

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengujian Bahan

Hasil pengujian sifat sifat fisik agregat dan aspal yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 5.1. dan Tabel 5.2

Tabel 5.1 Hasil pengujian agregat kasar dan halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Minimal	Maksimal	
I. Agregat Kasar						
1	Berat Jenis Bulk (Sd)	-	2,606	-	-	SNI 03-1969-1990
2	Berat Jenis <i>Apparent</i> (Sa)	-	2,682	2,5	-	SNI 03-1969-1990
3	Penyerapan	%	1,092	-	3	SNI 03-1969-1990
4	Abrasi <i>Los Angeles</i>	%	38,46	-	40	SNI 03-2417-1991
II. Agregat Halus						
1	Berat Jenis Bulk (Sd)	-	2,429	-	-	SNI 03-1979-1990
2	Berat Jenis <i>Apparent</i> (Sa)	-	2,484	2,4	-	SNI 03-1979-1990
3	Penyerapan	%	0,916	-	3	SNI 03-1979-1990

Dari tabel hasil pengujian agregat diatas dapat dilihat bahwa nilai yang didapat dalam penelitian ini memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-2417-1991, sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan dasar campuran aspal dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini aspal yang digunakan merupakan aspal penetrasi 60/70. Pemeriksaan aspal penetrasi sebagai dasar dari penelitian harus memenuhi standar yang telah ditetapkan. Standart menurut Direktorat Jenderal Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum (2010) yang telah ditetapkan dapat dilihat dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil pengujian aspal keras 60/70

No	Jenis Pengujian	Hasil	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C, 100gr, 5detik: 0,1mm	62,8	SNI 06-2456-1991	60 – 69
2	Titik lembek: °C	57	SNI 06-2434-1991	48 – 58

No	Jenis Pengujian	Hasil	Metode	Persyaratan
3	Titik Nyala: °C	320	SNI 06-2433-1991	Min 200
4	Berat Jenis	1,04	SNI 06-2441-1991	Min. 1,0
5	Kehilangan berat minyak	0,2	SNI 06-2441-1991	Max 1

Dari tabel diatas, menunjukkan bahwa pengujian aspal 60/70 tersebut dapat digunakan sebagai bahan dasar campuran aspal dari penelitian ini karena memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

### B. Hasil Pengujian *Steel Slag*

Pemeriksaan terhadap sifat – sifat fisis *steel slag* ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Hasil pengujian *steel slag*

No.	Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis Bulk	-	3	-
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	3,238	-
3	Abrasi <i>Los Angels</i>	≤ 40	37,8	%
4	Penyerapan	Max. 3	2,445	%

Dari hasil pengujian *steel slag* secara langsung didapat hasil yang memenuhi standart sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran perkerasan.

### C. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Kadar Aspal Optimum

Pemeriksaan terhadap kadar aspal optimum dengan kadar aspal rencana 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8% ditunjukkan dalam Tabel 5.4. dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4. Hasil Pengujian *Marshall* untuk KAO

Kriteria	Spesifikasi	6	6.5	7	7.5	8
Density	-	2.262	2,282	2,262	2,257	2,258
VFMA	min 65%	69,994	77,601	78,135	81,358	87,313
VITM	3.5-5.5 %	5,598	4,117	4,283	8,839	2,540
VMA	min 15%	18,651	18,381	19,513	20,121	20,023
stability	min 800 kg	1867,034	1878,863	2121,623	1786,421	1609,016
Flow	>3	2,95	3,15	3,75	3,9	4.05
MQ	min 250 kg/mm	633,195	598,793	566,069	458,098	412,568

Tabel 5.5. Hasil pengujian kadar aspal optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	6%	6,5%	7%	7,5%	8%
1	Density	-					
2	VFMA	min 65%					
3	VITM	3.5-5.5 %					
4	VMA	min 15%					
5	Stability	min 800 kg					
6	Flow	>3					
7	MQ	min 250 kg/mm					

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum yang bias dipakai sebesar 6,5%, 7%, 7,5%, Hal ini dikarenakan nilai *Density*, VMA, VIM, VFA, Stabilitas, Kelelehan dan *Marshall Question* dari benda uji yang telah diuji *Marshall* memenuhi persyaratan Bina Marga (2010). Pada penelitian ini digunakan KAO sebesar 6,5 %. Di penelitian ini menggunakan kadar KAO 6,5% dikarena kadar 6,5% sudah memenuhi syarat dari Bina Marga (2010).

