

## BAB V HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Hasil Pengujian Spesifikasi Bahan dan Campuran

#### 5.1.1. Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengikat

Bahan Pengikat berupa aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal jenis Starbit E-55 dari PT. Bintang Djaja, Cilacap. Pengujian aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Data hasil pengujian telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Starbit E-55**

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,071	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	Min. 40	43,6	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	$\geq 100$	164	Memenuhi
4	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	312	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99,19	Memenuhi
6	Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 54$	54	Memenuhi

#### 5.1.2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan *Filler*

Pengujian agregat terdiri dari pengujian agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian *filler* berupa serbuk batu gamping/kapur. Data yang diperoleh pada pengujian karakteristik agregat dan *filler* telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti yang tercantum dalam Tabel 5.2 sampai Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis a. Berat Jenis <i>Bulk</i> b. Berat Jenis <i>SSD</i> c. Berat Jenis <i>Apparent</i>	$\geq 2,5$	a. 2,605 b. 2,648 c. 2,724	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	% < 3	1,687	Memenuhi
3	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	% > 95	98	Memenuhi
4	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	% < 40	13,07	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis a. Berat Jenis <i>Bulk</i> b. Berat Jenis <i>SSD</i> c. Berat Jenis <i>Apparent</i>	$\geq 2,5$	a. 2,52 b. 2,58 c. 2,68	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	% < 3	2,35	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	% > 50	91,987	Memenuhi

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian *Filler* Abu Batu**

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis	2,553

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Filler* Serbuk Batu Gamping**

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis	2,318

### 5.1.3. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *Superpave* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, menghasilkan nilai-nilai karakteristik *Marshall* yang meliputi stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VMA* (*Void in Mineral Agregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VITM* (*Void in Total Mix*), *MQ* (*Marshall Quotient*), dan kepadatan (*density*) dari campuran *Superpave* dengan menggunakan bahan ikat aspal Starbit E-55. Hasil pengujian dengan variasi kadar *filler* gamping 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai dengan Tabel 5.10 berikut ini atau secara detail dapat dilihat pada Lampiran 14 sampai Lampiran 22.

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Gamping 0%**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (%)
5	1610,32	2,73	586,52	6,61	61,61	17,22	2,27
5,5	1624,44	2,78	583,73	6,15	65,47	17,80	2,26
6	1704,50	2,82	605,58	4,85	72,54	17,65	2,28
6,5	1696,13	3,00	565,87	4,55	75,21	18,37	2,27
7	1884,22	3,45	548,61	3,35	81,71	18,32	2,28
<b>Spesifikasi</b>	<b>1000</b>	<b>&gt;2-4</b>	<b>&gt;250</b>	<b>3-5</b>	<b>&gt;65</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;2</b>

**Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Kadar Filler Gamping 25%**

<b>Kadar Aspal</b>	<b>Stabilitas</b>	<b>Flow</b>	<b>MQ</b>	<b>VITM</b>	<b>VFWA</b>	<b>VMA</b>	<b>Density</b>
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	(%)
5	1612,94	2,75	586,27	7,15	59,56	17,68	2,25
5,5	1664,64	2,82	594,71	6,15	65,43	17,78	2,26
6	1750,80	3,20	563,04	5,11	71,39	17,85	2,27
6,5	1702,30	3,60	472,71	4,49	75,46	18,30	2,27
7	1647,97	3,68	449,43	3,47	81,15	18,40	2,28
<b>Spesifikasi</b>	<b>1000</b>	<b>&gt;2-4</b>	<b>&gt;250</b>	<b>3-5</b>	<b>&gt;65</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;2</b>

**Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Kadar Filler Gamping 50%**

<b>Kadar Aspal</b>	<b>Stabilitas</b>	<b>Flow</b>	<b>MQ</b>	<b>VITM</b>	<b>VFWA</b>	<b>VMA</b>	<b>Density</b>
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	(%)
5	1537,41	2,94	529,40	7,05	59,89	17,58	2,25
5,5	1628,65	3,10	529,45	6,13	65,48	17,74	2,26
6	1828,46	3,34	547,70	5,31	70,52	18,01	2,26
6,5	1678,34	3,43	489,50	4,36	75,99	18,17	2,27
7	1650,17	3,47	476,17	4,06	78,49	18,88	2,26
<b>Spesifikasi</b>	<b>1000</b>	<b>&gt;2-4</b>	<b>&gt;250</b>	<b>3-5</b>	<b>&gt;65</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;2</b>

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Kadar Filler Gamping 75%**

<b>Kadar Aspal</b>	<b>Stabilitas</b>	<b>Flow</b>	<b>MQ</b>	<b>VITM</b>	<b>VFWA</b>	<b>VMA</b>	<b>Density</b>
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	(%)
5	1221,08	3,05	401,23	7,08	59,81	17,59	2,25
5,5	1231,24	3,12	395,37	6,07	65,68	17,68	2,26
6	1244,43	3,45	361,05	5,31	70,54	17,99	2,26
6,5	1209,17	3,52	344,03	4,08	77,24	17,91	2,27
7	1169,27	3,65	320,13	3,94	79,07	18,75	2,26
<b>Spesifikasi</b>	<b>1000</b>	<b>&gt;2-4</b>	<b>&gt;250</b>	<b>3-5</b>	<b>&gt;65</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;2</b>

**Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Kadar Filler Gamping 100%**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (%)
5	1161,25	3,12	372,38	7,02	59,96	17,52	2,24
5,5	1175,54	3,18	371,48	5,82	66,63	17,44	2,26
6	1417,81	3,50	407,60	5,34	70,34	18,00	2,25
6,5	1412,89	3,57	395,96	4,26	76,42	18,04	2,27
7	1341,67	3,72	361,43	3,67	80,19	18,51	2,27
<b>Spesifikasi</b>	<b>1000</b>	<b>&gt;2-4</b>	<b>&gt;250</b>	<b>3-5</b>	<b>&gt;65</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;2</b>

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Mencari Kadar Aspal Optimum**

Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Strabit E-55				
		Variasi Kadar Filler Gamping (%)				
		0	25	50	75	100
Stabilitas (kg)	5	1610,32	1612,94	1537,41	1221,08	1161,25
	5,5	1624,44	1664,64	1628,65	1231,24	1175,54
	6	1704,50	1750,80	1828,46	1244,43	1417,81
	6,5	1696,13	1702,30	1678,34	1209,17	1412,89
	7	1884,22	1647,97	1650,17	1169,27	1341,67
Flow (mm)	5	2,73	2,75	2,94	3,05	3,12
	5,5	2,78	2,82	3,10	3,12	3,18
	6	2,82	3,20	3,34	3,45	3,50
	6,5	3,00	3,60	3,43	3,52	3,57
	7	3,45	3,68	3,47	3,65	3,72
MQ (kg/mm)	5	586,52	586,27	529,40	401,23	372,38
	5,5	583,73	594,71	529,45	395,37	371,48
	6	605,58	563,04	547,70	361,05	407,60
	6,5	565,87	472,71	489,50	344,03	395,96

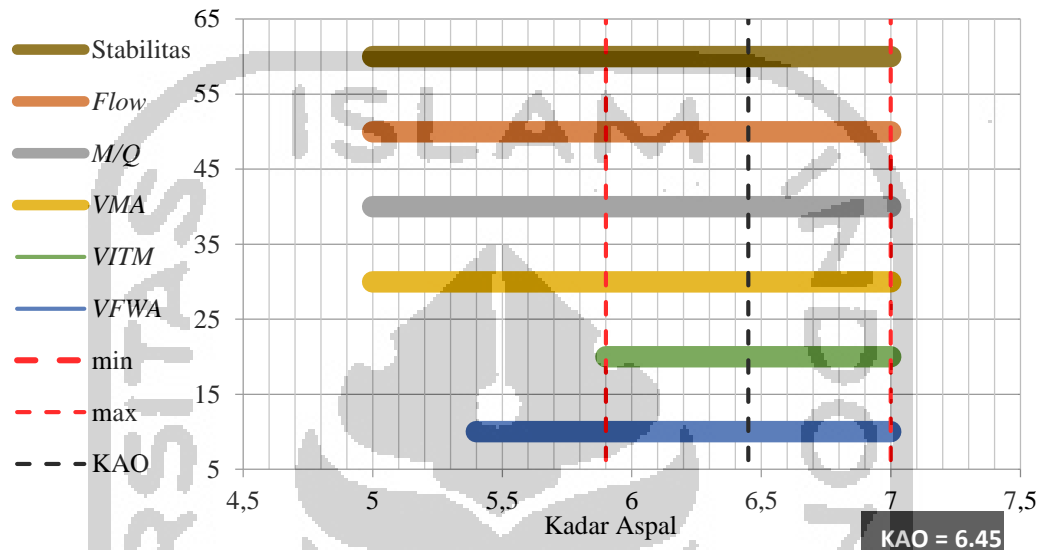
	7	548,61	449,43	476,17	320,13	361,43
--	---	--------	--------	--------	--------	--------

**Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Mencar Kadar Aspal Optimum**

<i>VITM</i> (%)	5	7,51	7,39	7,41	7,08	7,02
	5,5	6,15	6,15	6,13	6,07	5,82
	6	4,85	5,11	5,31	5,31	5,34
	6,5	4,55	4,49	4,36	4,08	4,26
	7	3,54	3,47	4,06	3,44	3,67
<i>VFWA</i> (%)	5	58,33	58,71	58,60	59,81	59,96
	5,5	65,47	65,43	65,48	65,68	66,63
	6	72,54	71,39	70,52	70,54	70,34
	6,5	75,21	75,46	75,99	77,24	76,42
	7	80,83	81,15	78,49	81,26	80,19
<i>VMA</i> (%)	5	18,01	17,89	17,90	17,59	17,52
	5,5	17,80	17,78	17,74	17,68	17,44
	6	17,65	17,85	18,01	17,99	18,00
	6,5	18,37	18,30	18,17	17,91	18,04
	7	18,48	18,40	18,88	18,75	18,51
<i>Density</i> (gr/cc)	5	2,27	2,25	2,25	2,25	2,24
	5,5	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
	6	2,28	2,27	2,26	2,26	2,25
	6,5	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27
	7	2,28	2,28	2,26	2,26	2,27

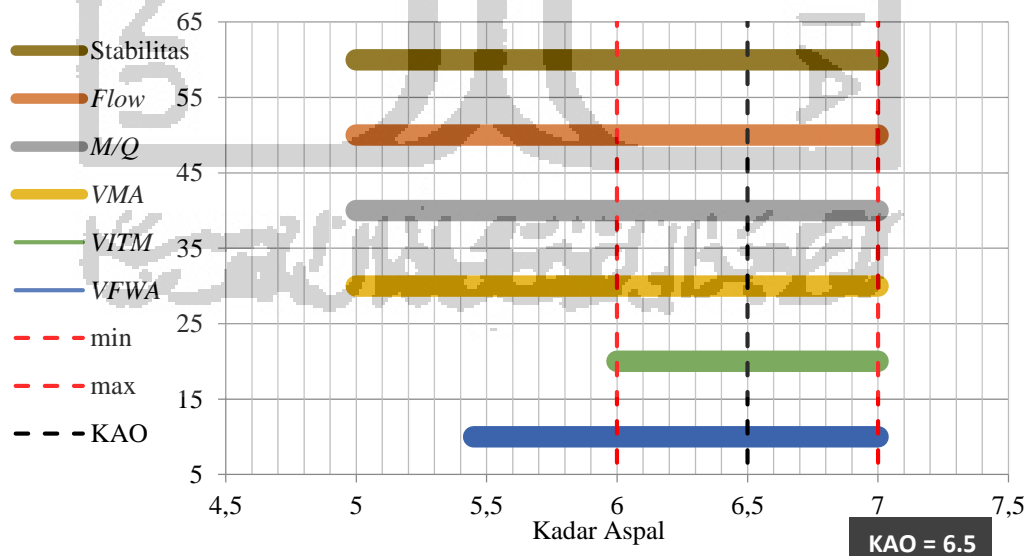
Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium Jalan Raya, FTSP, UII didapatkan nilai KAO yang kemudian direntangkan sesuai spesifikasi Bina Marga 2010. Dengan

dilakukan perhitungan secara grafis, nilai KAO dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai 5.6 berikut.



