

# PEMANFAATAN *OIL SLUDGE* SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI SEBAGIAN ASPAL TERHADAP NILAI DURABILITAS HRS-WC MODIFIKASI RENDAMAN MARSHALL

Ismi Harry Zal<sup>1)</sup>, Alfian Malik<sup>2)</sup>, Mardani Sebayang<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : [ismi.harry@student.unri.ac.id](mailto:ismi.harry@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*One of the wastes produced by the petroleum industries is oil sludge. Therefore the handling of oil sludge by utilizing it as a partial substitute for asphalt in a pavement mixture is an effort to reduce the buildup. Road pavements in Indonesia often damaged before its pavement service life ended because the roads usually submerged by water flood at the rainy seasons. The research aims to determine durability level on HRS-WC mixtures by using oil sludge due to the influence of soaking time. Variations of oil sludge used were 0%, 2%, 4%, 6% and 8% of optimum weight asphalt content in the mixture. Tests were performed using the Marshall test specification of Bina Marga 2010 with modification of immersion duration, i.e. 24 hours, 96 hours, and 168 hours of immersion in the bath with the temperature of 60 °C. Based on the result of the research, the influence of long soaking influential adequate significant on the durability a mixture of HRS-WC with using oil sludge as a partial substitute for asphalt. The length of immersion that meets the specification with minimum retained strength value 90% for almost all variations of oil sludge content is 96 hours immersion. Maximum oil sludge content that meets the specification for 96 hours immersion is 6% with value of retained strength 90.64%, first durability indeks 0.37% and second durability indeks 8.90%.*

*Keywords: Oil sludge, HRS-WC, Bina Marga Specification 2010 Revision 3, durability*

## A. PENDAHULUAN

Limbah industri merupakan hasil dari aktivitas industri yang belum ditangani dengan baik, salah satunya adalah industri perminyakan yang merupakan penghasil limbah yang cukup besar. Dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi guna untuk mencukupi kebutuhan terhadap minyak bumi yang besar, terjadi tumpahan, kebocoran atau ceceran pada saat pengangkutan minyak bumi ke lokasi pengolahan, hal inilah yang menyebabkan tercemarnya lingkungan sekitar.

Salah satu limbah yang dihasilkan oleh industri perminyakan adalah *oil sludge*. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 85 Jo. PP 18 Tahun 1999 *oil sludge* termasuk ke dalam kategori limbah bahan berbahaya dan

beracun (B3). Badan Pengendalian Dampak Lingkungan pada tahun 2015 sudah melakukan pengujian kandungan kimia *oil sludge*, hasilnya parameter limbah B3 yang terkandung dalam *oil sludge* masih jauh dari ambang batas berbahaya. Sebagian besar industri hanya menyimpan limbah-limbah di dalam tangki penyimpanan tanpa adanya pemanfaatan. Oleh karena itu penanganan *oil sludge* dengan memanfaatkannya sebagai bahan pengganti sebagian aspal dalam campuran perkerasan jalan merupakan salah satu upaya untuk mengurangi penumpukannya.

Perkerasan jalan di Indonesia sering mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana. Pada saat musim hujan, sebagian jalan-jalan di Indonesia terendam air

akibat banjir. Pada saat terjadinya banjir dalam jangka waktu tertentu, repetisi beban yang berulang-ulang dan pengaruh air yang merembes diantara aspal dan batuan merupakan penyebab terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan karena pengaruh air permukaan, panas, dingin, oksidasi dan kelembaban akibatnya campuran aspal beton akan mengalami proses pengerasan dan mengakibatkan aspal menjadi getas dan rapuh (Yolanda, 2011). Hal ini dapat mempengaruhi kinerja perkerasan aspal khususnya masalah ketahanan jalan (*durability*) yang merupakan salah satu parameter kinerja campuran pada perkerasan lentur akibat pengaruh cuaca dan air.

Durabilitas 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 udara, air, atau perubahan temperatur.

Beberapa parameter yang digunakan untuk melihat tingkat durabilitas campuran beraspal adalah Indeks Kekuatan Sisa dan Indeks Keawetan. Indeks Kekuatan Sisa adalah parameter yang digunakan oleh Bina Marga (2010) dengan membandingkan nilai stabilitas perendaman 24 jam dengan stabilitas standar. Indeks Keawetan adalah parameter tunggal yang dikembangkan oleh Craus, J. et al (1981) dengan melakukan masa perendaman yang lebih lama.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### B.1 Lapis Tipis Aspal Beton (*HRS - WC*)

Lapis Tipis Aspal Beton (*HRS - WC*) merupakan lapis aspal bergradasi timpang, bersifat kehalusan, dan mempunyai durabilitas tinggi. Lapisan ini lebih tipis dan lentur. Untuk ketentuan sifat-sifat campuran aspal beton dapat dilihat pada Tabel 1.

Untuk mendapatkan jenis campuran yang baik, Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 telah menentukan batasan ukuran butiran atau gradasi agregat yang dapat digunakan. Gradasi agregat untuk campuran Lataston dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lataston

Sifat-Sifat Campuran	<i>HRS - WC</i>	
Kadar Aspal Efektif (%)	Min	5,9
Penyerapan Aspal (%)	Maks	1,7
Jumlah tumbukan per bidang	Kali	75
Rongga dalam campuran, <i>VIM</i> (%)	Min	4,0
	Maks	6,0
Rongga dalam agregat, <i>VMA</i> (%)	Min	18
Rongga terisi aspal, <i>VFA</i> (%)	Min	68
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800
Pelelehan, <i>flow</i> (mm)	Min	3
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3

Tabel 2. Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran			
		Lataston ( <i>HRS</i> )			
		Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang	
Ayakan	(mm)	<i>WC</i>	<i>Base</i>	<i>WC</i>	<i>Base</i>
1 1/2"	37,5				
1"	25				
3/4"	19	100	100	100	100
1/2"	12,5	90 - 100	90 - 100	87 - 100	90 - 100
3/8"	9,5	75 - 85	65 - 90	55 - 88	55 - 70
No. 4	4,75				
No. 8	2,36	50 - 72	35 - 55	50 - 62	32 - 44
No. 16	1,18				
No. 30	0,6	35 - 60	15 - 35	20 - 45	15 - 35
No. 50	0,3			15 - 35	5 - 35
No. 100	0,15				
No. 200	0,075	6 - 10	2 - 9	6 - 10	4 - 8

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3

### B.2 Bahan Penyusun *HRS - WC*

#### B.2.1 Aspal

Material berwarna hitam atau coklat tua yang bersifat viskoelastis. Pada temperatur ruangan aspal berwujud padat atau agak padat. Jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, aspal dapat mencair sehingga dapat

menyelimuti agregat pada saat pencampuran aspal beton. Saat temperatur mulai turun, aspal akan mulai mengeras dan mengikat agregat selama masa layan.

