

# PENGARUH LIMBAH BAJA ( *STEEL SLAG* ) SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR NO. ½ DAN NO.8 PADA CAMPURAN HRS-WC TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL<sup>1</sup>

Windi Nugraening Pradana<sup>2</sup>

## INTISARI

Salah satu bidang industri yang saat ini makin maju perkembangannya adalah industri pengolahan baja. Seiring berkembangnya industri pengolahan baja tersebut maka limbah yang dihasilkan akan meningkat pula. Limbah tersebut berupa limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun) padat yang secara fisik menyerupai agregat kasar yang disebut *steel slag*. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomer 11 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun *steel slag* merupakan bahan yang tidak berbahaya untuk dimanfaatkan untuk perkerasan jalan. Dengan banyaknya limbah yang ada maka perlu diadakan suatu percobaan untuk pemanfaatan limbah industri pengolahan baja dari barang yang dapat merusak lingkungan menjadi sesuatu yang dapat dimanfaatkan salah satunya pada pekerjaan prasarana transportasi yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar pada perkerasan jalan. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisis *steel slag* sebagai pengganti agregat kasar dan pengaruh penggunaan *steel slag* terhadap karakteristik marshall pada campuran HRS-WC.

Pada penelitian ini menggunakan variasi *steel slag* 15%, 25%,35%,45%,55% sebagai pengganti agregat kasar No. ½ dan No.8 dengan kadar aspal optimum (KAO) 6,5% menggunakan Metode Uji Marshall.

Hasil dari pengujian dilaboratorium diperoleh hasil sebagai berikut : nilai Density tertinggi terjadi pada penambahan *steel slag* 55% yaitu sebesar 2,2978 kg/cc, nilai VMA tertinggi terjadi pada penambahan *steel slag* 55% yaitu sebesar 20,110%, nilai VIM tertinggi terjadi pada penambahan *steel slag* 55% yaitu sebesar 5,789%, nilai VFA tertinggi terjadi pada penambahan *steel slag* 15% yaitu sebesar 73,013%, stabilitas tertinggi terjadi pada penambahan *steel slag* 35% yaitu sebesar 2229.2 kg, nilai flow tertinggi terjadi pada penambahan *steel slag* 55% yaitu sebesar 4,15 mm nilai MQ terendah terjadi pada penambahan *steel slag* 55% yaitu sebesar 449,82 kg/mm.

**Kata kunci : Hot Rolled Sheet, Metode Marshall,Steel Slag**

<sup>1</sup> Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir

<sup>2</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
NIM:20130110291, e-mail: awindy78@gmail.com

## A. PENDAHULUAN

Dunia industri akhir akhir ini berkembang cukup pesat seiring dengan perkembangan jaman. Salah satu bidang industri yang saat ini makin maju perkembangannya adalah industri pengolahan baja. Seiring berkembangnya industri pengolahan baja tersebut maka limbah yang dihasilkan akan meningkat pula. Limbah tersebut berupa limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun) padat yang secara fisik menyerupai agregat kasar yang disebut *steel slag*. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomer 11 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun *steel slag* merupakan bahan yang tidak berbahaya untuk dimanfaatkan untuk perkerasan jalan.

Atas dasar pemikiran tersebut, maka perlu diadakan suatu percobaan untuk pemanfaatan limbah industri pengolahan baja dari barang

yang dapat merusak lingkungan menjadi sesuatu yang dapat dimanfaatkan salah satunya pada pekerjaan prasarana transportasi yang dapat digunakan sebagai bahan campuran lapis perkerasan. Tujuan diadakan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisis *steel slag* dan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *steel slag* pada parameter Marshall.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### 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).

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi jalan dibedakan atas:

- Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*).
- Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*).
- Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*).

