

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, merupakan pencarian suatu data. Berikut hasil penelitian dan pembahasannya :

A. Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, dan pasir. Berdasarkan proses produksinya, dikenal natural agregat dan agregat buatan sedangkan berdasarkan ukurannya, dikenal agregat kasar dan halus.

1. Natural agregat

Hasil pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil pemeriksaan Natural Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
	Agregat Kasar			
1	Abrasi	≤ 40	38,46	%
2	Berat jenis curah kering	$\geq 2,5$	2,535	-
3	Berat jenis jenuh kering permukaan	$\geq 2,5$	2,6	-
4	Berat jenis semu	$\geq 2,5$	2,715	-
5	Penyerapan air	≤ 3	2,715	%
	Agregat Halus			
1	Berat jenis curah kering	2,4 – 2,6	2,429	-
2	Berat jenis jenuh kering permukaan	2,4 – 2,6	2,451	-
3	Berat jenis semu	2,4 – 2,6	2,487	-
4	Penyerapan Air	≤ 3	0,916	%

Dari hasil pengujian agregat, didapatkan hasil sebagai berikut :

a. Agregat Kasar

Pada pengujian agregat kasar yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai berat jenis curah kering (S_d) 2,535 gr/cc, nilai berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,6 gr/cc sedangkan berat jenis semu (S_a) sebesar 2,715 gr/cc dan penyerapan air sebesar 2,715%. Nilai berat jenis dan

penyerapan air agregat kasar yang digunakan sudah memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan tahan terhadap abrasi, ini terlihat dari nilai keausan rata – rata yang diperoleh yaitu sebesar 38,46% atau memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) yaitu maksimal 40%.

b. Agregat Halus

Dari hasil pengujian agregat halus, yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai berat jenis curah kering (Sd) sebesar 2,429 gr/cc, nilai berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,451 gr/cc dan berat jenis semu (Sa) sebesar 2,487 gr/cc. Nilai penyerapan air agregat halus menunjukkan nilai 0,916% atau sudah masuk kedalam spesifikasi umum Bina Marga 2010.

2. *Steel Slag*

Tabel 5.3. Hasil Pemeriksaan *Steel Slag*

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
1	Abrasi	≤ 40	27,8	%
2	Kelekatan agregat terhadap aspal	$>95\%$	+95	%
3	Berat jenis jenuh kering permukaan	$\geq 2,5$	3,072	-
4	Berat jenis curah kering (sd)	$\geq 2,5$	3,0	-
5	Berat jenis semu (sa)	$\geq 2,5$	3,238	-
6	Penyerapan air (sw)	≤ 3	2,445	%

Steel slag yang digunakan pada penelitian ini berasal dari CV Bonjour Jaya. Nilai berat jenis curah kering (Sd) didapatkan nilai 3,0 gr/cc, nilai kelekatan agregat terhadap aspal sebesar +95, nilai berat jenis jenuh kering permukaan didapatkan 3,072 gr/cc, nilai berat jenis semu (Sa) didapatkan 3,238 gr/cc, dan nilai penyerapan air didapatkan 2,445%. Nilai berat jenis *slag* lebih besar dibandingkan dengan agregat biasa, hal ini disebabkan oleh kandungan yang terdapat pada *slag* dan agregat biasa berbeda, sehingga *slag* cenderung lebih berat dari agregat biasa.

Dari hasil pengujian keausan *slag* dengan menggunakan mesin Los Angeles, menunjukkan bahwa *slag* yang digunakan tahan terhadap abrasi, ini

terlihat dari nilai keausan rata-rata yang diperoleh yaitu sebesar 27,8% atau dibawah nilai yang diisyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu 40%.

B. Aspal

Hasil pengujian aspal yang dilakukan terhadap material aspal Pertamina jenis AC 60/70 di laboratorium disajikan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Hasil Pemeriksaan Aspal AC 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

Dari hasil pengujian aspal AC 60/70 ditunjukkan pada pembahasan sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal AC 60/70

Pengujian Penetrasi Aspal adalah suatu pengujian yang digunakan untuk menentukan nilai penetrasi pada aspal sehingga dapat diketahui mutunya. Dari hasil pemeriksaan Penetrasi Aspal AC 60/70 diperoleh nilai rata-rata penetrasi 62,8 dengan hasil tersebut maka nilai penetrasi aspal AC 60/70 memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan, sehingga aspal yang diperoleh dari PT. Pertamina dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beton aspal panas dengan persyaratan yang ditentukan untuk penetrasi aspal adalah 60–70.

2. Pemeriksaan berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara volume aspal dan volume air. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis aspal keras yang terdapat di laboratorium. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah >1 gr/cc. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan hasil 1,04 gr/cc, sehingga aspal AC 60/70 yang diperoleh dari PT. Pertamina dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beton aspal panas.

3. Pemeriksaan Titik Nyala Aspal AC 60/70

Pemeriksaan titik nyala adalah untuk menentukan suhu dimana aspal mulai mengalami perubahan sifat sebagai akibat pemanasan yang terlalu tinggi serta untuk mengetahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Titik nyala yang diisyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70 minimal sebesar 232°C dan dari hasil pemeriksaan menunjukkan titik nyala rata-rata sebesar 320°C .

4. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal AC 60/70

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal. Titik lembek merupakan suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak dibawah cincin pada tinggi tertentu, akibat pemanasan tertentu. Dari hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata suhu dari kondisi titik lembek adalah sebesar $55,5^{\circ}\text{C}$ masih dalam rentang batas suhu kondisi titik lembek yang diisyaratkan yaitu $>48^{\circ}\text{C}$.

5. Pemeriksaan kehilangan berat aspal

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui penurunan berat aspal padat dengan cara pemanasan dan tebal tertentu. Dari hasil pengujian diperoleh nilai 0,2. Menurut spesifikasi Bina Marga 2010 nilai maksimumnya adalah 0,4 sehingga hasil tersebut memenuhi spesifikasi.