Bahan dasar utama dari aspal adalah hidrokarbon yang umumnya disebut bitumen. Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur. Aspal akan menjadi kaku dan rapuh yang mengakibatkan daya *adhesi* terhadap partikel agregat akan berkurang

Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran – butiran yang merupakan salah satu penggunaannya dalam kombinasi sebagai material untuk beton, lapis pondasi jalan, lapis perkerasan.

Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 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
<b>Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI 06-2440-1991)</b>			
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8
8	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
9	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3

### B.2.2 Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90 – 95 % agregat berdasarkan persentase berat atau 75 – 85 % agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas agregat dapat mempengaruhi kualitas dari perkerasan jalan.

Ketentuan-ketentuan dalam penggunaan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 4. dan Tabel 5.

Tabel 4. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Spesifikasi	
	Min	Max
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	natrium sulfat	12
	magnesium sulfat	18
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	Campuran AC	100 putaran
	Modifikasi Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	500 putaran
		100 putaran
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 2010 Revisi 3

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 2010 Revisi 3

### B.2.3 Oil Sludge

*Oil sludge* merupakan limbah yang terbentuk pada kegiatan penampungan, penyaluran dan pengolahan minyak bumi. *Oil Sludge* berupa lumpur atau pasta yang berwarna hitam, kadang-kadang tercampur dengan tanah, kerikil, air, dan bahan lainnya. Pada umumnya Lumpur ini dihasilkan dari pengendapan partikel-partikel halus dari Bahan Bakar Minyak (BBM). Endapan tersebut semakin lama semakin menumpuk pada bagian bawah tangki-tangki penyimpanan atau pada pipa-pipa penyaluran BBM. Kandungan terbesar dalam *oil sludge* adalah petroleum hidrokarbon (PT. Pertamina, 2001) dan logam berat (Prasetya, dkk., 2006; Budiarto, 2007). Kandungan dari hidrokarbon ini antara lain *benzene*, *toluene*, *ethylbenzene*, *xylenes* dan logam berat seperti timbal (Pb). Logam berat apabila dibiarkan dilingkungan akan sangat berbahaya, namun apabila logam berat itu telah tersolidifikasi

dengan campuran tertentu, tingkat bahayanya akan berkurang.

Menurut Lampiran 1 pada Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, *oil sludge* digolongkan sebagai salah satu limbah B3 dari sumber yang spesifik untuk kilang minyak dan gas bumi. Oleh karena itu, pengolahan *oil sludge* harus mengikuti tata aturan pengolahan limbah B3 yang berlaku dan telah ditetapkan

Sebelum dimanfaatkan suatu limbah B3 harus melalui beberapa pengujian untuk mengetahui seberapa besar kandungan logam berat didalamnya. Tabel 6 menunjukkan nilai baku mutu hasil uji kandungan logam berat (TCLP) pada *oil sludge*.

Tabel 6. Hasil Uji TCLP Oil Sludge

Parameter	Hasil Pengujian	Baku mutu
<i>TCLP (Mg/L)</i>		
Antimoni, Sb	<0,2	1
Arsen, As	<0,02	0,5
Barium, Ba	0,8	35
Berilium, Be	<0,02	0,5
Boron, B	<0,2	25
Kadmium, Cd	<0,02	0,15
Krom, Cr	<0,05	2,5
Tembaga, Cu	<0,02	10
Timbal, Pb	0,4	0,5
Merkuri, Hg	<0,0005	0,05
Molibdenum, Mo	0,02	3,5
Nikel, Ni	<0,02	3,5
Selenium, Se	<0,2	0,5
Perak, Ag	<0,02	5
Seng, Zn	1	50
Trib. Oxide	<10	50
<i>TPH (Mg/Kg)</i>	196000	10.000
<i>PAH (Mg/Kg)</i>	<1	10

Sumber: Bapedal (2015)

### B.3 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.3.1 Durabilitas Standar

Prosedur pengujian durabilitas standar menurut Bina Marga (2010) Revisi 3 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

#### B.3.1 Durabilitas Modifikasi

Kriteria perendaman satu hari tidak selalu mencerminkan sifat keawetan dari campuran setelah beberapa waktu rendaman (Craus, 1981). Dalam penelitiannya Craus (1981) memperkenalkan 2 macam indeks keawetan yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua.

##### 1. Indeks Keawetan Pertama

Indeks keawetan pertama atau jumlah kemiringan-kemiringan garis secara berurutan dari kurva stabilitas. Nilai indeks keawetan pertama dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Hunter, 1994).

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \quad (II)$$

dengan :

*r* : Indeks keawetan pertama (%)

- $S_{i+1}$  : Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$  (%)
- $S_i$  : Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$  (%)
- $t_i, t_{i+1}$  : Periode perendaman (dimulai dari awal perendaman)

Ketika pengujian dilakukan untuk periode perendaman 0,5 jam, 24 jam, 96 jam, dan 168 jam, maka persamaan menjadi berikut.

$$r = \frac{S_0 - S_1}{23,5} + \frac{S_1 - S_4}{72} + \frac{S_4 - S_7}{72} \quad (III)$$

Nilai mutlak dari kehilangan kekuatan yang dibobotkan R seperti berikut.

$$R = \frac{r}{100} s_0 \quad (IV)$$

dengan :

- R : Nilai Mutlak dari pembobotan kehilangan kekuatan (kg)
- $S_0$  : Nilai Absolut dari kekuatan awal (kg)
- Nilai r positif bilamana mengalami penurunan nilai stabilitas yang mengindikasikan kehilangan kekuatan. Sedangkan nilai r negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan. Keawetan pertama menggambarkan persentase kehilangan kekuatan yang dibobotkan selama periode waktu rendaman dalam durasi jam atau hari.

## 2. Indeks keawetan kedua

Indeks keawetan kedua adalah persentase kehilangan kekuatan rata-rata yang terletak diantara kurva durabilitas dan garis  $S_0=100\%$ . Nilai indeks keawetan kedua (a) dapat dinyatakan sebagai berikut (Hunter, 1994).

