

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan Air

Pengujian terhadap karakteristik agregat meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus dan *filler* (debu batu dan abu sekam padi). Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Pengujian air dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta. Hasil yang diperoleh dari pengujian karakteristik agregat telah memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2010, Revisi 3. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.1 sampai dengan Tabel 5.4. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 sampai dengan Lampiran 7, dan Lampiran 49.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2,5	2,651	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	1,546	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	95	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeless</i> (%)	< 40	11,908	Memenuhi

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2,5	2,627	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	2,350	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	66,483	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Filler

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis Debu Batu (gr/cm^3)	2,553
2	Berat Jenis Abu Sekam Padi (gr/cm^3)	1,953

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Air Laut

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji
1	pH	-	6,82
2	Klorida (Cl^-)	mg/L	12,24
3	Sulfat (SO_4)	mg/L	20,90

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Dalam penelitian ini digunakan aspal Pertamina Pen 60/70 yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Hasil yang diperoleh dari pengujian karakteristik aspal ini telah memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 dan dapat dilihat pada Tabel 5.5. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8 sampai Lampiran 13.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,055	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	61,5	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	270	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,155	Memenuhi
6	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Void in Coarse Aggregate (VCA)

Pengujian VCA dilakukan untuk mengetahui kontak antara agregat kasar. Dilakukan dengan metode *dry-rodded*, yang terdiri dari pemadatan agregat kasar dan menentukan rongga udara diantara partikel. Dari pengujian ini dihasilkan

persentase rongga udara dalam kerangka agregat kasar yang dilambangkan dengan VCA_{drc} . VCA_{mix} adalah kandungan rongga udara dalam agregat kasar dari campuran SMA yang dipadatkan. Kontak antar agregat kasar terjadi dengan baik apabila nilai VCA memenuhi persyaratan $VCA_{mix}/VCA_{drc} < 1,0$. Hasil pengujian VCA dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 15.

Tabel 5.6 Rasio VCA_{mix}/VCA_{drc} pada Pengujian KAO

Kadar Aspal Campuran (%)		Rasio $VCA_{mix}/VCA_{drc} < 1,0$	$VCA_{mix} < VCA_{drc}$
5,5	A	Memenuhi	Memenuhi
	B	Memenuhi	Memenuhi
	C	Memenuhi	Memenuhi
6	A	Memenuhi	Memenuhi
	B	Memenuhi	Memenuhi
	C	Memenuhi	Memenuhi
6,5	A	Memenuhi	Memenuhi
	B	Memenuhi	Memenuhi
	C	Memenuhi	Memenuhi
7	A	Memenuhi	Memenuhi
	B	Memenuhi	Memenuhi
	C	Memenuhi	Memenuhi
7,5	A	Memenuhi	Memenuhi
	B	Memenuhi	Memenuhi
	C	Memenuhi	Memenuhi

Dapat dilihat dari hasil pengujian VCA , gradasi yang dipilih menghasilkan nilai rasio VCA_{mix}/VCA_{drc} kurang dari satu. Kesimpulan dari pengujian ini adalah campuran SMA 12,5 mm terjadi kontak agregat kasar yang baik.

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran SMA 12,5 mm untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum

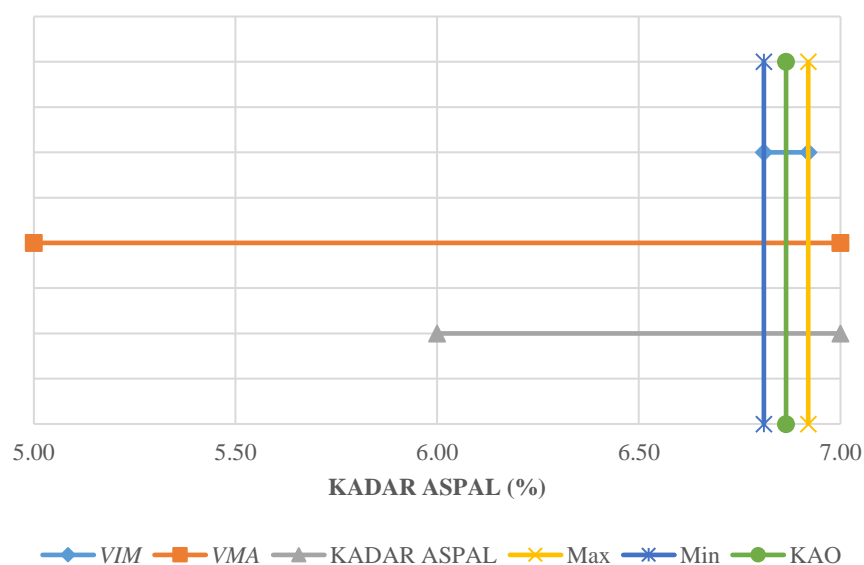
Kadar aspal optimum dapat ditentukan setelah melakukan pengujian *Marshall*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Dari pengujian tersebut diperoleh nilai – nilai karakteristik *Marshall* yang meliputi stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *MQ* (*Marshall Quotient*),

dan kepadatan (*density*) dari campuran SMA 12,5 mm dengan menggunakan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70.

Penentuan kadar aspal optimum untuk campuran SMA adalah dengan melihat dari tiga karakteristik *Marshall*, yaitu nilai *VITM* dengan syarat 4%, nilai *VMA* dengan syarat minimum 17%, dan kadar aspal campuran minimum 6%. Nilai dari hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi semua persyaratan dari parameter diatas, selanjutnya diperoleh batas maksimum dan batas minimum. Nilai kadar aspal optimum ditentukan dari nilai tengah antara batas maksimum dan batas minimum dari grafik. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7, kemudian hasil dari tabel tersebut digambarkan dalam grafik pada Gambar 5.1. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat di Lampiran 14.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari KAO

Kadar Aspal (%)	<i>VITM</i> (%)	<i>VMA</i> (%)
5	7,65	18,4
5.5	7,45	19,22
6	6,94	19,76
6.5	5,67	19,65
7	3,7	18,96



Gambar 5.1 Penentuan KAO Campuran SMA 12,5 mm

Dari Gambar 5.1 diatas dapat dilihat bahwa kadar aspal minimum adalah 6,81 %, kadar aspal maksimum adalah 6,92 %, sehingga dapat ditentukan kadar aspal optimum adalah sebesar 6,87 %.

5.1.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Setelah didapatkan kadar aspal optimum maka kebutuhan agregat pada campuran SMA 12,5 mm pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Kebutuhan Agregat pada KAO Campuran SMA 12,5 mm

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inci	mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
¾"	19	100	100	100			
½"	12,5	90	100	95	5	55,88	55,88
3/8"	9,5	50	80	65	35	335,27	391,15
No. 4	4,75	20	35	27,5	72,5	419,09	810,23
No. 8	2,36	16	24	20	80	83,82	894,05
No. 200	0,075	8	11	9,5	90,5	117,34	1011,39
Pan		0	0	0	100	106,17	1117,56
Jumlah						1117,56	

5.1.6 Kebutuhan Filler Pengganti pada Kadar Aspal Optimum

Kebutuhan filler pengganti pada kadar aspal optimum campuran SMA 12,5 mm dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Kebutuhan Filler Pengganti pada KAO Campuran SMA 12,5 mm

% Pengganti Sekam Padi	0	25	50	75	100
Filler Debu Batu	106,17	79,63	53,08	26,54	0
Filler Abu Sekam Padi	0	20,30	40,60	60,90	81,20

5.1.7 Hasil Pengujian Campuran SMA 12,5 mm pada Kadar Aspal Optimum

Pengujian yang dilakukan pada campuran SMA 12,5 mm setelah didapatkan KAO adalah pengujian *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro*, dan Permeabilitas. Pada masing-masing pengujian diberikan variasi kadar abu sekam padi sebagai *filler* pengganti. Hasil yang diperoleh dari pengujian diatas dapat dilihat pada Tabel 5.10 sampai Tabel 5.14. Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 16 sampai Lampiran 21.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada KAO

Lama Perendaman 0 Jam							
Kadar Filler ASP (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1139	4,50	254	4,62	76,30	19,49	2,282
25	1231	5,05	244	4,34	77,46	19,18	2,278
50	1416	4,95	286	4,36	77,19	19,13	2,267
75	1322	5,69	232	4,39	77,01	19,08	2,256
100	1256	5,83	216	4,40	76,91	19,02	2,245
Spesifikasi				4		>17	
Lama Perendaman 48 Jam							
Kadar Filler ASP (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	970	4,28	227	4,73	75,84	19,58	2,279
25	1007	4,97	202	4,57	76,43	19,37	2,273
50	1091	4,65	235	4,47	76,73	19,23	2,265
75	1051	5,40	194	4,60	76,13	19,26	2,251
100	931	5,53	169	4,61	76,00	19,20	2,241
Spesifikasi				4		>17	
Lama Perendaman 96 Jam							
Kadar Filler ASP (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	826	4,00	206	4,85	75,37	19,68	2,277
25	896	4,64	194	4,69	75,94	19,48	2,270
50	1013	4,40	229	4,87	75,09	19,56	2,255
75	919	5,24	176	4,96	74,65	19,57	2,243
100	877	5,48	160	5,00	74,42	19,53	2,232
Spesifikasi				4		>17	

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Index of Retained Strength

Kadar Filler ASP (%)	Index of Retained Strength (%)		
	Lama Perendaman (Jam)		
	0	48	96
0	89,43	76,89	70,99
25	91,15	80,07	71,52
50	92,96	82,21	77,12
75	91,89	80,98	72,16
100	87,38	75,64	67,35