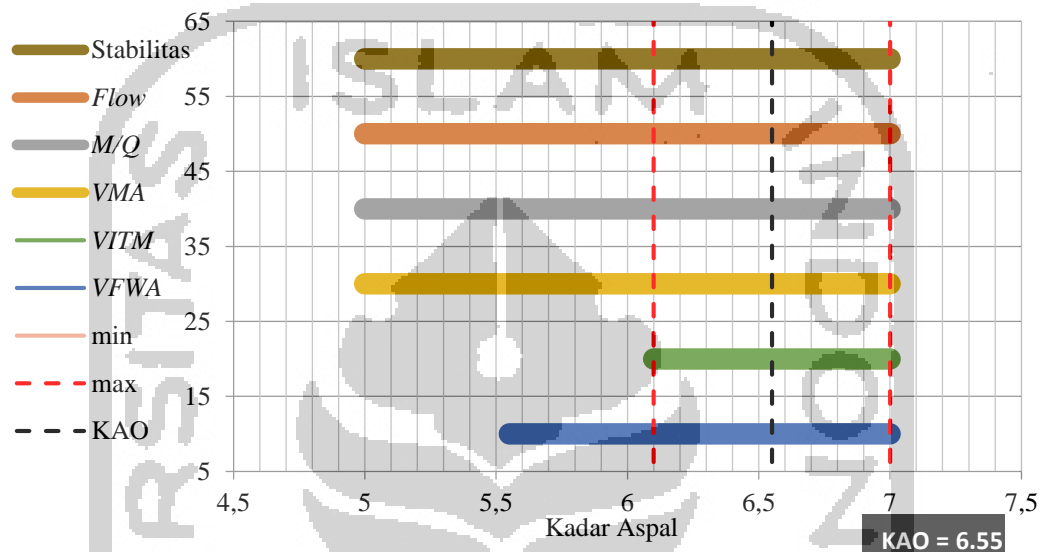
**Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan *Filler* Gamping 0%**

Pada Gambar 5.1 diatas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 *filler* 0% batu gamping didapat nilai KAO sebesar 6,45 %.



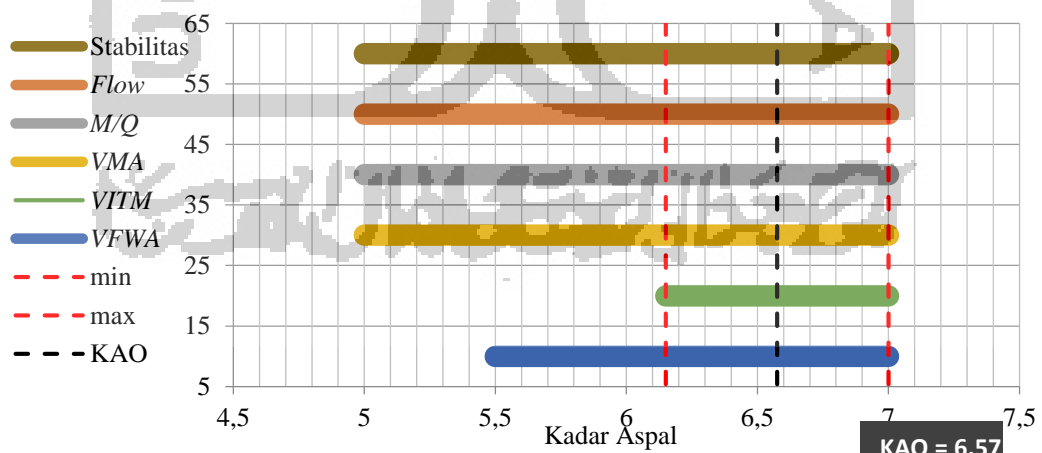
**Gambar 5.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan *Filler* Gamping 25%**

Pada Gambar 5.2 diatas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 *filler* 25% batu gamping didapat nilai KAO sebesar 6,5 %.



**Gambar 5.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan *Filler* Gamping 50%**

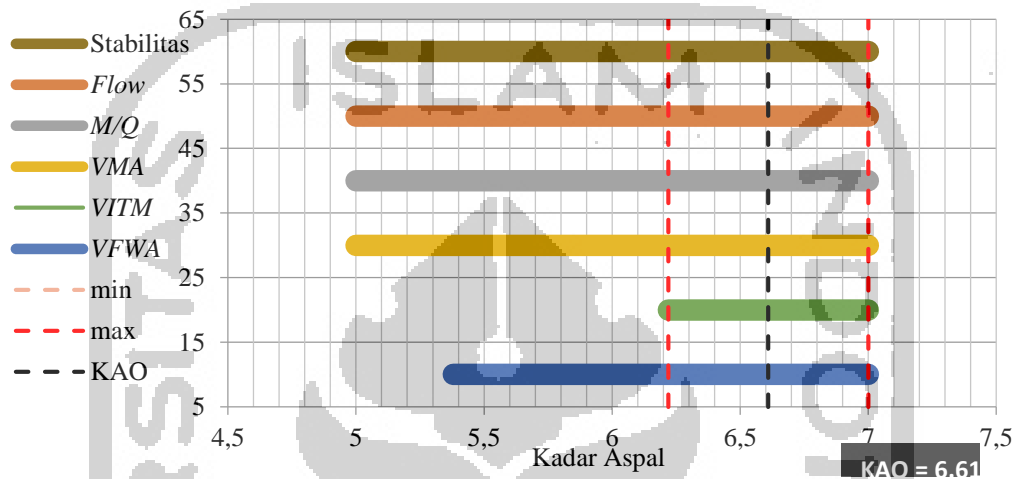
Pada Gambar 5.3 diatas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 *filler* 50% batu gamping didapat nilai KAO sebesar 6,55 %.



**Gambar 5.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan *Filler* Gamping 75%**



Pada Gambar 5.4 diatas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 *filler* 75% batu gamping didapat nilai KAO sebesar 6,575 %.



**Gambar 5.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan *Filler* Gamping 100%**

Pada Gambar 5.5 diatas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 *filler* 100% batu gamping didapat nilai KAO sebesar 6,61 %

Rekapitulasi hasil KAO yang telah dilakukan pada campuran *Superpave* dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Mencari Kadar Aspal Optimum**

Campuran	Kadar Aspal Minimum (%)	Kadar Aspal Maksimum (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
KAO 0% <i>Filler</i> Gamping	5,90	7,00	6,45
KAO 25% <i>Filler</i> Gamping	6,00	7,00	6,50
KAO 50% <i>Filler</i> Gamping	6,10	7,00	6,55
KAO 75% <i>Filler</i> Gamping	6,15	7,00	6,575
KAO 100% <i>Filler</i> Gamping	6,22	7,00	6,61

Berdasarkan Tabel 5.12 diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar presentase *filler* gamping dalam campuran *Superpave* maka semakin besar pula kadar aspalnya. Hal ini disebabkan karena perbedaan sifat fisik *filler* serbuk batu gamping dengan debu batu, yaitu perbedaan berat jenis dan penyerapan. Campuran dengan proporsi serbuk batu gamping lebih tinggi membutuhkan jumlah aspal lebih banyak karena campuran dengan serbuk batu gamping memiliki nilai penyerapan yang lebih tinggi.

#### 5.1.4. Kebutuhan Material Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Adapun kebutuhan agregat pada Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada Tabel 5.13 sampai Tabel 5.17

**Tabel 5.13 Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 0% Gamping dengan Kadar Aspal Optimum 6,45 %**

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
¾"	19	100	100	100	0	0	0
½"	12,5	90	100	95	5	56,13	56,13
3/8"	9,5	75	90	85	15	112,26	168,39
No.8	2,36	25	55	39,1	60,9	515,27	683,66
No.16	1,18	14,57	33,21	25	75	158,29	841,95
No.30	0,6	7,97	25	19	81	67,36	909,31
No.50	0,3	4,56	17	14	86	56,13	965,44
No.200	0,075	2	10	7	93	78,58	1044,02
Pan					100	78,58	1122,60
						1122,60	Jumlah

**Tabel 5.14 Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 25% Gamping dengan Kadar Aspal Optimum 6,50 %**

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
¾"	19	100	100	100	0	0	0
½"	12,5	90	100	95	5	56,10	56,10
3/8"	9,5	75	90	85	15	112,20	168,30
No.8	2,36	25	55	39,1	60,9	515,00	683,30
No.16	1,18	14,57	33,21	25	75	158,20	841,50
No.30	0,6	7,97	25	19	81	67,32	908,82
No.50	0,3	4,56	17	14	86	56,10	964,92
No.200	0,075	2	10	7	93	78,54	1043,46
Pan					100	78,54	1122,00
						1122,00	Jumlah

**Tabel 5.15 Jumlah Agregat pada Kadar Filler 50% Gamping dengan Kadar Aspal Optimum 6,55 %**

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inch	Mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
¾"	19	100	100	100	0	0	0
½"	12,5	90	100	95	5	56,07	56,07
3/8"	9,5	75	90	85	15	112,14	168,21
No.8	2,36	25	55	39,1	60,9	514,72	682,93
No.16	1,18	14.57	33.21	25	75	158,12	841,05
No.30	0,6	7.97	25	19	81	67,28	908,33
No.50	0,3	4.56	17	14	86	56,07	964,40
No.200	0,075	2	10	7	93	78,50	1042,90
Pan					100	78,50	1121,40
						1121,40	Jumlah

