

BAB V DATA, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data dan Analisis

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar dan Agregat Halus

Pengujian karakteristik aspal meliputi pengujian agregat kasar, pengujian agregat halus, pengujian agregat halus marmer dan pengujian *filler*. Seluruh pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Hasil yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 dan dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis Agregat Kasar	> 2,5	2,65	Memenuhi
2	Berat Jenis Agregat Halus	> 2,5	2,81	Memenuhi
3	Penyerapan Agregat Kasar Terhadap Air (%)	< 3	2,01	Memenuhi
4	Penyerapan Agregat Halus Terhadap Air (%)	< 3	2,65	Memenuhi
5	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	97	Memenuhi
6	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	< 40	19,02	Memenuhi
7	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	76,15	Memenuhi

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus Marmer

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis a. Berat Jenis <i>Bulk</i> b. Berat Jenis <i>SSD</i> c. Berat Jenis Semu	> 2,5	a. 2,57 b. 2,62 c. 2,72	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Halus Terhadap Air (%)	< 3	2,10	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pada penelitian ini menggunakan aspal pertamina pen 60/70 yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Hasil pengujian aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 dan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis Aspal	$\geq 1,0$	1,07	Memenuhi
2	Penetrasi	60-70	61,80	Memenuhi
3	Daktalitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	290	Memenuhi
5	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48,75	Memenuhi
6	Kelarutan CCL4 (%)	≥ 99	99,21	Memenuhi

5.1.3 Gradasi Agregat untuk Campuran

Gradasi agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah gradasi campuran LASTON AC-WC atau bisa disebut juga dengan gradasi rapat. Gradasi campuran LASTON AC-WC dapat dilihat pada Tabel 5.4 hingga Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%

No. Saringan		Spesifikasi		Kumulatif		Berat Tertahan (gr)	
Inch	mm	Max	Min	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4 "	19	100	100	100			
1/2 "	12,5	100	90	95	5	57	57
3/8 "	9,5	90	77	84	17	131,1	188,1
No. 4	4,75	69	53	61	39	256,5	444,6
No. 8	2,36	53	33	43	57	205,2	649,8
No. 16	1,18	40	21	31	70	142,5	792,3
No. 30	0,600	30	14	22	78	96,9	889,2
No. 50	0,300	22	9	16	85	74,1	963,3
No. 100	0,150	15	6	11	90	57	1020,3
No. 200	0,075	9	4	7	94	45,6	1065,9
Pan		0	0	0	100	74,1	1140
Jumlah						1140	

Tabel 5.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%

No. Saringan		Spesifikasi		Kumulatif		Berat Tertahan	
Inch	mm	Max	Min	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4 "	19	100	100	100			
1/2 "	12,5	100	90	95	5	56,7	56,7
3/8 "	9,5	90	77	84	17	130,41	187,11
No. 4	4,75	69	53	61	39	255,15	442,26
No. 8	2,36	53	33	43	57	204,12	646,38
No. 16	1,18	40	21	31	70	141,75	788,13
No. 30	0,600	30	14	22	78	96,39	884,52
No. 50	0,300	22	9	16	85	73,71	958,23
No. 100	0,150	15	6	11	90	56,7	1014,93
No. 200	0,075	9	4	7	94	45,36	1060,29
Pan		0	0	0	100	73,71	1134
Jumlah						1134	

Tabel 5.6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%

No. Saringan		Spesifikasi		Kumulatif		Berat Tertahan	
Inch	mm	Max	Min	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4 "	19	100	100	100			
1/2 "	12,5	100	90	95	5	56,4	56,4
3/8 "	9,5	90	77	84	17	129,72	186,12
No. 4	4,75	69	53	61	39	253,8	439,92
No. 8	2,36	53	33	43	57	203,04	642,96
No. 16	1,18	40	21	31	70	141	783,96
No. 30	0,600	30	14	22	78	95,88	879,84
No. 50	0,300	22	9	16	85	73,32	953,16
No. 100	0,150	15	6	11	90	56,4	1009,56
No. 200	0,075	9	4	7	94	45,12	1054,68
Pan		0	0	0	100	73,32	1128
Jumlah						1128	Jumlah

Tabel 5.7 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%

No. Saringan		Spesifikasi		Kumulatif		Berat Tertahan	
Inch	mm	Max	Min	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4 "	19	100	100	100			
1/2 "	12,5	100	90	95	5	56,1	56,1
3/8 "	9,5	90	77	84	17	129,03	185,13
No. 4	4,75	69	53	61	39	252,45	437,58
No. 8	2,36	53	33	43	57	201,96	639,54
No. 16	1,18	40	21	31	70	140,25	779,79
No. 30	0,600	30	14	22	78	95,37	875,16
No. 50	0,300	22	9	16	85	72,93	948,09
No. 100	0,150	15	6	11	90	56,1	1004,19
No. 200	0,075	9	4	7	94	44,88	1049,07
Pan		0	0	0	100	72,93	1122
Jumlah						1122	

Tabel 5.8 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%

No. Saringan		Spesifikasi		Kumulatif		Berat Tertahan	
Inch	mm	Max	Min	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4 "	19	100	100	100			
1/2 "	12,5	100	90	95	5	55,8	55,8
3/8 "	9,5	90	77	84	17	128,34	184,14
No. 4	4,75	69	53	61	39	251,1	435,24
No. 8	2,36	53	33	43	57	200,88	636,12
No. 16	1,18	40	21	31	70	139,5	775,62
No. 30	0,600	30	14	22	78	94,86	870,48
No. 50	0,300	22	9	16	85	72,54	943,02
No. 100	0,150	15	6	11	90	55,8	998,82
No. 200	0,075	9	4	7	94	44,64	1043,46
Pan		0	0	0	100	72,54	1116
Jumlah						1116	

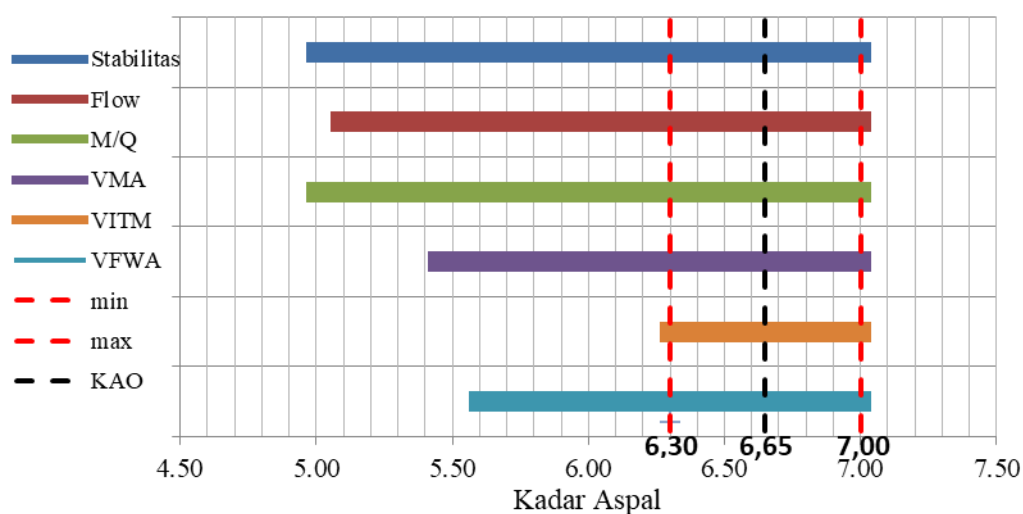
5.1.4 Hasil Pengujian Campuran LASTON AC-WC untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum dapat ditentukan setelah melakukan pengujian *Marshall*. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII. Hasil dari pengujian tersebut diperoleh nilai-nilai karakteristik *Marshall* diantaranya yaitu stabilitas (*stability*), pelelehan (*flow*), *VITM* (*Void in Mix*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *MQ* (*Marshall Quotient*), dan kepadatan (*density*) dari campuran LASTON AC-WC dengan menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70. Dapat dilihat pada Tabel 5.9 untuk hasil pengujian, kemudian hasil tersebut digambarkan kedalam grafik pada Gambar 5.1 untuk menentukan kadar aspal optimum.

