

PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT BATU GUNUNG PADA CAMPURAN MODIFIKASI ASPAL DAN *OIL SLUDGE* JENIS LATASTON TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Ben Sejahtera¹⁾, Alfian Malik²⁾, Mardani Sebayang²⁾

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 : ben.sejahtera@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Oil sludge is the result of the last distillation and deposition of petroleum. Oil sludge containing chemical compounds and heavy metals that are harmful to the environment. The management of oil sludge waste that is justified by regulation is by utilizing it into a construction product. This experiment aims to determine the effect of aggregate replacement on a mixture of modified asphalt type Hot Roll Sheet – Wearing Course (HRS – WC) and maximum levels of oil sludge that can be used in mixture. In this study, the aggregate constituents used mountain rock aggregate with variations of oil sludge 2%, 4%, 6%, 8% of asphalt weight. Replacement of constituent aggregates causes an increase in the value of density, VMA, and mixture stability. Effect is caused by good aggregate. Based on Marshall characteristic, replacement aggregate increase stability and void in mineral aggregate (VMA) value also decrease optimum asphalt content.

Keywords: oil sludge, modified asphalt, HRS – WC, Marshall characteristic

A. PENDAHULUAN

Oil sludge merupakan hasil penyulingan terakhir dan pengendapan yang bersumber dari pengeboran minyak bumi yang mengandung senyawa kimia dan logam berat yang berbahaya terhadap lingkungan. Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 mengategorikan limbah *oil sludge* sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). 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, sehingga limbah *oil sludge* masih bisa digunakan untuk produk konstruksi.

Putra (2016) telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *oil sludge* pada campuran Lataston. Penelitian tersebut menggunakan agregat batu sungai yang cenderung memiliki karakteristik kurang bagus. Batu sungai terbentuk dari proses sedimentasi, secara fisik batuan ini memiliki

banyak pori, rapuh dan penyerapan yang tinggi. Berat jenis *bulk* yang relatif rendah, nilai keausan yang tinggi, serta bentuk agregat yang bulat, menghasilkan campuran dengan karakteristik yang tidak memenuhi spesifikasi. Sehingga dari variasi *oil sludge* 4%, 6%, 8%, yang memenuhi spesifikasi hanya variasi 4% *oil sludge*.

Batu gunung merupakan batuan yang terbentuk dari pembekuan magma yang keluar dari perut bumi. Proses terbentuknya batu gunung adalah akibat magma yang keluar ke permukaan bumi teroksidasi dengan iklim permukaan, sehingga magma yang sebelumnya cair dan bersuhu tinggi, mengalami pengerasan. Akibat dari proses tersebut, terbentuk batuan yang padu, dan tahan terhadap suhu yang tinggi.

Pengujian di laboratorium membuktikan bahwa batuan gunung memiliki karakteristik lebih baik daripada batuan sungai untuk digunakan sebagai material perkerasan lentur. Dengan menggunakan agregat batu gunung,

persentase *oil sludge* yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian aspal cenderung dapat ditingkatkan, sehingga dapat meminimalisir penumpukan limbah *oil sludge* itu sendiri. Hasil penelitian ini nanti akan dibandingkan dengan penelitian yang menggunakan agregat batu sungai. Dari perbandingan itu akan dilihat apakah ada peningkatan mutu setelah dilakukan penggantian agregat penyusun.

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.

Tabel 1. Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lataston

Sifat-Sifat Campuran	HRS - WC	
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

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 2. Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran			
		Lataston (HRS)			
		Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang	
Ayakan	(mm)	WC	Base	WC	Base
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 Agregat

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

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 perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Ketentuan-ketentuan dalam penggunaan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 3. dan Tabel 4.

