

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH *STEEL SLAG* SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR NO. ½” PADA CAMPURAN HRS-WC TERHADAP PARAMETER *MARSHALL*¹

Farid Kurniawan²

ABSTRACT

Hot Roll Sheet (HRS) merupakan campuran aspal yang menggunakan gradasi senjang dengan kandungan agregat kasar, agregat halus dan memiliki kandungan aspal yang tinggi sehingga dibutuhkan mutu campuran beraspal yang baik untuk menghasilkan jalan dengan kelenturan dan keawetan yang baik. Pada penelitian ini digunakan limbah industri yaitu *steel slag* sebagai alternatif pengganti agregat kasar No. ½” untuk campuran HRS-WC. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan kadar *steel slag* dalam campuran HRS-WC terhadap sifat fisis *steel slag* dan parameter Marshall. Metode penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa tahap yaitu, persiapan alat dan bahan, pengujian bahan perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian marshall, analisis perhitungan dan terakhir pembahasan dan kesimpulan. Penelitian ini menggunakan kadar aspal yang didapat dari kadar aspal optimum sebesar 7%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kadar *steel slag* pada campuran perkerasan memberikan pengaruh yang signifikan pada karakteristik Marshall. Nilai stabilitas yang didapat dari penambahan kadar *steel slag* sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari berat agregat No. ½” sudah memenuhi spesifikasi Marshall dengan hasil berturut-turut sebesar 1639.19 kg, 1654.35 kg, 1707.93 kg, 1665.07 kg dan 1623.14 kg. Untuk nilai VITM, VFWA, VMA, Flow, dan MQ menunjukkan besaran yang memenuhi spesifikasi.

Keywords : HRS-WC, karakteristik, Marshall *steel slag*

¹ Disampaikan pada seminar Tugas Akhir

² 20120110172 Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UMY

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan peningkatan pembangunan diberbagai bidang maka kebutuhan sarana transportasi bertambah, sehingga pengembangan dan penyempurnaan sarana transportasi sangat diperlukan. Konstruksi jalan yang dibangun pemerintah sebagian besar merupakan perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*).

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan tentu saja dibutuhkan bahan material perkerasan yang memenuhi spesifikasi. Dalam hal penyediaan bahan material yang memenuhi persyaratan inilah yang sering muncul permasalahan dimana saat ini ditemukan kondisi semakin sedikitnya pengadaan material alami yang di maksud.

Steel slag merupakan limbah dari produksi baja yang dihasilkan oleh PT. Krakatau Steel (Persero) yang termasuk ke dalam limbah B3 yang harus ditangani dan dimanfaatkan dengan benar karena berpotensi menimbulkan masalah lingkungan. Berawal dari beberapa masalah diatas maka perlu dilakukan penelitian tentang

penggunaan *Steel Slag* sebagai bahan pengganti agregat terhadap karakteristik campuran beraspal.

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengevaluasi sifat-sifat fisik *steel slag* yang digunakan sebagai pengganti agregat pada perkerasan jalan.
2. Mengevaluasi campuran dengan menggunakan *steel slag* dan campuran aspal panas (tanpa *steel slag*) terhadap karakteristik Marshall.
3. Mengetahui kadar optimum *Steel Slag* dalam campuran HRS-WC.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Lataston (HRS)*

Lapis Tipis Aspal Beton (*Lataston*) atau yang sering di sebut HRS adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang cocok digunakan didaerah tropis seperti Indonesia karena mempunyai kelenturan yang tinggi dan tahan terhadap kelelahan plastik. Campuran

HRS merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara campuran agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas (Sukirman, 1992).

2.2 Steel Slag

Steel slag merupakan sisa permuliaan baja dari dapur tinggi yang berbentuk kubikal tidak teratur. *Steel slag* mempunyai permukaan yang kasar yang di sebabkan oleh terperangkapnya gas pada *slag* panas selama proses pendinginan. *Steel slag* memberikan ikatan yang stabil untuk perkerasan jalan, dapat memberikan daya *adhesi* yang tinggi, karena *slag* melalui proses pemanasan yang tinggi sampai 1.600 °C, *steel slag* tahan terhadap perubahan temperatur, terhadap sifat basah, kering dan terhadap pelapukan yang disebabkan oleh bahan organik.

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, dan jika dipadatkan akan tahan terhadap pergeseran.