Dalam menentukan kadar aspal optimum pada campuran LASTON AC-WC dapat dilihat dengan kriteria parameter pada karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas, *flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA*, dan *VFWA*. Dari hasil pengujian *Marshall* yang telah memenuhi semua kriteria parameter tersebut, diperoleh batas maksimum dan batas minimum. Nilai kadar aspal optimum didapatkan dari nilai tengah antara batas maksimum dan batas minimum.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)
5	1781,40	1,87	1097,75	7,20	60,29	18,13
5.5	3644,55	2,68	1375,98	6,75	63,99	18,74
6	2946,05	2,96	1135,07	5,55	70,33	18,71
6.5	2533,28	3,57	737,69	4,60	75,71	18,90
7	1784,83	3,84	466,18	3,78	80,33	19,20
Spesifikasi	> 800	2 - 4	> 250	3 - 5	> 65	> 15

**Gambar 5.1 Penentuan KAO pada Campuran LASTON AC-WC**

Berdasarkan Gambar 5.1 diatas, didapatkan kadar aspal optimum untuk bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 sebesar 6,65%.

5.1.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Kebutuhan agregat pada campuran LASTON AC-WC pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Kebutuhan Agregat Kadar Aspal Optimum pada Campuran LASTON AC-WC

No. Saringan		Spesifikasi		Kumulatif		Berat Tertahan	
Inch	mm	Max	Min	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4 "	19	100	100	100			
1/2 "	12,5	100	90	95	5	56,01	56,01
3/8 "	9,5	90	77	84	17	128,82	184,83
No. 4	4,75	69	53	61	39	252,05	436,88
No. 8	2,36	53	33	43	57	201,64	638,51
No. 16	1,18	40	21	31	70	140,03	778,54
No. 30	0,600	30	14	22	78	95,22	873,76
No. 50	0,300	22	9	16	85	72,81	946,57
No. 100	0,150	15	6	11	90	56,01	1002,58
No. 200	0,075	9	4	7	94	44,81	1047,39
Pan		0	0	0	100	72,81	1120,2
Jumlah						1120,20	

5.1.6 Hasil Pengujian Campuran LASTON AC-WC pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian campuran LASTON AC-WC pada kadar aspal optimum meliputi pengujian *Marshall* dan *IRS (Index of Retained Strength)* dapat dilihat pada Tabel 5.11, Tabel 5.12, Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada KAO dengan Durasi Perendaman 0 jam

Kadar Marmer (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1438,22	3,69	413,10	5,92	70,88	20,31	2,31
25	1443,93	3,31	521,78	4,76	75,33	19,26	2,32
50	1824,56	3,40	563,75	6,17	69,76	20,39	2,28
75	1341,00	3,66	370,25	4,87	74,80	19,21	2,30
100	1262,30	4,43	281,97	5,75	71,40	19,89	2,27
Spesifikasi	> 800	2 - 4	> 250	3 - 5	> 65	> 15	

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada KAO dengan Durasi Perendaman 48 jam

Kadar Marmer (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1412,89	4,25	337,05	4,80	75,27	19,36	2,33
25	1413,44	3,86	372,47	5,63	71,96	20,00	2,30
50	1689,19	3,97	443,77	5,46	72,58	19,79	2,30
75	1377,37	4,38	315,87	4,90	74,62	19,24	2,30
100	1297,41	5,04	265,88	5,50	72,09	19,68	2,27
Spesifikasi	> 800	2 - 4	> 250	3 - 5	> 65	> 15	

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada KAO dengan Durasi Perendaman 96 jam

Kadar Marmer (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1409,26	5,33	276,23	4,97	74,55	19,51	2,33
25	1441,91	5,08	308,64	5,14	73,83	19,58	2,32
50	1752,93	5,00	359,89	5,04	74,37	19,43	2,31
75	1344,34	5,31	253,07	4,54	76,17	18,94	2,31
100	1296,15	5,65	242,97	5,86	70,82	19,98	2,26
Spesifikasi	> 800	2 - 4	> 250	3 - 5	> 65	> 15	

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian *IRS* pada KAO

<i>Index Of Retained Strength (%)</i>			
Kadar Agregat Halus Marmer (%)	Lama Perendaman (jam)		
	0	48	96
0	97,26	96,05	91,73
25	97,60	95,25	92,58
50	94,14	90,98	89,26
75	90,59	89,47	86,33
100	89,56	86,02	84,57
Spesifikasi	> 90		

5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar dan Agregat Halus

Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar dan Agregat Halus

Karakteristik Agregat	Hasil	Spesifikasi	Bina Marga 2010
Berat Jenis Agregat Kasar	2,65	> 2,5	Memenuhi
Berat Jenis Agregat Halus	2,81	> 2,5	Memenuhi
Penyerapan Agregat Kasar Terhadap Air (%)	2,01	< 3	Memenuhi
Penyerapan Agregat Halus Terhadap Air (%)	2,65	< 3	Memenuhi
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	97	> 95	Memenuhi
Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	19,02	< 40	Memenuhi
<i>Sand Equivalent</i> (%)	76,15	> 50	Memenuhi

Berikut ini adalah pembahasan terhadap pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus yang digunakan dalam penelitian.

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Hasil pengujian untuk berat jenis agregat kasar sebesar 2,65, sedangkan berat jenis agregat halus sebesar 2,81. Nilai berat jenis dari kedua pengujian tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu > 2,5.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan agregat dalam menyerap air, rongga atau pori. Agregat yang memiliki kadar pori yang besar maka dapat dikatakan agregat tersebut mempunyai daya serap yang besar. Hasil pengujian penyerapan agregat kasar terhadap air sebesar 2,01%, sedangkan hasil penyerapan agregat halus terhadap air sebesar 2,65%. Nilai

yang diperoleh dari kedua pengujian tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu $< 3,00\%$.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan untuk mengetahui persentase pada luas permukaan batuan yang terselimuti oleh aspal terhadap keseluruhan luas permukaan. Hasil pengujian kelekatan agregat terhadap aspal menunjukkan nilai sebesar 97%, dimana hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu min. 95%.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan (abrasi) bertujuan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menahan gesekan dan penghancuran dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula dalam persen. Hasil pengujian menunjukkan nilai sebesar 19,02%. Nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu $< 40\%$.

