

# PENGARUH PENGGANTIAN *STEEL SLAG* SEBANYAK 25%, 50%, 75%, 100% PADA AGREGAT TERTAHAN SARINGAN ½” TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* PADA CAMPURAN AC-WC<sup>1</sup>

Fitri Nurdianti<sup>2</sup>, Anita Rahmawati<sup>3</sup>, Emil Adly<sup>4</sup>

## ABSTRAK

*Limbah baja (Steel Slag) merupakan limbah hasil peleburan baja yang menjadi salah satu masalah lingkungan sehingga perlu dilakukan pemanfaatan limbah untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan. PT. Krakatau Steel adalah perusahaan industri baja terbesar di Indonesia dan menghasilkan steel slag yang perlu ditangani dan dimanfaatkan dengan benar. Lapis aspal beton (Asphalt Concrete/AC), merupakan salah satu jenis perkerasan lentur yang menggunakan gradasi agregat menerus dari butir yang kasar sampai yang halus. Kekuatan campuran ini terletak pada agregat-agregatnya yang saling mengisi. Sifat fisik steel slag yang menyerupai natural agregat dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti agregat dalam campuran laston. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik steel slag dan mengevaluasi karakteristik Marshall campuran dengan menggunakan steel slag sebagai pengganti agregat kasar tertahan saringan ½” dalam campuran Laston (AC-WC). Pada penelitian ini, steel slag dipakai sebagai pengganti agregat kasar pada campuran Laston yaitu agregat tertahan saringan ½” sebanyak 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan kadar aspal optimum (KAO) 6%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa steel slag dapat dijadikan sebagai bahan pengganti agregat. Dilihat dari sifat fisis steel slag yang mempunyai nilai abrasi 20,45% menunjukkan bahwa steel slag mempunyai mutu yang lebih baik dari natural agregat. Pengaruh terhadap karakteristik Marshall juga terlihat dari nilai stabilitas yang lebih tinggi dari campuran normal. Untuk nilai VFA, VIM, VMA, Flow dan MQ menunjukkan nilai yang memenuhi spesifikasi.*

**Kata Kunci : Asphalt Concrete, karakteristik Marshall, Steel Slag.**

<sup>1</sup>Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir, Mei 2016

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

<sup>3</sup>Dosen Pembimbing I

<sup>4</sup>Dosen Pembimbing II

## A. PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Sektor transportasi merupakan salah satu masalah yang sangat penting, sehingga pembangunan jalan raya yang didalamnya meliputi pekerjaan perkerasan jalan dihadapkan pada tantangan untuk terus meningkatkan kuantitas maupun kualitas, sehingga untuk mencapai hasil yang optimal harus menemukan suatu pembaruan yang bisa menghemat secara ekonomi dan lebih efisien ditinjau dari segi bahan, peralatan, tenaga kerja, dan metode pelaksanaan.

Disisi lain, semakin berkembangnya pembangunan juga sejalan dengan semakin meningkatnya produksi baja oleh pabrik industri baja. Pabrik industri baja bukan hanya menghasilkan baja

yang siap dipakai untuk keutuhan konstruksi, tetapi juga menghasilkan limbah baja (*steel slag*) yang bisa dikategorikan sebagai limbah berbahaya, dan sampai saat ini, belum ada perusahaan yang khusus mengolah limbah hasil peretakan baja.

Ditinjau dari segi ekonomis dalam pekerjaan pembuatan perkerasan jalan raya tanpa mengurangi kekuatan konstruksi jalan tersebut, maka penulis mencoba mencari alternatif lain yang dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar dengan menggunakan batuan *steel slag* dari limbah industri baja yang sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan, karena limbah ini tentu akan menjadi masalah lingkungan. Dari permasalahan tersebut, maka penulis

melakukan penelitian seberapa besar pengaruh pemanfaatan batuan *steel slag* terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran Lapis Aspal Beton (*AC-WC*).