Tabel 3. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Spesifikasi	
	Min	Max
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan (%)	natrium sulfat	12
	magnesium sulfat	18
Abrasi dengan AC	100 putaran	6
Mesin Modifikasi	500 putaran	30
<i>Los Angeles</i> jenis	100 putaran	8
(%) campuran	500 putaran	40

Penguujian	Spesifikasi	
	Min	Max
aspal bergradasi lainnya		
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 4. Ketentuan Agregat Halus

Penguujian	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.2.2 Aspal

Aspal merupakan suatu unsur dari minyak bumi paling kasar, yang bukan hasil proses utama dalam destilasi minyak bumi, tetapi merupakan residu dari minyak mentah (Colbert, 1984).

Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen. Fungsi dari aspal adalah sebagai bahan pengikat dan pengisi rongga pada kombinasi agregat. Daya tahan aspal berupa kemampuan aspal mempertahankan sifatnya akibat pengaruh cuaca, sedangkan sifat adhesi dan kohesi yaitu kemampuan aspal mempertahankan ikatan yang baik.

Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 menyatakan persyaratan aspal keras harus memenuhi ketentuan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Untuk Aspal Keras

No.	Jenis Penguujian	Metoda Penguujian	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

No.	Jenis Penguujian	Metoda Penguujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
6	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
Penguujian 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
9	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3

B.2.3 Oil Sludge

Oil sludge merupakan kotoran minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak yang tidak dapat digunakan kembali dalam proses produksi. Kandungan terbesar dalam *oil sludge* adalah petroleum hidrokarbon (PT. Pertamina, 2001) dan logam berat (Prasetya, dkk., 2006; Budiarto, 2007). Pada umumnya, *oil sludge* ini dihasilkan dari pengendapan partikel – partikel halus dari bahan bakar minyak. Endapan tersebut semakin lama semakin menumpuk pada bagian bawah tangki – tangki penyimpanan. Proses oksidasi yang terjadi akibat kontak antara minyak, udara dan air menimbulkan sedimentasi pada dasar tangki, endapan ini disebut *oil sludge*. *Oil sludge* terdiri dari minyak (hidrokarbon), air, abu, pasir, dan bahan kimia lainnya. 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 penguujian 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
TCLP (Mg/L)		
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
TPH (Mg/Kg)	196000	10.000
PAH (Mg/Kg)	<1	10

Sumber: Bapedal (2015)

B.2.4 Batu Gunung

Agregat batu gunung adalah agregat yang diperoleh dari daerah gunung atau pegunungan. Sebelum digunakan untuk material perkerasan jalan, agregat ini masih berbentuk bongkahan yang padu. sehingga harus melalui proses pemecahan pada *stone crusher* untuk mendapatkan bentuk dan ukuran sesuai dengan spesifikasi perkerasan jalan. Agregat batu gunung cenderung berwarna gelap, karena merupakan hasil dari pembekuan magma di perut bumi yang keluar membentuk gunung atau pegunungan.

Secara fisik agregat batu gunung memiliki struktur yang lebih padu dan keras dibanding dengan agregat batu sungai. Karena berdasarkan proses terbentuknya, batu gunung terbentuk akibat pembekuan dari magma.

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 Laston Lapis Antara (AC-BC) dengan menggunakan metode pengujian *Marshall Test*. Sedangkan untuk standar pelaksanaan penguiannya digunakan Standar Nasional Indonesia (SI) yang berkaitan dengan pengujian Laston.

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.

Tabel 9. Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Variasi Oil Sludge 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 membuat benda uji *Marshall* pada kondisi kadar aspal optimum dengan pengujian *Marshall* standar dan rendaman pada suhu $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, jumlah sampel yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini:

Tabel 10. Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO

Variasi Oil Sludge (%)	Marshall Standar	Marshall Rendaman 60°C	Jumlah Sampel (bh)
0	3	3	6
2	3	3	6
4	3	3	6
6	3	3	6
8	3	3	6
Total			30

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun HRS – WC

Sebelum digunakan sebagai bahan campuran lapis tipis aspal beton atau Lataston, semua material atau bahan penyusun Lataston harus diuji karakteristiknya terlebih dahulu. Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah material yang digunakan layak untuk bahan campuran Lataston dan apakah telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3.