C. Marshall Test

1. Pengujian untuk menentukan nilai KAO

Pengujian *Marshall* dilakukan dengan variasi kadar aspal (5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%), yang bertujuan untuk mengetahui nilai-nilai karakteristik *Marshall* dari campuran aspal tersebut dan untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO).

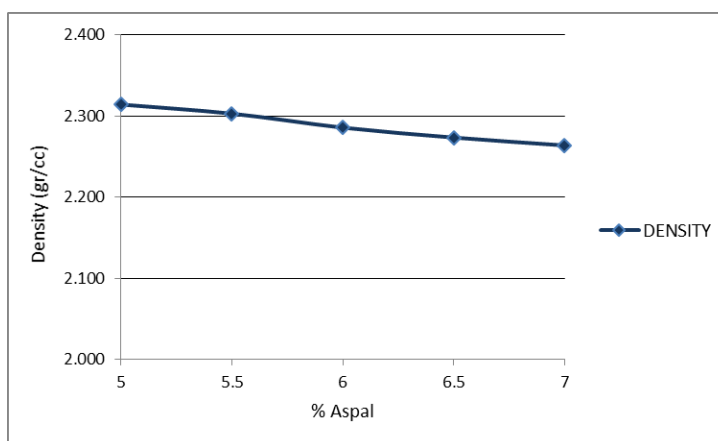
a. Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* merupakan besarnya kerapatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Nilai *density* tinggi apabila bentuk butiran yang tidak seragam, butiran dengan porositas rendah dan kadar aspal tinggi. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya

semakin baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas penyusunnya dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukkannya. Berikut ini adalah tabel 5.5 dan gambar 5.1 hubungan kadar aspal dan kepadatan (*density*).

Tabel 5.5. Hasil Pengujian Kepadatan (*Density*)

Nilai <i>Density</i> (gr/cc)					
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
A	2,316	2,296	2,285	2,274	2,264
B	2,312	2,309	2,286	2,273	2,264
Rata-rata	2,314	2,303	2,286	2,273	2,264



Gambar 5.1. Grafik hubungan kepadatan dan kadar aspal

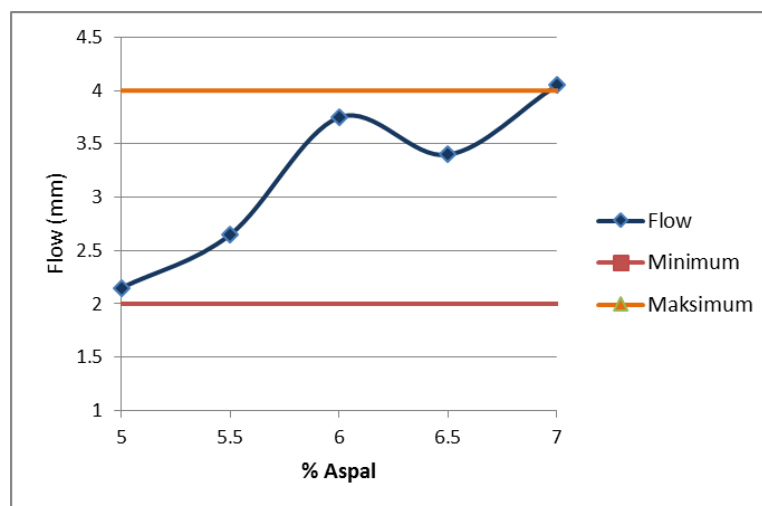
Berdasarkan grafik diatas, Pada penambahan kadar aspal 5% diperoleh nilai *density* yaitu 2,314 gr/cc dan pada penambahan kadar aspal 5,5% nilai *density* 2,303 gr/cc kemudian pada penambahan kadar aspal 6% hingga 7% mengalami penurunan sebesar 0,022 gr/cc.

b. Kelelehan (*Flow*)

Flow merupakan besarnya penurunan yang terjadi pada campuran benda uji akibat menahan beban sampai batas runtuh, dinyatakan dalam satuan mm. Nilai *Flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat dan proses pemadatan. Penurunan yang terjadi sangat berkaitan dengan nilai VIM, VFA dan Stabilitas. Berikut Hubungan *Flow* dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel 5.6 dan gambar 5.2 di bawah ini.

Tabel 5.6. Hasil Pengujian *Flow*

Nilai <i>Flow</i> (mm)					
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
A	2,1	2,3	3,7	3,5	3,9
B	2,2	3	3,8	3,3	4,2
Rata-rata	2,15	2,65	3,75	3,4	4,05

Gambar 5.2. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan *Flow*

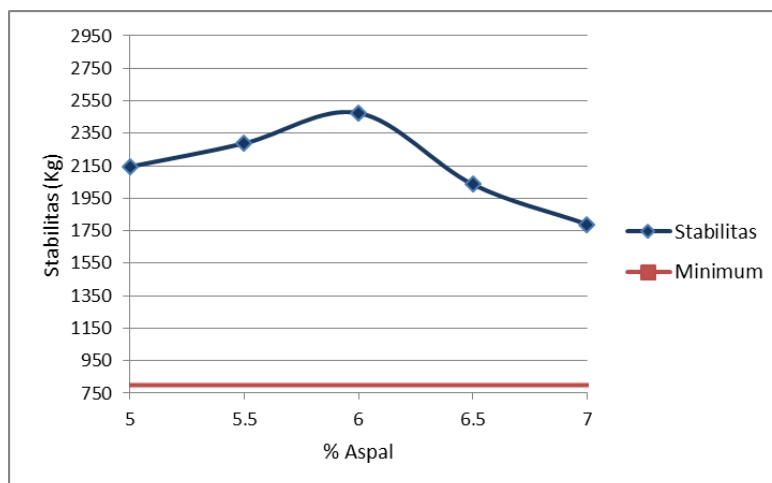
Nilai *Flow* pada grafik di atas menunjukkan peningkatan dari kadar aspal 5% dengan nilai *Flow* 2,15 mm hingga 6% dengan nilai *Flow* 3,75 mm kemudian pada grafik selanjutnya mengalami penurunan sebesar 0,35 mm dari nilai *Flow* sebelumnya dan mencapai nilai maksimum pada kadar aspal 7% dengan nilai *Flow* 4,05 mm.