**Tabel 5.16 Jumlah Agregat pada Kadar Filler 75% Gamping dengan Kadar Aspal Optimum 6,575 %**

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inch	Mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
¾"	19	100	100	100	0	0	0
½"	12,5	90	100	95	5	56,06	56,06
3/8"	9,5	75	90	85	15	112,11	168,17
No.8	2,36	25	55	39,1	60,9	514,58	682,75
No.16	1,18	14.57	33.21	25	75	158,08	840,83
No.30	0,6	7.97	25	19	81	67,27	908,09
No.50	0,3	4.56	17	14	86	56,06	964,15
No.200	0,075	2	10	7	93	78,48	1042,62
Pan					100	78,48	1121,10
						1121,10	Jumlah

**Tabel 5.17 Jumlah Agregat pada Kadar Filler 100% Gamping dengan Kadar Aspal Optimum 6,61 %**

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inch	Mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
¾"	19	100	100	100	0	0	0
½"	12,5	90	100	95	5	56,03	56,03
3/8"	9,5	75	90	85	15	112,07	168,10
No.8	2,36	25	55	39,1	60,9	514,39	682,49
No.16	1,18	14.57	33.21	25	75	158,02	840,51
No.30	0,6	7.97	25	19	81	67,24	907,75
No.50	0,3	4.56	17	14	86	56,03	963,78
No.200	0,075	2	10	7	93	78,45	1042,23
Pan					100	78,45	1120,68
						1120,68	Jumlah

5.1.5. Hasil Pengujian Campuran *Superpave* pada Kadar Aspal Optimum dengan menggunakan Gamping sebagai substitusi *Filler* Pengganti.

Hasil pengujian campuran *Superpave* dengan menggunakan *filler* pengganti yaitu *filler* gamping pada kadar aspal optimum meliputi pengujian *Marshall Standard*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Cantabro*. Adapun hasil masing-masing pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.18 sampai Tabel 5.21 atau secara lebih detail bisa dilihat pada Lampiran

1. Penggunaan *Filler* Gamping Pada Pengujian *Marshall Standard*

Hasil pengujian *Marshall* campuran *Superpave* pada kadar aspal optimum tiap variasi kadar *filler* pengganti dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut ini atau dapat dilihat lebih detail pada Lampiran 24.

**Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum untuk tiap Kadar *Filler* Pengganti Gamping**

<b>Kadar <i>Filler</i> Gamping (%)</b>	<b>Stabilitas (kg)</b>	<b><i>Flow</i> (mm)</b>	<b><i>MQ</i> (kg/mm)</b>	<b><i>VITM</i> (%)</b>	<b><i>VFWA</i> (%)</b>	<b><i>VMA</i> (%)</b>	<b><i>Density</i> (gr/cc)</b>
0	1577,45	3,03	524,96	4,84	73,95	18,52	2,270
25	1694,37	3,00	563,53	4,72	74,48	18,49	2,268
50	1835,03	3,23	568,13	4,43	75,84	18,32	2,271
75	1625,47	3,57	455,71	4,17	77,07	18,13	2,273
100	1652,71	3,70	447,28	3,95	78,07	17,98	2,274

2. Penggunaan *Filler* Gamping Pada Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* campuran *Superpave* pada kadar aspal optimum tiap variasi kadar *filler* pengganti dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini atau dapat dilihat lebih detail pada Lampiran 27.

**Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Kadar Aspal Optimum untuk tiap Kadar *Filler* Pengganti Gamping**

<b>Kadar <i>Filler</i> Gamping (%)</b>	<b><i>Indirect Tensile Strength</i> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
0	29,267
25	29,787
50	28,991
75	28,232
100	25,603

3. Penggunaan *Filler* Gamping Pada Pengujian *Cantabro*

Hasil pengujian *Cantabro* campuran *Superpave* pada kadar aspal optimum tiap variasi kadar *filler* pengganti dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini atau dapat dilihat lebih detail pada Lampiran 28.

**Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro* pada Kadar Aspal Optimum untuk tiap Kadar *Filler* Pengganti Gamping**

<b>Kadar <i>Filler</i> Gamping (%)</b>	<b>Kehilangan Berat (%)</b>
0	2,045
25	2,284
50	2,487
75	5,886
100	6,649

4. Penggunaan *Filler* Gamping Pada Pengujian *Index of Retained Strength*

Hasil pengujian *Index of Retained Strength* campuran *Superpave* pada kadar aspal optimum tiap variasi kadar *filler* pengganti dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini atau dapat dilihat lebih detail pada Lampiran 26.

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* pada Kadar Aspal Optimum untuk tiap Kadar *Filler* Pengganti Gamping**

<b>Kadar <i>Filler</i> Gamping (%)</b>	<b><i>Index of Retained Strength</i> (%)</b>
0	91,807
25	93,163
50	93,759
75	93,474
100	90,167

Data-data karakteristik *Marshall*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro Test* dan *Index of Retained Strength* dengan parameter penggunaan *filler* pengganti gamping pada tiap variasi terhadap karakteristik campuran *Superpave* dianalisis menggunakan analisis statistik *Anova* satu arah. Hasil rekapitulasi analisis menggunakan *Anova* satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23 berikut ini atau secara detail dapat dilihat pada Lampiran 30.

**Tabel 5.22 Rekapitulasi Data uji Statistik *Anova* pada Pengujian *Marshall***

<b>Parameter</b>	<b>Hasil Analisis</b>	<b>Keterangan</b>
Stabilitas	Signifikan	H <sub>1</sub> diterima
<i>Flow</i>	Tidak Signifikan	H <sub>0</sub> diterima
<i>MQ</i>	Tidak Signifikan	H <sub>0</sub> diterima
<i>VITM</i>	Tidak Signifikan	H <sub>0</sub> diterima
<i>VFWA</i>	Tidak Signifikan	H <sub>0</sub> diterima
<i>VMA</i>	Tidak Signifikan	H <sub>0</sub> diterima

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Data Uji Statistik *Anova* pada Pengujian *ITS*, *Cantabro*, *IRS***

<b>Parameter</b>	<b>Hasil Analisis</b>	<b>Keterangan</b>
<i>ITS</i>	Signifikan	H <sub>1</sub> diterima
<i>Cantabro</i>	Signifikan	H <sub>1</sub> diterima
<i>IRS</i>	Tidak Signifikan	H <sub>0</sub> diterima

Keterangan :

H<sub>0</sub> Diterima : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan pada penggunaan serbuk batu gamping sebagai substitusi *filler* pengganti pada karakteristik campuran *Superpave*.

H<sub>1</sub> Diterima : Terdapat pengaruh yang signifikan pada penggunaan serbuk batu gamping sebagai substitusi *filler* pengganti pada karakteristik campuran *Superpave*.

## 5.2. Pembahasan

Prosedur hasil pengujian dilakukan pembahasan guna memastikan bahwa bahan material yang digunakan selama rangkaian kegiatan pengujian telah memenuhi ketentuan dari spesifikasi umum Bina Marga 2010. Adapun pembahasan rangkaian pengujian sebagai berikut.

### 5.1.6. Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat kasar Clereng.

#### 1. Pengujian Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada suhu tertentu. Nilai berat jenis agregat kasar berguna dalam perencanaan campuran, dikarenakan material dengan berat jenis yang lebih besar memiliki pori yang kecil sehingga kebutuhan aspal akan semakin sedikit, dan sebaliknya. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat kasar Clereng yang telah dilakukan menghasilkan nilai sebesar 2,664. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 2,5$ .

#### 2. Pengujian Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan bahan dalam menyerap air yang masuk melalui pori atau rongga yang ada pada agregat. Agregat yang mempunyai pori atau rongga yang kecil menyebabkan kebutuhan aspal lebih sedikit karena nilai penyerapannya semakin kecil. Adapun hasil pengujian penyerapan agregat kasar Clereng yang telah dilakukan menghasilkan nilai sebesar 2,35%. Nilai

persyaratan agregat terhadap air memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 3\%$ .

### 3. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan untuk menentukan presentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal terhadap permukaan agregat. Adapun hasil pengujian kelekatan agregat terhadap yang telah dilakukan menghasilkan nilai sebesar 98%. Nilai kelekatan agregat terhadap aspal memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu sebesar  $>95\%$ .

### 4. Pengujian Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap penghancuran (*degradasi*) yang dilakukan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Nilai keausan agregat dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan lolos saringan No.12 yang aus terhadap berat bahan awal. Adapun hasil pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* dihasilkan sebesar 13,07% dan telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $<40\%$ .

#### 5.1.7. Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat halus Clereng.

##### 1. Pengujian Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada suhu tertentu. Nilai berat jenis agregat halus berguna dalam perencanaan campuran, dikarenakan material dengan berat jenis yang lebih besar memiliki pori yang kecil sehingga kebutuhan aspal akan semakin sedikit, dan sebaliknya. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat halus Clereng yang telah dilakukan menghasilkan nilai sebesar 2,601. Nilai hasil pengujian tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 2,5$ .

##### 2. Pengujian Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan bahan dalam menyerap air yang masuk melalui pori atau rongga yang ada pada agregat. Agregat yang



mempunyai pori atau rongga yang kecil menyebabkan kebutuhan aspal lebih sedikit karena nilai penyerapannya semakin kecil. Adapun hasil pengujian penyerapan agregat halus Clereng yang telah dilakukan menghasilkan nilai sebesar 1,687%. Nilai hasil pengujian penyerapan agregat terhadap air telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 3\%$ .

### 3. Pengujian *Sand Equivalent*

Pengujian *sand equivalent* menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap potensi adanya lumpur, debu atau kotoran lainnya yang masih ada pada agregat. Agregat halus yang digunakan harus bersih dan bebas dari kotoran dan jika terlalu banyak kotoran akan mempengaruhi kemampuan aspal untuk melekat dalam campuran. Adapun hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng dihasilkan sebesar 91,98%. Nilai hasil pengujian *sand equivalent* tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $>50\%$ .

#### 5.1.8. Karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*)

Pembahasan terhadap hasil pengujian karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*) yang digunakan adalah sebagai berikut.

##### 1. Pengujian Berat Jenis *Filler* Debu Batu

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material berupa agregat halus yang lolos saringan No. 200. Adapun hasil pengujian berat jenis bahan pengisi (*filler*) debu batu adalah sebesar 2,553. Berdasarkan SNI 15-2531-1992 nilai berat jenis *filler* tersebut telah memenuhi persyaratan yaitu  $< 8$ .

