

## Karakteristik Marshall Penggunaan Slag Sebagai Penambah Agregat Kasar Pada Campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC)

Lutfi Cahyadi<sup>1</sup>, Suratmin<sup>2</sup>, Ahmad Ravi<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ketapang

<sup>2</sup>Jurusan, Fakultas, Institusi

Email: ahmadravi@politap.ac.id\*

### Abstract

Asphalt concrete is one type of bending pavement that is commonly used in Indonesia. Asphalt concrete is a layer on highway construction consisting of a mixture of hard asphalt and aggregates that well graded, mixed, spread and compacted in hot state at a certain temperature. In this study, aggregate substitute materials the rough used is waste from steel smelting (Slag). The utilization of Slag as a substitute for coarse aggregates can be reducing environmental problems due to Slag being included in waste B3 (Hazardous and Toxic Materials) and its huge amount. Purpose from this study is to find out the physical properties of Slag used as a substitute material for coarse aggregates and the influence of the use of Slag against Marshall's characteristics in the AC-BC mixture. In this study Slag is used as a coarse aggregate enhancer material in AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) mixture with asphalt content obtained from the optimum asphalt content of 6% and Slag used is 10% and 20%. The results of this study show that slag cannot be used as a coarse aggregate enhancing agent. The influence on Marshall's characteristics is also seen from the lower stability values of the normal mixture. For VFA, VIM, VMA, Flow and MQ values indicate that do not meet the specification

Keywords: *Asphalt Concrete, Marshall characteristics, Slag*

### Abstrak

Aspal beton (*Asphalt Concrete*) merupakan salah satu jenis perkerasan lentur yang umum digunakan di Indonesia. Aspal beton merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi vmenerus (*well graded*), dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Pada penelitian ini bahan pengganti agregat kasar yang digunakan adalah limbah hasil peleburan baja (*Slag*). Pemanfaatan *Slag* sebagai bahan pengganti agregat kasar dapat mengurangi masalah lingkungan dikarenakan *Slag* termasuk dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dan jumlahnya yang begitu banyak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisis *Slag* yang digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar dan pengaruh penggunaan *Slag* terhadap karakteristik Marshall dalam campuran AC-BC. Pada penelitian ini digunakan *Slag* sebagai bahan penambah agregat kasar pada campuran AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) dengan kadar aspal didapat dari kadar aspal optimum sebesar 6% dan *Slag* yang digunakan adalah 10% dan 20%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *slag* tidak dapat dijadikan sebagai bahan penambah agregat kasar. Pengaruh terhadap karakteristik Marshall juga terlihat dari nilai stabilitas yang lebih rendah dari campuran normal. Untuk nilai VFA, VIM, VMA, *Flow* dan MQ menunjukkan nilai yang tidak memenuhi spesifikasi.

Kata kunci: Asphalt Concrete, Karakteristik Marshall, Slag

Diterima Redaksi : 03-02-2023 | Selesai Revisi : 25-06-2023 | Diterbitkan Online : 10-07-2023

### 1. Pendahuluan

Semakin meningkatnya pembangunan diberbagai bidang maka kebutuhan sarana transportasi semakin menambah, sehingga perlunya pengembangan dan penyempurnaan sarana transportasi tersebut[1]. Perkembangan teknologi pada saat ini harus mampu untuk mengatasi masalah-masalah yang ada secara

teknis dan mampu diterapkan sesuai ketersediaan sumber daya.

Jalan adalah seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang berada di permukaan tanah, di atas permukaan tanah dan atau air, serta diatas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

(UU Nomor 22 Tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan).

Aspal merupakan bahan yang larut dalam Karbon Disulfida yang mempunyai sifat tidak tembus air dan mempunyai sifat adesi atau daya lekat sehingga umum digunakan dalam campuran perkerasan jalan dimana aspal sebagai bahan pengikatnya[1], [2]. Dalam *AASHTO* (1990), menyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasinya. Angka penetrasi menunjukkan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal akan semakin rendah. Demikian pula sebaliknya, jika semakin kecil angka penetrasi, maka tingkat kekerasan aspal akan semakin tinggi. Ada beberapa tingkat penetrasi aspal yang sering digunakan dalam campuran aspal, diantaranya adalah aspal penetrasi 40/50, 60/70, dan 80/100.

