

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Hasil pemeriksaan di Laboratorium terhadap agregat, aspal, dan *filler* akan dijelaskan sebagai berikut ini.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan Air Sungai

Pengujian terhadap karakteristik agregat meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus yang berasal dari Clereng dan *filler* batu bata yang berasal dari Pleret Bantul. Seluruh serangkaian pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII Yogyakarta. Data yang diperoleh telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.1, Tabel 5.2, Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 Tabel hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 sampai Lampiran 8.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis	Min 2,5	2,65	Memenuhi
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	Maks 3%	1,538	Memenuhi
3.	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	Min 95%	95	Memenuhi
4.	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	Maks 40%	11,908	Memenuhi

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis	Min 2,5	2,63	Memenuhi
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	Maks 3%	2,35	Memenuhi
3.	<i>Sand Equivalent</i> (%)	Min 50%	91,276	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Filler

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1.	Berat Jenis Debu Batu (gram/cm ³)	2,553
2.	Berat Jenis Serbuk Batu Bata (gram/cm ³)	2,360

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Air Sungai

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
			A.027
1.	pH	-	6,2
2.	Kekeruhan	NTU	4,34

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina Pen 60/70 yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII Yogyakarta. Pengujian aspal yang dilakukan menggunakan persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti yang tercantum dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis	Min 1	1,055	Memenuhi
2.	Penetrasi (0,1 mm)	60-70	61,5	Memenuhi
3.	Daktilitas (cm)	Min 100	164	Memenuhi
4.	Titik Nyala (°C)	Min 232	294	Memenuhi
5.	Titik Lembek (°C)	Min 48	48	Memenuhi
6.	Kelarutan TCE (%)	Min 99	100	Memenuhi

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

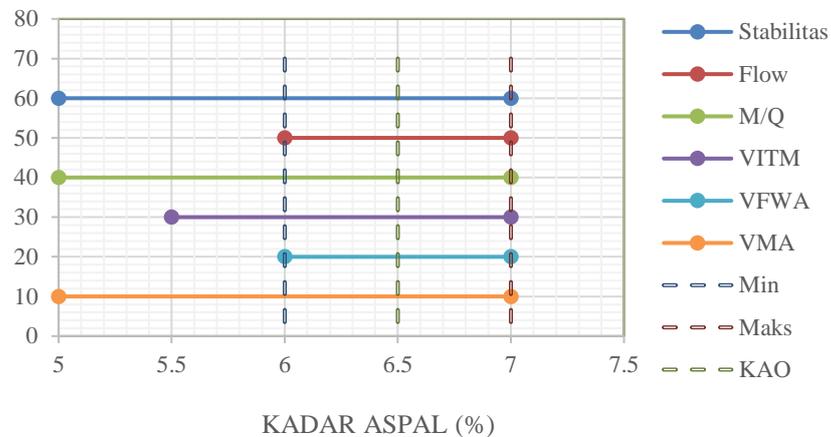
Pada pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, diperoleh nilai-nilai karakteristik Marshall diantaranya stabilitas (*stability*), kelelehan (*flow*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VFWA (*Void Filled With Asphalt*), VITM (*Void in the Total Mix*), MQ (*Marshall Quotient*), dan kepadatan (*density*) dari campuran SMA 0/11 dengan menggunakan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70.

Pemilihan kadar aspal optimum pada campuran SMA ditentukan dengan melihat kriteria parameter pada karakteristik *Marshall*, yaitu nilai stabilitas >670 kg, nilai *flow* 2-4 mm, nilai *Marshall Quotient* 190-300 kg/mm VITM dengan persyaratan >3-5% dan nilai VFWA >76-82. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.6, kemudian hasil dari tabel tersebut digambarkan dalam grafik pada Gambar 5.1 untuk menentukan kadar aspal optimum.

Tabel. 5.6 Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO

Rekapitulasi Aspal Pertamina Pen 60/70							
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	948	3,83	247	7,080	60,465	17,885	2,281
5,5	1029	3,61	285	4,911	71,279	16,990	2,316
6	1153	3,97	281	4,131	76,220	17,325	2,319
6,5	1028	3,63	283	3,601	79,888	17,876	2,316
7	998	3,40	293	3,661	80,731	18,919	2,299
Spesifikasi	>670	2-4	190-300	>3-5	76-82		

Berdasarkan hasil uji *Marshall* tersebut, maka diperoleh batas maksimum dan batas minimum untuk menentukan kadar aspal optimum seperti dalam grafik pada Gambar 5.1 dibawah ini. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 5.1 Penentuan KAO pada Campuran Berbahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70

Berdasarkan Gambar 5.1 tersebut menghasilkan kadar aspal optimum pada campuran SMA 0/11 berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 berada pada kadar aspal 6,5%.

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran *Split Mastic Asphalt 0/11* pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian campuran SMA 0/11 pada kadar aspal optimum meliputi pengujian *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro* dan *Permeabilitas* dapat dilihat pada Tabel 5.7 hingga Tabel 5.11. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 11.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* dengan KAO

Lama Rendaman Air Sungai	Kadar Filler (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0 Jam	0	1574	4,02	392	3,83	78,98	18,07	2,311
	25	1825	4,50	404	3,81	75,53	18,03	2,308
	50	1911	3,88	495	4,56	77,74	18,65	2,286
	75	1636	3,98	412	4,97	74,25	18,98	2,273
	100	1435	4,25	339	5,17	75,57	19,13	2,264

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* dengan KAO

Lama Rendaman Air Sungai	Kadar <i>Filler</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
48 Jam	0	1345	3,67	370	3,55	80,21	17,83	2,318
	25	1599	4,18	391	3,30	81,29	17,60	2,320
	50	1733	3,63	478	3,81	79,34	18,01	2,304
	75	1391	3,73	373	4,35	76,47	18,45	2,288
	100	1206	4,03	298	4,83	74,55	18,84	2,273
96 Jam	0	1151	3,50	332	3,10	82,62	17,45	2,328
	25	1439	3,92	370	2,81	84,00	17,18	2,332
	50	1523	3,40	456	3,65	79,85	17,87	2,308
	75	1177	3,47	340	4,23	76,94	18,35	2,290
	100	1022	3,82	262	4,76	74,63	18,78	2,274
Spesifikasi		> 670	2-4	190-300	>3-5	76-82		

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength*

Lama Rendaman Air Sungai	Kadar <i>Filler</i> Serbuk Batu Bata (%)	Stabilitas (kg)		<i>IRS</i> (%)
		<i>Marshall</i> 30 Menit	<i>Marshall</i> 24 Jam	
0 Jam	0	1574,15	1248,40	79,306
	25	1825,18	1467,74	80,416
	50	1911,72	1766,58	92,408
	75	1636,41	1350,42	82,523
	100	1435,94	1167,07	81,276
48 Jam	0	1345,70	1051,41	78,131
	25	1599,34	1264,16	79,043
	50	1733,41	1554,16	89,659
	75	1391,46	1130,00	81,210
	100	1206,04	968,22	80,281
96 Jam	0	1151,42	883,94	76,770
	25	1439,42	1119,44	77,770
	50	1523,55	1297,65	85,173
	75	1177,03	937,05	79,612
	100	1022,56	807,92	79,010

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strenght*

Kadar <i>Filler</i> Batu Bata (%)	<i>Indirect Tensile Strenght</i> (kg/cm ²)		
	Lama Perendaman		
	0 Jam	48 Jam	96 Jam
0	28,735	26,925	26,078
25	26,031	23,483	23,027
50	23,149	21,987	20,580
75	22,337	21,009	19,990
100	21,709	20,259	19,518

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro Loss*

Kadar <i>Filler</i> Batu Bata (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)		
	Lama Perendaman		
	0 Jam	48 Jam	96 Jam
0	13,657	17,582	21,985
25	14,238	18,308	23,614
50	12,965	14,698	19,549
75	20,395	22,370	26,422
100	35,165	39,727	40,715

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas

Kadar <i>Filler</i> Serbuk Batu Bata (%)	K (cm/sec)		Katagori
	Tekanan (1:1)	Tekanan (2:2)	
0	$8,5 \times 10^{-4}$	$8,31 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek
25	$10,86 \times 10^{-4}$	$11,61 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek
50	$11,95 \times 10^{-4}$	$11,49 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek
75	$9,06 \times 10^{-4}$	$8,26 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek
100	$10,6 \times 10^{-4}$	$10,76 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek

Data-data seperti karakteristik *Marshall*, *Index of Retained Strenght*, *Indirect Tensile Strenght*, dan *Cantabro* dengan parameter lama rendaman air sungai terhadap campuran *SMA 0/11* yang menggunakan serbuk batu bata sebagai *filler* pengganti dianalisis menggunakan metode analisis statistik *Anova*. Hasil rekapitulasi analisis dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan 5.13. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 22 sampai Lampiran 27.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Anova* untuk Pengaruh Lama Rendaman Air Sungai terhadap 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 5.13 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Anova* untuk Pengaruh Lama Rendaman Air Sungai terhadap Nilai *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro*

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

5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Bahan Penyusun Campuran dan Kandungan Air sungai

1. Pembahasan terhadap pengujian karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebagai berikut ini.

a. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling atau *aquades* dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian berat jenis aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 1,055. Hasil ini menunjukkan bahwa pengujian aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu >1,00.

b. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal dengan beban dan waktu pada suhu tertentu. Hasil pengujian penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 61,5 mm, sehingga telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu antara 60-70 mm.

c. Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi pada aspal yang dapat mempengaruhi fleksibilitas campuran sehingga dapat menahan lendutan. Pada pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60.70 menunjukkan nilai sebesar 164 cm. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu >100 cm.

d. Titik Nyala

Pengujian titik nyala berguna untuk menentukan suhu saat aspal mulai menyala singkat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui batas temperature dimana aspal masih cukup aman untu dipanaskan. Hasil pengujian titik nyala pada aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 294°C . Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>232^{\circ}\text{C}$

e. Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (CCL_4)

Pengujian kelarutan ini bertujuan untuk mengetahui kelarutan aspal dalam Karbon Tetra Klorida sehingga dapat mengetahui persentase kandungan mineral lain dalam aspal. Semakin besar persentasenya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan aspal Pertamina 60/70 dalam CCL_4 menunjukkan nilai sebesar 100%. Hal ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar $>99\%$.

f. Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui temperature saat aspal mulai menjadi lunak. Hasil pengujian titik lembek aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 48°C . Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>48^{\circ}\text{C}$.