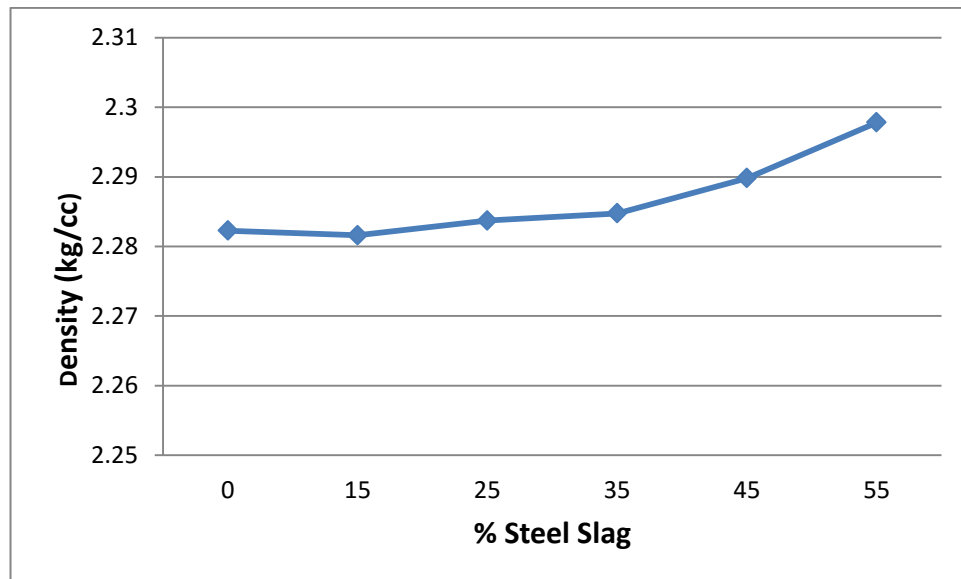
#### D. Hasil dan Pembahasan Pengujian *Marshall* Menggunakan Campuran *Steel Slag* No ½” dan No.8

##### 1. Density

Density atau kepadatan adalah rasio antara berat benda uji kering dengan volume benda uji tersebut.

Tabel 5.6 Nilai density untuk campuran *steel Slag*

Kadar Aspal (%)	Nilai Density (kg/cc)					
	0 %	15%	25%	35%	45%	55%
6,5 %	2,282	2,281	2,823	2,284	2,289	2,297



Gambar 5.1. Hubungan antara density dan % Slag pada agregat no. ½ dan No.8

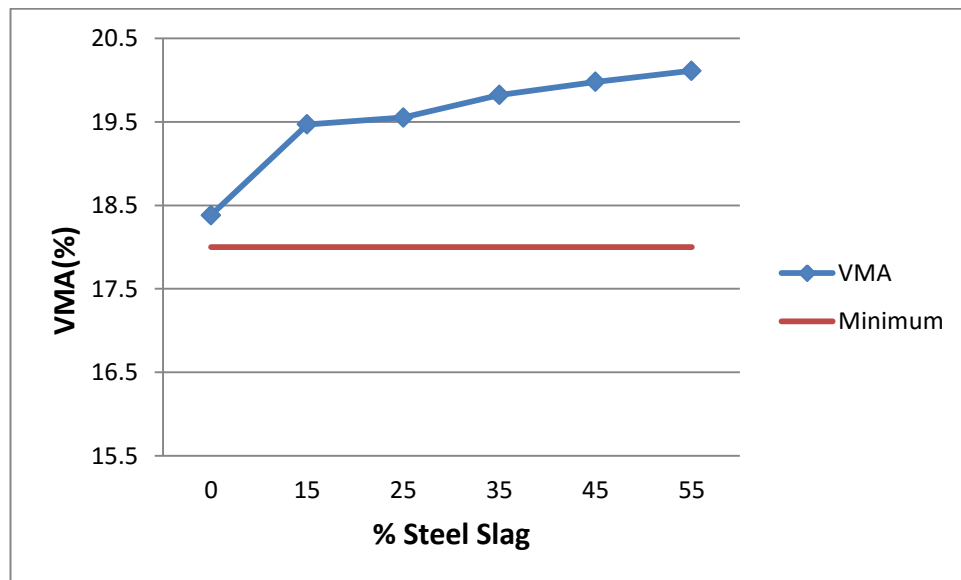
Dari grafik diatas terlihat bahwa penambahan *Steel Slag* pada campuran HRS-WC mengalami kenaikan. Kenaikan nilai density disebabkan oleh semakin banyaknya steel slag yang digunakan. Hal ini dikarenakan *steel slag* memiliki berat yang lebih besar dibandingkan dengan agregat kasar yang digunakan sehingga mengakibatkan berat benda uji semakin berat yang menghasilkan kepadatannya tinggi dan akan membuat campuran lebih mampu menahan beban yang besar. Dengan demikian jika kepadatannya tinggi maka rongga dalam campuran mengecil sehingga berpengaruh langsung terhadap berat benda uji dalam air dan volume benda ujinya. Nilai density tertinggi yaitu berada pada campuran dengan menggunakan kadar slag 55% sebagai pengganti agregat no ½” dan No.8.