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Kadar <i>Filler</i> ASP (%)	ITS (kg/cm ²)		
	Lama Perendaman (Jam)		
	0	48	96
0	20,93	18,22	15,97
25	18,57	16,72	14,66
50	17,39	15,20	11,85
75	15,47	14,44	11,40
100	12,44	11,79	9,43

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro*

Kadar <i>Filler</i> ASP (%)	<i>Cantabro</i> (%)		
	Lama Perendaman (Jam)		
	0	48	96
0	7,5	17,27	23,11
25	10,18	21,54	24,25
50	10,38	24,97	42,43
75	60,17	62,54	78,33
100	74,26	77,59	90,15

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas

Kadar <i>Filler</i> ASP (%)	Koefisien Permeabilitas (k) (cm/detik)		Keterangan
	Tekanan 1:1	Tekanan 2:2	
0	$6,34 \times 10^{-4}$	$6,41 \times 10^{-4}$	Drainasi Jelek
25	$6,61 \times 10^{-4}$	$5,23 \times 10^{-4}$	Drainasi Jelek
50	$14,79 \times 10^{-4}$	$11,1 \times 10^{-4}$	Drainasi Jelek
75	$11,86 \times 10^{-4}$	$10,62 \times 10^{-4}$	Drainasi Jelek
100	$8,17 \times 10^{-4}$	$8,43 \times 10^{-4}$	Drainasi Jelek

Data dari hasil pengujian *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Cantabro* dengan parameter lama rendaman air laut terhadap karakteristik campuran SMA 12,5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dianalisis menggunakan analisis statistik *Anova*. Hasil analisis menggunakan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 24 dan Lampiran 29.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Uji Statistika *Anova* untuk Karakteristik *Marshall*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas (kg)	Signifikan	H ₁ diterima
<i>Flow</i> (mm)	Signifikan	H ₁ diterima
<i>MQ</i> (kg/mm)	Signifikan	H ₁ diterima

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Uji Statistika *Anova* untuk Karakteristik *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>IRS</i> (%)	Signifikan	H ₁ diterima
<i>ITS</i> (kg/cm ²)	Signifikan	H ₁ diterima
<i>Cantabro</i> (%)	Signifikan	H ₁ diterima

5.2 Pembahasan

5.2.1 Tinjauan Karakteristik Material

Pembahasan dari hasil uji pemeriksaan material campuran SMA 12,5 mm, yaitu aspal dan agregat adalah sebagai berikut.

1. Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal meliputi pengujian berat jenis aspal, penetrasi aspal, daktilitas, titik nyala, kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida, dan titik lembek. Berikut merupakan pembahasan mengenai hasil dari tiap pengujian diatas.

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Pada pengujian berat jenis aspal diperoleh nilai sebesar 1,055. Nilai tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $\geq 1,00$.

Penetrasi Aspal bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal padat yang diuji dengan beban dan waktu pada suhu tertentu. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah sebesar 61,5 mm. Hasil tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar 60 -70 mm.

Pengujian daktalitas aspal adalah untuk mengetahui keelastisitasan aspal atau untuk mengetahui ketahanan aspal terhadap retak. Aspal dengan nilai daktalitas rendah akan mengalami keretakan dalam penggunaannya karena mengalami perubahan suhu yang tinggi. Pada pengujian daktalitas aspal diperoleh nilai sebesar 164 cm. Nilai tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu ≥ 100 cm.

Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat kurang dari 5 detik pada suatu titik diatas permukaan aspal. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui suhu maksimum pemanasan aspal. Aspal tidak boleh dipanaskan melampaui batas tersebut karena mengakibatkan aspal menjadi keras dan getas, akibatnya perkerasan menjadi mudah retak dan kurang fleksibel. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 270° . Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $\geq 232^{\circ}$.

Pengujian Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (CCL_4) bertujuan untuk mengetahui kelarutan aspal dalam karbon Tetra Klorida, sehingga dapat diketahui persentase mineral yang terkandung di dalam aspal. Semakin besar persentase kelarutan aspal, berarti mineral yang terkandung dalam aspal semakin sedikit yang dapat mengganggu ikatan aspal terhadap batuan. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah sebesar 99,155%. Hasil tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar $\geq 99\%$.

Pengujian Titik Lembek bertujuan untuk menentukan kepekaan aspal terhadap suhu, yaitu ketika aspal mulai menjadi lunak pada suhu tertentu. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 48° . Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $\geq 48^{\circ}$.

2. Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar meliputi pengujian berat jenis agregat, penyerapan agregat terhadap air, kelekatan agregat terhadap aspal, dan keausan agregat dengan Mesin *Los Angeless*. Pembahasan mengenai hasil dari tiap pengujian adalah sebagai berikut.

Berat jenis agregat kasar adalah nilai perbandingan antara berat agregat kasar dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Agregat kasar

dengan berat jenis kecil akan mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama akan membutuhkan aspal yang banyak dan sebaliknya. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 2,651 . Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $\geq 2,5$.

Penyerapan agregat terhadap air berarti kemampuan agregat untuk menyerap air. Penentuan banyak pori ditentukan berdasarkan banyaknya air yang terabsorpsi agregat. Agregat dengan jumlah pori besar akan membutuhkan aspal lebih banyak karena banyak aspal yang terserap, akibatnya aspal menjadi lebih tipis. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 1,546%. Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase agregat yang terselimuti aspal terhadap keseluruhan permukaan. Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. *Hydrophilic* adalah sifat agregat yang mudah diresapi air, akibatnya agregat tidak mudah dilekati aspal dan ikatan aspal dengan agregat mudah lepas. *Hydrophobic* adalah sifat agregat yang tidak mudah terikat dengan air, tetapi mudah terikat dengan aspal. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 95%. Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $> 95\%$.

Keausan dengan Mesin *Los Angeles* dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan akibat pengikisan. Nilai keausan agregat adalah perbandingan antara berat bahan yang aus terhadap saringan No. 12 terhadap berat semula. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 11,908%. Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $< 40\%$.

3. Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus meliputi pengujian berat jenis agregat, penyerapan agregat terhadap air, dan *sand equivalent*. Pembahasan mengenai hasil dari tiap pengujian adalah sebagai berikut.

Berat jenis agregat halus adalah nilai perbandingan antara berat agregat halus dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 2,627 . Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $\geq 2,5$.

Penyerapan agregat terhadap air berarti kemampuan agregat untuk menyerap air. Penentuan banyak pori ditentukan berdasarkan banyaknya air yang terabsorpsi agregat. Agregat dengan jumlah pori besar akan membutuhkan aspal lebih banyak karena banyak aspal yang terserap, akibatnya aspal menjadi lebih tipis. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 2,350%. Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

Pengujian *Sand Equivalent* bertujuan untuk menentukan kadar debu, lumpur, atau kotoran lainnya pada agregat halus. Nilai *sand equivalent* menunjukkan kualitas kebersihan pasir. Agregat yang kotor akan memberikan pengaruh jelek pada kinerja perkerasan, seperti berkurangnya ikatan antara aspal dengan agregat akibat dari banyaknya kandungan lempung pada agregat tersebut. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 66,483%. Hasil tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $> 50\%$.

4. Karakteristik *Filler*

Pengujian karakteristik *filler* debu batu dan abu sekam padi sebagai *filler* pengganti dalam penelitian ini hanya pengujian berat jenis saja. Hasil dari pengujian berat jenis debu batu adalah $2,553 \text{ gr/cm}^3$ dan berat jenis abu sekam padi adalah $1,953 \text{ gr/cm}^3$. Berat *filler* dihitung berdasarkan berat volume dari masing – masing *filler*, oleh karena itu perlu diketahui berat jenis dari setiap jenis *filler*. Hal ini bertujuan untuk dapat mengetahui perbandingan berat yang sama dengan berat aslinya, sehingga dapat melingkupi volume yang sama.

5. Karakteristik Air Laut

Dari hasil pengujian, diperoleh derajat keasaman air laut sebesar 6,82. Kadar garam yaitu klorida (Cl^-) dan sulfat (SO_4) berturut-turut adalah sebesar 12,24 mg/L dan 20,90 mg/L. Dari kandungan tersebut dapat diketahui air laut mempunyai sifat korositas yang bersifat agresif.

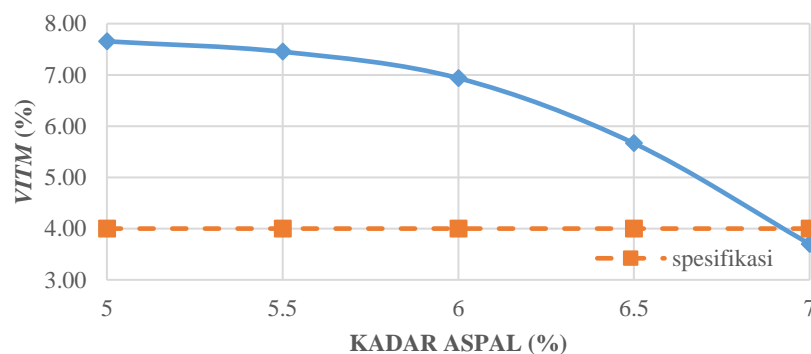
5.2.2 Tinjauan Karakteristik *Marshall* Mencari Nilai Kadar Aspal Optimum

Dasar perencanaan KAO pada campuran SMA adalah dengan menentukan parameter volumetrik campuran terutama rongga dalam campuran (*VITM*), rongga diantara mineral agregat (*VMA*), dan minimum kadar aspal 6%. Hasil pengujian *Marshall* dalam menentukan KAO campuran SMA 12,5 mm adalah sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Void In the Mix (VITM)*

VITM adalah volume total rongga udara yang tersisa pada campuran setelah dipadatkan. *Void* tersebut merupakan indikator durabilitas dan kemungkinan *bleeding*, sehingga *void* tidak terlalu kecil ataupun terlalu besar. Sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan oleh *AASHTO*, *VITM* untuk campuran *SMA* 12,5 mm adalah 4%.

