

PERBANDINGAN PENGARUH AIR GAMBUT DAN AIR HUJAN TERHADAP ASPHALT CONCRETE – WEARING COURSE (AC-WC)

Harpian Surya¹⁾, Alfian Malik²⁾, Yosi Alwinda²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : harpian.surya@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The road pavement that was inundated by peat water would be easily damaged since asphalt is quickly oxidized by acid in peat water. This damage could also occurred due to inundated by rain. The road pavement submerged by rainwater will make aggregate and asphalt easily separated. This study aims to determine the impact of peat water and rain on the characteristic of AC-WC asphalt through Marshall tests using asphalt penetration 60/70. The tests were carried out using the Marshall tests based on the Indonesian Standard from Bina Marga 2018. The specimens were soaked for 24, 48, 72, and 96 hours in the temperature of 60°C. The tests results shows that immersion in the peat water and rain could decreased the stability of asphalt value as soaking time increased. Based on the results, it is shown that the asphalt has stability values of 1103.68 kg, 948.81 kg, 854.48 kg, and 780.55 kg, respectively, after soaked in peat water for 24, 48, 72, 96 hours. Also, it is shown that the asphalt has stability values of 1206.43 kg, 1185.68 kg, 978.94 kg, dan 889.85 kg, respectively, after soaked in rain water for 24, 48, 72, 96 hours. In peat water, the asphalt has RSI value of 95.83%, 82.38%, 74.19%, 67.77%, respectively, after soaked for 24, 48, 72, 96 hours and in rain water, the asphalt has RSI value of 97.18%, 95.51%, 78.85%, 71.68%, respectively, after soaked for 24, 48, 72, and 96 hours. It was obtained that asphalt soaked in rain water has a better RSI value than asphalt soaked in peat water and it is complied with the requirement of Bina Marga 2018 (90%).

Keywords: Rain, peat water, AC-WC

A. PENDAHULUAN

Berdasarkan penelitian Pamungkas & Irianto (2014), penyebaran lahan gambut yang terluas di Pulau Sumatera adalah di Provinsi Riau dengan luas 4,044 juta ha. Lahan gambut terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun yang belum. Sisa pelapukan tanaman tidak sempurna akibat kondisi jenuh air dan rendah unsur hara membentuk bahan organik dengan ketebalan sekitar 50 cm atau lebih. Air gambut mengandung zat organik, humus yang tinggi sehingga pHnya rendah yang mengakibatkan air gambut bersifat asam. Kandungan kualitas air di sekitar Kabupaten Kampar memiliki nilai pH berkisar 3-6,4 dimana dapat dikategorikan bersifat asam.

Air yang bersifat asam apabila masuk ke dalam struktur perkerasan menyebabkan

campuran aspal mudah teroksidasi sehingga aspal menjadi rapuh atau getas sehingga kemampuan lekatan aspal dalam mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi nya menjadi lemah (Prabowo, 2003).

Perkerasan jalan di Indonesia sering mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana. Berdasarkan data Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi Riau Tahun 2018 untuk jalan nasional, kondisi jalan yang mengalami rusak sedang sepanjang 885,062 km, rusak ringan sepanjang 184,432 km, dan rusak berat sepanjang 107,040 km. Salah satu faktor penyebab dari kerusakan jalan tersebut adalah terendam air akibat banjir pada saat musim hujan. Pada saat terjadinya banjir dalam jangka waktu tertentu, repetisi beban yang berulang-

ulang dan pengaruh air yang merembes diantara aspal merupakan penyebab terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan karena pengaruh air permukaan, cuaca, oksidasi dan kelembaban akibatnya campuran aspal beton akan mengalami proses pengerasan dan mengakibatkan aspal menjadi getas dan rapuh. Salah satu dari struktur perkerasan jalan yang langsung bersentuhan dengan cuaca, ban kendaraan dan lainnya adalah lapisan *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*.

AC-WC merupakan salah satu produk campuran aspal yang kini banyak digunakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Penggunaan AC-WC yaitu untuk lapis permukaan (paling atas) dalam perkerasan dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. AC-WC merupakan lapisan permukaan yang dalam perencanaannya harus kedap air. Lapisan ini harus berkondisi kedap air sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dan genangan air di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.

Penelitian sejenis pernah dilakukan oleh Fadil (2014) yang melakukan penelitian “Perbandingan Lama Rendaman Campuran Aspal AC-WC dengan Memakai Air Laut dan Air Tawar terhadap Karakteristik *Marshall*”. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kadar aspal optimum yaitu 6,1 % menunjukkan hasil untuk nilai stabilitas, *flow*, *MQ* lebih baik pada perendaman air tawar. Sedangkan untuk VIM dan VMA besarnya rongga yang terjadi lebih besar pada perendaman air laut di bandingkan air tawar, dengan kata lain bahwa keseluruhan pengujian volumetrik dan *Marshall* terhadap campuran aspal hasil yang dihasilkan berdasarkan hasil pengujian lebih baik pada perendaman air tawar di bandingkan air laut.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Muaya *et.al* (2015) yang melakukan penelitian tentang “Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau terhadap Karakteristik *Marshall*”. Hasil yang di dapatkan dari pengujian *Marshall* dapat disimpulkan bahwa air laut lebih merusak dibandingkan air tawar dengan perbandingan nilai stabilitas yang mencapai 6,59% untuk

durasi 24 jam dan 29,90% untuk durasi 48 jam. Pada nilai kelelahan plastisnya terjadi peningkatan dari 6,16 mm pada perendaman air tawar menjadi 7,24 mm pada perendaman air laut. Nilai *Marshall Quotient*nya mengalami penurunan 8,88% - 20,06% untuk durasi 24 jam dan 14,10% - 41,39% untuk durasi 48 jam.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam memenuhi kelancaran pergerakan lalu lintas. Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar yang menopang beban lalu lintas (Sukirman, 2003). Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi :

1. Konstruksi Perkerasan Lentur
2. Konstruksi Perkerasan Kaku
3. Konstruksi Perkerasan Komposit

B.2 Kerusakan Jalan

Secara teknis, kerusakan jalan menunjukkan suatu kondisi dimana struktural dan fungsional jalan sudah tidak mampu memberikan pelayanan optimal terhadap lalu lintas yang melintasi jalan tersebut.