c. Stabilitas

Nilai Stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat dan penguncian antar agregat, daya lekat, proses pemadatan dan kadar aspal dalam campuran. Stabilitas campuran pada pengujian *Marshall* ditunjukkan dengan pembacaan nilai stabilitas dan dikoreksi dengan angka koreksi ketebalan. Hubungan antara kadar aspal dan stabilitas dapat dilihat pada tabel 5.7 dan 5.3 gambar bawah ini.

Tabel 5.7. Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall*

Nilai Stabilitas (kg)					
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
A	2353,28	2401,60	2334,12	2189,43	1775,97
B	1936,62	2175,31	2616,25	1882,48	1804,61
Rata-rata	2144,95	2288,46	2475,18	2035,96	1790,29



Gambar 5.3. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.3. pada kadar aspal 5% diperoleh nilai stabilitas sebesar 2144,95 kg, dengan penambahan kadar aspal 5,5% nilai stabilitas meningkat sebesar 143,51 kg dari kadar aspal normal. Pada penambahan kadar aspal selanjutnya nilai stabilitas mencapai nilai maksimum. Nilai stabilitas pada penambahan kadar aspal 6,5% dan 7% sebesar 2035,96 kg, 1790,29 kg.

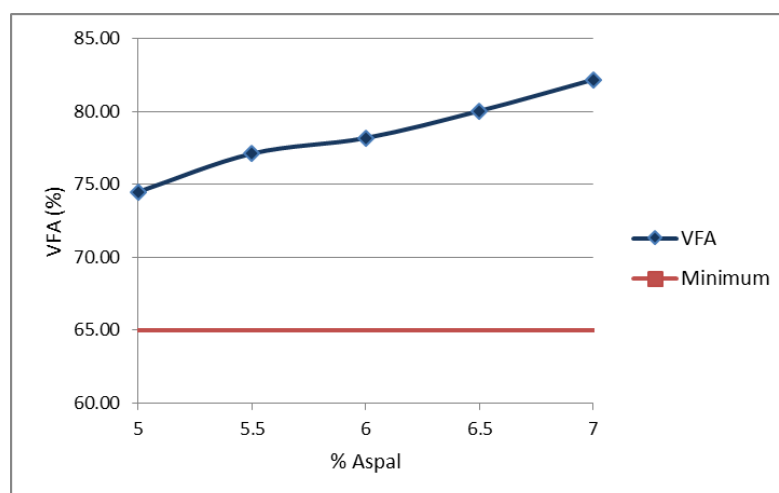
Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 menetapkan nilai stabilitas minimum untuk Laston adalah 800 kg sebagai batas minimum. Sehingga nilai stabilitas di atas sudah memenuhi persyaratan.

d. Rongga terisi aspal (VFA)

Nilai VFA (*Void Filled With Asphalt*) dipengaruhi oleh jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Pengertian dari VFA adalah presentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Hubungan antara kadar aspal dan VFA dapat dilihat pada tabel 5.8 dan gambar 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.8. Hasil Pengujian VFA

Nilai VFA (%)					
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
A	74,92	75,78	78,08	80,16	82,23
B	74,08	78,50	78,30	79,94	82,16
Rata-rata	74,50	77,12	78,19	80,05	82,20



Gambar 5.4. Grafik hubungan antara kadar aspal dan VFA

Berdasarkan Gambar 5.4. Jika dilihat pada grafik di atas nilai VFA meningkat pada kadar aspal 5% sampai 7% dengan nilai 74,50%, 77,12%, 78,19%, 80,05%, dan 82,20%. Meningkatnya nilai VFA ini disebabkan banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran aspal terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Pada campuran Laston menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 bahwa syarat VFA minimal 65%. Sehingga dapat disimpulkan nilai VFA diatas sudah memenuhi persyaratan.

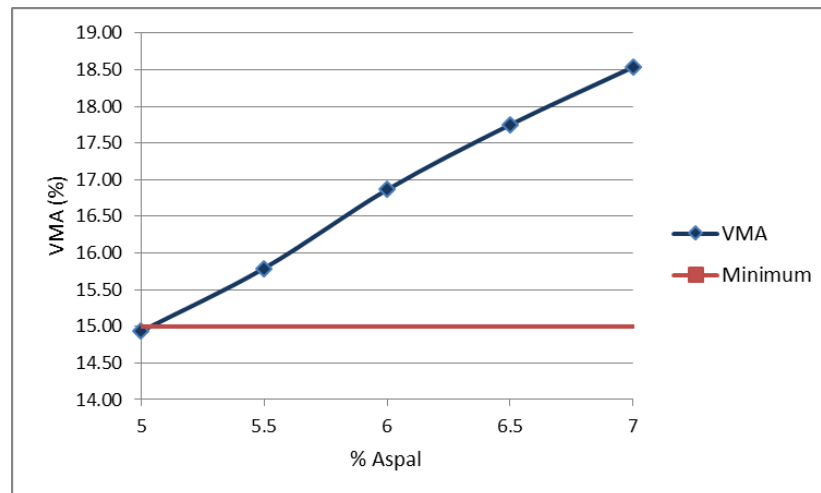
e. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)

Nilai VMA (*Void In Mineral Agregate*) dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah tumbukkan dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Pengertian dari VMA adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume.