### Hot Rolled Sheet (HRS)

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (Bina Marga revisi 2010), lapis tipis aspal beton (lataston) adalah lapisan penutup yang terdiri dari dari campuran agregat bergradasi senjang, *filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu; yang dicampur dan dipadatkan secara panas (dalam suhu tertentu, minimum 124°C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm. konstruksi perkerasan HRS dalam penggunaannya dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas A dan kelas B. Perbedaan kedua konstruksi perkerasan tersebut terdapat pada gradasi agregat yang digunakan, beban lalu lintas dan segi pemakaian. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan butiran pengisi (*filler*), sedangkan aspal yang digunakan biasanya jenis aspal keras AC 60-70 dan AC 80-100.

### Steel Slag

*Steel slag* merupakan sisa pemurnian baja dari dapur tinggi yang berbentuk kubikal tidak teratur. Kementerian Lingkungan Hidup menyatakan dengan tegas bahwa limbah slag baja masih termasuk dalam limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sesuai Peraturan Pemerintah No 85/1999.

*Steel slag* adalah batuan kasar berbentuk kubikal tidak teratur. Batuan ini terbentuk dari mineral-mineral yang digunakan sebagai pemurnian baja dari dapur tinggi. Pemrosesan *steel slag* adalah proses pelaburan baja yang mengakibatkan terbentuknya *steel slag* dibagian atas, kemudian *steel slag* dialirkan dan ditampung dalam *slag pot* pada kondisi cair. Dalam waktu 5 menit *steel slag* membeku. Agar terbentuk serpihan, *steel slag* yang

terhampar disemprot dengan air. Perubahan suhu yang mendadak membuat *steel slag* pecah, kemudian *steel slag* yang berbentuk serpihan dimasukkan ke dalam *processing plant* agar menjadi granular.

## C. LANDASAN TEORI

Metode pengujian agregat

### Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir 2.36 mm sampai 19 mm. Berikut adalah beberapa perhitungan yang digunakan pada agregat kasar yaitu :

- Keausan =  $\frac{A-B}{A} \times 100\%$
- $S_d = \frac{A}{(B-C)}$
- $S_a = \frac{A}{(A-C)}$
- $S_w = \left[ \frac{B-A}{A} \times 100\% \right]$
- $B.J.Efektif = \frac{S_a + S_d}{2}$

### Steel Slag

*Steel slag* merupakan merupakan limbah sisa dari proses pembuatan atau pengocoran baja yang berbentuk kubikal tak beraturan dan permukaannya mengkilap seperti kaca. Beberapa perhitungan *steel slag* yaitu :

- Keausan =  $\frac{A-B}{A} \times 100\%$
- $S_d = \frac{A}{(B-C)}$
- $S_a = \frac{A}{(A-C)}$
- $S_w = \left[ \frac{B-A}{A} \times 100\% \right]$
- $B.J.Efektif = \frac{S_a + S_d}{2}$

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

### Agregat Halus

Agregat halus adalah material yang lolos saringan no.8 (2,36 mm). Agregat halus dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian (*interlocking*) antar butiran. Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan untuk menentukan besaran agregat halus :

$$a. S_d = \frac{Bk}{(B+SSD-Bt)}$$

$$b. S_a = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$

$$c. S_w = \frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100\%$$

$$d. B.J.Efektif = \frac{S_a+S_d}{2}$$

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

### Parameter Marshall

Tabel 1.1 Persyaratan pengujian Marshall untuk campuran HRS-WC

No	Kriteria	Spesifikasi
1	Density	-
2	VFMA	min 68%
3	VITM	4.0-6.0 %
4	VMA	min 15%
5	stability	min 800 kg
6	Flow	>3
7	MQ	min 250 kg/mm

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010

- Density  
Density merupakan rasio antara berat benda uji kering dengan volume benda uji yang menunjukkan nilai kepadatan suatu campuran.
- Stabilitas  
Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang signifikan.
- Kelelahan  
Betuk keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban.

- Void In The Mix (VIM)  
VIM merupakan rongga udara dalam campuran yang terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal.

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume b.u}}{BJ \text{ maksimum teoritis}}$$

- Void In Mineral Agregat (VMA)  
VMA atau rongga antar mineral agregat merupakan ruang/ rongga diantara partikel agregat suatu perkerasan termasuk rongga udara dan volume aspal efektif.