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=1}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t + t_{i+1})] \quad (V)$$

dengan :

- a = Indeks keawetan kedua (%)
- $S_{i+1}$  = Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$  (%)
- $S_i$  = Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$  (%)
- $t_i, t_{i+1}$  = Total waktu perendaman (dimulai dari awal pengujian)
- $t_n$  = Total waktu perendaman

Semakin kecil nilai indeks keawetan maka semakin kecil kehilangan kekuatan dan semakin besar nilai indeks keawetan maka semakin besar pula kehilangan kekuatannya atau semakin tidak  *durable*. Indeks keawetan ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. Nilai a positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai a negatif merupakan pertambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka  $a < 100$ . Hal ini memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari ( $S_a$ ) sebagai berikut (Hunter, 1994).

$$\bar{S}_a = (100 - a) \quad (VI)$$

Dimungkinkan juga untuk mendefinisikan indeks keawetan kedua ini dalam bentuk nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan atau kekuatan sisanya (A dan  $S_a$ ) sebagai berikut :

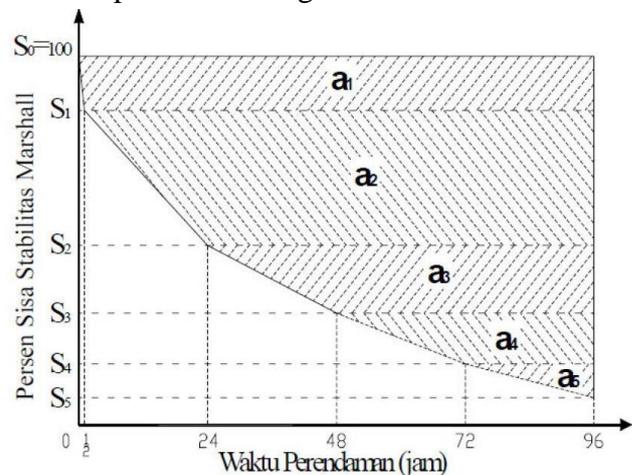
$$A = \frac{a}{100} s_0 \quad (VII)$$

$$S_a = s_0 - A \quad (VIII)$$

dengan :

- A = Nilai mutlak ekuivalen kehilangan kekuatan (kg)
- $S_0$  = Nilai kuat tekan awal (kg)
- $S_a$  = Nilai mutlak dari ekuivalen kuat sisa (kg)

Dimana semua istilah yang didefinisikan pada persamaan V tersirat pada Gambar 1 Perlu diingat bahwa wilayah luasan  $a_i$  ditentukan dan terbagi secara horizontal karena tiap luasan menunjukkan kontribusi relatif dari kenaikan periode perendaman terhadap total kehilangan kekuatan.



Gambar 1. Gambaran skema kurva keawetan (Crauss at all., 1981)

Sumber : Crauss at all., 1981

## C. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau. Dalam penelitian ini digunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 sebagai acuan untuk menentukan campuran Lapis tipis aspal beton (HRS-WC) dengan menggunakan metode pengujian *Marshall Test*. Sedangkan untuk standar pelaksanaan pengujiannya digunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkaitan dengan pengujian Lataston.

### C.1 Bahan dan Peralatan

#### C.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah:

1. Aspal PEN 60/70 merek Pertamina yang telah tersedia di Laboratorium Jalan Raya Universitas Riau.
2. Agregat kasar dan halus hasil produksi quari batu pecah daerah Pangkalan, Sumatera Barat.
3. *Oil sludge*, diperoleh dari salah satu pertambangan minyak di Provinsi 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. *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 suhu mulai 10-100 °C
9. *Thermometer*
10. Timbangan
11. Perlengkapan lainnya

### C.2 Pengujian Bahan Penyusun

Semua bahan yang akan digunakan diperiksa karakteristiknya agar sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

#### C.2.1 Pengujian Aspal

Pengujian aspal PEN 60/70 yang dilakukan antara lain:

1. Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal, mengacu pada SNI 2433:2011.
2. Pengujian penetrasi aspal, mengacu pada SNI 06-2456-1991.
3. Pengujian titik lembek aspal, mengacu pada SNI 2434:2011.
4. Pengujian daktilitas aspal, mengacu pada SNI 2432:2011.
5. Pengujian kehilangan berat aspal, mengacu pada SNI 06-2441-1991.
6. Pengujian berat jenis aspal, mengacu pada SNI 2441:2011.
7. Pengujian viskositas aspal, mengacu pada SNI 06-6441-2000.

#### C.2.2 Pengujian Agregat

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

1. Pengujian analisa saringan, mengacu pada SNI 03-1968-1990
2. Pengujian Material Lolos Ayakan No. 200, mengacu pada SNI 03-4142-1996 dan ASTM C117:2002
3. Pengujian *sand equivalent*, mengacu pada SNI 03-4428-1997,
4. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, mengacu pada SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-1970-1990,
5. Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles*, mengacu pada SNI 2417 :2008
6. Pengujian kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat, mengacu pada SNI 3407:2008,
7. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal, mengacu pada SNI 2439:2011,
8. Pengujian penentuan persentase butir pecah pada agregat kasar, mengacu pada SNI 7619:2012,

9. Pengujian pipih dan lonjong, mengacu pada ASTM D4791,
10. Pengujian angularitas dan kadar rongga, mengacu pada SNI 03-6877-2002,
11. Pengujian gumpalan lempung dan butir mudah pecah, mengacu pada SNI 03-4141-1996.

### C.2.3 Pengujian Campuran Aspal dan Oil Sludge

Pengujian campuran ini mengacu kepada pengujian aspal.

#### C.3 Rancangan Campuran HRS - WC

Berdasarkan variasi kadar aspal, kadar *oil sludge* dan jenis pengujian yang akan dilakukan untuk mendapatkan KAO, maka jumlah benda uji yang dibutuhkan adalah sebanyak 75 buah yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Variasi <i>Oil Sludge</i> Terhadap Persentase Aspal (%)					Jumlah Benda Uji (bh)
	0	2	4	6	8	
5.5	3	3	3	3	3	15
6	3	3	3	3	3	15
6.5	3	3	3	3	3	15
7	3	3	3	3	3	15
7.5	3	3	3	3	3	15
Total						75

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, 96 jam, 168 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 8.

Tabel 8. Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO

Variasi <i>Oil Sludge</i> (%)	Pengujian Marshall Standar	Pengujian Marshall Rendaman			Jumlah Sampel (buah)
		24 jam	96 jam	168 jam	
0	3	3	3	3	12
2	3	3	3	3	12
4	3	3	3	3	12
6	3	3	3	3	12
8	3	3	3	3	12
Total					60

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun HRS – WC

Material bahan penyusun Lataston diuji karakteristiknya terlebih dahulu. Pengujian bertujuan untuk menguji kelayakan material

sebagai bahan penyusun Lataston apakah telah memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 revisi 3.

#### D.1.1 Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal sebagaimana pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Aspal PEN 60/70

Sifat-sifat Material Yang Diuji	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi	
			Min	Maks
Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	dmm	63,05	60	70
Penetrasi, (Setelah Kehilangan Berat)	%	90,21	54	
Titik Lembek ( <i>Softening Point</i> )	°C	53,95	48	
Titik Nyala degan <i>Cleveland Open Cup</i>	°C	295,00	232	
Daktilitas, 25 °C, 5 cm/menit	cm	153,50	100	
Daktilitas, (Setelah Kehilangan Berat)	cm	139,00	100	
Berat Jenis		1,057	1	
Kehilangan Berat (TFOT)	% berat	0,428		0,8
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	°C	570,00	300	

Dari hasil pengujian aspal PEN 60/70 yang dapat dilihat pada Tabel 9, menunjukkan karakteristik aspal telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Maka aspal tersebut bisa digunakan sebagai bahan penyusun Lataston dalam penelitian ini.

