

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1.1. Hasil Pengujian Bahan

1. Pemeriksaan Agregat dan *Filler*

Material agregat kasar diperoleh dari Clereng, Kulon Progo, DIY, dan material *filler* didapatkan dari ayakan lolos saringan nomor 200, sebagiannya diperoleh dari hasil abrasi agregat kasarnya yang didapatkan di lokasi yang sama. Dalam pengujian didapat hasil-hasil sifat fisis agregat untuk penggunaannya dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar dengan Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Standar
I. Agregat Kasar					
1	Berat Jenis Bulk (Sd)	-	2,515	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
2	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (Ss)	-	2,59	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
3	Berat Jenis <i>Appareant</i> (Sa)	-	2,705	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan Air (Sw)	%	2,6	≤ 3	SNI 03-1969-1990
5	Abrasi <i>Los Angeles</i>	%	16,49	≤ 40	SNI 03-2417-1991
II. Agregat Halus					
1	Berat Jenis Bulk (Sd)	-	2,52	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
2	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (Ss)	-	2,59	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
3	Berat Jenis <i>Appareant</i> (Sa)	-	2,72	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan Air (Sw)	%	3,0	≤ 3	SNI 03-1969-1990
III. <i>Filler</i>					
1.	Berat Jenis <i>Filler</i>	-	2,59	$\geq 2,5$	SNI 03-4142-1996

Dari hasil pengujian yang tertera pada tabel diatas dapat dikatakan bahwa nilai-nilai yang diperoleh dari pemeriksaan agregat ini memenuhi spesifikasi dari persyaratan yang diharuskan oleh BSN (1990) SNI 03-1969-1990 dan BSN (1990) SNI 03-2417-1991 Bina Marga (2010) revisi 3. Maka agregat kasar dan agregat halus sebagai bahan dasar pada pengujian ini diperbolehkan penggunaannya untuk untuk bahan dasar pada campuran aspal.

2. Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70. Terdapat standar yang harus dipenuhi oleh aspal sebagai campuran perkerasan dalam pengujian dan sudah ditetapkan oleh Bina Marga (2010) revisi 3 dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Persyaratan	Standar
	Penetrasi 25°C,				
1	100gr, 5 detik, 0,1 mm	mm	64,4	60-69	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek (°C)	°C	52,5	48-58	SNI 06-2434-1991
3	Berat Jenis Aspal	-	1,08	Min. 1,0	SNI 06-2441-1991
4	Kehilangan Berat	%	0,13	Max. 1	SNI 06-2441-1991
5	Daktalitas	cm	154,75	100-200	SNI 06-2432-1991

Seperti data yang ditampilkan pada tabel diatas, maka dapat disimpulkan aspal penetrasi 60/70 yang digunakan pada penelitian ini diperbolehkan untuk dilakukan pada pengujian sebagai bahan dasar campuran aspal karena nilai yang didapatkan memenuhi standar Bina Marga (2010) revisi 3.

3. Pemeriksaan *Steel Slag*

Hasil dari pemeriksaan sifat fisis *steel slag* yang digunakan untuk bahan pengganti agregat kasar dan agregat halus pada pengujian ini adalah sebagai berikut pada tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Steel Slag*

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Standar
I. Kasar					
1	Berat Jenis Bulk (Sd)	-	2,9	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
2	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (Ss)	-	2,95	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
3	Berat Jenis <i>Appareant</i> (Sa)	-	3,05	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan Air (Sw)	%	1,67	≤ 3	SNI 03-1969-1990
5	Abrasi <i>Los Angeles</i>	%	32,35	≤ 40	SNI 03-2417-1991
6	Kelekatan Agregat terhadap Aspal	%	98	≥ 95	SNI 03-2439-1991
II. Halus					
1	Berat Jenis Bulk (Sd)	-	3,35	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
2	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (Ss)	-	3,42	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
3	Berat Jenis <i>Appareant</i> (Sa)	-	3,59	$\geq 2,5$	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan Air (Sw)	%	1,98	≤ 3	SNI 03-1969-1990

Dapat dilihat sebagaimana data pemeriksaan *steel slag* yang didapatkan seperti pada tabel diatas menunjukkan bahwa *steel slag* yang nantinya akan digunakan memenuhi syarat spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 sebagai pengganti agregat kasar untuk campuran aspal.

1.2. Hasil Pengujian Marshall

1. Hasil Pengujian Marshall untuk Kadar Aspal Optimum

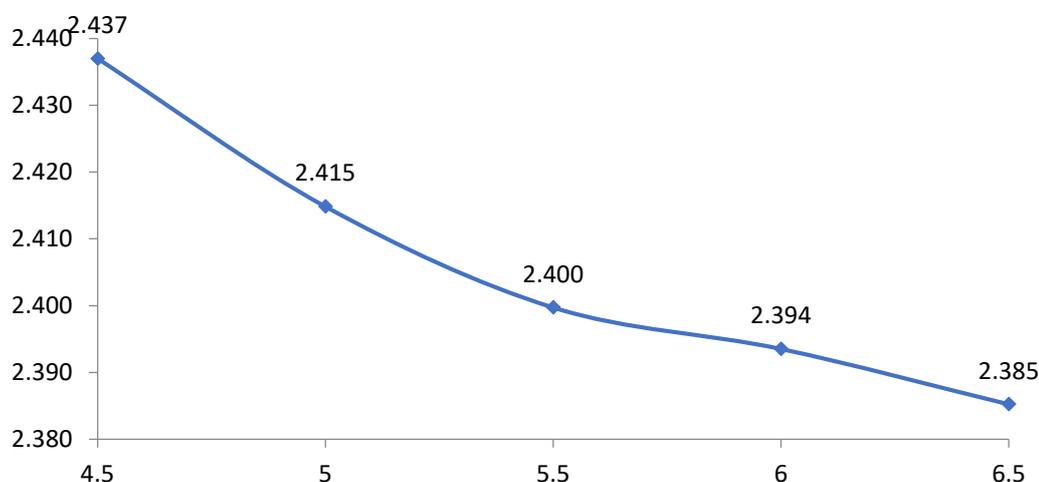
Terdapat beberapa parameter yang akan dibahas yaitu *density*, VFA, VIM, VMA, *stability*, *flow* dan *MQ* sebagai berikut :

a. *Density*

Sering disebut kepadatan yang artinya adalah rasio antara berat benda uji kering terhadap volume benda uji tersebut.

Tabel 4.4 Nilai *density* pada campuran *steel slag*

Benda Uji	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
A	2,432	2,423	2,368	2,389	2,382
B	2,442	2,406	2,431	2,399	2,389
Rata-rata	2,437	2,415	2,400	2,394	2,385



Gambar 4.1 Grafik hubungan kepadatan dengan kadar aspal

Berdasar gambar diatas dapat disimpulkan bahwa nilai *density* (kepadatan) dari pengujian kadar aspal adalah sebesar 2,437 gr/cc. terdapat nilai penurunan pada kadar aspal 4,5%, 5% 5,5%, 6% hingga 6,5%. Nilai *density* tertinggi adalah pada kadar 4,5% dan terendah pada

kadar 6,5% yaitu sebesar 2,385 gr/cc. Semakin lama perendaman, nilai densiti akan menurun.

