

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan Air Laut

Pengujian terhadap karakteristik agregat mengacu pada persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010, Revisi 3 dan dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah pengujian agregat kasar, agregat halus dan *filler* debu batu dengan material diperoleh dari Sungai Clereng. Sedangkan untuk *filler* serbuk batu bata, material diperoleh dari Kabupaten Godean. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2, dan Tabel 5.3. Tabel hasil pengujian karakteristik agregat selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis	Min. 2,5	2,6515	Memenuhi
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	Mak. 3	1,5382	Memenuhi
3.	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	Min. 95	95	Memenuhi
4.	Keausan dengan mesin <i>Los Angeless</i> (%)	Mak. 40	11,908	Memenuhi

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis	Min. 2,5	2,7064	Memenuhi
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	Mak. 3	2,4895	Memenuhi
3.	<i>Sand Equivalent</i> (%)	Min. 50	71,241	Memenuhi

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian *Filler*

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1.	Berat Jenis <i>Filler</i> Debu Batu	2,5532
2.	Berat Jenis <i>Filler</i> Serbuk Batu Bata	2,41

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Air Laut

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
			A.003
1.	Ph	-	6,82
2.	Klorida (Cl)	mg/L	12,240
3.	Sulfat (SO ₄)	mg/L	20,9

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 yang tersedia di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Persyaratan spesifikasi yang digunakan pada pengujian ini adalah spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan jenis pengujian meliputi berat jenis aspal, penetrasi, daktilitas, titik nyala, kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (CCL₄), dan pengujian titik lembek. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan untuk hasil pengujian karakteristik aspal selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian		Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis		Min. 1,0	1,0751	Memenuhi
2.	Penetrasi	(0,1 mm)	60-70	61,5	Memenuhi
3.	Daktilitas	(cm)	Min. 100	164	Memenuhi
4.	Titik Nyala dan Bakar	(°C)	Min. 232	270 & 290	Memenuhi
5.	Kelarutan CCL ₄	(%)	Min. 99	100	Memenuhi
6.	Titik Lembek	(°C)	Min. 48	48	Memenuhi

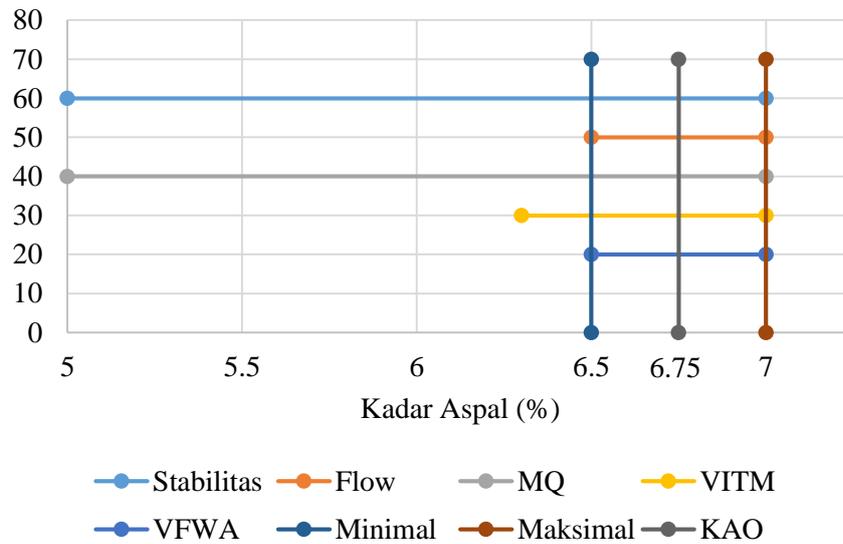
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran SMA 0/11 untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian campuran SMA 0/11 dengan berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII diperoleh nilai-nilai karakteristik *Marshall* yang meliputi stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), dan kepadatan (*density*). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5, kemudian hasil dari tabel tersebut dapat digambarkan dalam bentuk grafis pada Gambar 5.1 untuk menentukan KAO.

KAO pada campuran SMA 0/11 ditentukan dengan melihat kriteria parameter pada karakteristik *Marshall*, yaitu nilai stabilitas dengan persyaratan ≥ 670 kg, nilai *flow* dengan persyaratan 2–4 mm, nilai *marshall quotient* dengan persyaratan 190-300 kg/mm, nilai *VITM* dengan persyaratan 3-5%, dan nilai *VFWA* dengan persyaratan 76-82%. Dari hasil uji karakteristik *Marshall* yang memenuhi semua kriteria parameter tersebut, maka diperoleh batas maksimum dan batas minimum. Nilai KAO diperoleh dari nilai tengah antara batas maksimum dan batas minimum. Hasil pengujian penentuan kadar aspal optimum selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	998	4,38	245	7,20	61,32	17,85	2,2912
5,5	1105	4,14	264	6,72	63,55	18,42	2,2874
6	1208	4,605	264	5,35	70,59	18,22	2,3053
6,5	1096	3,967	275	4,72	74,70	18,66	2,3051
7	1029	3,46	297	3,24	82,36	18,38	2,3255
SMA	>670	>2-4	>190-300	>3-5	>76-82		



Gambar 5. 1 Penentuan KAO Campuran

Dari grafik penentuan KAO diatas, diperoleh kadar aspal minimum sebesar 6,5% dan kadar aspal maksimum sebesar 7% sehingga didapatkan nilai tengah antara batas maksimum dan batas minimum sebesar 6,75%.

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran SMA 0/11 pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian campuran SMA 0/11 pada KAO dengan variasi durasi rendaman air laut yang meliputi pengujian *Marshall*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Stength (ITS)*, *Cantabro*, dan permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 5.11 sampai 5.15. Untuk hasil selengkapnya dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall pada KAO

Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> dengan Durasi Rendaman Air Laut 0 jam							
Kadar Filler SBB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1347	4,70	287	4,79	74,99	19,15	2,2872
25	1438	4,36	333	4,92	74,64	19,24	2,2814
50	1685	4,10	413	6,44	68,64	20,51	2,2424
75	1336	4,61	290	5,81	70,92	19,97	2,2547
100	1220	4,40	278	4,29	76,98	18,66	2,2884
SMA	>670	>2-4	>190-300	>3-5	>76-82		

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada KAO

Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> dengan Durasi Rendaman Air Laut 48 jam							
Kadar Filler SBB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1229	4,51	277	4,24	77,42	18,68	2,3003
25	1312	4,13	329	4,80	74,99	19,14	2,2843
50	1474	3,93	379	5,88	70,65	20,04	2,2557
75	1238	4,36	284	4,90	74,45	19,20	2,2765
100	1185	4,06	294	4,15	77,77	18,54	2,2918
SMA	>670	>2-4	>190-300	>3-5	>76-82		
Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> dengan Durasi Rendaman Air Laut 96 jam							
Kadar Filler SBB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1136	4,15	273	4,06	78,45	18,53	2,3046
25	1250	3,95	317	4,53	76,10	18,92	2,2906
50	1306	3,76	348	5,59	73,06	19,80	2,2626
75	1167	4,12	283	4,76	75,16	19,07	2,2799
100	1128	3,91	290	3,98	78,47	18,40	2,2959
SMA	>670	>2-4	>190-300	>3-5	>76-82		

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength*

Kadar Filler SBB (%)	Nilai <i>IRS</i> (%)		
	Durasi Rendaman Air Laut (Jam)		
	0	48	96
0	84,6233	83,0071	77,0195
25	87,6568	86,3030	81,6205
50	95,2117	92,4395	89,2102
75	93,4875	91,1163	85,1072
100	89,8210	89,0465	82,4736

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Kadar <i>Filler</i> SBB (%)	Nilai <i>ITS</i> (kg/cm ²)		
	Durasi Rendaman Air Laut (Jam)		
	0	48	96
0	31,4970	28,7482	23,6627
25	31,8515	29,3658	25,1904
50	32,8287	29,5381	26,3219
75	28,5687	25,0318	23,3515
100	24,1336	21,4034	21,2291

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro*

Kadar <i>Filler</i> SBB (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)		
	Durasi Rendaman Air Laut (Jam)		
	0	48	96
0	3,8165	6,1595	7,4914
25	3,8796	7,4196	12,4247
50	5,6618	9,0900	14,2759
75	6,1280	2,0323	23,8433
100	1,6892	4,4114	42,7691

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas

Kadar <i>Filler</i> SBB (%)	Koefisien Permeabilitas (k) (cm/detik)		Keterangan
	Tekanan 1:1	Tekanan 2:2	
0	$7,92 \times 10^{-4}$	$7,64 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek/Kedap Air
25	$4,98 \times 10^{-4}$	$6,09 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek/Kedap Air
50	$5,39 \times 10^{-4}$	$6,35 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek/Kedap Air
75	$2,44 \times 10^{-4}$	$2,60 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek/Kedap Air
100	$4,96 \times 10^{-4}$	$5,80 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek/Kedap Air

Dari data seperti karakteristik *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro*, dan permeabilitas dengan variasi durasi rendaman air

laut terhadap karakteristik campuran SMA 0/11 yang menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 dilakukan analisis menggunakan statistik *Anova*. Hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 dan untuk analisis selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *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)	Tidak Signifikan	H ₀ Diterima

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Anova* untuk Karakteristik *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>IRS</i> (%)	Signifikan	H ₁ Diterima
<i>ITS</i> (%)	Signifikan	H ₁ Diterima
<i>Cantabro Loss</i> (%)	Signifikan	H ₁ Diterima

5.2 Pembahasan

1.2.1 Karakteristik Bahan Susun Campuran

Berikut merupakan pembahasan mengenai karakteristik bahan susun campuran yang sudah dilakukan pengujian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII.