## 2. *Voids In Mineral Aggregate (VMA)*

*Voids In Mineral Aggregate (VMA)* adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat didalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. VMA dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperature pemadatan. Nilai hasil pengujian VMA ditunjukkan pada Tabel 5.10. dan Gambar 5.5.

Tabel 5.7. Nilai VMA untuk campuran *steel slag*

Kadar Aspal (%)	VMA ( % )					
	0 %	15%	25%	35%	45%	55%
6,5 %	18,381	19,46	19,551	19,821	19,978	20,110



Gambar 5.2. Hubungan anatar VMA dan % slag pada agregat No. ½ dan No.8

Dari grafik diatas, berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) tentang sifat-sifat campuran HRS, bahwa semua campuran HRS-WC berbagai campuran *steel slag* memenuhi syarat ( $\geq 18\%$ ). Nilai VMA tertinggi terjadi pada campuran dengan kadar *slag* 55% dan terendah pada kadar *slag* 15%, sedangkan pada penelitian sebelumnya untuk nilai tertinggi VMA pada penggantian agregat saringan No. 1/2" dan penggantian agregat saringan No. 3/8" adalah masing-masing 20.52% dan 20,84%, dan nilai tertinggi tersebut terjadi pada presentase penggantian 50%.

Dari hasil diatas nilai VMA cenderung mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena *steel slag* memiliki sifat yang *porous* sehingga menambah jumlah volume rongga yang ada diantara agregat dalam campuran. Selain itu

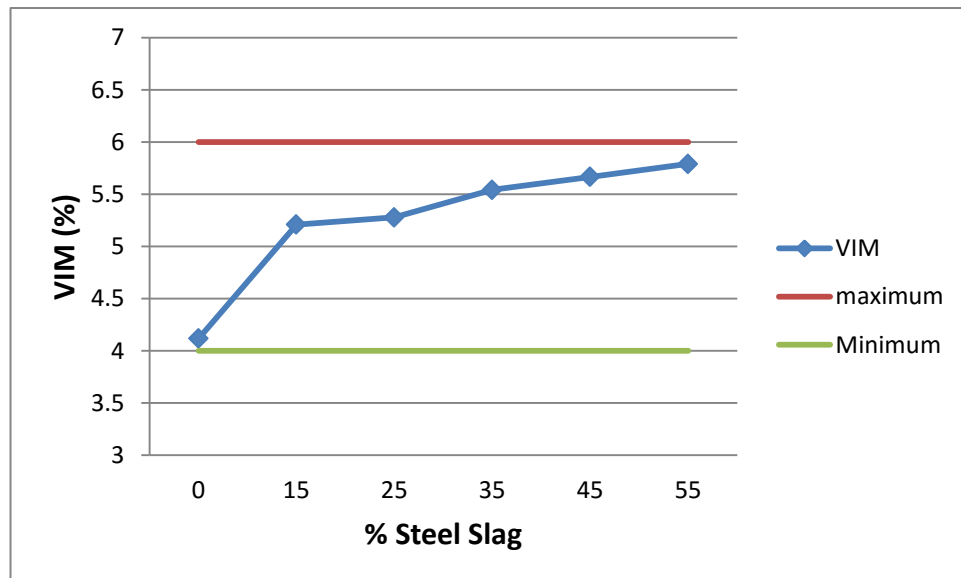
bertambahnya kadar steel slag memberikan pengaruh terhadap isi campuran yang nilainya cenderung menurun dan mengakibatkan kenaikan nilai VMA.