2.3 Studi penggunaan steel slag pada bidang Teknik Sipil

Hartati (2010) melakukan studi tentang pengaruh *steel slag* sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal beton terhadap *Workabilitas* dan *durabilitas*. Dari penelitian yang dilakukan pada campuran beton aspal diketahui bahwa semakin tinggi kandungan *steel slag* sebagai agregat kasar dalam suatu campuran, akan semakin rendah *workabilitasnya* sedangkan nilai *durabilitas* akan naik dengan adanya penambahan kadar *slag*.

Lidansyah (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh *Steel slag* sebagai bahan substitusi pasir pada sebagian sifat beton segar dan beton keras dengan kekuatan 25 Mpa. Dari penelitian didapat bahwa *slag* 30% cenderung meningkatkan kandungan air.

Yahya (2013) telah melakukan studi tentang pemanfaatan limbah Industri baja (*Belast Furnace Iron Slag*) sebagai bahan bangunan. Hasil pengujian TCLP, unsur senyawa kimia berbahaya yang terlarut

sangatlah kecil dibandingkan sebelum *iron slag* ini berfungsi sebagai substitusi agregat.

3. LANDASAN TEORI

3.1 Karakteristik Marshall

Tabel 1. Persyaratan pengujian Marshall untuk campuran HRS-WC.

No	Sifat-sifat campuran	Persyaratan		Satuan
		Min	Maks	
1.	Rongga dalam campuran (VIM)	4,0	6,0	%
2.	Rongga dalam agregat (VMA)	18	-	%
3.	Rongga terisi aspal (VFA)	68	-	%
4.	Stabilitas	800	-	Kg
5.	Kelelehan / flow	3	-	mm
6.	Marshall Quotient	250	-	Kg/mm

Sumber : *Spesifikasi Bina Marga 2010 (Edisi 3)*

3.2 Perhitungan Campuran

Perhitungan untuk metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall sebagai berikut

Rongga antara mineral agregat (VMA) adalah ruang/ volume pori di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat).

$$VMA = 100 - \left[(100 - R_b) \times \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right] \quad (1)$$

Rongga terisi aspal atau *Volume of voids Filled with Asphalt* (VFWA) adalah persen rongga yang terdapat di antara butir agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terasorpsi oleh agregat.

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \quad (2)$$

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VITM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri dari atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal.

$$VIM = 100x - \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (3)$$

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menahan beban lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen, dinyatakan dalam kg.

Flow adalah Parameter kelelahan diperlukan untuk mengetahui deformasi (perubahan bentuk) vertikal campuran pada saat dibebani hingga hancur (pada saat stabilitas maksimum), dinyatakan dalam mm.

Marshall Quotient adalah hasil bagi dari stabilitas dengan *flow* yang di pergunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau kelenturan campuran dinyatakan dalam kg/mm.

$$MQ = \left[\frac{MS}{MF} \right] \quad (4)$$

4. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Jurusan Teknik Sipil,

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY).

4.2 Alat dan bahan yang digunakan

Alat-alat yang digunakan untuk pengujian agregat kasar, agregat halus, aspal dan *steel slag*, serta benda uji *Marshall* harus dalam kondisi bersih, baik dan terkalibrasi.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Aspal dengan penetrasi 60/70. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian aspal.
- Agregat kasar dan halus yang berasal dari Clereng, Kulonprogo. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian agregat kasar dan halus.
- Steel Slag* berasal dari PT. Krakatau Steel (Persero). Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian sifat fisik *Steel slag*.

Tabel 2. Hasil pengujian aspal keras 60/70

No.	Jenis pengujian	Hasil	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	67,15	SNI 06-2456-1991	60 – 79
2	Titik lembek; °C	52,5	SNI 06-2434-1991	48-58
3	Titik Nyala; °C	320	SNI 06-2434-1991	Min. 200
4	Berat jenis	1,04	SNI 06-2488-1991	Min. 1,0
5	Kehilangan berat	0,145	SNI 06-2441-1991	Max 0,4

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Minimal	Maksimal	
I. Agregat Kasar						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,50	-	-	SNI 03-1969-1990
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,67	2,5	-	SNI 03-1969-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,59	-	-	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan	%	2,48	-	3	SNI 03-1969-1990
5	<i>Abrasi Los Angeles</i>	%	38	-	40	SNI 03-2417-1991
II. Agregat Halus						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,52	-	-	SNI 03-1979-1990
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,72	2,5	-	SNI 03-1979-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,62	-	-	SNI 03-1979-1990
4	Penyerapan	%	3,00	-	3	SNI 03-1979-1990