1. Karakteristik Aspal

Bahan ikat yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal Pertamina Pen 60/70 dengan pembahasan karakteristiknya sebagai berikut.

a. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal terhadap berat air suling atau *aquades* pada suhu tertentu dengan volume yang sama. Pengujian berat jenis aspal Pertamina Pen 60/70 diperoleh hasil sebesar 1,0751 dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 1,00.

b. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal dimaksudkan untuk menentukan nilai penetrasi sehingga dapat diketahui mutu dan tingkat kekerasan aspal tersebut dengan cara aspal diberi beban pada waktu dan suhu tertentu. Pengujian penetrasi pada aspal Pertamina Pen 60/70 diperoleh nilai 61,5 mm dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu antara 60-70 mm.

c. Daktilitas

Pengujian daktilitas dimaksudkan untuk mengetahui nilai keelastisitas aspal dan sifat kohesi pada aspal yang berpengaruh pada fleksibilitas campuran sehingga dapat menahan lendutan. Pengujian daktilitas pada aspal Pertamina Pen 60/70 diperoleh hasil sepanjang 164 cm dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 100 cm.

d. Titik Nyala dan Bakar

Pengujian titik nyala dan bakar dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar guna menentukan temperatur maksimal pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar dan struktur serta sifat kimianya tidak berubah pada saat pemanasan aspal. Pengujian titik nyala pada aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 270°C sedangkan untuk nilai titik bakarnya sebesar 290°C dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 232°C.

e. Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (CCL₄)

Pengujian kelarutan dimaksudkan untuk mengetahui kadar aspal yang larut dalam Karbon Tetra Klorida (CCL₄) sehingga dapat diketahui persentase kandungan mineral lain yang terkandung dalam aspal. Mineral lain yang terkandung di dalam aspal dapat mengganggu ikatan antar aspal dengan agregat, maka semakin besar nilai persentase kelarutannya berarti kandungan mineral lainnya semakin kecil. Pengujian kelarutan pada aspal Pertamina Pen 60/70 diperoleh hasil

sebesar 100% dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 99%.

f. Titik Lembek

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur. Pada pengujian titik lembek pada aspal Pertamina Pen 60/70 diperoleh nilai sebesar 48°C dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 48°C.

2. Karakteristik Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng Kabupaten Kulonprogo yang memiliki karakteristik sebagai berikut.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat merupakan perbandingan antara berat volume agregat dan volume air pada temperatur tertentu. Berat jenis agregat direncanakan untuk menentukan banyaknya pori, sehingga apabila agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar maka dengan berat yang sama dibutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak dan juga sebaliknya. Pada pengujian berat jenis agregat kasar Clereng diperoleh nilai sebesar 2,6515 dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 2,5.

b. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh. Agregat dengan kadar pori yang besar memiliki penyerapan yang besar dan lebih banyak membutuhkan aspal untuk mengisi pori agregat. Pada pengujian penyerapan agregat terhadap air diperoleh hasil sebesar 1,5382 dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu maksimal 3%.

c. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal terhadap keseluruhan permukaan. Pada pengujian kelekatan agregat terhadap aspal diperoleh hasil sebesar 95% dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 95%.

d. Keausan dengan Mesin *Los Angeless*

Pengujian keausan dengan mesin *Los Angeless* dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan terhadap penghancuran (drgradasi), fungsinya adalah mengetahui kemampuan agregat untuk menahan gesekan, dihitung berdasarkan kehancuran agregat tersebut. Pada pengujian keausan dengan mesin *Los Angeless* diperoleh hasil sebesar 11,908% dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu maksimal 95%.

3. Karakteristik Agregat Halus dan *Filler*

Berikut merupakan pembahasan mengenai karakteristik agregat halus dan *filler* yang digunakan dalam pembuatan benda uji pada penelitian ini.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat merupakan perbandingan antara berat volume agregat dan volume air pada temperatur tertentu. Pada pengujian berat jenis agregat halus Clereng diperoleh nilai sebesar 2,7064 dan nilai tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 2,5.

b. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh. Agregat dengan kadar pori yang besar memiliki penyerapan yang besar dan lebih banyak membutuhkan aspal. Pada pengujian penyerapan agregat terhadap air diperoleh hasil sebesar 2,4895 dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu maksimal 3%.

c. *Sand Equivalent*

Pengujian *sand equivalent* dilakukan untuk mengetahui kualitas agregat halus, yaitu untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat dari bahan yang dapat merugikan seperti debu, lempung, atau kotoran lainnya. Pada pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng diperoleh hasil sebesar 71,241% dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010 dengan persyaratan pengujian yaitu minimal 50%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa agregat halus Clereng cukup bersih dan mengandung sedikit debu, lumpur, ataupun kotoran lainnya.

d. *Filler Debu Batu*

Filler debu batu adalah suatu mineral agregat berbutir halus yang lolos saringan No. 200. Pengujian untuk mencari berat jenis pada *filler* debu batu diperoleh dari perbandingan antara berat volume *filler* dan volume air pada temperatur tertentu. Pada pengujian berat jenis *filler* debu batu Clereng diperoleh nilai sebesar 2,5532.

e. *Filler Serbuk Batu Bata*

Serbuk batu bata pada pengujian ini adalah suatu mineral agregat berbutir halus yang lolos saringan No. 200 yang berperan sebagai *filler* pengganti. Pada pengujian berat jenis *filler* pengganti SBB dari kabupaten Godean diperoleh dari perbandingan antara berat volume *filler* dan volume air pada temperatur tertentu, kemudian diperoleh berat jenis sebesar 2,41.

4. Kandungan Air Laut

Air laut yang digunakan untuk perendaman benda uji didapatkan dari Pantai Utara Kaligawe dan diuji di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian diperoleh nilai keasaman (pH) sebesar 6,82, Klorida (Cl) 12,240 mg/L dan Sulfat (SO₄) sebesar 20,9 mg/L.

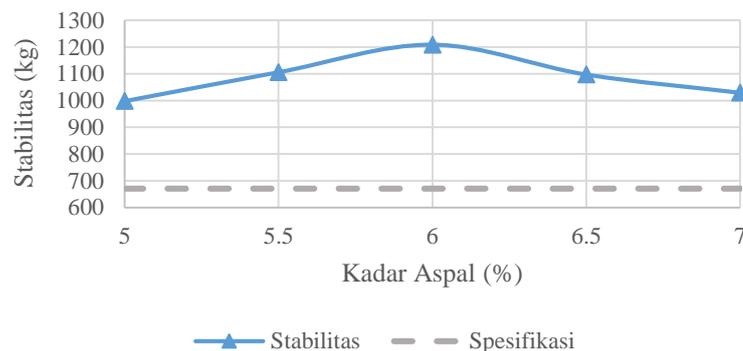
1.2.2 Tinjauan Karakteristik *Marshall* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum (KAO) pada campuran SMA 0/11 ditentukan dengan melihat kriteria parameter pada karakteristik *Marshall*, yaitu berdasarkan nilai

stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient (MQ)*, *VITM*, dan *VFWA*. Pembahasan dari hasil pengujian karakteristik *Marshall* untuk mencari KAO pada campuran *SMA 0/11* adalah sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan dari suatu perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas adalah gesekan antar butir, kohesi atau daya ikat yang baik dari aspal, dan juga penguncian antar agregat. Faktor-faktor tersebut dipengaruhi oleh kekerasan batuan, gradasi agregat, bentuk butiran agregat, kadar aspal, dan tingkat kepadatan campuran. Hasil nilai stabilitas pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



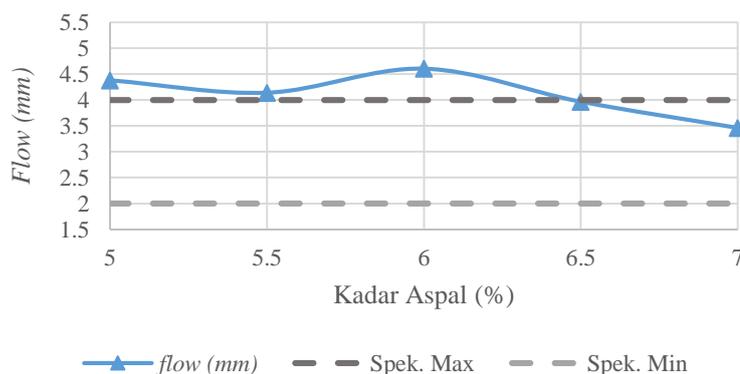
Gambar 5. 2 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik stabilitas pada Gambar 5.2, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, namun apabila sudah mencapai kondisi optimum, maka nilai stabilitas akan menurun. Hal ini disebabkan semakin banyaknya kadar aspal menyebabkan selimut aspal menjadi tebal dan mengakibatkan gesekan antar butiran berkurang, dan juga nilai kohesi menjadi menurun antara aspal dan agregat.

2. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Flow*

Kelelahan plastis (*flow*) adalah indikator terhadap lentur suatu campuran aspal dimana besarnya deformasi yang terjadi saat awal pembebanan sampai

pada kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh viskositas aspal, suhu, gradasi agregat, dan tingkat kepadatan campuran. Tingginya nilai *flow* mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengindikasikan campuran tersebut memiliki rongga yang tidak terisi oleh aspal sehingga durabilitasnya rendah. Hasil nilai *flow* pada campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.

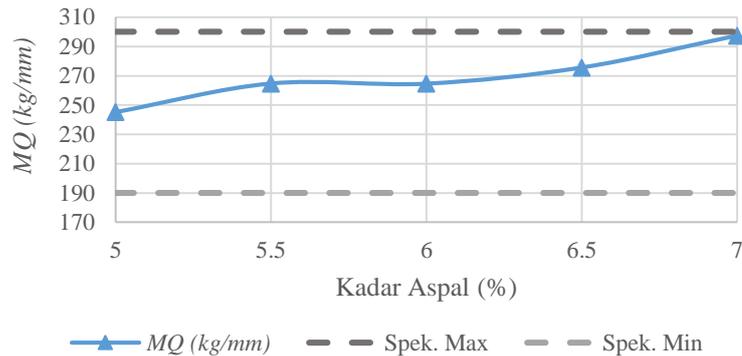


Gambar 5. 3 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Flow

Berdasarkan grafik *flow* pada Gambar 5.3 diatas, nilai *flow* seiring bertambahnya kadar aspal pada umumnya menunjukkan nilai yang semakin meningkat karena dengan bertambahnya kadar aspal maka campuran akan semakin bersifat plastis, sehingga akan dengan mudah mengalami deformasi saat menerima beban. Pada kadar aspal 6% merupakan puncak kondisi plastis campuran, namun seiring bertambahnya kadar aspal membuat nilai *flow* menurun yang menyebabkan durabilitas campuran menjadi rendah. Menurut Lake, dkk (2010) seiring bertambahnya kadar aspal menyebabkan nilai *flow* semakin tinggi, tetapi setelah mencapai nilai maksimum, *flow* akan menurun seiring dengan kadar aspal yang lebih tinggi.

3. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Marshall Quotient (MQ)*
 Nilai *MQ* diperoleh dari rasio nilai stabilitas terhadap *flow*. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan campuran tersebut kaku dan fleksibilitasnya rendah,

dengan demikian akan mudah terjadi *cracking* akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang. Sebaliknya nilai MQ yang rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan lapis keras akan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Hasil nilai MQ pada campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.

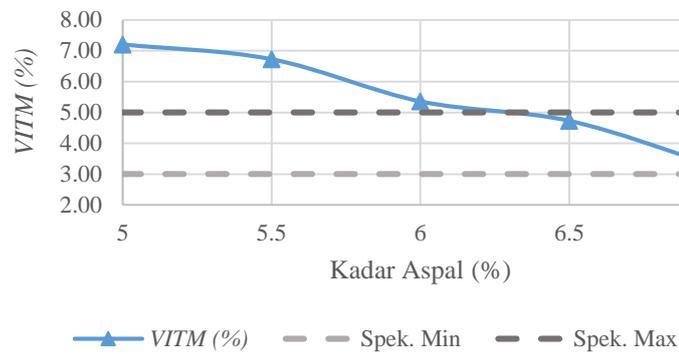


Gambar 5. 4 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai MQ

Pada Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa nilai MQ semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Kondisi optimum terjadi pada kadar aspal 7% dan pada kadar tersebut campuran bersifat kaku. Hal tersebut dikarenakan pada kadar 7% diperoleh nilai stabilitas dan *flow* yang rendah, karena gesekan antar agregat yang kurang baik dan daya tahan campuran yang rendah menyebabkan campuran tidak fleksibel.

4. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap $VITM$

$VITM$ adalah persentase rongga atau *void* yang tersisa setelah campuran dipadatkan. $VITM$ dalam suatu campuran dibutuhkan sebagai tempat bergesernya butir-butir agregat baik akibat repetisi beban lalu lintas maupun ketika aspal berubah menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Nilai $VITM$ yang terlalu besar menyebabkan campuran kurang kedap air, sehingga dapat meningkatnya oksidasi aspal yang akan mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas campuran. Namun, jika nilai $VITM$ terlalu kecil akan mengakibatkan terjadinya *bleeding* jika temperatur meningkat. Hasil nilai $VITM$ pada campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.

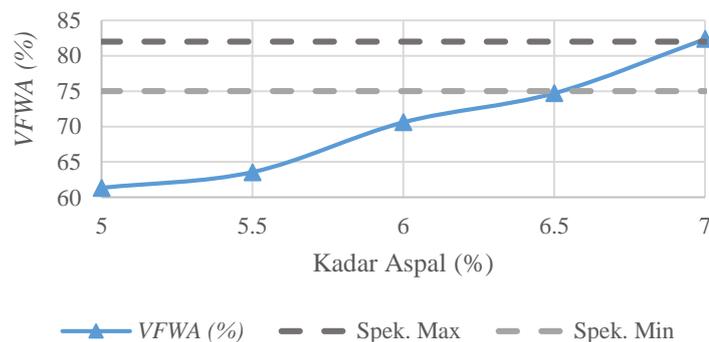


Gambar 5. 5 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VITM

Nilai *VITM* pada Gambar 5.5 menunjukkan nilai yang semakin menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Hal tersebut dikarenakan terisinya rongga atau *void* dalam campuran oleh aspal, sehingga persentase jumlah rongganya menjadi kecil dan dengan rongga yang kecil membuat campuran menjadi kedap air.

5. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VFWA*

VFWA adalah persentase rongga atau *void* dalam agregat yang dapat terisi aspal. Nilai *VFWA* yang semakin tinggi menyebabkan campuran semakin kedap air dan udara karena selimut aspal yang tebal, sehingga campuran menjadi lebih lentur. Pada Gambar 5.6 berikut disajikan grafik hasil penelitian nilai *VFWA*.

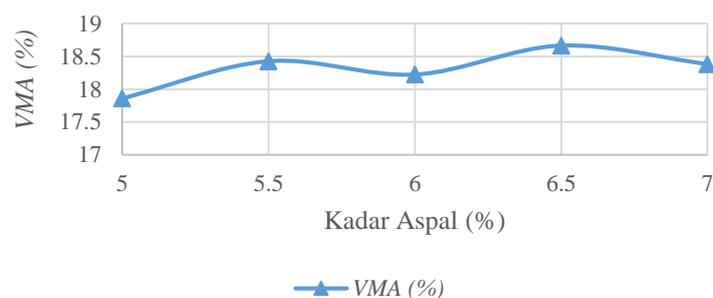


Gambar 5. 6 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VFWA

Berdasarkan Gambar 5.6 diatas, nilai *VFWA* pada campuran ini memiliki nilai yang semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Meningkatnya nilai *VFWA* karena rongga pada campuran terisi oleh aspal setelah dipadatkan, hal ini menunjukkan bahwa campuran semakin kedap air dan menjadi lebih fleksibel.

6. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VMA*

Voids in Mineral Aggregate atau rongga di antara mineral agregat adalah persentase rongga udara yang ada di antara butiran agregat dalam campuran yang telah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. Fungsi *VMA* adalah sebagai ruang untuk menampung aspal dan rongga udara yang dibutuhkan dalam campuran. Berikut hasil nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.7.



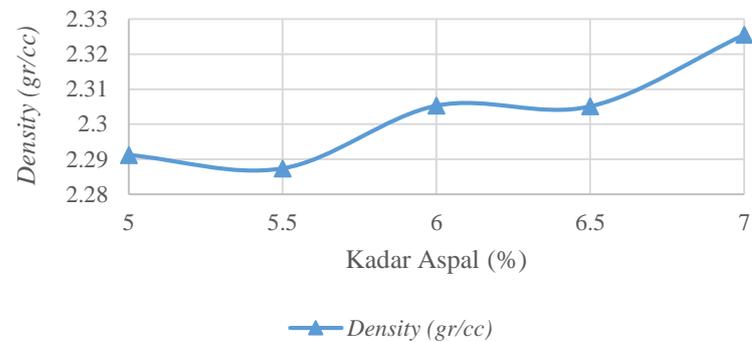
Gambar 5. 7 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik *VMA* pada Gambar 5.7, hasil pengujian diperoleh nilai *VMA* yang cenderung semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Namun pada kadar aspal 7% terjadi penurunan, hal ini dapat disebabkan karena terjadinya degradasi pada saat pemadatan yang menyebabkan terjadinya perubahan ukuran butiran dan susunan campuran. Perubahan tersebut dapat membentuk rongga partikel yang kecil sehingga nilai *VMA* menjadi kecil juga.

7. *Density*

Density adalah nilai tingkat kerapatan campuran setelah dilakukan pemadatan pada setiap satuan volume. *Density* diantaranya dipengaruhi oleh faktor gradasi agregat, berat jenis agregat, kadar aspal, dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukan. Campuran dengan nilai kepadatan yang

tinggi akan mampu menahan beban lebih baik dibandingkan dengan campuran dengan nilai kepadatan yang rendah. Berikut disajikan grafik *density* pada Gambar 5.8.