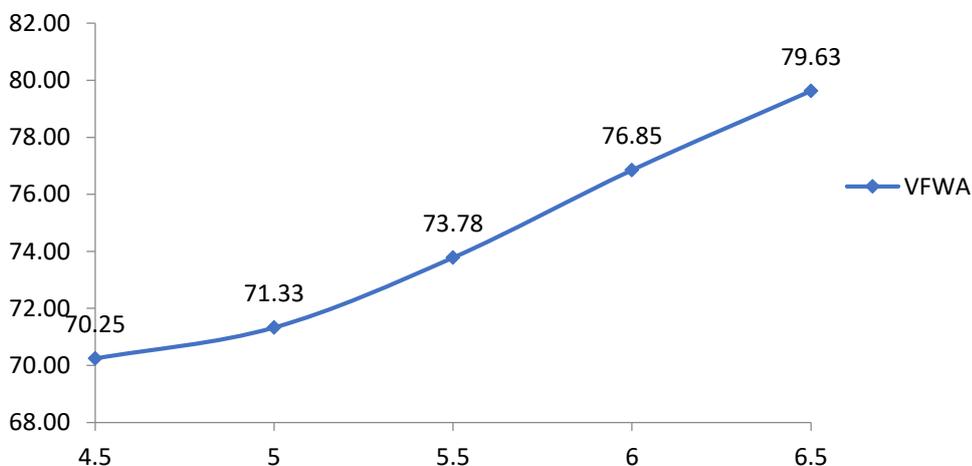
b. VFA

Persen rongga pada agregat yang biasa disebut *Void Filled Asphalt (VFA)* adalah rongga yang diisi oleh aspal tetapi yang mengisi tersebut tidak termasuk dengan aspal yang diserap oleh agregat.

Semakin banyak rongga menandakan semakin besar nilai VFA karena pada nantinya rongga udara tersebut diisi dengan aspal hingga nilai kekedapan aspal dengan air dan udara menjadi lebih tinggi. Apabila nilai VFA atau rongga udara yang terisi aspal ini terlalu besar akan menyebabkan *bleeding* pada campuran aspal. Apabila nilainya kecil maka akan menyebabkan campuran aspal tersebut menjadi lebih kedap terhadap air karena rongganya sudah diisi oleh aspal maka air dan udara menjadi lebih mudah masuk ke dalam lapis perkerasan aspal yang dapat menyebabkan umur rencana menjadi lebih pendek. Nilai VFA ini dipengaruhi oleh energi, keterjagaan suhu pada saat pemadatan, jenis aspal yang digunakan dan penggunaan kadarnya serta jenis agregat yang digunakan dan ukuran gradasi yang digunakan pada campuran aspal.

Tabel 4.5 Nilai VFA pada campuran *steel slag* (%)

Benda	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
Uji					
A	69,25	72,94	68,0	75,93	78,97
B	71,24	69,73	79,57	77,78	80,29
Rata-rata	70,25	71,33	73,78	76,85	79,63



Gambar 4.2 Grafik Hubungan VFA dengan Kadar Aspal

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata VFA pada kadar 4,5% senilai 70,25% dan mengalami peningkatan di tiap penambahan kadar aspal 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% dengan nilainya secara urut ialah 71,33%, 73,78%, 76,85% dan 79,63%. Dan disimpulkan bahwa apabila campuran aspal tersebut dicampur dengan kadar aspal yang lebih banyak akan mengalami peningkatan nilai VFA. Nilai tertinggi terdapat pada kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 79,63%.

Menurut spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 apabila didapat nilai VFA >65% maka dapat disimpulkan bahwa campuran aspal yang diuji memenuhi syarat yang diatur pada Bina Marga (2010) revisi 3. Pada pengujian kadar aspal dapat dikatakan semua lolos spesifikasi.

c. VIM

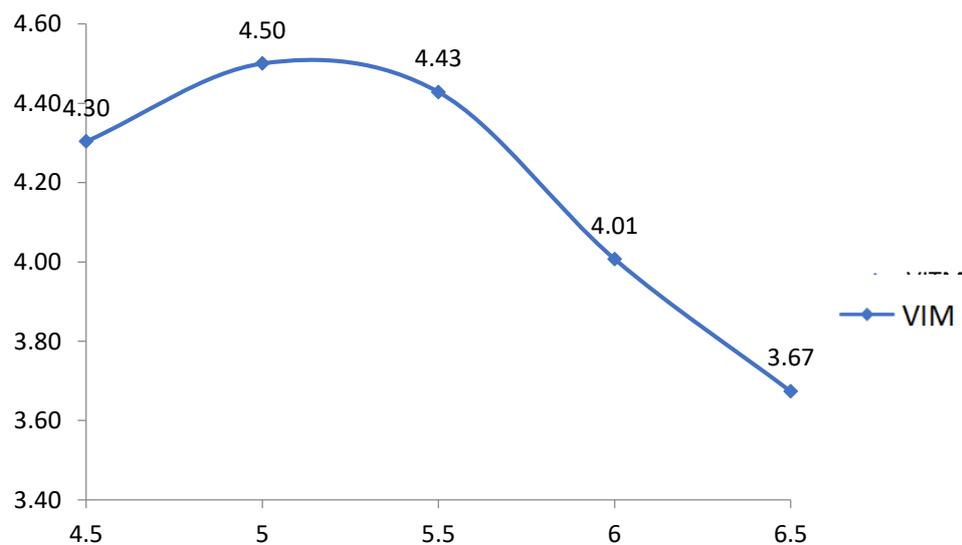
Void In Mix adalah nilai rongga pada campuran aspal panas dengan satuan persen. Rongga tersebut diperlukan untuk ruang bagi material campuran seperti sifat elastisnya. Nilai rongga dalam campuran inidipengaruhi beberapa faktor, yaitu ukuran agregat yang digunakan, lalu kadar aspal pada campuran dan nilai dari *density*.

Apabila nilai dari rongga ini terlalu besar dapat menyebabkan lapisan pada perkerasan teroksidasi atau mengalami penuaan aspal sehingga udara dapat mudah masuk. Maka lapisan luar aspal menjadi tipis dan ikatan aspal menurun. Umur rencana dari aspal tersebut juga akan menjadi lebih pendek dan butuh perawatan lebih cepat. Dan apabila nilai rongga ini besar dapat memicu adanya pelepasan agregat pada lapisan aspal.

Dan apabila nilai rongga dalam campuran ini terlalu kecil dapat mengakibatkan tingkat kekakuan lapis perkerasan menjadi semakin besar, dan efeknya adalah apabila saat mendapat beban dari lalu lintas yang tinggi tidak mampu dalam menghadapi lentur pada deformasi yang terbentuk.

Tabel 4.6 Nilai VIM pada campuran *steel slag* (%)

Benda	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
Uji					
A	4,50	4,16	5,68	4,21	3,82
B	4,11	4,84	3,18	3,81	3,53
Rata-rata	4,30	4,50	4,43	4,01	3,67



Gambar 4.3 Grafik Hubungan VIM dengan Kadar Aspal

Dapat dilihat pada data diatas bahwa nilai VIM pada kadar aspal 4,5% adalah sebesar 4,30 %. Pada penambahan kadar aspal menjadi 5% terjadi kenaikan nilai VIM menjadi 4,50% dan mengalami penurunan pada kadar 5,5%, 6% dan 6,5% dengan nilai berurutan 4,43%, 4,01% dan 3,67%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar aspal pada campuran aspal modifikasi dengan *steel slag* ini menyebabkan nilai rongga dalam campuran menjadi lebih kecil. Nilai rongga dalam campuran (VIM) tertinggi didapat pada kadar 5% sebesar 4,50%.

