

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *STEEL SLAG* DALAM CAMPURAN AC-WC SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR No. ½” DAN No. 8 TERHADAP PARAMETER *MARSHALL*

Sihtasari Devi

INTISARI

Limbah baja Steel Slag merupakan limbah baja yang berbentuk bongkahan kecil yang diperoleh dari pembuatan baja dengan tanur tinggi. Limbah tersebut, merupakan hasil sampingan dari proses bijih logam dan masih mengandung material penting silica dan alumina . Limbah baja ini juga merupakan salah satu masalah lingkungan sehingga perlu adanya pemanfaatan atau pengembangan teknologi daur ulang untuk perkerasan jalan, Salah satu bahan limbah yang akan dicoba untuk mengganti agregat baru pada penelitian ini adalah limbah baja (Steel Slag) yang dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar dari limbah industri baja yang sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan. Penggunaannya juga akan membantu mengurangi limbah tersebut di lingkungan. 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 pada campuran ini adalah pada agregat – agregatnya yang saling mengisi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan Steel Slag dalam campuran Laston AC-WC terhadap sifat fisik aspal dan parameter Marshall. Pada penelitian ini Steel Slag dipakai sebagai agregat kasar pada campuran Laston yaitu agregat tertahan saringan No. ½” dan No. 8 sebanyak 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dengan kadar aspal optimum (KAO) 6%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan Steel Slag pada campuran aspal dapat dijadikan sebagai bahan pengganti agregat. Nilai stabilitas yang didapat dari penambahan Steel Slag pada campuran aspal untuk kadar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% sudah memenuhi spesifikasi Marshall dengan hasil sebesar 2475,18 kg, 2279,345 kg, 2129,137 kg, 1707,024 kg, 1988,56 kg dan 1817,092 kg. Untuk nilai VIM, VFA, VMA, Flow, dan MQ menunjukkan besaran yang memenuhi spesifikasi.

Kata kunci : *Steel Slag, Asphalt Concrete, karakteristik Marshall*

¹ Disampaikan pada seminar Tugas Akhir,

² Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UMY

³ Dosen Pembimbing I

⁴ Dosen Pembimbing II

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Jalan sebagai penunjang kelancaran dari transportasi darat dan mempunyai peranan yang sangat penting bagi pertumbuhan suatu daerah. Hampir semua total jalan yang ada di Indonesia merupakan perkerasan lentur. Perkerasan lentur yang dibebani oleh penggunaan jalan yang terus menerus mengakibatkan munculnya kerusakan jalan. Sehingga dibutuhkan perkerasan jalan yang bagus supaya lalu lintas menjadi lancar, aman, dan nyaman.

Masalah transportasi merupakan masalah yang selalu dihadapi oleh banyak negara yang sedang berkembang seperti di Indonesia. Sarana fisik pembuatan suatu jalan raya yang didalamnya meliputi pekerjaan perkerasan jalan dihadapkan pada tantangan untuk selalu meningkatkan kualitas maupun kuantitas, sehingga untuk mencapai hasil yang optimal harus menentukan suatu cara yang ekonomis dan efisien ditinjau dari segi bahan, peralatan, tenaga kerja, dana dan metode pelaksanaan. Untuk meningkatkan kinerja perkerasan, muncul suatu ide untuk memberikan bahan tambah pada perkerasan untuk tujuan mengatasi masalah kerusakan jalan.

Dari segi ekonomis dalam pekerjaan pembuatan perkerasan jalan tanpa mengurangi kekuatan konstruksi jalan tersebut, alternatif lain untuk membatasi penggunaan agregat baru dari alam ini, sudah banyak dikembangkan teknologi daur ulang untuk perkerasan jalan, salah satunya bahan limbah yang akan dicoba untuk mengganti agregat baru pada penelitian ini adalah limbah baja (*Steel Slag*) yang dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar dari limbah industri baja yang sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan. Penggunaannya juga akan membantu mengurangi limbah tersebut di 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 dari Penelitian

Dari tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi sifat – sifat fisis *Steel Slag* yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada campuran Laston (*AC-WC*) dan mengevaluasi campuran Laston (*AC-WC*) dengan menggunakan *Steel Slag* serta campuran normal tanpa *Steel Slag* terhadap karakteristik *Marshall*.