2. Pembahasan terhadap pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut ini.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Agregat kasar dengan berat jenis yang lebih kecil mempunyai pori yang lebih besar sehingga akan dibutuhkan aspal yang lebih banyak dan begitu pula sebaliknya. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar Clereng adalah sebesar 2,65. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>2,5$.

b. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang memiliki kadar pori yang besar mempunyai nilai penyerapan yang besar, sehingga akan lebih banyak membutuhkan aspal. Hasil pengujian penyerapan agregat kasar terhadap air adalah sebesar 1,538%. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

c. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan suatu agregat yang terselimuti oleh aspal terhadap permukaan agregat. Hasil pengujian kelekatan agregat terhadap aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 95%. Hasil ini memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu sebesar $> 95\%$.

d. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) dengan menggunakan mesin Los Angeles. Nilai keausan agregat diperoleh dari perbandingan antara berat bahan yang aus terhadap saringan No.12 terhadap berat semula. Hasil pengujian menunjukkan nilai sebesar 11,908%. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $< 40\%$.

3. Pembahasan terhadap pengujian karakteristik agregat halus yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut ini.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperature tertentu. Hasil pengujian berat jenis agregat halus Clereng adalah sebesar 2,63. Hasil ini memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 2,5$.

b. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang memiliki kadar pori yang besar mempunyai nilai penyerapan yang besar, sehingga akan lebih banyak membutuhkan aspal. Hasil pengujian penyerapan agregat halus terhadap air adalah sebesar 2,35%. Nilai penyerapan agregat terhadap agregat Clereng memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

c. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent* agregat halus menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya. Hasil pengujian sand equivalent agregat halus Clereng sebesar 91,276%. Nilai *sand equivalent* pada agregat halus Clereng memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 50\%$ yang berarti bahwa agregat halus Clereng cukup bersih dan terbebas dari kandungan debu, lumpur, atau kotoran lainnya yang dapat mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat.

4. Pembahasan terhadap pengujian karakteristik *filler* (bahan pengisi) yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut ini.

Penelitian ini menggunakan dua jenis *filler* yaitu *filler* yang diganti berupa debu batu dan *filler* pengganti berupa serbuk batu bata. Berat jenis debu batu didapat sebesar $2,55 \text{ gr/cm}^3$ dan berat jenis serbuk batu bata sebesar $2,36 \text{ gr/cm}^3$. Berat jenis *filler* serbuk batu bata lebih kecil dari pada *filler* debu batu, sehingga dalam berat yang sama, volume serbuk batu bata akan lebih besar dari pada volume debu batu.

- Pembahasan terhadap pengujian kandungan air sungai yang digunakan untuk merendam benda uji adalah sebagai berikut ini.

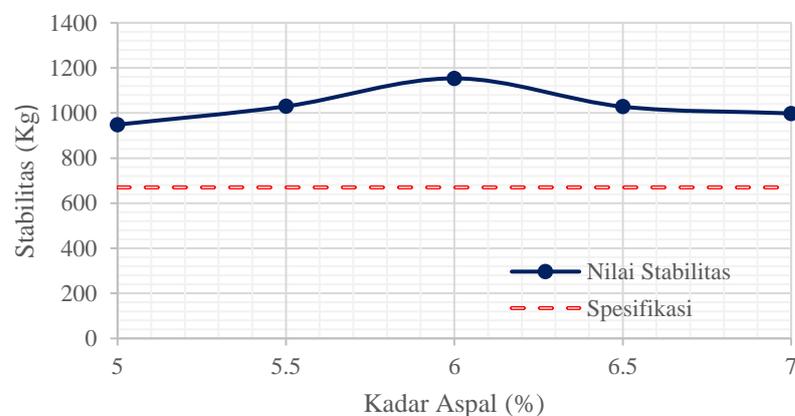
Air yang digunakan untuk perendaman yaitu air yang berasal dari air sungai Ciliwung, Jakarta. Air sungai dalam kondisi alami memiliki rentangan pH 6,5 hingga 8,5. Karena pencemaran, pH air dapat menjadi lebih rendah dari 6,5 atau lebih dari 8,5. Berdasarkan pengujian kandungan air yang telah dilakukan, didapatkan nilai pH air sungai Ciliwung yaitu sebesar 6,2 yang berarti air tersebut bersifat asam, dan nilai kekeruhan sebesar 4,34 NTU yang berarti air dalam keadaan keruh.

5.2.2 Tinjauan Karakteristik *Marshall* Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Parameter pemilihan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *Split Mastic Asphalt 0/11* adalah berdasarkan nilai stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, *VITM* dan *VFWA*. Pembahasan dari hasil pengujian *Marshall* untuk mencari nilai KAO adalah sebagai berikut.

- Analisis pengaruh kadar aspal terhadap stabilitas

Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Stabilitas menunjukkan kekuatan, dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*ruting*). Nilai stabilitas pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.

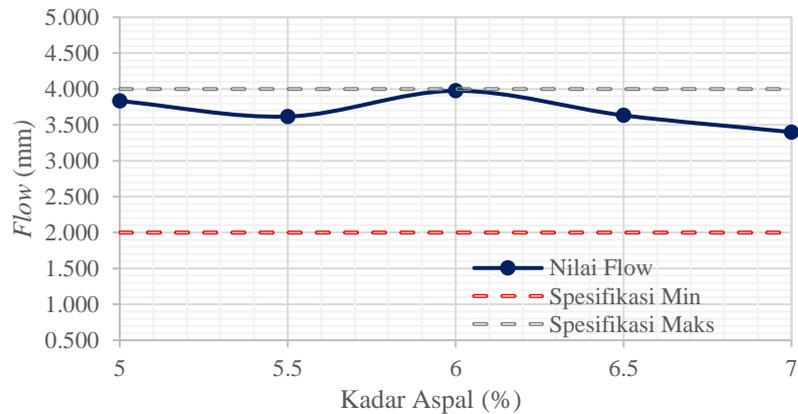


Gambar 5.2 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

Terlihat pada grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas diatas, nilai stabilitas campuran mengalami peningkatan sampai titik maksimum yaitu pada kadar aspal 6% dan turun kembali pada penambahan kadar aspal yang tinggi. Menurunnya nilai stabilitas dapat disebabkan karena bertambahnya kadar aspal menyebabkan selimut aspal semakin tebal, sehingga apabila telah mencapai kondisi optimum gesekan internal antar butiran agregat akan berkurang. Menurut persyaratan Bina Marga batas minimal nilai stabilitas untuk campuran SMA adalah 670 kg. Nilai stabilitas kadar aspal 5% s/d 7% telah memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan.

2. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap *flow*

Kelelahan plastis (*flow*) merupakan indikator terhadap lentur suatu campuran aspal. Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh. Nilai *flow* pada campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



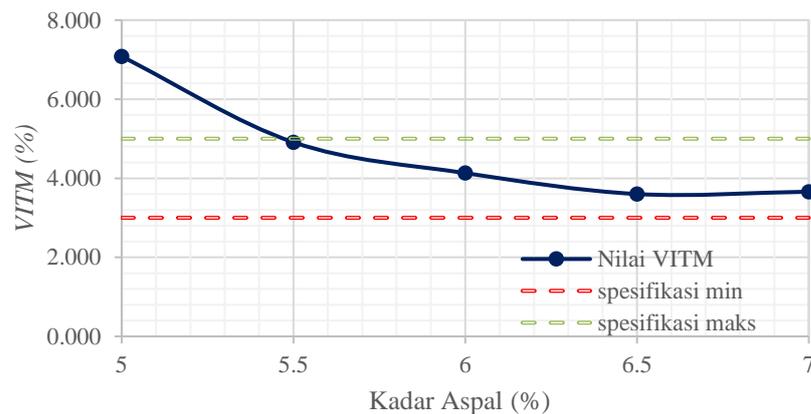
Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *Flow*

Dari gambar 5.3 dapat dilihat grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow*. Pada umumnya semakin besar kadar aspal akan membuat campuran menjadi plastis, sehingga besarnya deformasi pada saat menerima beban meningkat dan menyebabkan nilai *flow* terus meningkat. Dalam spesifikasi Bina Marga ditetapkan bahwa nilai *flow* 2-4 mm. Nilai *flow* pada kadar aspal 5% s/d 7% memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan. Pada kadar

aspal 6,5% nilai *flow* mengalami penurunan, hal ini dapat dikarenakan pemadatan dan penumbukan yang kurang baik membuat rongga dalam campuran tersebut menjadi besar, sehingga pada saat menerima beban deformasinya kecil.

3. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap *Void In The Mix (VITM)*

VITM adalah rongga yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. Rongga tersebut dibutuhkan sebagai tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Nilai *VITM* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya gradasi agregat, jenis dan kadar aspal yang digunakan serta faktor pemadatan. Nilai *VITM* pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.

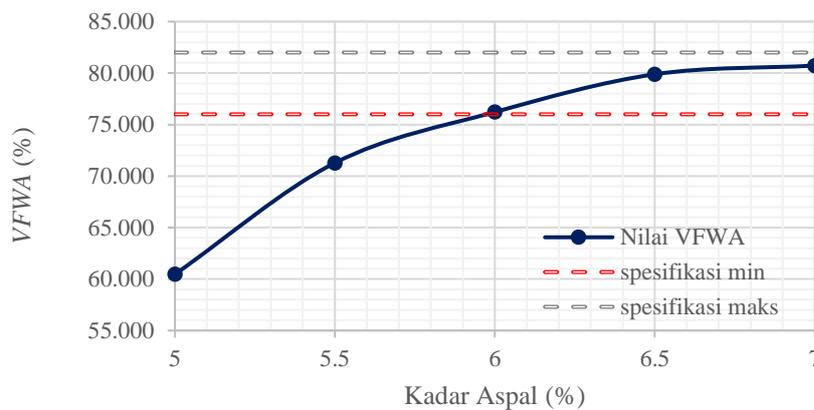


Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *VITM*

Gambar 5.4 menunjukkan bahwa nilai *VITM* cenderung menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Penurunan tersebut dapat disebabkan oleh pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan jumlah rongga yang terisi aspal (*VFWA*) bertambah banyak, sehingga menghasilkan rongga antar campuran yang kecil. Pada kadar aspal 5% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga, hal ini disebabkan batas minimum nilai *VITM* untuk campuran *SMA 0/11* adalah 3% sedangkan batas maksimal adalah 5%.

4. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau yang biasa disebut dengan selimut aspal. Nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran karena rongga dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Nilai *VFWA* pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

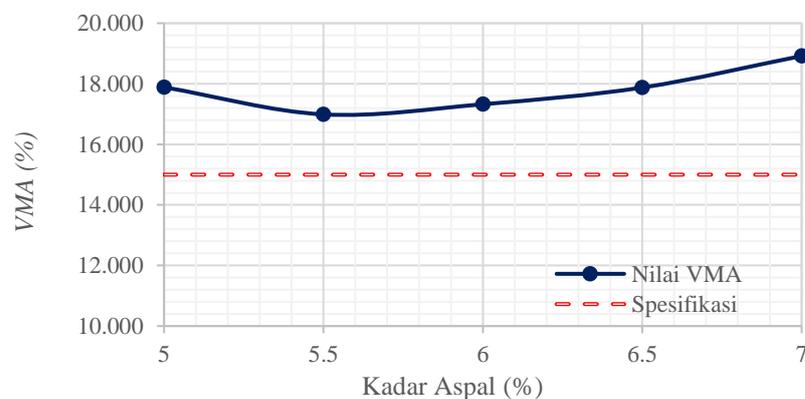


Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA*

Dapat dilihat pada Gambar 5.5, nilai *VFWA* cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Pada kadar aspal 5% dan 5,5% tidak masuk dalam spesifikasi yang diisyaratkan oleh Bina Marga yaitu minimal 76-82%, karena persen kadar aspal yang terlalu kecil sehingga rongga dalam campuran tidak terisi aspal secara baik. Meningkatnya nilai *VFWA* mengakibatkan campuran aspal menjadi kedap dan daya ikat semakin baik karena rongga tidak banyak yang kosong sehingga air dan udara tidak mudah masuk ke dalamnya. Namun nilai *VFWA* yang terlalu besar akan mengakibatkan terjadinya *bleeding*. Hal ini disebabkan karena rongga yang terlalu kecil atau terlalu banyak terisi aspal sehingga bila perkerasan menerima beban, terutama pada temperatur perkerasan yang tinggi maka sebagian aspal akan mencari tempat yang kosong atau aspal akan naik ke permukaan.

5. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap *VMA*

VMA merupakan presentase banyaknya pori diantara butir agregat dalam campuran atau dapat dinyatakan sebagai persentase rongga yang dapat ditempati aspal dan udara. Nilai *VMA* yang terlalu kecil dapat mempengaruhi durabilitas karena membatasi banyaknya rongga terisi aspal, sehingga campuran menjadi kurang kedap air dan udara. Namun jika nilai *VMA* terlalu besar akan berpengaruh pada stabilitas karena rongga antar agregat yang terlalu besar mengakibatkan kemampuan agregat saling mengunci semakin menurun. Nilai *VMA* pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.

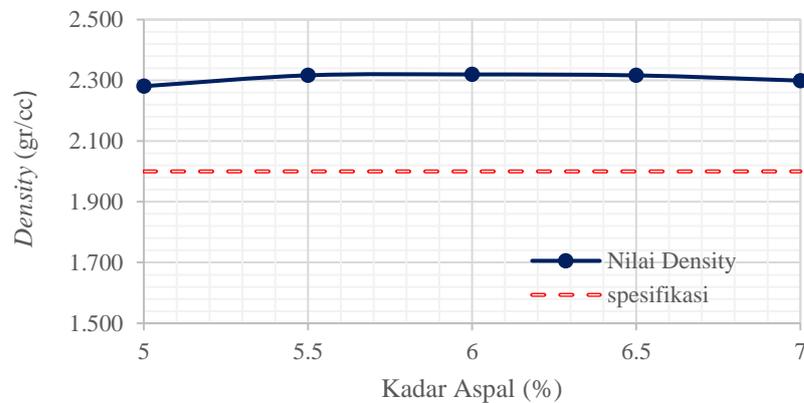


Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *VMA*

Pada pengujian ini diketahui bahwa dengan bertambahnya kadar aspal maka nilai *VMA* semakin meningkat karena selimut aspal semakin tebal. Dari grafik diatas, semua kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga untuk campuran *SMA 0/11* batas nilai *VMA* adalah 15%.

6. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap *density*

Density merupakan nilai tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Kepadatan campuran pada setiap satuan volume. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas penyusunnya, dan jumlah tumbukannya. Campuran yang memiliki nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban lebih baik dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai kepadatan rendah. Nilai *density* pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.

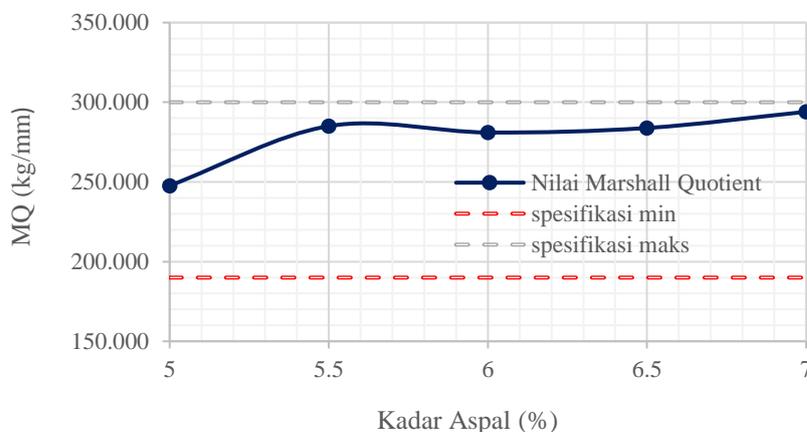


Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *Density*

Dari Gambar 5.7 dapat dilihat hasil pengujian menunjukkan semakin besar kadar aspal mengakibatkan nilai *Density* mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan bertambahnya persentase kadar aspal pada campuran mengakibatkan permukaan campuran dapat terselimuti aspal dengan baik sehingga pengikatan antara agregat dengan aspal menjadi lebih optimal.

7. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *MQ* maka perkerasannya semakin lentur. Nilai *MQ* pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.

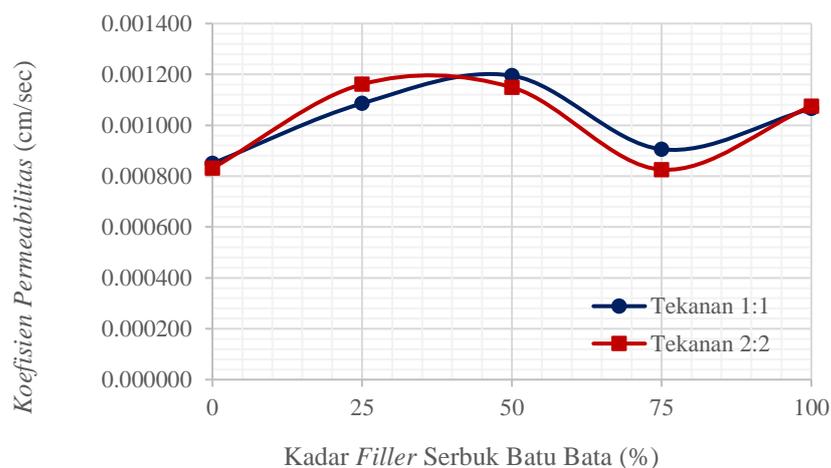


Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *MQ*

Nilai MQ pada kadar aspal 6% terus meningkat secara bertahap hingga nilai MQ tertinggi pada kadar aspal 7%. Sehingga campuran pada kadar aspal tersebut dikatakan cenderung bersifat kaku. Nilai MQ pada kadar 5,5% s/d 7% telah memenuhi syarat Bina Marga yang harus dicapai yaitu 190-300 kg/mm.