Menurut Sukirman (2003) kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan dapat disebabkan oleh :

1. Lalu lintas, yang dapat berupa peningkatan beban dan repetisi beban,
2. Air, yang dapat berasal dari air hujan, sistem drainase yang tidak berjalan dengan baik, naiknya air akibat sifat kapilaritas,
3. Material konstruksi perkerasan, yang dapat disebabkan oleh sifat material itu sendiri atau bias disebabkan oleh sistem pengolahan bahan itu sendiri,
4. Iklim di Indonesia yang tropis cenderung mengakibatkan suhu udara dan curah hujan yang umumnya tinggi sehingga dapat menjadi salah satu penyebab kerusakan jalan yang ada di Indonesia ini,
5. Kondisi tanah yang tidak stabil, kemungkinan bisa disebabkan oleh sistem pelaksanaan yang kurang baik, atau dapat juga disebabkan oleh sifat tanah dasarnya itu sendiri,

6. Proses pemadatan lapisan di atas tanah dasar yang kurang baik.

Menurut Bina Marga 2018, kerusakan jalan diklasifikasikan atas : retak (*cracking*), distorsi, cacat permukaan (*disintegration*), pengausan (*polish aggregate*), kegemukan (*bleeding* atau *flushing*), penurunan bekas galian/penanaman utilitas. Juga kerusakan jenis *aligator crazing*, yang merupakan keretakan leleh, berupa rangkaian keretakan yang saling berhubungan, rangkaiannya memanjang dan paralel, serta membentuk potongan-potongan yang berpola mirip kulik aligator. Sedangkan kerusakan jalan berombak (*corrugation*) lebih disebabkan oleh aktifitas kegiatan lalu lintas yaitu pengereman dan percepatan di atas permukaan perkerasan lentur/lunak.

B.3 Lapis Aspal Beton (AC-WC)

Asphalt Concrete Wearin Course (AC-WC) adalah lapisan perkerasan yang berhubungan secara langsung dengan beban-beban yang ada di atasnya, merupakan lapisan yang harus kedap air, tahan terhadap pengaruh cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan dengan tebal nominal minimum 4 cm. Untuk ketentuan sifat-sifat campuran aspal beton dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan Sifat – Sifat Campuran

Laston		AC-WC
Sifat-Sifat Campuran		
Jumlah tumbukan perbidang		75
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6
	Maks	1,2
Rongga dalam campuran, <i>VIM</i> (%)	Min	3,0
	Maks	5,0
Rongga dalam agregat, <i>VMA</i> (%)	Min	15
Rongga terisi aspal, <i>VFA</i> (%)	Min	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800
	Min	2
Pelelehan, <i>flow</i> (mm)	Maks	4
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min	2

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

Untuk mendapatkan jenis campuran yang baik, Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 telah menentukan batasan ukuran butiran atau gradasi agregat yang dapat digunakan. Gradasi agregat untuk campuran Laston dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran Laston (AC)		
	WC	BC	AC-BASE
1 1/2"	37,50	-	100
1"	25,00	-	100
3/4"	19,00	100	90 – 100
1/2"	12,50	90 - 100	75 – 90
3/8"	9,50	77 - 90	66 – 82
No. 4	4,75	53 - 69	46 -64
No. 8	2,36	33 -53	30 - 49
No. 16	1,18	21 - 40	18 - 38
No. 30	0,60	14 - 30	12 - 28
No. 50	0,30	9 - 22	7 - 20
No. 100	0,15	6 - 15	5 -13
No. 200	0,075	4 - 9	4 - 8

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

B.4 Bahan Penyusun AC-WC

B.4.1 Aspal

Aspal atau bitumen didefinisikan sebagai material perekat yang memiliki sifat viskoelastis, dimana aspal akan melunak dan mencair apabila mendapatkan pemanasan sampai temperatur tertentu dan akan memiliki wujud yang padat atau agak padat apabila berada pada temperatur ruang. Sifat ini juga membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses pencampuran aspal beton dan masa layannya. Aspal memiliki persentase pada campuran berkisar antara 4%-10% dari berat campuran.

Spesifikasi Bina Marga 2018 menyatakan persyaratan aspal keras harus memenuhi ketentuan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
6	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI 06-2440-1991)			
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8
8	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	≥ 54

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
9	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

B.4.2 Agregat

Agregat memiliki persentase berat berkisar 75%-85% berdasarkan persentase volume dan 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat. Berdasarkan sifat agregat dan hasil pencampuran agregat dengan material lain, maka kualitas perkerasan jalan dapat ditentukan.

Ketentuan – ketentuan yang digunakan dalam penggunaan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 4. dan Tabel 5.

Tabel 4. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Spesifikasi	Spesifikasi	
		Min	Max
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	natrium sulfat		12
	magnesium sulfat		18
Campuran AC	100 putaran		6
Abrasi dengan mesin jenis Los Angeles (%)	500 putaran		30
	100 putaran		8
	500 putaran		40
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)		95	
Butir pecah pada agregat kasar (%)			95/90
Partikel pipih dan lonjong (%)			10
Material lolos saringan ayakan No. 200 (%)			2

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

Tabel 5. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Spesifikasi	
		Min	Max
Nilai setara pasir (%)	SNI 03-4428-1997		60
Angularitas dengan uji kadar rongga (%)	SNI 03-6877-2002		45
Gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat (%)	SNI 03-4141-1996		1

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

B.4.3 Bahan Pengisi (Filler)

Menurut SNI 03-6723-2002, bahan pengisi (*filler*) merupakan bahan yang lolos ukuran saringan Nomor 30 (0,60 mm) dan paling sedikit 75% lolos saringan nomor 200

(0,075 mm). Bahan pengisi harus cukup kering padat saat digunakan sehingga dapat mengisi rongga-rongga udara pada campuran yang mungkin dapat terbentuk karena proses pemadatan atau gradasi ukuran dari agregat yang kurang baik. Dalam penggunaannya, bahan pengisi (*filler*) harus dibatasi untuk menghindari campuran menjadi kaku dan mudah retak. Tetapi, apabila penggunaan bahan pengisi (*filler*) yang kurang akan mengakibatkan campuran menjadi lentur dan terdedormasi.