## 2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Mengevaluasi sifat-sifat fisis *Steel Slag* yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada campuran *AC-WC*.
- b. Mengevaluasi campuran *AC-WC* dengan menggunakan *Steel Slag* dan campuran normal (*AC-WC* tanpa *Steel Slag*) terhadap karakteristik *Marshall*.

## 3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi bagi peneliti bidang perkerasan jalan, khususnya material jalan untuk mengkaji bahan-bahan alternatif perkerasan jalan. Manfaat lain dari penelitian ini, dengan memanfaatkan *Steel Slag* sebagai pengganti agregat campuran aspal dapat mengurangi dampak kerusakan lingkungan dikarenakan *Steel Slag* merupakan salah satu jenis limbah yang berbahaya.

## 4. Batasan Masalah

Batasan masalah kegiatan penelitian yang akan dilakukan adalah :

- a. Pemeriksaan aspal (penetrasi, titik lembek, titik nyala, kehilangan berat aspal, daktilitas, berat jenis aspal).
- b. Pemeriksaan agregat (berat jenis dan penyerapan air, abrasi dengan mesin los angeles dan kelekatan agregat pada aspal).
- c. Pemeriksaan *Steel Slag* (berat jenis dan penyerapan air, abrasi dengan mesin los angeles dan kelekatan agregat pada aspal).
- d. *Steel Slag* yang digunakan adalah limbah industri baja PT. Krakatau Steel.
- e. Aspal yang digunakan adalah penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina.

- f. Pengujian ini dibatasi pada campuran lapis aspal beton jenis *AC-WC* sesuai dengan spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2010 revisi 3.
- g. Gradasi campuran yang digunakan berdasarkan pada spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2010 revisi 3.
- h. Kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal optimum (KAO).
- i. Pengujian *Marshall* dengan komposisi *Steel Slag* 25%, 50%, 75% dan 100% pada agregat tertahan saringan ukuran 3/8".
- j. Pengujian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003).

### 2. Kinerja Perkerasan

Menurut Sukirman (1999), karakteristik campuran yang harus dimiliki campuran aspal beton campuran panas adalah :

- a. Stabilitas (*Stability*)
- b. Durabilitas (*Durability*)
- c. Fleksibilitas (*Flexibility*)
- d. Tahanan Geser (*Skid Resistance*)
- e. Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)
- f. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

### 3. Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis aspal beton (Laston) adalah suatu campuran yang digunakan pada konstruksi jalan raya, terbuat dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*) dengan proporsi tertentu. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan agregat pengisi (*filler*). Sedangkan aspal yang umumnya digunakan adalah aspal jenis penetrasi 60/70 dan jenis 80/100. Agregat dan aspal dicampur dalam keadaan panas, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas yang sering disebut juga dengan *hot mix*. Pekerjaan pencampuran dilakukan di pabrik pencampur, kemudian dibawa ke lokasi dan dihampar dengan menggunakan alat penghampar (*paving machine*) sehingga diperoleh lapisan lepas yang seragam dan merata untuk selanjutnya dipadatkan dengan mesin pemadat dan akhirnya diperoleh lapisan padat aspal beton (Sukirman, 1999).

### 4. Steel Slag

*Steel slag* adalah batuan kasar berbentuk kubikal tidak teratur. Batuan ini terbentuk dari mineral-mineral yang digunakan sebagai pemurnian baja dari dapur tinggi. Pemrosesan *slag* adalah proses pelaburan baja yang mengakibatkan terbentuknya *slag* dibagian atas, kemudian *slag* dialirkan dan ditampung dalam *slag pot* pada kondisi cair. Dalam waktu 5 menit *slag* membeku. Agar terbentuk serpihan, *slag* yang terhampar disemprot dengan air. Perubahan suhu yang mendadak membuat *slag* pecah, kemudian *slag* yang berbentuk serpihan dimasukkan ke dalam *processing plant* agar menjadi granular.