#### D.1.2 Hasil Pengujian Campuran Aspal dan Oil Sludge

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan penggunaan *oil sludge* mengakibatkan penurunan kualitas aspal yang digunakan. Hal ini diakibatkan oleh kandungan minyak dalam *oil sludge* yang membuat aspal menjadi lebih encer dan lunak. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian Campuran Aspal dan Oil Sludge

Sifat - Sifat Material Yang Diuji	Standar Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian Campuran Aspal:Oil Sludge				Spesifikasi	
			Dengan Variasi Oil Sludge				Min	Maks
			2	4	6	8		
Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	SNI 06-2456-1991	dmm	68,88	76,85	84,13	89,23	60	70
Penetrasi, (Setelah Kehilangan Berat)		%	89,11	87,77	86,95	85,68	54	
Titik Lembek ( <i>Softening Point</i> )	SNI 06-2432-1991	°C	52,55	51,85	51,35	50,70	48	
Titik Nyala dengan <i>Cleveland Open Cup</i>	SNI 06-2433-1991	°C	289,00	282,00	268,00	255,00	232	
Daktilitas, 25 °C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-1991	cm	145,50	134,50	127,00	119,00	100	
Daktilitas, (Setelah Kehilangan Berat)			129,00	122,50	117,50	109,00	100	
Berat Jenis	SNI 06-2441-1991		1,048	1,036	1,029	1,021	1	
Kehilangan Berat (TFOT)	SNI 06-2440-1991	%	0,468	0,484	0,543	0,608		0,8
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	°C	480,00	345,00	250,00	210,00	300	

### D.1.3 Hasil Pengujian Agregat

Agregat yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar lolos saringan 3/4" sampai tertahan saringan no.8,

agregat sedang lolos saringan no. 8 sampai tertahan saringan no. 200 dan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no. 200.

Tabel 11. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian Agregat Batu Gunung	Spesifikasi	
			Min	Maks
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	SNI 3407:2008	natrium sulfat	3,119	12
		magnesium sulfat	-	18
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	SNI 2417:2008	Campuran AC Modifikasi 100 putaran	-	6
		500 putaran	-	30
		Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya 100 putaran	-	8
		500 putaran	11,60	40
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	SNI 2439:2011	97,71	95	
Butir pecah pada agregat kasar (%)	SNI 7619:2012	100,00	95/90	
Partikel pipih dan lonjong (%)	ASTM D4791 Perbandingan 1: 5	7,37	10	

Tabel 12. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian Agregat Batu Gunung	Spesifikasi	
			Min	Maks
Nilai setara pasir (%)	SNI 03-4428-1997	91,34	60	
Angularitas dengan uji kadar rongga (%)	SNI 03-6877-2002	45,30	45	
Gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat (%)	SNI 03-4141-1996	0,122		1

Secara umum dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12 bahwa hasil pengujian agregat kasar dan halus telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal jenis Lataston.

### D.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dan Oil Sludge

Metode yang digunakan dalam penentuan KAO adalah menggunakan metode pita berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan

menganalisis lima karakteristik Marshall sebagai standar penentuan KAO.

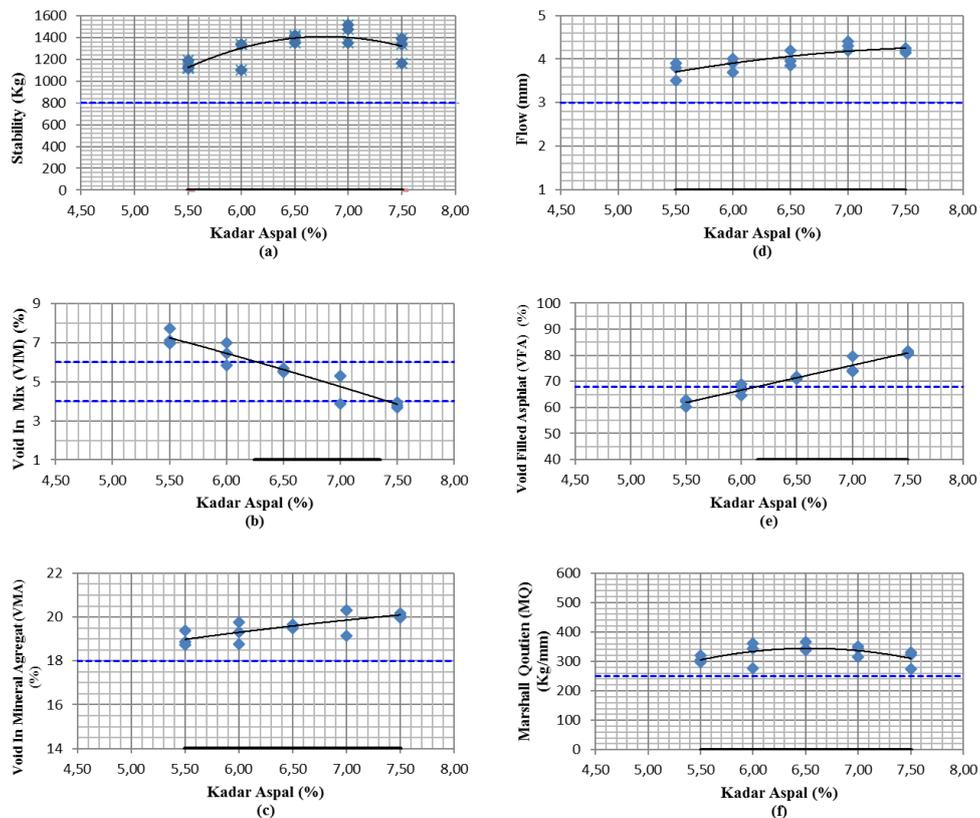
Setiap komposisi campuran yang terdiri dari variasi kadar aspal dan *oil sludge* dihitung nilai *VMA*, *VIM*, *VFA*, stabilitas, *flow* dan *MQ*. Nilai-nilai tersebut diuraikan dalam grafik yang dibatasi oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, lalu dipindahkan ke dalam tabel kinerja *Marshall*. KAO diperoleh dari nilai yang memenuhi semua kriteria *Marshall* tersebut. Berikut adalah

contoh penentuan KAO sebagaimana pada Tabel 13. Tabel 13 menunjukkan 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi kadar aspal. Kemudian dari data di atas dibuatkan

dalam bentuk grafik karakteristik *Marshall* yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 14.