##### 2. Pengujian Berat Jenis *Filler* Serbuk Batu Gamping

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan merupakan material berupa agregat halus yang lolos saringan No.200. Adapun hasil pengujian berat jenis bahan pengisi (*filler*) serbuk batu gamping adalah sebesar 2,318. Berdasarkan SNI 15-2531-1992 nilai berat jenis *filler* tersebut telah memenuhi persyaratan yaitu  $< 8$ .

Dalam penentuan berat volume diperlukan pengujian berat jenis pada masing-masing *filler*. Hal ini berguna untuk mengetahui perbandingan volume antar masing-

masing *filler* sehingga dapat melingkupi volume yang sama karena berat jenis serbuk batu gamping sebagai *filler* pengganti lebih kecil dari berat jenis *filler* debu batu.

#### 5.1.9. Karakteristik Aspal

Adapun pembahasan terhadap pengujian karakteristik aspal yang digunakan adalah sebagai berikut.

##### 1. Pengujian Berat Jenis Aspal

Nilai berat jenis aspal adalah perbandingan anatar berat aspal dengan berat air suling dengan isi yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis aspal Starbit E-55 sebesar 1,071. Nilai pengujian aspal Starbit E-55 tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $>1,00$ .

##### 2. Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal dengan beban dan waktu pada suhu tertentu. Hasil pengujian di laboratorium dengan uji penetrasi telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu minimal 40 mm dengan nilai hasil pengujian sebesar 43,6 mm.

##### 3. Pengujian Daktilitas

Pengujian Daktilitas dimaksudkan untuk melihat kekuatan kohesi pada aspal, apabila tarikan tidak mencapai 100 cm maka dikhawatirkan bahan tidak mempunyai kelenturan cukup dan cenderung putus atau retak. Hasil pengujian daktilitas aspal Starbit E-55 telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu  $> 100$  cm dengan hasil pengujian sebesar 164 cm.

##### 4. Pengujian Titik Nyala

Pengujian titik nyala dimaksudkan untuk mengetahui pada suhu berapa aspal mulai menyala dan aspal mulai memercikkan api. Hasil pengujian dilaboratorium dengan uji titik nyala aspal Starbit E-55 tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu  $> 232$  °C dengan nilai hasil pengujian sebesar 312°C.

##### 5. Pengujian Titik Bakar

Pengujian titik bakar aspal dimaksudkan untuk menunjukkan batas temperatur dimana aspal mulai menimbulkan api yang terlihat menyala  $\pm 5$  detik pada permukaan

aspal. Hasil pengujian titik bakar aspal Starbit E-55 telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu  $> 232\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan nilai hasil pengujian sebesar  $325^{\circ}\text{C}$ .

6. Pengujian Kelarutan dalam *TCE (Trychloroethylene)*

Pengujian kelarutan dalam *TCE* dimaksudkan untuk melihat aspal yang digunakan banyak mengandung bahan/mineral lain selain aspal atau tidak. Semakin besar presentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelautan dalam *TCE* memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu sebesar  $>99\%$  dengan hasil pengujian sebesar  $99,19\%$ .

7. Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek dimaksudkan untuk mengetahui batas temperatur saat aspal mulai menjadi lunak atau lembek. Nilai titik lembek aspal Starbit E-55 sebesar  $54^{\circ}\text{C}$ . Hasil pengujian titik lembek tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $\geq 54^{\circ}\text{C}$ .

8. Viskositas

Pengujian Viskositas bertujuan untuk mengetahui suhu pencampuran dan pemadatan pada aspal dengan menggunakan alat *Saybolt Furol*. Dalam standarisasi SNI 7729:2011 berkaitan dengan peraturan temperatur aspal terbagi menjadi 2 yaitu temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan.

Adapun hasil pengujian viskositas aspal Starbit E-55 disajikan pada Tabel 5.24 berikut.

**Tabel 1.24 Visikositas Aspal Starbit E-55**

Suhu	Detik	Viskositas (Cst)	Suhu Pemadatan	Suhu Pencampuran
160	397	834	179	183
179	125	260,909		
190	96	201,364		

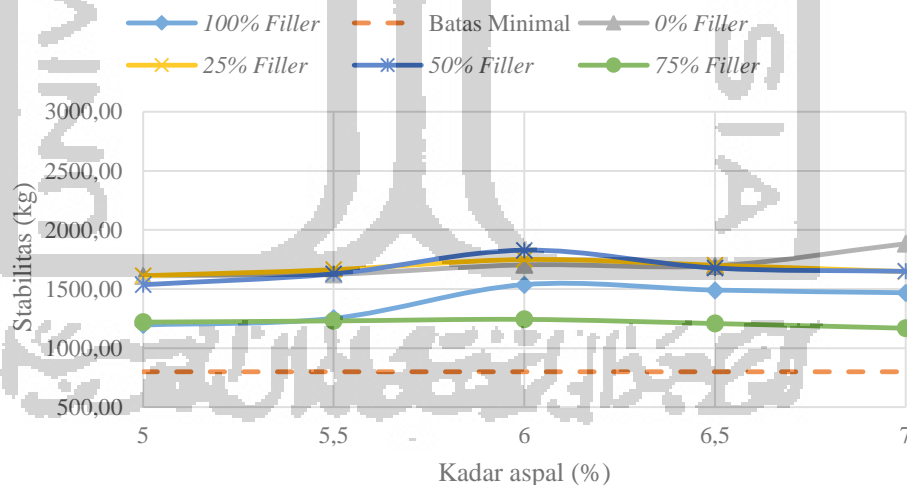
### 5.1.10. Hasil Peninjauan Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Parameter dalam memilih Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *superpave* adalah berdasarkan nilai stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, *VITM* dan *VFWA*, *VMA* dan *Density*. Tinjauan karakteristik *Marshall* dari hasil pengujian untuk mencari nilai KAO secara rinci dapat dilihat sebagai berikut.

#### 1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti alur dan gelombang sampai terjadinya kelelahan plastis. Nilai stabilitas tergantung dari tekstur permukaan agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran dan kadar aspal.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik stabilitas pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6 berikut



**Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 dilihat dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran *Superpave* semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal sampai pada kondisi tertentu selanjutnya nilai semakin menurun, penurunan

terjadi setelah melalui kondisi kadar optimumnya. Hal ini sejalan dengan penelitian Akbar (2018) bahwa dengan penggunaan kapur pada kadar aspal 4,5%, 5%, dan 5,5% mengalami kenaikan nilai stabilitas dan hingga titik optimumnya yaitu pada kadar 6% kemudian mengalami penurunan pada kadar berikutnya.

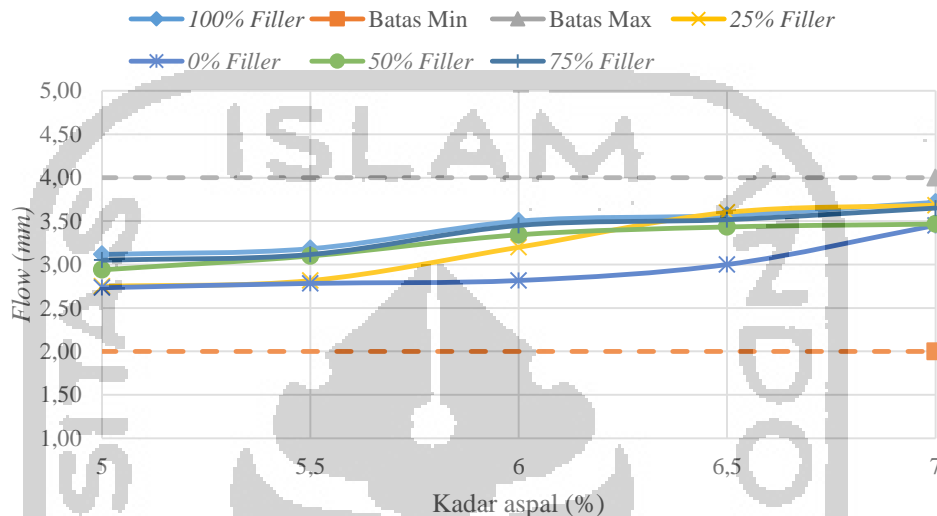
Hubungan kadar aspal dengan penambahan variasi substitusi kadar *filler* gamping adalah semakin bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping maka dibutuhkan kadar aspal yang semakin besar. Setelah melalui kondisi optimum maka grafik stabilitas akan mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena aspal yang pada awalnya berfungsi sebagai pengikat antar butiran agregat akan berubah fungsi menjadi pelicin antar agregat setelah melewati kondisi optimum.

Secara umum nilai stabilitas campuran *Superpave* dengan substitusi gamping mengalami peningkatan, nilai stabilitas pada *filler* gamping 50% lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan *filler* debu batu 100% pada kadar aspal yang sama.

## 2. *Flow*

*Flow* (Kelelehan) perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat adanya beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 *inch*. Nilai *flow* yang rendah menimbulkan campuran akan cenderung mudah mengalami retak, sebaliknya apabila nilainya besar akan mudah berdeformasi.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik *flow* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Flow***

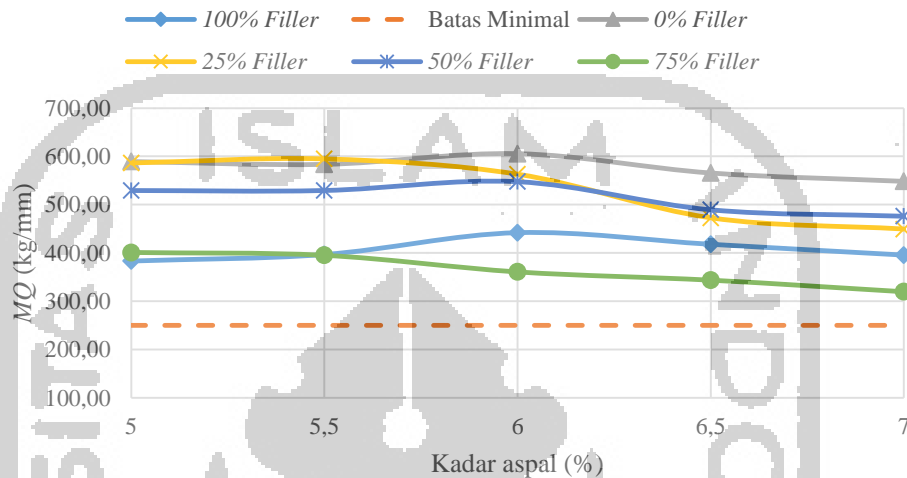
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal, nilai *flow* akan mengalami peningkatan. Hasil nilai *flow* campuran *Superpave* menunjukkan bahwa semakin besar presentase substitusi *filler* gamping yang digunakan maka nilai *flow* pada campuran akan semakin tinggi. Nilai *flow* yang meningkat karena semakin meningkatnya pula kadar aspal yang ada sehingga campuran akan menjadi plastis yang kemudian menyebabkan mudah terjadinya perubahan bentuk (*deformasi*).