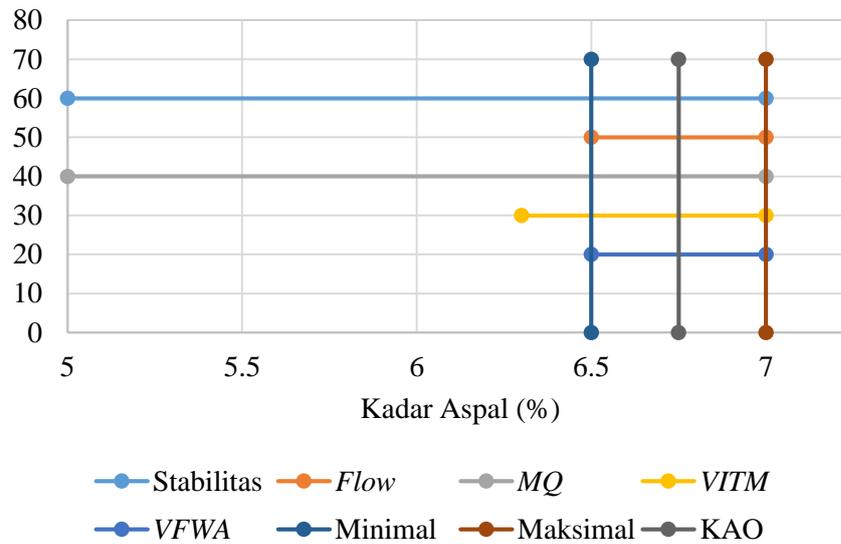


Gambar 5. 8 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Density*

Berdasarkan Gambar 5.8 diatas, nilai *density* cenderung semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Meningkatnya nilai *density* menunjukkan campuran memiliki kerapatan yang baik sehingga nilai kepadatan menjadi tinggi dan mampu menahan beban lebih baik.

8. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO sangat penting dalam merencanakan suatu campuran perkerasan, karena bila kadar aspal terlalu rendah maka campuran tersebut bersifat kering, kurangnya ikatan antar agregat, dan campuran akan mudah retak. Sebaliknya apabila kadar aspal terlalu tinggi menyebabkan campuran terlalu plastis sehingga mudah mengalami deformasi permanen. Menentukan KAO pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode grafis. Nilai KAO diperoleh dari nilai tengah antara batas maksimum dan batas minimum dari karakteristik *Marshall* yang memenuhi persyaratan spesifikasi campuran SMA 0/11. Nilai KAO untuk campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

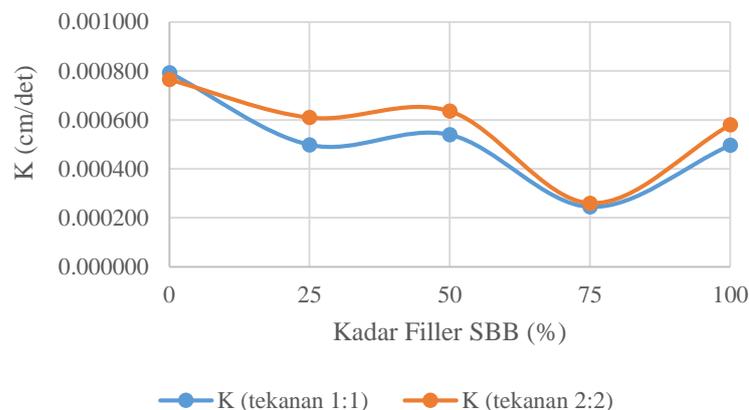


Gambar 5. 9 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari grafik penentuan KAO pada Gambar 5.9 diperoleh kadar aspal minimum sebesar 6,5% dan kadar aspal maksimum sebesar 7% sehingga didapatkan nilai tengah antara batas maksimum dan batas minimum sebesar 6,75%.

1.2.3 Tinjauan Karakteristik Permeabilitas pada Berbagai Kadar *Filler* Pengganti SBB

Permeabilitas adalah suatu pengujian untuk mengetahui kekedapan suatu campuran perkerasan. Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Transportasi UGM digunakan tekanan 1.1 sebesar 1 kg/cm^2 dan tekanan 2.2 sebesar 2 kg/cm^2 . Hasil pengujian permeabilitas pada Tabel 5.20 menunjukkan bahwa campuran SMA 0/11 yang menggunakan *filler* SBB bersifat drainase jelek atau kedap air yang berarti campuran tersebut sulit untuk meloloskan air dari permukaan perkerasan. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Susanto, dkk (2014) pada campuran HRS-WC dengan menggunakan *filler* pengganti mampu menghasilkan campuran kedap air sehingga memiliki tingkat keawetan terhadap pengaruh cuaca khususnya dari air hujan.



Gambar 5. 10 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* SBB Terhadap Koefisien Permeabilitas

Pada Gambar 5.10 diatas, dapat dilihat bahwa pada kadar *filler* pengganti SBB dengan kadar 75% memiliki kedekatan optimum yang ditandai dengan nilai koefisien permeabilitas yang kecil. Namun dengan 100% kadar *filler* SBB menyebabkan nilai koefisien permeabilitas meningkat. Karena dengan berat yang sama, *filler* SBB memiliki volume yang besar dibandingkan dengan *filler* DB. Dengan karakteristik *filler* SBB yang memiliki banyak pori menyebabkan aspal akan lebih banyak terserap kedalam *filler* sehingga aspal yang menyelimuti agregat akan lebih tipis. Hal tersebut menyebabkan adhesi aspal dengan agregat berkurang, sehingga agregat mudah terlepas dari bahan ikatnya dan akan menimbulkan rongga dalam campuran semakin besar. Rongga yang besar akan menimbulkan kurangnya kedekatan pada campuran dan akan dengan mudah meloloskan air, sehingga proses oksidasi meningkat yang mempercepat penuaan pada aspal.

Grafik nilai *VITM* yang ada pada Gambar 5.11, menunjukkan pola yang relatif sama dengan hasil pengujian permeabilitas pada Gambar 5.10. Namun pada hasil pengujian permeabilitas menunjukkan peningkatan yang cukup tajam pada kadar *filler* pengganti SBB 100%, kemungkinan tersebut terjadi karena pada kadar *filler* SBB tersebut menyebabkan campuran menjadi getas karena aspal yang banyak terserap, sehingga campuran dapat dengan mudah meloloskan air. Berkaitan dengan nilai *VITM* yang kecil pada kadar tersebut memungkinkan ketidaktersediaanya

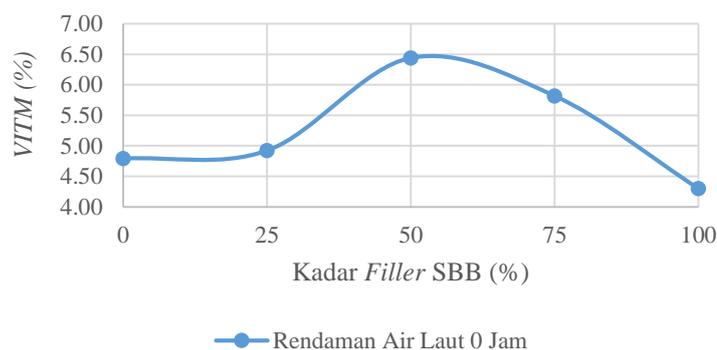
ruang untuk partikel butiran bergeser ketika diberi beban berulang yang menyebabkan campuran menjadi mudah retak.

1.2.4 Tinjauan Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum dengan Variasi Durasi Rendaman Air Laut

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* pada campuran SMA 0/11, didapat nilai KAO sebesar 6,75%. Setelah didapatkan KAO lalu dibuat sampel, kemudian sampel tersebut dilakukan simulasi rendaman air laut dengan variasi durasi rendaman selama 48 jam dan 96 jam. Sebagai pembandingnya, sebagian sampel dibuat tanpa dilakukan rendaman air laut. Hasil pengujian dapat dilihat pada pembahasan berikut.

1. Pengaruh Kadar Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai *VITM*

Hasil uji laboratorium terhadap nilai *VITM* pada campuran SMA 0/11 dengan variasi kadar *filler* SBB dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



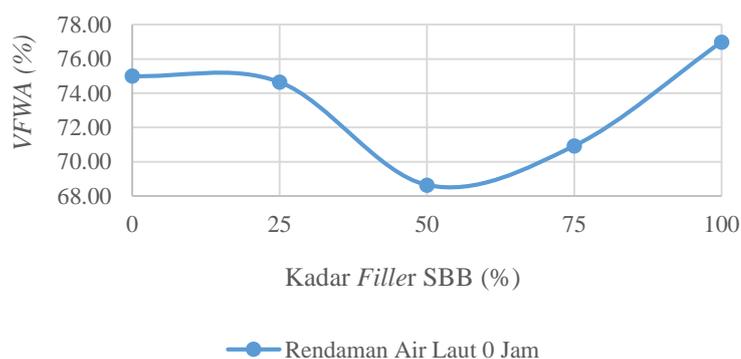
Gambar 5. 11 Grafik Pengaruh Variasi Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai *VITM*

Pada Gambar 5.11 diatas dapat dilihat penambahan kadar *filler* SBB hingga kadar 50% menyebabkan peningkatan nilai rongga pada campuran, hal tersebut terjadi karena SBB mempunyai permukaan yang lebih berpori menyebabkan aspal lebih banyak terserap oleh *filler* pengganti. Dengan demikian menyebabkan selimut aspal menjadi lebih tipis dan melemahkan ikatan aspal dengan agregat, sehingga akan membuat rongga dalam campuran menjadi semakin besar. Selain memiliki permukaan yang lebih berpori, SBB juga memiliki tekstur yang kasar sehingga menyebabkan *workability* menurun dan akan menimbulkan rongga ketika dilakukan pemadatan.