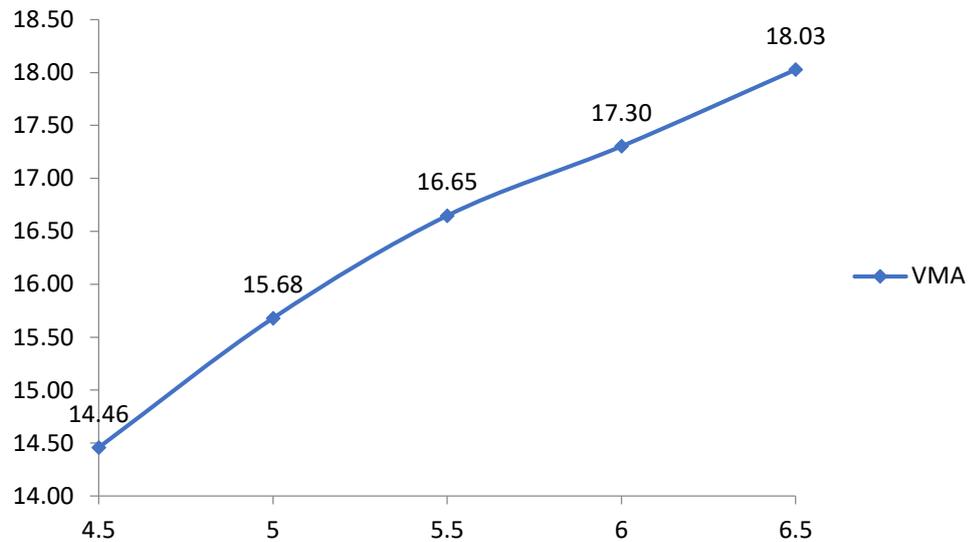
Sebagaimana yang sudah diatur dalam spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 mengenai sifat campuran lapis aspal beton, nilai rongga dalam campuran yang disyaratkan adalah antara 3% hingga 5%. Nilai yang tidak masuk dalam rentang tersebut dianggap tidak lolos syarat Bina Marga (2010) revisi 3.

d. VMA

Rongga dalam mineral agregat (*Void in Mineral Agregate*) adalah rongga-rongga udara yang diisi oleh aspal dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan. Dan rongga tersebut termasuk rongga yang sudah diisi oleh aspal. Besar nilai rongga ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kadar aspal yang digunakan, ukuran butir agregat, proses penumbukan dan penjagaan suhu campuran aspal panas tersebut. Hubungan kadar aspal dengan nilai dari rongga dalam mineral agregat dapat dilihat pada tabel 4.9 dan gambar 4.4 dibawah ini:

Benda	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
A	14,63	15,38	17,74	17,48	18,15
B	14,28	15,98	15,56	17,13	17,91
Rata-rata	14,46	15,68	16,65	17,30	18,03

Tabel 4.7 Nilai VMA pada campuran *steel slag* (%)



Gambar 4.4 Grafik Hubungan VMA dengan Kadar Aspal

Pada gambar 4.4 diatas terlihat bahwa nilai rongga dalam mineral agregat pada tiap penambahan kadar selalu naik mulai dari 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% secara berturut-turut nilainya adalah 14,46%, 15,68%, 16,65%, 17,30% dan nilai VMA tertinggi pada kadar 6,5% adalah sebesar 18,03%.

Pada spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 persyaratan untuk nilai VMA adalah $>15\%$. Dengan kata lain benda uji yang dibuat semua masuk persyaratan kecuali pada kadar 4,5% dengan nilai 14,46% dan nilai tertinggi ada pada kadar aspal 6,5%.

e. *Stability*

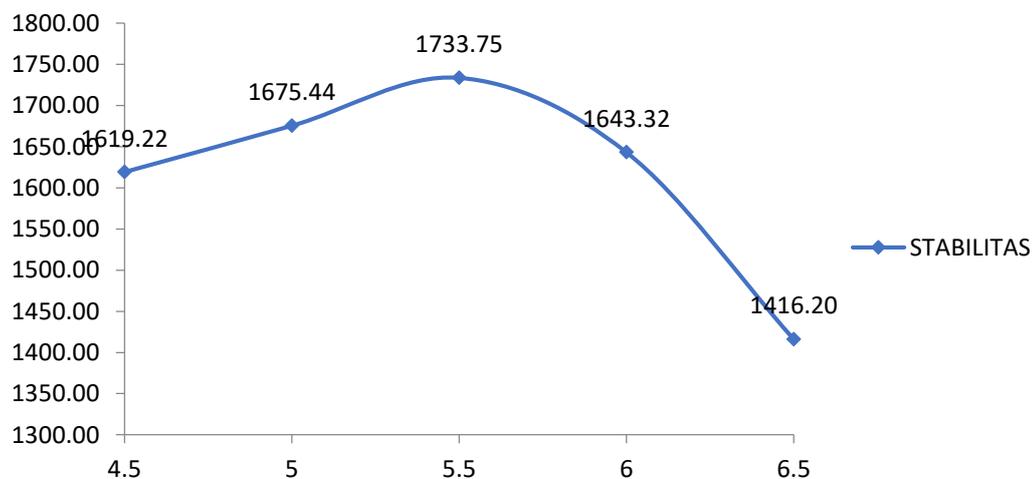
Stabilitas, seperti namanya stabil adalah kemampuannya untuk tahan dalam mendapat beban dari lalu lintas dengan stabil. Maksud dari stabil adalah tidak goyah atau berubah bentuk dan tidak *bleeding*. Apabila beban dari lalu lintas besar, maka dibutuhkan nilai stabilitas yang tinggi pula untuk menahan beban lalu lintas tersebut.

Nilai stabilitas ini didapatkan pada saat pengujian menggunakan alat uji *marshall*. Yaitu pada *gauge* yang menunjukkan nilai stabilitas dari sampel benda uji yang sedang diuji. Nilai stabilitas yang didapatkan juga mendapat pengoreksian dari angka tebal benda

ujinya. Nilai stabilitas ini dapat dipengaruhi karena gesekan dari tiap butiran bahan penyusun, *interlocking* dari gradasi bahan penyusun dan juga kemampuan kohesi lapisan aspal harus baik. Kadar aspal yang digunakan dan penjagaan suhu hingga proses pada saat pemadatan juga sangat berpengaruh dalam mendapatkan nilai stabilitas ini. Penjabaran data hasil dari pengujian stabilitas dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.5 berikut ini :

Tabel 4.8 Nilai *stability* pada campuran *steel slag* (Kg)

Benda	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
A	1640,21	1348,93	1680,82	1536,89	1424,57
B	1598,23	2001,95	1786,68	1749,75	1407,83
Rata-rata	1619,22	1675,44	1733,75	1643,32	1416,20



Gambar 4.5 Grafik Hubungan stabilitas dengan Kadar Aspal

Nilai stabilitas yang didapatkan seperti data diatas mengalami peningkatan nilai dari kadar aspal 4,5%, 5% hingga 5,5 % yaitu sebesar 1619,22Kg, 1675,445 Kg dan 1733,75 Kg, lalu mengalami penurunan pada kadar aspal 6% dan 6,5% yaitu nilainya sebesar 1643,32 Kg dan 1416,20 Kg. Nilai stabilitas terbesar terdapat pada kadar 5,5% .