2. *Sand Equivalent*

Pengujian *sand equivalent* pada agregat halus bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap debu ataupun lumpur yang tercampur di dalamnya. Hasil dari pengujian tersebut diperoleh nilai sebesar 76,15%. Nilai *sand equivalent* pada agregat halus telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu $> 50\%$. Dapat disimpulkan bahwa agregat yang digunakan cukup bersih dari kandungan debu ataupun lumpur.

5.2.2 Karakteristik Aspal

Hasil pengujian sifat fisik aspal dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal Pertamina Pen 60/70

Karakteristik Aspal	Hasil	Spesifikasi	Bina Marga 2010
Berat Jenis Aspal	1,07	$\geq 1,0$	Memenuhi
Penetrasi	61,80	60-70	Memenuhi
Daktalitas (cm)	164	≥ 100	Memenuhi
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	290	≥ 232	Memenuhi
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	48,75	≥ 48	Memenuhi
Kelarutan CCL4 (%)	99,21	≥ 99	Memenuhi

Berikut ini adalah pembahasan tentang pengujian karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 dan hasil pengujian sifat fisik aspal dapat dilihat pada Tabel

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling (*aquadest*) dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Hasil dari pengujian berat jenis aspal sebesar 1,07. Nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu $\geq 1,00$.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi bertujuan untuk mengetahui aspal yang digunakan memiliki tingkat kekerasan yang keras atau lembek. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah 61,8 mm, sehingga hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu antara 60 – 70 mm.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui keelastisitasan aspal pada campuran sehingga dapat menahan lendutan yang akan terjadi. Pada pengujian ini diperoleh hasil sebesar 164 cm. Hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengetahui temperatur aspal pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada permukaan aspal. Hasil

dari pengujian titik nyala menunjukkan nilai sebesar 290°C. Dari hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu $\geq 232^\circ\text{C}$.

5. Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui suhu dimana aspal mulai lembek. Hasil dari pengujian titik lembek aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 48,75°C, dimana hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$.

3. Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (CCL₄)

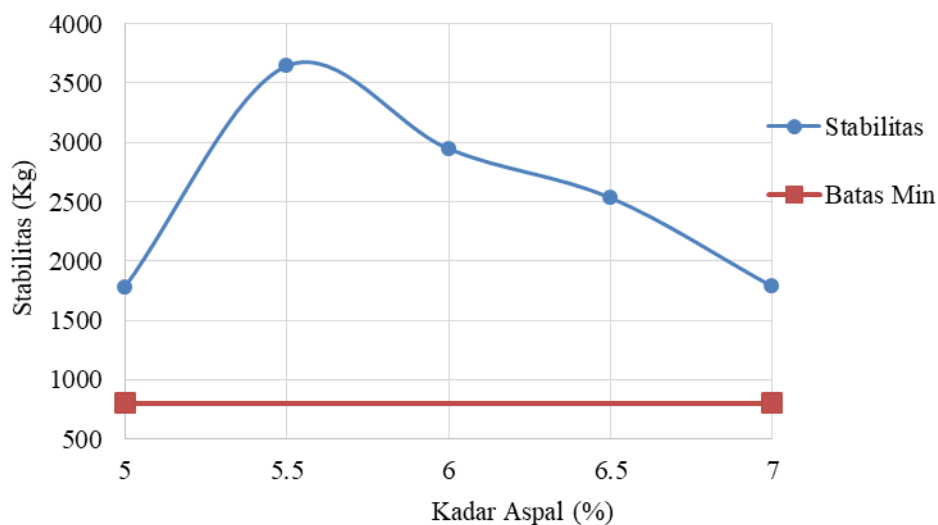
Persentase kandungan mineral lain dalam aspal dapat diperoleh dengan cara melakukan pengujian kelarutan. Pengujian kelarutan ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan mineral lain dalam aspal dengan cara aspal dilarutkan ke dalam Karbon Tetra Klorida (CCL₄). Hasil pengujian menunjukkan nilai sebesar 99,16%. Hasil ini memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu sebesar $\geq 99\%$.

5.2.3 Tinjauan Karakteristik *Marshall Test* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Berikut ini adalah uraian hasil pengujian *Marshall* dari jenis campuran LASTON AC-WC ditinjau dari parameter karakteristik *Marshall* yang mengacu pada Bina Marga 2010 Revisi 3 sebagai berikut.

1. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Stabilitas

Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang atau alur. Semakin tinggi nilai stabilitas maka semakin besar pula beban yang mampu ditahan oleh perkerasan tersebut. Begitu pula sebaliknya, semakin rendah nilai stabilitas maka semakin kecil pula beban yang mampu ditahan oleh perkerasan tersebut. Berikut ini adalah hasil nilai stabilitas yang dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2.



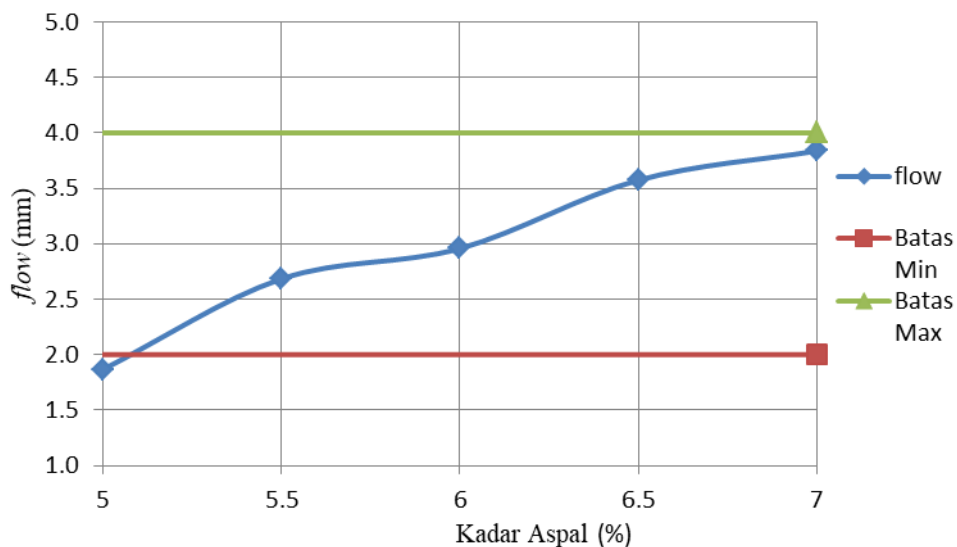
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.2 didapatkan nilai stabilitas naik sampai pada titik optimum pada kadar 5,5%, lalu mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. Menurunnya nilai stabilitas disebabkan semakin bertambahnya kadar aspal yang diberikan pada campuran akan menyebabkan semakin tebal lapisan selimut aspal dan mengakibatkan nilai stabilitas menurun, sehingga gesekan internal antar butir agregat berkurang.

Nilai stabilitas dari keseluruhan kadar aspal pada campuran LASTON AC-WC yang digunakan telah memenuhi persyaratan minimum spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu 800 kg.

2. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Flow*

Flow adalah besarnya penurunan pada campuran akibat suatu beban yang diterima sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. Berikut adalah grafik nilai *flow* yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dibawah ini.