Hubungan antara VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel 5.9 dan gambar 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.9. Hasil pengujian VMA

Nilai VMA (%)					
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
A	14,86	16,03	16,88	17,73	18,53
B	15,01	15,56	16,84	17,77	18,54
Rata-rata	14,93	15,79	16,86	17,75	18,54



Gambar 5.5. Grafik Hubungan antara VMA dan Kadar Aspal

Nilai VMA pada kadar aspal 5% diperoleh nilai VMA yaitu 14,93% dan pada kadar aspal 5,5% diperoleh nilai yaitu 15,79%. Pada kadar aspal selanjutnya yaitu 6% sampai 7% juga mengalami peningkatan. Pada campuran Laston menurut Spesifikasi Bina Marga 2010 bahwa syarat VMA adalah minimal 15% dengan demikian maka pada penambahan kadar aspal 5% tidak masuk ke dalam spesifikasi.

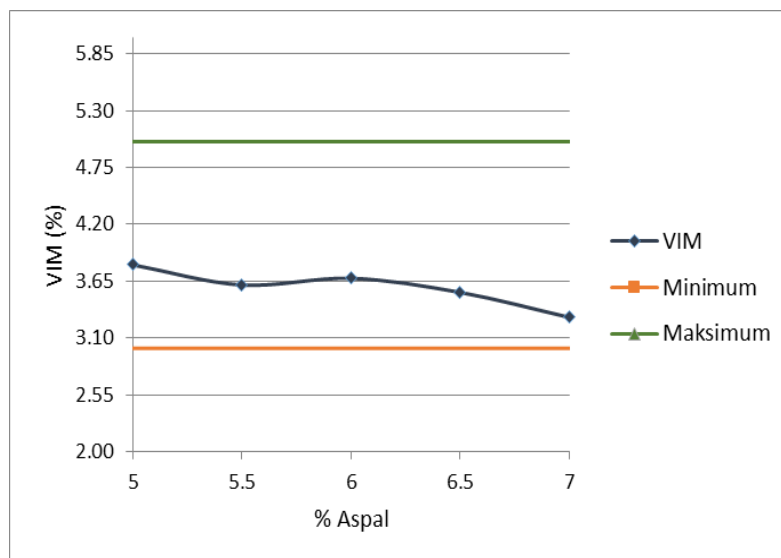
f. Rongga didalam campuran (VIM)

VIM (*Void in Mix*) merupakan prosentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, dan temperatur pemaadatan. Nilai VIM berpengaruh pada keawetan suatu campuran aspal, semakin tinggi nilai VIM maka campuran bersifat tidak kedap air dan udara, sehingga dapat mempercepat penuaan aspal dan mudah retak sedangkan nilai VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan campuran perkerasan mudah mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.

Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel 5.10 dan gambar 5.6 di bawah ini.

Tabel 5.10. Hasil pengujian VIM

Nilai VIM (%)					
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
A	3,73	3,88	3,70	3,52	3,29
B	3,89	3,35	3,65	3,56	3,31
Rata-rata	3,81	3,61	3,68	3,54	3,30



Gambar 5.6. Grafik Hubungan antara VIM dan Kadar Aspal

Pada Gambar 5.6. terdapat nilai VIM pada kadar aspal 5% dan 5,5% yaitu 3,81% ,3,61%, hasil tersebut mengalami penurunan. Kemudian pada kadar aspal 6% mengalami kenaikan dengan nilai VIM 3,68% dan selanjutnya mengalami penurunan kembali dari kadar aspal 6,5% sampai 7% dengan nilai VIM yaitu 3,54% dan 3,30% . Pada campuran Laston menurut Spesifikasi Bina Marga 2010 bahwa syarat VIM adalah 3%-5% dengan begitu dari hasil diatas semua masuk dalam spesifikasi.

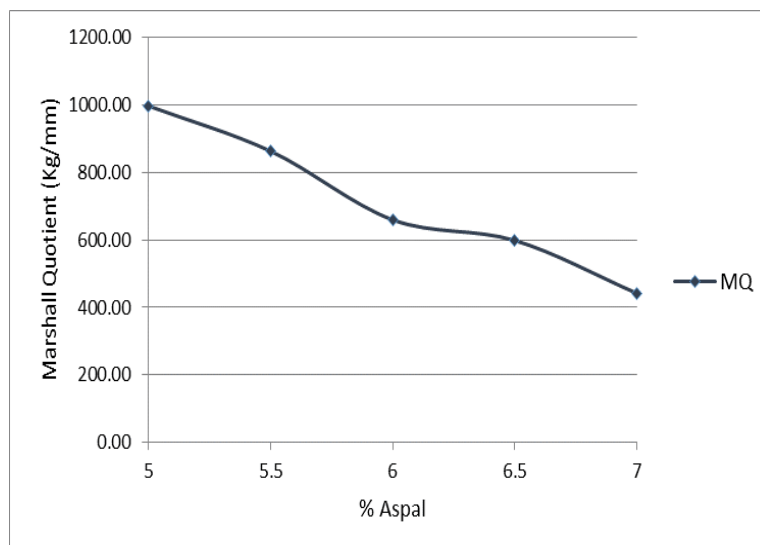
g. *Marshall Quotient (MQ)*

MQ merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Besarnya nilai MQ tergantung pada stabilitas dan kelelahan suatu campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi.

Berikut hubungan antara MQ dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel 5.11 dan gambar 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.11. Hasil pengujian MQ

Nilai MQ (kg/mm)					
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
A	1120,61	1044,17	630,84	625,55	455,38
B	880,28	725,10	688,49	570,45	429,67
Rata-rata	997,65	863,57	660,05	598,81	442,05



Gambar 5.7. Grafik Hubungan antara MQ dan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 5.7. terlihat nilai MQ mengalami penurunan dari kadar aspal 5% sampai 7% dengan nilai MQ yaitu sebesar 997,65 kg/mm, 863,57 kg/mm, 660,05 kg/mm, 598,81 kg/mm, dan 442,05 kg/mm.

