

PEMANFAATAN LIMBAH *OIL SLUDGE* UNTUK CAMPURAN BERASPAL JENIS LATASTON (LAPIS TIPIS ASPAL BETON) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL

Gia Nugraha Putra¹⁾, Gunawan Wibisono²⁾, Alfian Malik²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293

E-mail: gia.nugraha.putra@gmail.com / g.wibisono@eng.unri.ac.id / alfmalik@gmail.com

ABSTRACT

Riau Province is well-known for its petroleum industry. The exploration and production activities of the industry produce waste products which potentially contaminate the environment. One of the petroleum waste is oil sludge. Based on the PP 101 2014, oil sludge is categorized as hazardous and toxic waste (B3) that must be processed before disposal. This study aims to investigate the potential of oil sludge as a partial replacement of asphalt in Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC). In this study the variation of oil sludge addition was 0%, 4%, 6% and 8% of the weight of asphalt. The addition of oil sludge decreased the optimum asphalt content (OAC) and increased the unit weight of the asphalt concrete mixture. This is caused by the fine grains contained in the oil sludge. Based on the Marshall characteristics test results, the maximum allowable content of oil sludge that could be used was 4% with 6.43% of OAC and 1,231 kg of average stability value which satisfied the specifications of Bina Marga 2010 Revision 3.

Keyword : oil sludge, asphalt concrete, HRS-WC, Specification of Bina Marga 2010 Revision 3

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri dan penduduk dalam suatu wilayah memiliki dampak negatif pada lingkungan hidup. Limbah industri dan rumah tangga yang tidak ditangani dengan baik dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Provinsi Riau terkenal dengan industri minyak buminya. Dalam kegiatan eksplorasi dan produksi, dihasilkan pula limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu bentuk limbah minyak bumi tersebut adalah *oil sludge*. *Oil sludge* terbentuk akibat ceceran minyak bumi pada saat aktivitas pertambangan maupun hasil dari sisa pemurnian minyak bumi.

Dalam pengolahan minyak bumi tentunya tidak semua yang dapat diolah dan akan menghasilkan limbah industri yang disebut *oil sludge*. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 85 Jo. PP 18 Tahun 1999 *oil sludge* termasuk ke dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga harus dikelola sesuai ketentuan yang berlaku.

Karena alasan biaya pengolahan yang mahal, banyak industri perminyakan hanya menyimpan limbah-limbah tersebut di dalam tangki penyimpanan tanpa adanya proses pengolahan.

Penanganan limbah *oil sludge* dengan cara memanfaatkannya menjadi produk konstruksi, merupakan cara yang dibenarkan oleh peraturan yang berlaku. Pada tahun 2015 (Hermadi, Ronny, & Yamin, 2015) telah melakukan penelitian tentang pemanfaatan *oily-sludge* sebagai bahan peremaja *Buton Rock Asphalt (BRA)* untuk campuran dingin. Hasil dari penelitian ini menunjukkan *oily-sludge* dapat digunakan sebagai bahan peremajaan, *modifier bitumen BRA* tipe 5/20 dan menghasilkan nilai stabilitas 1.610 kg. Cara lain yang dapat digunakan adalah untuk campuran material perkerasan jalan yaitu, untuk campuran lapis tipis aspal beton (Lataston).

Campuran beraspal jenis Lataston memiliki karakteristik banyak menggunakan agregat halus sehingga akan memerlukan

kadar aspal optimum yang tinggi. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *oil sludge* diperoleh 94,02% minyak, 5,98% agregat halus dan 6,75% air. Tingginya kandungan minyak dalam *oil sludge* diperkirakan akan menghasilkan kadar aspal optimum (KAO) yang tinggi apabila digunakan pada campuran Lataston. Atas dasar inilah akan lebih baik apabila *oil sludge* dimanfaatkan untuk campuran Lataston dan pengaruhnya akan lebih terlihat jelas. Lebih lanjut dapat ditentukan komposisi aspal, agregat dan *oil sludge* yang ideal untuk campuran Lataston yang tetap memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan skala laboratorium di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau, dengan pengujian metode *Marshall* (RSNI M-01-2003), yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 revisi 3 dan gradasi campuran agregat yang dipakai adalah gradasi campuran aspal beton Lataston-WC.