Lapis aspal beton (Laston) merupakan suatu lapisan jalan yang terdiri dari campuran antara agregat, asbuton dan bahan pelunak yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara panas[3]. Beton aspal lebih peka terhadap variasi kadar aspal dan gradasi agregat. Lapisan ini terbuat dari campuran dengan gradasi yang menerus.

Laston pada lapis antara disebut dengan *AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course)* merupakan lapisan perkerasan yang terletak ditengah dan berfungsi sebagai lapis antara Laston Lapis Aus (*AC-WC*) dengan Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*)[4]. Tebal minimum lapis antara adalah 6 cm berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018[5].

Konstruksi jalan yang dibangun di Indonesia pada umumnya merupakan perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*)[6]. Saat ini sudah banyak berbagai macam teknologi lapis keras seperti: Lapis Aspal Beton (*AC*), *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, *Hot Rolled Sheet (HRS)* yang merupakan modifikasi dari *HRA* dan sebagainya. Dengan adanya berbagai macam teknologi tersebut, maka dapat dilakukan pemilihan alternatif yang terbaik disesuaikan dengan ketersediaan material bahan, kemudahan pekerjaan, kondisi tanah dasar, beban lalu lintas yang akan dilewati, kondisi geometrik dan iklimnya.

*Slag* merupakan limbah yang diperoleh dari hasil peleburan pabrik pengolahan besi pada proses terak tanur tinggi[3], [7]. Di Indonesia dengan perkembangan industri baja yang semakin pesat mengakibatkan terciptanya *slag* baja sebanyak 800 ribu ton/tahun, yang menyebabkan permasalahan dipihak produsen baja. Sebab, menurut PP No. 101 Tahun 2014 mengatakan bahwa *slag* merupakan limbah B3 dari sumber spesifik[2], [8].

*Slag* adalah bahan baku logam (*non-metalic*) yang umumnya didapatkan dari terak dapur tinggi (tanur tinggi) proses pengolahan besi[2], [3]. *Slag* mengapung diatas cairan besi panas, karena berat jenis slag lebih kecil dari berat jenis besi itu sendiri. Hal ini akan mempermudah mengeluarkan cairan besi dan slag secara

terpisah, sehingga cairan besi yang dihasilkan bersih dari kotoran *slag* tersebut. *Slag* yang dihasilkan dari suatu pengolahan besi atau pemurnian logam dapat mencapai tiga kali dari volume cairan besi yang dihasilkan. Produksi sampingan atau bahan buangan pada proses pemurnian logam pada tanur dengan temperatur tinggi dapat berupa *slag*[2], [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas campuran aspal beton dengan penggunaa *Slag* sebagai penambah bahan agregat kasar. Selain itu, dilakukan perbandingan antara campuran aspal tanpa penambahan *Slag* dengan pengaruh penambahan *Slag* berdasarkan nilai stabilitasnya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif dalam pemilihan penggunaan bahan penambah agregat kasar dalam konstruksi perkerasan jalan. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai inovasi dalam penggunaan limbah lokal bagi Dinas PUPR Kabupaten Ketapang untuk proyek perkerasan jalan.