### 3. Voids in The Mix (VIM)

VIM menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran beraspal panas. Spesifikasi dari nilai VIM berkisar antara 4%-6%. Hasil nilai VIM ditunjukkan pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.6.

Tabel 5.8. Nilai VIM untuk campuran *steel slag*

Kadar Aspal (%)	VIM (%)					
	0 %	15%	25%	35%	45%	55%
6,5 %	4,117	5,208	5,277	5,541	5,666	5,789



Gambar 5.3. Hubungan anatar VIM dan % slag pada agregat no. ½ dan No.8

Dari grafik diatas, berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) tentang sifat-sifat campuran HRS, bahwa semua campuran HRS-WC berbagai campuran *steel slag* memenuhi syarat. Nilai VIM tertinggi terjadi pada campuran dengan kadar *slag* 55% dan terendah pada kadar *slag* 15%, sedangkan pada penelitian sebelumnya atau pada penggantian agregat saringan No. 1/2" adalah 4,64% dan untuk penggantian agregat saringan 3/8" adalah 5,70%, dan nilai tersebut terjadi pada kadar penggantian 50%.

Dari hasil diatas nilai VIM cenderung mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar *steel slag* banyak aspal yang terserap oleh agregat sehingga rongga campuran yang seharusnya diisi oleh aspal terisi udara, hal ini menyebabkan nilai VIM naik.

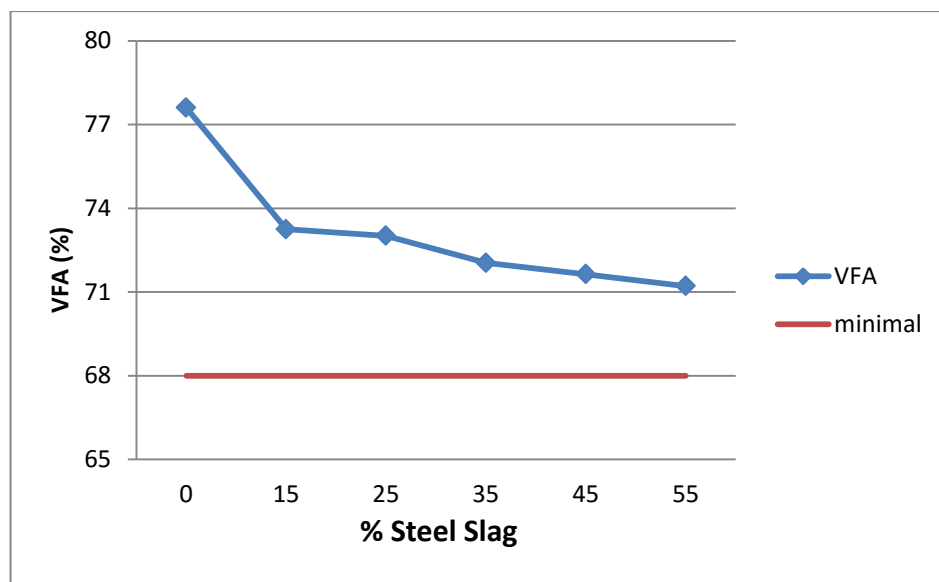
#### 4. *Voids Filled with Asphalt* (VFA)

Nilai VFA menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspla. Besarnya nilai VFA menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFA akan menunjukkan semakin kecil nilai VIM, yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak.

Kriteria VFA bertujuan untuk menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. Hasil nilai VFA dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.4.

Tabel 5.9. Nilai VFA untuk campuran *steel slag*

Kadar Aspal (%)	VFA ( % )					
	0 %	15%	25%	35%	45%	55%
6,5 %	77,601	73,247	73,013	72,045	71,636	71,210



Gambar 5.4. Hubungan anatar VFA dan % slag pada agregat No. ½ dan No.8

Seperti terlihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.4 bahwa semua campuran HRS-WC dari kelima campuran *steel slag* memenuhi syarat VFA ( $\geq 68\%$ ). Nilai VFA tertinggi terdapat pada campuran tanpa *steel slag* dan yang

terendah pada campuran *steel slag* 55%, sedangkan penelitian sebelumnya atau penggantian *steel slag* saringan No. 1/2" adalah 79,71% dan untuk penggantian No. 3/8" adalah 78,781%.