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{ aspal}) \times \text{volume b.u}}{BJ \text{ agregat}}$$

- Voids Filled with Asphalt (VFA)  
VFA atau rongga terisi aspal merupakan presentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi aspal.

$$VFA = 100 \times \frac{\text{volume aspal}}{VMA}$$

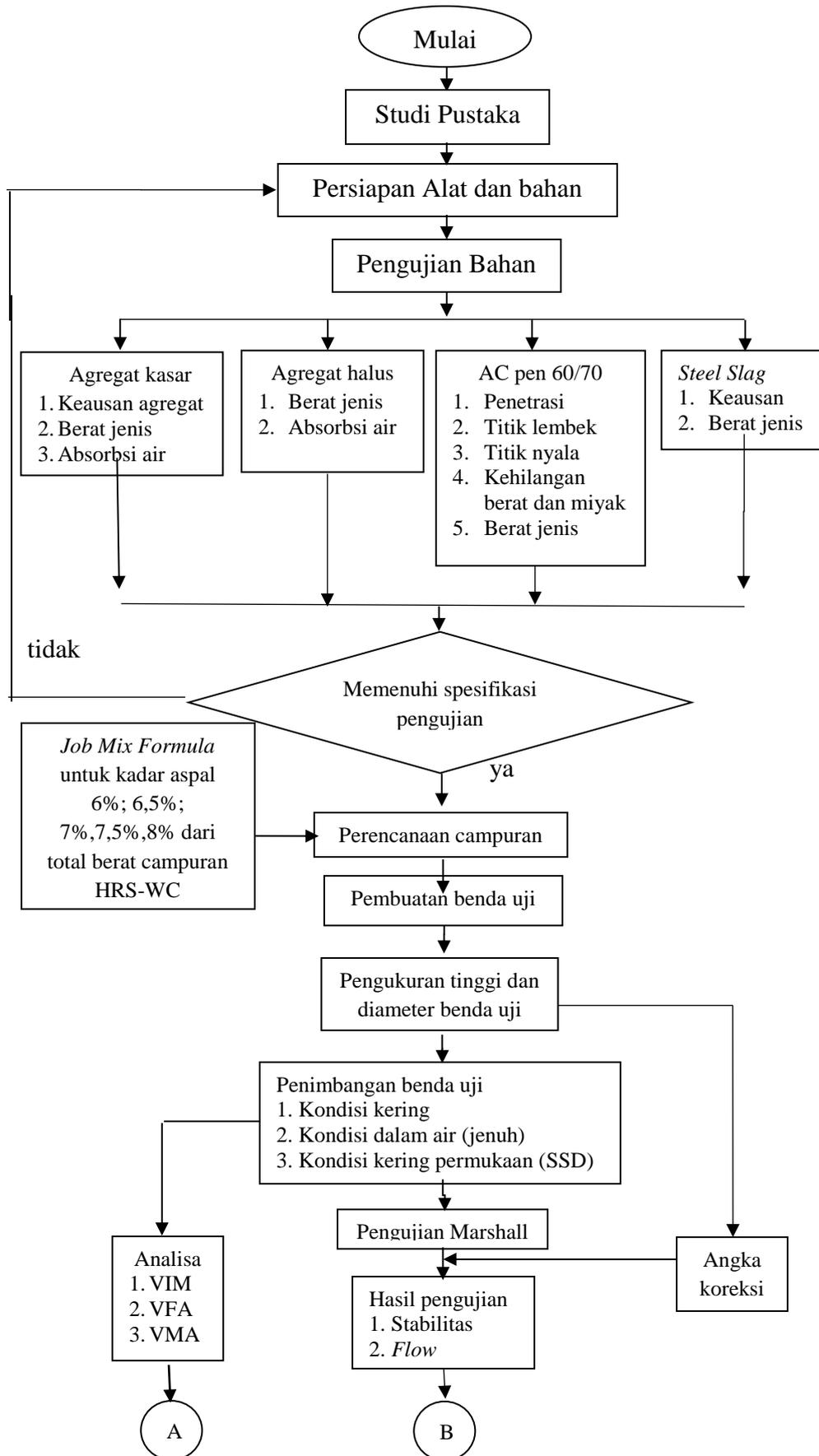
- Marshall Quotient (MQ)  
MQ merupakan rasio antara stabilitas dengan kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan kelenturan campuran.