Void yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran, ketidakseragaman bentuk agregat, kadar aspal dan faktor pemadatan. Durabilitas yang baik untuk campuran *SMA* 12,5 mm yang bergradasi senjang dapat dicapai dengan menggunakan kadar aspal yang tinggi dikarenakan *void* yang besar. Selimut aspal yang tebal akan dapat membungkus agregat dengan baik, campuran menjadi kedap air, sehingga kemampuan untuk menahan keausan semakin baik. Lapisan kedap air menyebabkan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi, aspal menjadi rapuh/getas, dan durabilitas menurun. Nilai *VITM* disajikan dalam grafik pada Gambar 5.2 berikut.

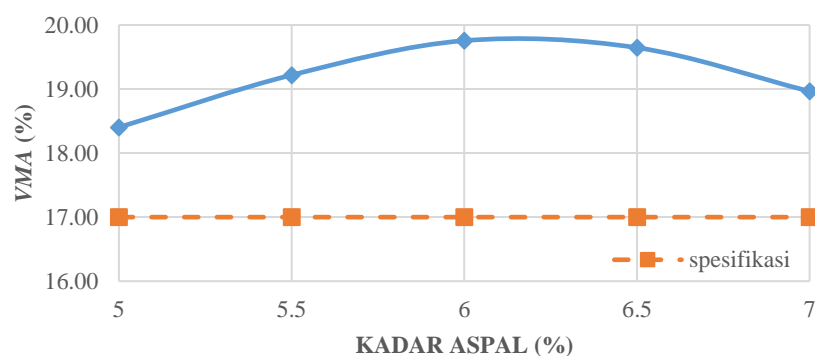


Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM*

Berdasarkan Grafik pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan aspal dapat mengisi lebih banyak rongga-rongga yang ada sehingga campuran menjadi lebih rapat dan rongga menjadi semakin kecil.

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

VMA adalah banyaknya rongga udara diantara butir-butir agregat dalam campuran aspal yang telah dipadatkan termasuk ruang yang terisi oleh aspal. Rongga minimum dalam agregat dibutuhkan untuk mencegah terjadinya kekurangan aspal dalam campuran yang mengakibatkan butiran dalam campuran lepas, campuran retak, sehingga umur layanan menjadi pendek. *VMA* juga dapat dijadikan indikator terhadap durabilitas campuran. *VMA* yang kecil menyebabkan aspal yang menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas mengakibatkan lapisan tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusak. Untuk mencapai *VMA* besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang. Faktor-faktor yang memengaruhi *VMA* antara lain gradasi agregat, energi pematat, dan kadar aspal. Nilai *VMA* disajikan dalam grafik pada Gambar 5.3 berikut.

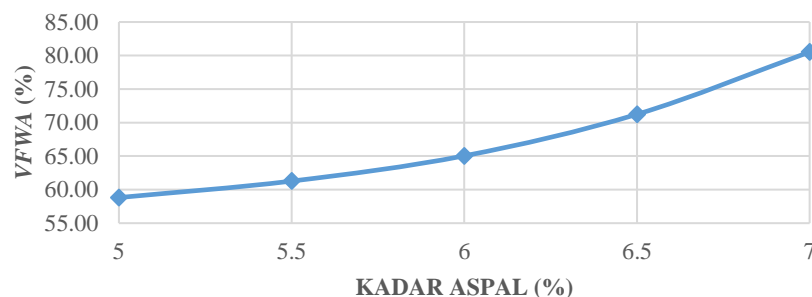


Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA*

Berdasarkan pada Gambar 5.3 nilai *VMA* pada campuran cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal, namun pada kadar 6,5% mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena adanya degradasi butiran agregat sehingga merubah susunan dan ukuran butiran. Campuran membentuk rongga partikel yang kecil, sehingga nilai *VMA* menjadi kecil. Dari grafik dapat diketahui bahwa nilai *VMA* telah memenuhi spesifikasi *AASHTO* yaitu minimum 17%.

3. Analisis Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume rongga yang terisi aspal dan tidak termasuk aspal yang terabsorpsi oleh butiran agregat. *VFWA* disebut juga dengan *film* aspal. Maka dari itu *VFWA* sangat mempengaruhi kekedapan campuran. Nilai *VFWA* yang terlalu rendah menyebabkan campuran bersifat porus dan mudah teroksidasi, menyebabkan campuran menjadi rusak. Sebaliknya Nilai *VFWA* yang besar menyebabkan campuran menjadi lentur karena rongga campuran cukup terisi oleh aspal. *VFWA* membantu campuran mampu menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) terhadap beban lalu lintas berat. Nilai *VFWA* disajikan dalam grafik pada Gambar 5.4 berikut.

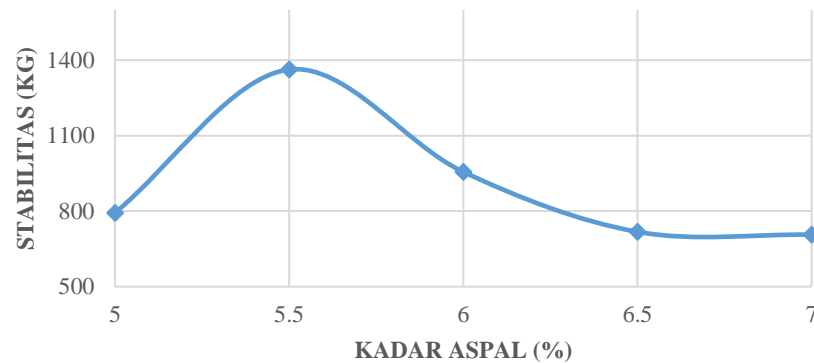


Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA*

Dilihat dari Gambar 5.4 nilai *VFWA* mengalami kenaikan dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya persentase kadar aspal pada campuran, maka semakin banyak rongga yang terselimuti aspal sehingga pengikatan antar agregat aspal menjadi optimal.

4. Analisis Pengaruh Kadar Aspal terhadap Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk. Stabilitas campuran terjadi karena adanya gesekan antar butiran (*internal friction*), penguncian antar partikel agregat (*interlocking*), dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Terlalu tinggi stabilitas menyebabkan campuran menjadi kaku sehingga mudah retak, namun apabila terlalu rendah campuran menjadi mudah mengalami *rutting* karena adanya beban lalu lintas. Nilai stabilitas disajikan dalam grafik pada Gambar 5.5 berikut.

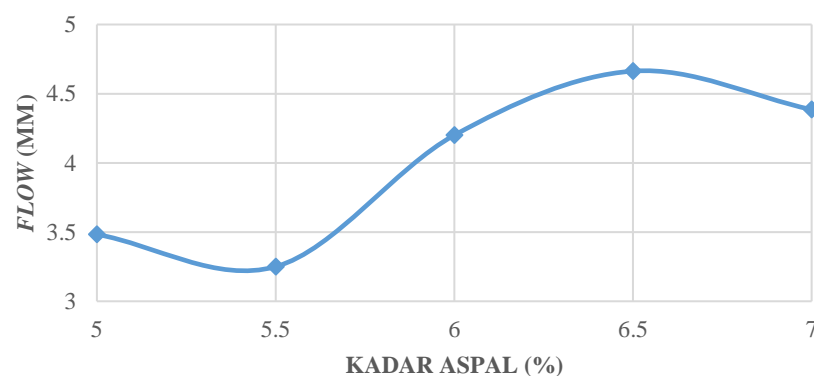


Gambar 5.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

Dari Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas mengalami kenaikan pada kadar aspal 5.5% selanjutnya mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase kadar aspal. Hal itu terjadi karena penambahan kadar aspal sudah tidak efektif lagi. Kadar aspal terlalu tinggi menyebabkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik, tebalnya selimut aspal mengakibatkan gesekan antar butiran menjadi berkurang.

5. Analisis Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Flow*

Flow merupakan indikator terhadap lentur atau fleksibilitas campuran. *Flow* semakin besar berarti menunjukkan bahwa campuran mampu mengikuti pembebanan (bersifat plastis) sehingga perkerasan tidak retak. Nilai *flow* disajikan dalam grafik pada Gambar 5.6 berikut.

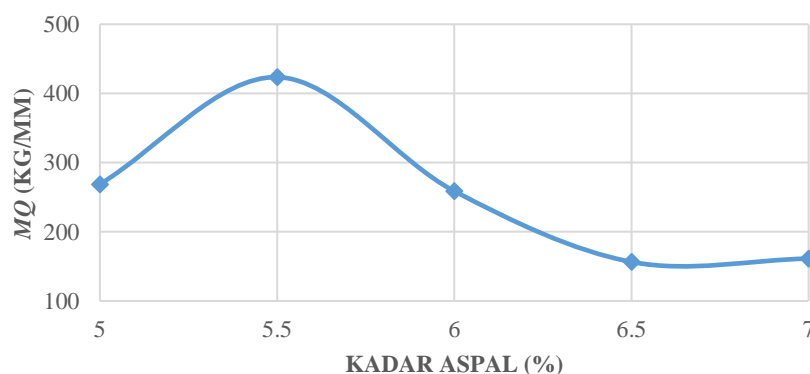


Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow*

Dari Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa nilai *flow* cenderung meningkat dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini dikarenakan karena banyaknya aspal yang mengisi rongga menjadikan kelelahan aspal semakin besar sehingga bersifat plastis.