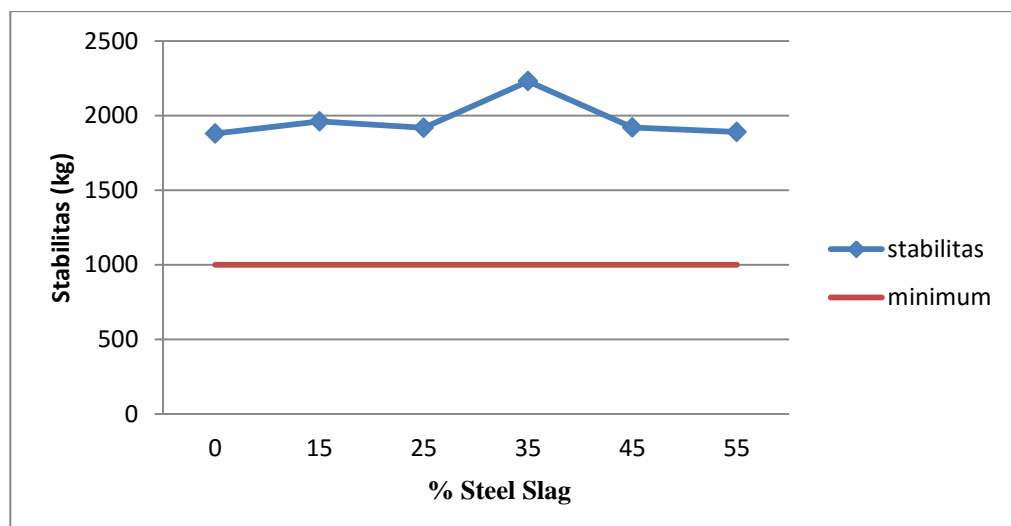
Nilai VFA cenderung turun dikarenakan sifat fisis *steel slag* yang berpori dan *steel slag* yang memiliki daya serap yang tinggi sehingga dengan banyaknya kadar *steel slag* yang digunakan banyak aspal yang terserap didalam *steel slag* sehingga nilai VFA turun.

## 5. Stabilitas

Nilai stabilitas digunakan sebagai parameter untuk menggambarkan ketahanan terhadap kelelahan plastis dari suatu campuran aspal atau kemampuan campuran untuk deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas. Nilai stabilitas untuk masing–masing campuran dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan dan gambar 5.5.

Tabel 5.10. Nilai stabilitas untuk campuran *Steel Slag*

Kadar Aspal (%)	Nilai Stabilitas (kg)					
	0 %	15%	25%	35%	45%	55%
6,5 %	1878,863	1960,5	1916,1	2229,2	1918,9	1889,2



Gambar 5.5. Hubungan antara stabilitas dan % Slag pada agregat no. 1/2 dan no.8

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, nilai stabilitas yang didapat mengalami ketidak tetapan. Nilai optimum stabilitas adalah pada penambahan



kadar steel slag 35 % pada campuran, yaitu sebesar 2229,2 kg. Sedangkan nilai stabilitas minimum terjadi pada campuran 25% yaitu sebesar 1719,7. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa dari berbagai persen campuran *steel slag* pada kadar 6,5 % memenuhi syarat stabilitas ( $\geq 800$  kg).

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya kadar *steel slag* nilai stabilitas turun dikarenakan sifat *steel slag* yang lebih cepat menyerap suhu dibandingkan dengan batu pecah sehingga proses pemadatan kurang sempurna.