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk pengujian campuran Lataston-WC terdiri dari:

1. Aspal PEN 60/70 merek Esso
2. Agregat kasar dan halus produksi PT. Alas Watu Emas
3. *Oil sludge* dengan karakteristik kimia yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Kimia *Oil Sludge*

Parameter	Baku mutu	Hasil Pengujian
TCLP (Mg/L)		
Sb	1	<0,2
As	0,5	<0,02
Ba	35	0,8
Be	0,5	<0,02
B	25	<0,2
Cd	0,15	<0,02
Cr	2,5	<0,05
Cu	10	<0,02
Pb	0,5	0,4
Hg	0,05	<0,0005
Mo	3,5	0,02

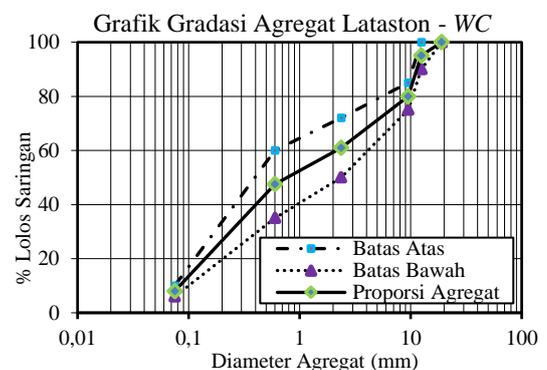
Parameter	Baku mutu	Hasil Pengujian
TCLP (Mg/L)		
Ni	3,5	<0,02
Se	0,5	<0,2
Ag	5	<0,02
Zn	50	1
Trib. Oxide	50	<10
TPH (Mg/Kg)	10.000	196000
PAH (Mg/Kg)	10	<1

2.2 Gradasi Agregat Campuran

Campuran beraspal Lataston merupakan campuran dengan gradasi senjang. Batas bawah dan batas atas dari spesifikasi digunakan sebagai dasar penentuan gradasi yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk memudahkan pengerjaan dan memenuhi batas yang telah ditentukan maka penelitian ini menggunakan campuran dengan gradasi agregat kasar 39%, agregat sedang 53% dan bahan pengisi 8% yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2. Gradasi Agregat Campuran

Nomor Saringan	Spesifikasi Lolos Saringan		Proporsi Agregat (Agregat Lolos)		Agregat Tertahan (%)
	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)	(%)	(%)	
mm	inci	(%)	(%)	(%)	(%)
19	3/4"	100	100	100,0	0,0
12,5	1/2"	90	100	95,0	5,0
9,5	3/8"	75	85	80,0	15,0
2,36	No. 8	50	72	61,0	19,0
0,6	No. 30	35	60	47,5	13,5
0,075	No. 200	6	10	8,0	39,5
Pan					8,0



Gambar 1. Grafik Gradasi Campuran Lataston-WC

2.3 Perkiraan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO dapat ditentukan menggunakan rumus empiris berdasarkan gradasi target dan proporsi agregat yang digunakan, KAO dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + \\
 &\quad 0,18(\%FF) + C \\
 &= 0,035(39\%) + 0,045(53\%) + 0,18(8\%) \\
 &\quad + 1 \\
 &= 6.19\%
 \end{aligned}$$

dengan :

- CA : Agregat kasar
- FA : Agregat sedang
- FF : Bahan pengisi

2.4 Perencanaan Benda Uji

Setelah diperoleh perkiraan nilai KAO dari campuran ditentukan variasi kadar aspal yang akan digunakan, variasi tersebut adalah 5,5%, 6%, 6,5%, 7% dan 7,5% dari berat total campuran sedangkan variasi *oil sludge* adalah 0%, 4%, 6% dan 8% dari berat aspal. Pengambilan variasi *oil sludge* berdasarkan *trial and error*, jika hasil pengujian karakteristik *Marshall* kadar *oil sludge* pertama memenuhi spesifikasi maka pengujian akan dilanjutkan dengan menaikkan kadar *oil sludge* kemudian berhenti jika penambahan *oil sludge* menghasilkan nilai karakteristik *Marshall* yang tidak memenuhi spesifikasi.