Sebagaimana sudah diatur oleh spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 yang menjelaskan bahwa nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat adalah sebesar 800 Kg. maka dari semua nilai stabilitas pada semua kadar memenuhi persyaratan dai spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3.

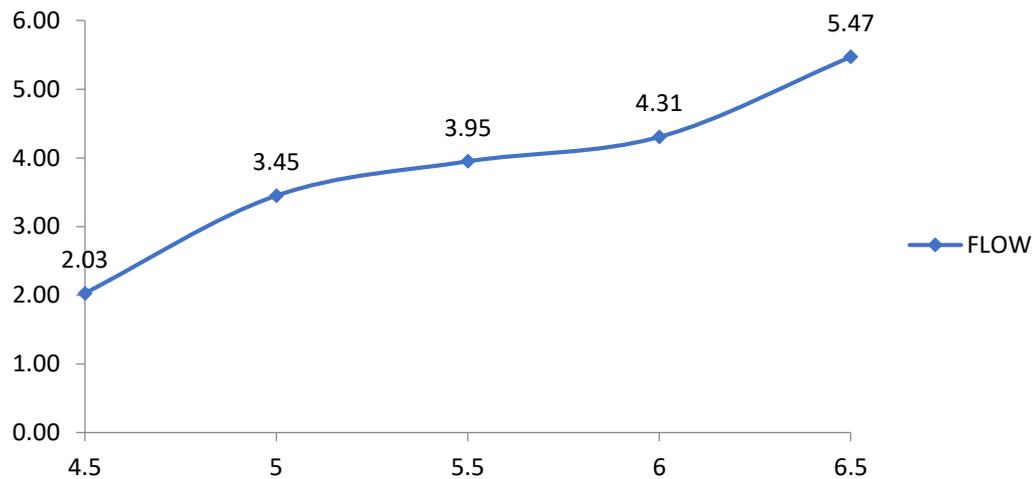
f. *Flow*

Kelelahan (*flow*) adalah nilai yang dapat memberikan informasi seberapa besar penurunan (deformasi) yang dialami oleh lapisan aspal dari menerima beban yang didapatkan. Nilai VIM, VFA dan stabilitas mempengaruhi nilai deformasi ini. Dan yang dapat mempengaruhi dari nilai deformasi ini adalah ukuran butir bahan penyusun yang digunakan, penentuan kadar aspal dan ketetapan suhu pada saat melakukan pemadatan.

Apabila campuran aspal mendapatkan nilai deformasi yang kecil dan nilai stabilitasnya besar, maka perkerasan itu akan menjadi getas dan kaku. Kebalikannya apabila campuran aspal mendapatkan nilai deformasi yang besar dengan nilai stabilitas yang kecil maka perkerasan aspal tersebut akan menjadi plastis. Tidak baik juga apabila suatu perkerasan bernilai plastis tinggi, karena akan menyebabkan lapisan tersebut menjadi mudah berubah bentuk jika menerima beban lalu lintas yang lebih dari nilai rencana.

Tabel 4.9 Nilai *flow* pada campuran *steel slag* (Kg)

Benda	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
Uji					
A	1,95	4,20	4,48	4,21	5,60
B	1,90	2,70	3,42	4,40	5,34
Rata-rata	1,93	3,45	3,95	4,31	5,47



Gambar 4.6 Grafik Hubungan kelelehan dengan Kadar Aspal

Pada tabel 4.11 dan gambar 4.6 dapat disimpulkan bahwa nilai deformasi yang didapatkan pada pengujian disetiap penambahan kadar aspal selalu meningkat mulai dari kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% dengan nilai secara berurutan adalah 1,93 mm, 3,45 mm, 3,95 mm, 4,31 mm dan 5,47 mm.

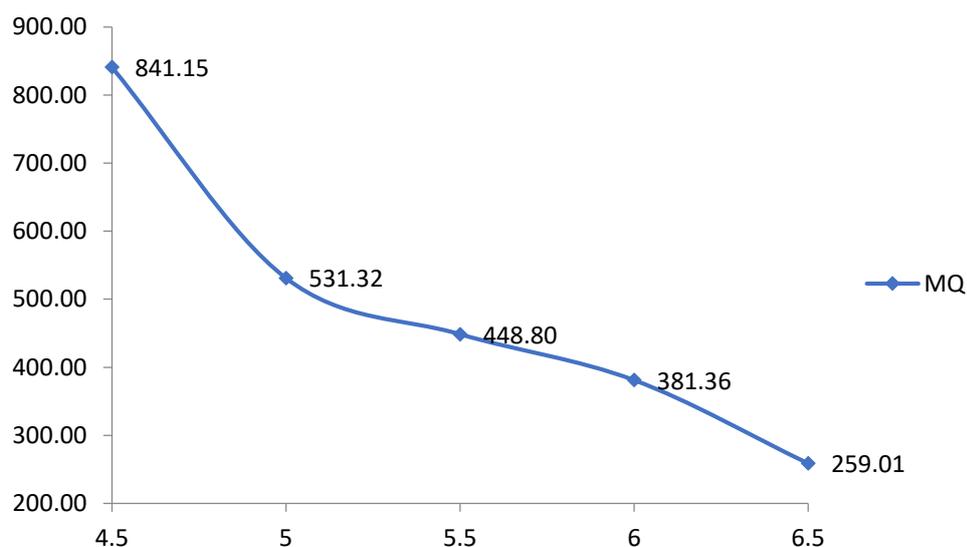
Telah ditetapkan dalam spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 bahwa nilai deformasi minimum yang diharuskan untuk campuran aspal adalah 2 mm dengan nilai maksimum deformasinya adalah 4 mm. maka dapat disimpulkan nilai *flow* yang memenuhi persyaratan adalah pada kadar 5% dan 5,5%. Sedangkan pada kadar 4,5% nilai terlalu kecil <2 mm lalu pada kadar 6% dan 6,5% tidak memenuhi spesifikasi karena nilai deformasinya melebihi 4mm.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Hasil bagi dari nilai stabilitas dengan nilai deformasi /kelelehan (*flow*). Apabila nilai MQ ini besar, maka campuran aspal keras semakin kaku, berlaku juga untuk kebalikannya yaitu apabila nilai MQ semakin kecil maka perkerasan tersebut menjadi lebih lentur. Berikut hubungan kadar aspal dengan MQ :

Tabel 4.10 Nilai *MQ* pada campuran *steel slag* (Kg)

Benda	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6	6,5
A	841,13	321,17	375,18	365,06	254,39
B	841,17	741,46	522,42	397,67	263,64
Rata-rata	841,15	531,32	448,80	381,36	259,01

Gambar 4.7 Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Kadar Aspal

Dari data yang didapatkan diatas dengan penurunan nilai *MQ* disetiap penambahan kadar aspal mulai dari 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% dengan nilainya secara urut adalah 841,15 Kg, 531,32 Kg, 448,80 Kg, 381,36 Kg dan 259,01 Kg dengan nilai tertinggi pada kadar 4,5%.