Hasil pengujian Marshall untuk menentukan kadar KAO disajikan dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.12. Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO

No	Kriteria	Spesifikasi	5 %	5.5 %	6 %	6.5 %	7 %
1	Density	-	2.31	2.30	2.28	2.273	2.26
2	VFMA	min 65%	74.50	77.12	78.19	80.05	82.20
3	VITM	3-5 %	3.81	3.61	3.68	3.54	3.30
4	VMA	min 15%	14.93	15.79	16.86	17.75	18.54
5	Stabilitas	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	-	997.65	863.57	660.05	598.81	442.05

h. Penentuan Kadar Aspal Optimum.

Tabel 5.13. Kadar Aspal Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	5	5,5	6	6,5	7
1	<i>Density</i>	-					
2	VFA	Min 65%					
3	VIM	3-5%					
4	VMA	Min 15%					
5	<i>Stability</i>	Min 800 kg					
6	<i>Flow</i>	Min 2-4 mm					
7	MQ	-					

Dari hasil KAO ini yang memenuhi spesifikasi adalah kadar aspal 5,5% sampai 6,5% . Maka dari itu penulis memutuskan untuk menggunakan KAO sebesar 6%.

2. Pengujian campuran agregat dengan *Steel Slag*

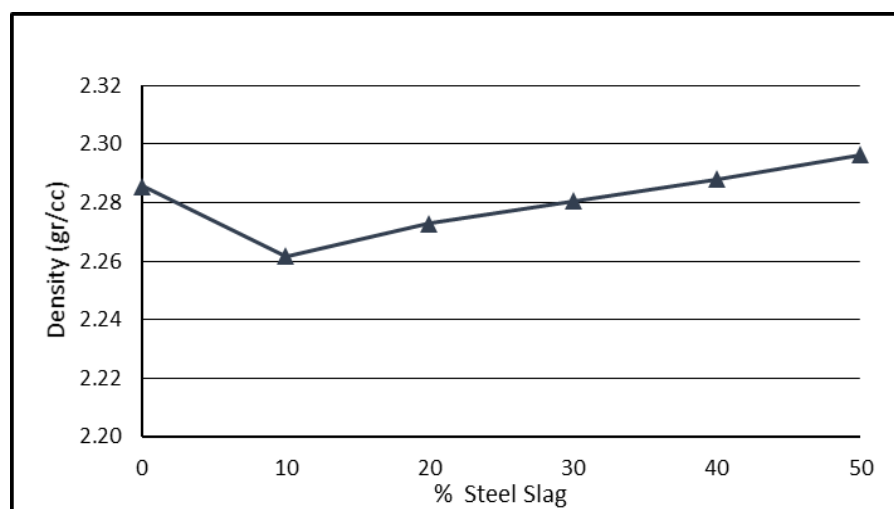
Setelah dilakukan pengujian *Marshall*, dilakukan pencampuran aspal dan agregat dengan penambahan *Slag* sebagai pengganti agregat kasar tertahan saringan No. ½" dan No. 8.

a. Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* merupakan besarnya kerapatan suatu campuran yang telah dipadatkan.

Tabel 5.14. Nilai *density* untuk campuran *Steel Slag*

Kadar <i>Steel Slag</i> (%)	Nilai <i>Density</i> (gr/cc)					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
6 A	2,285	2,290	2,281	2,321	2,295	2,301
6 B	2,286	2,232	2,263	2,239	2,280	2,290
Rata-rata	2,286	2,261	2,272	2,280	2,288	2,296



Gambar 5.8. Grafik hubungan antara Kadar *Steel slag* dan Kepadatan

Pada gambar 5.8. di atas pada kondisi normal terdapat nilai *density* sebesar 2,286 gr/cc. Kemudian pada penambahan kadar *steel slag* selanjutnya mengalami penurunan dengan nilai 2,261 gr/cc, di penambahan kadar *steel slag* 10% sampai 50% mengalami peningkatan. Peningkatan dengan nilai konstan hingga mencapai nilai maksimum dengan total nilai tambahnya sebesar 0,024 gr/cc berada di kadar *steel slag* 20% hingga 50%.

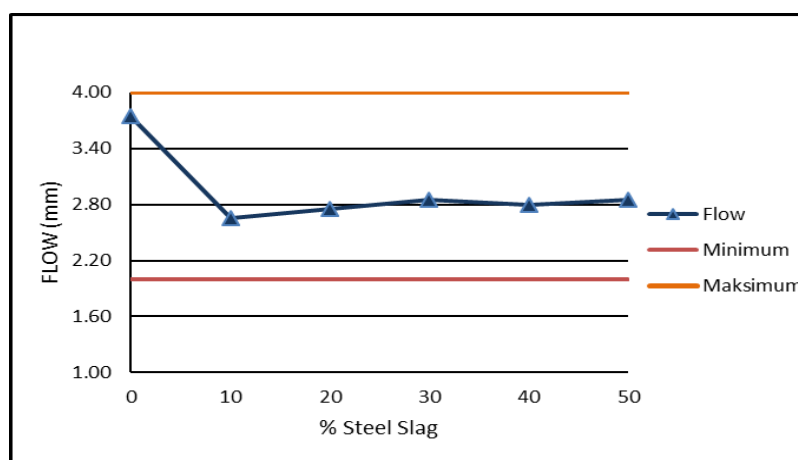
Dalam parameter nilai *density* berfungsi untuk menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Banyak hal yang mempengaruhi nilai *density* diantaranya berat jenis, penyusunan agregat, dan pemadatan. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai *density* cenderung mengalami kenaikan secara keseluruhan, 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*)

Kelelahan merupakan penerapan dari sifat fleksibilitas campuran, nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal dan distribusi agregat.