Jumlah benda uji yang akan digunakan untuk penentuan KAO masing-masing campuran didasarkan pada variasi kadar aspal dan *oil sludge* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Benda Uji

Kadar Aspal (%)	Variasi <i>Oil Sludge</i> Terhadap Persentase Aspal (%)				Jumlah Benda Uji (bh)
	0	4	6	8	
5.5	3	3	3	3	12
6	3	3	3	3	12
6.5	3	3	3	3	12
7	3	3	3	3	12
7.5	3	3	3	3	12
Total					60

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Agregat

Agregat yang diuji adalah agregat kasar dengan ukuran 1-2 dan agregat medium sedangkan agregat halus yang diuji adalah agregat abu batu. Pengujian yang dilakukan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3. Hasil pengujian terhadap agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4 dan hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.

Secara umum hasil pengujian agregat kasar dan halus telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

3.2 Hasil Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70 merek Esso yang diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa aspal yang digunakan telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

3.3 Hasil Pengujian Campuran Aspal dengan *Oil Sludge*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan penggunaan *oil sludge* menurunkan kualitas aspal yang digunakan. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.

Secara keseluruhan hasil pengujian telah memenuhi spesifikasi yang digunakan, kecuali nilai viskositas kinematis dan penetrasi. Hal ini diakibatkan oleh kandungan minyak dalam *oil sludge* yang membuat aspal menjadi lebih encer dan lunak.

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
				Min	Maks
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	natrium sulfat	SNI 3407:2008	7,317	12	
	magnesium sulfat		-	18	
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	Campuran AC	SNI 2417:2008	100 putaran	6	
	Modifikasi		500 putaran	30	
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		100 putaran	8	
			500 putaran	40	
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)		SNI 2439:2011	97,18	95	
Butir pecah pada agregat kasar (%)		SNI 7619:2012	92,97	95/90	
Partikel pipih dan lonjong (%)		ASTM D4791 Perbandingan 1: 5	7,33	10	

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Maks
Nilai setara pasir (%)	SNI 03-4428-1997	80,24	60	
Angularitas dengan uji kadar rongga (%)	SNI 03-6877-2002	45,99	45	
Gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat (%)	SNI 03-4141-1996	0,131	1	

Tabel 6. Hasil Pengujian Aspal

Sifat-sifat Material Yang Diuji	Standar Uji	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi	
				Min	Maks
Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	SNI-06-2456-1991	dmm	63,50	60	70
Penetrasi, (Setelah Kehilangan Berat)	SNI-06-2456-1991	%	88,48	54	
Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	SNI-06-2432-1991	°C	53,10	48	
Titik Nyala degan <i>Cleveland Open Cup</i>	SNI-06-2433-1991	°C	335	232	
Daktalitas, 25 °C, 5 cm/menit	SNI-06-2432-1991	cm	141,5	100	
Daktalitas, (Setelah Kehilangan Berat)	SNI-06-2432-1991	cm	130	100	
Berat Jenis	SNI-06-2441-1991		1,043	1	
Kehilangan Berat (TFOT)	SNI-06-2441-1991	% berat	0,387	0,8	
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	°C	465	300	