A. TINJAUAN PUSTAKA

1. Jalan

Jalan adalah seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, dan atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel. (Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2009).

2. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai antara lain adalah batu pecah, batu belah, batu kali dan hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antara lain adalah aspal, semen, dan tanah liat.

3. 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. Ketahanan terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)
- e. Kekesatan (*Skid Resistance*)
- f. *Workability*
- g. Impermeabilitas (*Impermeability*)

4. Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis aspal beton adalah Lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*)

dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Jenis dari agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan filler, sedangkan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/50, 60/70, dan 80/100 yang seragam, tidak mengandung air bila dipanaskan sampai suhu 175°C tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan yang ditetapkan. Pembuatan lapis aspal beton dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara (binder) pada perkerasan jalan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya (Bina Marga, 1987).

5. 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 *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.

Batuan *steel slag* lebih berat dari batuan 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 (Anshari, 1998).

B. LANDASAN TEORI

1. Metode Pengujian Material

- a. Pengujian Penetrasi
- b. Pengujian titik nyala dan titik bakar
- c. Pengujian titik lembek
- d. Berat Jenis
- e. Kehilangan Berat Minyak dan Aspal

2. Formula Perhitungan Marshall

- a. Berat Jenis Curah Kering

- 1) Agregat Kasar

- a) Berat jenis kering

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

- b) Berat jenis semu

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

- c) Penyerapan air

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

- d) Berat jenis efektif

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

Keterangan :

S_d : Berat Jenis Kering

S_a : Berat Jenis Semu

S_w : Penyerapan Air

A : berat benda uji kering oven

B : berat benda uji jenuh kering permukaan

C : berat benda uji dalam air

- 2) Agregat Halus

- a) Berat jenis kering

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

b) Berat jenis semu

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

c) Penyerapan air

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

d) Berat jenis efektif

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

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

3) Rongga dalam Agregat (VMA)

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

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

% Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)

B.J. Agregat : Berat jenis efektif

4) Rongga dalam Campuran (VIM)

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

Berat jenis maksimum teoritis :

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

Keterangan :

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

B.J Teoritis : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

5) Rongga terisi Aspal (VFWA)

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

Keterangan :

VFWA : Rongga udara terisi aspal (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

6) $MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$

Keterangan :

MQ : Marshall Quotient (kg/mm)

Flow : Kelelehan (mm)

3. Karakteristik Marshall

Untuk menghasilkan campuran perkerasan yang baik harus diperhatikan mengenai karakteristik campuran yang dimiliki oleh aspal beton. Menurut Sukirman,S (1992). Adapun tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki aspal beton yaitu :

- Stabilitas (*stability*)
- Keawetan (*durability*)
- Kelenturan (*fleksibility*)
- Tahanan Geser/Kecepatan
- Kedap air (*impermeability*)
- Ketahanan Terhadap Kelelehan
- Kemudahan pelaksanaan (*Workability*)

Tabel 1. Spesifikasi Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Caampuran	Spesifikasi Laston (AC-WC)
Jumlah tumbukan per bidang	75 kali
Rongga dalam Campuran (VIM)	3,5-5,5 %
Rongga dalam Agregat (VMA)	Min 15 %
Rongga terisi Aspal (VFA)	Min 65 %
Stabilitas	Min 800 kg
Pelelehan (<i>Flow</i>)	Min 3 mm

<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	Min 250 kg/mm
-------------------------------	---------------

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)

Tabel 2. Spesifikasi Campuran Laston Modifikasi (AC Mod)