Pemeriksaan nilai *density*, *VFA*, *VIM*, *VMA*, *stability*, *flow* dan *MQ* setiap benda uji untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari variasi kadar aspal rencana mulai dari 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dapat dilihat pada tabel 4.11 dan 4.12 berikut ini :

Tabel 4.11 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Kadar Aspal Optimum

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		4,5	5	5,5	6	6,5
Density	-	2,437	2,415	2,400	2,394	2,385
VFA	Min. 65%	70,25	71,33	73,78	76,85	79,63
VIM	3% - 5%	4,30	4,50	4,43	4,01	3,67
VMA	Min. 15%	14,46	15,68	16,65	17,30	18,03
<i>Stability</i>	Min. 800 kg	1619,22	1675,44	1733,75	1643,32	1416,20
<i>Flow</i>	2-4 mm	1,93	3,45	3,95	4,31	5,47
<i>MQ</i>	Min. 250 kg/mm	841,15	531,32	448,80	381,36	259,01

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

No.	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			4,5	5	5,5	6	6,5
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>	2-4 mm					
7	<i>MQ</i>	Min. 250 kg/mm					

Dari tabel diatas dapat kita ambil bahwa kadar aspal optimum yang dapat dipakai adalah 5% dan 5,5%, karena dari 7 aspek diatas memenuhi persyaratan Bina Marga (2010) pada 2 kadar tersebut. Pada penelitian ini digunakan kadar aspal optimum 5,25% karena pengambilan pada titik tengah diantara 2 kadar tersebut.

2. Hasil pengujian Marshall dengan Perendaman Air Laut

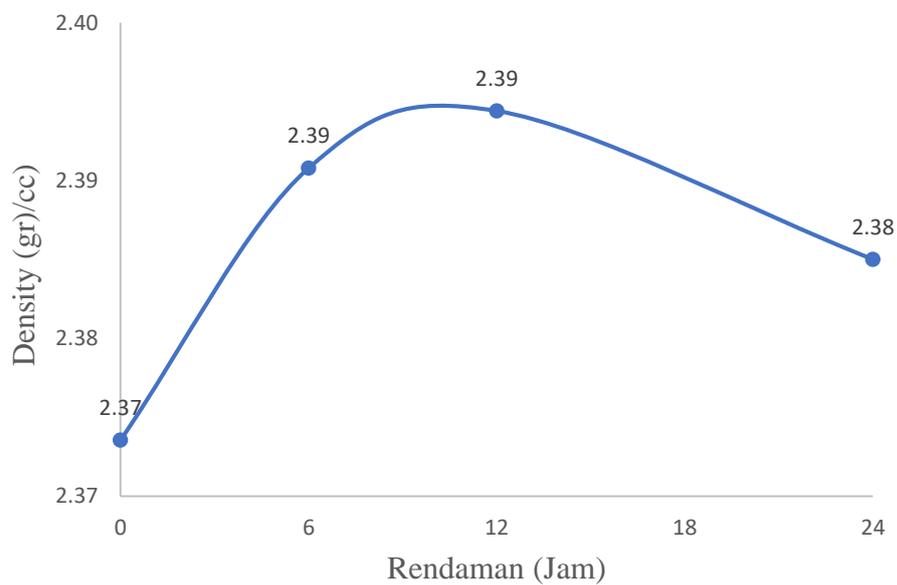
Terdapat beberapa parameter yang akan dibahas yaitu *density*, VFA, VIM, VMA, *stability*, *flow* dan *MQ* sebagai berikut :

a. *Density*

Sering disebut kepadatan yang artinya adalah rasio antara berat benda uji kering terhadap volume benda uji tersebut. Semakin lama perendaman, nilai densiti akan menurun.

Tabel 4.13 Nilai *density* terhadap lama perendaman dengan air laut

Kadar Aspal 5,25 (%)	Nilai <i>Density</i> (kg/cc)			
	0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam
A	2,378	2,394	2,387	2,367
B	2,370	2,387	2,402	2,403
Rata – rata	2,374	2,391	2,394	2,385



Gambar 4.8 Grafik hubungan kepadatan dengan Air Laut

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa nilai *density* (kepadatan) pada campuran aspal menggunakan perendaman air laut mendapatkan nilai peningkatan dari tanpa perendaman dengan nilai 2,374 % lalu naik pada perendaman 6 jam menjadi 2,391% hingga puncak

tertinggi nilai kepadatan pada perendaman 12 jam yaitu senilai 2,394% yang pada akhirnya turun pada perendaman 24 jam menjadi 2,385. Dapat disimpulkan semakin lama perendaman menyebabkan nilai densitas menurun dengan nilai optimum pada perendaman setelah 12 jam.

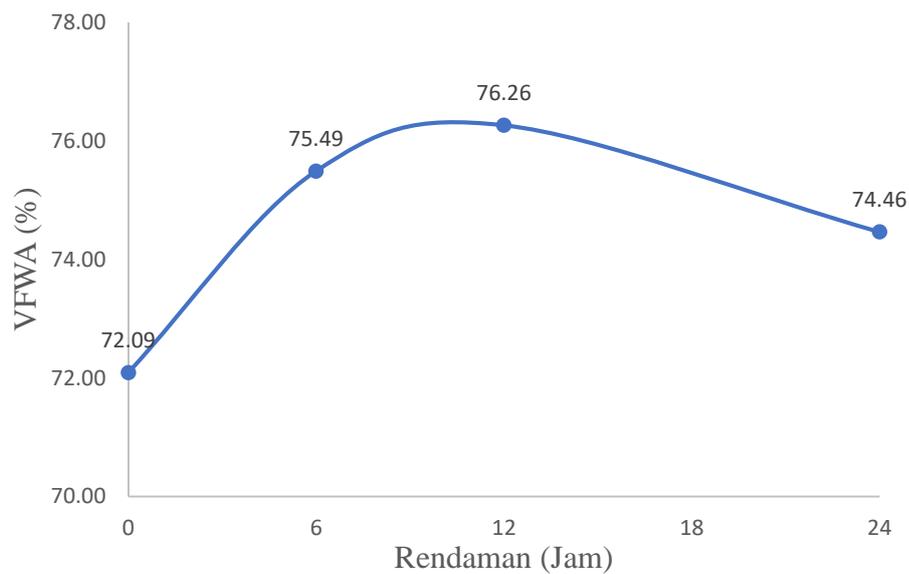
b. VFA (*Void Filled Asphalt*)

Persen rongga pada agregat yang biasa disebut *Void Filled Asphalt* (VFA) adalah rongga yang diisi oleh aspal tetapi yang mengisi tersebut tidak termasuk dengan aspal yang diserap oleh agregat.

Semakin banyak rongga menandakan semakin besar nilai VFA karena pada nantinya rongga udara tersebut diisi dengan aspal hingga nilai kekedapan aspal dengan air dan udara menjadi lebih tinggi. Apabila nilai VFA atau rongga udara yang terisi aspal ini terlalu besar akan menyebabkan *bleeding* pada campuran aspal. Apabila nilainya kecil maka akan menyebabkan campuran aspal tersebut menjadi lebih kedap terhadap air karena rongganya sudah diisi oleh aspal maka air dan udara menjadi lebih mudah masuk ke dalam lapis perkerasan aspal yang dapat menyebabkan umur rencana menjadi lebih pendek. Nilai VFA ini dipengaruhi oleh energi, keterjagaan suhu pada saat pemadatan, jenis aspal yang digunakan dan penggunaan kadarnya serta jenis agregat yang digunakan dan ukuran gradasi yang digunakan pada campuran aspal.