Ketentuan - ketentuan yang digunakan dalam penggunaan *Filler* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Persyaratan *Filler*

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
Lolos saringan No. 200 (0,075 mm)	SNI 03-1968-1990	Min 75%

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

B.5 Perendaman Air Hujan

Genangan air pada saat hujan merupakan salah satu penyebab dari kerusakan jalan dikarenakan air dapat melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal. Beban dari kendaraan akan menimbulkan keretakan atau kerusakan pada jalan. Genangan air yang terjadi secara terus-menerus dapat mengakibatkan air tanah yang terletak di bawah permukaan tanah menjadi jenuh. Menurut Nurhudayah (2009), genangan air menyebabkan dasar perkerasan jalan jenuh atau sebagian. Air yang meresap masuk ke dalam perkerasan jalan dapat mengakibatkan retakan pada struktur perkerasan jalan.

B.6 Perendaman Air Gambut

Air gambut memiliki sifat asam. Air gambut yang berada di badan jalan akan masuk ke lapisan tanah dasar melalui bahu jalan. Hal ini dapat mengakibatkan ikatan antar butir-butir agregat dan aspal lepas, sehingga dapat terjadi pelapukan. Pada penelitian ini digunakan air gambut yaitu air yang tidak diminum karena memiliki kandungan organik.

B.7 Durabilitas

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan

gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti air atau perubahan temperatur (Sukirman, 2003).

Tujuan pengujian durabilitas campuran ini adalah untuk mengetahui daya rekat aspal terhadap agregat dengan cara merendam beton aspal dalam air. Durabilitas campuran beton aspal dapat ditinjau dari besaran nilai stabilitas pada uji *marshall* setelah dilakukan rendaman.

B.7.1 Pengujian Durabilitas Standar

Prosedur pengujian durabilitas standar menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu dilakukan dengan perendaman benda uji pada temperatur tetap $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit dan 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen dan disebut Indeks Kekuatan Sisa dengan nilai minimal 90%. Dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$IKS = \frac{MSi}{MSs} \times 100 \quad (I)$$

dengan :

IKS : Indeks Kekuatan Sisa

MSi : *Marshall Stability*, setelah rendaman 24 jam suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$

MSs : *Marshall Stability* kondisi standar

C. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau. Dalam penelitian ini digunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai acuan untuk menentukan campuran Lapis aspal beton (AC-WC) dengan menggunakan metode pengujian *Marshall Test*. Sedangkan untuk standar pelaksanaan pengujiannya digunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkaitan dengan pengujian Laston.

C.1 Bahan dan Peralatan

C.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah:

1. Aspal PEN 60/70 merek Esso yang telah tersedia di Laboratorium Jalan Raya Universitas Riau.
2. Agregat kasar dan halus hasil produksi quari batu pecah daerah Pangkalan, Sumatera Barat.

3. Air gambut berasal dari daerah Rimbo Panjang KM 21, Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar.
4. Air hujan berasal dari Lingkungan Laboratorium Jalan Raya, Universitas Riau.

C.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah:

1. Alat uji pemeriksaan properties agregat.
2. Alat uji pemeriksaan properties aspal.
3. Cetakan benda uji dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm, lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
4. *Mixture Extruder*
5. Alat Uji *Marshall*
6. Mesin penumbuk dengan permukaan yang rata berbentuk silinder dengan berat 4,54 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
7. Oven dengan suhu mencapai 200°C
8. *Water batch* atau bak rendaman dengan penyesuaian suhu mulai $10-100^{\circ}\text{C}$
9. *Thermometer*
10. Timbangan dengan maksimum 4 kg
11. Perlengkapan lainnya

C.2 Pengujian Bahan Penyusun

Semua bahan yang akan digunakan diperiksa karakteristiknya agar sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

C.2.1 Pengujian Aspal

Pengujian aspal PEN 60/70 yang dilakukan antara lain:

Tabel 7. Jenis Pengujian Aspal

Jenis Pengujian	Standar
Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	SNI 2433:2011
Penetrasi Aspal	SNI 06-2456-1991
Titik Lembek Aspal	SNI 2434:2011
Kehilangan Berat Aspal	SNI 06-2441-1991
Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011
Viskositas Aspal	SNI 06-6441-2000

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

C.2.2 Pengujian Agregat

Pengujian yang akan dilakukan untuk melihat karakteristik agregat adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Jenis Pengujian Agregat

Jenis Pengujian	Standar
Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990
Material Lolos Ayakan Nomor 200	SNI 03-4142-1996 dan ASTM C117:2002

Jenis Pengujian	Standar
<i>Sand Equivalent</i>	SNI 03-4428-1997
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-1970-1990
Kearifan Agregat dengan Mesin Abrasi <i>Los Angeles</i>	SNI 2417 :2008
Kekekalan Bentuk Agregat terhadap Larutan Natrium Sulfat Atau Magnesium Sulfat	SNI 3407:2008
Kelekatan Agregat terhadap Aspal	SNI 2439:2011
Penentuan Persentase Butir Pecah pada Agregat Kasar	SNI 7619:2012
Pipih dan Lonjong	ASTM D4791
Angularitas dan Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002
Gumpalan Lempung dan Butir Mudah Pecah	SNI 03-4141-1996

Sumber: (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

C.2.3 Pengujian *Filler*

Pengujian yang akan dilakukan untuk melihat karakteristik *filler* berupa Semen *Portland* adalah pengujian berat jenis yang mengacu pada SNI 15-2531-1991.

C.2.4 Pengujian Air Rendaman

Pada penelitian ini, air rendaman berupa air gambut dan air hujan hanya dilakukan pengujian pH untuk masing-masing air tersebut. Sifat kimia lainnya tidak dilakukan pengujian. Pengujian pH ini mengacu pada SNI 06-6989 11-2004.

C.3 Rancangan Campuran AC-WC

Tabel 9. Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal Rencana (%)	Jumlah sampel kadar aspal (bh)
4,5	3
5	3
5,5	3
6	3
6,5	3
Total	15

Berdasarkan variasi kadar aspal dan jenis pengujian yang akan dilakukan untuk

mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO), maka jumlah benda uji yang dibutuhkan adalah sebanyak 15 buah yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Setelah didapatkan kadar aspal optimum untuk masing masing variasi campuran, pengujian dilanjutkan dengan uji rendaman *Marshall*. Pengujian ini membandingkan nilai stabilitas pada keadaan standar dengan nilai stabilitas pada kondisi rendaman 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam.