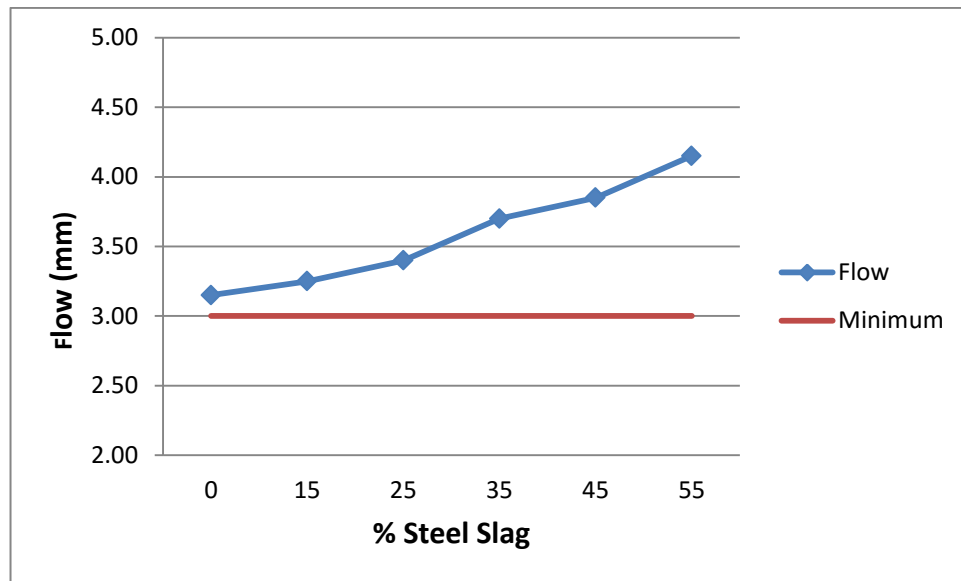
Semakin besar nilai stabilitas menyebabkan perkerasan akan menjadi kaku dan mudah retak akibat beban lalu lintas. Sedangkan jika nilai stabilitas yang dihasilkan terlalu rendah akan menyebabkan mudahnya terjadi deformasi.

#### 6. Kelelehan

Kelelehan menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan. Nilai kelelehan dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat. Nilai kelelehan dapat dibaca dari pembacaan arloji kelelehan (*flow*) pada saat pengujian *Marshall*. Hasil kelelehan ditunjukkan dalam Tabel 5.8 dan Gambar 5.3.

Tabel 5.11. Nilai kelelehan untuk campuran *steel slag*

Kadar Aspal (%)	Nilai Flow ( mm )					
	0 %	15%	25%	35%	45%	55%
6,5 %	3,15	3,25	3,4	3,7	3,85	4,15



Gambar 5.6. Hubungan antara keelehan dan % *Steel Slag* pada agregat No. 1/2" dan No.8

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa semua campuran HRS-WC untuk berbagai kadar *steel slag* memenuhi syarat minimum flow ( $\geq 3$  mm). Nilai tertinggi adalah campuran HRS-WC yang menggunakan 55% *steel slag* yaitu sebesar 4.15 mm, sedangkan nilai keelehan terendah terjadi pada campuran yang menggunakan 15% *steel slag* yakni sebesar 3,25 mm, sedangkan penelitian sebelumnya untuk nilai *flow* untuk penggantian satu *variable* adalah 3,40 untuk penggantian agregat saringan No. 1/2" dan 4,0 pada penggantian saringan No. 3/8".

Penggunaan *Steel slag* dalam campuran HRS-WC cenderung mengalami kenaikan dikarenakan sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti agregat semakin baik pula ikatan antara agregat dan aspal. Selain itu jenis perkerasan HRS-WC yang terdiri dari campuran agregat bergradasi timpang, *filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu.

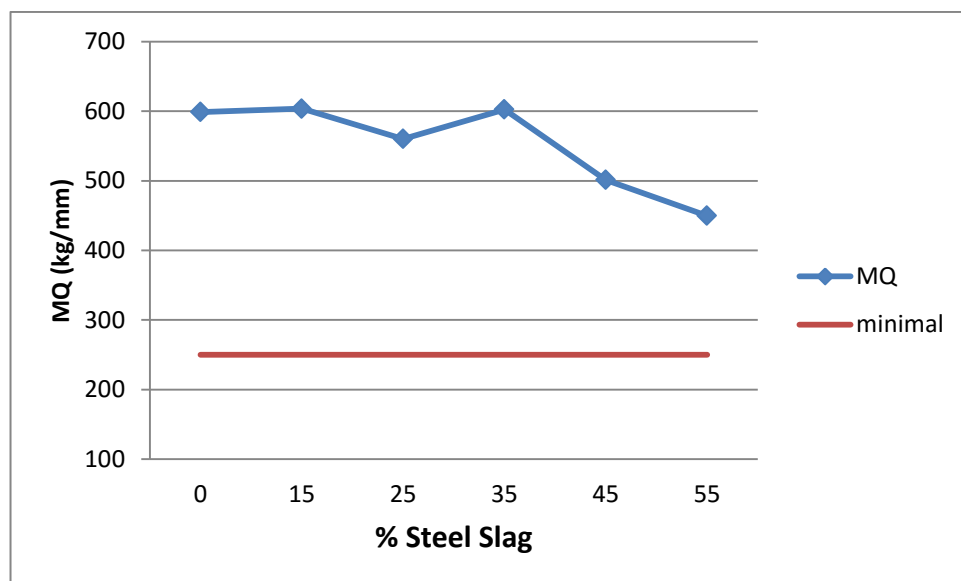
Suatu campuran dengan nilai keelehan (*Flow*) tinggi akan cenderung lembek, sehingga mudah berubah bentuk jika menerima beban. Sedangkan jika keelehan (*Flow*) rendah maka campurannya menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban berlebih.