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

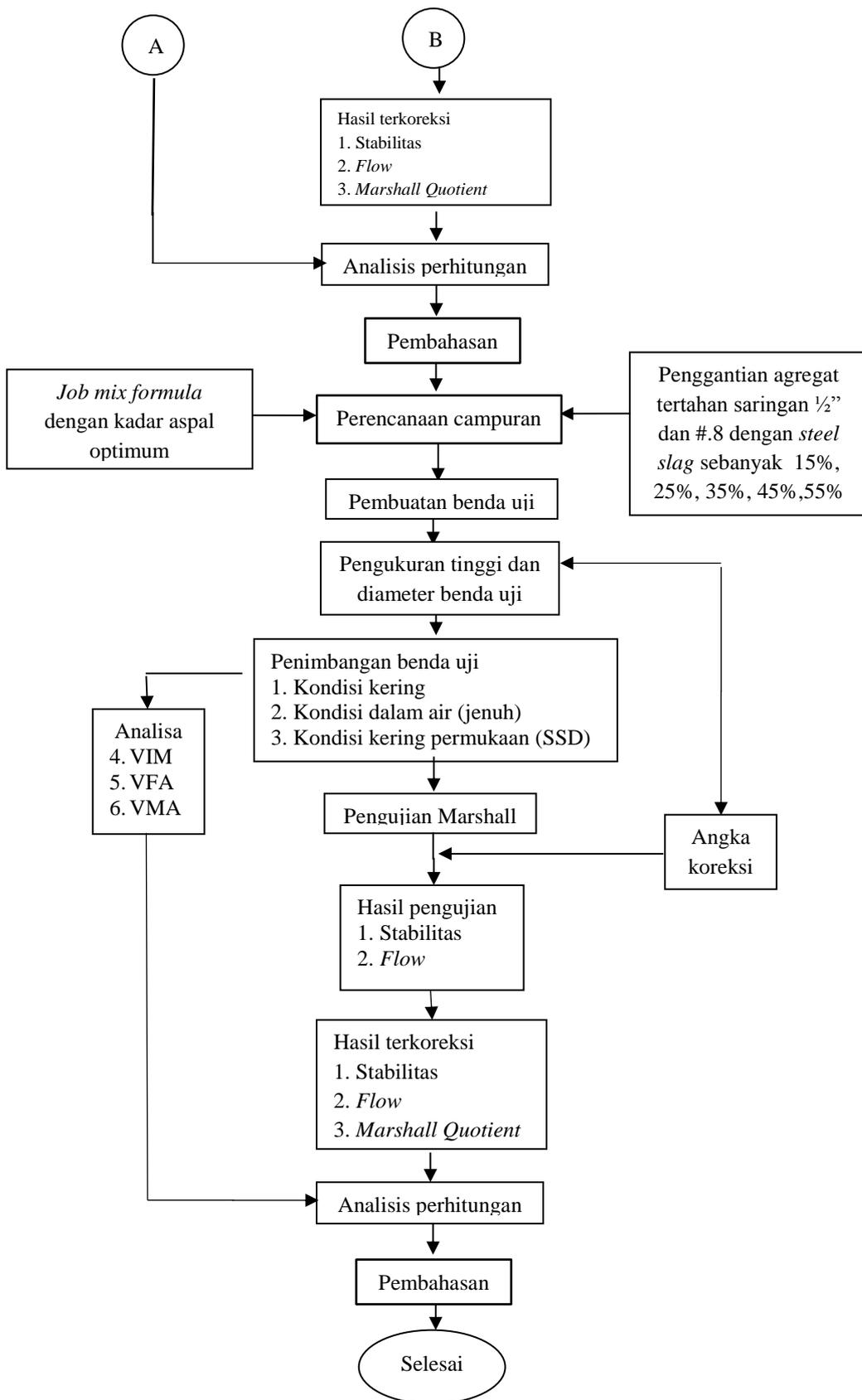
## D. METODOLOGI PENELITIAN

### Bagan Alir Penelittian

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



Gambar 1. Bagan alir penelitian



Gambar 1. Bagan alir penelitian (Lanjutan)