Namun pada kadar *filler* pengganti SBB 75% dan 100% terjadi penurunan yang signifikan yang mendandakan rongga pada campuran semakin rapat. Apabila rongga semakin rapat maka campuran semakin kedap dan sulit untuk meloloskan air, namun pada saat temperatur meningkat dapat menyebabkan *bleeding* pada aspal. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahaditya (2012) yang menyimpulkan bahwa *filler* serbuk bata merah pada campuran HRS-WC cenderung menurunkan nilai *VITM* seiring dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran tersebut.

2. Pengaruh Kadar Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai *VFWA*

Hasil uji laboratorium terhadap nilai *VFWA* pada campuran SMA 0/11 dengan variasi kadar *filler* SBB dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



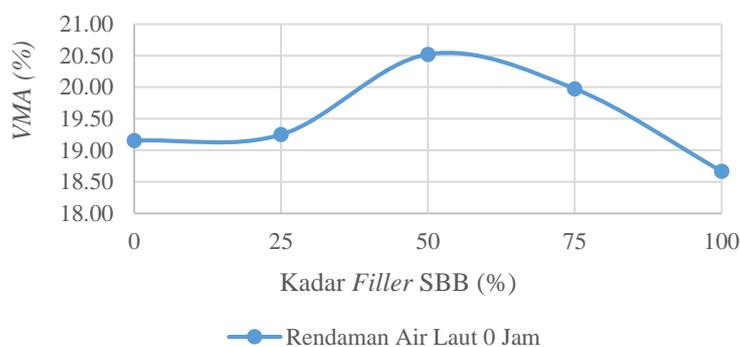
Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Filler* SBB Dengan Nilai *VFWA*

Dari Gambar 5.12 dapat dilihat nilai *VFWA* menurun hingga kondisi optimum pada kadar *filler* pengganti SBB 50%, penurunan nilai *VFWA* disebabkan karena semakin banyaknya kadar *filler* SBB pada kadar aspal yang sama menyebabkan persentase rongga dalam agregat yang tidak terisi aspal menjadi semakin banyak. Hal tersebut berkaitan dengan tekstur pada butiran SBB yang tajam dan berpori menyebabkan aspal banyak mengisi pori pada butiran *filler* SBB tersebut, sehingga butiran agregat lainnya minim mendapatkan lekatan dari aspal dan menyebabkan film aspal menjadi tipis. Nilai *VFWA* yang kecil berarti nilai *VITM* menunjukkan nilai yang besar,

sehingga menyebabkan timbulnya banyak rongga dan kekedapan campuran menjadi menurun. Bila campuran kurang kedap air maka akan mudah terjadi oksidasi dan keawetan campuran menjadi menurun. Namun seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti SBB 75% dan 100% membuat kinerja volumetrik campuran semakin membaik. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahaditya (2012), bahwa nilai *VFWA* cenderung meningkat dengan variasi kadar *filler* serbuk bata merah pada kadar aspal yang optimum.

3. Pengaruh Kadar Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai *VMA*

Hasil uji laboratorium terhadap nilai *VMA* pada campuran *SMA* 0/11 dengan variasi kadar *filler* SBB dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut ini.

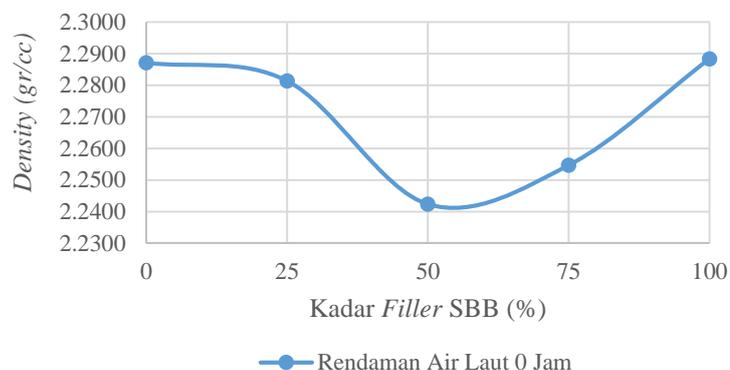


Gambar 5. 13 Grafik Pengaruh Variasi Kadar Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai *VMA*

Gambar 5.13 menunjukkan nilai rongga udara di antara butiran agregat dalam campuran meningkat hingga kondisi optimum pada kadar *filler* SBB 50%, kemudian mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya kadar *filler* SBB. Meningkatnya nilai *VMA* menunjukkan bahwa penambahan *filler* SBB pada campuran akan menimbulkan volume rongga antar agregat yang besar dan mengindikasikan kerenggangan antar butir agregat. Menurut Rahaditya (2012) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa dengan penambahan *filler* serbuk bata merah pada campuran *HRS-WC* meningkatkan nilai *VMA*, namun pada kadar aspal dan kadar *filler* tertentu nilai *VMA* akan menurun dikarenakan selimut aspal menjadi tebal.

4. Pengaruh Kadar Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai *Density*

Hasil uji laboratorium terhadap nilai *density* pada campuran SMA 0/11 dengan variasi kadar *filler* SBB dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Filler* SBB Dengan Nilai *Density*

Berdasarkan Gambar 5.14, nilai *density* mengalami penurunan maksimum pada kadar *filler* SBB 50%, setelah itu terjadi peningkatan yang signifikan. Karena butiran SBB bertekstur tajam dan memiliki banyak pori sehingga dengan penambahan kadar *filler* SBB yang semakin banyak membuat aspal banyak mengisi pori pada *filler* tersebut dan menimbulkan banyak rongga antar butiran sehingga kepadatan campuran semakin berkurang.

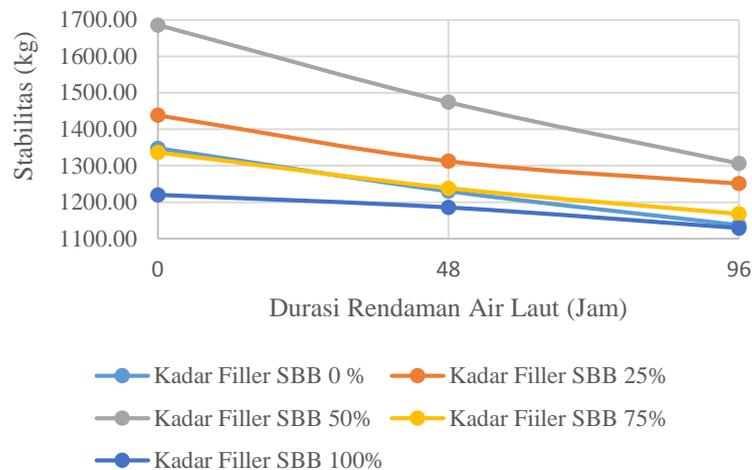
5. Analisis Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Nilai Stabilitas

Hasil uji laboratorium pada campuran SMA 0/11 dengan menggunakan variasi kadar *filler* SBB dan variasi durasi rendaman air laut dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5. 15 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai Stabilitas Pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Pada Gambar 5.15 diatas menunjukkan nilai hasil stabilitas yang terus mengalami kenaikan hingga mencapai kondisi optimum pada kadar *filler* SBB 50%, namun seiring bertambahnya kadar *filler* SBB menyebabkan nilai stabilitas menurun. Penambahan kadar *filler* SBB pada mulanya bertujuan untuk meningkatkan kinerja stabilitas karena *filler* SBB memiliki tekstur yang tajam dan kasar sehingga memiliki bidang kontak yang baik dan memberikan *interlocking* yang besar. Namun dengan penambahan kadar *filler* SBB yang semakin banyak mengakibatkan nilai stabilitas menurun. Penurunan tersebut terjadi karena permukaan *filler* SBB yang berpori menyebabkan *workability* menurun, sehingga membuat rongga dalam campuran semakin besar. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahaditya (2012) yang menyebutkan bahwa nilai stabilitas dengan *filler* SBB sebanyak 10% akan terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum.