Dari data perbandingan tersebut bisa diambil nilai durabilitas terhadap waktu perendaman. Jumlah benda uji masing-masing adalah 3 benda uji. Berdasarkan variasi campuran dan jenis pengujian yang dilakukan maka jumlah benda uji yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Jumlah Benda Uji Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)

Variasi Rendaman (jam)	Jenis Air Perendaman		Jumlah Sampel (bh)
	Air Biasa	Air Gambut	
0,5	3	3	6
24	3	3	6
48	3	3	6
72	3	3	6
96	3	3	6
Total			30

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun AC-WC

Material bahan penyusun Laston diuji karakteristiknya terlebih dahulu. Pengujian bertujuan untuk menguji kelayakan material sebagai bahan penyusun Laston apakah telah memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018.

D.1.1 Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal sebagaimana pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pengujian Aspal PEN 60/70

Sifat-sifat Material Yang Diuji	Standar Uji	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi	
				Min	Maks
Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik		0,1 mm	63,60	60	70
Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik (Setelah TFOT)	SNI-06-2456-1991	%	94,18	54	
Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	SNI-06-2434-2011	°C	56,25	48	
Titik Nyala dgn Clevelen Open Cup	SNI-06-2433-2011	°C	282	232	

Sifat-sifat Material Yang Diuji	Standar Uji	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi	
				Min	Maks
Berat Jenis	SNI-06-2441-2011		1,014	1,0	
Kehilangan Berat (TFOT)	SNI-06-2440-1991	% berat	0,1173		0,8
Viskositas					
> Suhu Pemadatan Ideal (Viscositas = 280 cSt)	(1) AASHTO T 72-90	°C	147,00	135	155
Suhu Pemadatan Min (280 - 30 = 250)		°C	149,00		
Suhu Pemadatan Max (280 + 30 = 310)	Dan	°C	145,00		
> Suhu Pencampuran Ideal (Viscositas = 170 cSt)	(2) AASHTO T 54-61	°C	156,00	149	160
Suhu Pencampuran Min (170 - 20 = 150)		°C	158,00		
Suhu Pencampuran Max (170 + 20 = 190)		°C	154,00		
Viskositas Kinematis 135 °C, 5 (cSt)	SNI 06-6441-2000	°C	550,00	300	

Dari hasil pengujian aspal PEN 60/70 yang dapat dilihat pada Tabel 11, menunjukkan karakteristik aspal telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Maka aspal tersebut bisa digunakan sebagai bahan penyusun Laston dalam penelitian ini.

D.1.2 Hasil Pengujian Agregat

Agregat yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar lolos saringan 3/4" sampai tertahan saringan nomor 8, agregat sedang lolos saringan nomor 8 sampai tertahan saringan nomor 200 dan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan nomor 200.

Tabel 12. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Maks
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	natrium sulfat magnesium sulfat SNI 3407:2008	- 0,700		18 18
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	Campuran AC Modifikasi Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya 100 putaran 500 putaran 100 putaran 500 putaran SNI 2417:2008	- - - 21,100		6 30 8 40
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	SNI 2439:2011	96,420	95	
Butir pecah pada agregat kasar (%)	SNI 7619:2012 ASTM D4791	100,000	95/90	
Partikel pipih dan lonjong (%)	Perbandingan 1:5 SNI 03-4142-1996	8,780		10
Material Lolos Ayakan No.200		0,765		1

Tabel 13. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Maks
Nilai setara pasir (%)	SNI 03-4428-1997	53,980	50	
Angularitas dengan uji kadar rongga (%)	SNI 03-6877-2002	48,060	45	
Gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat (%)	SNI 03-4141-1996	0,1690		1
Material Lolos Ayakan No.200	ASTM C117:2012	6,910		10

Secara umum dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13 bahwa hasil pengujian agregat kasar dan halus telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal jenis Laston.

D.1.3 Hasil Pengujian Filler

Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah Semen *Portland*. Pengujian yang dilakukan adalah menguji berat jenisnya saja. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. Hasil Pengujian *Filler*

Jenis Pemeriksaan	Standar	Satuan	Syarat	Hasil
				Semen Portland
Berat jenis	SNI 15-2531-1991	-	-	2,959

D.3 Hasil Pengujian Air Rendaman

Air rendaman yang digunakan pada penelitian ini adalah air gambut dan air hujan. Air Gambut diambil dari lokasi untuk dilakukan pengujian pada saat musim kemarau di daerah Rimbo Panjang KM 21, Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar. Air hujan yang digunakan juga diambil saat musim kemarau di sekitar Laboratorium Jalan Raya Universitas Riau pada Bulan April Tahun 2019. Indikator utama dalam penelitian ini adalah derajat keasaman (pH) air gambut dan air hujan. Hasil pengujian pH dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengujian pH Air Gambut dan Air Hujan

Berdasarkan Hasil Pengujian yang dilakukan, pH air gambut yang digunakan

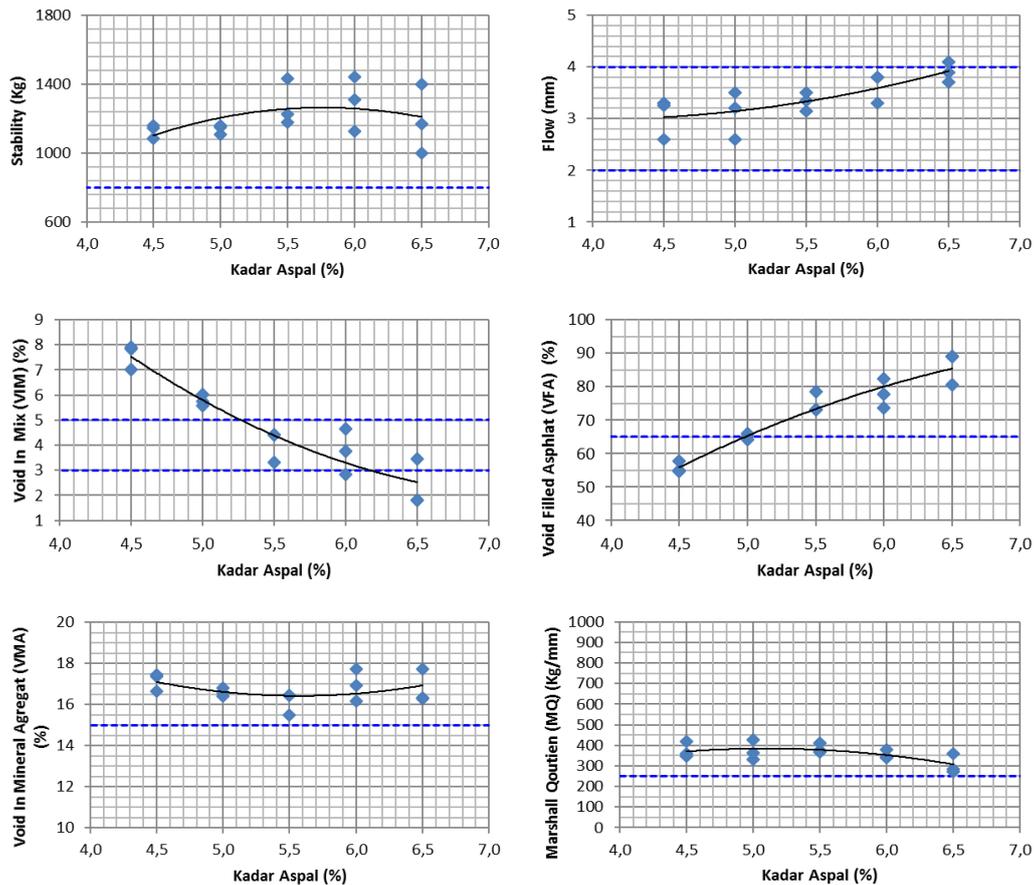
dalam penelitian ini adalah 3,9. Ini menunjukkan bahwa air gambut tersebut tergolong ke kategori asam. Sedangkan nilai pH dari pengujian air hujan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 5,6. Derajat keasaman dari air gambut dan air hujan ini tidaklah tetap, tetapi dapat berubah sesuai dengan kondisi cuaca dan faktor lain yang mempengaruhinya. Dari hasil pengujian ini, sifat keasaman dari air tersebut bisa mengakibatkan kerusakan pada aspal.