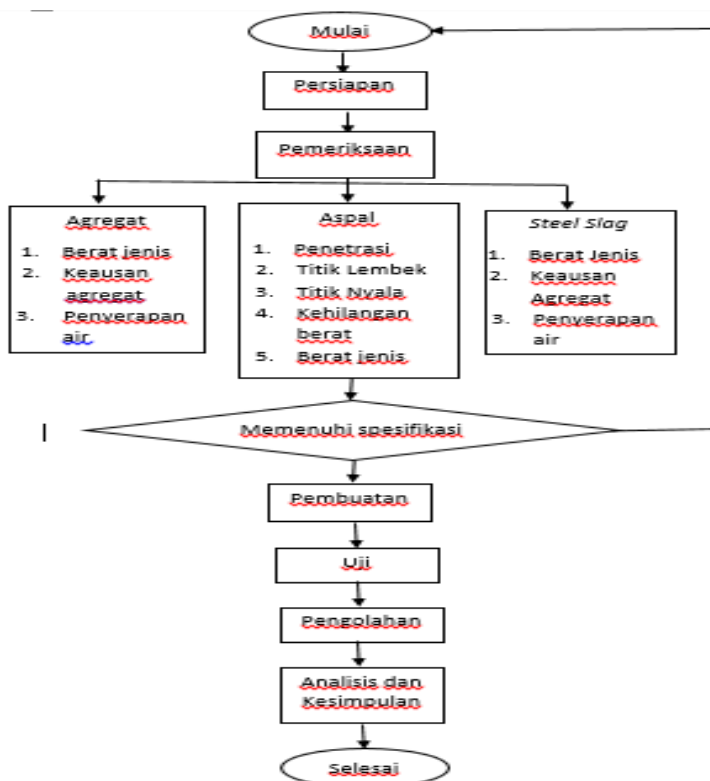
Sifat-sifat Caampuran	Spesifikasi Laston (AC-WC)
Jumlah tumbukan per bidang	75 kali
Rongga dalam Campuran (VIM)	3,5-5,5 %
Rongga dalam Agregat (VMA)	Min 15 %
Rongga terisi Aspal (VFA)	Min 65 %
Stabilitas	Min 1000kg
Pelelehan (<i>Flow</i>)	Min 3 mm
<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	-

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)

C. METODE PENELITIAN

1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Untuk lebih jelasnya, tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina (Persero)

Tbk. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian aspal

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Aspal AC 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	AC 60/70 PT. Pertamina	Satuan
1	Penetrasi 25"	60 – 70	62,8	0,1mm
2	Titik Lembek	>48	55,5	°C
3	Titik Nyala	>232	320	°C
4	Berat Jenis Aspal	>1,0	1,04	gr/cc

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

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
Agregat Kasar				
1	Abrasi	≤ 40	38,46	%
2	Berat jenis curah	≥ 2,5	2,535	gr/cc
3	Berat jenis semu	≥ 2,5	2,6	gr/cc
4	Penyerapan air	≤ 3	2,715	%

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

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan *Steel Slag*

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
Agregat Halus				
1	Berat jenis curah	2,4-2,6	2.429	gr/cc
2	Berat jenis jenuh kering permukaan	2,4-2,6	2,451	gr/cc
3	Berat jenis semu	2,4-2,6	2.487	gr/cc
4	Penyerapan Air	2,4-2,6	0,916	%
	Filler			
1	Berat jenis	≥ 2,5	2,56	gr/cc
Steel Slag				
1	Abrasi	≤ 40	27,8	%
2	Kelekatan agregat terhadap aspal	>95%	+95	%
3	Berat jenis kering permukaan	≥ 2,5	3,072	gr/cc
4	Berat jenis curah (sd)	≥ 2,5	3,0	gr/cc
5	Berat jenis semu (sa)	≥ 2,5	3,238	gr/cc
6	Penyerapan air (sw)	≤ 3	2,445	%

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

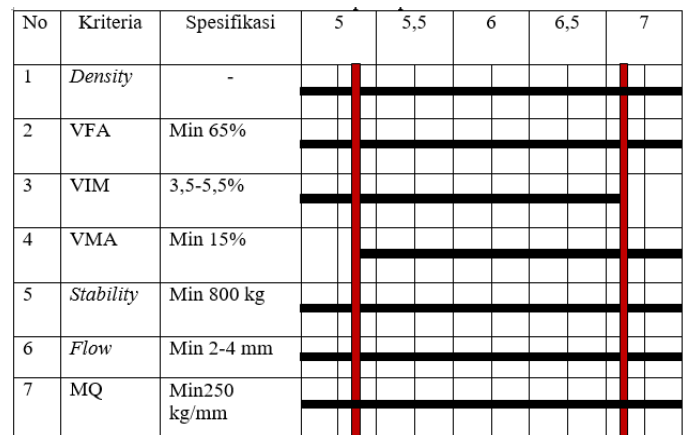
Dalam penelitian ini, dilakukan dua kali pengujian *Marshall* yaitu pengujian untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), kemudian KAO tersebut akan dipakai menjadi kadar aspal untuk campuran menggunakan *Steel Slag*.