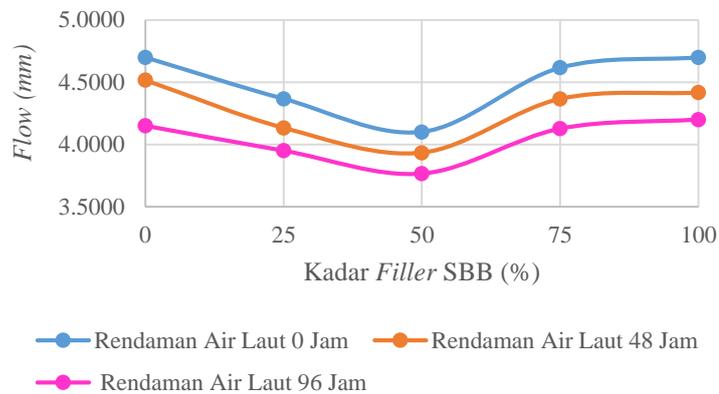


Gambar 5. 16 Grafik Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Nilai Stabilitas Pada Berbagai Kadar *Filler* SBB

Pada Gambar 5.16 menunjukkan bahwa variasi kadar *filler* SBB mengalami penurunan nilai stabilitasnya seiring dengan durasi rendaman air laut yang semakin lama. Air laut yang bersifat asam dapat menurunkan kinerja pada campuran SMA 0/11 karena akan mengganggu lekatan antara aspal dengan agregat. Penurunan terbesar terjadi pada kadar *filler* 50% dengan penurunan sebesar 12,54% dengan durasi rendaman selama 48 jam, sedangkan penurunan sebesar 22,51% pada rendaman 96 jam. Pada analisis statistik *Anova* diperoleh hasil signifikan, itu artinya lama durasi rendaman air laut menurunkan nilai stabilitas secara signifikan. Sesuai dengan penelitian Muaya (2015) yang menyampaikan bahwa nilai stabilitas pada campuran AC-WC terus menurun dengan dilakukan perendaman air laut selama 24 jam dan 48 jam.

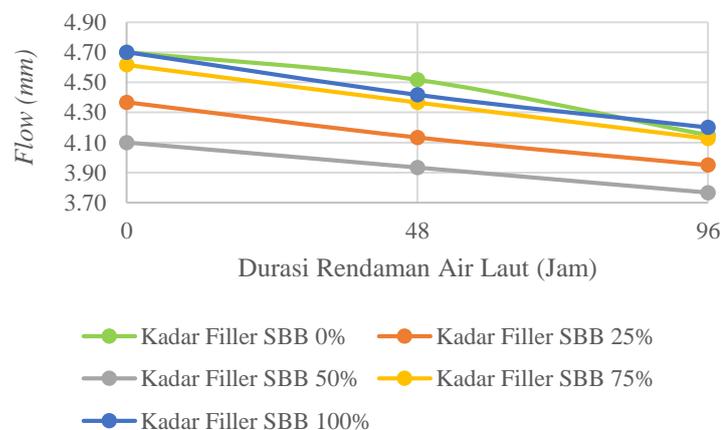
6. Analisis Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Nilai *Flow*

Hasil uji laboratorium terhadap nilai *flow* pada campuran SMA 0/11 dengan variasi kadar *filler* SBB dan variasi durasi rendaman air laut dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 berikut ini.



Gambar 5. 17 Grafik Hubungan Antara Kadar Filler SBB Dengan Flow Pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *flow* semakin menurun hingga mencapai nilai maksimum pada kadar *filler* SBB 50%, kemudian nilai *flow* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti SBB. Hal tersebut terjadi karena permukaan SBB yang berpori menyebabkan aspal lebih banyak terserap oleh *filler* sehingga mengurangi adhesi agregat dengan bahan ikatnya. Dengan demikian akan terbentuk rongga dalam campuran semakin besar yang berakibat campuran lebih rentan terhadap deformasi. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Rahaditya (2012) yang menyimpulkan bahwa nilai *flow* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar *filler* serbuk bata merah.

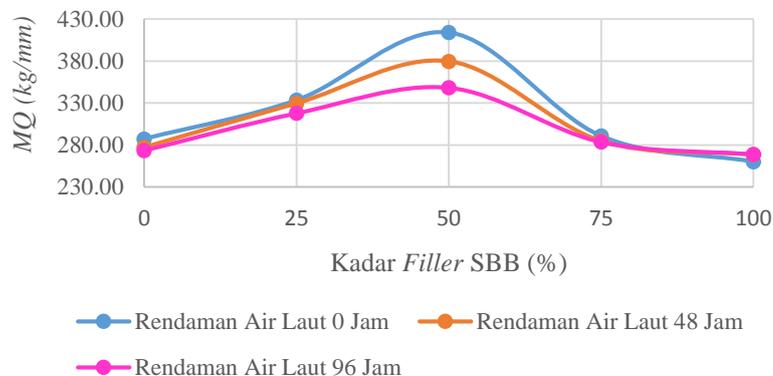


Gambar 5. 18 Grafik Hubungan Antara Durasi Rendaman Air Laut Dengan Nilai Flow Pada Berbagai Kadar Filler SBB

Dari grafik diatas dapat dilihat penurunan nilai *flow* seiring dengan lama perendaman air laut untuk setiap persenan variasi kadar *filler* SBB. Hal tersebut terjadi karena campuran SMA 0/11 mampu menahan deformasi pada saat terendam oleh air laut. Penurunan terbesar terjadi pada kadar *filler* 100% dengan penurunan sebesar 6,03% dengan durasi rendaman selama 48 jam, sedangkan penurunan sebesar 10,64% pada rendaman 96 jam. Pada hasil analisis menggunakan statistik *Anova* didapatkan hasil signifikan, itu artinya lama durasi rendaman air laut menurunkan nilai *flow* sangat signifikan. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Muaya (2015) yang menyebutkan bahwa nilai *flow* terus meningkat seiring dengan lama durasi rendaman air laut pada campuran beton aspal (*AC-WC*).

7. Analisis Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Nilai *MQ*

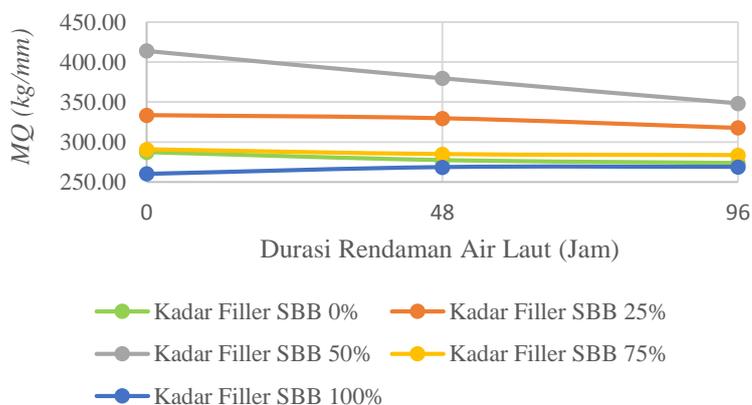
Hasil uji laboratorium terhadap nilai *MQ* pada campuran SMA 0/11 dengan variasi kadar *filler* SBB dan variasi durasi rendaman air laut dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5. 19 Grafik Nilai *MQ* Pada Berbagai Kadar *Filler* SBB dan Durasi Rendaman Air Laut

Dari Gambar 5.19 dapat dilihat nilai *MQ* mengalami peningkatan hingga mencapai nilai optimum pada kadar *filler* SBB 50%. Sejalan dengan nilai stabilitas yang tinggi dan menurunnya nilai *flow* pada kadar *filler* SBB 50%, hal tersebut menunjukkan bahwa campuran pada kadar *filler* tersebut bersifat

kaku. Hasil penelitian tersebut sesuai dengan penelitian Rahaditya (2012) yang menyebutkan nilai MQ cenderung naik pada campuran $HRS-WC$ dengan menggunakan *filler* serbuk bata merah pada kadar aspal ideal. Setelah mencapai nilai optimum pada kadar *filler* SBB 50%, nilai MQ mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *filler* SBB. Hal tersebut terjadi karena nilai *flow* terus meningkat namun tidak diiringi dengan naiknya nilai stabilitas.

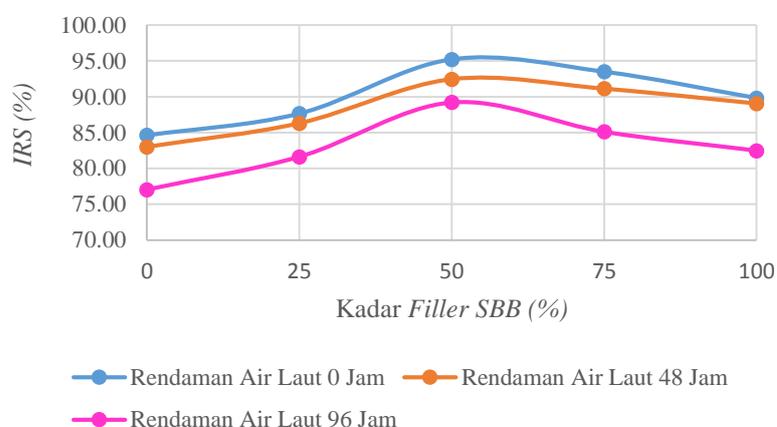


Gambar 5. 20 Grafik Nilai MQ Pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut dan Kadar *Filler* SBB

Pada grafik diatas dapat dilihat penurunan nilai MQ seiring dengan lama perendaman air laut untuk setiap persenan variasi kadar *filler* SBB. Penurunan tersebut terjadi karena menurunnya nilai stabilitas akibat rendaman air laut yang disebabkan karena masuknya air dan senyawa-senyawa kimia kedalam campuran $SMA\ 0/11$ sehingga campuran menjadi tidak kaku. Penurunan terbesar terjadi pada kadar *filler* 50% dengan jumlah penurunan sebesar 8,29% dengan durasi rendaman selama 48 jam, sedangkan penurunan sebesar 15,88% pada rendaman 96 jam. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Muaya (2015) dimana nilai MQ menunjukkan penurunan akibat perendaman air laut selama 24 jam dan semakin menurun juga pada perendaman 48 jam pada campuran beton aspal ($AC-WC$).