Batuan *steel slag* lebih berat dari batu gunung. Batuan *steel slag* yang berbentuk granular berongga jika terisi oleh filler dan aspal akan bereaksi secara kimia maupun secara fisik sehingga ikatan antar batuan *steel slag* akan lebih kuat, jika dipadatkan tahan terhadap pergeseran bila

ditekan dengan tekanan berat. Selain itu batuan *steel slag* mempunyai bentuk kasar yang dan berlubang-lubang (*porous*) akan memberikan ikatan yang lebih baik. *Steel slag* juga lebih tahan terhadap reaksi kimia dan perubahan suhu, karena logamnya telah dikeluarkan melalui pembakaran yang tinggi pada dapur tinggi lebih kurang 1600° C (Yus Anshari, 1998).

## C. LANDASAN TEORI

### 1. Karakteristik Marshall

Karakteristik campuran lapis perkerasan dipengaruhi oleh kualitas dan susunan bahan-bahan penyusunnya serta proses pelaksanaan dalam pengerjaannya. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh aspal beton campuran panas antara lain :

- Kepadatan (*Density*).
- Stabilitas (*Stability*).
- Kelelahan (*Flow*).
- Rongga di antara Mineral Agregat / *Void in Mineral Aggregate* (VMA).
- Rongga dalam Campuran / *Void in the Mix* (VIM).
- Rongga Terisi Aspal / *Void Filled with Asphalt* (VFA).
- Marshall Quotient* (MQ).

Tabel 1. Persyaratan sifat campuran untuk Laston (AC-WC)

No.	Sifat-sifat campuran	Persyaratan	
		Min	Maks
1.	Rongga dalam campuran (VIM) (%)	3,5	5,5
2.	Rongga dalam agregat (VMA) (%)	15	-
3.	Rongga terisi aspal (VFA) (%)	65	-
4.	Stabilitas / <i>stability</i> (Kg)	800	-
5.	Kelelahan / <i>flow</i> (mm)	3	-
6.	<i>Marshall Quotient</i> (MQ) (Kg/mm)	250	-

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga (2010)

## 2. Formula Perhitungan Marshall

### a. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

#### 1) Agregat Kasar

a) Berat jenis kering

$$S_d = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots (1)$$

b) Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots (2)$$

c) Penyerapan air

$$S_w = \left[ \frac{B-A}{A} \times 100\% \right] \dots\dots\dots (3)$$

d) Berat jenis efektif

$$B.J.Efektif = \frac{S_a + S_d}{2} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

Sd : Berat jenis kering

Sa : Berat jenis semu

Sw : Penyerapan air

A : berat benda uji kering oven

B : berat benda uji jenuh kering permukaan

C : berat benda uji dalam air

B.J

#### 2) Agregat Halus

a) Berat jenis kering

$$S_d = \frac{Bk}{(B+SSD-Bt)} \dots\dots\dots (5)$$

b) Berat jenis semu

$$S_a = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \dots\dots\dots (6)$$

c) Penyerapan air

$$S_w = \frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

d) Berat jenis efektif

$$B.J.Efektif = \frac{S_a + S_d}{2} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

Sd : Berat jenis kering

Sa : Berat jenis semu

Sw : Penyerapan air

Bk : Berat pasir kering

B : Berat piknometer + air

Bt : Berat piknometer + pasir + air

SSD : Berat pasir kering permukaan

#### 3) Rongga di antara Mineral Agregat (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \%aspal) \times \text{berat volume b.u.}}{B.J.Agregat} \dots (9)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

%Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)

B.J. Agregat : Berat jenis efektif

#### 4) Rongga dalam Campuran (VIM)

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume b.u.}}{B.J.maksimum teoritis} (10)$$

Berat jenis maksimum teoritis :

$$BJ = \frac{100}{\frac{\%agr}{B.J.Agr} + \frac{\%aspal}{B.J.Aspal}} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