5.2.3 Permeabilitas Campuran SMA 0/11 pada Berbagai Kadar Filler Serbuk Batu Bata (SBB)

Koefisien permeabilitas menunjukkan kededapan suatu campuran beton aspal. Pada pengujian permeabilitas yang dilakukan di Laboratorium Transportasi UGM menggunakan Tekanan 1.1 sebesar 1 kg/cm^2 dan Tekanan 2.2 sebesar 2 kg/cm^2 . Hasil pengujian permeabilitas campuran SMA 0/11 dengan menggunakan filler pengganti serbuk batu bata dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara Kadar Filler SBB dengan Nilai Permeabilitas

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5.9, dapat dilihat bahwa campuran SMA 0/11 yang menggunakan filler pengganti serbuk batu bata bersifat drainase jelek. Nilai koefisien permeabilitas dengan kadar filler serbuk batu bata lebih banyak menunjukkan angka yang besar dibandingkan dengan yang menggunakan filler debu batu. Dalam berat yang sama, volume serbuk batu bata akan lebih besar dari pada volume debu batu. Semakin bertambahnya filler

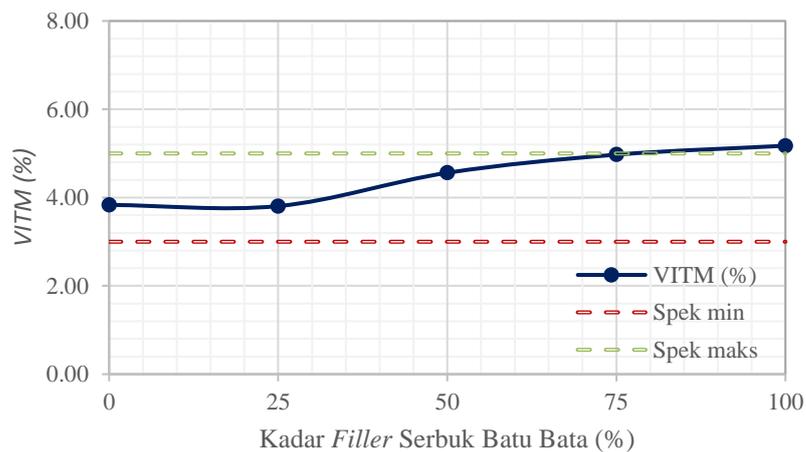
pengganti, volume serbuk batu bata yang semakin besar tersebut dengan permukaan yang lebih berpori membuat aspal akan lebih banyak terserap kedalam *filler* sehingga aspal yang menyelimuti agregat akan lebih tipis. Hal tersebut menyebabkan ikatan antara agregat dengan aspal mudah terlepas, akibatnya rongga dalam campuran semakin besar. Rongga yang semakin besar dalam campuran akan mengurangi kedekatan karena mudah meloloskan air, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang mempercepat penuaan. Pada kadar *filler* pengganti 25%, nilai *VITM* semakin besar namun nilai koefisien permeabilitas meningkat. Penurunan koefisien permeabilitas justru terjadi pada kadar *filler* pengganti 75% dengan nilai *VITM* yang semakin besar. Kemungkinan terjadinya hal tersebut dikarenakan terjadinya segregasi pada saat penuangan campuran kedalam mold saat pemadatan. Berdasarkan hasil yang didapatkan, dengan menggunakan *filler* serbuk batu bata pada campuran *SMA 0/11* dapat membuat campuran tersebut menjadi kedap air namun lebih kedap air dengan menggunakan *filler* debu batu. Tekstur partikel debu batu yang lebih halus dan sedikit porositas memungkinkan penggunaan *filler* debu batu lebih banyak akan mudah untuk diselimuti aspal, memiliki kemampuan baik untuk menahan pergerakan air dan udara didalam lapis perkerasan, sehingga lapis perkerasan akan mempunyai nilai keawetan (durabilitas) yang cukup baik.

5.2.4 Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* untuk mencari nilai KAO, didapatkan nilai KAO pada campuran *SMA 0/11* dengan aspal Pen 60/70 adalah 6,5%. Setelah campuran *SMA 0/11* dibuat dengan KAO yang telah ditentukan, kemudian dilakukan *treatment* berupa direndam air sungai dengan variasi waktu 48 jam dan 96 jam. Sebagai pembandingnya adalah campuran *SMA 0/11* yang tidak direndam air sungai. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil bahwa performa campuran *SMA 0/11* mengalami perubahan. Penjelasan selengkapnya dapat dilihat dari pembahasan berikut ini.

1. Analisis Pengaruh Kadar *Filler* Serbuk Batu terhadap Nilai *VITM*

Hasil pengujian *VITM* campuran *SMA 0/11* yang menggunakan *filler* pengganti serbuk batu bata dapat dilihat pada Gambar 5.10 di bawah ini.



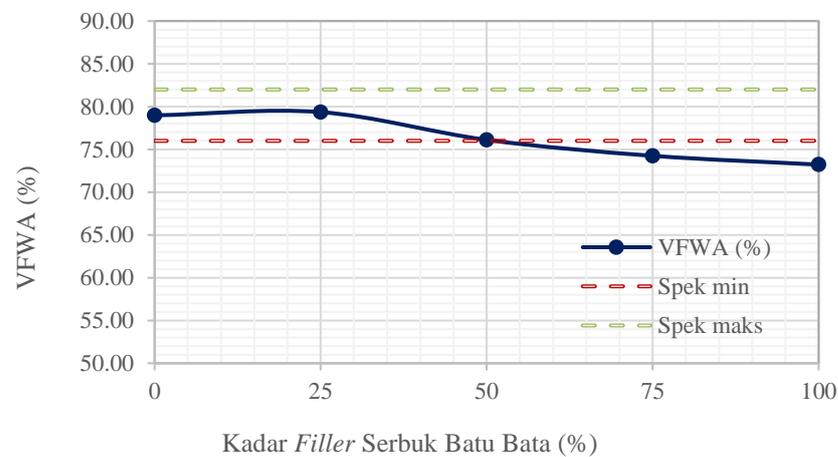
Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* SBB dengan Nilai *VITM*

Berdasarkan dari grafik dalam Gambar 5.10 Nilai *VITM* memiliki kecenderungan semakin besar seiring bertambahnya *filler* serbuk batu bata dengan peningkatan tajam terjadi pada kadar 50% sebesar 16,522%. Hal ini membuktikan bahwa kenaikan nilai *VITM* disebabkan oleh berkurangnya *filler* debu batu dan bertambahnya *filler* serbuk batu bata. Adanya *filler* pengganti yang terlalu banyak dengan permukaan yang lebih berpori akan menyerap aspal lebih banyak sehingga selimut aspal akan lebih tipis, ikatan antara agregat dengan aspal mudah lepas, dan membuat rongga-rongga udara dalam campuran yang semakin besar. Tekstur permukaan kasar pada serbuk batu bata juga menyebabkan workability berkurang, sehingga pemadatan menjadi kurang maksimal dan menimbulkan rongga dalam campuran. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam campuran, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas. Hasil tersebut sejalan

dengan penelitian yang dilakukan oleh Soediro (2003) yang menemukan bahwa nilai *VITM* cenderung semakin tinggi dengan berkurangnya *filler* debu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng. Hal tersebut membuktikan bahwa bertambahnya nilai *VITM* campuran *HRS-WC* pada kadar aspal 7% terjadi karena bertambahnya *filler* serbuk genteng.

2. Analisis Pengaruh Kadar *Filler* Serbuk Batu terhadap Nilai *VFWA*

Hasil pengujian *VMA* campuran *SMA 0/11* yang menggunakan *filler* pengganti serbuk batu bata dapat dilihat pada Gambar 5.11 di bawah ini.



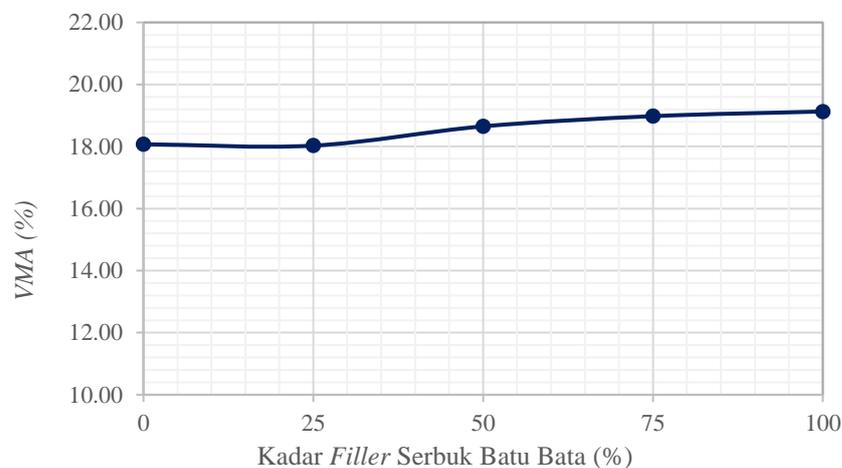
Gambar 5.11 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* SBB dengan Nilai *VFWA*

Dari Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa dengan penambahan serbuk batu bata pada awalnya membantu menaikkan nilai *VFWA* sampai kadar 25% kemudian pada kadar 50% nilai *VFWA* semakin menurun. Semakin banyaknya *filler* pengganti serbuk batu bata yang tidak diimbangi dengan kadar aspal yang semakin tinggi, menyebabkan rongga yang tidak terisi aspal semakin banyak. Hal tersebut juga dapat dikarenakan permukaan yang dimiliki serbuk batu bata lebih berpori dibanding dengan debu batu, sehingga penyerapan aspal yang tinggi oleh serbuk batu bata membuat selimut aspal menjadi tipis. Nilai *VFWA* yang terlalu kecil, berarti *VITM* terlalu besar, mengakibatkan stabilitas rendah, dapat pula menurunkan kedekatan terhadap air dan meningkatkan oksidasi

yang selanjutnya aspal akan mudah mengeras dan tidak awet (durabilitas menurun). Hasil tersebut tidak sejalan dengan penelitian Soediro (2003) yang menyimpulkan bahwa pada campuran *HRS-WC* dengan kadar *filler* 100% debu batu memiliki nilai *VFWA* terendah dan pada kadar *filler* 100% serbuk genteng memiliki nilai *VFWA* tertinggi.