1. Pengujian Marshall untuk menentukan KAO

Tabel 5. Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO

No	Kriteria	Spesifikasi	5	5,5	6	6,5	7
1	Density	-	2,31	2,30	2,29	2,27	2,26
2	VFMA	min 65%	74,50	77,12	78,82	80,05	82,20
3	VITM	3,5-5,5 %	3,81	3,61	3,55	3,54	3,30
4	VMA	min 15%	14,93	15,79	16,75	17,75	18,54
5	stability	min 800 kg	2144,95	2288,46	2475,18	2035,96	1790,29
6	Flow	min 2-4	2,15	2,65	3,75	3,4	4,05
7	MQ	min 250 kg/mm	997,65	863,57	660,05	598,81	442,05

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



Gambar 2. Grafik penentuan KAO

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

Sehingga penulis mengambil nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran AC-WC dengan tambahan *slag* sebagai pengganti agregat tertahan saringan No. ½” dan No. 8 adalah sebesar 6 %.

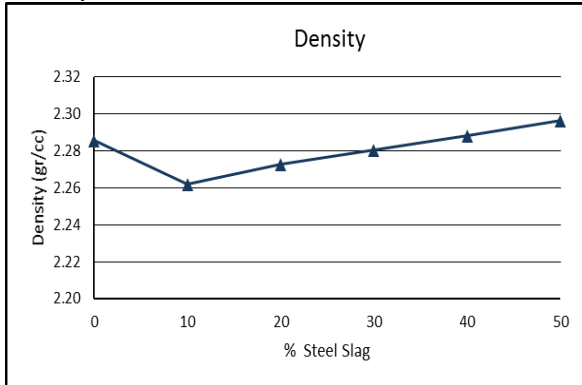
2. Pengujian Marshall campuran Steel Slag

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 No. ½” dan No.8. Penggunaan prosentase *slag* pada agregat tertahan saringan 0%, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, dan 50 %. Kadar aspal optimum yang digunakan adalah Kadar Aspal Optimum yaitu 6 %.

Hasil pengujian *Marshall* dengan campuran *slag* seperti ditunjukkan pada Tabel dibawah. Hasil pengujian *Marshall* campuran dengan *steel slag*

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	% slag pada agregat tertahan saringan No. ½" dan No. 8					
			0	10	20	30	40	50
1	Density (gr/cm ³)	-	2,28	2,26	2,27	2,28	2,28	2,29
2	VMA (%)	Min 15%	16,86	17,21	17,49	17,37	17,53	17,41
3	VFA (%)	Min 65%	78,19	76,13	74,99	76,41	75,29	75,04
4	VIM (%)	3,5-5,5%	3,68	4,16	4,37	4,21	4,33	4,16
5	Stabilitas (Kg)	Min 800 kg	2475,1	2279,3	2129,1	1909,9	1988,5	1817,1
6	Flow (mm)	Min 2-4 mm	3,75	2,65	2,75	2,85	2,80	2,85
7	MQ (kg/mm)	>250kg/mm	660,05	906,75	825,29	600,38	710,20	644,27

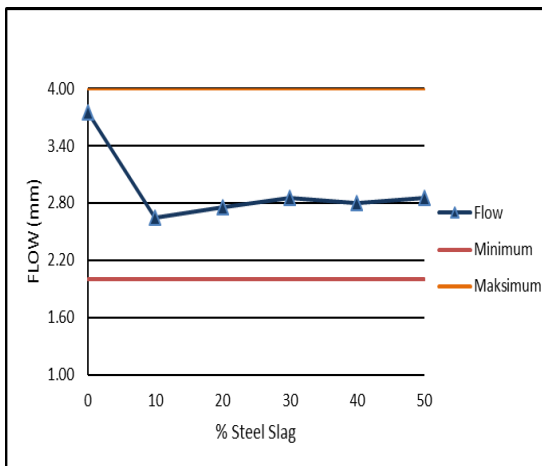
a. Density



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

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai *density* cenderung mengalami kenaikan secara keseluruhan dari kadar *Steel Slag* 10%, ini berarti menunjukkan 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. Kelelahan (*Flow*)