Tabel 7. Hasil Pengujian Campuran Aspal dengan *Oil Sludge*

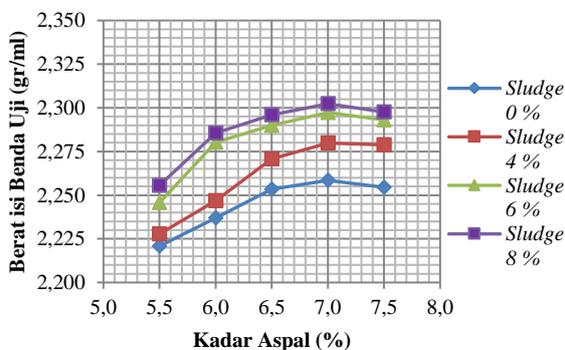
Sifat - Sifat Material Yang Diuji	Standar Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian Campuran Aspal: <i>Oil Sludge</i>			Spesifikasi	
			Dengan Variasi <i>Oil Sludge</i>			Min	Maks
			4	6	8		
Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	SNI	dmm	84,75	88,50	92,83	60	70
Penetrasi, (Setelah Kehilangan Berat)	06-2456-1991	%	87,32	86,04	85,51	54	
Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	SNI	°C	52,00	51,75	51,30	48	
Titik Nyala dengan <i>Cleveland Open Cup</i>	06-2432-1991						
	SNI	°C	285,0	274,00	264,0	232	
Daktilitas, 25 °C, 5 cm/menit	06-2433-1991						
	SNI	cm	137,75	134,45	127,80	100	
Daktilitas, (Setelah Kehilangan Berat)	06-2432-1991						
	SNI		125,30	120,75	114,0	100	
Berat Jenis	06-2441-1991						
	SNI		1,040	1,038	1,035	1	
Kehilangan Berat (TFOT)	06-2440-1991	%	0,419	0,460	0,559	0,8	
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI	°C	430,0	345,00	275,0	300	
	06-6441-2000						

3.4 Karakteristik *Marshall* Campuran Lataston-WC Kondisi Standar

a. Berat Isi (*density*)

Gambar 2 di bawah ini menunjukkan semakin bertambahnya kadar aspal, nilai berat isi suatu campuran akan semakin meningkat, hingga batas tertentu berat isi akan menurun. Penurunan berat isi ini diakibatkan terlalu banyaknya aspal yang mengakibatkan sedikitnya jumlah agregat dalam campuran beraspal.

Dengan bertambahnya kadar *oil sludge* dalam campuran ternyata membuat peningkatan nilai berat isi, hal ini dikarenakan kandungan agregat halus dalam *oil sludge* mengisi rongga-rongga dalam campuran sehingga membuat porositasnya rendah.

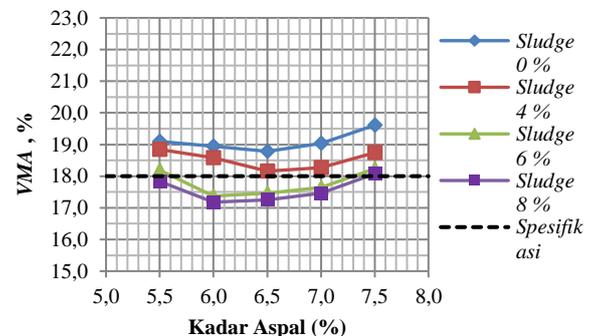


Gambar 2. Grafik Hubungan Berat Isi dengan Kadar Aspal

b. Rongga dalam Mineral Agregat (*VMA*)

Gambar 3 di bawah ini menunjukkan campuran aspal dengan *oil sludge* memiliki karakteristik yang sama dengan campuran pada umumnya. Nilai *VMA* dari hasil penelitian ini semakin menurun seiring bertambahnya kadar aspal kemudian akan naik kembali pada kadar aspal $\pm 6,5\%$.

Nilai *VMA* menunjukkan ruang yang tersedia dalam campuran untuk menampung volume efektif aspal kecuali yang diserap agregat. Bina Marga menetapkan batas minimal nilai *VMA* dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 untuk campuran Lataston-WC adalah 18%.