Tabel 5.15. Nilai *Flow* untuk campuran *Steel Slag*

Nilai <i>Flow</i> (mm)						
Kadar <i>Steel Slag</i> (%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%
6 A	3,7	3,2	2,1	2,8	2,9	2,5
6 B	3,8	2,1	3,4	2,9	2,7	3,2
Rata – rata	3,75	2,65	2,75	2,85	2,8	2,85



Gambar 5.9. Grafik hubungan antara Kadar *Steel slag* dan *Flow*

Menurut gambar diatas nilai *Flow* dalam keadaan normal adalah sebesar 3,75 mm, selanjutnya mengalami penurunan pada kadar *steel slag* 10% dan kemudian nilai *Flow* mengalami kenaikan di penambahan kadar *steel slag* 20%, 30%. Selanjutnya terjadi penurunan nilai *Flow* pada penambahan kadar *steel slag* 40% dan mengalami kenaikan kembali di kadar *steel slag* 50%. Didalam pengujian kelelahan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya gradasi agregat, suhu pada saat pemadatan, dan

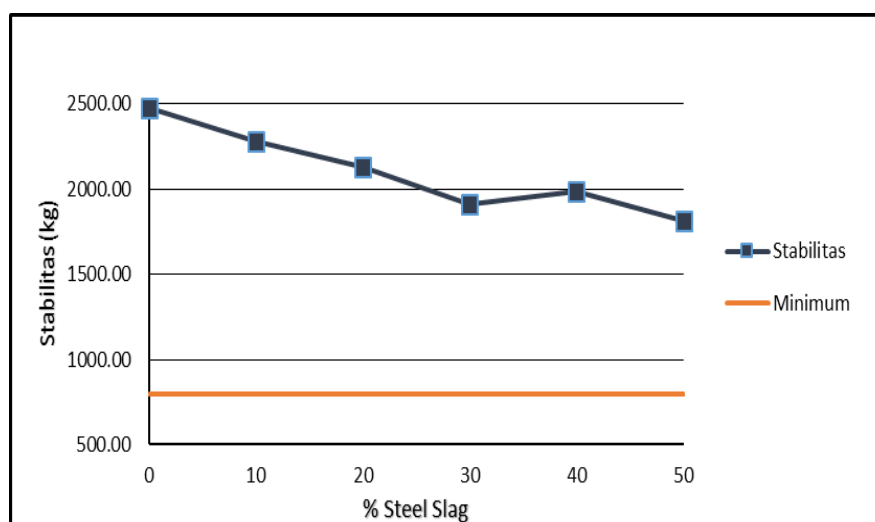
viskositas aspal. Pada grafik diatas menunjukkan kecenderungan nilai *Flow* yang naik dikarenakan oleh nilai stabilitas yang terus menurun sehingga kelelahan pada campuran semakin meningkat.

c. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk permanen. Grafik 5.16 dan tabel 5.10 hubungan antara *steel slag* dan stabilitas dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 5.16. Nilai Stabilitas untuk campuran *Steel Slag*

Nilai Stabilitas (kg)						
Kadar <i>Steel Slag</i> (%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%
6 A	2334,12	2182,75	2186,75	1909,90	1988,56	1747,01
6 B	2616,25	2375,93	2071,51	1504,14	2147,93	1887,17
Rata – rata	2475,18	2279,34	2129,13	1909,90	1988,56	1817,09



Gambar 5.10. Grafik hubungan antara Kadar *Steel slag* dan Stabilitas

Pada nilai stabilitas normal terdapat nilai sebesar 2475,18 kg dan di penambahan kadar *steel slag* 10% diperoleh nilai stabilitas yaitu 2279,34 kg sedangkan kadar *steel slag* 20% sampai 30% mengalami penurunan sebesar 219,23 kg. Kemudian peningkatan dan penurunan terjadi pada penambahan kadar *steel slag* 40% dan 50%. Dari gambar diatas campuran tanpa menggunakan *slag* sebagai agregat pengganti lebih besar dari hasil nilai stabilitas campuran menggunakan *steel slag* sebagai agregat pengganti saringan No. ½” dan No. 8. Didapat hasil nilai stabilitas diatas cenderung semakin menurun diakibatkan oleh sifat *Steel Slag* yang mudah menyerap

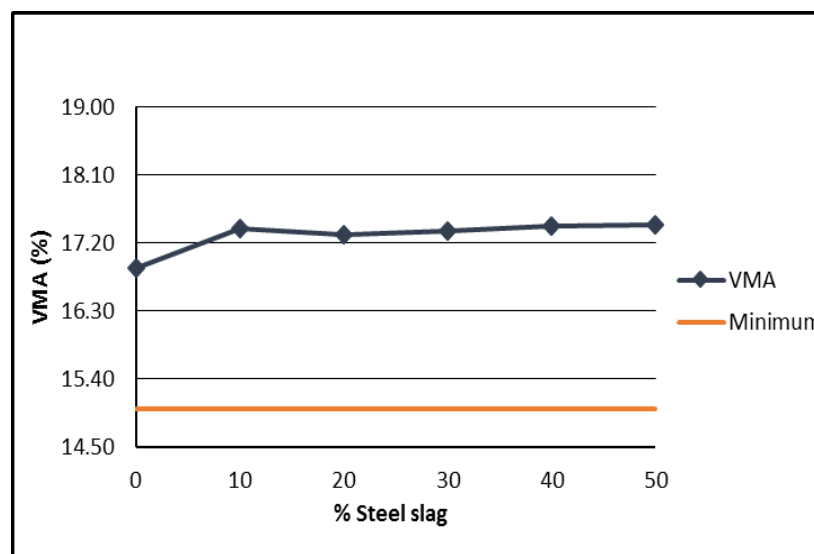
panas dan mengakibatkan pemadatan kurang maksimal sehingga campuran memiliki stabilitas yang kurang baik dibandingkan dengan menggunakan natural agregat. Dalam campuran kadar *Steel Slag* 30% mengalami kesalahan pada pengujian *marshall*, sehingga nilai stabilitas tidak terbaca dengan sesuai.

d. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)

VMA (*Void In Mineral Agreggate*) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume.