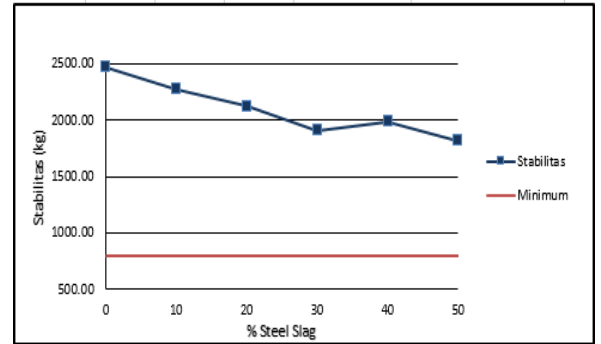


Gambar 4. Grafik hubungan *Flow* dan

variasi campuran *steel slag*
Pada grafik diatas menunjukkan

kecenderungan nilai *Flow* yang naik dikarenakan oleh nilai stabilitas yang terus menurun sehingga kelelahan pada campuran semakin meningkat.

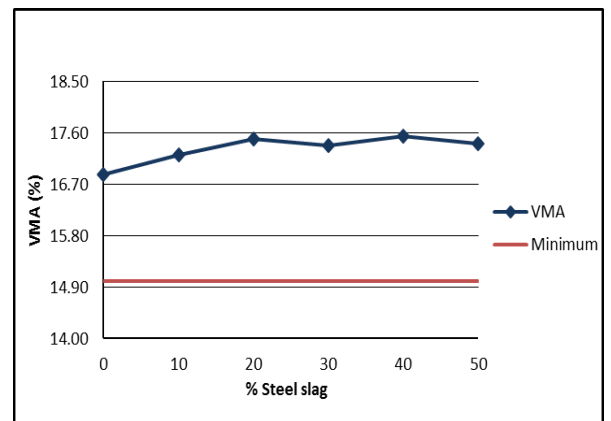
c. Stabilitas



Gambar 5. Grafik hubungan stabilitas dan variasi campuran *steel slag*

Didapat hasil nilai stabilitas diatas cenderung semakin menurun diakibatkan oleh sifat *Steel Slag* yang mudah menyerap panas dan mengakibatkan pemadatan kurang maksimal sehingga campuran memiliki stabilitas yang kurang baik dibandingkan dengan menggunakan natural agregat.

d. VMA

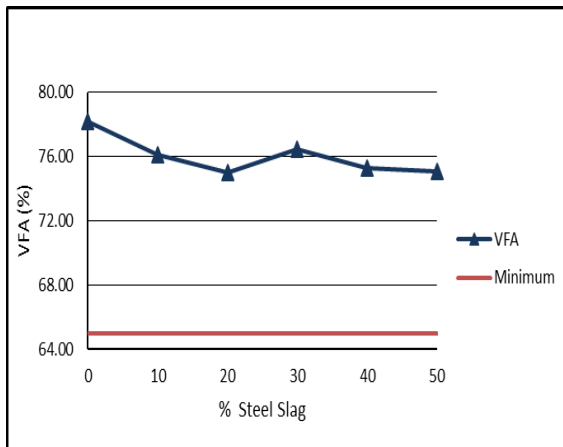


Gambar 6. Grafik hubungan VMA dan Variasi campuran *steel slag*

Terjadi kenaikan nilai VMA disebabkan oleh karena sifat *steel slag* yang *porous* sehingga menambah jumlah volume rongga yang ada diantara agregat dalam campuran. Selain itu bertambahnya kadar *steel slag* memberikan

pengaruh terhadap isi campuran yang nilainya cenderung menurun dan mengakibatkan kenaikan nilai VMA.