D.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), metode yang digunakan merujuk kepada RSNI M-01-2003 dengan lima karakteristik *marshall* dengan menjabarkan grafik stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, dan *MQ*. Setiap nilai dari karakteristik tersebut diplotkan dalam grafik yang memiliki batas diatur oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Setelah itu dipindahkan ke dalam tabel kinerja *Marshall*. Kadar Aspal Optimum didapatkan apabila memenuhi nilai semua kriteria *Marshall* tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Mencari KAO

Kadar Aspal (%)	No. Sampel	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
4,5	1	17.376	7.838	54.9	1146.7	3.30	347.49
	2	17.450	7.921	54.6	1162.2	3.25	357.61
	3	16.640	7.017	57.8	1085.2	2.60	417.38
5,0	1	16.579	5.759	65.3	1152.6	3.50	329.32
	2	16.411	5.570	66.1	1110.5	2.60	427.13
	3	16.818	6.029	64.1	1161.8	3.20	363.06
5,5	1	16.448	4.408	73.2	1179.0	3.15	374.28
	2	16.455	4.415	73.2	1227.1	3.35	366.29
	3	15.495	3.317	78.6	1432.2	3.50	409.21
6,0	1	17.716	4.660	73.7	1124.8	3.30	340.85
	2	16.926	3.745	77.9	1308.9	3.80	344.45
	3	16.152	2.848	82.4	1443.7	3.80	379.92
6,5	1	16.313	1.803	88.9	1398.6	3.90	358.62
	2	16.305	1.794	89.0	1167.6	4.10	284.77
	3	17.717	3.451	80.5	1000.2	3.70	270.32



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Karakteristik Marshall

Tabel 16. Penentuan Kadar Aspal Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal
1	Satability (Kg)	800	
2	Flow (mm)	2 - 4	
3	VIM (%)	3 - 5	
4	VFA (%)	Min 65	
5	VMA (%)	Min 15	
6	MQ (Kg/mm)	Min 250	
$KAO (\%) = \frac{(5,25 + 6,15)}{2} = 5,70$			

Dari Gambar 2 dan Tabel 16 diperoleh nilai KAO untuk campuran beraspal adalah 5,70%.

D.5 Pembahasan dan Analisis Test Rendaman Marshall (Marshall Immersion Test, MIT)

Tujuan dari analisis *test* rendaman *Marshall* ini untuk membandingkan nilai stabilitas keadaan standar dengan nilai stabilitas pada saat kondisi rendaman 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam pada kondisi Kadar

Aspal Optimum (KAO). Perbandingan nilai stabilitas ini bisa menghasilkan nilai durabilitas terhadap waktu perendaman.

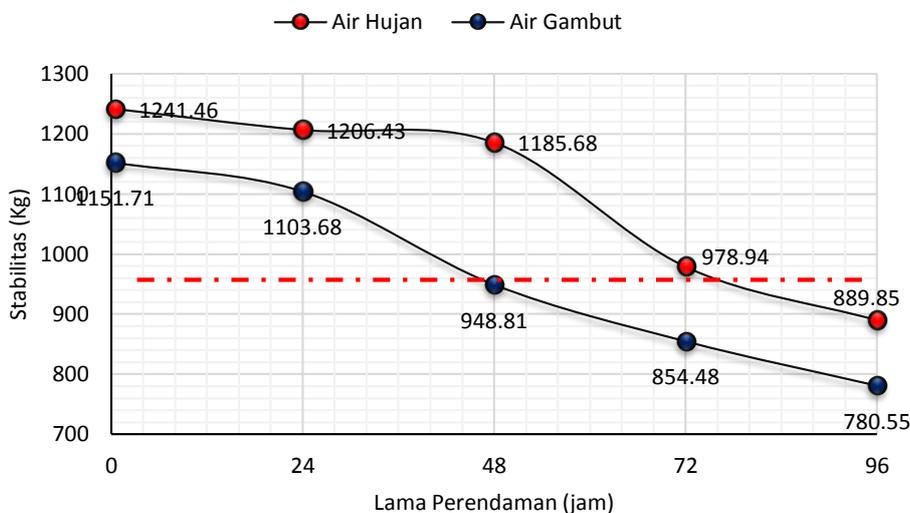
D.5.1 Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman

Stabilitas merupakan kemampuan maksimum menahan beban hingga terjadi kelelahan plastis.