Tabel 5.17. Nilai VMA untuk campuran *Steel Slag*

Nilai Kelehan VMA (%)						
Kadar <i>Steel Slag</i> (%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%
6 A	16,88	16,33	16,99	15,86	17,15	17,24
6 B	16,84	18,44	17,64	18,86	17,67	17,63
Rata – rata	16,86	17,39	17,31	17,36	17,41	17,44



Gambar 5.11. Grafik hubungan antara Kadar *Steel slag* dan VMA

Berdasarkan tabel 5.17 dan gambar 5.11, nilai VMA semakin meningkat dari kadar *steel slag* normal hingga 10% yaitu 16,86% hingga 17,39%, kemudian di kadar *steel slag* selanjutnya terjadi penurunan pada kadar *steel slag* 20% dengan nilai 17,31%. Pada penambahan selanjutnya di kadar *steel slag* 30% hingga 50% mengalami kenaikan. Nilai maksimum VMA sebesar 17,44% di kadar *steel slag* 50%. Terjadi kenaikan nilai VMA karena sifat *steel slag* yang *porous* sehingga menambah jumlah volume rongga yang ada diantara agregat dalam

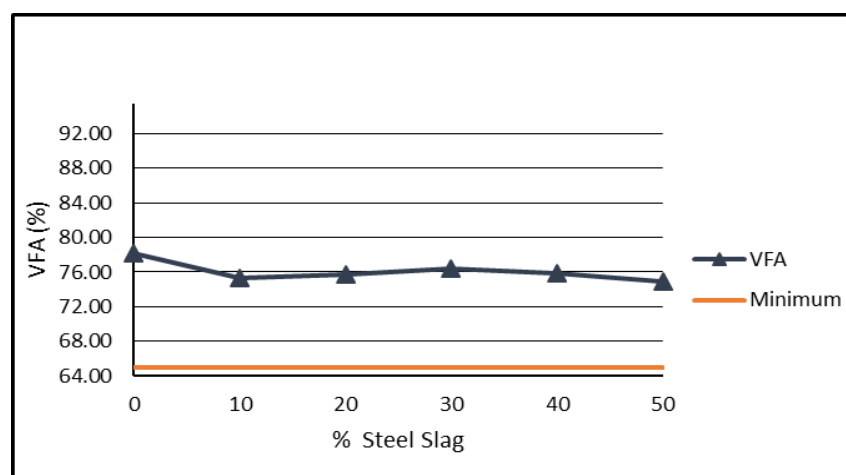
campuran. Selain itu bertambahnya kadar *steel slag* memberikan pengaruh terhadap isi campuran yang nilainya cenderung menurun dan mengakibatkan kenaikan nilai VMA.

e. Rongga terisi Aspal (VFA)

VFA (*Void Filled With Asphalt*) adalah presentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan.

Tabel 5.18. Nilai VFA untuk campuran *Steel Slag*

Nilai VFA (%)						
Kadar <i>Steel Slag</i> (%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%
6 A	78,08	80,88	77,47	84,44	77,18	77,01
6 B	78,30	69,84	74,02	68,47	74,43	74,94
Rata – rata	78,19	75,40	75,74	76,46	75,80	74,94



Gambar 5.12. Grafik hubungan antara Kadar *Steel slag* dan VFA

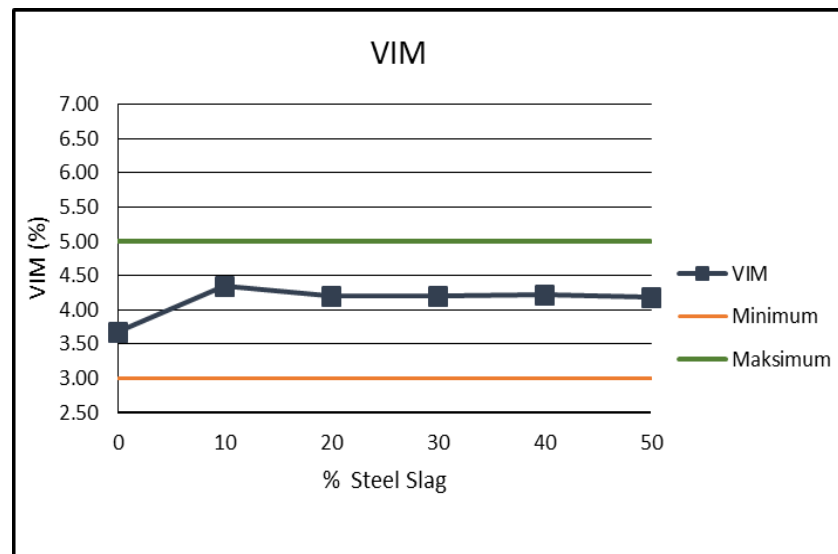
Berdasarkan tabel 5.18 dan gambar 5.12 Nilai kadar *steel slag* normal sampai 10% mengalami penurunan, kemudian peningkatan di kadar *steel slag* 20%, 30% dan di penambahan kadar *steel slag* selanjutnya kembali mengalami penurunan di kadar *steel slag* 40% dan 50% dengan nilai 75,80% dan 74,94%. Dilihat dari tabel 5.18 dan gambar 5.12 dapat disimpulkan bahwa nilai VFA cenderung 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. Rongga didalam campuran (VIM)

VIM (*Void in Mix*) merupakan prosentase rongga yang terdapat dalam total campuran.