6. Analisis Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *Marshall Quotient* merupakan hasil perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai *MQ* dapat dijadikan parameter kekakuan dan kelenturan suatu perkerasan. Apabila nilai *MQ* tinggi berarti campuran bersifat kaku dan tidak fleksibel ketika menerima beban, sebaliknya nilai *MQ* rendah berarti campuran bersifat lentur dan fleksibel dalam menerima beban. Nilai *MQ* disajikan dalam grafik pada Gambar 5.7 berikut.



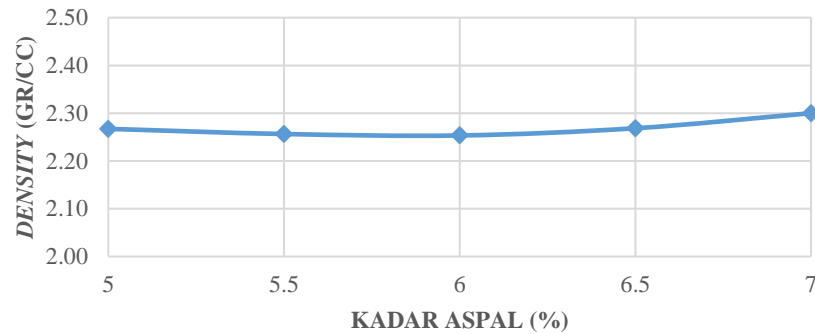
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *MQ*

Nilai *MQ* yang tinggi pada kadar aspal 5,5% terjadi karena nilai stabilitas tinggi tetapi nilai *flow* rendah, dan akhirnya menyebabkan campuran pada kadar aspal tersebut cenderung kaku. Pada kadar selanjutnya, nilai *MQ* semakin menurun karena nilai stabilitas menurun diiringi dengan meningkatnya nilai *flow* dan menghasilkan campuran yang bersifat fleksibel.

7. Analisis Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *Density*

Density merupakan nilai tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi *density* adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas penyusunnya, dan proses pemadatan. Campuran yang memiliki nilai kepadatan yang besar akan mampu menahan beban lebih

baik dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai kepadatan kecil. Nilai *density* disajikan dalam grafik pada Gambar 5.8 berikut.

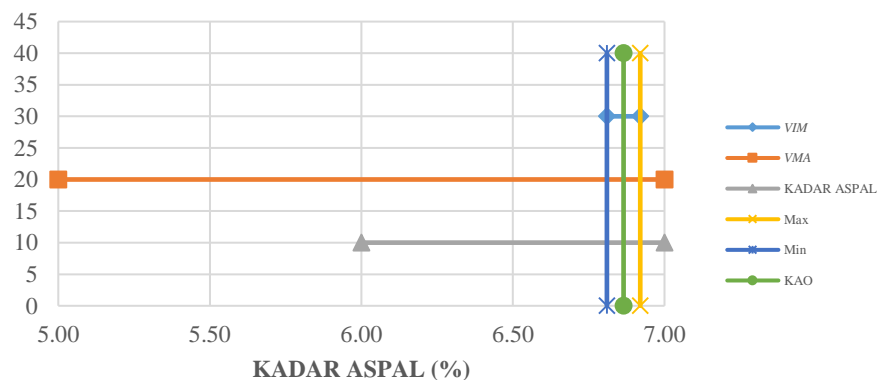


Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density*

Dari Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa nilai *density* pada kadar aspal 5,5% dan 6% menurun, hal ini disebabkan karena pada saat pemadatan kurang baik sehingga nilai kepadatannya berkurang.

8. Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum sangat penting dalam campuran karena dengan kadar aspal terlalu tinggi akan menyebabkan campuran mudah mengalami deformasi permanen. Demikian juga sebaliknya, kadar aspal yang terlalu rendah akan bersifat kering dan mengakibatkan campuran mudah retak. Nilai kadar aspal optimum ditentukan dari nilai tengah antara batas maksimum dan batas minimum dari grafik yang memenuhi persyaratan karakteristik yang digunakan. Hasil kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

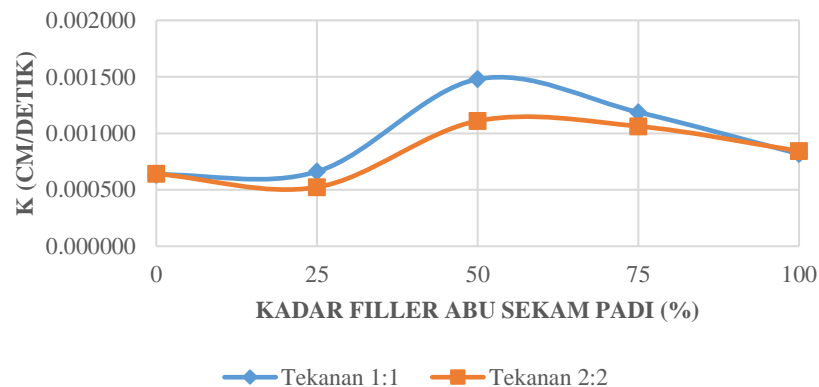


Gambar 5.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari Gambar 5.9 diatas dapat dilihat bahwa rentang yang memenuhi spesifikasi *AASHTO* dengan nilai minimal 6,81% dan nilai maksimal 6,92%, maka dapat ditentukan kadar aspal optimum adalah sebesar 6,87 %.

5.2.3 Tinjauan Karakteristik Permeabilitas pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi

Permeabilitas merupakan salah satu parameter untuk mengukur kemampuan struktur perkerasan aspal dalam menahan rembesan air yang dapat merusak lapisan perkerasan aspal. Air dan udara yang masuk ke dalam lapis perkerasan akan berpengaruh terhadap tingkat durabilitasnya. Pengujian permeabilitas yang dilakukan di Laboratorium Transportasi UGM menggunakan Tekanan 1.1 sebesar 1 kg/cm² dan Tekanan 2.2 sebesar 2 kg/cm². Hasil Pengujian permeabilitas campuran *SMA* 12,5 mm dapat dilihat dari grafik pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai Permeabilitas

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 5.14 yang digambarkan pada Gambar 5.10 diatas, campuran *SMA* 12,5 mm dari semua variasi kadar *filler* abu sekam padi mempunyai nilai permeabilitas kecil, sehingga bersifat drainase jelek. Semakin kecil nilai koefisien permeabilitas struktur perkerasan beraspal, maka semakin awet kekuatan lapisan perkerasannya. Grafik permeabilitas diatas menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas yang cenderung semakin meningkat, hal ini berkaitan

dengan volume rongga udara yang semakin besar dengan bertambahnya kadar *filler* abu sekam padi. Bertambahnya jumlah rongga udara pada campuran disebabkan karena tekstur permukaan *filler* yang kasar dan berpori menjadikan penyerapan aspal yang tinggi oleh abu sekam padi, sehingga *workability* campuran dan ikatan antar agregat menjadi berkurang. Dilihat dari hasil pengujian *Marshall*, nilai *VITM* campuran SMA 12,5 mm yang digambarkan pada Gambar 5.17, sedikit berbeda dengan hasil pengujian permeabilitas. Pada kadar abu sekam padi sebanyak 25%, hasil permeabilitas dan nilai *VITM* menunjukkan penurunan, yang berarti jumlah *void* berkurang. Selanjutnya pada kadar abu sekam padi sebanyak 50%, hasil permeabilitas meningkat tajam kemudian turun kembali. Namun nilai *VITM* dari hasil pengujian *Marshall* menunjukkan nilai *VITM* pada kadar abu sekam padi 50% semakin meningkat tanpa terjadi penurunan. Perbedaan hasil dari dua pengujian ini dapat disebabkan karena terjadi degradasi agregat pada saat pemadatan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Susanto, dkk (2014) yaitu abu sekam padi pada campuran *HRS-WC* memberikan nilai kedap yang baik (*practically impervious*).

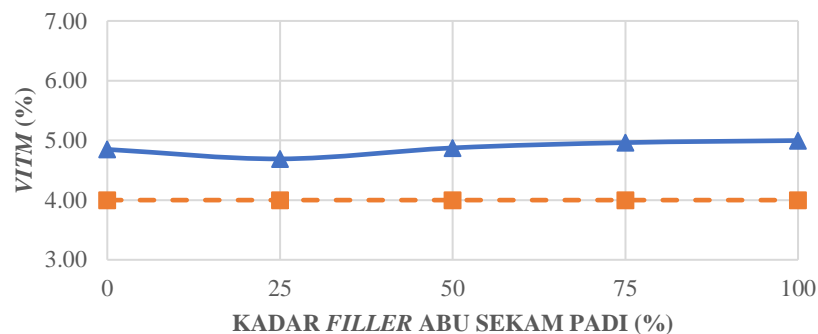
Permasalahan yang timbul apabila air masuk ke dalam campuran beton aspal adalah perkerasan akan sangat peka terhadap kerusakan struktural dan pergerakan udara di dalam lapis perkerasan, sehingga memiliki nilai durabilitas rendah. Material agregat memiliki daya tarik menarik yang lebih besar dengan air daripada dengan aspal, butir agregat mudah terlepas dan membentuk lubang Susanto, dkk (2014).