#### 5) Rongga Terisi Aspal (VFA)

$$VFA = 100 \times \frac{\text{volume aspal}}{VMA} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

VFWA : Rongga terisi aspal (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

#### 6) Marshall Quotient (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

MQ : Marshall Quotient (kg/mm)

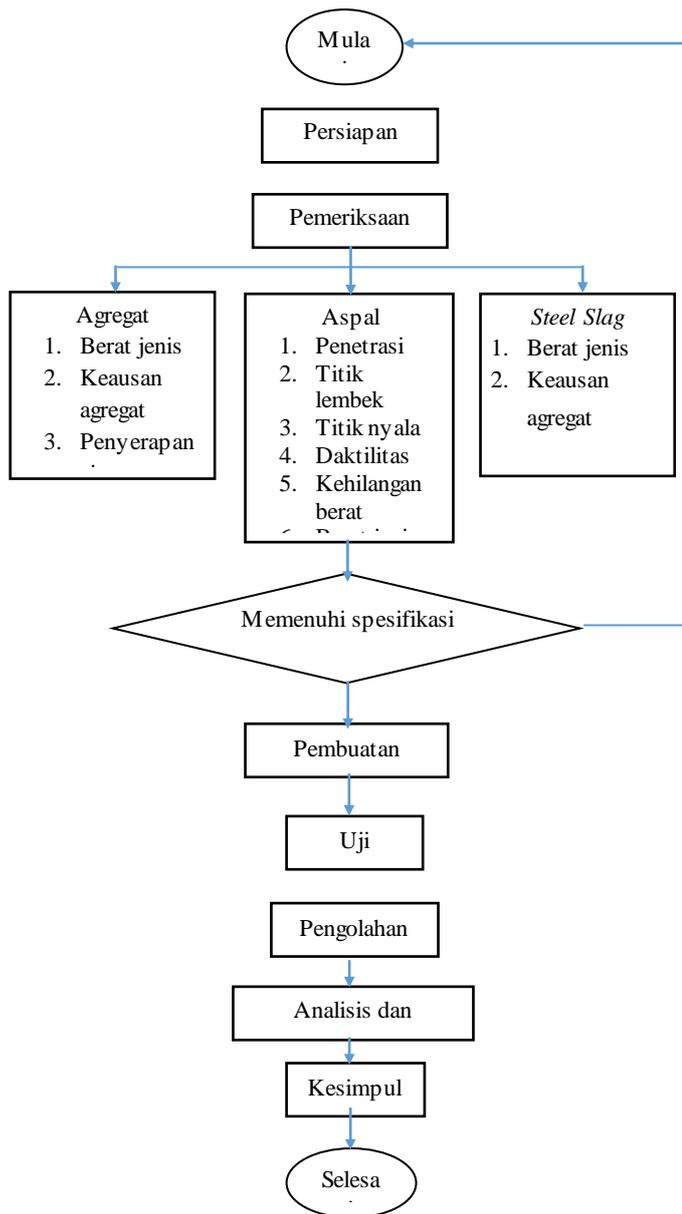
MS : Marshall Stability (kg)

MF : Marshall Flow (mm)

## D. METODE PENELITIAN

### 1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Tahapan penelitian dapat dilihat pada bagan alir berikut ini.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

## 2. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Aspal dengan penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina (Persero) Tbk. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian aspal

Tabel 2. Hasil pengujian aspal keras 60/70

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Metode
1.	Penetrasi 25° C, 100gr, 5 detik, 0,1 mm	60-79	67,20	SNI 06-2456-1991
2.	Titik Lembek (°C)	48-58	53	SNI 2434:2011
3.	Titik Nyala (°C)	≥ 200	320	SNI 2434:2011
4.	Berat jenis Aspal	≥ 1,0	1,04	SNI 2441:2011