3. Analisis Pengaruh Kadar *Filler* Serbuk Batu terhadap Nilai *VMA*

Hasil pengujian *VMA* campuran *SMA 0/11* dengan menggunakan *filler* pengganti serbuk batu bata dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.

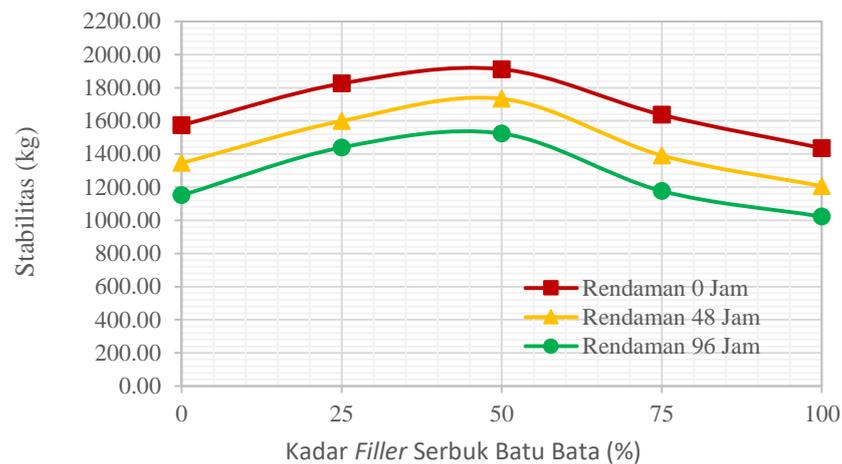


Gambar 5.12 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* SBB dengan Nilai *VMA*

Nilai *VMA* sedikit demi sedikit semakin meningkat seiring bertambahnya *filler* serbuk batu bata dan berkurangnya *filler* debu batu. Peningkatan terbesar terjadi pada kadar *filler* 50% sebesar 3,32%. Nilai *VMA* yang semakin besar menunjukkan terjadi kerenggangan antar butir agregat akibat besarnya rongga dalam campuran. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Rahaditya (2012) yaitu dengan penambahan *filler* serbuk batu bata nilai *VMA*nya semakin tinggi karena mampu bekerja dengan baik sehingga dapat terisi oleh aspal dan disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal.

4. Analisis Pengaruh Rendaman Air Sungai dengan Menggunakan *Filler* Serbuk Batu Bata terhadap Nilai Stabilitas

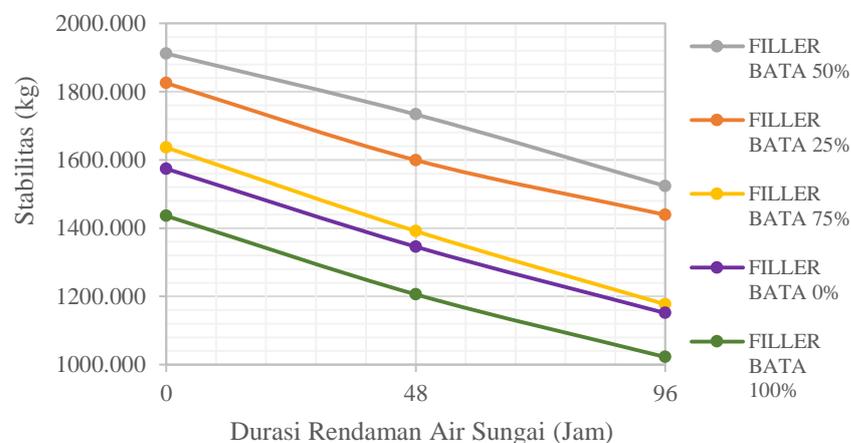
Hasil pengujian stabilitas campuran SMA 0/11 dengan menggunakan *filler* pengganti serbuk batu bata dan lama rendaman air sungai dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* SBB dengan Nilai Stabilitas pada Berbagai Durasi Rendaman Air Sungai

Dari Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa pada rendaman yang sama penambahan serbuk batu bata nilai stabilitas meningkat sampai nilai maksimum yaitu kadar *filler* pengganti 50% kemudian pada kadar 75% nilai stabilitas menurun. Penambahan *filler* pengganti pada awalnya membantu menaikkan nilai stabilitas, karena bentuk partikel serbuk batu bata yang tajam mempunyai bidang kontak yang lebih luas sehingga memberikan *interlocking* yang besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh semakin tinggi. Disamping itu serbuk batu bata yang memiliki tekstur permukaan kasar dan berpori dengan proporsi yang semakin bertambah dapat mengurangi workability sehingga rongga dalam campuran semakin besar, ikatan antar butir agregat melemah serta daya ikat terhadap aspal berkurang. Hal tersebut membuat nilai stabilitas berangsur menurun. Kurangnya workability juga mempengaruhi kepadatan, jika kepadatannya kurang maka nilai stabilitasnya rendah. Stabilitas paling rendah dihasilkan oleh kadar *filler* 100% serbuk batu bata. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar *filler* 100% serbuk batu bata benda uji yang dihasilkan lebih

lembek namun masih berada diatas spesifikasi. Pada komposisi *filler* 25% dan 50% serbuk batu bata, nilai stabilitas mengalami kenaikan hal tersebut dapat disebabkan pengikatan antara *filler* serbuk batu bata dengan lapisan aspal masih cukup baik, sehingga nilai stabilitas akan terus naik sampai mencapai nilai maksimum. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Rahaditya (2012) yang menyatakan bahwa dengan *filler* serbuk batu bata sebesar 10%, nilai stabilitas semakin meningkat dengan nilai stabilitas maksimum pada kadar aspal 6,5%.



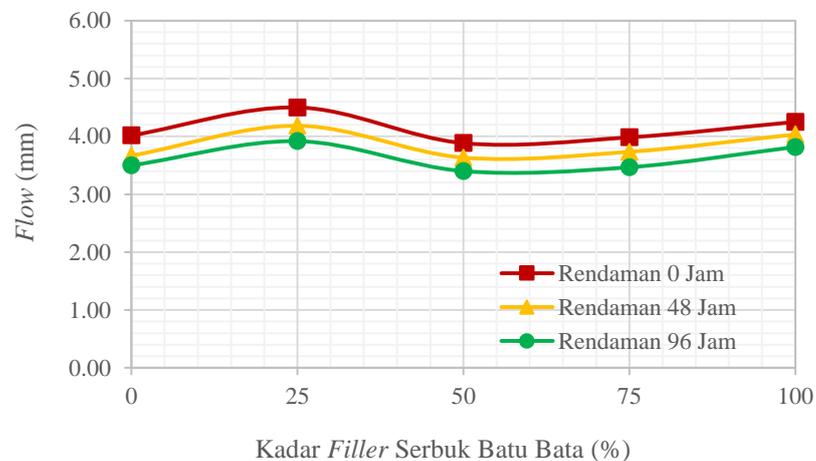
Gambar 5.14 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Sungai dengan Nilai Stabilitas pada Berbagai Kadar *Filler* SBB

Dapat dilihat grafik dalam Gambar 5.14 pada kadar *filler* yang sama terjadi penurunan nilai stabilitas dengan semakin lamanya durasi rendaman. Hal ini dapat disebabkan semakin lama waktu perendaman, air sungai yang masuk dalam campuran semakin banyak sehingga membuat ketahanan atau kekuatan campuran semakin kecil. Penggunaan *filler* serbuk batu bata pada kadar 50% mempunyai performa yang lebih baik dalam menahan beban dengan kondisi terendam air sungai. Penurunan nilai stabilitas terbesar terjadi pada kadar *filler* serbuk batu bata 100% sebesar 16,010% rendaman 48 jam dan 28,788% rendaman 96 jam. Berdasarkan analisis statistik Anova, hasil yang didapatkan signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa lama durasi perendaman air sungai berpengaruh signifikan terhadap nilai stabilitas. Hal ini sejalan dengan

hasil penelitian yang dilakukan oleh Handaka (2017) yang menyimpulkan bahwa nilai stabilitas campuran *Split Mastic Asphalt* menurun seiring bertambahnya lama waktu rendaman air hujan selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

5. Analisis Pengaruh Rendaman Air Sungai dengan Menggunakan *Filler* Serbuk Batu Bata terhadap Nilai *Flow*

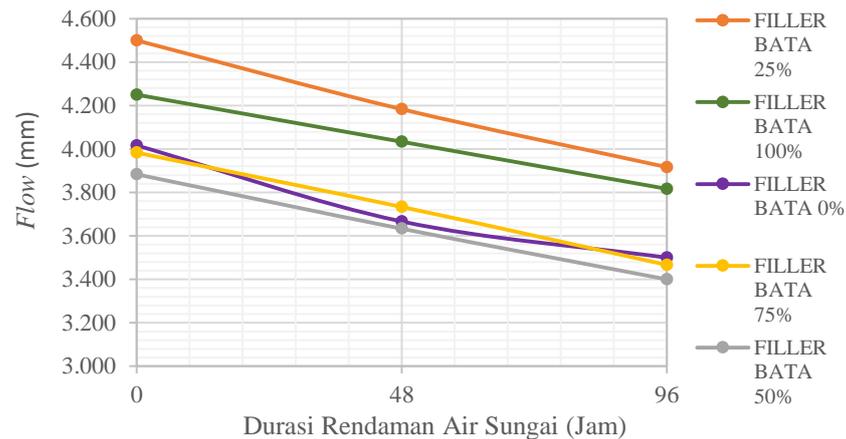
Nilai *flow* terhadap rendaman air sungai dan penambahan kadar *filler* pengganti dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 di bawah ini.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* SBB dengan Nilai *Flow* pada Berbagai Durasi Rendaman Air Sungai