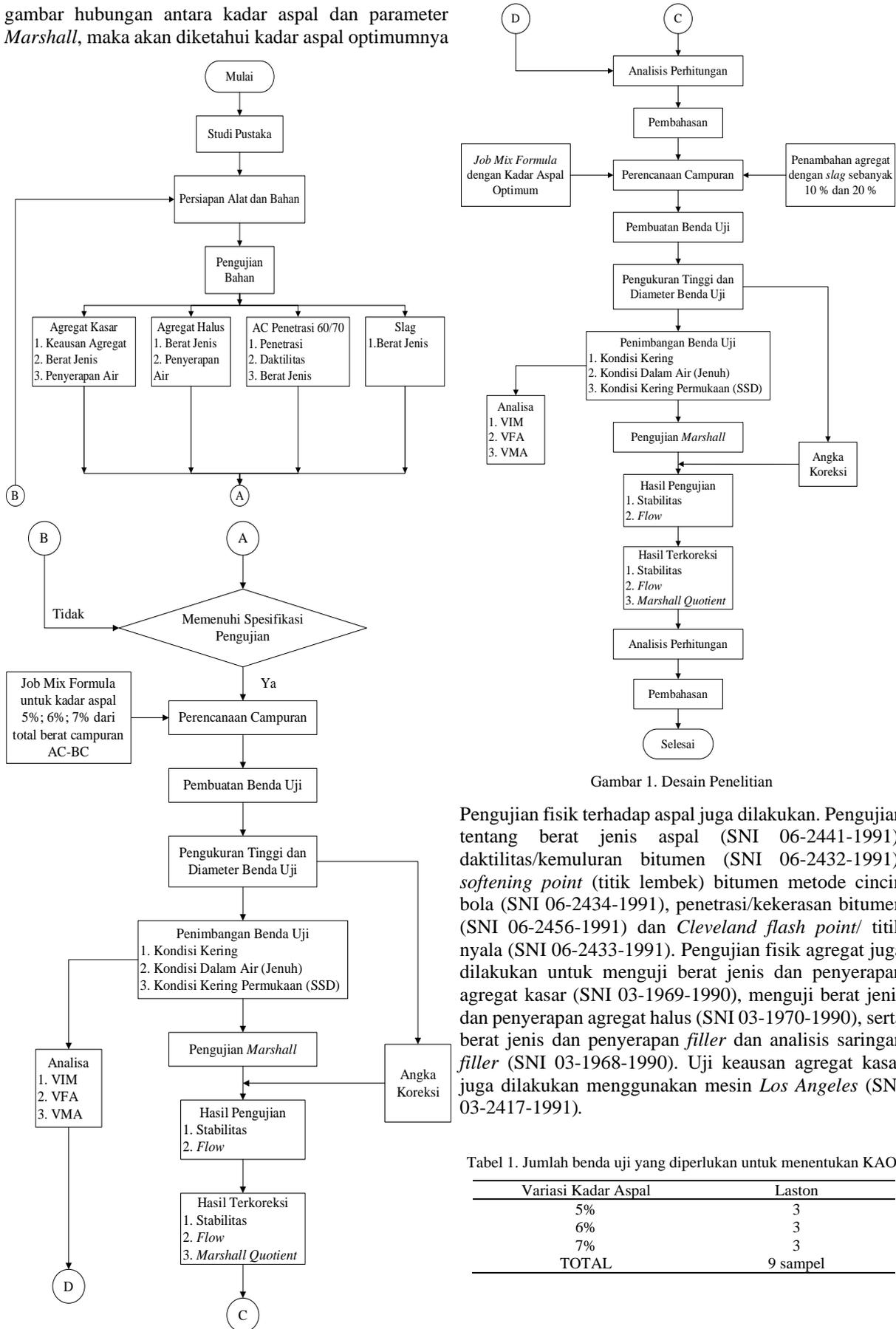
## 2. Metode Penelitian

Pelaksanaan pengujian dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan, yaitu pengujian bahan seperti pengujian agregat dan aspal, penentuan gradasi campuran serta dilanjutkan dengan pengujian Marshall.

Tahapan penelitian meliputi

- (1) Tahap persiapan yakni mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti agregat kasar, agregat halus, *slag*, dan aspal. Alat-alat yang digunakan adalah alat untuk pengujian agregat kasar, agregat halus, dan aspal serta alat uji *Marshall*.
- (2) Pengujian Bahan terdiri Pemeriksaan Fisik Agregat kasar dan halus, pengujian aspal, dan uji material *slag*
- (3) Perencanaan Campuran yaitu pengujian KAO dengan variasi kadar aspal 5%, 6%, dan 7% dari total campuran agregat. Untuk *slag* yang akan digunakan adalah 10% dan 20%
- (4) Pembuatan benda uji dilakukan sesuai dengan perencanaan gradasi pada campuran AC-BC. Setiap agregat yang akan diganti dengan *slag* ditimbang dan diganti dengan *slag* sebanyak 10% dan 20%. Setelah dilakukan penimbangan dan pencampuran agregat, lalu agregat tersebut dicampur dengan aspal panas sesuai dengan hasil penelitian KAO yang telah didapatkan dengan suhu pencampuran 155° C. kemudian campuran aspal dan agregat tersebut dimasukkan kedalam cetakan untuk ditumbuk sebanyak 75x setiap sisinya. Benda uji dibuat sebanyak tiga buah untuk setiap campuran.
- (5) Pengujian Marshall yaitu pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran yang telah didapat dari hasil uji gradasi, sesuai spesifikasi campuran. Pengujian *Marshall* untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*). Dari hasil

gambar hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, maka akan diketahui kadar aspal optimumnya