Tabel 13. Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Dengan Kadar *Oil Sludge* 2%

Kadar Aspal (%)	No. Sampel	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
5,5	1	19,39	7,71	60,20	1131,10	3,80	297,66
	2	18,88	7,12	62,30	1191,80	3,90	305,59
	3	18,72	6,94	62,90	1118,10	3,50	319,46
6,0	1	19,30	6,45	66,60	1340,80	3,90	343,78
	2	19,77	6,99	64,60	1151,20	4,00	276,28
	3	18,78	5,83	68,90	1394,90	3,70	361,93
6,5	1	19,66	5,68	71,10	1422,00	4,20	338,58
	2	19,55	5,56	71,60	1408,50	3,85	365,84
	3	19,49	5,48	71,90	1352,10	3,95	342,31
7,0	1	19,14	3,88	79,70	1354,30	4,30	314,95
	2	20,32	5,29	74,00	1516,80	4,40	344,73
	3	20,31	5,28	74,00	1475,60	4,20	351,34
7,5	1	19,98	3,69	81,50	1340,80	4,15	323,07
	2	20,19	3,94	80,50	1391,10	4,20	331,22
	3	20,07	3,80	81,10	1164,70	4,25	274,05



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Karakteristik Marshall

Tabel 14. Penentuan Kadar Aspal Optimum

No.	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			5,5	6	6,5	7	7,5
1	Stabilitas (Kg)	800					
2	Flow (mm)	Min 3					
3	VIM (%)	4 - 6					
4	VFA (%)	Min 68					
5	VMA (%)	Min 18					
6	MQ (Kg/mm)	Min 250					
KAO (%)			$\frac{6,25 + 7,5}{2} = 6,80 \quad \%$				

Dari Gambar 2 dan Tabel 14 diperoleh nilai KAO untuk campuran beraspal dengan variasi *oil sludge* 2% adalah 6,80%. Rekapitulasi

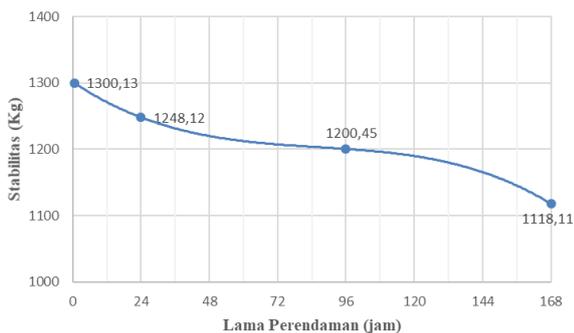
kadar aspal optimum campuran aspal dan *oil sludge* untuk variasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8% sebagaimana pada Tabel 15.

Tabel 15. Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal dan *Oil Sludge*

Sifat - Sifat Material Yang Diuji (Nilai Rata - Rata)	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian Campuran Aspal : <i>Oil Sludge</i> Dengan Variasi <i>Oil Sludge</i>					Spesifikasi	
		0	2	4	6	8	Min	Maks
		Kadar Aspal Optimum (%)	6,98	6,80	6,63	6,43	6,30	

### D.3 Analisa Tes Rendaman Marshall

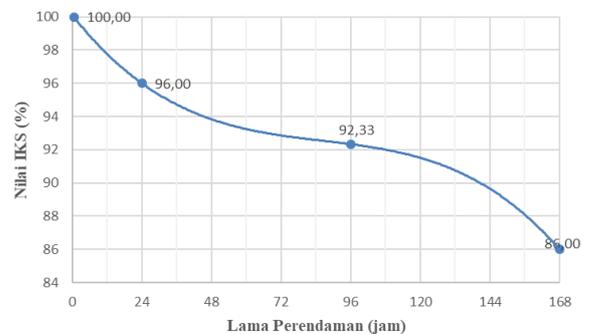
Analisa *test* rendaman *Marshall* membandingkan nilai stabilitas pada keadaan standar dengan nilai stabilitas pada kondisi rendaman 24 jam, 96 jam dan 168 jam pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO). Dari data perbandingan tersebut bisa diambil nilai durabilitas terhadap waktu perendaman. Berikut merupakan contoh hasil perendaman *marshall* pada variasi 2%.



Gambar 3. Grafik hubungan nilai stabilitas KAO dengan waktu rendaman untuk variasi kadar *oil sludge* 2%

Campuran beraspal dengan variasi kadar *oil sludge* kondisi kadar aspal optimum 6,80% dengan bertambahnya lama perendaman menghasilkan nilai stabilitas

yang cenderung mengalami penurunan. Penurunan nilai stabilitas ini dikarenakan campuran *Lataston* tersebut mengalami infiltrasi air selama proses perendaman.



Gambar 4. Grafik hubungan nilai IKS KAO dengan waktu rendaman untuk variasi kadar *oil sludge* 2%

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010 Revisi 3 minimal 90%, nilai IKS pada waktu rendam 24 jam, dan 96 jam yang mampu melewati batas sehingga campuran tersebut dapat menahan kerusakan yang diakibatkan oleh air selama 96 jam, sedangkan untuk lama perendaman 168 jam nilai IKS tidak mampu melewati batas nilai yang ditentukan.

### D.3.1 Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman

Stabilitas adalah kemampuan maksimum menahan beban hingga terjadi

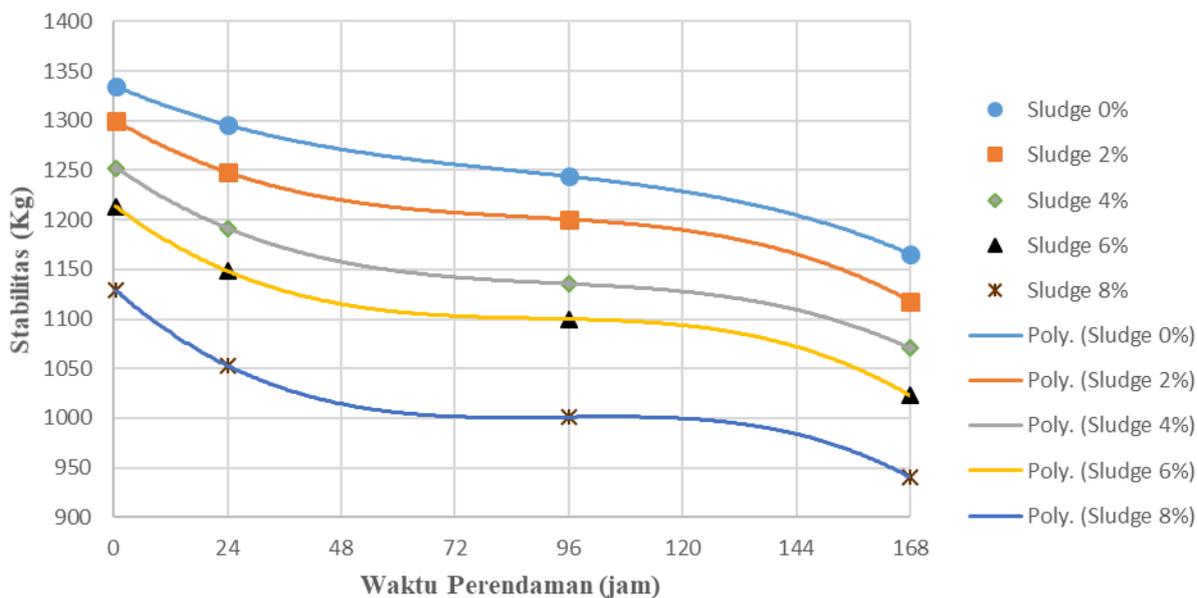
kelelahan plastis. Hubungan nilai stabilitas KAO dengan waktu perendaman dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16 Nilai Stabilitas KAO Rendaman (Kg)