Tabel 5.19. Nilai VIM untuk campuran *Steel Slag*

Nilai VIM (%)						
Kadar <i>Steel Slag</i> (%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%
6 A	3,70	3,123	3,826	2,466	3,915	3,963
6 B	3,65	5,561	4,582	5,946	4,519	4,419
Rata-rata	3,68	4,342	4,204	4,206	4,217	4,191

Gambar 5.13. Grafik hubungan antara Kadar *Steel slag* dan VIM

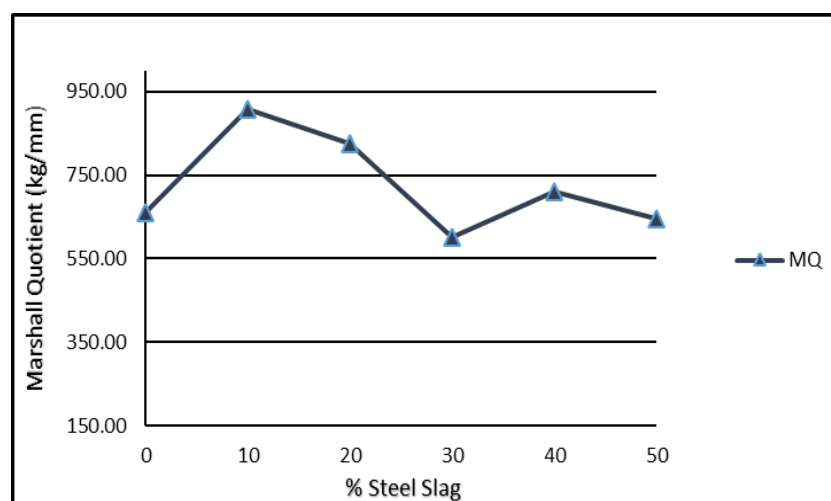
Pada gambar diatas nilai VIM maksimum sebesar 4,34 % di kadar *steel slag* 10%. Penambahan kadar *steel slag* selanjutnya mengalami penurunan nilai VIM di kadar *steel slag* 20%, pada penambahan berikutnya mengalami peningkatan hingga kadar *steel slag* 40% dan di kadar *steel slag* 50% mengalami penurunan dengan nilai VIM yaitu 4,191 %. Berdasarkan nilai grafik 5.13. dominan menghasilkan kenaikan pada nilai VIM. Hal ini kemungkinan disebabkan karena bertambahnya *steel slag* sehingga aspal banyak diserap oleh agregat dan kemudian tersisa rongga campuran yang terisi udara.

g. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*.

Tabel 5.20. Nilai MQ untuk campuran *Steel Slag*

Nilai MQ (kg/mm)						
Kadar <i>Steel Slag</i> (%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%
6 A	630,84	682,11	1041,31	682,11	685,71	698,80
6 B	688,49	1131,4	609,26	518,66	795,53	589,74
Rata – rata	660,05	906,75	825,29	682,11	685,71	589,74

Gambar 5.14. Grafik hubungan antara Kadar *Steel slag* dan MQ

Berdasarkan gambar diatas nilai MQ pada kadar *steel slag* normal sampai 10% nilai meningkat kemudian pada kadar *steel slag* 10% sampai 30% nilai MQ menurun dan selanjutnya mengalami peningkatan kemudian penurunan kembali pada nilai MQ di penambahan kadar *steel slag* 40%, 50% dengan nilai 710,20% dan 644,27%. Pada kadar *steel slag* 30% dimungkinkan terjadi kesalahan karena nilai stabilitas yang tidak sesuai sehingga berpengaruh pada nilai MQ. Dari hasil di atas dapat disimpulkan nilai cenderung mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh nilai MQ sendiri merupakan perbandingan stabilitas terhadap kelelahan.

Tujuan pengujian *Marshall* ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* pada campuran dengan menggunakan *steel slag*. Hasil pengujian *Marshall* terhadap campuran beton aspal laston disajikan dalam tabel 5.21.

Tabel 5.21. Hasil Pengujian *Marshall* untuk menentukan Kadar *Steel Slag* Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	0	10	20	30	40	50
1	Density	-	2.29	2.26175	2.27279	2.28052	2.28803	2.2964
2	VFMA	min 65%	78.19	75.3646	75.7512	76.4638	75.8071	74.9415
3	VITM	3-5 %	3.68	4.34249	4.20479	4.20648	4.21739	4.19152

Tabel 5.21 Lanjutan

No	Kriteria	Spesifikasi	0	10	20	30	40	50
4	VMA	min 15%	16.86	17.391	17.317	17.3633	17.4175	17.44
5	Stability	min 800 kg	2475.18	2279.34	2129.14	1909.91	1988.57	1817.09
6	Flow	min 2-4	3.75	2.65	2.75	2.85	2.8	2.85
7	MQ	-	660.05	906.754	825.292	682,11	685,71	589,74

h. Penentuan Kadar *Steel Slag* Optimum

Penentuan kadar *steel slag* optimum menetapkan besarnya kadar *steel slag* efektif dalam campuran yang diperlukan dalam pembuatan benda uji.

Tabel 5.22. Kadar *Steel Slag* Optimum

No	Kriteria	Spesifikasi	% <i>Slag</i> pada agregat tertahan saringan No. ½” dan No.8					
			10	20	30	40	50	
1	<i>Density</i>	-						
2	VFA	Min 65%						
3	VIM	3-5%						
4	VMA	Min 15%						
5	<i>Stability</i>	Min 800 kg						
6	<i>Flow</i>	Min 2-4 mm						
7	MQ	-						

Pada penelitian ini kadar *steel slag* yang didapat dari tabel di atas, telah memenuhi semua persyaratan spesifikasi. Maka kadar *steel slag* optimum yang diambil ditentukan sebesar 30%.