### 7. Marshall Quotient (MQ)

*Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan flow yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi, sedangkan campuran yang memiliki MQ tinggi, campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Hasil untuk pengujian MQ tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.7.

Tabel 5.12. Nilai *Marshall Quotient* untuk campuran *steel slag*

Kadar Aspal (%)	<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)					
	0 %	15%	25%	35%	45%	55%
6,5 %	598,793	603,5	560,04	602,34	501,17	449,82



Gambar 5.7. Hubungan antar MQ dan % *Slag* pada agregat No. ½ dan No.8

Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan *steel slag* pada campuran HRS-WC cenderung mengalami penurunan. Nilai MQ tertinggi terjadi pada penambahan *steel slag* 15% yaitu 647,85 kg/mm, sedangkan nilai terendah terdapat pada campuran 55% yaitu 449,82.

Dari grafik diatas berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) menunjukkan bahwa semua campuran HRS-WC untuk berbagai variasi penggunaan *steel slag* memenuhi syarat yang ditetapkan yaitu lebih dari 250 kg/mm.

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa nilai MQ mengalami penurunan yang fluktuatif pada setiap presentase campuran *slag*, itu berarti campuran yang dihasilkan bersifat semakin lentur dikarenakan nilai *flow* dan stabilitas yang cukup tinggi dan mengalami peningkatan untuk setiap penambahan presentase campuran *slag*, karena nilai MQ sendiri merupakan rasio perbandingan stabilitas terhadap *flow*.

Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sehingga dengan bertambahnya *steel slag* kedalam campuran HRS-WC, akan memperbaiki konruksi perkerasan. Tidak ada pembatas spesifikasi sampai dimana besar nilai MQ, sehingga dapat dikatanakan dengan bertambahnya kadar *steel slag* ke dalam campuran HRS-WC, akan memperbaiki konstruksi dari segi MQ.

#### 8. Hasil Kadar *Steel Slag* Optimum

Pengujian *marshall* untuk campuran dengan *Steel Slag* dilakukan untuk mengetahui karakteristik *marshall*. Dimana kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal optimum yaitu 6,5%. Hasil pengujian *marshall* dengan campuran *steel slag* menggunakan kadar *slag* 0%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55% dari berat agregat No. ½” dan No.8 dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13. Hasil pengujian campuran dengan *steel slag*

No	Kriteria	Spesifikasi	0	15	25	35	45	55
1	Density	-	2.282	2.281	2.283	2.284	2.289	2.297
2	VFMA	min 68%	77.601	73.247	73.013	72.045	71.635	71.209
3	VITM	4-6 %	4.117	5.208	5.277	5.541	5.666	5.789
4	VMA	min 18%	18.381	19.468	19.550	19.820	19.977	20.110
5	stability	min 800 kg	1878.86	1960.51	1848.14	2229.21	1918.93	1889.24
6	Flow	min ≥3	3.15	3.25	3.4	3.7	3.85	4.15
7	MQ	min 250 kg/mm	598.79	603.50	560.04	602.33	501.16	449.81

Tabel 5.14. Kadar *Steel Slag* Optimum untuk campuran HRS-WC

No	Kriteria	Spesifikasi	15%	25%	35%	45%	55%
1	Density	-					
2	VFMA	min 65%					
3	VITM	3.5-5.5 %					
4	VMA	min 15%					
5	Stability	min 800 kg					
6	Flow	>3					
7	MQ	min 250 kg/mm					

Pada penelitian ini, dari semua hasil karakteristik *Marshall*, dan dengan mempertimbangkan nilai yang didapat pada setiap karakteristik, maka kadar penambahan *steel slag* yang paling optimum untuk campuran HRS-WC adalah 35%.