Lama Rendaman (jam)	Variasi Kadar <i>Oil Sludge</i>				
	0%	2%	4%	6%	8%
0,5	1334,80	1300,13	1252,46	1213,45	1128,94
24	1295,79	1248,12	1191,78	1148,45	1053,10
96	1243,79	1200,45	1135,45	1099,91	1001,10
168	1165,78	1118,11	1070,44	1022,77	940,43

Dari Tabel 16 menunjukkan nilai stabilitas campuran variasi kadar *oil sludge* pada setiap waktu rendaman mengalami penurunan nilai stabilitas dibandingkan dengan nilai stabilitas standar sebelum perendaman. Pengaruh ini dikarenakan perubahan suhu benda uji dari suhu sebelum perendaman ke suhu perendaman yaitu  $60 \pm 1^\circ \text{C}$ . 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 variasi kadar *oil sludge* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik hubungan nilai stabilitas KAO dengan waktu perendaman

Dari Gambar 5 dapat dilihat nilai stabilitas terus menurun seiring dengan penambahan *oil sludge*. Nilai tertinggi stabilitas berada pada campuran non *oil sludge* yaitu sebesar 1334,80 kg. Sedangkan nilai stabilitas yang terendah berada pada

variasi kadar *oil sludge* 8% yaitu sebesar 1128,94 kg.

Penambahan *oil sludge* secara terus menerus membuat nilai stabilitas menjadi semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh kandungan minyak dalam *oil sludge* yang mengakibatkan aspal menjadi lebih encer dan

lunak. Sehingga daya tahan campuran *oil sludge* dengan aspal dalam menahan beban semakin menurun yang ditunjukkan dari nilai hasil penetrasi.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3 nilai minimum stabilitas yaitu 800 kg. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa seluruh campuran telah memenuhi batas minimum. Sehingga dalam pemanfaatan *oil sludge* kita bisa memakai hingga 8% untuk kondisi standar.

### D.3.2 Hubungan Indeks Kekuatan Sisa dengan Waktu Perendaman

Metode ini mengambil acuan untuk nilai  $S_0$  dalam penentuan nilai IKS berdasarkan nilai stabilitas masing-masing variasi campuran pada pengujian standar dengan rendaman 30 menit. Nilai IKS berhubungan dengan kemampuan perkerasan aspal untuk menahan kerusakan yang diakibatkan oleh air. Bina Marga 2010 Revisi 3 memberi batasan untuk stabilitas setelah rendaman selama 24 jam (1hari) dengan suhu  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  adalah minimum 90% dari stabilitas semula. Nilai-nilai indeks kekuatan sisa (IKS) campuran untuk keseluruhan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17 Nilai IKS KAO Rendaman (%)

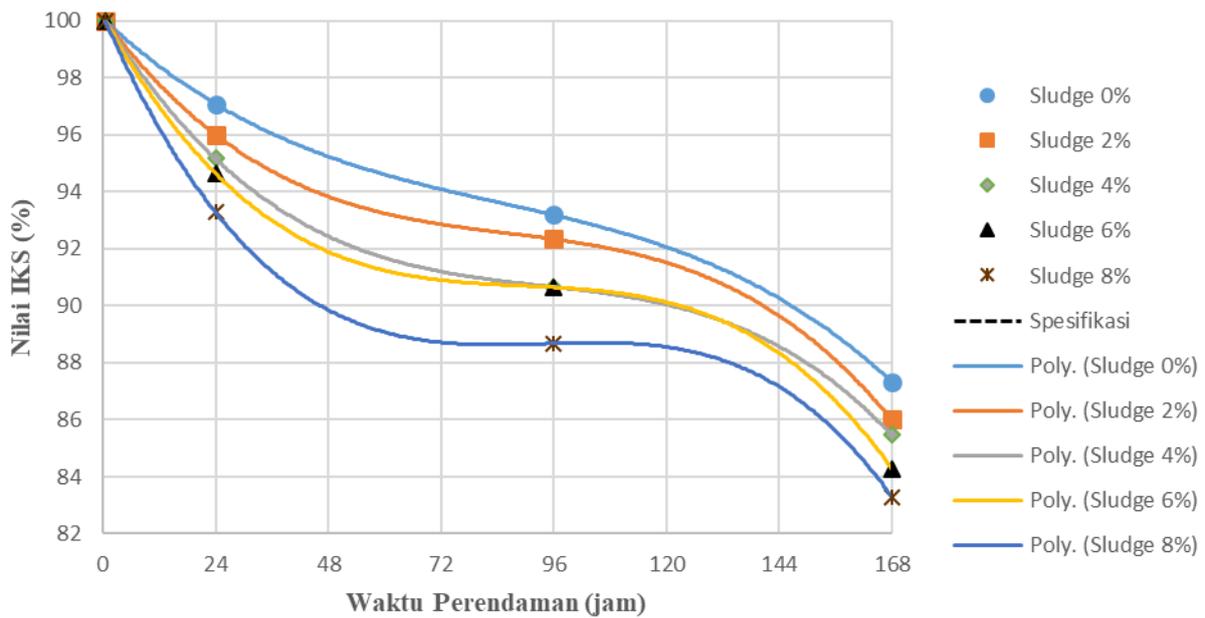
Lama Rendaman (Jam)	Variasi Kadar <i>Oil Sludge</i>				
	0%	2%	4%	6%	8%
0,5	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
24	97,08	96,00	95,16	94,64	93,28
96	93,18	92,33	90,66	90,64	88,68
168	87,34	86,00	85,47	84,29	83,30

Berdasarkan Tabel 17 bahwa secara umum terjadinya penurunan kekuatan yang signifikan pada campuran beraspal seiring bertambahnya siklus pengujian. Perendaman menyebabkan air terserap ke dalam campuran, air menembus sebagian antar permukaan aspal dengan agregat dan pori-porinya. Adanya air pada bagian antar permukaan dan pori-pori pada akhirnya mengarah pada pengelupasan aspal dari permukaan agregat dan menyebabkan berkurangnya kekuatan campuran.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai IKS kadar *oil sludge* 0%, 2%, 4%, 6%, memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 untuk rendaman 24 jam dan 96 jam yaitu minimum 90%. Sedangkan campuran dengan kadar *oil sludge* 8% hanya

memenuhi nilai IKS untuk rendaman 24 jam yaitu sebesar 93,28%. Untuk rendaman 168 jam seluruh campuran tidak memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga yaitu 90%. Hubungan nilai IKS dengan waktu rendaman masing-masing variasi kadar *oil sludge* dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6 bahwa rata-rata variasi campuran hanya memenuhi spesifikasi untuk rendaman 24 jam dan 96 jam. Nilai IKS tertinggi pada rendaman 24 jam dan 96 jam terdapat pada campuran dengan kadar *oil sludge* 0% yaitu sebesar 97,08%. Nilai IKS terendah untuk keseluruhan variasi rendaman terdapat pada campuran dengan kadar *oil sludge* 8%.