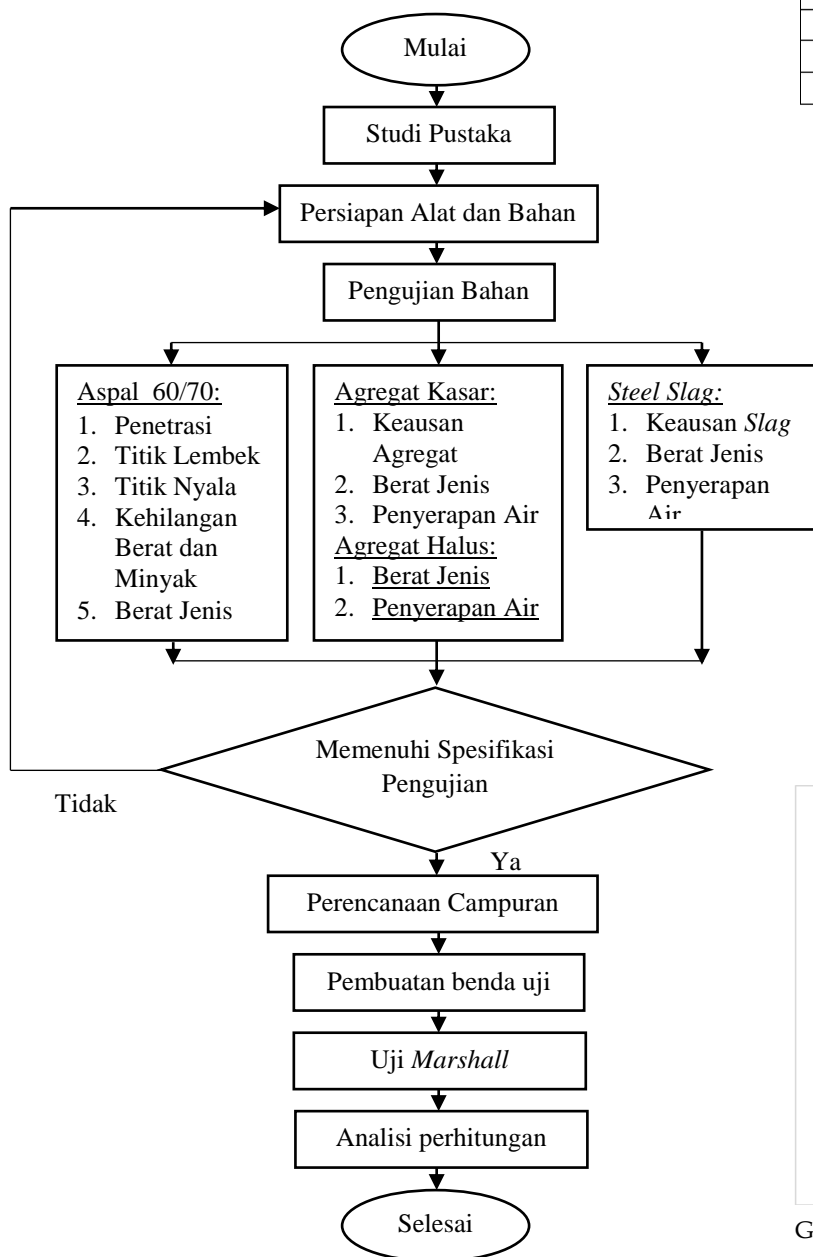
Tabel 4. Hasil pengujian sifat fisik *steel slag*

No.	Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,90	-
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	3,05	-
3	<i>Abrasi Los Angles</i>	≤ 40	20,45	%
4	Penyerapan	Mak. 3	1,675	%

4.3 Bagan alir penelitian

laksanaan pengujian dalam penelitian ini meliputi beberapa tahap, yaitu pemeriksaan bahan seperti agregat maupun aspal, penentuan gradasi campuran, serta dilanjutkan dengan pengujian *Marshall*.

Untuk pencampuran *steel slag* dilakukan dengan cara menimbang dahulu persen *steel slag* terhadap berat agregat No.1/2". Kemudian setelah didapat berat *steel slag*, lalu dicampurkan dengan gradasi agregat yang lain untuk mencapai berat 1.200 gram.