Berdasarkan dari grafik dalam Gambar 5.15 Nilai *flow* campuran pada kadar aspal optimum 6,5% memiliki kecenderungan semakin besar seiring bertambahnya *filler* serbuk batu bata secara bertahap. Hal ini membuktikan bahwa kenaikan nilai *flow* disebabkan oleh berkurangnya *filler* debu batu dan bertambahnya *filler* serbuk batu bata. Kenaikan nilai *flow* seiring bertambahnya kadar *filler* serbuk batu bata disebabkan karena permukaan serbuk batu bata yang berpori akan menyerap aspal lebih banyak, sehingga campuran cenderung kurang daya lekatnya. Hal tersebut akan membuat rongga dalam campuran semakin besar, yang berakibat lebih rentan terhadap deformasi. Dari grafik *flow* diatas dapat disimpulkan penambahan *filler* serbuk batu bata dengan kadar aspal

yang tinggi dalam campuran mengakibatkan nilai *flow* semakin tinggi. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mandeng (2005) yang menemukan bahwa nilai *flow* dengan menggunakan *filler* batu bata naik seiring dengan penambahan kadar *filler*.

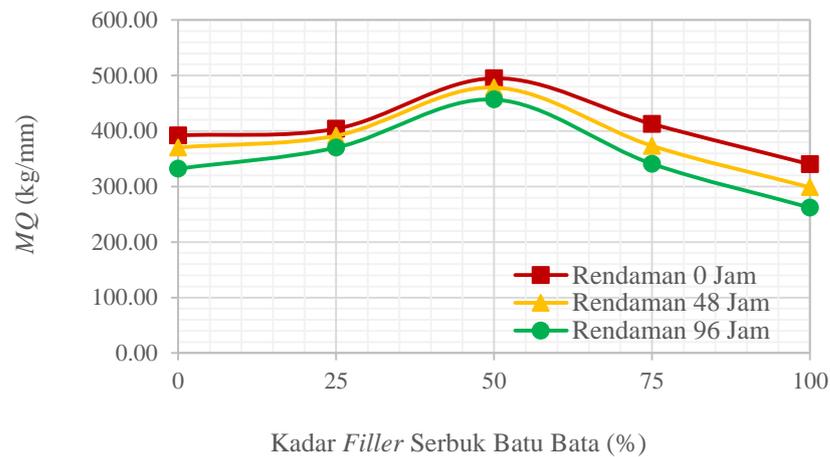


Gambar 5.16 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Sungai dengan Nilai *Flow* pada Berbagai Kadar *Filler* SBB

Terlihat pada grafik dalam Gambar 5.16 bahwa semakin lama durasi rendaman air sungai menyebabkan penurunan nilai *flow* pada setiap proporsi kadar *filler* yang sama. Hal ini disebabkan karena campuran yang mengalami perendaman lebih lama akan melemahkan ikatan antar butir agregat yang mengakibatkan deformasi menjadi lebih besar. Berdasarkan analisis statistik *Anova* didapatkan hasil yang signifikan yang berarti lama durasi rendaman air sungai berpengaruh signifikan terhadap nilai *flow*. Nilai *flow* tertinggi yaitu pada kadar *filler* pengganti 25%. Hal tersebut menunjukkan pada kondisi direndam air sungai, campuran SMA 0/11 dengan *filler* serbuk batu bata mampu menahan deformasi dengan cukup baik dibandingkan dengan menggunakan *filler* debu batu.

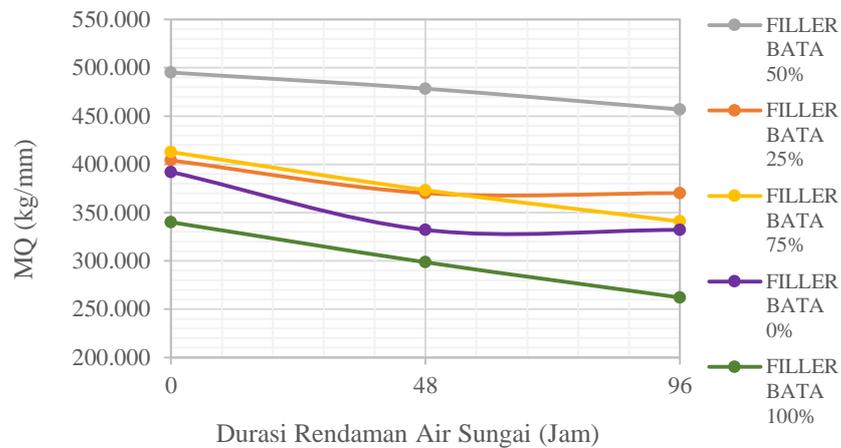
- Analisis Pengaruh Rendaman Air Sungai dengan Menggunakan *Filler* Serbuk Batu Bata terhadap Nilai *MQ*

Hasil pengujian *Marshall Quotient* campuran *SMA 0/11* yang menggunakan *filler* pengganti serbuk batu bata dan lama rendaman air sungai dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 di bawah ini.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* SBB dengan Nilai *MQ* pada Berbagai Durasi Rendaman Air Sungai

Pada Gambar 5.17 dapat dilihat dengan kadar *filler* serbuk batu bata yang sama nilai *MQ* meningkat secara bertahap sampai kadar *filler* 50% kemudian mengalami penurunan pada kadar *filler* 75%. Nilai *MQ* yang meningkat disebabkan karena cenderung meningkatnya nilai stabilitas sampai kadar *filler* pengganti 50%, selanjutnya penurunan nilai *MQ* terjadi karena dengan proporsi *filler* pengganti yang lebih banyak didapat nilai *MQ* yang semakin rendah, hal ini dikarenakan perbandingan antara stabilitas yang kecil dan *flow* yang besar. Sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rahaditya (2012), nilai *MQ* cenderung naik pada campuran *HRS-WC* dengan menggunakan *filler* serbuk batu bata pada kadar aspal ideal. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *SMA 0/11* dengan *filler* pengganti 25% dan 50% memiliki nilai kekakuan yang tinggi. Pada kadar *filler* pengganti 75% dan 100% menjadikan campuran mudah mengalami deformasi.

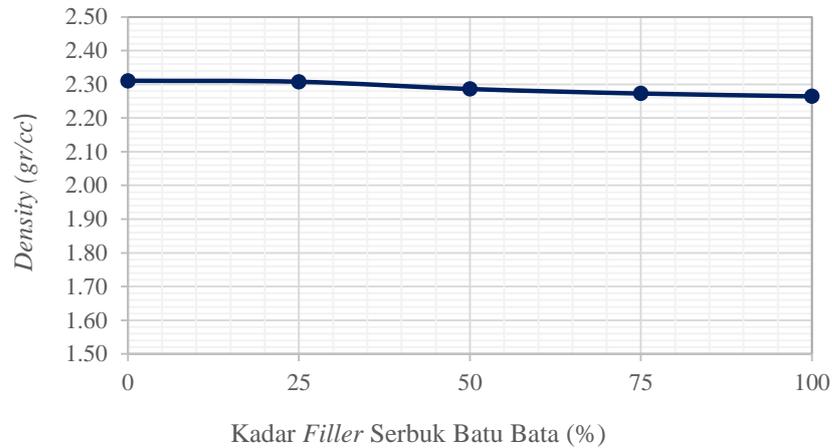


Gambar 5.18 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Sungai dengan Nilai MQ pada Berbagai Kadar *Filler* SBB

Pada Gambar 5.18 terlihat untuk tiap proporsi kadar *filler* yang sama nilai MQ semakin menurun dengan bertambahnya lama rendaman air sungai, yang berarti bahwa rendaman air sungai dapat menurunkan kekakuan campuran. Dilihat dari laju penurunan nilai MQ , dengan *filler* pengganti 50% paling baik performanya saat direndam air sungai. Penurunan nilai *flow* terbesar 15,300% pada kadar *filler* 0% yang direndam air selama 48jam dan 22,925% pada kadar *filler* 100% yang direndam selama 96 jam. Hasil yang diperoleh dengan menganalisis menggunakan statistik *Anova* yaitu signifikan, maka dapat disimpulkan durasi rendaman secara signifikan mempengaruhi nilai MQ . Hal ini sejalan dengan penelitian Handaka (2017) yang menyatakan bahwa nilai MQ mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi lama rendaman air hujan pada campuran *Split Mastic Asphalt*.

7. Analisis Pengaruh Kadar *Filler* Serbuk Batu terhadap Nilai *Density*

Hasil pengujian *density* campuran *SMA 0/11* dengan menggunakan *filler* pengganti serbuk batu bata dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.