Gambar 6 Grafik hubungan nilai IKS KAO dengan waktu perendaman

### D.3.3 Hubungan Indeks Keawetan Pertama dengan Waktu Perendaman

Hasil analisa indeks keawetan pertama dengan metode indeks keawetan (Craus, et al, 1981), campuran beraspal dengan variasi kadar *oil sludge* 2% memiliki nilai indeks keawetan pertama seperti diuraikan berikut ini.

Contoh perhitungan:

Menentukan nilai indeks keawetan pertama

Data di ambil dari Tabel 17.

$$S_0 = 100\% \quad S_1 = 96,00\%$$

$$S_4 = 92,33\% \quad S_7 = 86,00\%$$

Rumus :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

dengan :

$r$  = Indeks keawetan pertama (%)

$S_{i+1}$  = Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$  (%)

$S_i$  = Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$  (%)

$t_i, t_{i+1}$  = Periode perendaman (dimulai dari awal perendaman)

Ketika pengujian dilakukan untuk periode perendaman 0,5 jam, 24 jam, 96 jam dan 168 jam, maka persamaan menjadi berikut.

$$r = \frac{S_0 - S_1}{23,5} + \frac{S_1 - S_4}{72} + \frac{S_4 - S_7}{72}$$

$$r = \frac{100-96,00}{23,5} + \frac{96,00-92,33}{72} + \frac{92,33-86,00}{72} = 0,309\%$$

Menentukan nilai R (nilai mutlak dari kehilangan yang dibobotkan)

Dengan rumus :

$$R = \frac{r}{100} s_0$$

dengan:

$R$  = Nilai Mutlak dari pembobotan kehilangan kekuatan (kg)

$S_0$  = Nilai Absolut dari kekuatan awal (kg)

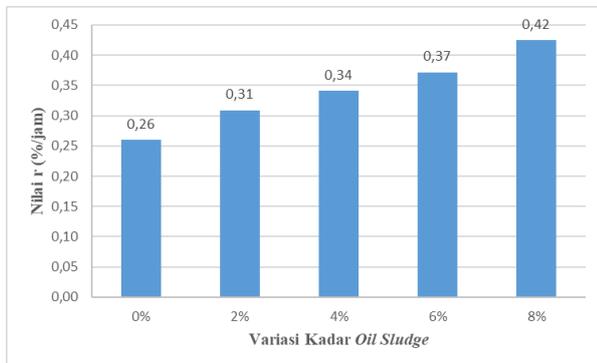
$$R = \frac{0,309}{100} \cdot 1300,13 = 4,02 \text{ kg/jam}$$

Nilai indeks keawetan pertama pada campuran beraspal dengan variasi kadar *oil sludge* 2% menunjukkan angka 0,309%. Data indeks keawetan pertama perendaman modifikasi *Marshall* disajikan pada Tabel 18.

Tabel 18 Data indeks keawetan pertama perendaman modifikasi *Marshall*

No	Variasi Kadar <i>Oil Sludge</i>	Indeks Keawetan Pertama		
		$r$ (%/jam)	$S_0$	$R$ (kg/jam)
1	0%	0,26	1334,80	3,47
2	2%	0,31	1300,13	4,02
3	4%	0,34	1252,46	4,27
4	6%	0,37	1213,45	4,51
5	8%	0,42	1128,94	4,79

Data indeks keawetan pertama perendaman modifikasi *Marshall* yang disajikan pada Tabel 18 dibuat dalam grafik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram hubungan nilai indeks keawetan pertama pada masing-masing variasi kadar *oil sludge*

Dari Gambar 7 dapat dilihat nilai indeks keawetan pertama terkecil pada variasi kadar *oil sludge* 0%, sedangkan nilai indeks keawetan pertama terbesar pada variasi kadar *oil sludge* 8%. Bertambahnya kadar *oil sludge* untuk variasi kadar *oil sludge* memberikan nilai indeks keawetan yang terus menerus naik hingga variasi kadar *oil sludge* 8%.

### D.3.3 Hubungan Indeks Keawetan Pertama dengan Waktu Perendaman

Hasil analisis keawetan kedua dengan metode indeks keawetan (Crauss, et al, 1981), campuran beraspal dengan variasi kadar *oil sludge* 2% memiliki nilai indeks keawetan kedua seperti yang diuraikan berikut ini.

#### Contoh perhitungan:

Data diambil dari Tabel 17

$$S_0 = 100\% \quad S_1 = 96,00\%$$

$$S_4 = 92,33\% \quad S_7 = 86,00\%$$

Rumus :

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=1}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t + t_{i+1})]$$

dengan :

a = Indeks keawetan kedua (%)

$S_{i+1}$  = Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$  (%)

$S_i$  = Persentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$  (%)

$t_i, t_{i+1}$  = Total waktu perendaman (dimulai dari awal pengujian)

$t_n$  = Total waktu perendaman

$$a = \frac{1}{2 \times 168} [(100 - 96,00)((2 \times 168) - (0,5 + 24)) + (96,00 - 92,33)((2 \times 168) - (24 + 96)) + (92,33 - 86,00)((2 \times 168) - (96 + 168))]$$

$$a = 7,42\%$$

Berdasarkan definisi ini,  $a < 100$ . Oleh karena itu, kemungkinan untuk menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa 24 jam  $S_0$  dalam % sebagai berikut:

Rumus:

$$\bar{S}_a = (100 - a)$$

dengan :

$\bar{S}_a$  = Nilai mutlak dari ekuivalen kuat sisa (%)

$a_i$  = Indeks keawetan kedua (%)

$$\bar{S}_a (\%) = (100 - 7,42) = 92,58\%$$

Rumus :

$$A = \frac{a}{100} S_0$$

$$S_a = S_0 - A$$

dengan :

A = Nilai mutlak ekuivalen kehilangan kekuatan (kg)

$S_0$  = Nilai kuat tekan awal (kg)

$S_a$  = Nilai mutlak dari ekuivalen kuat sisa (kg)

$$A = \frac{7,42}{100} 1300,13 = 96,50 \text{ Kg}$$

$$S_a = 1300,13 - 96,50 = 1203,62 \text{ Kg}$$

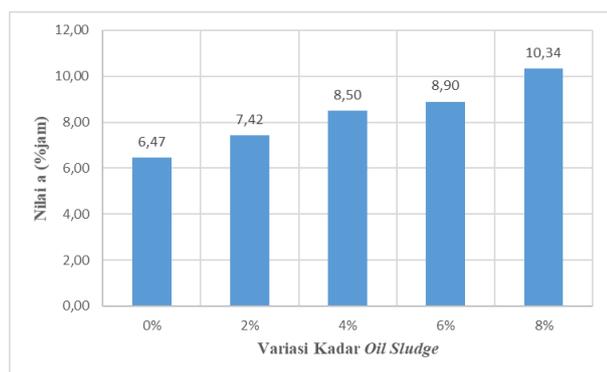
Nilai stabilitas yang tersisa adalah 1203,62 Kg.