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa pada kadar *filler* gamping 0% memiliki nilai *flow* paling rendah kemudian terus mengalami peningkatan hingga pada kadar *filler* gamping 100%.

### 3. *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Nilai *MQ* menunjukkan kelenturan (*fleksibilitas*) dari campuran agregat aspal, semakin kecil nilai *MQ* maka campuran akan semakin lentur, dan sebaliknya jika semakin besar nilai *MQ* maka campuran tersebut akan semakin kaku.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Marshall Quotient* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.8 berikut ini.



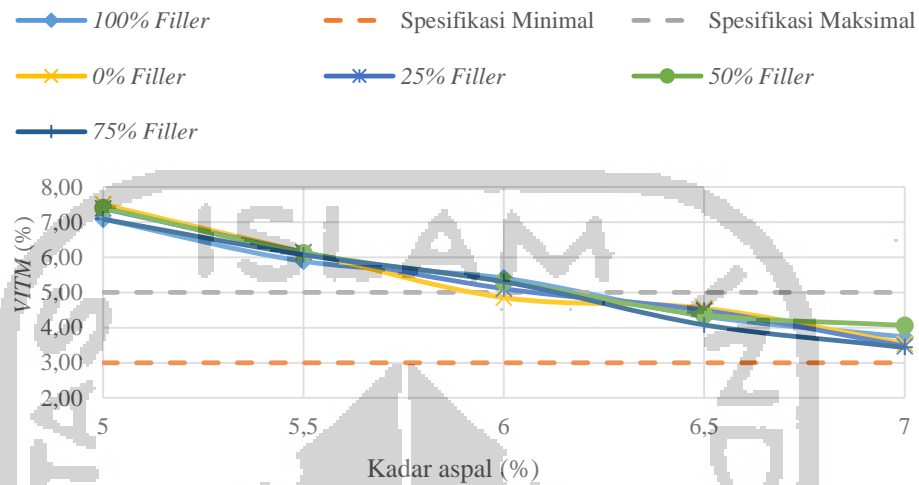
**Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *MQ***

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 secara umum dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar aspal. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* rendah terjadi pada kadar aspal 6,5% dan 7% hal ini dikarenakan nilai stabilitasnya rendah dan diiringi dengan nilai *flow* yang tinggi sehingga campurannya cenderung kurang stabil dan bersifat terlalu lentur. Hal ini sejalan dengan penelitian Akbar dan Widari (2018) dengan penggunaan *filler* kapur pada campuran *AC-BC* bahwa semakin besar kadar aspal campuran semakin kurang stabil dan nilai *MQ* mengalami penurunan.

#### 4. *Void in The Mix (VITM)*

*VITM* adalah persen rongga udara atau *void* yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. Bina Marga 2010 mensyaratkan *VITM* untuk campuran *AC-WC* adalah sebesar 3-5%.

Berdasarkan hasil pengujian di laboartorium diperoleh nilai grafik *Void In The Mix* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut ini.



**Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VITM**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar aspal, maka nilai *VITM* pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan penelitian Setiawan, dkk (2015) yang menggunakan kapur dengan kadar 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% pada campuran AC-WC, memiliki nilai *VITM* semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar *filler* pengganti kapur dan kadar aspal.

Dapat dilihat secara umum pada kadar aspal yang sama, campuran *Superpave* yang menggunakan *filler* gamping mempunyai nilai *VITM* yang lebih rendah dibandingkan campuran *Superpave* yang menggunakan *filler* abu batu. Semakin rendah nilai *VITM* pada campuran menunjukkan bahwa semakin kecilnya rongga sehingga campuran rapat terhadap air dan udara sehingga bisa menimbulkan terjadinya *bleeding*.

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa nilai *VITM* dengan kadar *filler* gamping 0% memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan *filler* gamping 75%. Pada kadar *filler* gamping 0% memiliki nilai tertinggi, dengan nilai *VITM* tertinggi sebesar 7,51% dan terus menurun hingga nilai *VITM* terendah pada kadar *filler* gamping 75% sebesar 3,44%.

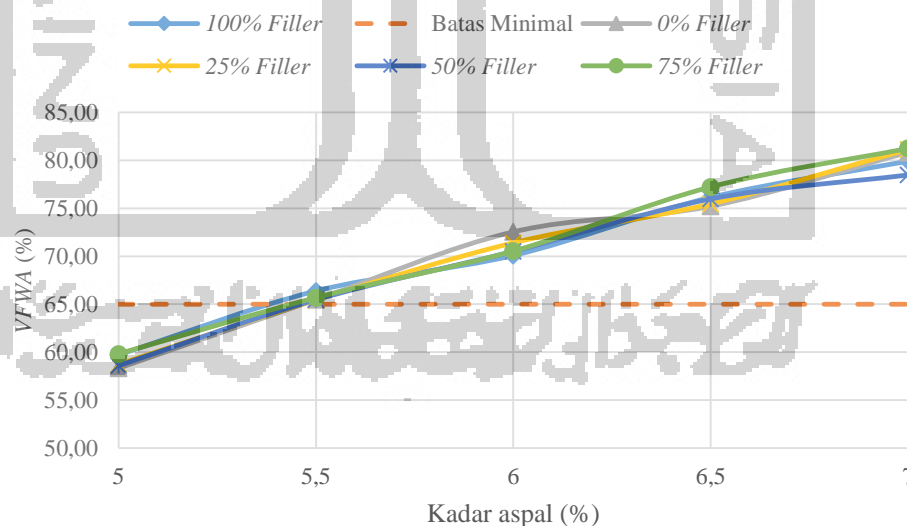


Hasil pengujian *VITM* pada berbagai variasi KAO tidak semuanya masuk dalam spesifikasi Bina Marga 2010, yaitu diantara 3-5%. Variasi kadar aspal mulai memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 6,0% *filler* gamping 0% sedangkan dengan penambahan *filler* gamping dari 25%, 50%, 75% dan 100% mulai memenuhi spesifikasi pada kadar 6,5%.

#### 5. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

*Void Filled With Asphalt* adalah persen rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. *VFWA* ini merupakan bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (*VMA*) yang terisi aspal efektif. Nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran karena rongga dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *VFWA* adalah kadar aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Bina Marga 2010 mensyaratkan nilai *VFWA* yaitu  $> 65\%$ .

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Void Filled With Asphalt* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.10 berikut.



**Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *VFWA***

Berdasarkan dari grafik pada Gambar 5.10 dapat disimpulkan bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai *VFWA* akan semakin bertambah, hal ini terjadi dikarenakan ada peningkatan rongga terisi aspal. Dalam grafik terlihat bahwa pada kadar aspal yang sama, campuran *Superpave* yang menggunakan substitusi *filler* gamping memiliki nilai *VFWA* yang lebih besar dibandingkan dengan campuran *Superpave* dengan *filler* debu batu. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *VFWA* lebih kedap campuran terhadap air dan udara.

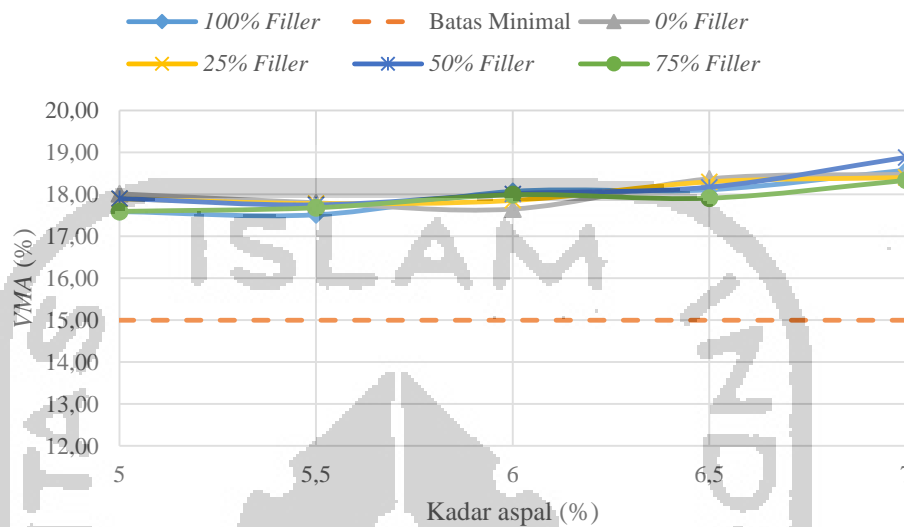
Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa nilai *VFWA* dengan kadar *filler* abu batu lebih tinggi dibandingkan kadar *filler* gamping, dan pada kadar *filler* abu batu nilai *VFWA* memiliki nilai tertinggi, dengan nilai *VFWA* terendah pada kadar *filler* gamping 0% sebesar 58,33% dan terus meningkat hingga nilai *VFWA* tertinggi dengan penambahan *filler* gamping 75% sebesar 81,26%

Hasil uji *VFWA* pada berbagai KAO tidak semuanya masuk dalam spesifikasi Bina Marga 2010, yaitu  $> 65\%$ . Variasi kadar aspal mulai memasuki spesifikasi pada kadar aspal 5,5% *filler* gamping 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.

#### 6. *Void Mineral Agregate (VMA)*

*Void Mineral Agregate (VMA)* merupakan presentase banyaknya rongga/pori antar butiran agregat dalam campuran agregat yang sudah dipadatkan. Nilai *VMA* akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal, dan semakin tinggi nilai *VMA* maka kedapatan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal. Nilai *VMA* yang kecil bisa menyebabkan lapisan kurang bisa mengikat aspal yang berakibat perkerasan mudah terjadinya *striping*, *ravelling* dan lainnya.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai grafik *VMA* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.11 berikut.



**Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VMA**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 dilihat dapat disimpulkan bahwa nilai *Void In Mineral Agregate* akan terus meningkat seiring dengan adanya penambahan kadar aspal yang digunakan. Hal tersebut menunjukkan bahwa campuran tersebut semakin kedap terhadap air dan udara, karena semakin banyaknya rongga yang terisi oleh aspal.

Pada campuran *Superpave* dengan kadar aspal yang sama, campuran yang menggunakan kadar *filler* gamping mempunyai nilai *VMA* yang lebih besar dibandingkan dengan campuran *Superpave* yang menggunakan *filler* abu batu. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa nilai *VMA* memiliki nilai tertinggi pada kadar *filler* gamping 50% dengan nilai sebesar 18,88% dan memiliki nilai terendah pada kadar *filler* gamping 100% dengan nilai sebesar 17,44%.

Dari hasil pengujian bahwa nilai *VMA* campuran *Superpave* dengan penggunaan 0% *filler* gamping sampai dengan 100% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 15\%$ .