- b. Agregat kasar dan halus yang berasal dari Clereng, Kulonprogo, Yogyakarta. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian agregat kasar dan halus.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
<b>Agregat Kasar</b>				
1.	Abrasi	≤ 40	38	%
2.	Berat jenis curah	≥ 2,5	2,5	gr/cc
3.	Berat jenis semu	≥ 2,5	2,67	gr/cc
4.	Penyerapan air	≤ 3	2,48	%
<b>Agregat Halus</b>				
1.	Berat jenis curah	≥ 2,5	2,52	gr/cc
2.	Berat jenis semu	≥ 2,5	2,72	gr/cc
3.	Penyerapan air	≤ 3	3,0	%

- c. *Steel slag* yang berasal dari PT. Krakatau Steel, Cilegon. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian *steel slag*.

Tabel 4. Hasil pengujian *steel slag*

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
1.	Abrasi	≤ 40	20,45	%
2.	Berat jenis curah	≥ 2,5	2,9	gr/cc
3.	Berat jenis semu	≥ 2,5	3,05	gr/cc
4.	Penyerapan air	≤ 3	1,675	%

## E. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan dua kali pengujian *Marshall* yaitu pengujian untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), kemudian KAO tersebut akan dipakai menjadi kadar aspal untuk campuran menggunakan *Steel Slag*.

### 1. Pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO

Tabel 5. Hasil pengujian *Marshall* tanpa penggunaan *steel slag*

Jenis Pemeriksaan	Kadar Aspal (%)				
	5	5,5	6	6,5	7
Density (gr/cm <sup>3</sup> )	2,22	2,28	2,26	2,28	2,29
VMA (%)	19,05	17,33	18,31	18,22	18,57
VFA (%)	59,18	73,62	75,92	83,78	89,27
VIM (%)	7,83	4,57	4,42	2,97	2,04
Stabilitas (kg)	1765,8	1446	1542	1630	1564,5
Flow (mm)	3,8	3,55	4,2	4,6	4,6
MQ (kg/mm)	384,5	318,9	370,5	459,5	411,7

Dari tabel diatas, dapat disimpulkan kadar aspal optimum dengan grafik dibawah ini.

No	Kriteria	Spesifikasi	5	5,5	6	6,5	7
1	Density	-	✓	✓	✓	✓	✓
2	VFA	min 65%	✓	✓	✓	✓	✓
3	VIM	3.5-5.5 %	✓	✓	✓	✓	✓
4	VMA	min 15%	✓	✓	✓	✓	✓
5	Stability	min 800kg	✓	✓	✓	✓	✓
6	Flow	min 3 mm	✓	✓	✓	✓	✓
7	MQ	min 250 kg/mm	✓	✓	✓	✓	✓

Gambar 2. Grafik penentuan KAO

- 1) Nilai VFA memenuhi syarat pada kadar aspal 5,2% sampai 7%.
- 2) Nilai VIM memenuhi syarat pada kadar aspal 5,3% sampai 6,3%.
- 3) Nilai VMA, *Density*, Stabilitas, *Flow*, dan MQ kadar aspal yang memenuhi syarat yaitu dari 5% sampai 7%.
- 4) Kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan adalah kadar aspal antara 5,3% sampai 6,3% karena semua kriteria memenuhi syarat yang ditentukan. Maka KAO dapat ditentukan dari kadar aspal 5,3% sampai 6,3%.

Maka penulis mengambil nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran AC-WC dengan tambahan *slag* sebagai pengganti agregat tertahan saringan 1/2" adalah sebesar 6%.