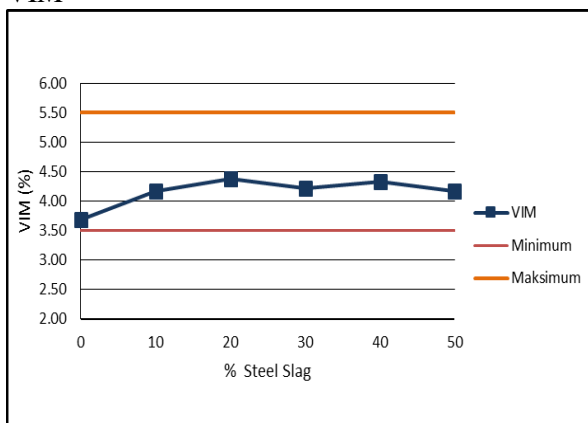
e. VFA



Gambar 7. Grafik hubungan VFA dan Variasi campuran *steel slag*

Dilihat dari grafik diatas pada gambar dapat disimpulkan bahwa nilai VFA mengalami penurunan dikarenakan banyaknya *steel slag* yang digunakan sehingga banyak menyerap aspal dan mempengaruhi terjadinya penurunan pada nilai VFA. Faktor lain yang mempengaruhi nilai penurunan VFA adalah sifat *steel slag* yang berpori sehingga aspal mudah masuk ke dalam rongga *steel slag*.

f. VIM

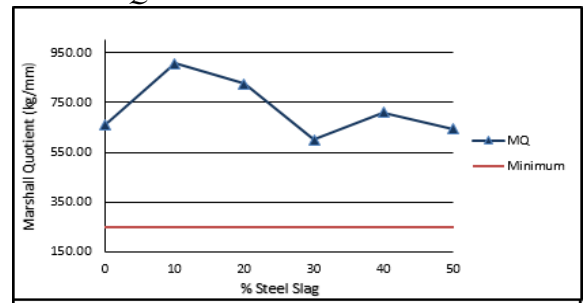


Gambar 8. Grafik hubungan VIM dan Variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan nilai grafik diatas dominan menghasilkan kenaikan pada nilai VIM. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena

bertambahnya *steel slag* sehingga aspal banyak diserap oleh agregat dan kemudian tersisa rongga campuran yang terisi udara.

f. Marshall Quotient



Gambar 9. Grafik hubungan MQ dan Variasi campuran *steel slag*

Berdasarkan gambar diatas nilai MQ dapat disimpulkan cenderung mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh nilai MQ sendiri merupakan perbandingan stabilitas terhadap kelelahan.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada campuran Laston dengan menggunakan *steel slag* sebagai pengganti agregat pada saringan No. 1/2” dan No.8, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sifat fisik *steel slag* yang diperoleh dari pengujian didapatkan hasil :
 - a. Abrasi : 27,8%
 - b. Kelekatan agregat terhadap aspal : +95%
 - c. Berat jenis curah (sd): 3,0 gr/cc
 - d. Berat jenis semu (sa) : 27,8 %
 - e. Penyerepan air : 2,445 %
2. Penggunaan *steel slag* pada aspal dalam campuran Laston menyebabkan perubahan nilai karakteristik Marshall , dengan hasil pengujian sebagai berikut :
 - a. Nilai Density tertinggi terjadi pada penambahan *Steel Slag* 50 % yaitu sebesar