Nilai stabilitas campuran perendaman air gambut dan air hujan pada setiap waktu rendaman mengalami penurunan nilai

stabilitas dibandingkan dengan nilai stabilitas standar. Hal ini dikarenakan pengaruh dari perubahan suhu benda uji dari suhu sebelum perendaman ke suhu perendaman $60 \pm 1^\circ \text{C}$ dan lamanya waktu perendaman yang terjadi. Suhu di dalam campuran belum stabil dan proses *oksidasi* pada aspal mengakibatkan lepasnya

ikatan agregat dengan aspal dan dapat menurunkan nilai stabilitas. Hubungan nilai Stabilitas KAO dengan waktu rendaman masing-masing air rendaman dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan nilai stabilitas KAO dengan waktu perendaman

Dari Gambar 3 dapat dilihat nilai stabilitas terus menurun seiring dengan lama waktu perendaman. Nilai stabilitas pada perendaman dengan air gambut lebih rendah daripada nilai stabilitas pada perendaman menggunakan air hujan. Hal ini menunjukkan bahwa air gambut membuat nilai stabilitas lebih rendah karena kandungan organik yang ada pada air gambut tersebut. Sehingga daya tahan campuran aspal dalam menahan beban semakin menurun.

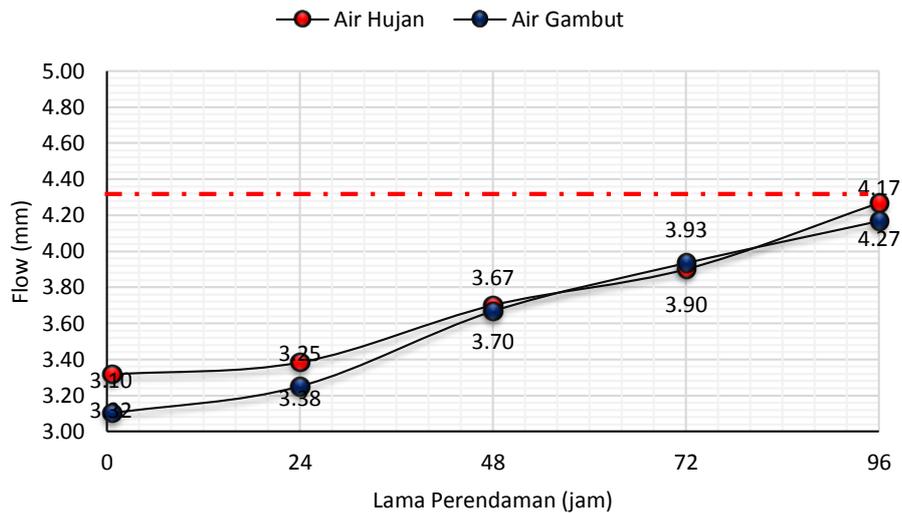
Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 nilai minimum stabilitas yaitu 800 kg. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada perendaman air gambut hanya umur perendaman 96 jam yang tidak memenuhi spesifikasi. Sedangkan pada air hujan, semuanya memenuhi spesifikasi.

Dalam perendaman menggunakan air gambut dan air hujan, penurunan signifikan pada air gambut terjadi pada umur rendaman setelah 24 jam sampai 48 jam sedangkan pada air hujan terjadi pada umur rendaman setelah 48 jam sampai 72 jam. Hal ini dikarenakan pengaruh air rendaman terhadap kekuatan

aspal ini sangat berpengaruh pada umur rendaman tersebut, sehingga nilai stabilitas dari kedua benda uji menggunakan air rendaman masing-masing mengalami penurunan nilai yang signifikan pada umur rendaman tersebut. Untuk umur rendaman yang lain, nilai stabilitas mengalami penurunan yang bisa dikatakan konstan seiring dengan bertambahnya umur rendaman.

D.5.2 Hubungan *flow* dengan Waktu Perendaman

Kelelahan plastis (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh, yang dinyatakan dalam mm atau *inch*. Nilai kelelahan yang tinggi memberikan ciri campuran yang plastis disebabkan kadar aspal yang tinggi. Sedangkan jika nilai kelelahan amat rendah akan memberikan ciri campuran yang kaku disebabkan kadar aspal yang rendah. Hubungan nilai *flow* KAO dengan waktu rendaman masing-masing air rendaman dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Nilai *Flow* KAO dengan Waktu Rendaman

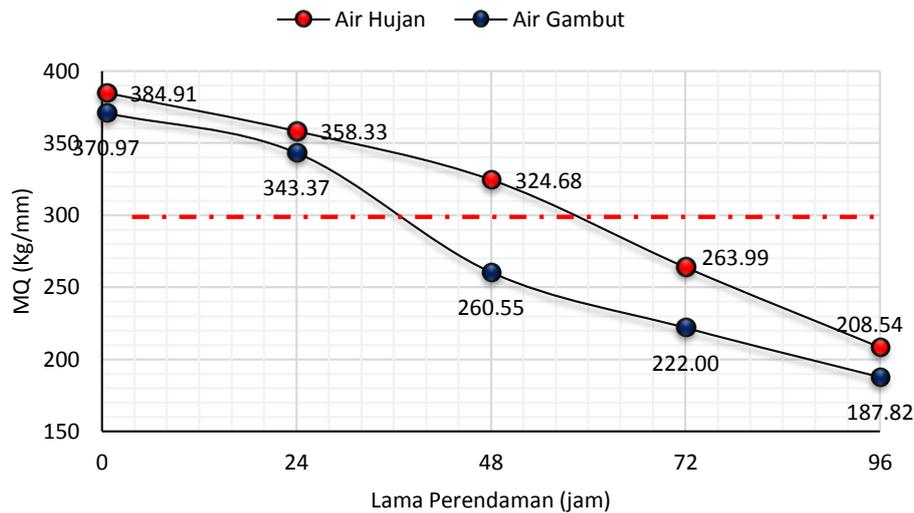
Berdasarkan Gambar 4. dapat dilihat bahwa nilai *flow* untuk air gambut dan air hujan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya umur rendaman. Untuk air hujan dan air gambut pada umur rendaman 24 jam, 48 jam, dan 72 jam memenuhi ketentuan yang telah ditentukan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Sedangkan untuk umur rendaman 96 jam tidak memenuhi spesifikasi yaitu nilai *flow* dari hasil pengujian *Marshall* adalah 2 mm sampai 4 mm sesuai ketentuan di Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Nilai *flow* pada air hujan lebih tinggi daripada air gambut. Hal ini menggambarkan bahwa umur rendaman yang semakin lama mengakibatkan perkerasan aspal semakin lunak sehingga tidak mampu menahan beban yang ada.