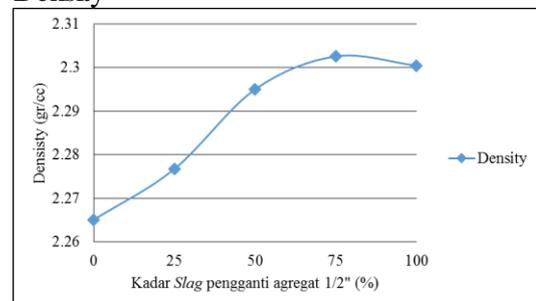
### 2. Pengujian *Marshall* campuran *Steel Slag*

Setelah dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum, kemudian dilakukan pencampuran aspal dengan agregat yang ditambahkan dengan *slag* sebagai pengganti agregat kasar tertahan saringan 1/2". Benda uji yang dibuat sebanyak 10 buah dengan prosentase *slag* pada agregat tertahan saringan 1/2" sebanyak 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% masing-masing 2 buah benda uji. Kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal optimum yang sebelumnya telah dicari, yaitu 6%. Hasil pengujian *Marshall* dengan campuran *slag* seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian *Marshall* campuran dengan *steel slag*

Jenis Pemeriksaan	% slag pada agregat tertahan saringan 1/2"				
	0	25	50	75	100
Density (gr/cm <sup>3</sup> )	2,26	2,27	2,29	2,30	2,30
VMA (%)	18,32	18,08	17,60	17,51	17,67
VFA (%)	75,92	77,31	80,10	80,68	79,85
VIM (%)	4,42	4,11	3,52	3,38	3,56
Stabilitas (kg)	1542	1808,7	1692,5	1661,1	1529,2
Flow (mm)	4,2	4,6	4,4	4,2	2,8
MQ (kg/mm)	370,5	391,1	386,1	391,9	586,3

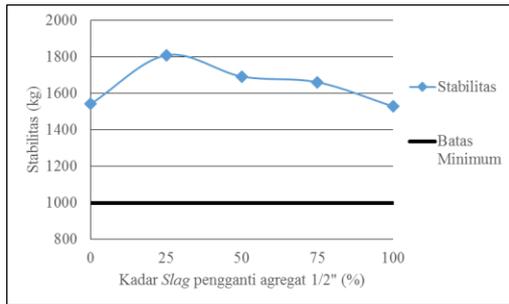
#### a. Density



Gambar 3. Grafik hubungan *Density* dan variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan grafik diatas, nilai kepadatan campuran yang didapatkan pada setiap penambahan kadar *slag* semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena *steel slag* mempunyai nilai berat jenis yang lebih besar dari natural agregat, sehingga semakin banyak *steel slag* yang ditambahkan, maka campuran semakin padat.

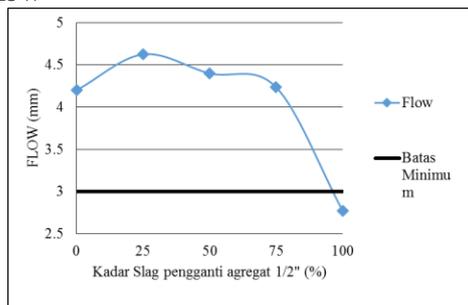
b. Stabilitas



Gambar 4. Grafik hubungan Stabilitas dan variasi campuran *steel slag*

Dari gambar diatas, didapatkan hasil nilai stabilitas campuran menggunakan slag sebagai pengganti agregat tertahan saringan 1/2” lebih besar dari campuran tanpa menggunakan slag sebagai agregat pengganti, kecuali pada penambahan slag sebagai pengganti agregat 1/2” sebanyak 100%. Hal ini disebabkan karena nilai stabilitas dipengaruhi oleh penguncian antar agregat (*Interlocking*) *Steel Slag* mempunyai bentuk yang tidak beraturan sehingga dapat saling mengunci dengan agregat lainnya. Selain itu nilai abrasi *slag* yang kecil menyebabkan mutu agregat lebih baik dan stabilitas yang lebih tinggi.