- 2,296 kg/cc. Sedangkan terendah terjadi pada campuran menggunakan *Steel Slag* 10% yaitu sebesar 2,261 kg/cc .
- b. Nilai stabilitas tertinggi terjadi pada kadar *Steel Slag* 0 % yaitu sebesar 2475,18 kg. Sedangkan terendah terjadi pada campuran menggunakan *Steel Slag* 50% yaitu sebesar 1817,09 kg.
 - c. Nilai kelelahan tertinggi terjadi pada kadar *Steel Slag* 0 % yaitu sebesar 3,75 mm. Sedangkan terendah terjadi pada campuran tanpa menggunakan *Steel Slag* yaitu sebesar 2,65 mm.
 - d. Nilai VFA tertinggi terjadi pada tanpa menggunakan *Steel Slag* yaitu sebesar 78,19 %. Sedangkan terendah terjadi pada campuran menggunakan *Steel Slag* 50 % yaitu sebesar 74,94 %.
 - e. Nilai VMA tertinggi terjadi pada penambahan *Steel Slag* 40 % yaitu sebesar 17,537 %. Sedangkan terendah terjadi pada campuran tanpa menggunakan *Steel Slag* yaitu sebesar 16,86 %.
 - f. Nilai VIM tertinggi terjadi pada penambahan *Steel Slag* 40 % yaitu sebesar 17,537 %. Sedangkan terendah terjadi pada campuran tanpa menggunakan *Steel Slag* yaitu sebesar 3,68 %.
 - g. Nilai *Marshall Quotient* tertinggi terjadi pada kadar *Steel Slag* 10% yaitu sebesar 906,75 kg/mm. Sedangkan terendah yaitu sebesar 600,38 kg/mm.
3. Adapun perbandingan nilai karakteristik Marshall campuran Laston menggunakan *Steel Slag* sebanyak 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dengan hasil pengujian sebagai berikut :
- a. Penambahan *Steel Slag* sebagai bahan pengganti agregat kasar menyebabkan nilai stabilitas tinggi. Meningkatnya stabilitas campuran yaitu meningkatkan kemampuan campuran Laston untuk memikul beban lalu lintas.
 - b. Didapat hasil nilai stabilitas cenderung semakin menurun diakibatkan oleh sifat *Steel Slag* yang mudah menyerap panas dan mengakibatkan pemadatan kurang maksimal sehingga campuran memiliki stabilitas yang kurang baik dibandingkan dengan menggunakan natural agregat.
 - c. Nilai kelelahan mayoritas menunjukkan kecenderungan nilai *Flow* yang naik dikarenakan oleh nilai stabilitas yang terus menurun sehingga kelelahan pada campuran semakin meningkat.
 - d. Nilai VFA mengalami penurunan dikarenakan banyaknya *steel slag* yang digunakan sehingga banyak menyerap aspal dan mempengaruhi terjadinya penurunan pada nilai VFA. Faktor lain yang mempengaruhi nilai penurunan VFA adalah sifat *steel slag* yang berpori sehingga aspal mudah masuk ke dalam rongga *steel slag*.
 - e. Pada nilai VMA ini terjadi kenaikan disebabkan sifat *steel slag* yang *porous* sehingga menambah jumlah volume rongga yang ada diantara agregat dalam campuran. Selain itu bertambahnya kadar *steel slag* memberikan pengaruh terhadap isi campuran yang nilainya cenderung menurun dan mengakibatkan kenaikan nilai VMA.
 - f. Kenaikkan nilai VIM menunjukkan bahwa karena bertambahnya *steel slag* sehingga aspal banyak diserap oleh agregat dan kemudian tersisa rongga campuran yang terisi udara.

g. Penurunan pada nilai *marshall quotient* disebabkan oleh nilai MQ sendiri merupakan perbandingan stabilitas terhadap kelelahan.

Kadar *steel slag* optimum sebagai pengganti agregat saringan No ½ dan No.8 untuk campuran Laston adalah 30%.

2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya bisa dikombinasikan dengan inovasi limbah yang berbeda.
2. Pada penelitian selanjutnya bisa direkomendasikan untuk menganalisis sifat dan kinerja campuran aspal pada penggabungan *steel slag*.
3. Pada penelitian selanjutnya bisa menggunakan *steel slag* sebagai pengganti penuh agregat kasar dengan jumlah tumbukan yang berbeda.
4. Membandingkan dengan *steel slag* dari berbagai sumber yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. 1998. MS-2 Asphalt Mix Design Methods. Lexington, KY.
- Atkins.N, 1997, Highway Materials, Soil ad Concretes, 3th Edition Prentice Hall, New Jersey.
- Anonim. 1999. Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 Tentang : Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Revisi 3). Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI (Revisi 3). Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Dokumen Pelelangan Nasional Pekerjaan Jasa Pelaksanaan Konstruksi BAB VII (Devisi 6) Perkerasan Aspal. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan ,Badan Penerbitan Pekerjaan Umum, 2004.
- Rahman. 2016. Studi Pengaruh Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Tertahan Saringan Ukuran 3/8” Terhadap Karakteristik Marshall pada Campuran AC-WC. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Setyawan, sarwono. 2013. Pengaruh Penambahan Limbah Bubutan Baja pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Terhadap Karakteristik Marshall. Tugas Penelitian, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.
- Sukirman,S. 1990: Perkerasan Lentur jalan Raya. Bandung: Nova.
- Sukirman,S. 1992. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung: Nova.
- Sukirman.S. 1999. Perkerasan Lentur jalan Raya. Bandung: Nova.
- Sukirman,S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Granit.