## E. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Bahan

Tabel 5.1. Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
<b>Agregat Kasar</b>				
1.	Abrasi	≤ 40	38,46	%
2.	Berat jenis curah	≥ 2,5	2,535	gr/cc
3.	Berat jenis Jenuh Kering Permukaan	≥ 2,5	2,6	gr/cc
4.	Berat Jenis Semu	≥ 2,5	2,715	gr/cc
5.	Penyerapan air	≤ 3	2,715	%
<b>Agregat Halus</b>				
1.	Berat jenis curah Kering	2,4 – 2,6	2,51	gr/cc
2.	Berat jenis Jenuh Kering Permukaan	2,4 – 2,6	2,59	gr/cc
3.	Berat jenis semu	≥ 2,5	2,72	gr/cc
4.	Penyerapan air	≤ 3	3,0	%
<b>Filler</b>				
1.	Berat Jenis	≥ 2,5	2,56	gr/cc

Tabel 5.2. Hasil pengujian aspal keras 60/70

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Metode
1.	Penetrasi 25° C, 100gr, 5 detik, 0,1 mm	60-70	62,8	Bina Marga 2010
2.	Titik Lembek (°C)	> 48	55,5	Bina Marga 2010
3.	Titik Nyala (°C)	≥ 232	320	Bina Marga 2010
4.	Berat jenis Aspal	≥ 1,0	1,04	Bina Marga 2010
5.	Kehilangan Berat	Max 0,4	0,2	Bina Marga 2010

Tabel 5.3 Hasil pengujian *steel slag*

No.	Jenis Pemeriksaan	Spek	Hasil	Satuan
1.	Abrasi	≤ 40	27,8	%
2.	Berat jenis curah kering	≥ 2,5	3,0	gr/cc
3.	Berat jenis Jenuh Kering Permukaan	≥ 2,5	3,072	gr/cc
4.	Berat jenis semu	≥ 2,5	3,238	gr/cc

5.	Penyerapan air	≤ 3	2,445	%
----	----------------	-----	-------	---

Tabel 5.4. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

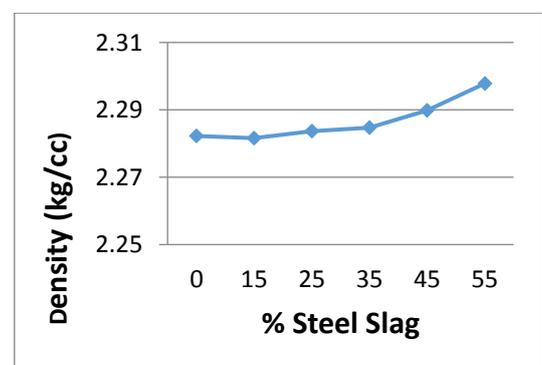
No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal				
			0	25	50	75	100
1	Density	-	2.2626	2.28226	2.26272	2.25776	2.25864
2	VFMA	min 65%	69.994	77.6011	78.1352	81.3585	87.313
3	VITM	3.5-5.5 %	5.59837	4.11727	4.28335	3.83933	2.54038
4	VMA	min 15%	18.6518	18.3814	19.5132	20.1213	20.0235
5	stability	min 800 kg	1867.03	1878.86	2121.62	1786.42	1609.02
6	Flow	>3	2.95	3.15	3.75	3.9	4.05
7	MQ	min 250 kg/mm	622.176	598.793	566.069	458.099	412.568

### Hasil Pengujian *Marshall* dengan campuran *steel slag*

Setelah dilakukan pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum, kemudian dilakukan pencampuran aspal dengan agregat yang ditambahkan dengan *steel slag* sebagai pengganti agregat kasar tertahan saringan 1/2" dan 8" sebanyak 10 buah benda uji dengan prosentase kadar slag dalam campuran sebesar 15%, 25%, 35%, 45%, dan 55%. Masing-masing prosentase adalah 2 buah benda uji. Kadar aspal yang digunakan adalah nilai kadar aspal yang telah didapatkan dengan melakukan pengujian kadar aspal sebelumnya, yaitu 6,5%.