5.2.4 Tinjauan Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Setelah campuran SMA 12,5 mm dibuat dengan KAO yang sudah ditentukan, kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dimana campuran SMA 12,5 mm tersebut diberi perlakuan yaitu direndam air laut selama 24 jam, 48 jam, dan 96 jam. Campuran SMA 12,5 mm yang tidak direndam air laut adalah sebagai pembanding. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil yang menunjukkan beberapa perubahan dari kinerja campuran SMA 12,5 mm. Berikut adalah penjelasan mengenai hasil perubahan karakteristik *Marshall*.

1. Analisis Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi terhadap Nilai *Void In the Mix* (*VITM*)

Nilai *Void In the Mix* (*VITM*) pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.11 di bawah ini.

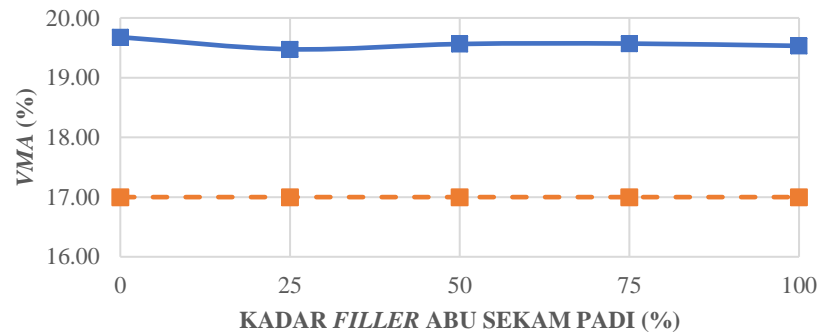


Gambar 5.11 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai *Void In the Mix* (*VITM*)

Dari Gambar 5.11 diatas dapat dilihat bahwa penggunaan *filler* abu sekam padi pada kadar *filler* 25% menyebabkan nilai *VITM* campuran mengalami penurunan, kemudian pada kadar *filler* 50% nilai *VITM* meningkat. Penurunan nilai *VITM* dikarenakan abu sekam padi mengisi rongga-rongga yang tersisa antar agregat, sehingga jumlah rongga berkurang. Sedangkan peningkatan nilai *VITM* disebabkan karena abu sekam padi memiliki tekstur permukaan yang kasar dan berpori besar menyebabkan *workability* campuran berkurang, sehingga ketika campuran dipadatkan menjadi kurang maksimal dan menghasilkan *void* yang besar. Namun hasil ini berbeda dengan penelitian Ismardani, dkk (2013) dan Susanto, dkk (2014) yaitu nilai *VITM* terus menurun seiring dengan penambahan kadar abu sekam padi. Hal ini dikarenakan dalam penelitian tersebut menggunakan campuran AC-BC dan HRS-WC dengan kadar aspal optimum berbeda-beda pada masing-masing kadar *filler* abu sekam padi.

2. Analisis Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Nilai *Void in Mineral Aggregate (VMA)* pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.12 di bawah ini.

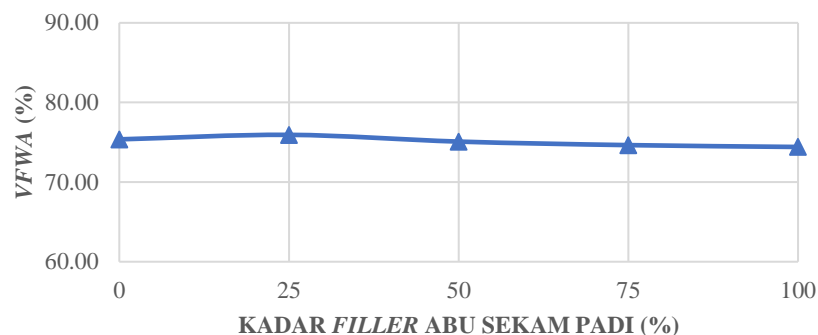


Gambar 5.12 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Dari Gambar 5.12 menunjukkan bahwa penambahan kadar abu sekam padi yang digunakan dalam campuran, mengakibatkan nilai *VMA* mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan penambahan *filler* pada campuran akan memperbesar rongga antar agregat akibat dari tekstur permukaan abu sekam padi yang kasar dan sangat berpori. Nilai *VMA* yang besar menunjukkan bahwa kerenggangan antar butir agregat yang besar. Hasil ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Ismardani, dkk (2013) yaitu nilai *VMA* pada campuran AC-BC meningkat, kemudian turun kembali.

3. Analisis Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi terhadap Nilai *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

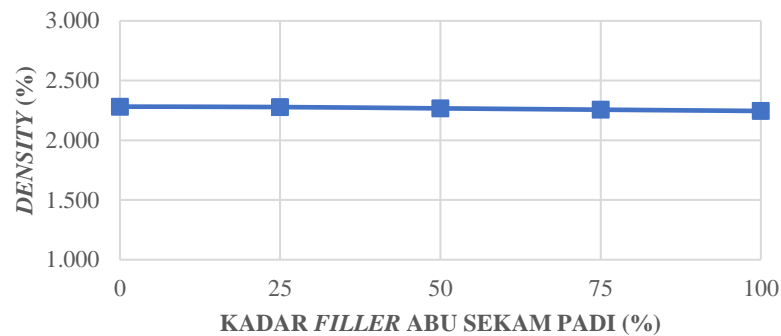
Nilai *Void Filled with Asphalt (VFWA)* pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.13 di bawah ini.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai *Void Filled with Asphalt* (VFWA)

Pada Gambar 5.13 dapat dilihat, nilai *VFWA* meningkat pada kadar *filler* abu sekam padi 25%, namun kemudian turun kembali pada kadar *filler* abu sekam padi 50%. Penurunan nilai *VFWA* disebabkan karena semakin banyaknya abu sekam padi, tidak diimbangi dengan kenaikan kadar aspal yang digunakan menyebabkan presentase rongga yang tidak terisi menjadi semakin banyak. Hal ini berkaitan dengan tekstur permukaan abu sekam padi yang kasar dan berpori mengakibatkan penyerapan aspal yang tinggi oleh abu sekam padi, sehingga menghasilkan film aspal yang tipis. Hasil ini berbeda dengan penelitian Susanto, dkk (2014) yaitu nilai *VFWA* meningkat seiring bertambahnya kadar *filler* abu sekam padi, hal itu disebabkan karena pada penelitian tersebut, penambahan *filler* abu sekam padi diikuti dengan peningkatan kadar aspal yang digunakan. Hal tersebut memungkinkan penyerapan aspal yang berlebih oleh abu sekam padi dapat teratasi.

4. Analisis Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi terhadap Nilai *Density*
 Nilai *Density* pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.14 di bawah ini.

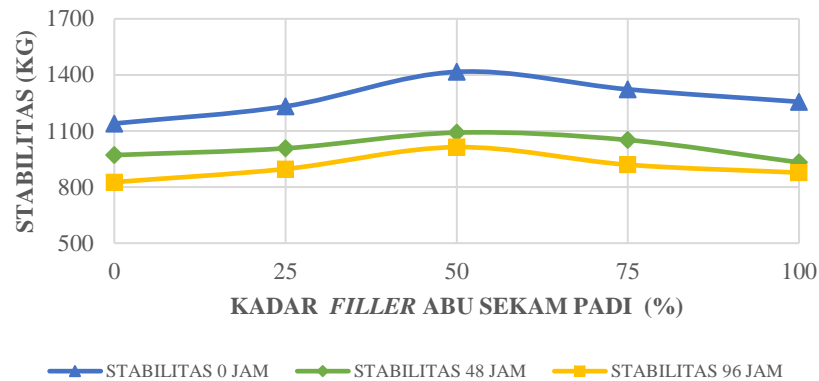


Gambar 5.14 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai *Density*

Pada Gambar 5.14 diatas, dapat dilihat bahwa penambahan *filler* abu sekam padi, menyebabkan nilai *density* semakin menurun. Dengan penambahan kadar *filler* abu sekam padi, maka aspal yang terserap juga semakin besar. Hal ini mengakibatkan jumlah rongga-rongga antar butiran semakin banyak, sehingga kepadatan campuran semakin berkurang. Hasil ini berbeda dengan penelitian Susanto, dkk (2014), yaitu nilai *density* semakin besar, seiring dengan bertambahnya kadar *filler* abu sekam padi. Hal ini terjadi karena penggunaan abu sekam padi yang semakin banyak, juga diikuti dengan penggunaan kadar aspal yang besar pula.

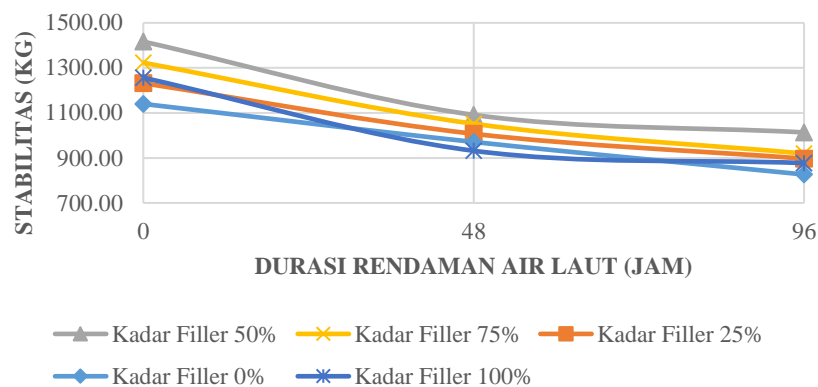
5. Analisis Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Variasi Rendaman Air Laut terhadap Nilai Stabilitas

Hasil pengujian stabilitas pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dan direndam air laut menunjukkan penurunan nilai stabilitas yang dapat dilihat dari grafik pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 di bawah ini.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai Stabilitas pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa pada perendaman yang sama penambahan kadar *filler* abu sekam padi menyebabkan nilai stabilitas cenderung naik sampai mencapai stabilitas maksimum yaitu pada kadar *filler* abu sekam padi 50% dan turun kembali pada kadar *filler* abu sekam padi 75%. Penambahan kadar *filler* abu sekam padi pada mulanya membantu meningkatkan kinerja stabilitas karena bersama dengan aspal membentuk mortar yang berperan sebagai pengisi rongga sehingga meningkatkan kepadatan, akan tetapi penambahan kadar *filler* yang berlebihan mengakibatkan nilai stabilitas menurun karena bertambahnya rongga dalam campuran, sehingga ikatan antar agregat dan daya ikat terhadap aspal menjadi lemah dan terpisah satu sama lain. Hal ini berkaitan dengan tekstur permukaan abu sekam padi yang kasar dan sangat berpori sehingga mengurangi *workability*. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Akbar dan Wesli (2012), yaitu penambahan kadar *filler* abu sekam padi akan meningkatkan stabilitas sampai nilai stabilitas maksimum kemudian mengalami penurunan.