Gambar 1. Desain Penelitian

Pengujian fisik terhadap aspal juga dilakukan. Pengujian tentang berat jenis aspal (SNI 06-2441-1991), daktilitas/kemuluran bitumen (SNI 06-2432-1991), softening point (titik lembek) bitumen metode cincin bola (SNI 06-2434-1991), penetrasi/kekerasan bitumen (SNI 06-2456-1991) dan Cleveland flash point/ titik nyala (SNI 06-2433-1991). Pengujian fisik agregat juga dilakukan untuk menguji berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 03-1969-1990), menguji berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 03-1970-1990), serta berat jenis dan penyerapan filler dan analisis saringan filler (SNI 03-1968-1990). Uji keausan agregat kasar juga dilakukan menggunakan mesin Los Angeles (SNI 03-2417-1991).

Tabel 1. Jumlah benda uji yang diperlukan untuk menentukan KAO

Variasi Kadar Aspal	Laston
5%	3
6%	3
7%	3
<b>TOTAL</b>	<b>9 sampel</b>

Tabel 2. Jumlah benda uji yang diperlukan untuk variasi *Slag*

Variasi Kadar <i>Slag</i>	Laston	
10%	3	
20%	3	
TOTAL	6 sampel	

Berdasarkan perencanaan jumlah benda uji/sampel yang digunakan adalah sebanyak 15 buah benda uji. Selanjutnya dilakukan perencanaan campuran aspal (*Hotmix design*) dengan variasi kadar material *Slag* pada campuran yang digunakan yaitu sebesar 10% dan 20%. Setelah benda uji selesai dibuat, maka dilakukan pengujian stabilitas campuran dengan alat *Marshall*. Uji parameter *Marshall* mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 tentang Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat *Marshall*. Analisis dilakukan terhadap sifat-sifat *Marshall*, yaitu stabilitas *Void in Minerale Agregate (VMA)*, *Void Filled with Bitumen (VFB)*, *Void in Mix (VIM)* dan *flow/ kelelahan* campuran.

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis data inferensial. Analisis inferensial dengan Uji Whitney berdasarkan prosedur pengumpulan data. Perhitungan dilakukan dengan bantuan *Microsoft Excel*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Prodi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan Politeknik Negeri Ketapang. Variasi kadar material *Slag* pada campuran yang digunakan yaitu, sebesar 10% dan 20%. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal pen 60/70. Dari hasil pengujian yang dilakukan, aspal mempunyai karakteristik yang memenuhi spesifikasi.

#### 3.1. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal dan Agregat

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Penetrasi 25° C (0,1 mm)	60-70	61,2	mm	Memenuhi
2.	Daktilitas 25° C (cm)	≥ 100,0	107,3	cm	Memenuhi
3.	Berat Jenis	≥ 1,00	1,061	-	Memenuhi

Dari hasil pemeriksaan penetrasi aspal 60/70 diperoleh nilai rata-rata pengujian adalah 61,2 mm. Dengan didapatnya hasil tersebut, maka nilai penetrasi aspal 60/70 yang diuji memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu 60-70, sehingga aspal dapat digunakan sebagai bahan pada campuran beton aspal panas.

Adapun hasil pengujian daktilitas aspal penetrasi 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 107,3 cm sehingga memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu ≥ 100 cm. Adapun berat jenis aspal yang sudah dilakukan pengujian yaitu sebesar 1,061. Berdasarkan hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa aspal tersebut memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu ≥ 1,0.

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Abrasi	≤ 40,00	12,78	%	Memenuhi
2.	Berat Jenis Curah Kering	≥ 2,50	2,66	-	Memenuhi
3.	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	≥ 2,50	2,68	-	Memenuhi
4.	Berat Jenis Semu	≥ 2,50	2,73	-	Memenuhi
5.	Penyerapan Air	≤ 3,00	1,01	%	Memenuhi

Hasil pengujian agregat kasar yang ditunjukkan pada Tabel 4. bahwa agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai berat jenis curah kering ( $S_d$ ) 2,66; berat jenis jenuh kering permukaan ( $S_s$ ) 2,68; sedangkan berat jenis semu ( $S_a$ ) sebesar 2,73; dan penyerapan air ( $S_w$ ) sebesar 1,01%. Nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang digunakan sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan tahan terhadap abrasi, ini terlihat dari nilai keausan rata-rata yang diperoleh yaitu sebesar 12,78% atau memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) yaitu maksimal 40%.