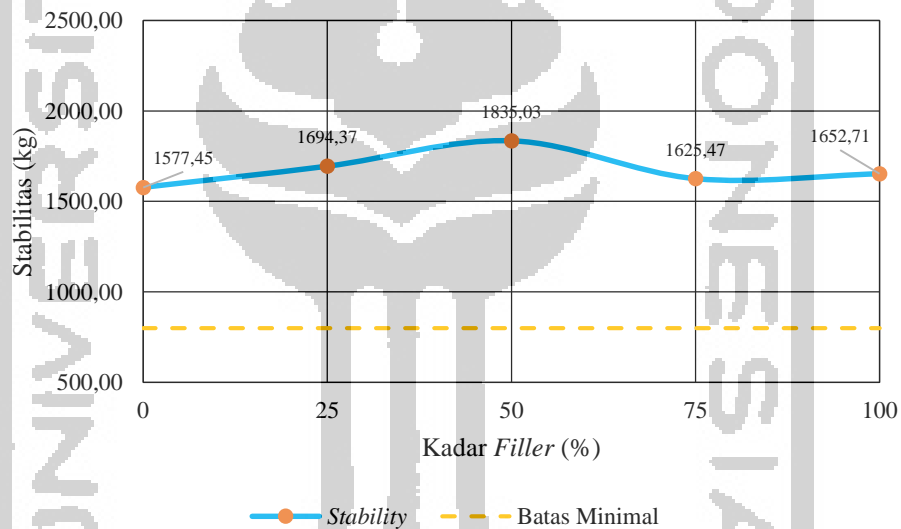
5.1.11. Karakteristik Pengujian *Marshall* Pada KAO Campuran *Superpave* dengan menggunakan gamping sebagai substitusi *filler* pengganti.

Berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat bahwa berat jenis gamping memiliki nilai lebih kecil daripada abu batu clereng dan penyerapan *filler* gamping lebih besar daripada *filler* Clereng. Hal ini akan berpengaruh terhadap campuran *Superpave*.

Adapun hasil pengujian penggunaan *filler* gamping pada campuran *Superpave* dengan KAO dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

#### 1. Analisis Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Gamping terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* gamping dengan nilai stabilitas *Marshall* pada campuran *Superpave* seperti yang terlihat pada Gambar 5.12 berikut.



**Gambar 5.12 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai Stabilitas**

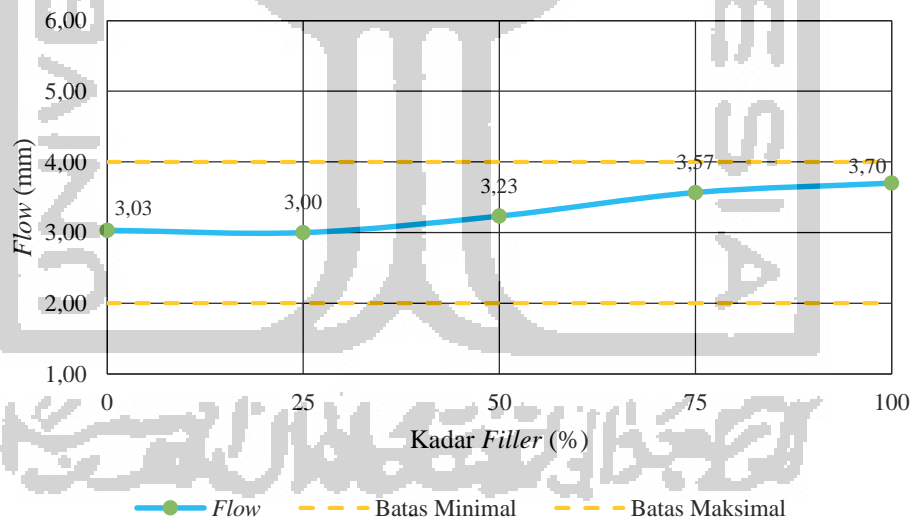
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa adanya peningkatan nilai stabilitas pada campuran *Superpave* sampai kadar *filler* pengganti gamping 50% dan mengalami penurunan pada kadar *filler* pengganti gamping 75%. Hal ini sejalan dengan penelitian Setiawan,dkk (2015) bahwa campuran *Superpave* dengan *filler* pengganti kapur 0%, 25% dan 50% memiliki nilai stabilitas yang meningkat sampai pada kadar kapur 25%, kemudian mengalami penurunan untuk kadar *filler* pengganti kapur selanjutnya.

Pengaruh meningkatnya nilai stabilitas juga dipengaruhi kadar aspal dan kepadatannya. Semakin tinggi nilai stabilitas suatu campuran akan semakin kuat dalam menahan beban lalu lintas tetapi juga akan semakin getas. Dalam hal ini bahwa penggunaan serbuk batu gamping pada kadar 50% memiliki kinerja campuran yang lebih baik.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,018 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,018 < 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap nilai stabilitas.

## 2. Analisis Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Gamping terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* gamping dengan nilai *flow* pada campuran *Superpave* seperti yang terlihat pada Gambar 5.13 berikut.



**Gambar 5.13 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *Flow***

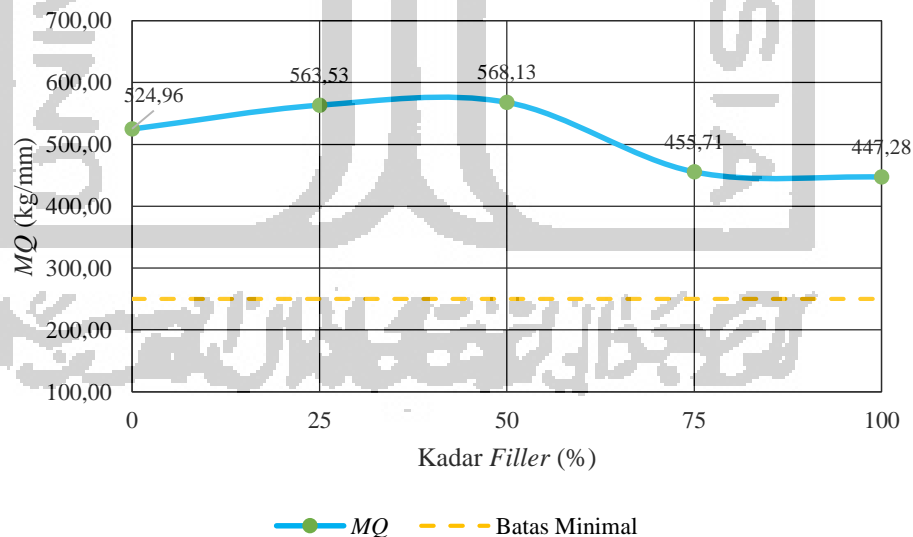
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa nilai *flow* mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kadar *filler* pengganti gamping dalam campuran *Superpave*. Hal ini sejalan dengan penelitian Setiawan,dkk (2015) bahwa campuran

aspal yang menggunakan variasi kadar *filler* pengganti kapur 0%, 25% dan 50% mengalami kenaikan nilai *flow* seiring penambahan kadar *filler* pengganti kapur. Peningkatan nilai *flow* menunjukkan bahwa kelelahan campuran *Superpave* cenderung meningkat dan campuran akan semakin lentur dan plastis

Hasil signifikansi menunjukkan bahwa nilai *flow* tidak mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan peningkatan kadar *filler* pengganti gamping dalam campuran *Superpave*. Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,185 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,185 > 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* tidak berpengaruh terhadap nilai *flow*.

### 3. Analisis Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Gamping terhadap Nilai *Marshall Quotient (MQ)*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* gamping dengan nilai *Marshall Quotient (MQ)* pada campuran *Superpave* seperti yang terlihat pada Gambar 5.14 berikut.



**Gambar 5.14 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *MQ***

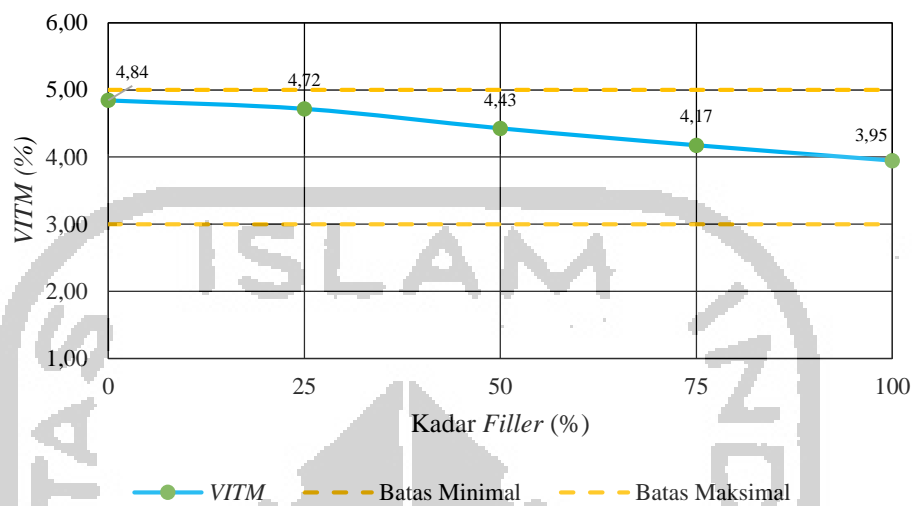
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai *MQ* mengalami kenaikan sampai kadar gamping 50% kemudian mengalami penurunan pada variasi kadar *filler* gamping 75% dan 100%. Hal ini sejalan dengan penelitian Akbar,dkk (2018) dengan penggunaan *filler* pengganti 25%, 50%, 75% dan 100% pada campuran *AC-BC* memiliki kondisi bahwa *MQ* meningkat pada kadar 25% dan kemudian mengalami penurunan.

*Marshall Quotient* merupakan perbandingan nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *Marshall Quotient* menunjukkan sifat kekakuan atau kelenturan perkerasan dalam menerima beban lalu lintas. Penurunan nilai *MQ* pada kadar 75% menunjukkan bahwa campuran menggunakan *filler* gamping cenderung plastis ketika menerima beban dan cenderung mudah berubah bentuk saat terbebani oleh lalu lintas.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,192 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,192 > 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* tidak berpengaruh terhadap nilai *MQ*.