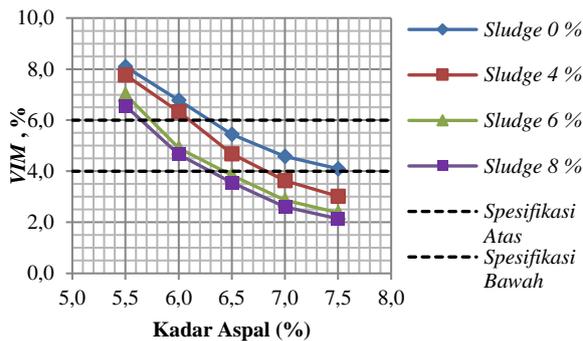
Gambar 3. Grafik Hubungan *VMA* dengan Kadar Aspal

Gambar 3 menunjukkan dengan bertambahnya kadar *oil sludge* dalam campuran akan mengakibatkan penurunan

nilai *VMA*. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 campuran dengan kadar *oil sludge* 6% dan 8% menunjukkan nilai *VMA* di bawah batas yang telah ditetapkan. Penurunan nilai *VMA* ini dipengaruhi oleh semakin sedikitnya aspal yang harus menutupi rongga udara di antara partikel agregat dan perubahan gradasi akibat agregat halus dalam *oil sludge*.

c. Rongga dalam Campuran (*VIM*)

Gambar 4 di bawah ini menunjukkan penurunan nilai *VIM* seiring dengan bertambahnya kadar aspal, hal ini sesuai dengan nilai *VIM* pada umumnya. Kemudian dilihat dari penambahan kadar *oil sludge* mengakibatkan nilai *VIM* akan semakin menurun. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 menetapkan batasan untuk nilai *VIM* yaitu 3% sampai dengan 6% untuk campuran Lataston-WC.

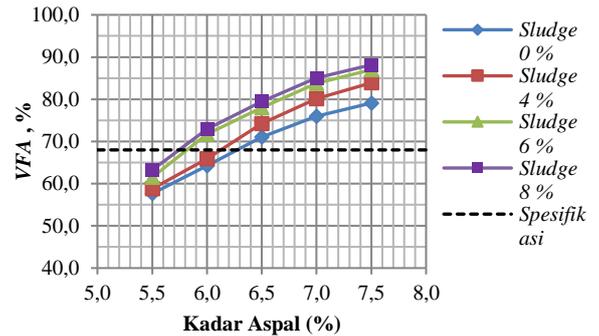


Gambar 4. Grafik Hubungan *VIM* dengan Kadar Aspal

d. Rongga Terisi Aspal (*VFA*)

Gambar 5 Menunjukkan Nilai *VFA* akan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 menetapkan batas minimum nilai *VFA* yaitu 68%.

Besarnya nilai *VFA* menunjukkan keawetan suatu campuran beraspal, semakin tinggi nilai *VFA* menunjukkan semakin banyak rongga terisi aspal yang membuat campuran beraspal akan semakin awet. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan nilai *VFA* dengan bertambahnya kadar *oil sludge*.

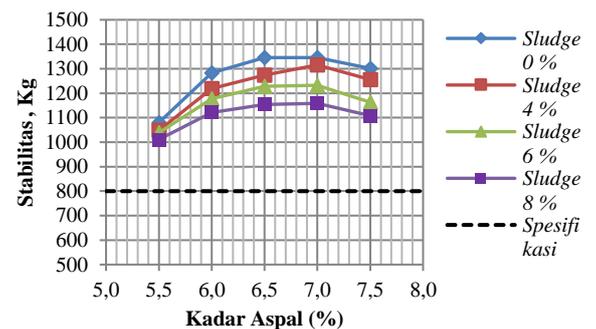


Gambar 5. Grafik Hubungan *VFA* dengan Kadar Aspal

e. Stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan suatu campuran untuk dapat menahan suatu deformasi yang diakibatkan oleh suatu beban. Semakin bertambahnya kadar aspal dalam suatu campuran akan membuat nilai stabilitas semakin tinggi namun akan turun pada titik tertentu. Hal ini diakibatkan menebalnya selimut aspal terhadap agregat, sehingga membuat campuran menjadi lentur dan nilai stabilitas menurun. Hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal untuk masing-masing variasi *oil sludge* dapat dilihat pada Gambar 6.