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Berat Jenis Curah Kering	2,40 - 2,60	2,49	-	Memenuhi
2.	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	2,40 - 2,60	2,51	-	Memenuhi
3.	Berat Jenis Semu	2,40 - 2,60	2,55	-	Memenuhi
4.	Penyerapan Air	≤ 3,00	1,01	%	Memenuhi

Pada pengujian agregat halus, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai berat jenis curah kering ( $S_d$ ) 2,49; berat jenis jenuh kering permukaan ( $S_s$ ) 2,51; sedangkan berat jenis semu ( $S_a$ ) sebesar 2,55; dan penyerapan air ( $S_w$ ) sebesar 1,01%

#### 3.2. Pemeriksaan *Slag*

Pada penelitian ini limbah *slag* yang digunakan berasal dari PT. Alas Kusuma Jaya, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. Spesifikasi material mengacu pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Adapun hasil pengujian karakteristik *slag* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pemeriksaan *Slag*

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Berat Jenis Curah Kering	≥ 2,50	2,81	-	Memenuhi
2.	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	≥ 2,50	2,82	-	Memenuhi
3.	Berat Jenis Semu	≥ 2,50	2,83	-	Memenuhi
4.	Penyerapan Air	≤ 3,00	0,34	%	Memenuhi

Nilai berat jenis curah kering ( $S_d$ ) didapatkan nilai 2,81, nilai berat jenis jenuh kering permukaan ( $S_s$ ) didapatkan 2,82, nilai berat jenis semu ( $S_a$ ) didapatkan 2,83, dan nilai penyerapan air didapatkan 0,34%. Nilai berat jenis *slag* lebih besar dibandingkan dengan agregat biasa.

### 3.3. Hasil Pengujian Marshall untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Cara mudah membuat layout adalah dengan menggunakan panduan ini secara langsung

Hasil pengujian Marshall terhadap campuran aspal beton panas untuk mendapatkan nilai KAO yaitu nilai kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), VMA (*void in mineral aggregate*), VFA (*void filled with asphalt*), VIM (*void in the mix*), kelelahan (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ) pada benda uji dengan masing-masing kadar aspal sebanyak 3 buah benda uji. Untuk mendapatkan nilai KAO yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan pengujian dengan cara percobaan pengujian *Marshall* dengan variasi kadar aspal 5%, 6%, dan 7%.

Kepadatan (*density*) adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Campuran yang memiliki nilai kepadatan yang besar akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai kepadatan yang lebih rendah.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kepadatan (*Density*)

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	2,278	2,281	2,291
2	2,276	2,290	2,292
3	2,277	2,276	2,290
Rata-rata	2,277	2,282	2,291

Berdasarkan Tabel 6 di atas, didapatkan nilai kepadatan sebesar 2,277 gr/cc pada kadar aspal 5%; 2,282 gr/cc pada kadar aspal 6%; dan 2,291 pada kadar aspal 7%. Nilai kepadatan mengalami peningkatan setiap penambahan kadar aspal.

Rongga terisi aspal (VFA) menyatakan persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFA semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi oleh aspal sehingga kedapatan campuran aspal terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFA Aspal dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian VFA

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	67,3	77,0	87,6
2	67,0	78,9	87,8
3	67,1	76,2	87,5
Rata-rata	67,1	77,4	87,6

Nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan aspal mudah mengalami *bleeding*, sedangkan nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran air aspal terhadap air berkurang karena rongga yang terisi oleh aspal hanya sedikit. Dengan banyaknya rongga yang tidak terisi oleh aspal, maka air dan udara akan semakin mudah masuk ke dalam lapis perkerasan aspal yang menyebabkan keawetan lapis perkerasan akan berkurang.

Berdasarkan Tabel 7, nilai VFA pada kadar aspal 5% adalah 67,1%. Pada setiap penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai VFA berturut-turut adalah sebesar 77,4% dan 87,6%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), maka nilai VFA yang memenuhi spesifikasi harus  $\geq 65\%$ . Maka dapat disimpulkan nilai VFA dari semua kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

Rongga diantara mineral agregat (VMA) adalah rongga udara yang terdapat diantara mineral agregat termasuk ruang yang terisi aspal pada campuran beraspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal.. Hubungan antara kadar aspal dan nilai VMA dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 4.