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	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 (Softening Point)	°C	53,95	48	

Titik Nyala degan Cleveland Open Cup	°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 11, 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.

Tabel 12. 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 (Softening Point)	SNI 06-2432-1991	°C	52,55	51,85	51,35	50,70	48	
Titik Nyala dengan Cleveland Open Cup	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 13. 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 14. 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 13 dan Tabel 14 bahwa hasil pengujian agregat kasar dan halus batu gunung menunjukkan kualitas yang lebih baik daripada agregat batu sungai. Dengan demikian agregat batu gunung telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal Lataston.

D.2. Analisis Pengaruh Penggunaan Agregat Batu Gunung Terhadap Karakteristik Marshall

Masing-masing nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan karakteristik campuran *Marshall* memiliki spesifikasi tertentu yang telah ditetapkan. Spesifikasi tersebut merupakan acuan

untuk mendapatkan nilai KAO dan campuran aspal beton yang berkualitas.

Rangkuman hasil pengujian karakteristik *Marshall* campuran

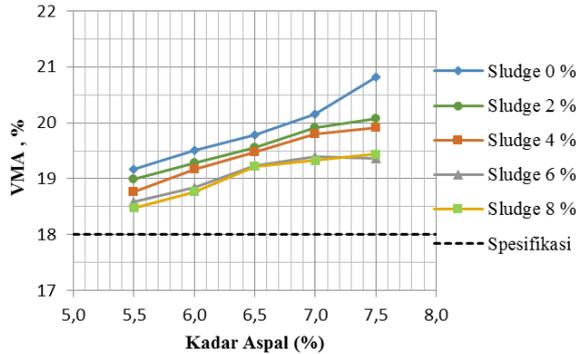
lataston dengan menggunakan agregat batu gunung dan campuran lataston dengan menggunakan agregat batu gunung sebagaimana pada Tabel 15.

Tabel 15. Rangkuman Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall*

Sifat - Sifat Material Yang Diuji (Nilai Rata - Rata)	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian Campuran Aspal : <i>Oil Sludge</i>					Spesifikasi	
		Dengan Variasi <i>Oil Sludge</i>					Min	Maks
		0	2	4	6	8		
Berat Isi Benda Uji, gr/ml	5,5	2,296	2,300	2,307	2,312	2,315		
	6,0	2,298	2,304	2,308	2,317	2,319		
	6,5	2,302	2,309	2,311	2,318	2,318		
	7,0	2,304	2,311	2,314	2,326	2,328		
	7,5	2,297	2,319	2,324	2,340	2,337		
% Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA), %	5,5	19,165	18,997	18,763	18,587	18,48		
	6,0	19,508	19,284	19,170	18,852	18,77		
	6,5	19,784	19,562	19,479	19,240	19,22	18	
	7,0	20,160	19,921	19,806	19,395	19,33		
	7,5	20,824	20,077	19,909	19,358	19,44		
% Rongga Dalam Campuran (VIM), %	5,5	7,556	7,258	6,853	6,566	6,345		
	6,0	6,798	6,424	6,141	5,679	5,474		
	6,5	5,959	5,574	5,313	4,931	4,799	4	6
	7,0	5,235	4,816	4,504	3,906	3,703		
	7,5	4,855	3,812	3,420	2,639	2,609		
% Rongga Terisi Aspal (VFA), %	5,5	60,600	61,810	63,505	64,679	65,675		
	6,0	65,159	66,727	68,014	69,908	70,856		
	6,5	69,908	71,508	72,855	74,379	75,038	68	
	7,0	74,176	75,899	77,263	79,868	80,843		
	7,5	76,696	81,016	82,819	86,439	86,585		
Stabilitas (Dengan Kalibrasi Alat), Kg	5,5	1218,87	1178,24	1164,70	1115,04	1087,95		
	6,0	1318,19	1295,61	1268,53	1227,90	1187,27		
	6,5	1453,62	1412,99	1412,99	1399,44	1340,76	800	
	7,0	1494,24	1469,42	1426,53	1358,81	1309,16		
	7,5	1331,73	1318,19	1291,10	1268,53	1205,33		
Kelelahan (Flow), mm	5,5	3,93	3,73	3,62	3,43	3,18		
	6,0	4,00	3,87	3,73	3,67	3,42		
	6,5	4,23	4,00	3,97	3,82	3,70	3	
	7,0	4,32	4,30	4,23	4,05	3,88		
	7,5	4,45	4,20	4,17	4,10	3,92		
Marshall Qoutient (Kg/mm)	5,5	297,62	307,57	309,38	305,86	324,58		
	6,0	329,85	327,33	326,66	332,67	331,87		
	6,5	339,83	348,91	351,76	352,02	348,20	250	
	7,0	330,12	337,01	336,97	331,40	327,96		
	7,5	291,53	309,45	301,75	301,73	299,70		

a. Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)

Nilai VMA menyatakan rongga di antara partikel agregat dalam suatu campuran yang sudah dipadatkan, termasuk rongga yang berisi aspal yang dinyatakan dengan persen dari volume total campuran. Nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi, berat jenis agregat, jumlah tumbukan dan suhu pemadatan.

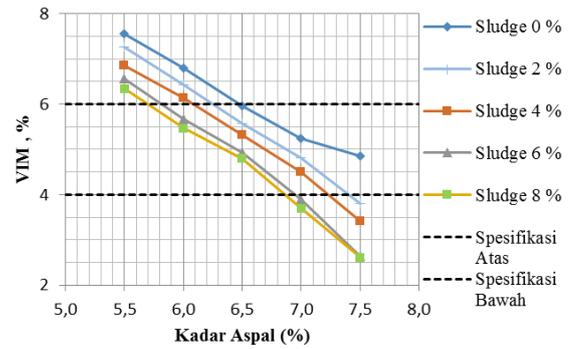


Gambar 1. Grafik Perbandingan Nilai VMA Campuran

Grafik hubungan VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan campuran aspal dengan *oil sludge* memiliki karakteristik yang sedikit berbeda dengan campuran pada umumnya. Nilai VMA dari hasil penelitian ini mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar aspal. Nilai VMA mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *oil sludge* pada campuran. Hal ini disebabkan oleh kadar minyak yang tinggi pada *oil sludge*, porositas campuran menurun.

b. Rongga dalam Campuran (VIM)

Nilai VIM menyatakan rongga dalam campuran yang telah terselubungi aspal. Nilai VIM dinyatakan dengan persen dari volume total campuran beraspal. Nilai VIM merupakan ukuran yang umum dikaitkan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Hubungan nilai VIM dengan kadar aspal hasil penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.

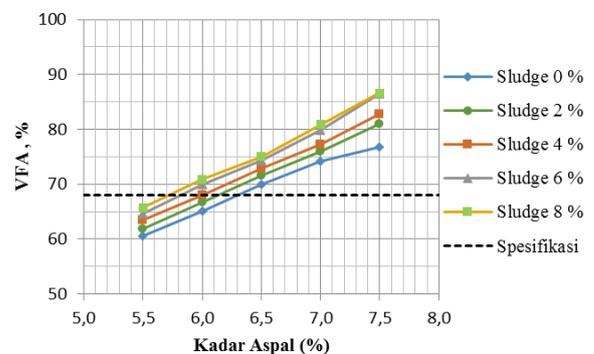


Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai VIM Campuran

Gambar 2 menunjukkan bahwa penggantian agregat dari batu sungai menjadi batu gunung tidak terlalu mempengaruhi nilai VIM. Penggantian agregat dengan batu gunung meningkatkan nilai VIM disetiap campuran *oil sludge*. Dengan pola grafik yang sama, 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 yang semakin menurun, hal ini menunjukkan butir halus dalam *oil sludge* yang mengisi rongga-rongga dalam campuran yang mengakibatkan turunnya nilai VIM.

c. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 menetapkan batas minimum nilai VFA yaitu 68%. Nilai VFA akan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai VFA Campuran

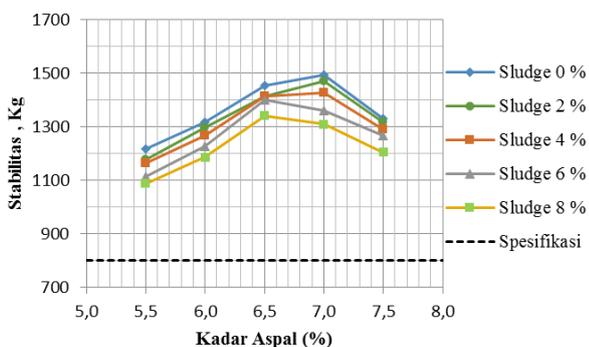
Besarnya nilai VFA menunjukkan keawetan suatu campuran beraspal, semakin tinggi nilai VFA menunjukkan semakin

banyak rongga terisi aspal yang membuat campuran beraspal akan semakin awet. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan nilai VFA dengan bertambahnya kadar *oil sludge*, hal ini menunjukkan semakin banyak rongga terisi aspal akibat bertambahnya butir halus dalam campuran. Berdasarkan Gambar 3, penggantian agregat pada campuran *oil sludge* tidak terlalu mempengaruhi tingkat keawetan dari campuran. Secara umum, campuran memiliki tingkat keawetan yang tinggi.

d. Stabilitas (MS)

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.

Dari gambar 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.



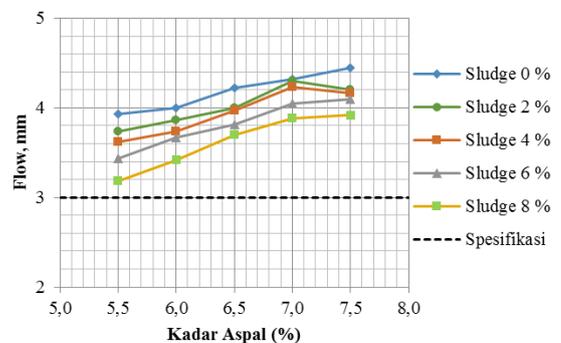
Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa penggantian agregat penyusun dengan batu pecah gunung, meningkatkan nilai stabilitas pada setiap campuran *oil sludge*, dengan nilai tertinggi 1500 kg, sedangkan untuk agregat batu sungai hanya mencapai nilai stabilitas maksimum 1350 kg. Hal ini disebabkan karena agregat batu gunung lebih keras, padu, dan memiliki bidang pecah lebih dari dua

bidang pecah, sehingga *interlocking* agregat pada campuran lebih tinggi. Apabila *interlocking* pada campuran tinggi, maka nilai stabilitas akan tinggi juga.

e. Kelelahan (flow, F)

Nilai *flow* menunjukkan tingkat kekakuan suatu perkerasan, nilai yang kecil cenderung menghasilkan perkerasan yang kaku dan getas. Hal ini akan mengakibatkan perkerasan akan mudah retak. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi akan membuat perkerasan bersifat plastis, hal ini akan mengakibatkan perkerasan akan mudah berubah bentuk apabila dibebani. Hubungan antara nilai *flow* dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.



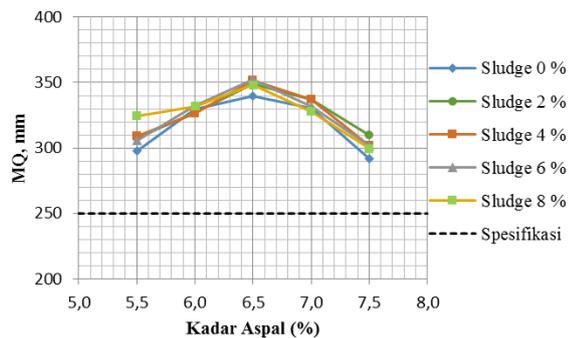
Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai Kelelahan Campuran