Gambar 1. Hubungan Stabilitas terhadap campuran kadar *steel slag*

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum ditunjukkan dalam Tabel 5, persyaratan dari sifat campuran *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 5.

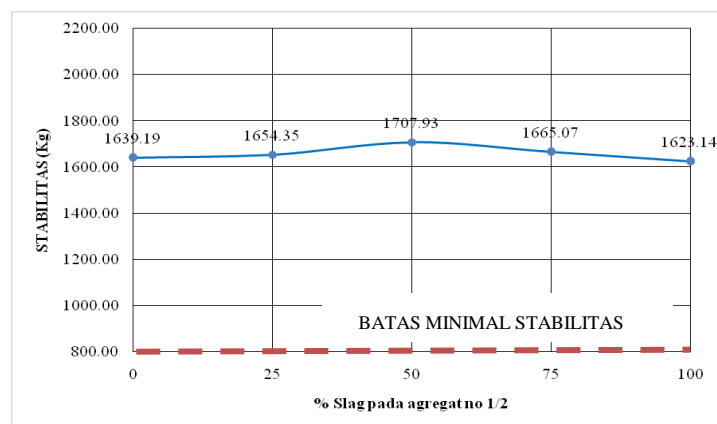
Tabel 5. Hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			6%	6,5%	7%	7,5%	8%
1	Density (gr/cc)	-	2.225	2.227	2.228	2.228	2.230
2	VITM (%)	4–6	6.03	5.23	4.45	3.69	2.86
3	VFWA (%)	≥ 68	69.37	73.99	78.40	82.51	86.70
4	VMA (%)	18	19.68	20.11	20.58	21.06	21.49
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1168.74	1263.27	1640.54	1473.84	1381.18
6	Flow (mm)	≥ 3	2.10	2.35	3.18	3.45	4.60
7	MQ (kg/mm)	≥ 250	554.80	537.55	527.25	444.27	300.27

5.1 Stabilitas

Nilai stabilitas tertinggi terjadi pada campuran *steel slag* 50% sebesar 1707.93 kg, sedangkan nilai stabilitas terendah terjadi pada campuran menggunakan 100% *steel slag* sebesar 1623.14 kg.

Nilai stabilitas digunakan sebagai parameter untuk menggambar/ mengukur ketahanan terhadap kelelahan plastis dari suatu campuran aspal atau kemampuan campuran untuk menahan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas. Berdasarkan Bina Marga, persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg, sehingga dari campuran-campuran tersebut memenuhi syarat minimal untuk stabilitas. Untuk hasil masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Stabilitas terhadap campuran kadar *steel slag*

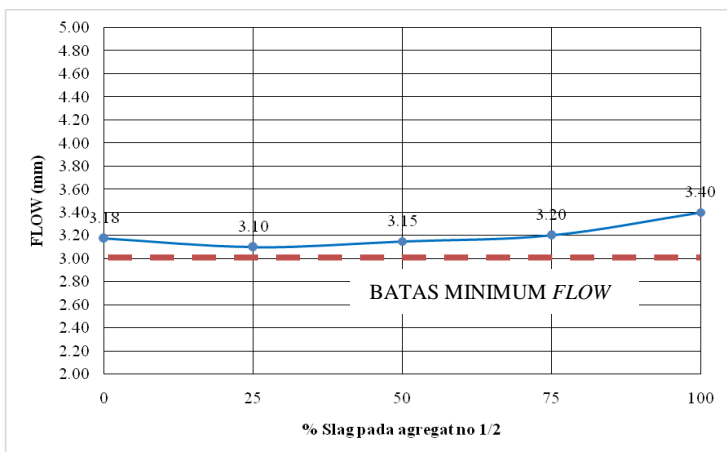
Dari grafik diatas dapat di lihat nilai stabilitas naik dikarenakan *steel slag* mempunyai permukaan kasar yang memberikan ikatan yang stabil, dan tahan

terhadap perubahan temperatur. Namun bertambahnya kadar *steel slag* menunjukkan nilai stabilitas turun, hal ini dikarenakan sifat *steel slag* yang lebih cepat menyerap suhu di bandingkan dengan batu pecah sehingga proses pemadatan kurang sempurna.

5.2 Kelelahan

Nilai kelelahan tertinggi terjadi pada campuran HRS-WC menggunakan 100% *steel slag* sebagai pengganti agregat No.1/2", yakni sebesar 3,40 mm, sedangkan nilai kelelahan terendah terjadi pada campuran menggunakan 25% *steel slag* yakni sebesar 3.10 mm.