Tabel 8. Hasil Pengujian VMA

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	16,0	16,7	17,3
2	16,0	16,4	17,2
3	16,0	16,9	17,3
Rata-rata	16,0	16,7	17,3

Berdasarkan Tabel 8, nilai VMA pada kadar aspal 5% adalah sebesar 16,0% pada setiap penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai VMA mengalami peningkatan berturut-turut adalah 16,7% dan 17,3%. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), nilai VMA pada campuran laston minimal sebesar  $\geq 14\%$ . Nilai VMA pada semua benda uji memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

Rongga dalam campuran (VIM) adalah besarnya rongga campuran pada suatu campuran aspal beton panas yang dinyatakan dalam persentasi. Nilai VIM dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, dan kepadatan. Hubungan antara kadar aspal dengan nilai VIM terdapat pada Tabel 8 dan Gambar 5 berikut.

Tabel 9. Hasil Pengujian VIM

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	16,0	16,7	17,3
2	16,0	16,4	17,2
3	16,0	16,9	17,3
Rata-rata	16,0	16,7	17,3

Berdasarkan Tabel 8, nilai VIM kadar aspal 5% adalah sebesar 5,3%. Pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai VIM mengalami penurunan berturut-turut sebesar 3,8% dan 2,1%. Hal ini dapat disimpulkan semakin banyak penambahan kadar aspal, maka nilai VIM akan semakin kecil. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston, nilai VIM memenuhi syarat adalah sebesar 3%-5%. Nilai VIM yang memenuhi syarat adalah pada kadar aspal 6% yaitu sebesar 3,8%.

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding*.

Semakin tinggi volume lalu lintas yang membebani sebuah jalan, maka stabilitas yang dibutuhkan oleh perkerasan jalan tersebut semakin tinggi. Stabilitas campuran pada pengujian *Marshall* ditunjukkan dengan pembacaan nilai stabilitas yang dikoreksi dengan angka koreksi tebal benda uji.

Tabel 10. Hasil Pengujian Stabilitas

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	712,2	944,9	889,1
2	553,4	1025,1	929,9
3	648,6	914,5	907,2
Rata-rata	638,1	961,5	908,7

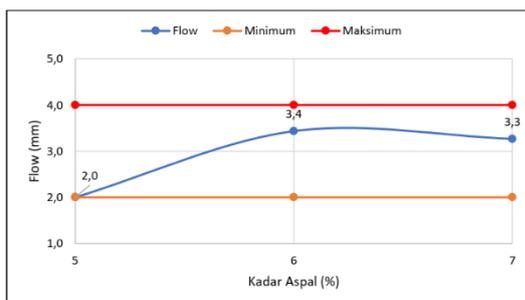
Berdasarkan Gambar 10, nilai stabilitas pada kadar aspal 5% adalah sebesar 638,1 kg, pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% mengalami kenaikan berturut-turut sebesar 961,5 kg dan 908,7 kg. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2) tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston, nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 kg. dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada kadar aspal 6% dan 7% memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

Kelelahan atau *flow* menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi terhadap lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Penurunan terjadi terhadap lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai kelelahan dipengaruhi antara lain oleh gradasi agregat, kadar aspal, dan proses pemadatan yang meliputi suhu pemadatan dan energi pemadatan.

Tabel 11. Hasil Pengujian Kelelahan (*flow*)

Benda Uji	Kadar Aspal (%)		
	5	6	7
1	2,3	3,4	3,1
2	1,7	3,7	3,4
3	2,0	3,2	3,3
Rata-rata	2,0	3,4	3,3

Campuran lapis keras yang memiliki nilai kelelahan yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung bersifat kaku dan getas. Sedangkan campuran lapis keras yang memiliki nilai kelelahan yang tinggi dengan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis. Sifat plastis yang dimiliki oleh lapis keras akan memudahkan lapis keras mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban lalu lintas. Berikut ini adalah Tabel 11 dan Gambar Hubungan kadar aspal dan kelelahan



Gambar 2. Grafik Hubungan Kelelahan dan Kadar Aspal

Pada kadar aspal 5%, nilai *flow* sebesar 2,0 mm. Pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai *flow* mengalami peningkatan pada arloji pembacaan yaitu sebesar berturut-turut 3,4 mm dan 3,3 mm. Nilai *flow* tertinggi ditunjukkan oleh penambahan kadar aspal sebesar 6%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston, nilai *flow* minimum adalah sebesar 2 mm dan maksimal sebesar 4 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada setiap kadar aspal memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