Dalam perendaman menggunakan air gambut, kenaikan nilai *flow* yang cukup signifikan terjadi pada perendaman setelah 24 jam sampai 48 jam. Sedangkan pada air hujan kenaikan nilai *flow* yang signifikan terjadi pada umur rendaman setelah 72 jam sampai 96 jam. Hal ini dikarenakan air rendaman pada air gambut yang mengandung zat-zat organik membuat keelehan plastis pada sampel benda uji bekerja lebih cepat dari pada air hujan sehingga nilai *flow* cenderung mengalami kenaikan lebih signifikan.

D.5.3 Hubungan *MQ* dengan Waktu Perendaman

Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dengan keelehan plastis yang dinyatakan dalam kg/mm. Campuran dengan stabilitas tinggi dan keelehan plastis yang rendah menghasilkan nilai *MQ* yang tinggi dan menunjukkan campuran tersebut kaku, sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk jika mengalami beban lalu lintas, seperti potensial terhadap retak. Sebaliknya campuran dengan stabilitas yang rendah dengan keelehan plastis yang tinggi menghasilkan *MQ* rendah, sehingga cenderung plastis dan tidak stabil. Hubungan nilai *MQ* KAO dengan waktu rendaman masing-masing air rendaman dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5, secara keseluruhan nilai *MQ* pada Air hujan lebih besar daripada air gambut walaupun mengalami penurunan selama umur perendaman. Perendaman umur 24 jam dan 48 jam pada air gambut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan minimal 250 Kg/mm dan perendaman umur 72 jam dan 96 jam tidak memenuhi ketentuan yang ada. Sedangkan perendaman dengan air hujan, hanya perendaman pada umur 4 hari yang tidak memenuhi ketentuan yang ada pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.



Gambar 5. Grafik Hubungan Nilai MQ KAO dengan Waktu Rendaman

Untuk perendaman menggunakan air gambut dan air hujan, penurunan nilai MQ sejalan dengan pengaruh air rendaman menggunakan air gambut dan air hujan untuk nilai stabilitasnya.

D.5.4 Hubungan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan Waktu Perendaman

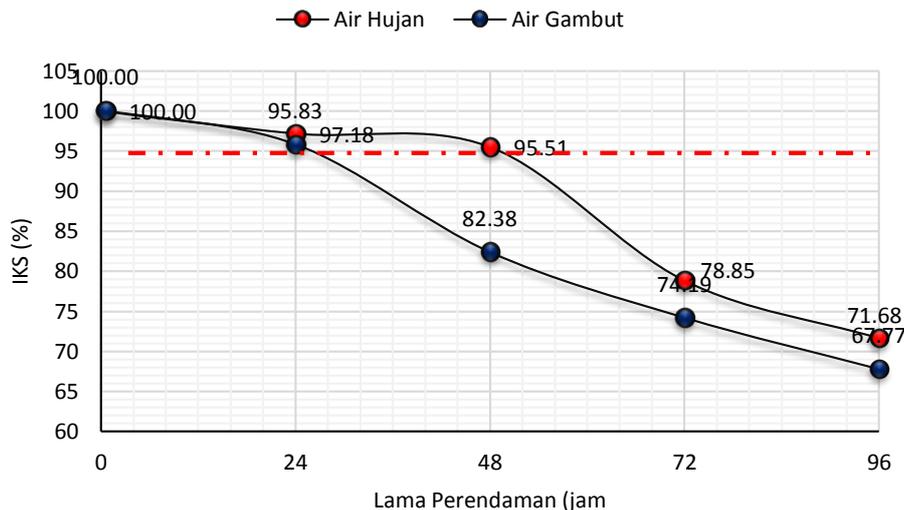
Nilai IKS berhubungan dengan seberapa besar kemampuan dari perkerasan aspal dalam menahan kerusakan yang diakibatkan oleh air. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 mengatur batas minimal dari nilai stabilitas *Marshall* sisa sebesar 90% dengan membandingkan nilai stabilitas pada perendaman 24 jam dengan suhu $60 \pm 1^\circ C$ dengan nilai stabilitas standar.

Secara umum Nilai IKS pada campuran Aspal terjadi penurunan yang signifikan seiring dengan bertambahnya siklus waktu perendaman. Perendaman menyebabkan air meresap ke dalam campuran, air menembus kebagian antar permukaan aspal dengan agregat dan pori-porinya. Keadaan ini akan mengakibatkan pengelupasan aspal dari permukaan agregat dan menyebabkan berkurangnya kekuatan campuran.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai IKS untuk air hujan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 untuk rendaman 24 jam yaitu sebesar 97,18%. Pada air rendaman air gambut, untuk umur 24 jam memenuhi spesifikasi dan umur rendaman 48 jam, 72 jam, dan 96 jam tidak memenuhi batas minimal sebesar 90% yang ditetapkan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Sedangkan untuk perendaman menggunakan air hujan, umur perendaman 24 jam dan 48 jam memenuhi spesifikasi yang ada tetapi untuk umur 72 jam dan 96 jam tidak memenuhi. Hubungan nilai IKS dengan waktu rendaman ini untuk air gambut dan air hujan dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6 bahwa untuk umur rendaman 24 jam, perendaman menggunakan air gambut dan air hujan memenuhi spesifikasi. Nilai IKS tertinggi pada rendaman menggunakan air hujan, akan tetapi mengalami penurunan yang signifikan pada perendaman selanjutnya.

Perendaman dengan air gambut dan air hujan akan membuat aspal menjadi lunak seiring dengan lamanya perendaman sehingga campuran beraspal mengalami penurunan kualitas.



Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai IKS KAO dengan Waktu Rendaman

Untuk perendaman air gambut, penurunan nilai IKS terjadi paling tajam pada umur rendaman 24 jam sampai 48 jam dan pada umur perendaman tersebut nilai IKS sudah tidak memenuhi nilai spesifikasi. Hal ini sejalan dengan nilai stabilitas yang ada. Air gambut lebih cepat mempengaruhi nilai stabilitas dari sampel daripada air hujan sehingga penurunan nilai IKS pada air gambut terjadi lebih cepat daripada air hujan yang mana pada air hujan terjadi penurunan yang paling signifikan pada umur rendaman setelah 48 jam sampai 72 jam.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh air gambut terhadap lapisan AC-WC yang ditinjau terhadap nilai karakteristik *Marshall* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Perendaman menggunakan air gambut dan air hujan sangat berpengaruh terhadap nilai karakteristik *Marshall* terutama pada nilai stabilitas. Nilai stabilitas menurun seiring dengan pertambahan umur rendaman. Pada umur rendaman 24 jam, 48 jam, dan 72 jam memenuhi spesifikasi yang ada yaitu 800 Kg. Sedangkan pada umur rendaman 96 jam tidak memenuhi spesifikasi. Sedangkan nilai stabilitas pada air hujan memenuhi spesifikasi untuk semua umur rendaman. Hal ini menunjukkan bahwa air gambut lebih cepat merusak dan mengurangi kekuatan perkerasan aspal dan hal ini akan

membuat peretakan lebih cepat pada perkerasan aspal. Menurunnya nilai stabilitas campuran juga mengindikasikan berkurangnya kemampuan campuran AC-WC untuk memikul beban lalu lintas yang lama kelamaan akan terjadi kelelahan plastis.