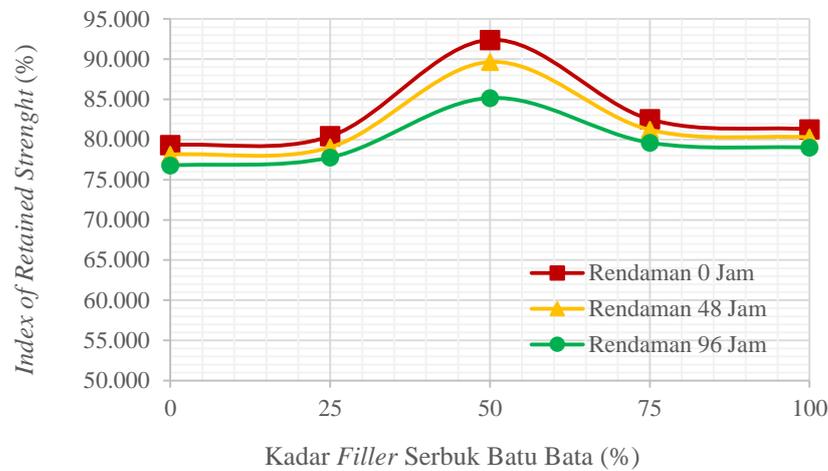


Gambar 5.19 Grafik Hubungan antara Kadar Filler SBB dengan Nilai *Density*

Dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.19 nilai *density* memiliki kecenderungan semakin menurun seiring bertambahnya kadar *filler* serbuk batu bata. Hal tersebut dapat disebabkan karena tingginya penyerapan aspal oleh serbuk batu bata, namun dengan semakin bertambahnya proporsi serbuk batu bata yang terlalu banyak mengakibatkan berkurangnya daya lekat aspal terhadap agregat sehingga mengurangi karapatan campuran SMA 0/11. Penurunan nilai kepadatan juga dapat dipengaruhi oleh semakin banyak butiran pengisi yang harus diselimuti oleh aspal. Hal ini mengakibatkan aspal yang seharusnya menempati sebagian rongga menjadi berkurang, sedangkan dengan terlalu banyak *filler* pengganti membuat proses pemadatan tidak berlangsung sempurna.

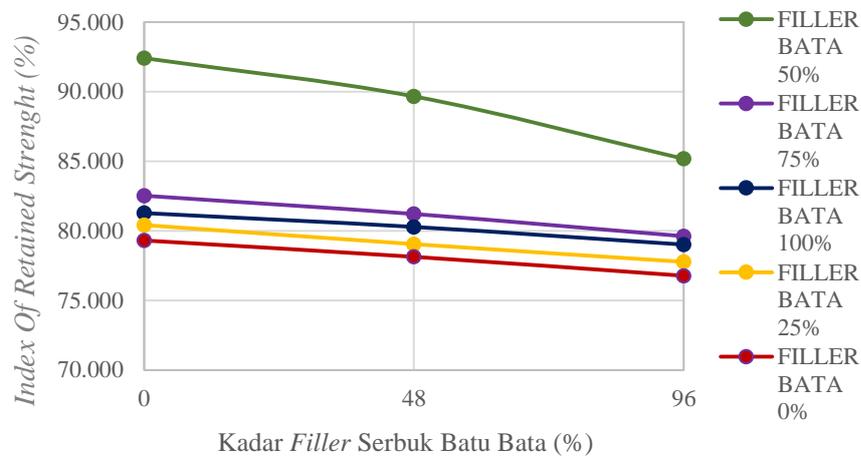
5.2.5 Karakteristik *Index Of Retained Strenght (IRS)* pada Berbagai Variasi Kadar Filler Serbuk Batu Bata dan Variasi Durasi Rendaman Air Sungai

Index of Retained Strenght didapatkan dari proses perendaman untuk mengevaluasi keawetan campuran setelah mengalami proses perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman 30 menit pada suhu 60°C. Grafik nilai IRS dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* SBB dengan Nilai *IRS* pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Sungai

Dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.20 pada kadar *filler* yang sama nilai *IRS* cenderung semakin meningkat hingga nilai maksimum yaitu pada kadar *filler* pengganti 50% kemudian mengalami penurunan pada kadar *filler* pengganti 75%. Semakin besarnya penambahan proporsi serbuk batu bata menyebabkan ikatan antar agregatnya berkurang, membuat rongga dalam campuran semakin besar dan gangguan air semakin bertambah sehingga mengurangi kekuatan yang berakibat nilai *IRS* menurun. Sedangkan nilai koefisien permeabilitas semakin meningkat karena rongga yang tidak rapat (*VITM* semakin besar) dan penguncian antar butir agregat serta daya ikat dari lapisan aspal berkurang memudahkan pengaliran air meresap ke dalam campuran, sehingga campuran *SMA 0/11* berkurang kekedapannya. Kekedapan yang berkurang meningkatkan proses oksidasi, dan mempercepat penuaan sehingga menurunkan keawetan. Meskipun nilai *IRS* menurun, tetapi nilai *IRS* tetap lebih besar dibandingkan dengan campuran dengan kadar serbuk batu bata 0% (tanpa serbuk batu bata). Hasil yang didapatkan sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yasruddin (2000), yaitu pada campuran *HRA*, nilai *IRS* semakin meningkat dengan pengurangan proporsi *filler* batu bata.

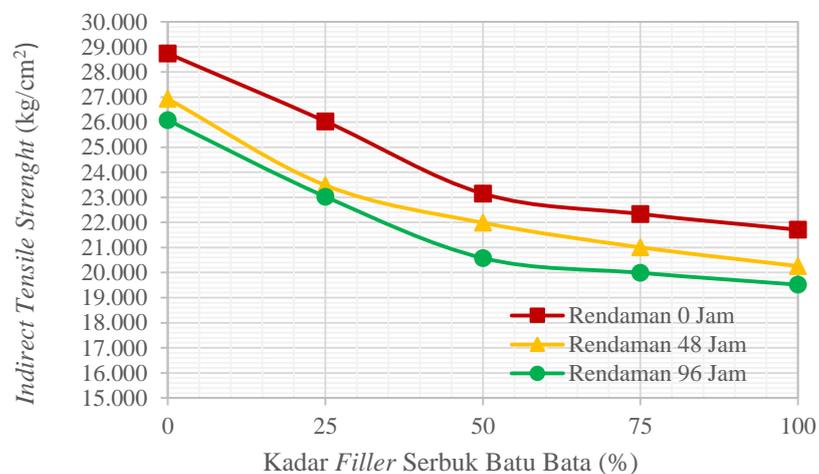


Gambar 5.21 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Sungai dengan Nilai *IRS* pada Berbagai Kadar *Filler* SBB

Dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.21 bahwa nilai *index of retained strenght* juga menurun dengan bertambahnya lama durasi rendaman air sungai. Perendaman lebih lama menyebabkan air terserap kedalam spesimen meningkat dan menembus ke bagian antar permukaan aspal-agregat dan pori-porinya. Kehadiran air pada bagian permukaan antar permukaan-aspal dan pori-pori ini pada akhirnya akan mengarah pada pengelupasan aspal dari permukaan agregat dan menyebabkan berkurangnya kekuatan campuran. Derajat keasaman yang tinggi pada air sungai juga dapat mempengaruhi ikatan antara aspal dan agregat yang mempercepat terjadinya oksidasi, kondisi ini dapat diperparah dengan semakin lamanya waktu perendaman. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Prabowo (2013) bahwa semakin tinggi derajat keasamann yang merendam campuran, semakin merusak campuran tersebut. Nilai *IRS* yang disyaratkan oleh *Asphalt Institute* adalah sebesar 75%. Pada kadar *filler* pengganti 0% s/d 100% telah memenuhi persyaratan yang ditentukan, sehingga sifat durabilitas campuran SMA dapat dikatakan cukup durabel. Nilai *IRS* terbesar terjadi pada kadar *filler* pengganti 50% dan nilai *IRS* terendah pada kadar *filler* pengganti 0%. Hal ini menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan *filler* serbuk batu bata lebih baik nilai *IRS* nya daripada tanpa serbuk batu bata. Dengan melakukan analisis statistik *Anova* didapatkan hasil yang signifikan sehingga durasi rendaman air sungai mempengaruhi nilai *IRS*.

5.2.6 Karakteristik *Indirect Tensile Strenght (ITS)* pada Berbagai Kadar *Filler* Serbuk Batu Bata dan Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Sungai

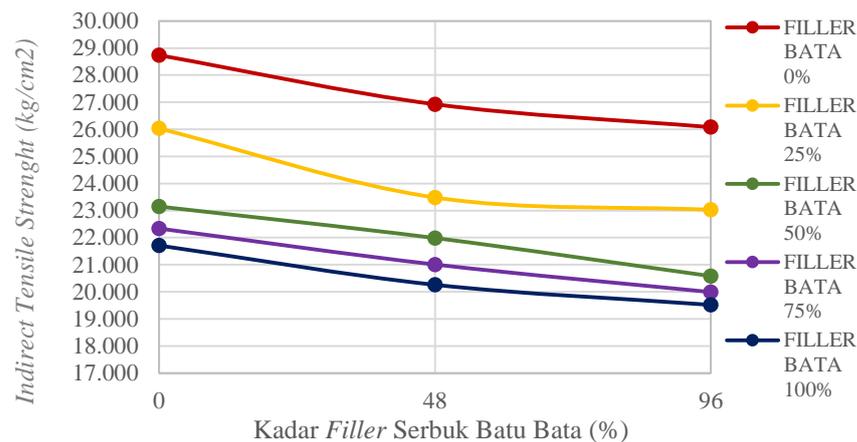
Indirect Tensile Strenght (ITS) adalah pengujian yang berguna untuk mengetahui nilai gaya tarik tidak langsung pada campuran aspal akibat beban lalu lintas. Hasil pengujian *ITS* pada campuran *SMA 0/11* dengan *filler* pengganti serbuk batu bata yang direndam air sungai dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22 Grafik Hubungan Nilai *ITS* terhadap Kadar *Filler* SBB pada Berbagai Durasi Rendaman Air Sungai

Hasil pengujian *ITS* dapat menggambarkan perkiraan potensi *stripping* atau terlepasnya butiran-butiran agregat dari campuran. Dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.16 bahwa nilai *ITS* pada campuran *SMA 0/11* semakin menurun seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti serbuk batu bata dengan durasi rendaman yang sama. Hal tersebut dapat terjadi karena serbuk batu bata yang semakin bertambah, membuat rongga dalam campuran *SMA 0/11* menjadi besar. Penyerapan aspal yang tinggi oleh serbuk batu bata membuat selimut aspal menjadi tipis, dan besarnya pori menyebabkan campuran semakin berkurang kekedapannya. Akibatnya udara yang masuk kedalam campuran semakin banyak, menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal teroksidasi dan menjadi getas, sehingga tidak dapat menahan beban

lebih baik daripada dengan campuran *SMA 0/11* tanpa menggunakan serbuk batu bata. Menurunnya nilai *ITS* sejalan dengan hasil permeabilitas yang didapatkan yaitu semakin meningkat karena campuran menjadi getas dan mudah retak yang diakibatkan ikatan antar agregatnya melemah.