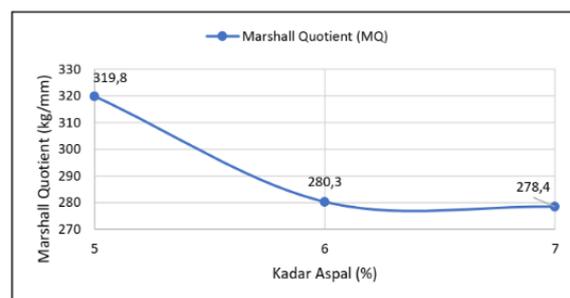
Tabel 12. Hasil Marshall Quotient

Benda Uji	Kadar Slag (%)		
	0	10	20
1	277,9	87,1	334,0
2	277,1	83,6	72,6
3	285,8	59,1	224,1
Rata-rata	280,3	76,6	210,2

Nilai *Marshall Quotient (MQ)* adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*). Semakin besar nilai *Marshall Quotient (MQ)* maka campuran lapis keras akan semakin kaku dan semakin kecil *Marshall Quotient (MQ)*. Hal ini akan mengakibatkan perkerasan lapis kerasnya akan semakin lentur. Berikut ini adalah Tabel 12 dan Gambar 8 Hubungan Kadar Aspal dan *Marshall Quotient*.

Pada kadar aspal 5%, nilai MQ sebesar 319,8 kg/mm. Pada penambahan kadar aspal 6% dan 7% nilai MQ mengalami penurunan berturut-turut sebesar 280,3 kg/mm dan 278,4 kg/mm. nilai MQ tertinggi ditunjukkan oleh kadar aspal 5% yaitu sebesar 319,8 kg/mm.

Nilai kepadatan pada setiap penambahan kadar aspal 5% sampai 7% berturut-turut mengalami peningkatan. Nilai VFA yang terendah pada kadar aspal 5% dan tertinggi pada kadar aspal 7%. Nilai VMA yang memenuhi syarat pada kadar aspal adalah 5% sampai 7%.



Gambar 3. Grafik Hubungan MQ dan Kadar Aspal

Nilai VIM berturut-turut mengalami penurunan pada kadar aspal 5% sampai 7%. Pada pengujian stabilitas, nilai terendah didapat pada kadar aspal 5%, kemudian mengalami kenaikan pada kadar aspal 6% dan 7%. Nilai VFA, VIM, kepadatan, stabilitas, kelelahan dan MQ kadar aspal yang memenuhi syarat yaitu pada kadar aspal 6%. Kadar aspal yang memenuhi semua

persyaratan adalah kadar aspal sebanyak 6%. Maka KAO yang dapat digunakan adalah kadar aspal 6%.

### 3.4 Hasil Pengujian Marshall Campuran Aspal dengan Penambahan Slag

Setelah dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum, kemudian dilakukan pencampuran aspal dengan agregat yang

ditambahkan dengan *slag* sebagai penambah agregat kasar tertahan saringan 3/8” sebanyak 6 buah benda uji dengan persentase kadar *slag* dalam campuran sebesar 10% dan 20%. Masing-masing persentase adalah 3 buah benda uji. Kadar aspal yang digunakan adalah nilai kadar aspal yang telah didapatkan dengan melakukan pengujian kadar aspal sebelumnya, yaitu 6%.

Tabel 13. Hasil Pengujian Marshall Campuran Aspal Penambahan Slag

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi AC-BC	Kadar Slag		
			0%	10%	20%
1	Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2.282	2.203	2.248
2	VFA (%)	Min. 65%	77.4	64.6	71.0
3	VMA (%)	Min. 14%	16.7	19.1	17.9
4	VIM (%)	3 – 5%	3.8	7.1	5.2
5	Stabilitas	Min. 800 kg	961,5	140.3	196.7
6	Kelelehan	2 – 4 mm	3.4	1.8	1.5
7	MQ (kg/mm)	-	280.3	76.6	210.2

Pada hasil uji campuran aspal dengan tambahan *Slag* didapatkan hasil yang memenuhi untuk spesifikasi lapisan aspal AC-BC Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Pada campuran aspal *slag* 10% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (2,203 gr/cm<sup>3</sup>), nilai VMA (19.1%), dan nilai MQ (273.5 kg/mm). Pada campuran aspal *slag* 10% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VFA (64.6%), nilai VIM (7.1%), nilai stabilitas (728.8 kg), dan nilai kelelehan (2.7 mm).