2. Semakin lama campuran beraspal terendam air maka semakin menurun tingkat durabilitas campuran. Pada air gambut, nilai IKS pada umur rendaman 24 jam saja yang memenuhi spesifikasi nilai IKS. Sedangkan nilai IKS pada umur rendaman 48 jam, 72 jam, 96 jam tidak memenuhi spesifikasi. Untuk air hujan hanya pada umur rendaman 1 hari dan 2 hari saja yang memenuhi spesifikasi. Sedangkan pada umur rendaman 3 hari dan 4 hari tidak memenuhi spesifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa air gambut yang mengandung kadar organik membuat berkurangnya kekuatan dari campuran lebih cepat berkurang seiring dengan bertambahnya umur rendaman dan perendaman menyebabkan air meresap ke dalam campuran, air menembus ke bagian antar permukaan aspal dengan agregat dan pori-porinya. Keadaan ini akan mengakibatkan pengelupasan aspal dari permukaan agregat dan menyebabkan berkurangnya kekuatan campuran.

E.2 Saran

Untuk penyempurnaan hasil penelitian serta untuk mengembangkan penelitian yang lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Diharapkan adanya penelitian yang dilakukan terhadap pengaruh air atau perendaman dalam waktu yang lama (durabilitas), sebagai acuan apabila kondisi jalan terendam dalam jangka waktu yang lama,
2. Diharapkan adanya penelitian tentang campuran perkerasan yang berbeda misalnya lapisan (AC-BC),
3. Dilakukan pengujian terhadap sifat kimia dari air gambut dan air hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga.** (1991). SNI 06-2456-1991. *Metode Pengujian Penetrasi Bahan-bahan Bitumen.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1991). SNI 2441:1991. *Metode Pengujian Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Padat.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1991). SNI 2456:1991. *Metode Pengujian Penetrasi Bahan-bahan Bitumen.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1996). SNI 03-4141-1996. *Metode Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir-Butir Mudah Pecah dalam Agregat.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1996). SNI 03-4142-1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm).* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1997). SNI 03-4428-1997. *Metode Pengujian Agregat halus atau Pasir yang Mengandung bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2000). SNI 06-6441-2000. *Metode Pengujian Viskositas.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2002). SNI 03-6977-2002. *Metode Pengujian Kadar Rongga Agregat Halus yang tidak dipadatkan.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2003). RSNI-M-01-2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2005). RSNI T-01-2005. *Cara Uji Uji Butiran Agregat Kasar Berbentuk Pipih, Lonjong, atau Pipih dan Lonjong.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2008). SNI 1969:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2008). SNI 1970:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan penyerapan Air Agregat Halus.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2008). SNI 2417:2008. *Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2008). SNI 3407:2008. *Cara Uji Sifat Kekakuan Agregat dengan Cara Perendaman menggunakan Larutan Natrium Sulfat atau Magnesium.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2011). SNI 2432:2011. *Metode Pengujian Daktilitas Aspal.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2011). SNI 2433:2011. *Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2011). SNI 2434:2011. *Metode Pengujian Titik Lembek Aspal.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2011). SNI 2439:2011. *Cara Uji Penyelimutan dan Pengelupasan pada Campuran Agregat-Aspal.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2012). ASTM C117:2012. *Pengujian Material Lolos Ayakan No.200.* Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

- Bina Marga.** (2012). SNI 7619:2012. *Pengujian Butir Pecah pada Agregat Kasar*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2018). *Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Edisi 2018*. Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga.
- Cut Ahmad Fadil, T.** 2014. Perbandingan Lama Rendaman Campuran Aspal AC-WC Dengan Memakai Air Laut Dan Air Tawar Terhadap Karakteristik Marshall. Universitas Sumatera Utara.
- Gumilang, Damar.** 2017. Analisis Dampak Rendaman Air Tawar Terhadap Durabilitas dan Properties Marshall Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC). Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Laboratorium Jalan Raya.** 2017. Tuntunan Praktikum Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Muaya, G. S., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E.** (2015). Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik *Marshall*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8), 562–570.
- N. M. Dando, A.** 2016. Analisis Pengaruh Perendaman Air Hujan Terhadap Kinerja Campuran Aspal Berongga Berbasis Asbuton Butir. Universitas Hasanuddin.
- Nurhudayah, D., Karim, A., & Parung, H.** (2009). *Studi Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Di Kota Gorontalo*, Simposium XII FSTPT, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Oglesby, C. H., & Hicks, R. G.** (1996). *Highway Engineering, fourth edition*. USA: John Wiley and Sons.
- Pamungkas, H. S. R., & Irianto, S.** (2014). Karakteristik Hidrologi Kawasan Gambut Sungai Kampar dan Sekitarnya, Provinsi Riau. *In Seminar Nasional Ke 3 Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran*.
- Prabowo, A. H.** (2003). Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) terhadap Kinerja Lataston (HRS-WC) Berdasarkan Uji Marshall dan Uji Durabilitas Modifikasi. *Jurnal PILAR*, 12(2), 89–98.
- Putrowijoyo, R.** (2006). *Kajian Laboratorium Sifat Marshall dan Durabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland dan Abu Batu Sebagai Filler*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Radjaguguk, B.** (1997). *Peat Soils of Indonesia: location, classification and problem for sustainability, in: J.O Riely and S.E. Page. Biodiversity and Sustainability of tropical peatland. Samara Publishing Limited. Cardigan, UK. Pp. 45-54.*
- Satuan Kerja P2JN Provinsi Riau.** (2018). Pekanbaru, Riau.
- Sukirman, S.** (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Edisi ke-1, Penerbit Yayasan Obor Indonesia.