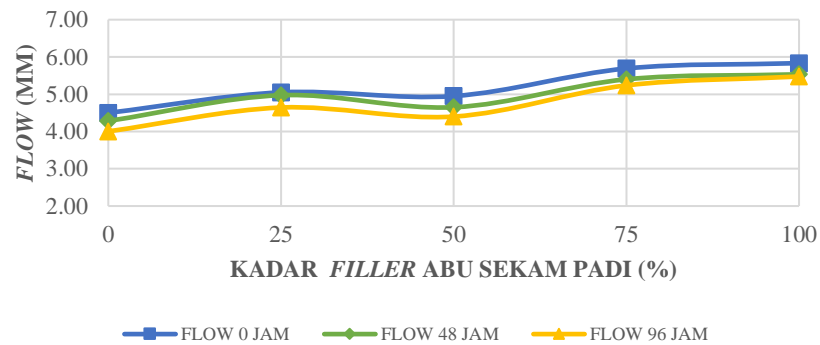


Gambar 5.16 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dengan Nilai Stabilitas pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi

Dari grafik pada Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa pada kadar *filler* yang sama terjadi penurunan nilai stabilitas seiring dengan bertambahnya lama durasi perendaman oleh air laut. Hal ini disebabkan karena air laut mengandung beberapa senyawa kimia dan bersifat asam sehingga bersifat merusak dan menurunkan kinerja campuran SMA 12,5 mm yaitu melemahkan kemampuan lekatan aspal dalam mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi. Dilihat dari grafik diatas, kadar *filler* abu sekam padi 50% lebih mampu menahan beban dalam kondisi terendam air laut. Penurunan nilai stabilitas terbesar pada rendaman air laut 48 jam terjadi pada kadar *filler* 100% yaitu 25,82% dan 30,49% pada kadar *filler* 75% rendaman air laut 96 jam. Setelah dilakukan analisis statistik dengan metode *anova*, didapatkan hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa lama rendaman air laut berpengaruh signifikan terhadap nilai stabilitas. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Prabowo (2003) dan Muaya, dkk (2015), yaitu terjadi penurunan nilai stabilitas karena direndam air laut.

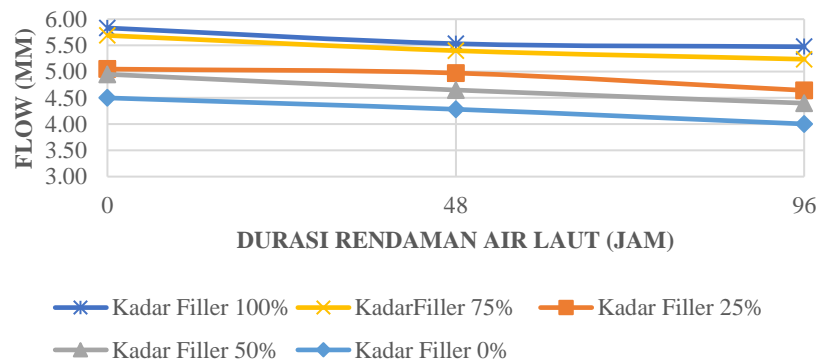
6. Analisis Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Variasi Rendaman Air Laut terhadap Nilai *Flow*

Nilai *flow* pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dan direndam air laut dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 di bawah ini.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai *Flow* pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari grafik pada Gambar 5.17 dapat dilihat bahwa nilai *flow* pada perendaman yang sama penambahan kadar *filler* abu sekam padi tidak menunjukkan pola yang jelas, namun cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena penambahan abu sekam padi membuat rongga campuran semakin besar, mengakibatkan campuran mudah mengalami deformasi saat dibebani lalu lintas akibat dari melemahnya ikatan antara agregat dengan aspal sehingga terus meningkatkan nilai *flow*-nya. Pada kadar *filler* abu sekam padi 50% nilai *flow* menurun, penurunan nilai *flow* mengindikasikan campuran SMA 12,5 mm pada kadar tersebut lebih kaku. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rosyidi, dkk (2012), yaitu nilai *flow* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *filler* abu sekam padi.

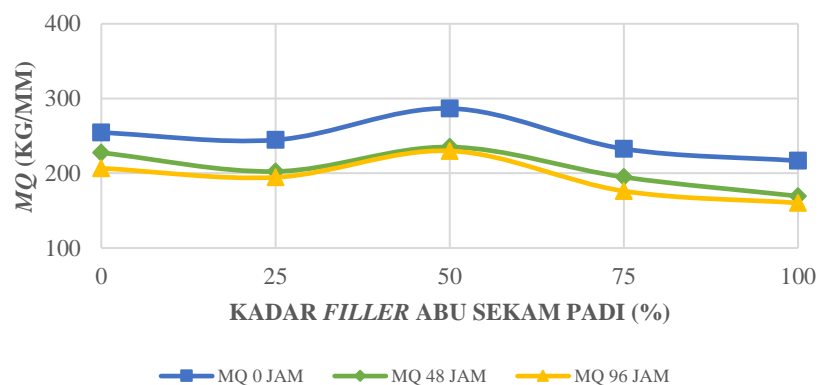


Gambar 5.18 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dengan Nilai *Flow* pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi

Grafik dalam Gambar 5.18 menunjukkan bahwa pada kadar *filler* yang sama terjadi penurunan nilai *flow* seiring dengan bertambahnya lama durasi rendaman oleh air laut. Campuran SMA 12,5 mm tersusun dari proporsi agregat kasar yang lebih banyak dari campuran beton aspal lainnya, sehingga memungkinkan SMA 12,5 mm mempunyai ketahanan yang baik terhadap deformasi vertikal akibat pembebanan. Penurunan nilai *flow* terbesar pada kadar *filler* abu sekam padi 50% yaitu sebesar 6,06% pada rendaman air laut 48 jam dan sebesar 11,11% pada rendaman air laut 96 jam. Setelah dilakukan analisis statistik dengan metode *anova*, didapatkan hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa lama rendaman air laut berpengaruh signifikan terhadap nilai *flow*. Hasil ini sedikit berbeda dengan penelitian Prabowo (2003) dan Muaya, dkk (2015), yaitu nilai *flow* akan meningkat seiring dengan semakin lamanya campuran beton aspal (*HRS-WC* dan *AC-WC*) direndam air laut.

7. Analisis Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Variasi Rendaman Air Laut terhadap Nilai *Marshall Quotient*

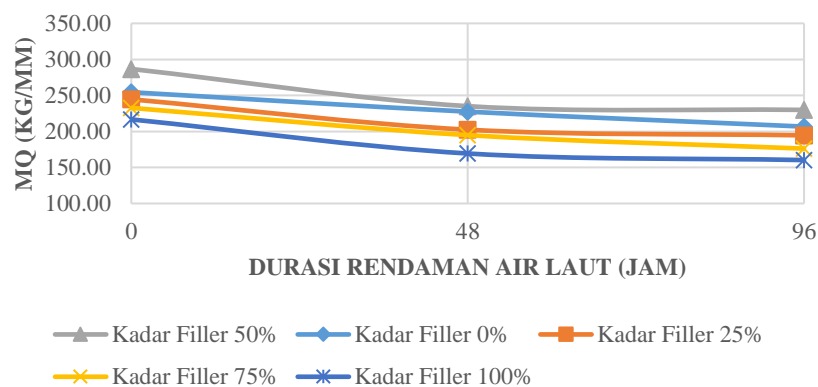
Nilai *Marshall Quotient* pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dan direndam air laut dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 di bawah ini.



Gambar 5.19 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai *MQ* pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa pada perendaman yang sama penambahan kadar *filler* abu sekam padi menyebabkan nilai *MQ* semakin naik dan mencapai puncaknya pada kadar *filler* abu sekam padi 50%. Peningkatan

nilai MQ disebabkan oleh kecenderungan kenaikan nilai stabilitas pada setiap penambahan kadar abu sekam padi. Selisih kenaikan *flow* cenderung lebih besar apabila dibandingkan dengan kenaikan stabilitas sehingga nilai *Marshall Quotient* menjadi semakin menurun apabila telah mencapai maksimum pada kadar abu sekam padi 75%. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ismardani, dkk (2013), yaitu nilai MQ akan naik sampai pada stabilitas maksimum, kemudian turun.