#### a. Density

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Kepadatan (*density*) adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Berikut ini adalah gambar hubungan kadar aspal dan kepadatan (*density*).

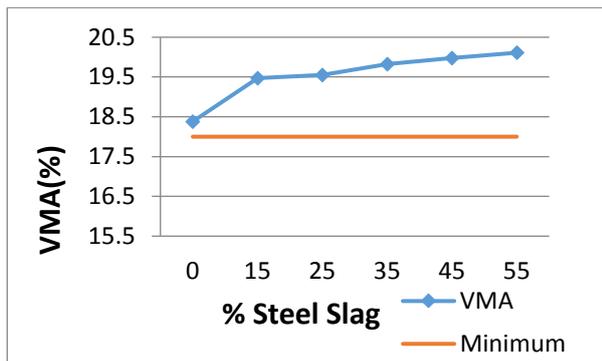


Gambar 2. Grafik hubungan kepadatan dan kadar slag pengganti agregat 1/2" dan No.8"

Berdasarkan grafik diatas, nilai kepadatan campuran yang didapatkan pada setiap

penambahan kadar *steel slag* semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena nilai berat jenis *steel slag* lebih besar dari berat jenis natural agregat, sehingga semakin banyak *steel slag* yang digunakan, maka nilai kepadatan akan semakin meningkat.

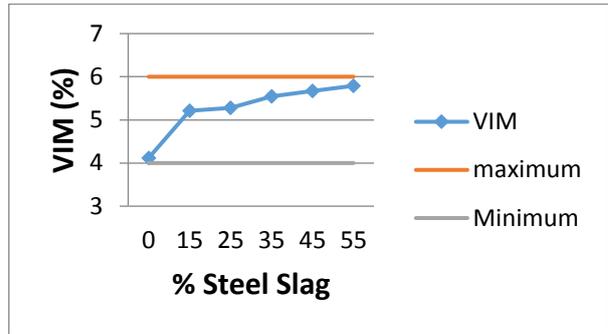
- b. Rongga diantara mineral agregat (VMA)  
 VMA (*Void in Mineral Agregate*) adalah rongga udara yang terdapat diantara mineral agregat termasuk ruang yang terisi aspal pada campuran beraspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. Hubungan antara kadar aspal dan nilai VMA dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Grafik hubungan VMA dan kadar slag pengganti agregat No. 1/2” dan No.8”

Berdasarkan grafik diatas, Nilai VMA cenderung mengalami kenaikan, bertambahnya nilai VMA ini menunjukkan bahwa bertambahnya kadar *steel slag* memberikan pengaruh terhadap berat volume campuran yang nilainya semakin menurun, hal ini mengakibatkan nilai VMA semakin meningkat.

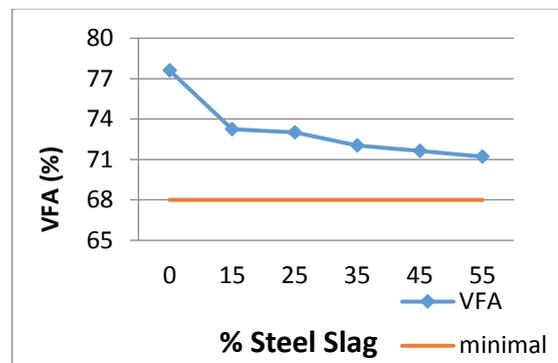
- c. Rongga didalam campuran (VIM)  
 VIM (*Void In Mix*) adalah besarnya rongga campuran pada suatu campuran aspal panas yang dinyatakan dalam persentase. Nilai VIM dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, dan *density*.