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa seluruh campuran telah memenuhi batas minimum nilai stabilitas yang telah ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu 800 kg.

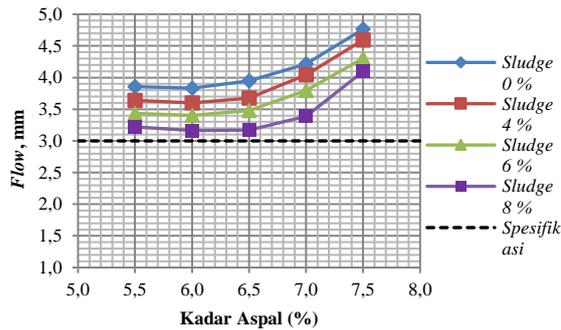


Gambar 6. Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

f. Kelelahan (*Flow*)

Gambar 7 menunjukkan semakin bertambahnya kadar aspal akan membuat nilai *flow* suatu campuran akan semakin meningkat. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, nilai *flow* yang dihasilkan dengan variasi penggunaan *oil*

sludge telah memenuhi batas minimal yaitu 3 mm.

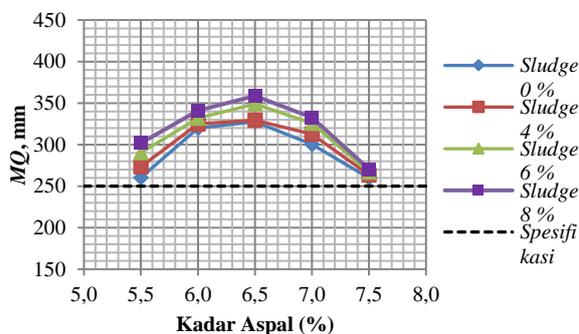


Gambar 7. Grafik Hubungan Flow dengan Kadar Aspal

g. Marshall Quotient (MQ)

Nilai *MQ* menunjukkan sifat kekakuan pada suatu perkerasan. Campuran dengan nilai *MQ* tinggi menunjukkan kecenderungan bersifat kaku dan kurang lentur. Sedangkan nilai *MQ* yang rendah menunjukkan perkerasan yang cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk apabila dibebani.

Dari Gambar 8 dapat dilihat nilai *MQ* semakin naik dan akan turun pada kadar aspal tertentu. Hal ini disebabkan oleh perbandingan nilai stabilitas terhadap flow. Nilai *MQ* tinggi apabila nilai stabilitas tinggi dan nilai *flow* rendah, dan begitu juga sebaliknya. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 menetapkan nilai minimum *MQ* untuk jenis perkerasan Lataston yaitu 250 kg/mm.



Gambar 8. Grafik Hubungan MQ dengan Kadar Aspal

h. Kadar Aspal Optimum (KAO)

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*.

Dari hasil pengujian karakteristik *Marshall* diperoleh nilai KAO untuk masing-masing campuran adalah:

1. Campuran 0% *oil sludge* = 6,88%
2. Campuran 4% *oil sludge* = 6,43%
3. Campuran 6% dan 8% *oil sludge* tidak dapat ditentukan nilai KAOnya karena hasil pengujian *VMA* dibawah spesifikasi yang ditentukan.