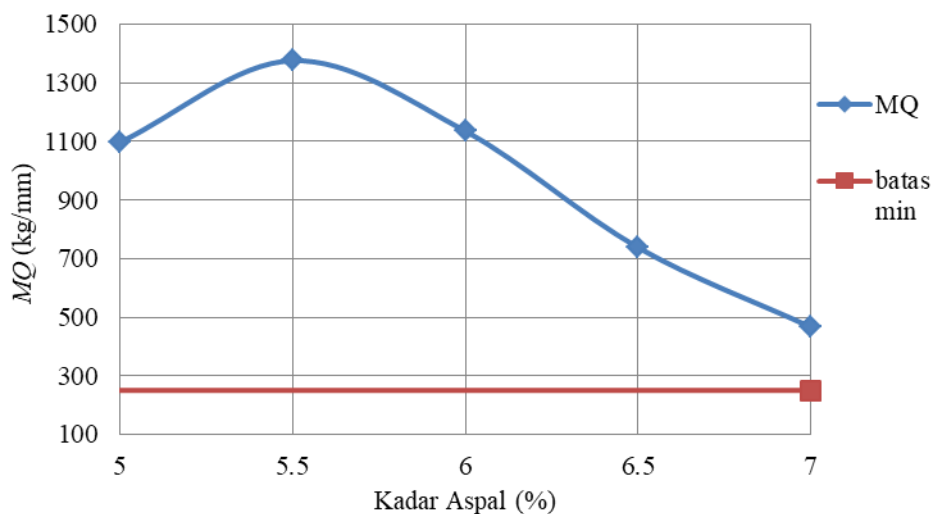
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai Flow

Pada Gambar 5.3 didapatkan nilai *flow* cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya kadar aspal maka campuran tersebut akan bersifat plastis sehingga mudah terjadi perubahan bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas. Hal ini sejalan dengan penelitian Pasereng (2014) pada campuran LASTON AC-WC menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal maka nilai *flow* juga naik dan mengakibatkan campuran semakin plastis.

Berdasarkan nilai *flow* yang didapatkan, untuk kadar aspal 5% yaitu sebesar 1,87 mm tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu antara 2 mm - 4 mm.

3. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient merupakan rasio perbandingan antara nilai stabilitas dengan *flow* pada suatu campuran. Nilai *Marshall Quotient* ini diperlukan untuk mengetahui kekakuan dari suatu campuran. Jika nilai *MQ* besar maka campuran akan menjadi kaku, begitu pula sebaliknya jika semakin kecil nilai *MQ* maka campuran tersebut semakin lentur. Hasil perhitungan *MQ* dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.4 berikut ini.



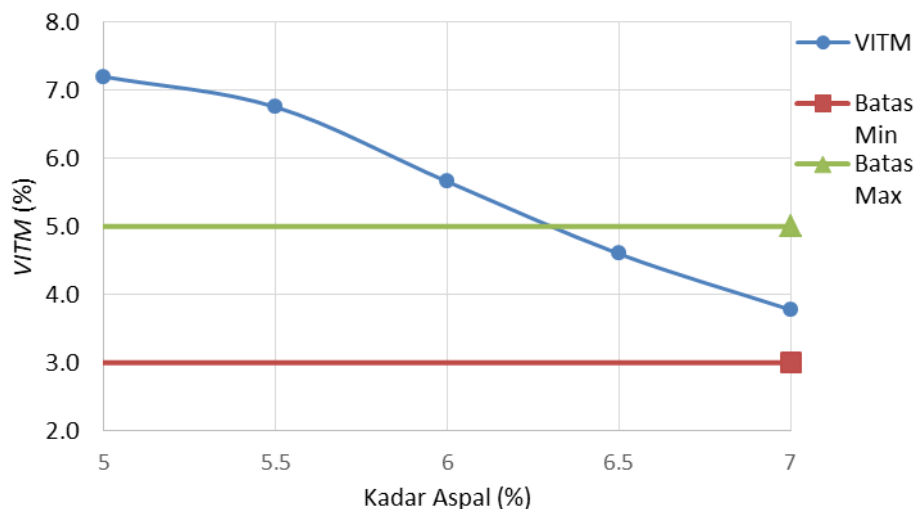
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ

Pada Gambar 5.4 menunjukkan bahwa nilai MQ tertinggi berada pada kadar aspal 5,5%. Hal ini terjadi karena nilai stabilitas yang tinggi namun tidak diiringi nilai *flow* yang tinggi pula, sehingga dapat dikatakan pada campuran kadar aspal 5,5% cenderung kaku, sedangkan pada kadar aspal 7% nilai stabilitas yang semakin menurun diiringi dengan nilai *flow* yang semakin naik membuat nilai MQ semakin rendah sehingga campuran tidak stabil.

Nilai MQ dari keseluruhan kadar aspal pada campuran LASTON AC-WC yang digunakan telah memenuhi persyaratan minimum spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu 250 kg/mm.

4. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Void in The Total Mix (VITM)*

Void in The Total Mix (VITM) adalah rongga udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan. Nilai *VITM* pada campuran beraspal, tidak boleh terlalu besar atau terlalu kecil. Jika nilai *VITM* pada campuran besar akan mengakibatkan keawetan campuran akan berkurang karena perkerasan rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara kedalam lapis perkerasan, sedangkan untuk nilai *VITM* yang terlalu kecil mengakibatkan campuran tersebut tidak stabil. Nilai *VITM* disajikan dalam grafik pada Gambar 5.5 berikut.



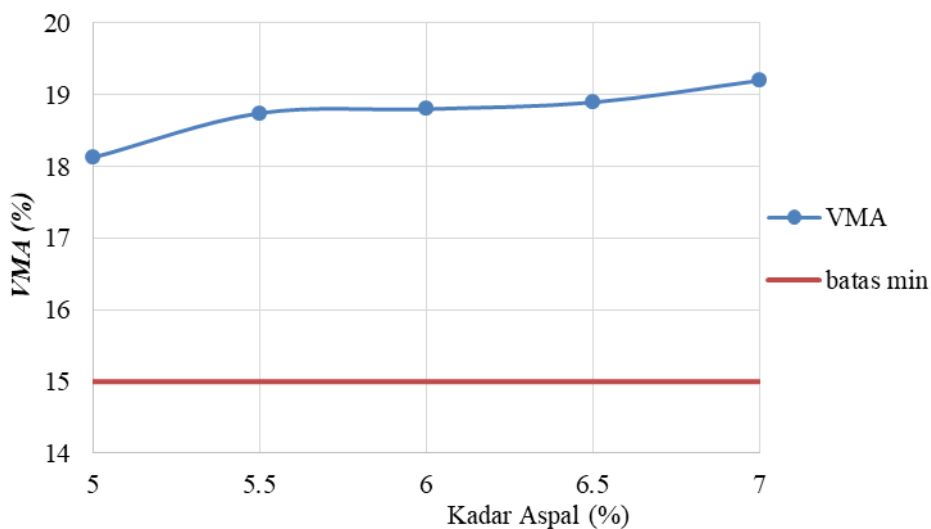
Gambar 5.5 Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VITM

Pada Gambar 5.5 didapatkan nilai *VITM* cenderung menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan oleh semakin bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran menurun setelah dipadatkan.