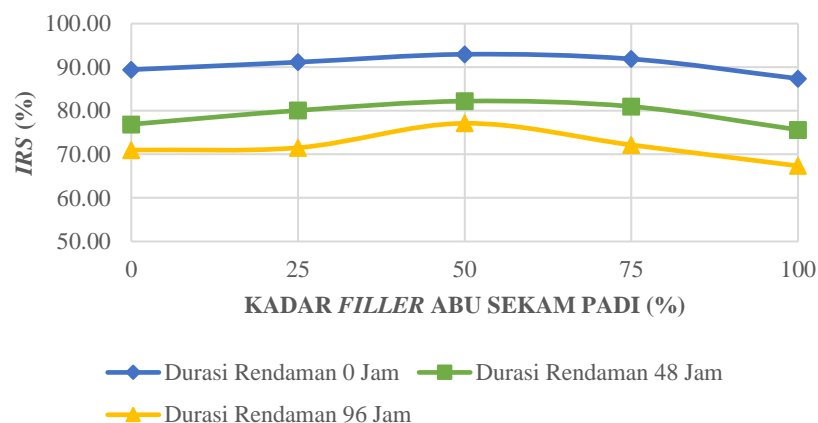


Gambar 5.20 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dengan Nilai MQ pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi

Grafik dalam Gambar 5.20 menunjukkan bahwa pada kadar *filler* yang sama terjadi penurunan nilai MQ seiring dengan bertambahnya lama durasi rendaman oleh air laut. Nilai MQ yang menurun disebabkan karena banyaknya senyawa-senyawa dan bersifat asam yang masuk ke dalam campuran SMA 12,5 mm. Hal ini berarti bahwa rendaman air laut dapat menurunkan kekakuan campuran. Penurunan nilai MQ terbesar terjadi pada kadar 100% sebanyak 21,82% pada lama rendaman 48 jam dan 26,05% pada lama rendaman 96 jam. Setelah dilakukan analisis statistik dengan metode *anova*, didapatkan hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa lama rendaman air laut berpengaruh signifikan terhadap nilai MQ . Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Muaya, dkk (2015), yaitu terdapat penurunan nilai MQ seiring dengan bertambahnya durasi perendaman air laut.

5.2.5 Tinjauan Karakteristik *Index of Retained Strength (IRS)* pada Berbagai Variasi Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Variasi Durasi Rendaman Air Laut

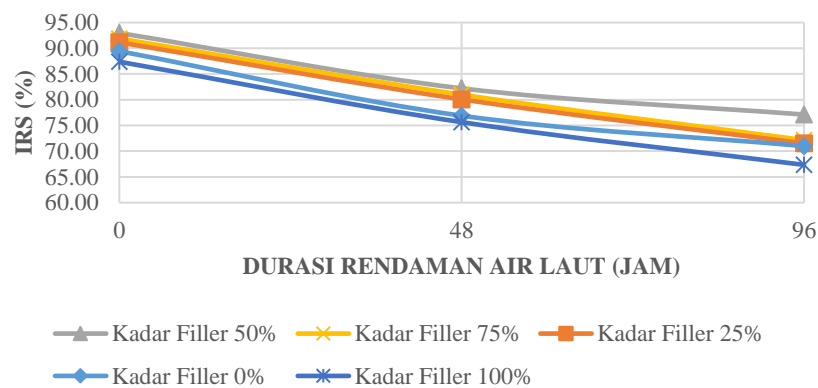
Index of Retained Strength merupakan perbandingan stabilitas antara *marshall* standar dan stabilitas *marshall* yang direndam dalam air pada suhu 60°C selama 24 jam, bertujuan untuk mengevaluasi keawetan campuran. Hasil pengujian pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dan direndam air laut dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 di bawah ini.



Gambar 5.21 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dengan Nilai *IRS* pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari grafik pada Gambar 5.21 dapat dilihat bahwa pada perendaman yang sama penambahan kadar *filler* abu sekam padi menyebabkan nilai *IRS* naik sampai pada kadar *filler* abu sekam padi 50% kemudian turun. Sedangkan pada kadar *filler* 75% mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan volume rongga yang semakin besar, mengakibatkan campuran menjadi kurang mampat dan tidak kedap air, campuran menjadi mudah teroksidasi yang menyebabkan ikatan antara aspal dengan agregat menjadi lemah yang pada akhirnya akan menurunkan keawetan campuran. Nilai koefisien permeabilitas juga semakin meningkat akibat dari semakin besarnya jumlah rongga (*VITM*), menyebabkan air laut yang bersifat asam ($\text{pH} < 7$) mudah

masuk ke dalam campuran mengakibatkan turunnya kinerja campuran SMA 12,5 mm. Hasil ini sejalan dengan yang dikemukakan oleh Lubis, dkk (2009) dalam penelitiannya yaitu abu sekam padi memberikan nilai keawetan lebih baik daripada *filler* semen.



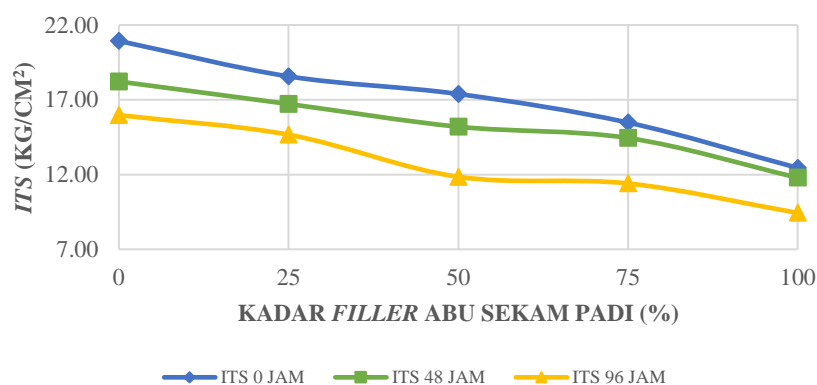
Gambar 5.22 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dengan Nilai *IRS* pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi

Grafik dalam Gambar 5.22 menunjukkan bahwa pada kadar *filler* yang sama terjadi penurunan nilai *IRS* seiring dengan bertambahnya lama durasi rendaman oleh air laut. Lamanya perendaman dapat menurunkan nilai stabilitas campuran, karena air laut bersifat asam sehingga menurunkan kinerja campuran SMA 12,5 mm akibat dari melemahnya ikatan antara aspal dengan agregat karena rongga campuran yang besar. Penurunan nilai *IRS* terbesar pada rendaman 48 jam yaitu pada kadar filler 0% sebesar 14,02% dan pada rendaman 96 jam terjadi pada kadar filler 100% yaitu sebesar 22,93%. Pada rendaman air laut 48 jam dan 96 jam, nilai *IRS* kurang dari batas minimal yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010 yaitu sebesar 90%. Namun, nilai *IRS* pada kedua rendaman tersebut masih memenuhi batas minimum persyaratan dari *Asphalt Institute*, yaitu 75%, kecuali pada kadar 0%, 25%, 75%, dan 100% rendaman 96 jam. Setelah dilakukan analisis statistik dengan metode *anova*, didapatkan hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa lama rendaman air laut berpengaruh signifikan terhadap nilai *IRS*. Hal ini sejalan dengan penelitian dari Lubis, dkk (2009) yang

menyebutkan bahwa nilai *IRS* mengalami penurunan seiring dengan lamanya waktu perendaman.

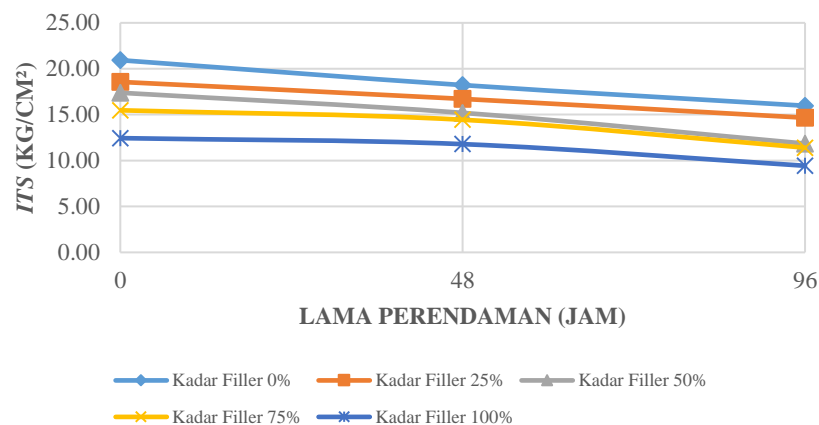
5.2.6 Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Laut

Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* ini dilakukan untuk mengetahui nilai gaya tarik tidak langsung campuran beraspal akibat beban lalu lintas. Hasil pengujian pada campuran *SMA* 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dan direndam air laut menunjukkan penurunan nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* yang dapat dilihat dari grafik pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 di bawah ini.



Gambar 5.23 Grafik Nilai *ITS* pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari grafik pada Gambar 5.23 diatas dapat dilihat bahwa nilai *ITS* pada perendaman yang sama penambahan kadar *filler* abu sekam padi mengalami penurunan. Penurunan ini dikarenakan penambahan *filler* abu sekam padi dengan tekstur permukaan yang kasar dan sangat berpori menyebabkan tingginya penyerapan aspal, oleh sebab itu volume rongga campuran semakin besar. Hal tersebut menjadikan film aspal tipis dan campuran menjadi peka terhadap oksidasi. Selanjutnya campuran akan mudah retak saat dibebani lalu lintas karena lekatan antara agregat dengan aspal menjadi lemah dibandingkan dengan campuran yang tidak menggunakan *filler* abu sekam padi.