Dari Gambar 5, penggantian agregat tidak terlalu mempengaruhi kelelahan campuran, dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar aspal akan membuat nilai *flow* suatu campuran akan semakin meningkat. Kemudian dilihat dari penambahan *oil sludge* mengakibatkan menurunnya nilai *flow*, hal ini menunjukkan pengaruh butir halus dalam *oil sludge* yang membuat campuran menjadi lebih getas atau kaku.

f. Hasil Bagi Marshall (Marshall Quotient, MQ)

Besarnya nilai MQ tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan butiran yang saling mengunci antar butiran agregat dan kohesi campuran, serta *flow* yang dipengaruhi oleh sifat-sifat aspal, gradasi bahan penyusun dan jumlah

tumbukan. Hubungan antara nilai *MQ* dengan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Marshall Quotient Campuran

Berdasarkan Gambar 6, dengan memakai agregat batu gunung akan meningkatkan nilai *MQ*, karena stabilitas campuran dengan batu gunung lebih tinggi daripada campuran batu sungai. Campuran dengan batu gunung mampu menahan beban lalu lintas dengan baik daripada campuran batu sungai, karena lebih kaku dan tidak mudah mengalami perubahan bentuk ketika dibebani.

D.3. Penentuan Kadar Aspal Optimum dan Oil Sludge

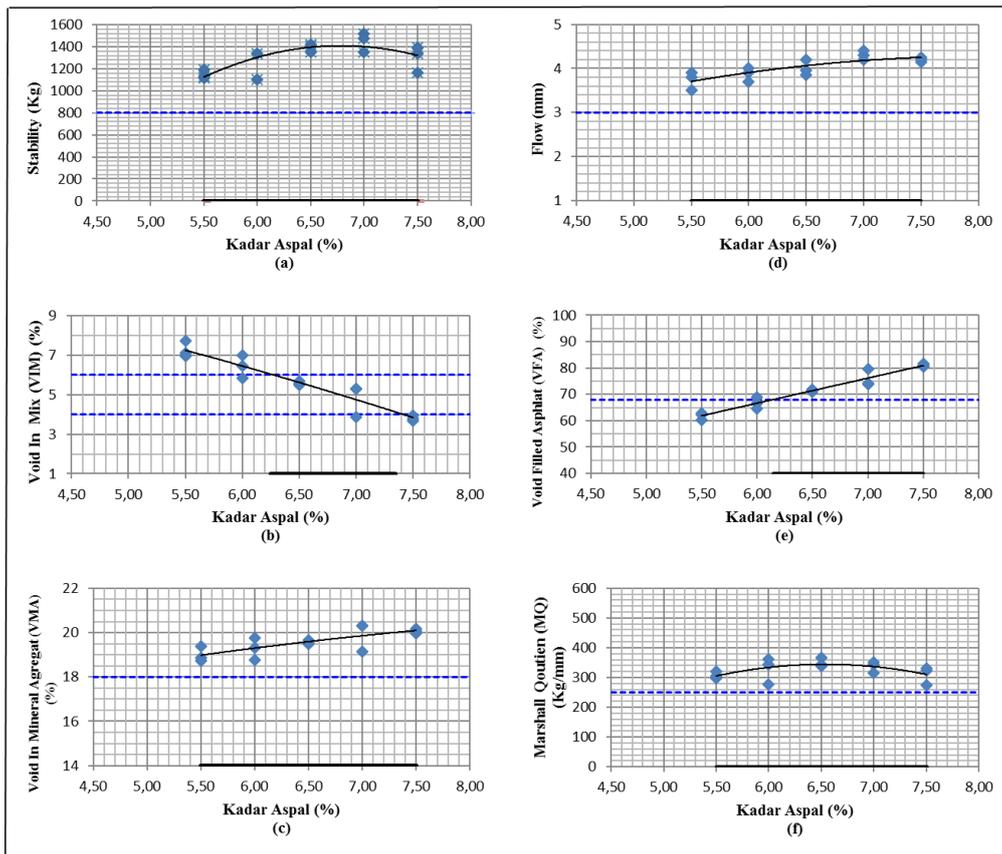
Metode yang digunakan dalam penentuan KAO adalah menggunakan metode pita berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan menganalisis lima karakteristik Marshall sebagai standar penentuan KAO.

