiring bertambahnya durasi waktu

perendaman, ketahanan suatu aspal beton akan semakin menurun (Di Tunjukkan pada gambar 9) Hal tersebut di sebabkan air dapat mengurangi Durabilitas aspal beton.

- 2) Dari hasil penelitian tingkat nilai durabilitas , diperoleh tingkat kepadatan campuran aspal beton akibat variasi perendaman selama 2, 4, 6 dan 8 hari dengan menggunakan serbuk eceng gondok sebagai filler, didapatkan kualitas IKS, IDP dan IDK telah memenuhi spesifikasi.
- 3) Dari hasil penelitian Pengaruh serbuk eceng gondok dapat dilihat pada indeks durabilitas pertama (ditunjukkan pada tabel 4.22) pada hari kedelapan ada pengaruh eceng gondok terhadap peningkatan sifat adhesi sehingga nilai indeks kehilangan kekuatan bisa diminimalisir, sehingga indeks kehilangan kekuatannya lebih kecil dari hari keenam.

4.2 Saran

Adapun Beberapa saran dan masukan yang kami peroleh setelah melakukan penelitian ialah:

- 1) Agar mengetahui berapa besar tingkat durabilitas campuran aspal beton menggunakan eceng gondok , maka perlu dilakukan studi lebih lanjut dengan memvariasikan suhu pemadatan dan memodifikasi variasi rendaman.

- 2) Untuk mengetahui apakah penggunaan eceng gondok sebagai filler baik di gunakan pada jenis aspal berbeda atau tidak , kami menyarankan untuk percobaan berikutnya untuk mencoba pada jenis aspal berbeda.

Daftar Pustaka

- Bina Marga, 1987. *Lapisan Aspal Beton*
- Bina Marga, 2010. *Campuran Beraspal Panas*
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. (2016). *Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Hangat Bergradasi Menerus (Laston Hangat)* (p. 11). <https://binamarga.pu.go.id/v3/uploads/files/111/campuran-beraspal-hangat-bergradasi-menerus-laston-hangat.pdf>
- Lail. (2008). Eceng gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurnal Biopres Komoditas Tropis*, 1–2.
- PUPR. (2018). Spesifikasi Umum 2018. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, September*.
- Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jrsdd*, 4(2), 284–293.