#### 4. Analisis Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Gamping terhadap Nilai *Void In The Total Mix (VITM)*

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* gamping dengan nilai *Void In The Total Mix (VITM)* pada campuran *superpave* seperti yang terlihat pada Gambar 5.15 berikut



**Gambar 5.15 Grafik Pengaruh Kadar Filler Pengganti Gamping Terhadap Nilai Void In The Total Mix (VITM)**

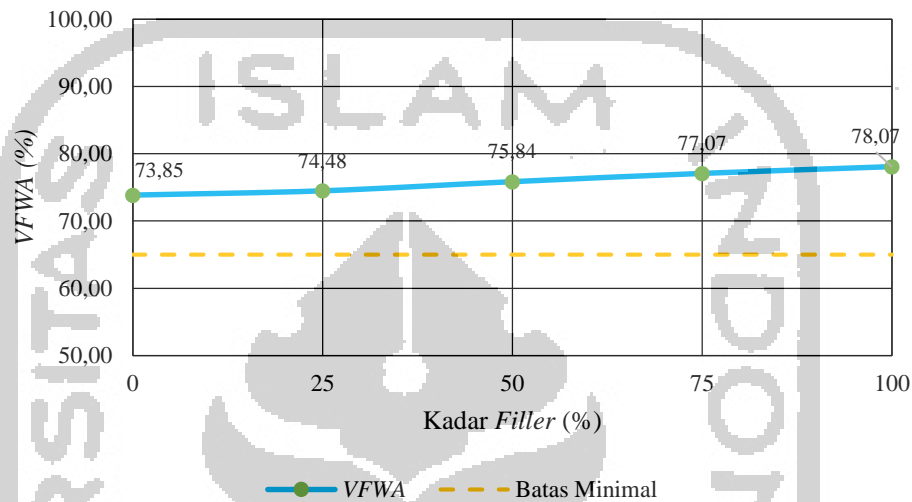
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* pada campuran *Superpave* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping kadar 0% hingga 100%. Hal ini sejalan dengan penelitian Setiawan,dkk (2015) bahwa *VITM* dengan variasi kadar 0%, 25% dan 50% mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar kapur. Penurunan nilai *VITM* menunjukkan bahwa rongga dalam campuran semakin kecil sehingga campuran tersebut lebih padat dan rapat.

Hasil signifikansi menunjukkan bahwa nilai *VITM* pada campuran bergradasi *Superpave* tidak mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping kadar 0% hingga 100%. Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,783 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,783 > 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* tidak berpengaruh terhadap nilai *VITM*.

##### 5. Analisis Pengaruh Kadar Substitusi Filler Gamping terhadap Nilai Void Filled With Asphalt (VFWA)



Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* gamping dengan nilai *Void Filled With Asphalt (VFWA)* pada campuran *Superpave* seperti yang terlihat pada Gambar 5.16 berikut.



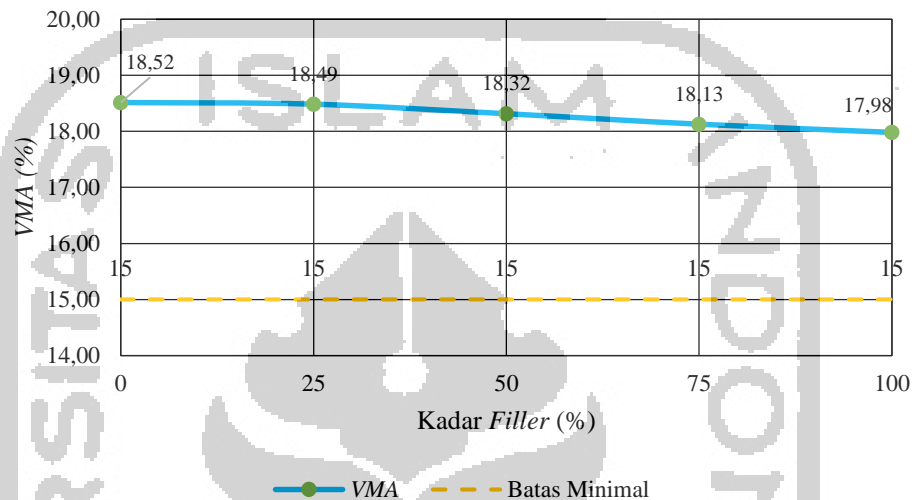
**Gambar 5.16 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *Void Filled With Asphalt (VFWA)***

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* pada campuran *Superpave* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping kadar 0% hingga 100%. Hal ini disebabkan semakin besar kadar aspal dan *filler* gamping mengisi rongga campuran yang menjadikan rongga semakin kecil sehingga campuran lebih kedap.

Hasil signifikansi menunjukkan bahwa nilai *VFWA* pada campuran bergradasi *Superpave* tidak mengalami perubahan signifikan seiring dengan bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping kadar 0% hingga 100%. Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,684 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,684 > 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* tidak berpengaruh terhadap nilai *VFWA*.

#### 6. Analisis Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Gamping terhadap Nilai *Void Mineral Aggregate (VMA)*

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* gamping dengan nilai *Void Mineral Agregate (VMA)* pada campuran *Superpave* seperti yang terlihat pada Gambar 5.17 berikut.



**Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *Void Mineral Agregate (VMA)***

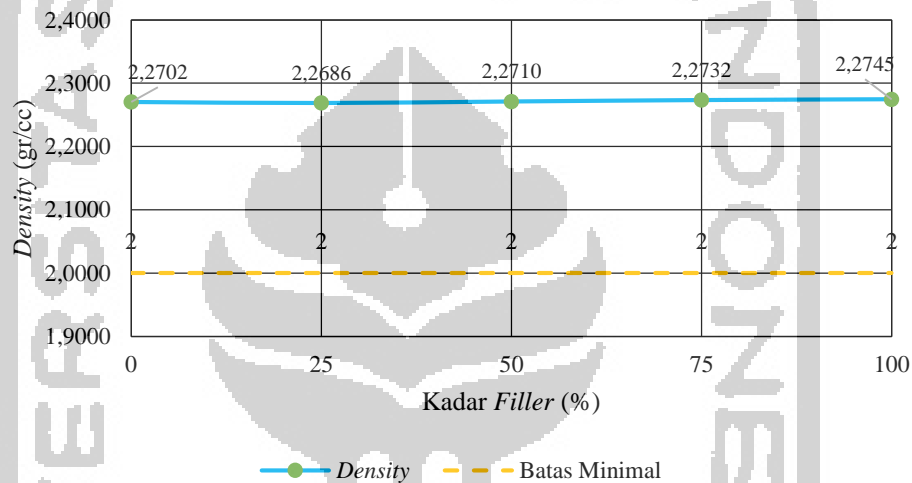
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17 dapat dilihat menunjukkan bahwa nilai *VMA* pada campuran *Superpave* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping kadar 0% hingga 100%. Hal ini sejalan dengan penelitian Setiawan,dkk (2015) bahwa campuran yang menggunakan kapur sebagai *filler* pada variasi 0%, 25% dan 50% mengalami penurunan nilai *Void Mineral Agregate (VMA)*. Hal ini disebabkan karena penambahan gamping sebagai *filler* pengganti membuat rongga campuran antar agregat semakin mengisi yang menjadikan pori semakin kecil sehingga banyaknya rongga antar butiran agregat berkurang.

Hasil signifikansi menunjukkan bahwa nilai *VMA* pada campuran bergradasi *Superpave* tidak mengalami perubahan signifikan seiring dengan bertambahnya kadar *filler* pengganti kadar 0% hingga 100%. Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,980 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi

didapatkan  $0,980 > 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* tidak berpengaruh terhadap nilai *VMA*.

#### 7. *Density* (Kepadatan)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* gamping dengan nilai *Density* (Kepadatan) pada campuran *Superpave* seperti yang terlihat pada Gambar 5.18 berikut.



**Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *Density***

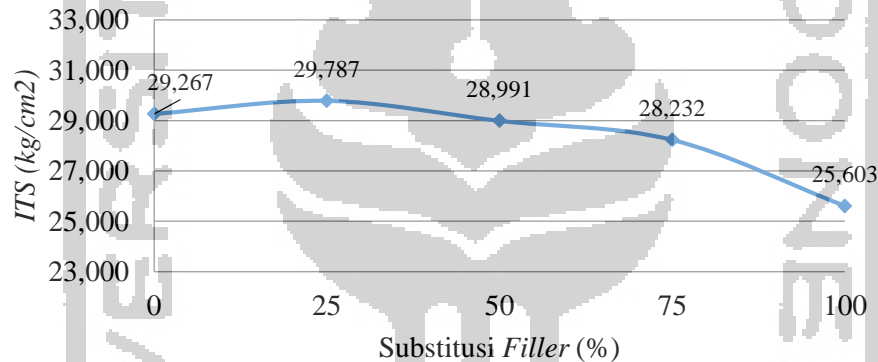
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa nilai *Density* pada campuran *Superpave* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping kadar 0% hingga 100%. Adapun nilai *Density* yang diperoleh pada penelitian campuran *Superpave* dengan substitusi gamping 0% sebesar 2,2702 gr/cc, 25% sebesar 2,2686 gr/cc, 50% sebesar 2,710 gr/cc, 75% sebesar 2,2732 gr/cc dan 100% sebesar 2,2745 gr/cc. Hasil tersebut menunjukkan kesamaan pada penelitian Setiawan,dkk (2015) walaupun hanya mengalami peningkatan yang hampir sama setiap proporsi kadar *filler* nya.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,989 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,989 > 0,05$  sehingga dapat

disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* tidak berpengaruh terhadap nilai *Density*.

#### 5.1.12. Karakteristik pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dengan menggunakan gamping sebagai substitusi *filler* pengganti

*Indirect Tensile Strength (ITS)* adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran beraspal akibat beban lalu lintas yang dihitung dari puncak beban. Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* terhadap variasi kadar substitusi *filler* gamping dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



**Gambar 5.19** Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)*

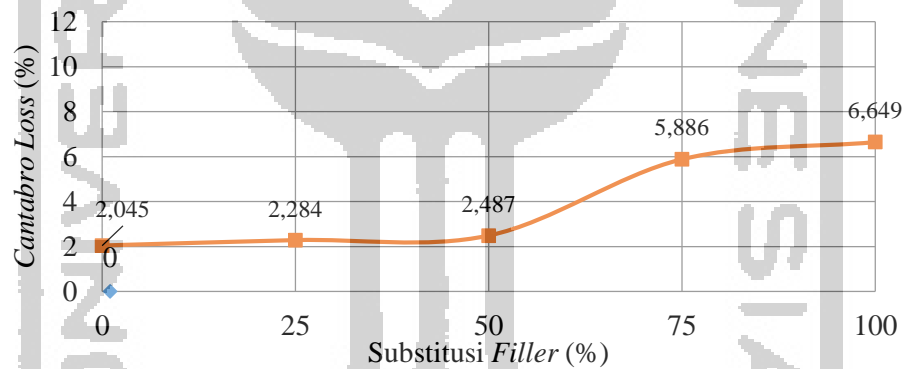
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa nilai *Indirect Tensile Strength* semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar *filler* gamping kedalam campuran *Superpave*. Penurunan nilai *Indirect Tensile Strength* menunjukkan bahwa retakan yang terjadi pada campuran *Superpave* lebih besar seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti gamping. Hal ini dikarenakan semakin besarnya kadar *filler* pengganti gamping sehingga besarnya rongga pada campuran semakin kecil sebab terisi oleh *filler* gamping namun campuran semakin getas dan lebih rapuh sehingga tidak tahan terhadap beban.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,000 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,000 < 0,05$  sehingga dapat

disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap nilai *ITS*.