3.5 Pengujian Marshall Kondisi KAO

Setelah diperoleh nilai KAO dari masing-masing campuran, pengujian dilanjutkan pada pengujian *Marshall* kondisi campuran dengan kadar aspal optimum. Pengujian pada kondisi KAO ini ada 2 jenis yaitu pengujian dengan *Marshall* standar dengan cara melakukan perendaman pada suhu ruangan selama 24 jam kemudian dilanjutkan dengan perendaman pada suhu 60°C selama ±30 menit dan pengujian durabilitas *Marshall* dengan perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam. Kedua pengujian *Marshall* pada kondisi KAO ini bertujuan untuk menentukan indeks kekuatan sisa (IKS) atau stabilitas *Marshall* sisa dari campuran beraspal apabila direndam selama 24 jam pada suhu 60°C. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Marshall* Kondisi KAO

Variasi <i>Oil Sludge</i> (%)	Kadar Aspal (%)	No. Sampel	Stabilitas Awal (Kg)	Stabilitas Setelah Rendaman 60°C Selama 1 Hari (Kg)	Nilai IKS (%)	Spesifikasi (%)
0	6,88	1	1.302,82	1.262,94	96,94	90,00
		2	1.296,17	1.256,29	96,92	
		3	1.316,11	1.262,94	95,96	
Rata - rata		1.305,04	1.260,72	96,60		
4	6,43	1	1.262,94	1.183,17	93,68	
		2	1.223,06	1.163,23	95,11	
		3	1.209,76	1.169,88	96,70	
Rata - rata		1.231,92	1.172,09	95,14		

Spesifikasi umum bina marga 2010 revisi 3 menyebutkan nilai stabilitas *Marshall* sisa yaitu 90% dari nilai stabilitas awal. Dari Tabel 8 menunjukkan hasil pengujian campuran beraspal dengan variasi 0% dan 4% *oil sludge* telah memenuhi spesifikasi tersebut dengan nilai IKS besar dari 90%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan *oil sludge* menurunkan kualitas campuran aspal, namun masih memenuhi spesifikasi kecuali nilai penetrasi dan viskositas kinematis yang semakin menurun. Dimana nilai penetrasi yang dihasilkan untuk campuran 0%, 4%, 6% dan 8% *oil sludge* berturut-turut adalah sebagai berikut 63,5; 85,75; 88,5 dan 92,83 dmm sedangkan nilai viskositas kinematis yang dihasilkan adalah 465, 430, 345, 275.
2. Peningkatan nilai berat isi campuran beraspal menunjukkan pengaruh oleh butiran halus dalam *oil sludge* yang mengisi rongga-rongga dalam campuran.
3. Penambahan *oil sludge* membuat aspal menjadi semakin cair akibat kandungan minyak yang tinggi dalam *oil sludge*.
4. Penambahan kadar *oil sludge* menghasilkan nilai KAO yang semakin menurun, yaitu 6,88% untuk campuran

0% *oil sludge* dan 6,43% untuk campuran 4% *oil sludge*.

5. Kadar *oil sludge* maksimum yang dapat digunakan dalam campuran adalah 4% dari berat aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. (1999). *Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan berbahaya Beracun*. Jakarta: Sekretariat Bapedal.
- _____. (2014). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: Sekretariat Bapedal.
- 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. (SNI-06-2432. Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal). 1991. Jakarta: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Domel, I. I. (2014). *Penggunaan Pasir Alam dalam Campuran Beraspal Jenis AC-WC dengan Pengujian Marshall Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Hermadi, M., Ronny, Y., & Yamin, A. (2015, April). Pemanfaatan Oily-Sludge Sebagai Bahan Peremajaan Buton Rock Asphalt Untuk Campuran Dingin (*Utilization of Oily-Sludge as A Rejuvenator of Butin Rock Asphalt for Cold Mix*). *Jurnal Jalan-Jembatan, Volume 32 No. 1*, 44 - 53.
- Howardy, Suparma, L. B., & Satyarni, I. (2008, September 3). Perancangan Laboratorium Camuran HRS-WC dengan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) Sebagai Additive. *Jurnal Ilmiah Forum Teknik Sipil No. XVIII*, 921 - 933.
- Megazine, A. (2015, September 7). *Sludge Acts as Asphalt Binder*. Diambil kembali dari Asphalt Pro: <http://theasphaltpro.com/sludge-acts-as-asphalt-binder/>
- Standar Nasional Indonesia. (2005). *RSNI T 01. Cara Uji Butiran Agregat Berbentuk 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.