Nilai indeks keawetan kedua (a) campuran beraspal dengan variasi kadar *oil sludge* 2% menunjukkan angka 7,42%.

Data indeks keawetan kedua uji perendaman modifikasi *Marshall* disajikan pada Tabel 19 dan dibuat dalam bentuk grafik seperti Gambar 8.

Tabel 19 Data indeks keawetan kedua perendaman modifikasi *Marshall*

Variasi Kadar <i>Oil Sludge</i>	Indeks Keawetan Kedua				
	a (%)	$\bar{S}_a$ (%)	S <sub>0</sub> (Kg)	A (Kg)	S <sub>a</sub> (Kg)
0%	6,47	93,53	1334,80	86,31	1248,49
2%	7,42	92,58	1300,13	96,50	1203,62
4%	8,50	91,50	1252,46	106,40	1146,06
6%	8,90	91,10	1213,45	108,00	1105,45
8%	10,34	89,66	1128,94	116,74	1012,20



Gambar 8 Diagram hubungan nilai indeks keawetan kedua pada masing-masing variasi kadar *oil sludge*

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai keawetan kedua terkecil pada masing-masing variasi kadar *oil sludge* yaitu pada campuran non *oil sludge* atau kadar *oil sludge* 0%, sedangkan nilai keawetan kedua terbesar pada masing-masing variasi kadar *oil sludge* yaitu dengan penambahan *oil sludge* sebagai bahan pengganti sebagian aspal sebesar 8%. Bertambahnya kadar *oil sludge* untuk variasi kadar *oil sludge* memberikan nilai indeks keawetan yang terus menerus naik hingga variasi kadar *oil sludge* 8%.

## E. KESIMPULAN DAN SARAN

### E.1 Kesimpulan

Hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya didapat kesimpulan, sebagai berikut:

1. Semakin lama campuran beraspal terendam air maka semakin menurun tingkat durabilitas campuran. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan,

- a. Nilai indeks kekuatan sisa terendah terdapat pada campuran beraspal dengan kadar *oil sludge* 8% dengan rendaman 168 jam yaitu 83,30%.
- b. Durabilitas menunjukkan bahwa pada kondisi kadar aspal optimum penambahan kadar *oil sludge* 8% memiliki indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua terbesar yaitu 0,42% dan 10,34%. Sehingga variasi ini memiliki kehilangan kekuatan terbesar akibat lama perendaman dan penambahan *oil sludge* sebagai pengganti sebagian aspal,
- c. Lama perendaman maksimum yang dapat ditanggung oleh campuran adalah rendaman 96 jam dengan nilai IKS > 90%, kecuali campuran dengan kadar *oil sludge* 8% hanya memenuhi standar untuk rendaman 24 jam.

2. Variasi *oil sludge* maksimum yang dapat ditambahkan dalam campuran HRS-WC untuk rendaman 96 jam adalah 6% dari berat aspal. Nilai tersebut berdasarkan rentang variasi *oil sludge* yang digunakan, dengan nilai indeks kekuatan sisa sebesar 90,64%, indeks keawetan pertama sebesar 0,37% dan nilai indeks keawetan kedua sebesar 10,34%.

### E.2 Saran

Penelitian lanjutan disarankan membahas kelayakan campuran terhadap dampak yang ditimbulkan kandungan kimia *oil sludge* terhadap lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. (1999). *Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 199 tentang Pengelolaan Limbah Bahan berbahaya Beracun*. Jakarta: Sekretariat Bapedal.
- Agus, Marudof.** 2012. *Durabilitas Retona Blend 55 Menggunakan Variasi Proporsi Filler Dengan Tes Rendaman Modifikasi Marshall Spesifikasi Pengujian Bina Marga No.010/BM/2008*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil FT. Pekanbaru : Universitas Riau.
- Al Zubaidy, I. A., & Al-Tamimi, A. K.** (2014). Production of sustainable pavement with oil sludge. *Road Materials and Pavement Design, 2014*, 691-700.
- Bina Marga.** (1990). *SK SNI M 58-1990-03, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Bina Marga.** (1991). *SNI-03-2439. Metode Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1991). *SNI-06-2433. Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleveland Open Cup*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1991). *SNI-06-2434. Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1991). *SNI-06-2440. Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal dengan Cara A*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1991). *SNI-06-2441. Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (1991). *SNI-06-2456. Metode Pengujian Penetrasi Baha-Bahan Bitumen*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2000). *SNI-06-6441. Metode Pengujian Viskositas Bahan Aspal*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2003). *RSNI-M-01. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga.** (2010). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Bina Marga.** (1991). *SNI-06-2432. Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal*. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Craus, et al.** (1981). *Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Typa and Properties, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologis Tehnical Sessions*, San Diego, California, February 16, 17 and 18. Volume 50.
- Hunter, RN.** (1994). *Bituminous Mixtures in Road Construction*. Thomas Telford. London.
- Putra, N. G.** (2017). *Pemanfaatan Limbah Oil Sludge Untuk Campuran Beraspal Jenis Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton) Dengan Pengujian Marshall*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil FT. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Standar Nasional Indonesia.** (2005). *RSNI T 01. Cara Uji Butiran Agregat Berbentik Pipih, Lonjong, atau Pipih dan Lonjong*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia.** (2008). *SNI 1969. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasioanal.
- Standar Nasional Indonesia.** (2008). *SNI-1970. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia.** (2008). *SNI-2417. Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sukirman, S.** (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S.** (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.

- Sutazril, Mukhelnalis.** 2014. *Durabilitas AC-WC Spesifikasi Bina Marga 2010 Menggunakan Pasir Alam Kampar Dengan Uji Rendaman Modifikasi Marshall.* Skripsi Jurusan Teknik Sipil FT. Pekanbaru : Universitas Riau.
- Yolanda, H.** 2011. *Durabilitas Retona Blend 55 Menggunakan Bahan Tambah Serat Goni dengan Tes Perendaman Modifikasi Marshall Spesifikasi Pengujian Bina Marga No. 010/BM/2008.* Skripsi Jurusan Teknik Sipil FT. Pekanbaru : Universitas Riau.