Pada kadar aspal sekitar 6% sampai 7% didapatkan nilai *VITM* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 dengan batas minimum 3% dan batas maksimum 5%. Pada campuran yang tidak memenuhi spesifikasi disebabkan karena kadar aspal yang masih sedikit membuat campuran kurang padat.

5. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah volume rongga udara antar butiran agregat dalam campuran aspal yang telah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal dinyatakan dalam satuan persen. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi, dan jumlah tumbukan. Berikut ini adalah grafik hasil nilai *VMA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.6.



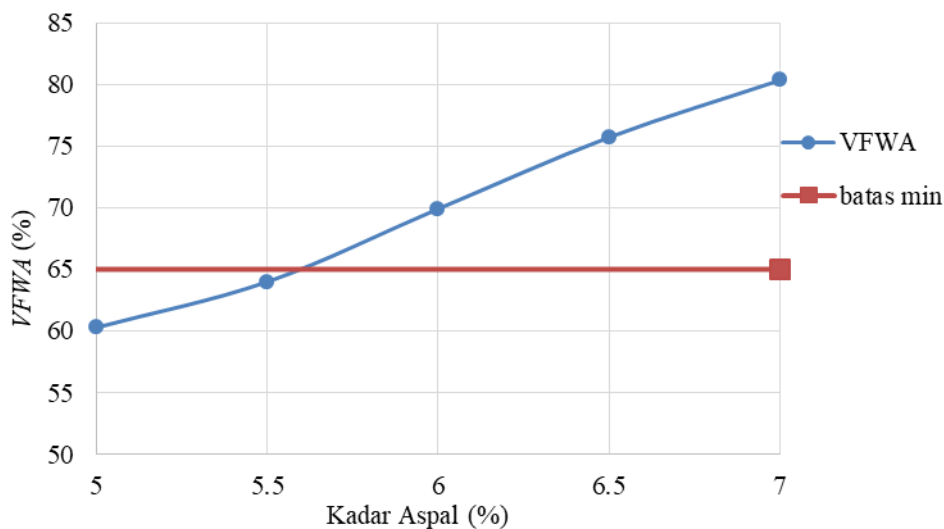
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VMA

Pada Gambar 5.6 didapatkan nilai *VMA* cenderung meningkat setiap penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan rongga antar agregat semakin terisi aspal sehingga pori semakin kecil.

Nilai *VMA* pada setiap kadar aspal campuran LASTON AC-WC memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 dengan batas minimum 15%.

6. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Void Filled With Asphalt adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau biasa disebut dengan selimut aspal. Peningkatan pada nilai *VFWA* menyebabkan campuran menjadi lentur karena rongga campuran cukup terisi oleh aspal. *VFWA* menentukan keawetan dalam suatu campuran, karena semakin tinggi nilai *VFWA* maka selimut aspal semakin tebal dan semakin kedap terhadap air ataupun udara. Nilai *VFWA* dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VFVA

Pada Gambar 5.7 didapatkan nilai VFVA cenderung naik seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan semakin terisinya rongga oleh aspal. Semakin banyak kadar aspal maka campuran tersebut semakin awet, begitu pula sebaliknya semakin sedikit kadar aspal maka agregat yang terselimuti aspal semakin tipis yang menyebabkan campuran tidak tahan terhadap deformasi.

Pada kadar aspal sekitar 5,5% sampai 7% didapatkan nilai VFVA yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 dengan batas minimum 65%. Pada campuran yang tidak memenuhi spesifikasi disebabkan karena kadar aspal yang masih sedikit membuat campuran yang terselimuti aspal masih sedikit pula.

5.2.4 Tinjauan Karakteristik *Marshall Test* pada Kadar Aspal Optimum dengan Variasi Lama Perendaman

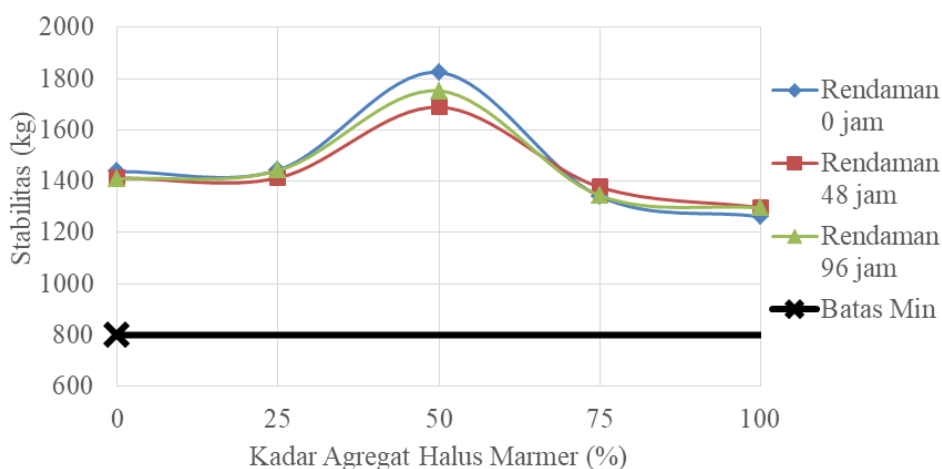
Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* untuk mencari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh nilai KAO sebesar 6,65%, lalu benda uji dibuat sebanyak 90 sampel dengan masing-masing variasi agregat halus marmer yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Benda uji tersebut kemudian direndam dengan lama perendaman 0 jam, 48 jam, dan 96 jam. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil seperti berikut.

1. Nilai Stabilitas

Grafik hasil nilai stabilitas pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai Stabilitas

Hasil pengujian campuran LASTON AC-WC yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



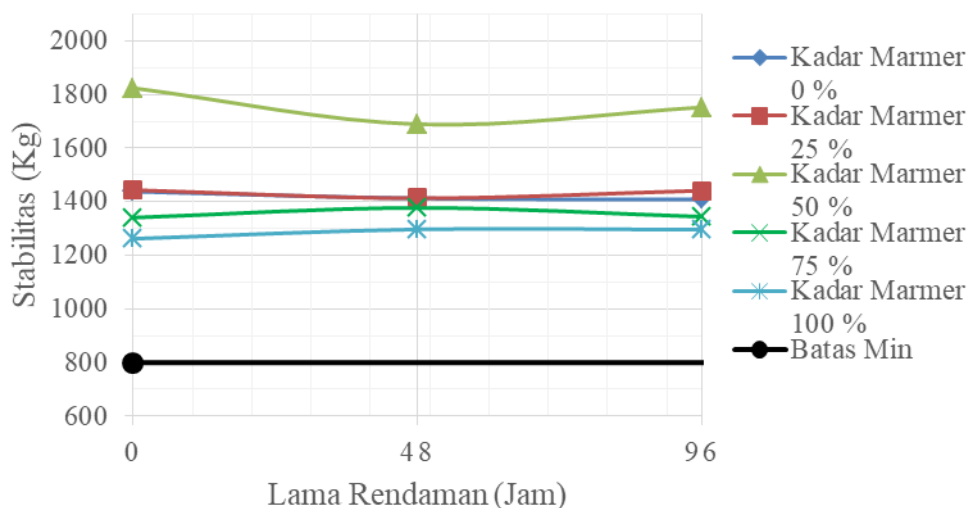
Gambar 5.8 Hubungan Grafik Stabilitas Terhadap Agregat Halus Marmer

Pada Gambar 5.8 hubungan stabilitas terhadap variasi marmer menunjukkan adanya peningkatan pada kadar marmer 0% hingga 50%. Sedangkan untuk kadar marmer 75% dan kadar marmer 100% menunjukkan nilai stabilitas yang menurun. Semakin bertambahnya kadar marmer dengan penyerapan yang lebih kecil dari agregat halus batu pecah mengakibatkan daya ikat antar agregat semakin lemah, hal ini karena aspal optimum dengan penambahan kadar marmer membuat proporsi aspal meningkat sehingga nilai stabilitas menurun.

Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,001 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,001 < 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer berpengaruh terhadap nilai stabilitas.

b. Pengaruh Durasi Perendaman Terhadap Nilai Stabilitas

Hasil pengujian campuran LASTON AC-WC oleh pengaruh rendaman yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Hubungan Grafik Stabilitas Terhadap Lama Rendaman

Pada Gambar 5.9 didapatkan nilai stabilitas dengan kadar marmer yang sama dan dengan durasi perendaman yang semakin lama cenderung menurunkan nilai stabilitas. Hal ini dikarenakan air yang masuk ke dalam campuran mengurangi kelekatan antar agregat. Pada kadar 50% memiliki kinerja yang baik untuk setiap perendaman karena campuran masih stabil pada penyerapan setiap variasi agregat halus.

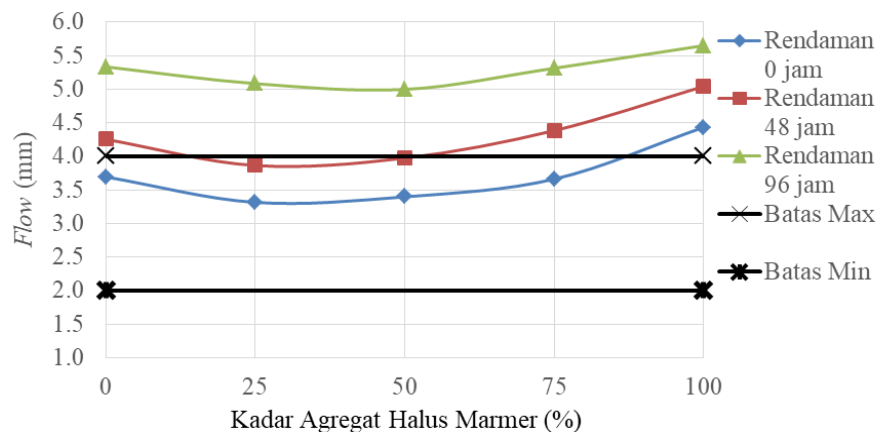
Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,092 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi untuk nilai stabilitas terhadap lama rendaman didapatkan $0,092 > 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut tidak signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa durasi perendaman tidak berpengaruh terhadap nilai stabilitas.

2. Nilai *Flow*

Grafik hasil nilai *flow* pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai *Flow*

Hasil pengujian pada campuran LASTON AC-WC yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



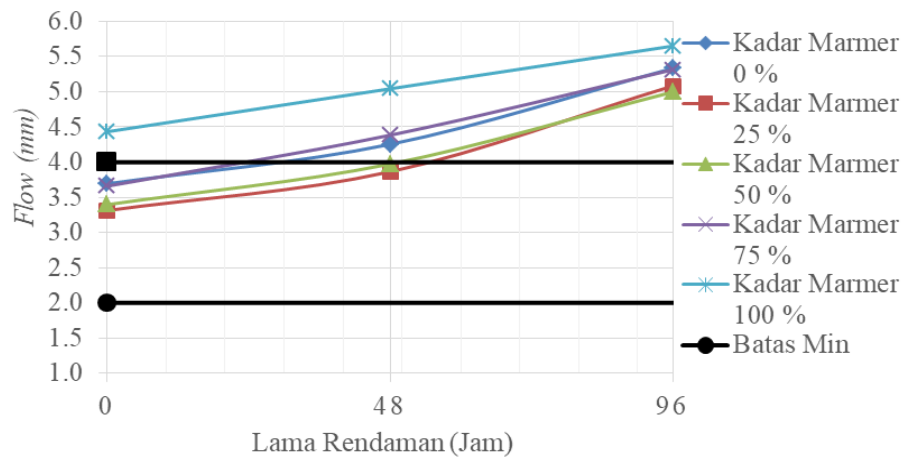
Gambar 5.10 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap Flow

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai *flow* seperti pada Gambar 5.10. Hasil diatas menunjukkan cenderung meningkat nilai *flow* setiap penambahan kadar marmer. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya kadar marmer yang cenderung berlebih membuat campuran semakin plastis, sehingga stabilitas semakin menurun setiap penambahan kadar marmer yang menyebabkan campuran tidak tahan terhadap deformasi ketika menerima beban.

Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,309 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi untuk nilai agregat halus marmer terhadap nilai *flow* didapatkan $0,309 > 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut tidak signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer tidak berpengaruh terhadap nilai *flow*.

b. Pengaruh Durasi Perendaman Terhadap Nilai *Flow*

Hasil pengujian campuran LASTON AC-WC oleh pengaruh rendaman yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada 5.11



Gambar 5.11 Hubungan Grafik *Flow* Terhadap Lama Rendaman

Pada Gambar 5.11 didapatkan nilai *flow* yang cenderung meningkat setiap penambahan kadar marmer dengan durasi rendaman yang sama. Hal ini disebabkan agregat tidak melekat dengan baik karena pengaruh durasi perendaman membuat kelekatan menjadi rapuh dalam campuran tersebut sehingga campuran tidak memiliki aspal yang baik untuk merekatkan antar agregat.

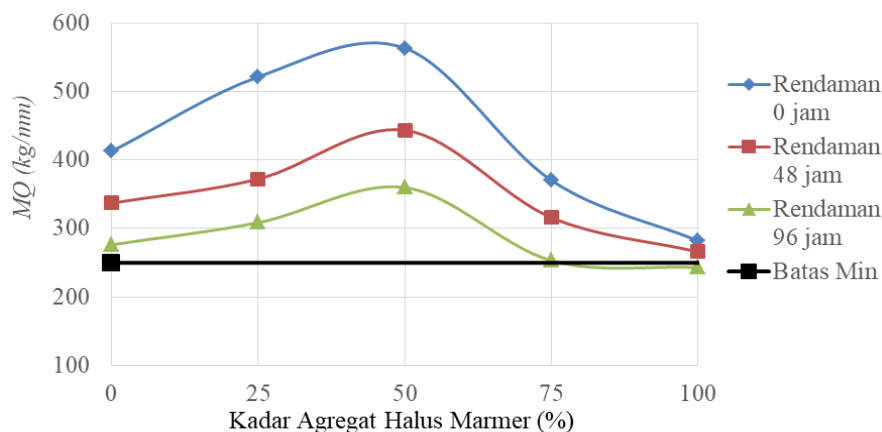
Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,001 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,001 < 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer berpengaruh terhadap nilai *flow*.