Pada campuran aspal *slag* 20% yang memenuhi kriteria nilai kepadatan (2.248 gr/cm<sup>3</sup>), nilai VFA (71.0) nilai VMA (17.9%), dan nilai MQ (432.5 kg/mm). Pada campuran aspal *slag* 20% yang tidak memenuhi kriteria adalah nilai VIM (5.2%) nilai stabilitas (196.7 kg), nilai kelelehan (1.5 mm).

Pada penambahan kadar *slag* sebanyak 10%, nilai kepadatan, VFA, stabilitas, kelelehan, dan *Marshall Quotient* berturut-turut mengalami penurunan jika dibandingkan dengan aspal dengan 0% campuran *slag*. Namun nilai VMA dan VIM mengalami kenaikan.

Pada penambahan kadar *slag* sebanyak 20%, nilai kepadatan, VFA, stabilitas, dan *Marshall Quotient* mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan aspal dengan 10% campuran *slag*. Namun nilai VMA, VIM, dan kelelehan lebih rendah dibandingkan dengan aspal dengan campuran *slag* sebanyak 10%.

Pada penelitian ini, penentuan kadar *slag* optimum dilakukan untuk menetapkan besarnya kadar *slag* efektif dalam campuran yang diperlukan untuk pembuatan benda uji. Dari tabel 13 dapat disimpulkan dengan penambahan kadar *slag* sebanyak 10% dan 20% menunjukkan bahwa hasil pengujian *Marshall* tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), sehingga limbah *slag* pada kadar 10% dan 20% tidak dapat digunakan pada lapis perkerasan aspal beton.

## 4. Kesimpulan

Parameter Marshall pada campuran aspal *slag* 10% dan 20% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) lapisan aspal AC-BC.

## Daftar Rujukan

- [1] R. Rusmana and M. A. Sugiyanto, “Perbandingan Teknis Aspal Bakar Dan Aspal Emulsi Sebagai Bahan Pengikat Pada Campuran Perkerasan Jalan,” *J. Konstr. Dan Infrastruktur*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Jul. 2020, Accessed: Jan. 05, 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.ugj.ac.id/index.php/Konstruksi/article/view/3794>
- [2] F. Manguma, Alpius, and C. Kamba, “Pengaruh Penggunaan Slag Nikel Terhadap Indeks Kekuatan Sisa Campuran HRS-WC,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 3, Art. no. 3, Oct. 2020, doi: 10.52722/pcej.v2i3.139.
- [3] J. Pandiangan, “PENGARUH PENGGUNAAN STEEL SLAG SEBAGAI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN DAN LENTUR PADA BETON BERTULANG DIBANDINGKAN DENGAN BETON NORMAL”.
- [4] N. L. Lebang and N. M. Y. Lewaherilla, “Analisa Stabilitas Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dan Karet Alam Sebagai Material Perkerasan Jalan,” *Manumata J. Ilmu Tek.*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2021.
- [5] S. Meuthia, A. Suraji, and B. Hidayat, “Evaluasi Penerapan Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk Pelaksanaan Lapisan Perkerasan Lentur,” *CIVED*, vol. 8, no. 2, Art. no. 2, Sep. 2021, doi: 10.24036/cived.v8i2.112384.
- [6] Y. Oktopianto and D. W. Hidayat, “Analisis Efisiensi Penggunaan Teknologi Aspal Daur Ulang

Pada Jalan Tol Elevated Ir. Wiyoto Wiyono,” *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2020, doi: 10.35334/be.v4i2.1587.

- [7] A. Irawan and M. Azhar, “ANALISIS PENGGUNAAN SLAG UNTUK MEREDUKSI SEMEN PADA CAMPURAN BETON,” *J. Gradasi Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 142–149, Dec. 2022, doi: 10.31961/gradasi.v6i2.1471.
- [8] O. Firdaus and R. Kurniawan, “PENGGUNAAN LIMBAH PELEBURAN TIMAH (TIN SLAG) SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE UNTUK PERKERASAN JALAN RAYA,” *FROPIL Forum Prof. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, 2014, doi: 10.33019/fropil.v2i2.276.