Kelelahan menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan. Sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan Bina Marga, maka nilai kelelahan tidak boleh lebih kecil dari 3 mm, sehingga hasil pengujian kelelahan pada campuran aspal tersebut memenuhi untuk syarat. Untuk hasil masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 3.



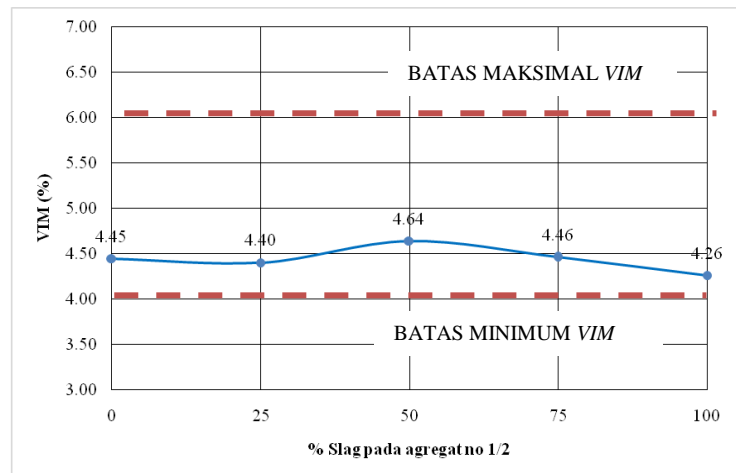
Gambar 3. Hubungan kelehan (Flow) terhadap campuran kadar *steel slag*

Penggunaan *steel slag* dalam campuran Lataston cenderung mengalami kenaikan, hal ini menunjukkan bahwa kenaikan nilai *flow* disebabkan oleh tingginya kadar aspal yang digunakan dan jenis perkerasan HRS-WC yang terdiri dari campuran agregat bergradasi timpang, *filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu.

5.3 Rongga di dalam campuran (VIM)

Nilai VIM tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 50% *steel slag* dari berat agregat no.1/2" sebesar 4.64%. Sedangkan nilai VIM terendah terjadi pada campuran *steel slag* 100% sebesar 4.26%.

Nilai VIM berpengaruh terhadap nilai dari *durabilitas* dan kekuatan dari campuran, semakin besar nilai VIM menunjukkan campuran bersifat keropos. Proses ini mengakibatkan udara dan air mudah masuk ke dalam lapis perkerasan sehingga berakibat meningkatkan proses oksidasi yang dapat mempercepat penuaan aspal. Persyaratan nilai VIM berdasarkan spesifikasi Bina Marga edisi 2010 (revis 3) berkisar antara 4-6%. Untuk hasil masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 4.



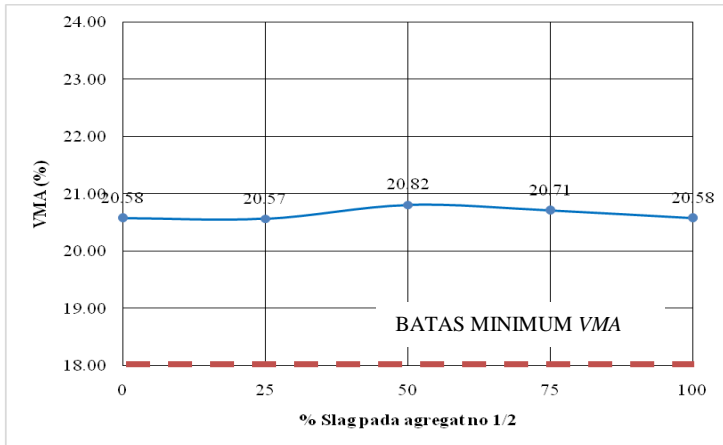
Gambar 4. Hubungan VIM terhadap campuran kadar *steel slag*

Bertambahnya nilai VIM pada campuran aspal dengan kadar aspal 7% terjadi karena *steel slag* mempunyai karakteristik berpori (*porous*) sehingga rongga antar agregat besar. Sedangkan berkurangnya nilai VIM campuran pada kadar aspal optimum disebabkan oleh semakin banyaknya kadar aspal yang digunakan, sehingga rongga dalam campuran semakin kecil.