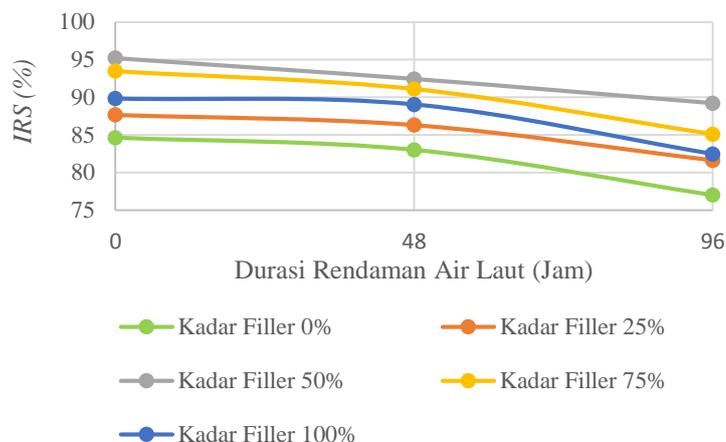
1.2.5 Tinjauan Karakteristik *Index of Retained Strength (IRS)* Pada Berbagai Variasi Kadar *Filler SBB* dan Variasi Durasi Rendaman Air Laut

Index of Retained Strength (IRS) diperoleh dari proses perendaman guna mengetahui kekuatan (*strength*) yang dimiliki oleh campuran setelah dilakukan proses perendaman di dalam *waterbath* bersuhu 60°C selama 24 jam terhadap perendaman di dalam *waterbath* bersuhu 60°C selama 0,5 jam. Hasil pengujian *IRS* pada campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Antara Kadar *Filler SBB* Dengan Nilai *IRS* Pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari Gambar 5.21 di atas dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar *filler SBB* dapat meningkatkan nilai *IRS* hingga mencapai kondisi optimum, namun pada kadar *filler SBB* 75% dan 100% nilai *IRS* mengalami penurunan tetapi tetap lebih besar dibandingkan campuran dengan kadar *filler SBB* 0% (tidak mengandung SBB). Nilai *IRS* yang menurun menunjukkan volume rongga yang besar mengakibatkan campuran menjadi kurang mampat dan mudah untuk dimasuki air dan udara sehingga campuran menjadi mudah teroksidasi dan mengakibatkan penurunan keawetan campuran. Sama seperti penelitian Mandeng (2005), yang menyampaikan bahwa nilai *IRS* menurun hingga kadar *filler* optimum lalu meningkat kembali seiring bertambahnya kadar *filler* batu bata.

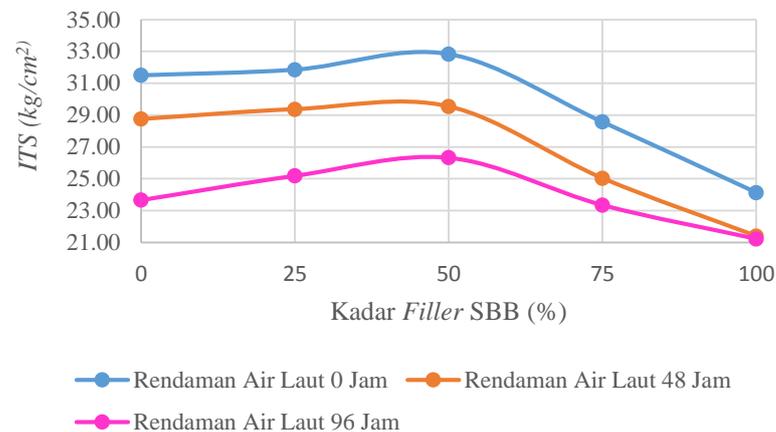


Gambar 5. 22 Grafik Hubungan Nilai *IRS* Terhadap Durasi Rendaman Air Laut

Dari grafik hubungan *IRS* terhadap rendaman air laut pada Gambar 5.22, dapat dilihat bahwa campuran SMA 0/11 dengan penambahan berbagai persentase kadar *filler* SBB mengalami penurunan seiring lama durasi perendaman air laut. Hal tersebut terjadi karena penurunan nilai stabilitas pada pengaruh perendaman sehingga campuran menjadi lemah saat menerima beban. Melemahnya kinerja campuran disebabkan gesekan antar butir menjadi kurang baik karena terganggunya oleh air laut dengan keasaman yang relatif tinggi dan senyawa kimia lainnya. Pada penelitian ini memenuhi spesifikasi dari *Asphalt Institute* dengan nilai persyaratan 75%. Namun pada rendaman air laut 0 jam dan 48 jam pada kadar *filler* 50% dan 75%, nilai *IRS* melampaui batas minimal yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010 yaitu sebesar 90%. Penurunan nilai *IRS* terbesar terjadi pada kadar *filler* SBB 75% dengan nilai 2,54% pada rendaman 48 jam dan nilai 8,96% pada rendaman 96 jam. Pada hasil analisis menggunakan statistik *Anova* didapatkan hasil signifikan, itu artinya lama durasi rendaman air laut mempengaruhi nilai *IRS* dengan sangat signifikan. Berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mandeng (2005) dimana nilai *IRS* menunjukkan penurunan hingga kadar *filler* optimum baru kemudian mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *filler* batu bata dengan rendaman selama 24 jam suhu 60 °C.

1.2.6 Tinjauan Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* Pada Berbagai Variasi Kadar *Filler SBB* dan Variasi Durasi Rendaman Air Laut

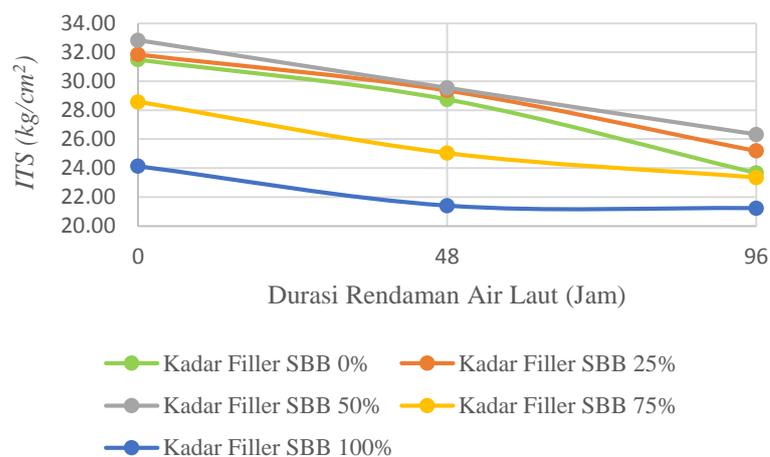
Indirect Tensile Strength (ITS) adalah sebuah pengujian gaya tarik tidak langsung yang bertujuan untuk memperkirakan potensi retakan pada campuran aspal. Mekanisme retak yang terjadi pada perkerasan jalan disebabkan adanya gaya tarik di bagian bawah lapisan perkerasan akibat beban roda kendaraan. Beban tarik ini sering menyebabkan adanya retak, terutama diawali dengan adanya retak awal pada bagian bawah lapisan perkerasan yang kemudian akan menjalar kepermukaan. Hasil pengujian *ITS* pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5. 23 Grafik Nilai *ITS* Pada Berbagai Kadar *Filler SBB* dan Durasi Rendaman Air Laut

Dari grafik pada Gambar 5.23 diatas dapat dilihat peningkatan nilai *ITS* seiring dengan bertambahnya kadar *filler SBB* hingga mencapai kondisi optimum, kemudian nilai *ITS* mengalami penurunan yang signifikan pada kadar *filler* pengganti 75% dan 100%. Penurunan tersebut terjadi karena penambahan *filler* pengganti SBB dengan tekstur yang kasar dan memiliki banyak pori menyebabkan tingginya penyerapan aspal oleh *filler* pengganti SBB menyebabkan volume rongga campuran yang besar. Hal tersebut menyebabkan film aspal menjadi tipis dan campuran menjadi mudah mengalami oksidasi sehingga adhesi antara agregat

dengan aspal menjadi lemah dan apabila diberi beban berulang menyebabkan campuran menjadi mudah retak. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sunarjono dan Samantha (2012) pada campuran SMA 0/11 dengan nilai *ITS* yang terus meningkat hingga kadar bahan tambah tertentu kemudian nilai *ITS* akan menurun seiring dengan penambahan bahan tambah yang melebihi kebutuhan.