Tabel 4.13 Nilai VFA terhadap lama perendaman dengan air laut

Kadar Aspal 5,25 (%)	Nilai VFA (kg/cc)			
	0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam
A	72,85	76,117	74,66	70,83
B	71,34	74,81	77,86	78,09
Rata - rata	72,09	75,49	76,26	74,46



Gambar 4.9 Grafik Hubungan VFA dengan Air Laut

Seperti yang dapat disimpulkan pada data diatas bahwa nilai rata-rata VFA pada rendaman air laut 0 jam senilai 72,09 dan mengalami peningkatan pada rendaman air laut 12 jam menjadi 75,49% dan naik lagi hingga puncak nilai tertinggi pada perendaman 12 jam yaitu 76,26%. Setelah lama perendaman pada 24 jam nilai VFA menurun menjadi 74,46%. Dapat diketahui jika campuran aspal tersebut direndam dengan air laut nilai VFA akan naik, dan pada akhirnya akan turun pada perendaman setelah 12 jam.

Seperti yang diatur pada spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 jika nilai VFA >65% maka dapat disimpulkan bahwa campuran aspal yang digunakan memenuhi syarat yang diatur pada Bina Marga (2010) revisi 3. Pada pengujian kadar aspal dapat dikatakan semua lolos spesifikasi.

c. VIM

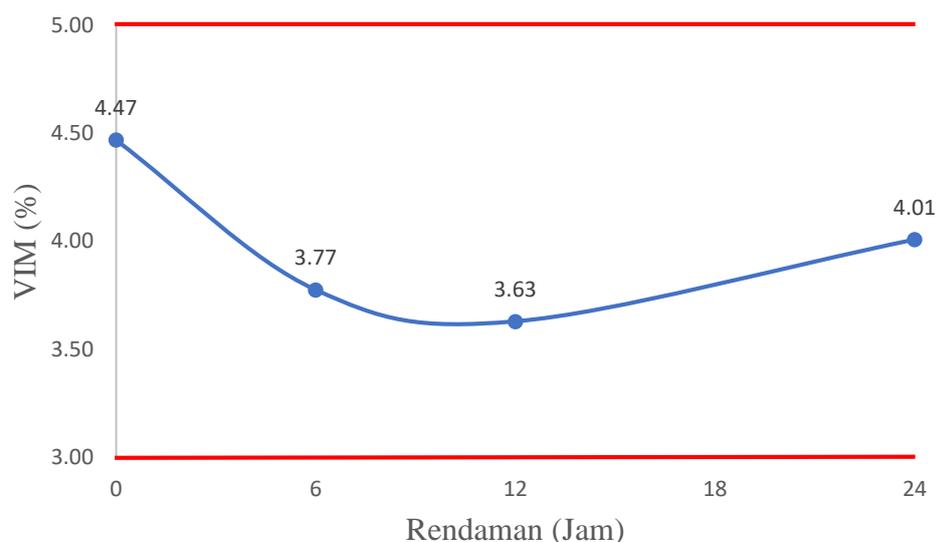
Void In the Mix adalah nilai rongga pada campuran aspal panas dengan satuan persen. Rongga tersebut diperlukan untuk ruang bagi material campuran seperti sifat elastisnya. Nilai rongga dalam campuran ini dipengaruhi beberapa faktor, yaitu ukuran agregat yang digunakan, lalu kadar aspal pada campuran dan nilai dari *density*.

Apabila nilai dari rongga ini terlalu besar dapat menyebabkan lapisan pada perkerasan teroksidasi atau mengalami penuaan aspal sehingga udara dapat mudah masuk. Maka lapisan luar aspal menjadi tipis dan ikatan aspal menurun. Umur rencana dari aspal tersebut juga akan menjadi lebih pendek dan butuh perawatan lebih cepat. Dan apabila nilai rongga ini besar dapat memicu adanya pelepasan agregat pada lapisan aspal.

Dan apabila nilai rongga dalam campuran ini terlalu kecil dapat mengakibatkan tingkat kekakuan lapis perkerasan menjadi semakin besar, dan efeknya adalah apabila saat mendapat beban dari lalu lintas yang tinggi tidak mampu dalam menghadapi lentur pada deformasi yang terbentuk.

Tabel 4.15 Nilai VIM terhadap lama perendaman dengan air laut

Kadar Aspal 5,25 (%)	Nilai <i>VIM</i> (kg/cc)			
	0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam
A	4,31	3,64	3,94	4,74
B	4,63	3,91	3,320	3,28
Rata - rata	4,47	3,77	3,63	4,01



Gambar 4.10 Grafik Hubungan VIM dengan Air Laut

Dapat dilihat pada data diatas bahwa nilai VIM pada rendaman air laut 0 jam mengalami penurunan hingga 6 jam dan 12 jam, dengan nilai 4,47%, 3,77% dan 3,63%. Setelah itu mengalami kenaikan nilai VIM pada rendaman 24 jam dengan nilai sebesar 4,01%. Dapat disimpulkan bahwa lama perendaman air laut pada campuran aspal modifikasi dengan *steel slag* ini menyebabkan nilai rongga dalam campuran menjadi lebih kecil, dan membesar pada saat rendaman 24 jam. Nilai rongga dalam campuran (VIM) tertinggi didapat pada rendaman 0 jam.

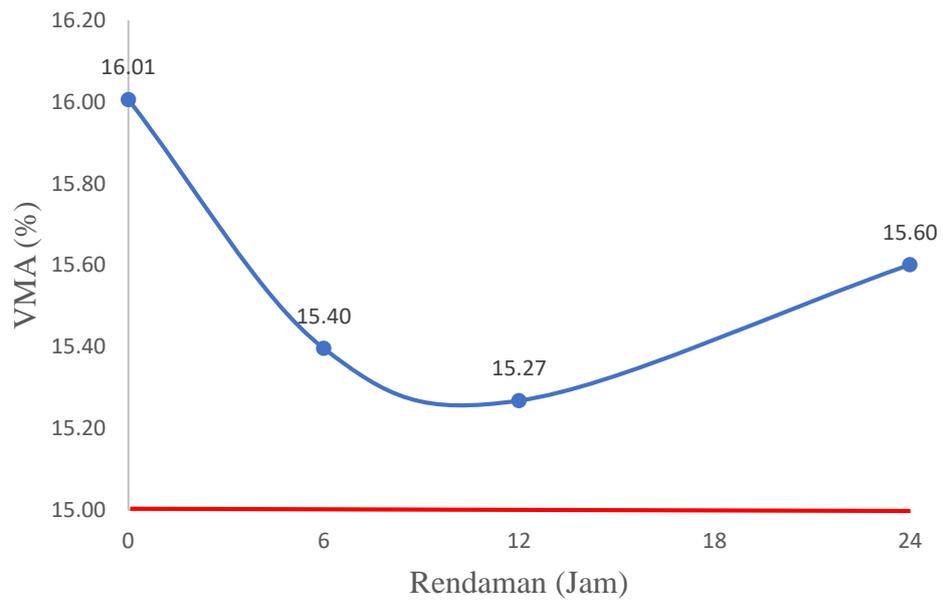
Sebagaimana yang sudah diatur dalam spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 mengenai sifat campuran lapis aspal beton, nilai rongga dalam campuran yang disyaratkan adalah antara 3% hingga 5%. Nilai yang tidak masuk dalam rentang tersebut dianggap tidak lolos syarat Bina Marga (2010) revisi 3. Dengan itu benda uji masuk spesifikasi syarat VIM.