c. Flow

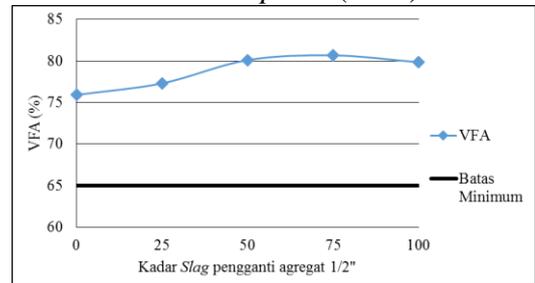


Gambar 4. Grafik hubungan *Flow* dan variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan gambar diatas, nilai flow pada campuran normal adalah sebesar 4,2 mm. Pada setiap penambahan kadar slag, nilai flow mengalami kenaikan, kecuali pada penambahan kada slag 100% mengalami penurunan. Menurut spesifikasi yang telah disebutkan diatas, benda uji dengan penambahan *slag* sebanyak 0%, 25, 50%, dan 75% telah memenuhi spesifikasi. Tetapi pada

penambahan sebanyak 100% tidak memenuhi spesifikasi.

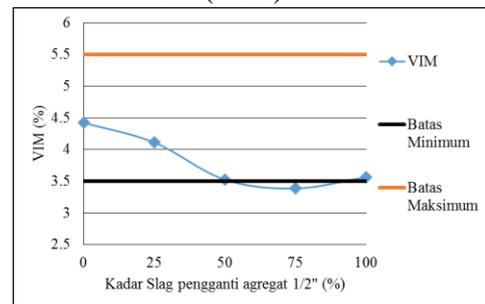
d. *Void Filled with Asphalt* (VFA)



Gambar 5. Grafik hubungan VFAdan variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan grafik diatas, nilai VFA semakin meningkat seiring dengan penambahan *steel slag*. Hal ini disebabkan oleh sifat *slag* dimana permukaan *slag* kasar sehingga *slag* lebih mudah menyerap aspal sehingga aspal dapat mudah masuk kedapam pori-pori dalam campuran.

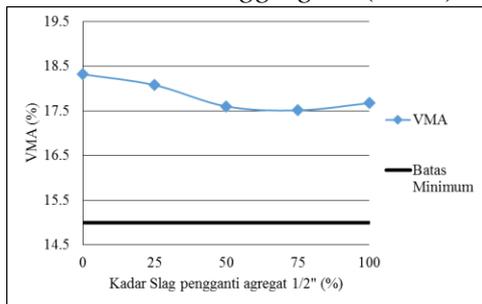
e. *Void In the Mix* (VIM)



Gambar 6. Grafik hubungan VIM dan variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan grafik diatas, nilai VIM menurun seiring bertambahnya kadar *slag* pada campuran. Hal ini disebabkan karena *density*/kepadatan campuran yang semakin besar seiring bertambahnya kadar *slag* pada campuran. Semakin padat campuran maka rongga didalam campurannya semakin kecil. Pada penambahan *slag* 75%, nilai VIM tidak memenuhi spesifikasi.

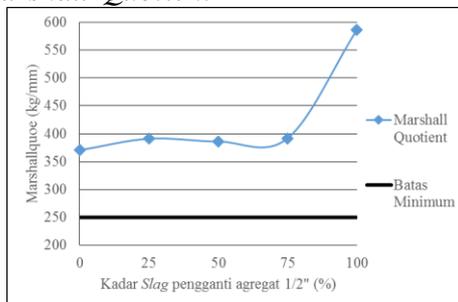
f. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*



Gambar 6. Grafik hubungan VMA dan variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan grafik diatas, nilai VMA semakin menurun seiring bertambahnya kadar *slag* dalam campuran. Hal ini disebabkan oleh bentuk *slag* yang tidak beraturan yang menyebabkan *interlocking* antar agregat dan membuat rongga dalam agregat semakin kecil. Selain itu, sifat fisik yang dimiliki *slag* adalah berongga, tetapi *slag* juga mempunyai sifat menyerap aspal, sehingga rongga dalam agregat banyak terisi aspal dan nilai VMA semakin kecil.