#### 5.1.13. Karakteristik Pengujian *Cantabro* dengan menggunakan gamping sebagai substitusi *filler* pengganti

*Cantabro Test* merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap abrasi dimana pengujian tersebut menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian *Cantabro* dilakukan dengan memasukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* dengan diputar tanpa menggunakan bola baja didalamnya. *Cantabro Test* memberikan gambaran sejauh mana ketahanan perkerasan aspal menahan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan. Nilai hasil pengujian *Cantabro* pada campuran *Superpave* dengan variasi kadar substitusi *filler* gamping dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



**Gambar 5.20** Grafik Pengaruh Kadar *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *Cantabro Loss*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20 dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya kadar *filler* gamping kedalam campuran *Superpave* maka nilai *cantabro* akan semakin besar. Nilai *Cantabro Loss* pada kadar substitusi *filler* pengganti gamping 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% adalah sebesar 2,045%, 2,284%, 2,487%, 5,886% dan 6,649% dimana dari kesemua kadar *filler* pengganti telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu  $< 20\%$ . Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak

*filler* gamping sebagai substitusi *filler* pengganti mengakibatkan penyerapan aspal yang tinggi sehingga membuat campuran butiran agregat tidak berikatan dengan baik.

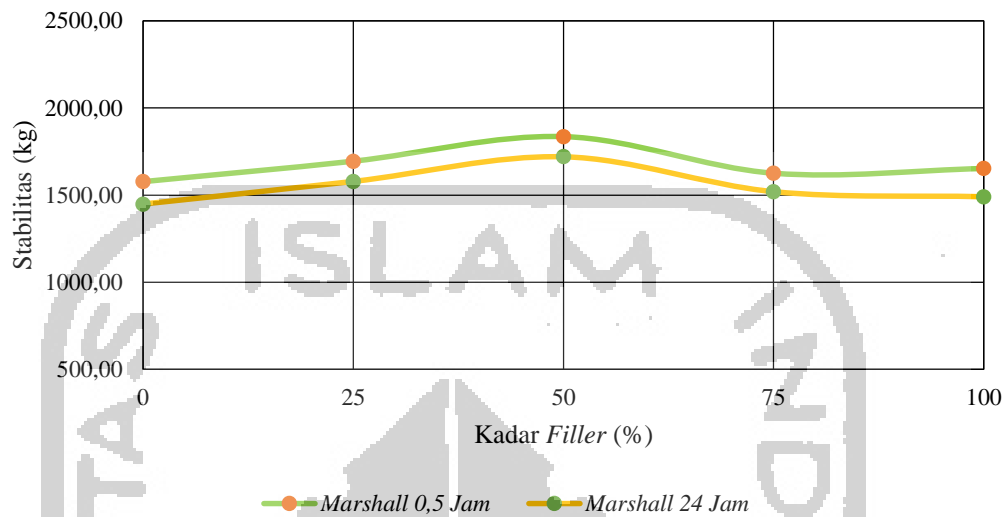
Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,036 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,036 < 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap nilai *Cantabro*.

#### 5.1.14. Karakteristik *Immersion Test* dengan menggunakan gamping sebagai substitusi *filler* pengganti

Uji perendaman (*Immersion Test*) bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Hasil pengujian *Immersion* pada campuran *Superpave* dengan berbagai variasi kadar substitusi gamping sebagai substitusi *filler* pengganti adalah sebagai berikut.

##### 1. Stabilitas Rendaman

Stabilitas rendaman adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat adanya perubahan air, suhu, dan cuaca. Perendaman dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu perendaman di *waterbath* dengan suhu 60°C selama 0,5 jam dan perendaman di *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam. Nilai perbandingan stabilitas rendaman *Marshall* standar dengan 24 jam *Marshall* campuran *Superpave* dapat dilihat pada gambar 5.21 berikut.

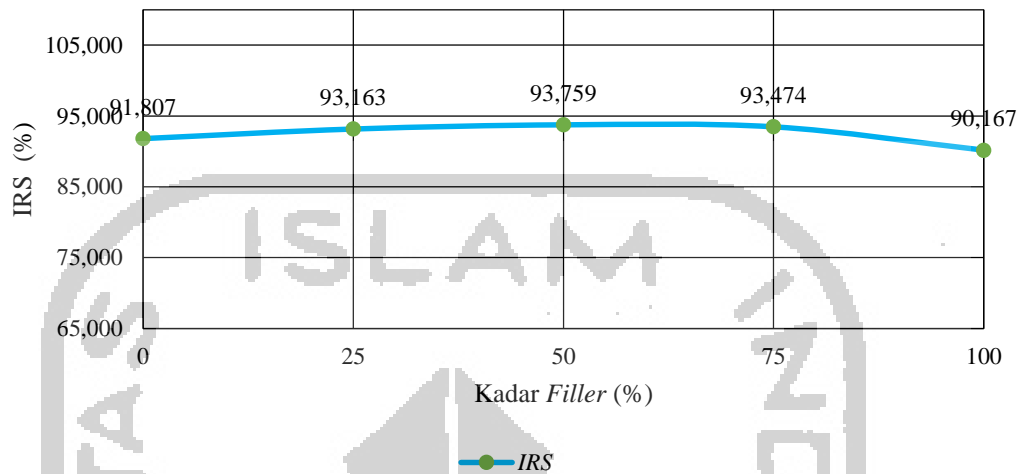


**Gambar 5.21 Grafik Pengaruh *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai Stabilitas Perendaman**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.21 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada *marshall* rendaman 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan *Marshall* standar (0,5 jam). Hal ini disebabkan bahwa proses perendaman yang mencapai waktu 24 jam menyebabkan air masuk ke dalam pori-pori campuran sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat.

## 2. *Indirect of Retained Strength (IRS)*

*Indirect of Retained Strength (IRS)* bertujuan untuk mengevaluasi keawetan campuran dan mengetahui durabilitas campuran aspal setelah mengalami proses perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman selama 0,5 jam pada suhu 60°C. Grafik hasil nilai *IRS* akibat pengaruh substitusi *filler* pengganti gamping dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



**Gambar 5.22 Grafik Pengaruh *Filler* Pengganti Gamping Terhadap Nilai *Index of Retained Strength (IRS)***

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.22 dapat dilihat bahwa semakin banyak kadar *filler* pengganti gamping maka nilai *Index of Retained Strength* cenderung meningkat sampai kadar *filler* pengganti 25% sampai 50%. Hal ini sejalan dengan penelitian Mashuri,dkk (2013) bahwa campuran AC-WC yang menggunakan variasi kadar *filler* pengganti kapur padam 0%, 25% dan 50% memiliki nilai *IRS* yang meningkat sampai kadar 25% dan mengalami penurunan pada kadar 50%.

Nilai *IRS* pada kadar gamping 25%, 50%, 75% dan 100% adalah sebesar 93,163%, 93,759%, 93,474% dan 90,167% dimana nilai tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 90%.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Mashuri,dkk (2013) yang menghasilkan bahwa penambahan kapur padam kedalam campuran perkerasan AC-WC sampai 25% cenderung dapat meningkatkan kepadatannya. Kepadatan campuran yang semakin tinggi juga akan membuat campuran lebih padat sehingga tidak mudah dimasuki air dari luar. Sukarnya air menembus perkerasan campuran aspal membuat perkerasan mempunyai ketahanan yang baik terhadap pengelupasan akibat pengaruh air, suhu, cuaca dan beban lalu lintas. Hal ini disebabkan rongga pada campuran *Superpave* yang



semakin kecil dengan penambahan *filler* gamping ini dapat dilihat pada nilai *VFWA* yang semakin tinggi dan *VITM* mengalami penurunan.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,489 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan  $0,489 > 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan gamping sebagai substitusi *filler* tidak berpengaruh terhadap nilai *IRS*.

### 5.3. Tinjauan Karakteristik Campuran *Superpave* dengan Menggunakan Serbuk Batu Gamping sebagai *Filler* Pengganti

Pada penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan dari berbagai macam hasil yang diperoleh sesuai dengan kadar *filler* pengganti gamping dengan variasi kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil pengujian dirangkum dalam Tabel 5.25 berikut.

**Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Penggunaan Gamping Sebagai Substitusi *Filler* pada Campuran *Superpave***

Parameter	Kesimpulan
Stabilitas	Nilai stabilitas <i>Marshall</i> meningkat sebesar 16,329% dari kadar 0% ke 50% kadar <i>filler</i> pengganti gamping, dan kemudian mengalami penurunan sampai pada kadar 100%.
<i>Flow</i>	Nilai <i>flow</i> mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar <i>filler</i> pengganti gamping.
<i>MQ</i>	Nilai <i>MQ</i> mengalami peningkatan hingga kadar pengganti gamping 50% dengan angka peningkatan sebesar 17,213% kemudian menurun pada kadar selanjutnya sebesar 28,241%.
<i>VITM</i>	Nilai <i>VITM</i> mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar <i>filler</i> pengganti gamping. Dari semua kadar nilai <i>VITM</i> memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar 2%-4%.

**Lanjutan Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Penggunaan Gamping Sebagai Substitusi *Filler* pada Campuran *Superpave***

<i>VMA</i>	Nilai <i>VMA</i> mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar <i>filler</i> pengganti gamping. Dari semua variasi kadar <i>filler</i> gamping, nilai <i>VMA</i> memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 sebesar >15%.
<i>VFWA</i>	Nilai <i>VFWA</i> cenderung mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar <i>filler</i> pengganti gamping. Semua kadar <i>filler</i> gamping memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 sebesar >65%.
<i>Density</i>	Nilai <i>density</i> mengalami kenaikan yang hampir sama seiring dengan penambahan kadar <i>filler</i> pengganti gamping.
<i>ITS</i>	Nilai <i>ITS</i> mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya proporsi kadar <i>filler</i> pengganti gamping. Dari hasil analisis statistik menunjukkan bahwa nilai <i>ITS</i> mengalami perubahan yang signifikan.
<i>Cantabro</i>	Nilai <i>Cantabro Loss</i> pada variasi kadar <i>filler</i> 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% memiliki nilai <i>Cantabro Loss</i> yang memenuhi syarat <20% yaitu sebesar 2,045%, 2,284%, 2,487%, 5,886% dan 6,649%.
<i>IRS</i>	Nilai <i>IRS</i> pada kadar <i>filler</i> pengganti gamping 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu >90% dengan nilai <i>IRS</i> sebesar 91,807%, 93,163%, 93,759%, 93,474% dan 90,167%.