3. Nilai *Marshall Quotient (MQ)*

Grafik hasil nilai *MQ* pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai *MQ*

Hasil pengujian pada campuran LASTON AC-WC yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



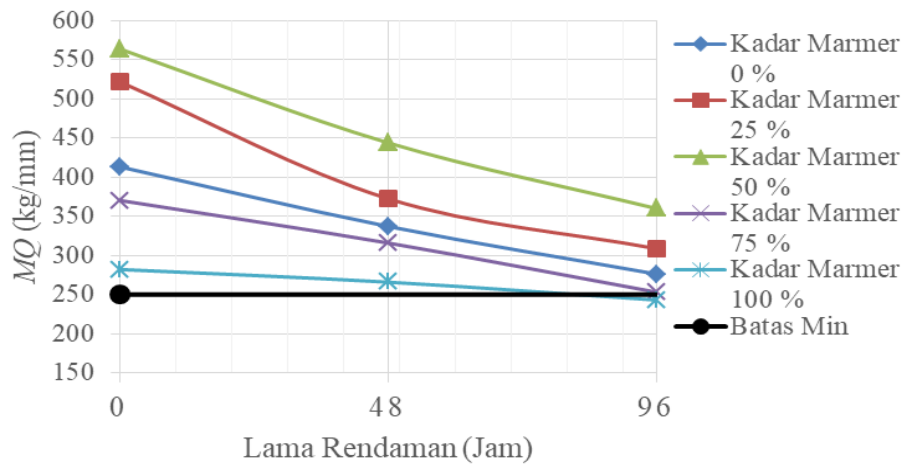
Gambar 5.12 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap MQ

Pada Gambar 5.12 didapatkan nilai MQ cenderung meningkat sampai kadar marmer 50% dan turun kembali pada kadar marmer 75%. Hasil MQ cenderung sama dengan nilai stabilitas. Penurunan MQ pada campuran menunjukkan bahwa semakin bertambahnya marmer pada agregat halus menyebabkan campuran tersebut kurang stabil. Nilai MQ merupakan hasil dari stabilitas dengan *flow* yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan suatu campuran.

Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,02 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,02 < 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer berpengaruh terhadap nilai MQ .

b. Pengaruh Durasi Perendaman Terhadap Nilai MQ

Hasil pengujian campuran LASTON AC-WC oleh pengaruh rendaman yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada 5.13



Gambar 5.13 Hubungan Grafik Lama Rendaman Terhadap MQ

Pada Gambar 5.13 didapatkan nilai MQ semakin menurun pada setiap penambahan kadar marmer dengan durasi rendaman yang sama. Nilai MQ tertinggi berada pada kadar marmer 50%. Hal ini karena campuran pada kadar marmer 50% masih stabil dengan nilai stabilitas yang masih tinggi diiringi nilai $flow$ yang rendah. Penurunan nilai MQ pada setiap durasi perendaman karena meningkatkan nilai $flow$ yang membuat campuran tidak stabil akibat pengaruh air dalam jangka waktu yang lama.

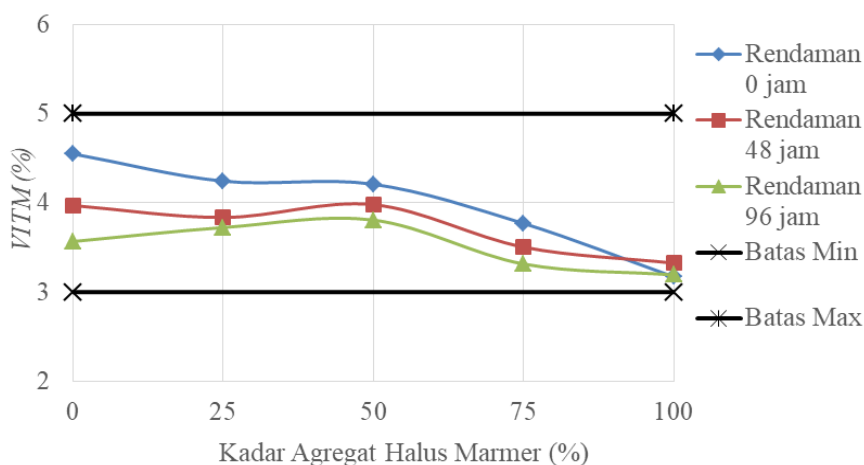
Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,012 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,012 < 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer berpengaruh terhadap nilai MQ .

4. Nilai *Void in The Total Mix (VITM)*

Grafik hasil nilai $VITM$ pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai $VITM$

Hasil pengujian pada campuran LASTON AC-WC yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap *VITM*

Pada Gambar 5.14 didapatkan nilai *VITM* cenderung menurun dari kadar marmer 0% hingga kadar marmer 100%. Penurunan nilai *VITM* dikarenakan limbah marmer memiliki tekstur permukaan yang relatif halus dan penyerapan yang lebih kecil dibandingkan dengan agregat halus batu pecah, sehingga marmer mempunyai kemampuan mengisi rongga yang lebih baik daripada agregat halus pasir yang membuat campuran semakin padat. Nilai *VITM* pada setiap kadar marmer dengan durasi rendaman memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Rev. 3 yaitu 3% sampai 5%. Hasil ini memiliki perbedaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zulkifli dkk (2012) pada campuran Lapis Antara (*AC-BC*) yang nilai *VITM* nya meningkat seiring bertambahnya marmer pada campuran yang menyebabkan rongga yang lebih besar.

Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,01 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,01 < 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer berpengaruh terhadap nilai *VITM*.

5. Nilai *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Grafik hasil nilai *VMA* pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai VMA

Hasil pengujian pada campuran LASTON AC-WC yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap VMA

Pada Gambar 5.15 menunjukkan bahwa penambahan kadar marmer mengakibatkan nilai VMA mengalami penurunan pada kadar marmer 0% sampai 100%, dapat dilihat pada nilai VITM yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh penambahan limbah marmer membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume rongga udara yang terdapat dalam campuran semakin banyak sehingga pori antar agregat semakin kecil.

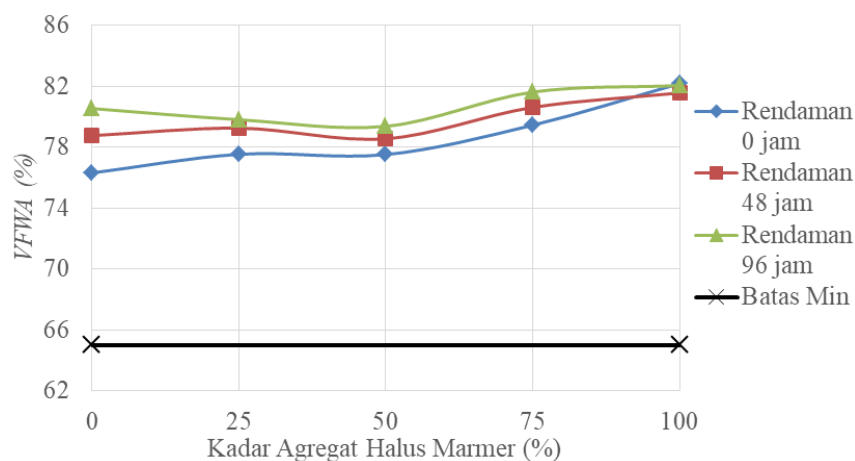
Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,001 pada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,001 < 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer berpengaruh terhadap nilai VMA.