d. VMA

Rongga dalam mineral agregat (*Void in Mineral Agregate*) adalah rongga-rongga udara yang diisi oleh aspal dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan. Dan rongga tersebut termasuk rongga yang sudah diisi oleh aspal. Besar nilai rongga ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kadar aspal yang digunakan, ukuran butir agregat, proses penumbukan dan penjagaan suhu campuran aspal panas tersebut. Hubungan kadar aspal dengan nilai dari rongga dalam mineral agregat dapat dilihat pada tabel 4.9 dan gambar 4.4 dibawah ini:

Tabel 4.16 Nilai VMA terhadap lama perendaman dengan air laut

Kadar Aspal 5,25 (%)	Nilai VMA (%)			
	0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam
A	15,87	15,28	15,54	16,24
B	16,15	15,51	15,00	14,96
Rata - rata	16,01	15,40	15,27	15,60



Gambar 4.11 Grafik Hubungan VMA dengan Air Laut

Pada gambar 4.11 diatas terlihat bahwa nilai rongga dalam mineral agregat pada kondisi tanpa perendaman air laut meningkat pada waktu rendaman 6 jam dan 12 jam yaitu dari 12,76 % naik menjadi 13,67% dan nilai tertinggi berada pada puncak rendaman 12 jam yaitu dengan nilai 14,03% dan menurun pada rendaman 24 jam menjadi sebesar 13,12 %

Seperti tercantum dalam spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 syarat besarnya nilai VMA adalah $>15\%$. Dengan kata lain benda uji yang dibuat semua masuk persyaratan.

e. *Stability*

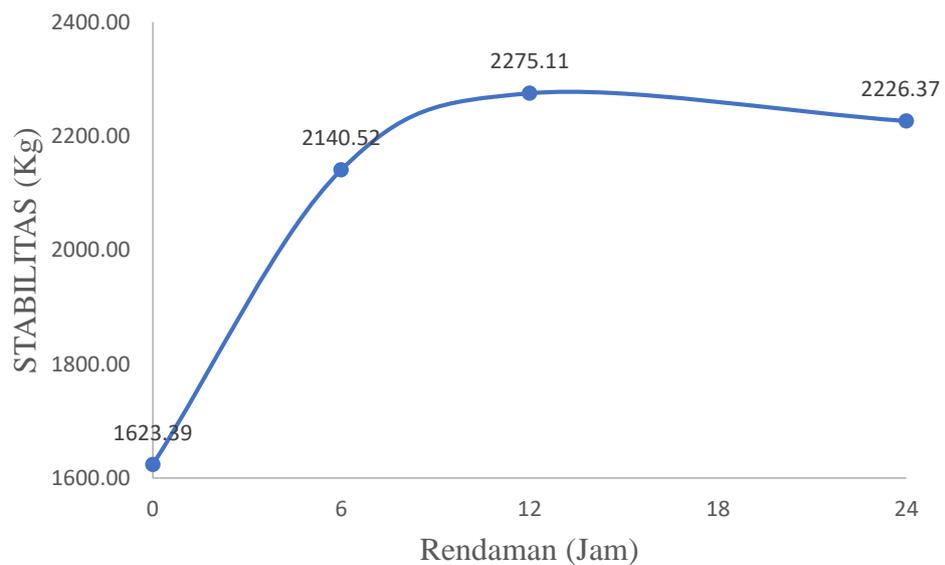
Stabilitas, seperti namanya stabil adalah kemampuannya untuh tahan dalam mendapat beban dari lalu lintas dengan stabil. Maksud dari stabil adalah tidak goyah atau berubah bentuk dan tidak *bleeding*. Apabila beban dari lalu lintas besar, maka dibutuhkan nilai stabilitas yang tinggi pula untuk menahan beban lalu lintas tersebut.

Nilai stabilitas ini didapatkan pada saat pengujian menggunakan alat uji *marshall*. Yaitu pada *gauge* yang menunjukkan nilai stabilitas dari sampel benda uji yang sedang diuji. Nilai stabilitas yang didapatkan juga mendapat pengkoreksian dari angka tebal benda ujinya. Nilai stabilitas ini dapat dipengaruhi karena gesekan dari tiap butiran bahan penyusun,

interlocking dari gradasi bahan penyusun dan juga kemampuan kohesi lapisan aspal harus baik. Kadar aspal yang digunakan dan penjaagaan suhu hingga proses pada saat pemadatan juga sangat berpengaruh dalam mendapatkan nilai stabilitas ini. Penjabaran data hasil dari pengujian stabilitas dapat dilihat pada tabel 4.17 dan gambar 4.12 berikut ini :

Tabel 4.17 Nilai *stability* terhadap lama perendaman dengan air laut

Kadar Aspal 5,25 (%)	Nilai <i>Stability</i> (kg/cc)			
	0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam
A	1395,49	1929,19	2216,30	2158,04
B	1851,29	2351,85	2333,93	2294,71
Rata - rata	1623,39	2140,52	2275,11	2226,37



Gambar 4.12 Grafik Hubungan stabilitas dengan Air Laut

Nilai stabilitas yang didapatkan seperti data diatas mengalami peningkatan nilai perendaman menggunakan air laut selama 0 jam, 6 jam dan 12 jam yaitu sebesar 1623,39 Kg, 2140,52 Kg dan 2275,11 Kg, lalu mengalami penurunan pada perendaman selama 24 jam yaitu sebesar 2226,37 Kg. nilai stabilitas terendah ada pada tanpa perendaman air laut, dan nilai tertinggi ada pada perendaman waktu 12 jam.

Seperti yang sudah diatur dalam spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 yang menetapkan bahwa nilai stabilitas minimum yang akan digunakan pada lalu lintas berat adalah senilai 800 Kg. maka dari semua nilai stabilitas pada semua kadar memenuhi persyaratan dai spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3.

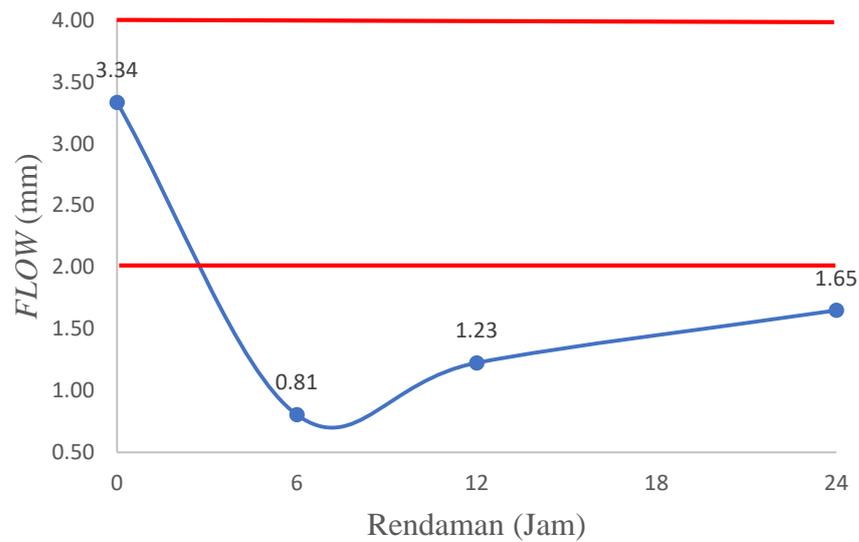
f. *Flow*

Kelelahan (*flow*) adalah nilai yang dapat memberikan informasi seberapa besar penurunan (deformasi) yang dialami oleh lapisan aspal dari menerima beban yang didapatkan. Nilai VIM, VFA dan stabilitas mempengaruhi nilai deformasi ini. Dan yang dapat mempengaruhi dari nilai deformasi ini adalah ukuran butir bahan penyusun yang digunakan, penentuan kadar aspal dan ketetapan suhu pada saat melakukan pemadatan.