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. Kadar aspal optimum diperoleh dari nilai yang memenuhi semua kriteria Marshall tersebut. Contoh penentuan KAO pada variasi 2% *oil sludge* sebagaimana pada Tabel 16.

Tabel 16 menunjukkan hasil dari 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 7 dan Tabel 17.

Tabel 16. 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 7. Grafik Hasil Uji Karakteristik Marshall

Tabel 17. 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 (%)			$\frac{6,25 + 7,5}{2} = 6,80 \%$				

Dari Gambar 7 dan Tabel 17 diperoleh nilai kadar aspal optimum 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 18.

Tabel 18. 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		

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggantian agregat batu gunung pada campuran modifikasi aspal dan *oil sludge* menyebabkan terjadinya peningkatan berat isi campuran, hal ini disebabkan oleh berat jenis agregat yang tinggi serta kemampuan agregat halus mengisi pori campuran. Penggantian agregat meningkatkan nilai VMA pada campuran *oil sludge* 6% dan 8%, dengan kadar *oil sludge* yang cukup tinggi ini membuktikan bahwa agregat batu gunung memiliki daya rekat yang tinggi terhadap aspal yang relatif cair
2. Kadar aspal optimum yang dapat digunakan dalam campuran adalah 6,30% dari berat campuran.
3. Kadar *oil sludge* maksimum yang dapat digunakan dalam campuran adalah 8% dari berat aspal. Nilai tersebut berdasarkan rentang variasi *oil sludge* yang digunakan. Mengalami peningkatan dari campuran dengan agregat batu sungai, kadar *oil sludge* yang dapat digunakan hanya 4% dari berat aspal.

E.2 Saran

1. Pengujian yang berkaitan dengan lingkungan terhadap produk hasil campuran beraspal dengan *oil sludge* perlu dilakukan, karena *oil sludge* mengandung senyawa kimia yang dapat mencemari lingkungan.
2. Gradasi butiran agregat halus dalam *oil sludge* sebaiknya diperhitungkan dalam penentuan komposisi atau proporsi campuran beraspal karena berpengaruh terhadap nilai berat isi yang semakin naik.
3. Penelitian lanjut dengan variasi *oil sludge* lebih dari 8%.

DAFTAR PUSTAKA

Anjarwati, S. (2013). *Analisis Keausan Agregat Batu Andesit Banyumas*

Dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto.

Ariska, Trivia. (2017). *Karakteristik Campuran Beraspal Jenis Laston Lapis Pengikat Yang Dicampur Oil Sludge Berdasarkan Pengujian Marshall.* Pekanbaru: Universitas Riau.

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.
- Lusyana. (2011). *Kajian Properties Agregat Batu Gunung Yang Digunakan Sebagai Material Campuran Beraspal*. Padang: Politeknik Negeri Padang.
- Peraturan Pemerintah (2014). *PP 101. Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Putra, N. G. (2017). *Pemanfaatan Limbah Oil Sludge Untuk Campuran Beraspal Jenis Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton) Dengan Pengujian Marshall*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Standar Nasional Indonesia. (1994). *SNI-3407. Cara Uji Kekakalan Agregat Terhadap Magnesium Sulfat atau Natrium Sulfat*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1997). *SNI-4428. Cara Uji Sand Equivalent*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2002). *SNI-6877. Cara Uji Kadar Rongga Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- 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, Silvia. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, Silvia. (1999). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Syaifullah, A. (2014). *Studi Tentang Kelayakan Agregat Batu Gunung*

Bukit Marsela di Kabupaten Ketapang Sebagai Material Lapis Pondasi. Pontianak: Universitas Tanjungpura.