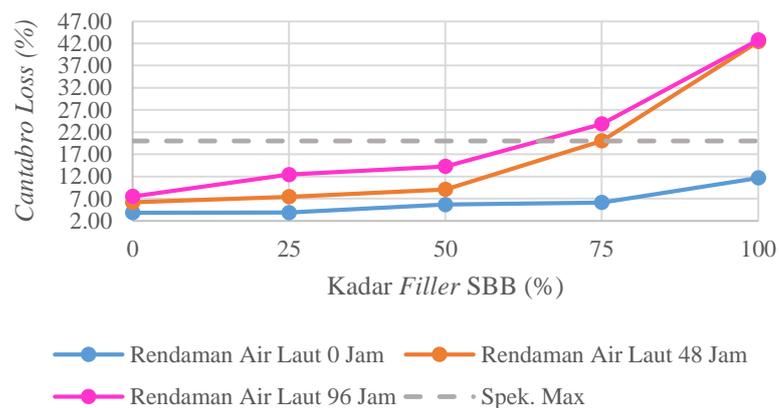


Gambar 5. 24 Grafik Nilai *ITS* Pada berbagai Durasi Rendaman Air Laut dan Kadar *Filler* SBB

Dari Gambar 5.24 diatas dapat dilihat bahwa nilai *ITS* pada campuran SMA 0/11 dengan penambahan berbagai persentase kadar *filler* SBB mengalami penurunan seiring lama durasi perendaman air laut. Penurunan nilai *ITS* terbesar untuk lama rendaman 48 jam adalah pada kadar *filler* SBB 75% yaitu sebesar 12,38% sedangkan pada lama rendaman 96 jam terjadi pada kadar *filler* SBB 0% yaitu sebesar 24.87%. Hal tersebut terjadi karena pada campuran SMA 0/11 yang direndam oleh air laut mengalami kerapuhan akibat pH yang asam dan senyawa kimia yang terkandung pada air laut, selain itu juga karena pemberian beban berkelanjutan yang membuat kinerja campuran menjadi tidak optimal. Pada analisis statistik *Anova* yang dilakukan didapatkan hasil signifikan, jadi lama rendaman air laut menurunkan nilai *ITS* secara signifikan. Sesuai dengan pengujian yang dilakukan oleh Pratama dan Fauziah (2017) dimana campuran mengalami penurunan nilai *ITS* seiring dengan makin bertambahnya durasi rendaman air laut.

1.2.7 Tinjauan Karakteristik *Cantabro* Pada Berbagai Variasi Kadar *Filler* SBB dan Variasi Durasi Rendaman Air Laut

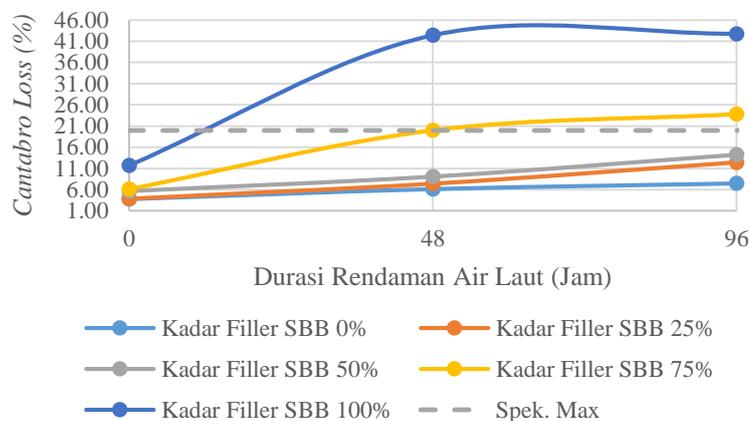
Pengujian *Cantabro* bertujuan untuk mengetahui besarnya keausan akibat pengaruh tumbukan atau pembebanan berulang pada benda uji setelah dilakukan tes abrasi menggunakan mesin *Los Angeless*. Hasil pengujian *Cantabro* pada campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 berikut ini.



Gambar 5. 25 Grafik Pengaruh Kadar *Filler* SBB Terhadap Nilai *Cantabro* Pada Berbagai Durasi Rendaman Air Laut

Dari Gambar 5.25 diatas, dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar *filler* pengganti menyebabkan nilai *Cantabro Loss* meningkat tajam pada kadar *filler* SBB 75% dan 100%, namun pada kadar *filler* SBB 0%-50% terjadi peningkatan yang tidak terlalu signifikan dan masih sesuai dengan standar Bina Marga dengan spesifikasi maksimal sebesar 20%. Peningkatan nilai *Cantabro Loss* disebabkan oleh adhesi antar agregat dan aspal berkurang akibat bertambahnya jumlah rongga dalam campuran. Dengan demikian udara dan air mudah masuk ke dalam campuran sehingga menimbulkan oksidasi yang akan mempercepat pengelupasan aspal dari permukaan agregat. Hal tersebut menyebabkan campuran menjadi getas dan kekuatan campuran menjadi melemah apabila diberi beban berulang. Selain mempengaruhi kekuatan campuran, banyaknya rongga juga berpengaruh terhadap keawetan. Sama seperti penelitian yang sudah dilakukan oleh

Winayati, dkk (2018) yang mengatakan semakin bertambahnya *filler* pengganti pada campuran aspal porus dapat menyebabkan kehilangan berat yang meningkat.



Gambar 5. 26 Grafik Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Hubungan Terhadap Nilai *Cantabro* Pada Berbagai Kadar *Filler* SBB

Gambar 5.26 menunjukkan bahwa lama durasi rendaman air laut menyebabkan meningkatnya nilai *Cantabro* pada campuran SMA 0/11. Pada dasarnya campuran aspal paling rentan pada rendaman air, terlebih pada air laut yang memiliki senyawa kimia dan keasaman yang cenderung tinggi yang dapat melemahkan ikatan aspal dengan agregat sehingga campuran menjadi rapuh dan aus ketika menerima beban berulang. Syarat spesifikasi untuk pengujian *Cantabro* menurut Bina Marga adalah <20%, pada pengujian ini yang tidak memenuhi spesifikasi adalah pada kadar *filler* SBB 100% dan kadar *filler* SBB 75% pada durasi rendaman 48 jam dan 96 jam. Pada analisis statistik yang dilakukan didapatkan hasil signifikan, jadi lama rendaman air laut meningkatkan nilai *Cantabro* sangat signifikan. Sejalan dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Rahim, dkk (2012) yang menyebutkan bahwa nilai keausan semakin meningkat seiring dengan lama rendaman air laut.

1.2.8 Tinjauan Umum Karakteristik Campuran *Split Mastic Asphalt* 0/11 Akibat Pengaruh Kadar *Filler* SBB dan Rendaman Air Laut

Dari pengujian yang sudah dilakukan pada campuran *Split Mastic Asphalt* 0/11 dengan menggunakan *filler* pengganti SBB pada beberapa parameter yang digunakan, dapat direkomendasikan kadar *filler* SBB 50% merupakan kadar *filler* yang membuat campuran SMA memiliki kinerja yang optimum.

Nilai permeabilitas memiliki *trend* menurun dari kadar *filler* SBB 0% hingga 75%, kemudian meningkat pada persentase kadar *filler* SBB 100%. Meskipun dalam pengujian ini tidak terlalu menunjukkan bahwa kadar *filler* SBB 50% adalah kadar yang optimal, tapi nilai koefisien permeabilitas yang semakin menurun menunjukkan campuran yang semakin rapat rongganya dan juga campuran ini bersifat drainase jelek/kedap air. Hal ini berarti campuran SMA dengan *filler* SBB dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan karena tidak mudah untuk dilewati air pada permukaannya.

Pada pengujian karakteristik *Marshall* yang meliputi pengujian stabilitas, *flow*, *MQ*, *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan *Density* pada campuran SMA menunjukkan nilai yang optimum pada kadar *filler* pengganti SBB 50%. Karena pada kadar tersebut merupakan kadar yang ideal guna meningkatkan kinerja campuran, sehingga aspal bekerja maksimal sebagai bahan ikat butiran dan *filler* SBB pun bekerja dengan baik sebagai bahan pengisi pada kadar 50%. Pada pengujian perendaman menggunakan air laut juga menunjukkan bahwa kadar *filler* pengganti SBB 50% memiliki kinerja yang baik dalam mempertahankan kekuatan campuran dibandingkan dengan kadar *filler* lainnya.

Hasil pengujian *IRS* merekomendasikan dan menunjukkan bahwa kadar *filler* SBB 50% merupakan kadar *filler* pengganti yang ideal, hal ini mengindikasikan bahwa pada kadar tersebut campuran SMA dapat mempertahankan kekuatan terhadap perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam secara optimum. Karena semakin dilakukan penambahan persentase kadar *filler* SBB yang berlebih menyebabkan nilai *IRS* menurun. Nilai *IRS* pada kadar *filler* pengganti SBB 50% juga mampu mempertahankan kekuatannya dibandingkan dengan kadar lainnya pada simulasi perendaman air laut juga selama 48 jam dan 96 jam.

Pada pengujian *ITS* diperoleh hasil performa terbaik dalam mempertahankan campuran dari potensi retak yaitu pada kadar *filler* pengganti SBB 50%. Begitu pula pada hasil uji hubungan antara durasi rendaman air laut dengan nilai *ITS* menunjukkan kadar *filler* SBB tertinggi terdapat pada proporsi kadar *filler* pengganti SBB 50%.

Dapat dilihat dari perolehan nilai *cantabro loss*, bahwa semakin bertambahnya kadar *filler* pengganti menyebabkan nilai *Cantabro Loss* meningkat tajam pada kadar *filler* SBB 75% dan 100%, namun pada kadar *filler* SBB 0%-50% terjadi peningkatan yang tidak terlalu signifikan dan masih sesuai dengan standar Bina Marga dengan spesifikasi maksimal sebesar 20%. Hal tersebut menunjukkan bahwa campuran SMA pada kadar *filler* SBB 50% cukup memberi kekuatan yang baik sehingga tahan terhadap keausan. Begitu pula pada simulasi pengujian perendaman air laut, pada kadar *filler* SBB 50% masih sesuai dengan spesifikasi Bina Marga.