Apabila campuran aspal mendapatkan nilai deformasi yang kecil dan nilai stabilitasnya besar, maka perkerasan itu akan menjadi getas dan kaku. Kebalikannya apabila campuran aspal mendapatkan nilai deformasi yang besar dengan nilai stabilitas yang kecil maka perkerasan aspal tersebut akan menjadi plastis. Tidak baik juga apabila suatu perkerasan bernilai plastis tinggi, karena akan menyebabkan lapisan tersebut menjadi mudah berubah bentuk jika menerima beban lalu lintas yang lebih dari nilai rencana.

Tabel 4.18 Nilai *flow* terhadap lama perendaman dengan air laut

Kadar Aspal 5,25 (%)	Nilai <i>Flow</i> (kg/cc)			
	0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam
A	4,40	0,95	1,15	1.80
B	2,27	0,66	1,30	1,50
Rata - rata	3,34	0,81	1,23	1,65



Gambar 4.13 Grafik Hubungan kelelehan dengan Air Laut

Pada tabel 4.18 dan gambar 4.13 dapat dilihat bahwa nilai kelelehan yang diperoleh pada pengujian menggunakan rendaman air laut mendapatkan penurunan nilai *flow* dari benda uji tanpa rendaman air laut. Mulai dari tanpa perendaman hingga perendaman 6 Jam nilainya turun dari 3,34% menjadi 0,81% lalu mengalami peningkatan nilai kelelehan pada perendaman 12 Jam dengan nilai 1,23% dan naik lagi pada perendaman 1,65%.

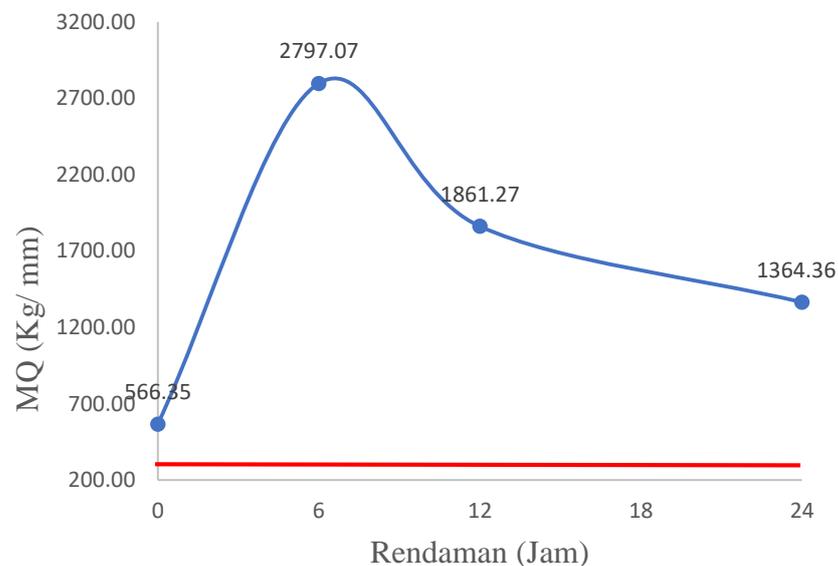
Seperti yang sudah disyaratkan oleh spesifikasi umum Bina Marga (2010) revisi 3 bahwa nilai kelelehan minimum yang diwajibkan untuk campuran aspal adalah senilai 2 mm dengan nilai maksimum kelelehannya adalah 4 mm. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* yang memenuhi persyaratan adalah hanya pada perendaman 0 Jam saja atau tanpa perendaman air laut. Semua benda uji dengan perendaman air laut tidak memenuhi syarat pada ketentuan untuk syarat nilai *flow*.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai hasil bagi antara nilai stabilitas terhadap nilai kelelehan (*flow*). Jika didapati nilai MQ besar, maka campuran aspal keras akan menjadi lebih kaku, berlaku juga untuk kebalikannya yaitu jika didapatkan nilai MQ menjadi lebih kecil maka perkerasan tersebut dapat berisiko lentur. Berikut hubungan kadar aspal dengan MQ :

Tabel 4.19 Nilai MQ terhadap lama perendaman dengan air laut (Kg)

Kadar Aspal 5,25 (%)	Nilai MQ (kg/cc)			
	0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam
A	317,16	2030,72	1927,21	1198,91
B	815,55	3563,41	1795,33	1529,81
Rata - rata	566,35	2797,07	1861,27	1364,36

Gambar 4.14 Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Air Laut

Dari data yang didapatkan diatas dengan kenaikan nilai MQ pada rendaman air laut selama 6 Jam yaitu mulai 0 jam/tanpa rendaman air laut senilai 566,35 Kg dan 2797,07 Kg dan mengalami penurunan nilai MQ pada rendaman 12 Jam menjadi 1861,27 Kg, hingga rendaman terakhir 24 jam mengalami penurunan lagi yaitu nilainya menjadi 1364,36 Kg. Nilai MQ tertinggi terletak pada waktu perendaman air laut selama 6 Jam, dan nilai MQ terkecil adalah tanpa perendaman air laut.

Tabel 4.20 Hasil pengujian *marshall* untuk perendaman air laut

Kriteria	Spesifikasi	Lama Perendaman Air Laut (Jam)			
		0	6	12	24
Density	-	2,374	2,391	2,394	2,385
VFA	Min. 65%	72,09	75,49	76,26	74,46
VIM	3% - 5%	4,47	3,77	3,63	4,01
VMA	Min. 15%	16,01	15,40	15,27	15,60
Stability	Min. 800 kg	1623,39	2140,52	2275,11	2226,37
Flow	2-4 mm	3,34	0,81	1,23	1,65
MQ	Min. 250 kg/mm	566,35	2797,07	1861,27	1364,36

Tabel 4.21 Hasil pengujian karakteristik *marshall* perendaman air laut

No.	Kriteria	Spesifikasi	Lama Rendaman (jam)			
			0	6	12	24
1	Density	-				
2	VFA	Min. 65%				
3	VIM	3% - 5%				
4	VMA	Min. 15%				
5	Stability	Min. 800 kg				
6	Flow	2-4 mm				
7	MQ	Min. 250 kg/mm				

Dengan tabel yang tertera diatas dapat dimimpulkan Bahwa dengan perendaman air laut nilai *flow* yang didapatkan tidak memenuhi spesifikasi, maka dari itu perkerasan jalan yang terendam air laut lebih cepat kebutuhan perbaikannya dibandingkan dengan yang tidak terendam air laut. Jika direndam dengan air laut selama 6 jam, 12 jam, 24 jam menjadikan perkerasan semakin kaku atau getas. untuk campuran aspal dengan peredaman air laut didapat hasil karakteristik marshall yang

kurang baik, maka diperlukan penelitian yang lebih lama durasi perendamannya menggunakan air laut dan campuran *steel slag*. Untuk itu apabila campuran ini diaplikasikan ke jalan raya dapat menyebabkan adanya kerusakan jalan seperti deformasi jalan, berlubang, dan kerusakan jalan lainnya.