6. Nilai *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Grafik hasil nilai VFWA pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai *VFWA*

Hasil pengujian pada campuran LASTON AC-WC yang menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap *VFWA*

Pada Gambar 5.16 didapatkan nilai *VFWA* cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar marmer 0% hingga 100%. Hal ini disebabkan limbah marmer memiliki nilai penyerapan yang rendah dibandingkan agregat halus pasir yang akan mempengaruhi besarnya rongga pada campuran yang terisi aspal. Semakin banyak kadar marmer pada campuran semakin besar pula rongga yang dapat terisi oleh aspal.

Nilai signifikansi analisis *Anova* dua arah sebesar 0,014 ada tingkat signifikansi sebesar 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,014 < 0,05$ atau dapat dikatakan bahwa data tersebut signifikan sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi marmer berpengaruh terhadap nilai *VFWA*.

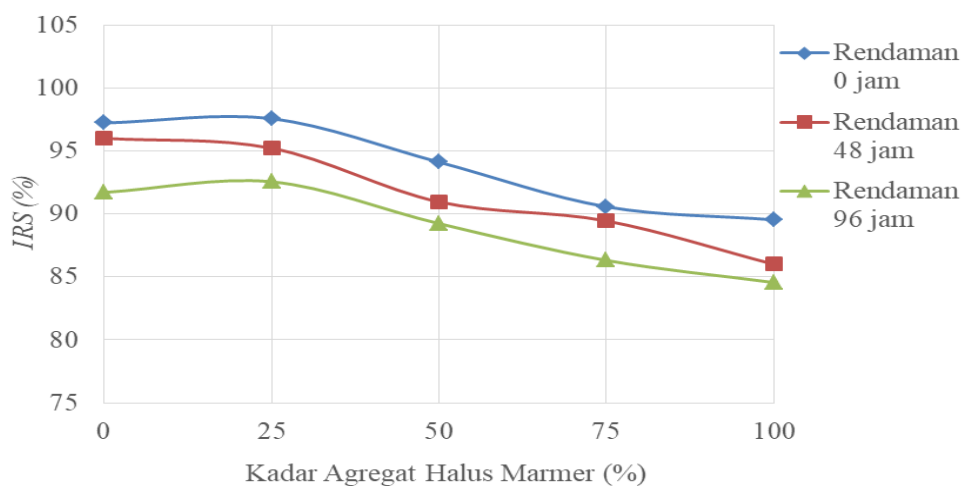
5.2.5 Tinjauan Karakteristik *Immersion Test*

Durabilitas atau keawetan merupakan kemampuan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air, dan perubahan temperatur. Metode yang digunakan pada pengujian durabilitas campuran setelah terendam air

adalah dengan membandingkan nilai stabilitas antara *marshall* standar yaitu dengan rendaman air 30 menit dan stabilitas *marshall* yang direndam dalam air pada suhu 60°C selama 24 jam. Berikut ini adalah hasil dari pengujian *Immersion* untuk campuran LASTON AC-WC berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70.

1. Analisis Pengaruh Kadar Agregat Halus Marmer terhadap Nilai Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan dalam menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk (deformasi). Nilai stabilitas yang disyaratkan pada Bina Marga 2010 Revisi 3 dengan batas minimum 800 kg. Jika pada suatu perkerasan memiliki nilai stabilitas kurang dari 800 kg, akan menyebabkan terjadinya alur pada permukaan jalan karena perkerasan bersifat plastis dan tidak mampu menahan beban yang besar.



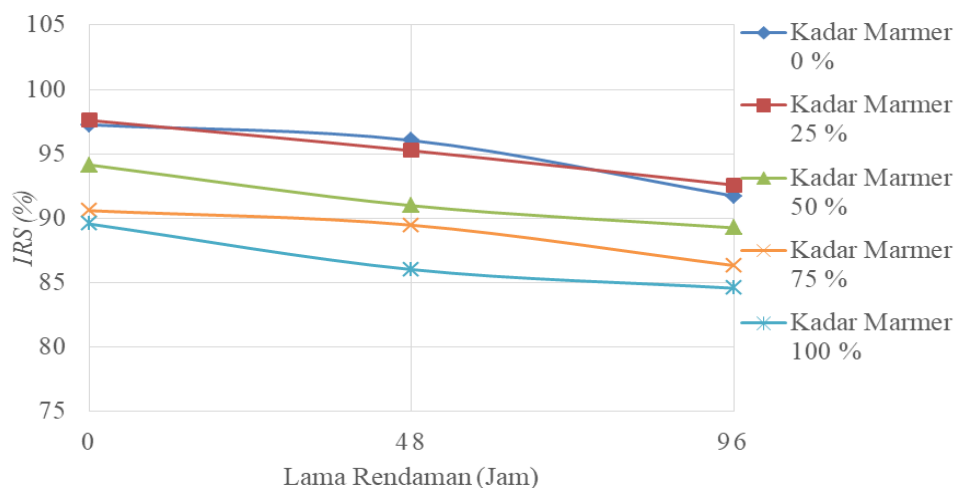
Gambar 5.17 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap IRS

Pada Gambar 5.17 didapatkan penurunan nilai stabilitas *Marshall* 24 jam dari *Marshall* 0,5 jam untuk setiap variasi marmer dengan durasi rendaman yang sama. Didapatkan nilai *IRS* yang semakin menurun setiap bertambahnya kadar marmer seiring penambahan durasi perendaman. Nilai *IRS* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimum 90% adalah kadar marmer 0% sampai 100% pada rendaman 0 jam, kadar marmer 0% sampai 50% pada rendaman 48 jam, kadar marmer 0% sampai 25% pada rendaman 96 jam, namun hasil tersebut masih memenuhi spesifikasi *Asphalt*

Institute, MS-2 (1983) yaitu 75%. Hal ini disebabkan oleh perubahan temperatur yang lebih tinggi membuat campuran menjadi lembek sehingga stabilitas turun. Penurunan stabilitas juga terjadi karena air yang masuk pada campuran mengurangi daya lekat antar agregat. Stabilitas tertinggi ada pada kadar marmer 50% sehingga campuran memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan campuran yang lainnya.

2. Analisis Pengaruh Lama Rendaman terhadap Nilai *Index of Retained Strength* (*IRS*)

Index of Retained Strength diperoleh dari proses perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman selama 30 menit dengan suhu 60°C. Tujuan dari pengujian ini untuk mengevaluasi keawetan pada suatu campuran. Grafik nilai *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.18 di bawah ini.



Gambar 5.18 Grafik Hubungan Lama Rendaman dengan Nilai *IRS*

Pada Gambar 5.18 menunjukkan bahwa nilai *IRS* mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi perendaman. Hal ini dipengaruhi oleh tekstur permukaan marmer yang lebih halus serta mudah dipadatkan, sehingga ketika terkena pengaruh suhu pada air dengan durasi yang lama menyebabkan campuran lebih cepat rapuh dibandingkan dengan campuran agregat halus batu pecah.

Nilai *IRS* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimum 90% adalah kadar marmer 0% sampai 100% pada rendaman 0 jam,

kadar marmer 0% sampai 50% pada rendaman 48 jam, kadar marmer 0% sampai 25% pada rendaman 96 jam, namun hasil tersebut masih memenuhi spesifikasi *Asphalt Institute*, MS-2 (1983) yaitu 75%.