Gambar 4. Grafik hubungan VMA dan kadar slag pengganti agregat No. 1/2” dan No.8”

Berdasarkan grafik diatas, nilai VIM meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *steel slag* pada campuran, hal ini disebabkan oleh aspal yang semakin banyak terserap oleh agregat sehingga rongga campuran yang seharusnya terisi oleh aspal menjadi terisi oleh udara, dan menyebabkan nilai VIM semakin meningkat.

- d. Rongga terisi aspal (VFA)

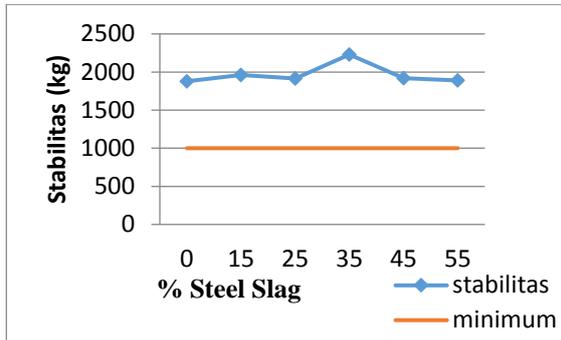


Gambar 5. Grafik hubungan VFA dan kadar slag pengganti agregat No. 1/2” dan No.8”

Berdasarkan grafik diatas, nilai VFA semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar *steel slag*. Penurunan nilai VFA ini disebabkan oleh sifat fisis *steel slag* yang berpori sehingga dengan semakin banyaknya *steel slag* yang digunakan akan menyebabkan aspal banyak terserap kedalam *steel slag* sehingga nilai VFA semakin menurun.

- e. Stabilitas  
 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 akan semakin tinggi. Berikut ini gambar hubungan kadar aspal dan stabilitas.

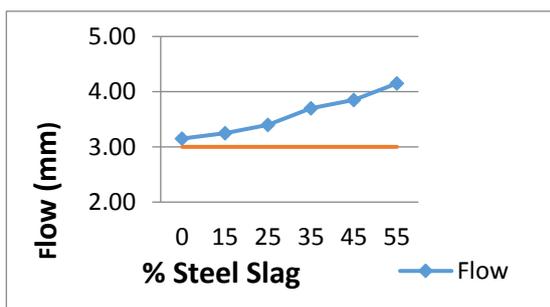


Gambar 6. Grafik hubungan Stabilitas dan kadar slag pengganti agregat No. 1/2” dan No.8”

Berdasarkan grafik diatas, nilai Stabilitas semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar *steel slag*. hal ini disebabkan oleh karakter *steel slag* yang mudah menyerap panas dan mengakibatkan pemadatan kurang maksimal sehingga campuran memiliki nilai stabilitas yang kurang baik dibandingkan dengan menggunakan natural agregat.

f. Kelelahan (*Flow*)

*Flow* atau kelelahan menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi terhadap lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Penurunan yang terjadi terhadap lapis keras juga tidak lepas dari pengaruh nilai karakteristik Marshall lainnya, seperti VIM (*Void In Mix*), VFA (*Void Filled Asphalt*), dan stabilitasnya. Nilai *flow* dipengaruhi antara lain oleh gradasi agregat, kadar aspal dan proses pemadatan yang meliputi suhu pemadatan dan energi pemadatan. Berikut adalah gambar hubungan antara *Flow* dan *Steel slag*.