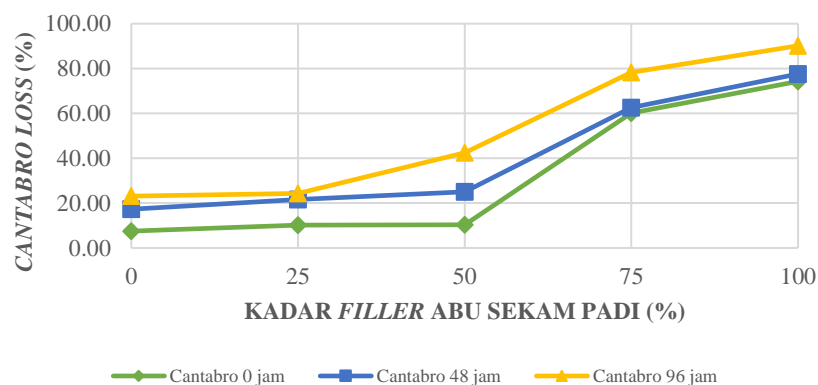
Gambar 5.24 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dengan Nilai ITS pada Berbagai Kadar Filler Abu Sekam Padi

Dari Gambar 5.24 dapat dilihat bahwa pada kadar *filler* yang sama nilai stabilitas ITS pada campuran SMA 12,5 mm semakin menurun seiring dengan bertambahnya lama durasi perendaman oleh air laut. Hal ini diakibatkan air laut menyebabkan turunnya sifat adhesi atau kerekatan antara aspal dengan agregat. Menurunnya kerekatan yang diakibatkan oleh air laut ini akan mengurangi kohesivitas dari campuran, sehingga kekuatan campuran akan menurun seiring dengan bertambahnya durasi perendaman. Nilai stabilitas ITS terendah pada kadar filler 100% untuk seluruh durasi perendaman air laut, namun penurunan terbesar terjadi pada kadar 0% sebesar 12,96% rendaman air laut 48 jam dan pada kadar 50% sebesar 31,86% rendaman air laut 96 jam. Setelah dilakukan analisis statistik dengan metode *anova*, didapatkan hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa lama rendaman air laut berpengaruh signifikan terhadap nilai ITS. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Rahim, dkk (2012) yang menyebutkan bahwa nilai ITS semakin kecil seiring dengan bertambahnya durasi perendaman air laut.

5.2.7 Nilai *Cantabro Loss* pada Berbagai Kadar Filler Abu Sekam Padi dan Variasi Durasi Rendaman Air Laut

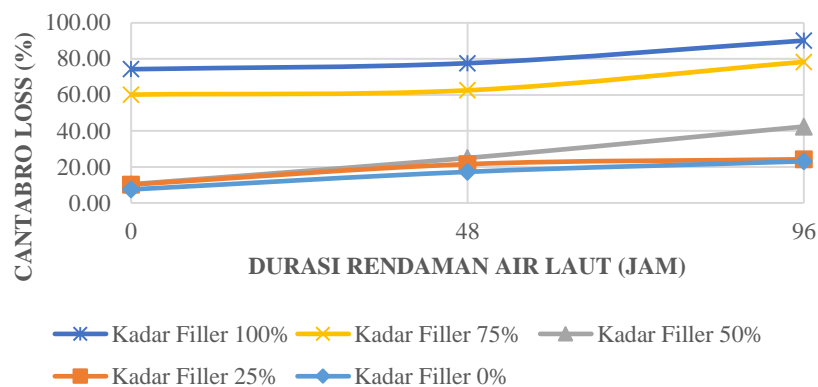
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap keausan. *Cantabro test* memberikan gambaran sejauh mana

ketahanan perkerasan aspal menahan gesekan roda kendaraan dengan permukaan jalan. Hasil pengujian pada campuran SMA 12.5 mm pada berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi dan direndam air laut dapat dilihat dari grafik pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 di bawah ini.



Gambar 5.25 Grafik Nilai *Cantabro Loss* pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Grafik dalam Gambar 5.25 menunjukkan bahwa nilai *cantabro loss* pada perendaman yang sama penambahan kadar *filler* abu sekam padi mengalami kenaikan, yang berarti semakin besar kadar *filler* abu sekam padi sebagai *filler* pengganti, maka semakin besar pula tingkat penurunan kekuatan campuran SMA 12,5 mm. Kenaikan yang tajam terjadi pada kadar *filler* 75% dan 100%. Kenaikan ini dikarenakan ikatan antara agregat dan aspal berkurang yang berkaitan dengan bertambahnya jumlah rongga dalam campuran. Udara dan air akan mudah masuk ke dalam campuran, mengakibatkan terjadinya oksidasi, dimana hal tersebut mempercepat pengelupasan aspal dari permukaan agregat yang pada akhirnya menjadikan campuran menjadi getas dan mudah aus ketika dibebani lalu lintas. Selain mempengaruhi kekuatan campuran, banyaknya rongga juga berpengaruh terhadap keawetan campuran. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Winayati, dkk (2018) yaitu semakin banyak persentase abu tandan sawit sebagai *filler*, maka nilai kehilangan berat semakin besar pula.



Gambar 5.26 Grafik Hubungan Durasi Perendaman Air Laut dengan Nilai *Cantabro* pada Berbagai Kadar *Filler* Abu Sekam Padi

Grafik dalam Gambar 5.26 menunjukkan bahwa pada kadar *filler* yang sama terjadi kenaikan nilai *cantabro loss* seiring dengan bertambahnya lama durasi perendaman oleh air laut. Hal ini disebabkan karena pada kondisi terendam air laut, campuran SMA 12,5 mm kurang memiliki kemampuan yang baik dalam menahan keausan oleh beban roda kendaraan akibat dari daya ikat antar agregat semakin buruk sehingga pemisahan agregat menjadi semakin besar. Persen kehilangan nilai *cantabro loss* pada campuran terbesar terjadi pada kadar 50% yaitu naik sebanyak 58,42% untuk rendaman 48 jam dan naik sebesar 75,53% untuk rendaman 96 jam. Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5.13, dapat dilihat persentase kehilangan berat pada kadar 0%, 25%, 50% (durasi rendaman air laut 0 jam) dan kadar 0% (durasi rendaman air laut 48 jam) masih memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu nilai keausan $\leq 20\%$. Setelah dilakukan analisis statistik dengan metode *anova*, didapatkan hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa lama rendaman air laut berpengaruh signifikan terhadap nilai *cantabro loss*. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Rahim, dkk (2012) yaitu nilai keausan semakin besar seiring dengan lama perendaman air laut.

5.2.8 Tinjauan Umum Karakteristik Campuran SMA 12,5 mm Akibat Pengaruh Kadar *Filler* Abu Sekam Padi dan Rendaman Air Laut

Dari pengujian campuran SMA 12,5 mm meliputi pengujian *Marshall*, permeabilitas, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Cantabro*, dapat dilihat bahwa pada kadar *filler* abu sekam padi 50% merupakan kadar *filler* optimum karena menunjukkan kinerja campuran SMA 12,5 mm yang baik.

Pada pengujian *Marshall* dapat diketahui bahwa nilai stabilitas naik sampai pada kadar *filler* abu sekam padi 50% (stabilitas maksimum), kemudian pada kadar *filler* selanjutnya mengalami penurunan. Nilai *flow* pada kadar tersebut mengalami penurunan, dan mengakibatkan kenaikan nilai *MQ* sehingga pada campuran tersebut campuran kaku namun menunjukkan performa yang baik ketika direndam air laut pada berbagai durasi rendaman. Nilai *VITM* semakin meningkat pada kadar *filler* abu sekam padi 50%, sehingga menurunkan nilai *VMA* dan *density* namun masih memenuhi spesifikasi *AASHTO* dan masih dapat memberikan pelayanan yang baik terhadap beban.

Pada pengujian permeabilitas dari berbagai variasi kadar *filler* abu sekam padi menunjukkan pola yang cenderung meningkat. Hal ini berkaitan dengan semakin banyaknya rongga udara di dalam campuran. Nilai koefisien permeabilitas paling kecil pada kadar *filler* abu sekam padi 25%, kemudian meningkat pada kadar *filler* abu sekam padi 50% dan masih tetap bersifat drainase jelek. Hal tersebut menunjukkan bahwa campuran masih mampu memberikan kekedapan yang baik.

Nilai *IRS* yang menunjukkan keawetan campuran pada berbagai durasi rendaman air laut, lebih tinggi pada kadar *filler* abu sekam padi 50%. Pada penambahan kadar *filler* abu sekam padi selanjutnya yaitu pada kadar 75% dan 100% nilai *IRS* mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar *filler* 50% campuran memiliki durabilitas yang baik. Durabilitas yang baik menunjukkan bahwa campuran mampu memberikan ketahanan yang baik terhadap pengaruh cuaca dan lalu lintas.

Nilai *ITS* pada setiap penambahan kadar *filler* abu sekam padi terus menurun. Pada saat direndam air laut, kadar *filler* abu sekam padi 50% masih menunjukkan performa yang lebih baik daripada kadar *filler* abu sekam padi 75% dan 100%.

Nilai *Cantabro Loss* semakin meningkat pada setiap penambahan kadar *filler* abu sekam padi, namun mengalami kenaikan tajam pada kadar *filler* abu sekam padi 75% dan 100%. Pada saat tidak direndam air laut kadar *filler* maksimum yang masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\leq 20\%$ adalah kadar *filler* 50%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kadar tersebut campuran SMA 12,5 mm masih dapat memberikan kekuatan yang cukup sehingga tahan terhadap keausan.