g. *Marshall Quotient*



Gambar 6. Grafik hubungan MQ dan variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan grafik diatas, nilai MQ cenderung stabil bila dibandingkan dengan campuran normal, kecuali pada penambahan *slag* 100% nilai MQ meningkat pesat. Hal ini disebabkan oleh penambahan *slag* yang terlalu banyak akan membuat perkerasan kaku karena perbandingan stabilitas dan *flow* besar. Campuran yang baik adalah campuran yang mempunyai nilai MQ diatas rata-rata tetapi tidak terlalu besar. Campuran yang memiliki nilai MQ dibawah rata-rata akan menyebabkan

perkerasan lentur dan campuran yang memiliki nilai MQ terlalu besar akan menyebabkan perkerasan kaku dan menimbulkan retak.

## F. KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan yang dilakukan pada campuran Laston dengan menggunakan *Steel Slag* sebagai campuran pada agregat tertahan saringan 1/2", maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- a. Sifat fisik *Steel Slag* yang diperoleh dari pengujian didapatkan hasil bahwa berat jenis curah yang didapat sebesar 2,9 gr/cc, berat jenis semu sebesar 3,05 gr/cc, dan penyerapan air sebesar 1,675 gr/cc. Sedangkan nilai keausan *Steel Slag* dengan menggunakan mesin *Los Angeles* didapatkan nilai 20,45%.
- b. Perbandingan nilai karakteristik Marshall campuran Laston menggunakan *Steel Slag* sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%, sebagai berikut :
  - 1) Penambahan *Steel Slag* sebagai bahan pengganti agregat tertahan saringan 1/2" menyebabkan nilai stabilitas lebih tinggi dari campuran normal. Meningkatkan stabilitas campuran yaitu meningkatkan kemampuan campuran Laston-WC untuk memikul beban lalu lintas.
  - 2) Semakin banyak *Steel Slag* yang digunakan dalam campuran Laston cenderung menurunkan nilai kelelahan karena aspal semakin mengeras.
  - 3) Penggunaan *Steel Slag* sebagai campuran pada aspal cenderung menurunkan nilai VIM.
  - 4) Semakin banyak *Steel Slag* sebagai campuran pada aspal cenderung menurunkan nilai VMA, sehingga konstruksi jalan dapat lebih awet.
  - 5) Penambahan *Steel Slag* pada campuran aspal Laston cenderung meningkatkan nilai VFA, sehingga

meningkatkan kadar aspal efektif yang akan menyelimuti material dan menentukan kinerja campuran dalam suatu konstruksi.

- 6) Penggunaan *Steel Slag* cenderung meningkatkan nilai MQ. Penambahan *Steel Slag* yang terlalu banyak akan menyebabkan nilai MQ meningkat pesat sehingga sifat campuran menjadi kaku dan getas.
- 7) Penggunaan *Steel Slag* sebanyak 75% mengakibatkan nilai VIM tidak memenuhi spesifikasi. Hal ini bisa mengakibatkan terjadinya bleeding pada campuran karena rongga dalam campuran terlalu kecil sehingga aspal bisa naik ke atas permukaan.

## 2. Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

- a. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan penelitian dengan menggunakan *Steel Slag* yang berasal dari pabrik pengolahan baja lain untuk mendapatkan perbandingan *Steel Slag* yang baik digunakan.

- b. Perlu dilakukan penelitian dengan mengganti agregat ukuran lain untuk menambah variasi.
- c. Perlu dilakukan pengujian tentang sifat-sifat *Steel Slag* lebih lanjut karena *Steel Slag* merupakan limbah B3 (bahan Berbahaya dan Beracun) sehingga penggunaannya harus sesuai dengan peraturan pemerintah yang berlaku.

## Daftar Pustaka

- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum Divisi VI (Revisi 3)*. Jakarta.
- Hartati dan Yohana M. Fristin. 2009. *Studi pengaruh Steel Slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Beton Terhadap Workabilitas dan Durabilitas*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Granit.