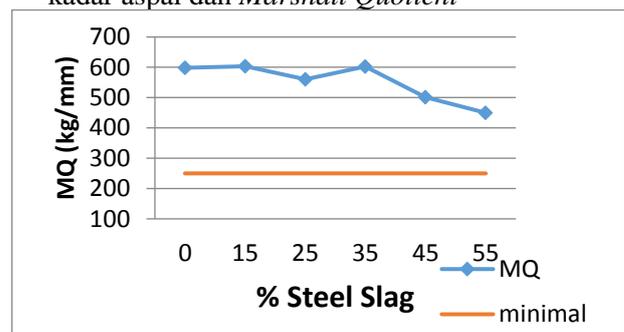


Gambar 7. Grafik hubungan Flow dan kadar slag pengganti agregat No. 1/2” dan No.8”

Berdasarkan grafik diatas, nilai kelelahan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *steel slag* dalam campuran, hal ini disebabkan oleh nilai stabilitas yang terus menurun sehingga kelelahan pada campuran semakin meningkat.

g. *Marshall Quotient* (MQ)

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) maka perkerasan lapis kerasnya akan semakin lentur. Berikut ini adalah gambar hubungan kadar aspal dan *Marshall Quotient*



Gambar 3. Grafik hubungan nMQ dan kadar slag pengganti agregat No. 1/2” dan No.8”

Berdasarkan grafik diatas, nilai MQ semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar *steel slag*. Hal ini dikarenakan nilai MQ sendiri merupakan perbandingan stabilitas terhadap kelelahan (*flow*). Pertambahan nilai MQ ini berpengaruh terhadap sifat campuran, jika nilai MQ semakin besar maka akan menyebabkan perkerasan menjadi semakin kaku dan apa bila nilai MQ semakin menurun menyebabkan campuran perkerasan jadi semakin lentur.

F. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan yang dilakukan pada campuran Laston dengan menggunakan *Steel Slag* sebagai campuran pada agregat tertahan saringan No.1/2” dan No.8”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- Sifat fisik *Steel Slag* yang diperoleh dari pengujian didapatkan hasil bahwa berat jenis curah kering yang didapat sebesar 3,0 gr/cc, berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 3,072 gr/cc, berat jenis semu sebesar 3,238 gr/cc, dan penyerapan air sebesar 2,445 %. Sedangkan nilai keausan

- Steel Slag* dengan menggunakan mesin *Los Angeles* didapatkan nilai 27,8%.
- b. Perbandingan nilai karakteristik *Marshall* campuran Laston menggunakan *Steel Slag* sebanyak 15%, 25%, 35%, 45% dan 55%, sebagai berikut :
- 1) Semakin banyak kadar *steel slag* yang digunakan dalam suatu campuran perkerasan dapat meningkatkan nilai *density* atau kerapatan suatu campuran sehingga campuran tersebut mampu menahan beban lalu lintas dibanding campuran yang memiliki kerapatan lebih kecil.
  - 2) Semakin banyak *steel slag* yang digunakan dalam campuran cenderung menurunkan nilai VFA. Penurunan nilai VFA ini disebabkan oleh sifat fisis *steel slag* yang berpori sehingga dengan semakin banyaknya *steel slag* yang digunakan akan menyebabkan aspal banyak terserap kedalam *steel slag* sehingga nilai VFA semakin menurun.
  - 3) Semakin banyak *steel slag* yang digunakan dalam campuran cenderung menaikkan nilai VIM. nilai VIM meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *steel slag* pada campuran, hal ini disebabkan oleh aspal yang semakin banyak terserap oleh agregat sehingga rongga campuran yang seharusnya terisi oleh aspal menjadi terisi oleh udara, dan menyebabkan nilai VIM semakin meningkat.
  - 4) Semakin bertambahnya presentase penggunaan *steel slag* pada campuran dapat menyebabkan nilai VMA mengalami penurunan dan itu berarti campuran tersebut memiliki ketahanan terhadap beban baik.
  - 5) Semakin bertambahnya penggunaan *steel slag* pada campuran menyebabkan nilai stabilitas mengalami kenaikan.
  - 6) Semakin bertambahnya penggunaan *steel slag* pada campuran menyebabkan nilai *flow* mengalami kenaikan nilai sehingga campuran dapat dikategorikan memiliki nilai plastis yang baik dan tidak getas.

- 7) Semakin banyaknya penggunaan *steel slag* pada campuran menyebabkan nilai MQ mengalami penurunan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 1999. Pedoman Campuran Beraspal Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI (Revisi 3)*. Jakarta.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Granit.