5.4 Rongga di antara mineral agregat (VMA)

Nilai VMA tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 50% *steel slag* sebesar 20.82%. sedangkan nilai VMA terendah terjadi pada campuran *steel slag* 25% sebesar 20.57%.

VMA adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat yang pengaruhnya terhadap ketahanan dari campuran aspal. Persyaratan nilai VMA berdasarkan spesifikasi Bina Marga edisi 2010 (revis 3) berkisar antara $\geq 18\%$. Untuk hasil masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 5.



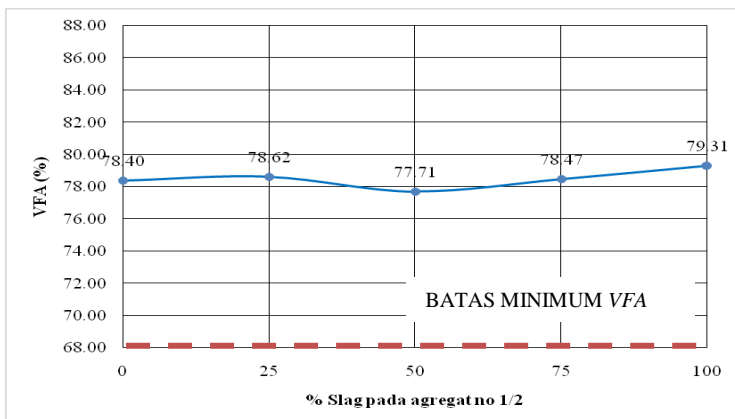
Gambar 5. Hubungan VMA terhadap campuran kadar *steel slag*

Dari hasil analisis, semakin bertambahnya kadar *steel slag* yang digunakan maka nilai VMA akan semakin besar, hal ini dipengaruhi oleh sifat *steel slag* yang berpori (*porous*) sehingga menambah volume rongga yang ada.

5.5 Rongga terisi aspal (VFA)

Nilai VFA mempunyai kecenderungan semakin besar seiring bertambahnya kadar *steel slag* secara bertahap. Nilai VFA tertinggi terjadi pada campuran *steel slag* 100% sebesar 79.31%, sedangkan nilai VFA terendah terjadi pada campuran menggunakan 50% *steel slag* sebesar 77.71%.

Nilai VFA memperlihatkan persentase rongga terisi aspal. Apabila VFA besar berarti banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedapatan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua terisi, aspal akan naik kepermukaan yang kemudian terjadi *bleeding*. Persyaratan nilai VFA berdasarkan spesifikasi Bina Marga edisi 2010 (revis 3) berkisar antara $\geq 68\%$. Untuk hasil masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 6.



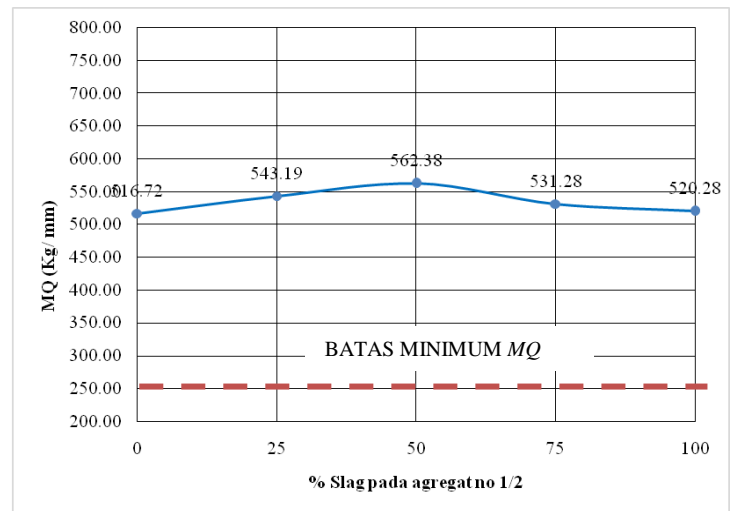
Gambar 6. Hubungan VFA terhadap campuran kadar *steel slag*

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar *steel slag* sebagai bahan campuran aspal pada campuran HRS-WC, akan mengakibatkan semakin mengecilnya rongga dalam campuran akibat berat jenis aspal semakin meningkat.

5.6 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai MQ suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Nilai MQ tertinggi terjadi pada campuran menggunakan 50% *steel slag* sebesar 562.38 kg/mm, sedangkan nilai MQ terendah terjadi pada tanpa campuran *steel slag* sebesar 516.72 kg/mm.

Pada grafik dibawah menunjukkan bahwa semua campuran Lataston untuk berbagai variasi kadar *steel slag* memenuhi syarat yang ditetapkan untuk nilai MQ yaitu lebih dari 200 kg/mm. Untuk hasil masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan MQ terhadap campuran kadar *steel slag*

Tidak ada pembatas spesifikasi sampai dimana besar angka MQ. Sehingga dapat dikatakan dengan bertambahnya kadar *Steel Slag* kedalam campuran Lataston-WC, akan memperbaiki konstruksi tersebut dari segi MQ.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah, penambahan kadar *steel slag* mempengaruhi hasil dari pengujian *Marshall*. Hasil yang didapat :

- Semakin banyak kadar *steel slag* yang digunakan dalam campuran perkerasan

- dapat meningkatkan nilai stabilitas. Meningkatkan stabilitas campuran yaitu meningkatkan kemampuan campuran Lataston-WC untuk memikul beban lalu lintas sampai terjadi kelelahan plastis.
- b. Semakin banyak kadar *steel slag* yang digunakan dalam campuran Lataston dapat meningkatkan nilai kelelahan karena kadar aspal yang digunakan tinggi.
 - c. Penggunaan kadar *steel slag* sebagai campuran pada aspal cenderung menaikkan nilai VIM.
 - d. Semakin banyak kadar *steel slag* sebagai campuran pada aspal cenderung menaikkan nilai VMA dikarenakan sifat *steel slag* yang berpori (*porous*).
 - e. Penambahan kadar *steel slag* pada campuran aspal Lataston cenderung menurunkan nilai VWA.
 - f. Penggunaan kadar *steel slag* cenderung meningkatkan nilai MQ. Penambahan *steel slag* dapat meningkatkan kemampuan konstruksi jalan dalam menerima beban, namun konstruksi tersebut masih *fleksibel* dan lentur.
 - g. Kadar *steel slag* optimum sebagai pengganti agregat saringan 1/2” untuk campuran HRS-WC (Lataston WC) adalah 50%.

- g. Kedua orang tua yang selalu memberikan motivasi, dukungan, kasih sayang dan segalanya kepada penyusun hingga detik ini.
- h. Kedua kakakku tercinta yang selalu memberikan semangat dalam penulisan laporan ini.
- i. Teman-teman satu perjuangan selama penelitian di Laboratorium berlangsung, Ambar, Fitri, Dede, Feris, Lia, Windi, dan Wahyu.
- j. Sahabat-sahabatku yang selalu menyemangati dan ada saat suka maupun duka Adit, Utman, Nurul, Rendy, Bagus, Zaky.
- k. Teman-teman Teknik Sipil 2012 yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. (2010). *Spesifikasi Umum Divisi VI (Revisi 3)*. Yogyakarta.
- Hartati, Fristin Yohanna M., (2009) *Studi Pengaruh Steel Slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Beton Terhadap Workabilutas Dan Durabilitas, Padang: Politeknik Negeri Padang*
- Lavin, P. G., (2003) *Asphalt Pavement, London and New York : Spon press.*
- Leksminingsih., *Pengaruh Pemberian Bahan Tambah Katalis Bekas (Spent Catalyst) Dan Filler Slag Terhadap Campuran Beton Semen Untuk Perkerasan Jalan,, Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan*
- Lidansyah, E.,(2015) *Pengaruh Steel Slag Sebagai Bahan Substitusi Pasir Pada Sebagian Sifat Beton Segar Dan Beton Keras , Riau: Universitas Riau*
- Sukirman, S., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya, Bandung: .Nova*

PENULIS:

Farid Kurniawan

Program Studi Tekni Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta

Email : onepiece.farid@gmail.com

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan trimakasih kepada :

- a. Bapak Jazaul Ikhsan, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- b. Ibu Ir. Anita Widiyanti, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- c. Ibu Anita Rahmawati, ST., M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dalam Tugas Akhir ini.
- d. Bapak Emil Aldy, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan hingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan.
- e. Bapak Dian Setiawan,. M., S.T., M.Sc., Sc., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan koreksi terhadap Tugas Akhir ini sehingga dapat menjadi lebih baik lagi.
- f. Seluruh staf, karyawan serta dosen Jurusan Teknik Sipil atas semua bantuan selama saya masih berstatus sebagai mahasiswa.