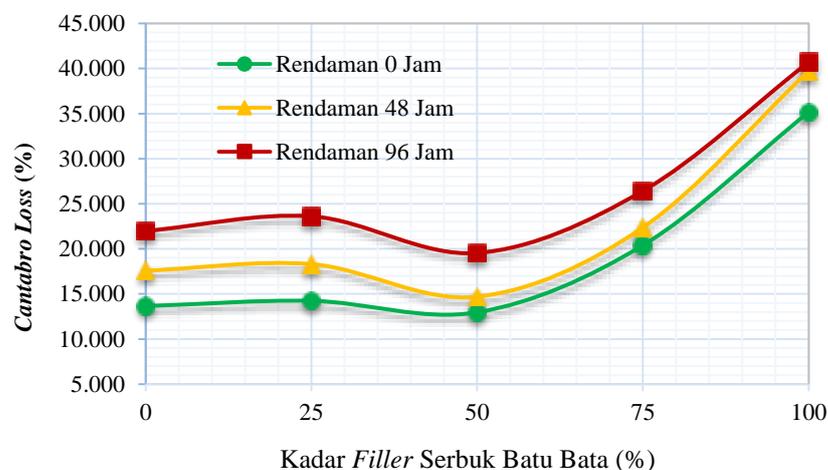


Gambar 5.23 Grafik Nilai *ITS* pada Berbagai Kadar *Filler* SBB pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Sungai

Dari grafik dalam Gambar 5.23 Dapat dilihat bahwa nilai stabilitas *ITS* pada campuran *SMA 0/11* dengan proporsi kadar *filler* yang sama cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambah lamanya durasi perendaman air sungai. Hal ini disebabkan berkurangnya adhesi dan kohesi aspal sehingga terjadi pelemahan ikatan antar agregat dan aspal yang akan mengakibatkan nilai stabilitas dan kuat tarik campuran menjadi berkurang. Berdasar analisis statistik *Anova* didapatkan hasil yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan lamanya durasi rendaman air sungai mempengaruhi nilai *ITS* dengan signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *ITS* pada campuran *SMA 0/11* dengan menggunakan debu batu relatif lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan serbuk batu bata. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Putra (2016) bahwa pada campuran *ACWC* nilai kuat tarik menjadi semakin berkurang seiring bertambahnya waktu perendaman.

5.2.7 Nilai *Cantabro Loss* pada Berbagai Kadar *Filler* Serbuk Batu Bata dan Variasi Durasi Rendaman Air Sungai

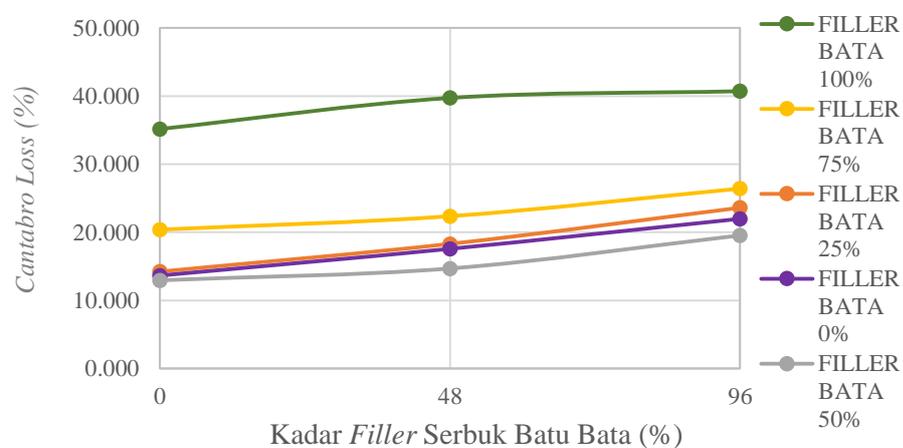
Pengujian *Cantabro Loss* bertujuan untuk mengetahui kekuatan campuran akibat abrasi dengan simulasi pada benda uji menggunakan mesin abrasi *Loss Angeles*. Hasil pengujian *Cantabro Loss* pada campuran SMA 0/11 dengan *filler* pengganti dan direndam air sungai dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 dibawah ini.



Gambar 5.24 Grafik Nilai *Cantabro Loss* pada Berbagai Kadar *Filler* SBB dan Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Sungai

Dari grafik dalam Gambar 5.24 dapat dilihat kehilangan berat semakin besar seiring dengan penambahan *filler* serbuk batu bata pada durasi rendaman yang sama. Dengan sedikit peningkatan sampai dengan kadar 75%, kemudian pada kadar 75% sampai dengan 100% terjadi peningkatan tajam. Hal ini disebabkan penambahan *filler* pengganti yang semakin banyak menyebabkan antara agregat dengan aspal semakin berkurang daya ikatnya, membuat rongga semakin besar yang berakibat campuran SMA 0/11 menjadi getas dan mudah mengalami keausan. Keausan terjadi karena rongga yang besar memudahkan air dan udara masuk kedalam campuran sehingga mempercepat proses pengelupasan aspal dari permukaan agregat. Dengan demikian, penggunaan serbuk batu bata yang lebih banyak pada campuran tidak tahan terhadap abrasi akibat gesekan roda kendaraan

dan kurang durabel. Meningkatnya nilai *cantabro* diiringi dengan koefisien permeabilitas yang semakin meningkat pula, karena nilai koefisien yang semakin besar menunjukkan bahwa lapis perkerasan akan sangat peka terhadap kerusakan struktural dan pergerakan udara didalam lapis perkerasan akan menyebabkan rendahnya nilai durabilitas sehingga campuran SMA 0/11 dengan kadar *filler* pengganti yang semakin banyak tidak dapat menahan abrasi secara optimal, menurunkan keawetan dan kekuatan campuran.



Gambar 5.25 Grafik Nilai *Cantabro Loss* pada Berbagai Kadar *Filler* SBB pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Sungai

Pada Gambar 5.25 terlihat bahwa dengan proporsi *filler* yang sama yang direndam air sungai dapat mempengaruhi nilai *Cantabro Loss* menjadi semakin meningkat. Hal tersebut menunjukkan agregat sudah tidak dapat berikatan dengan baik sehingga pemisahan antara agregat saat dilakukan pengujian *cantabro loss* dengan mesin *Los Angeles* semakin besar. Nilai *Cantabro Loss* yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah $< 20\%$. Kadar *filler* pengganti serbuk batu bata 0%, 25% dan 50% tidak memenuhi syarat yang ditentukan. Dengan melakukan analisis statistik *Anova* didapatkan hasil yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan lama durasi rendaman mempengaruhi nilai *Cantabro*. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hasbi (2012) bahwa nilai *Cantabro* pada campuran

aspal porus yang direndam air asin semakin meningkat pada setiap penambahan durasi rendaman.

5.2.8 Tinjauan Umum Karakteristik *Split Mastic Asphalt 0/11* Akibat

Pengaruh Kadar *Filler* Serbuk Batu Bata dan Rendaman Air Sungai

Sesuai dengan latar belakang dan tujuan penelitian, berdasarkan hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa serbuk batu bata dapat untuk menggantikan debu batu sebagai *filler* dan pada beberapa parameter, penggunaan serbuk batu bata pada kadar 50% menunjukkan hasil yang lebih baik.

Bertambahnya kadar *filler* pengganti dapat membantu menaikkan nilai stabilitas hingga mencapai stabilitas maksimum pada kadar *filler* 50%. Dengan berbagai durasi rendaman air sungai penggunaan *filler* serbuk batu bata pada kadar 50% mempunyai performa yang lebih baik dalam menahan beban. Nilai *flow* pada kadar *filler* 50% tidak melebihi 4 mm sehingga akan menghasilkan lapis perkerasan yang tidak lembek dan tidak terlalu tipis sehingga tidak mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas. Namun akibat lamanya durasi rendaman air sungai nilai *flow* jauh lebih rendah dibandingkan dengan *filler* debu batu.

Nilai *MQ* meningkat secara bertahap sampai kadar *filler* 50% kemudian mengalami penurunan pada kadar *filler* 75%. Dilihat dari laju penurunan nilai *MQ*, dengan *filler* pengganti 50% paling baik performanya saat direndam air sungai. Nilai *VITM* pada kadar *filler* 0% dan 25% relatif rendah, dan pada kadar 75% dan 100% semakin membesar. Maka diambil kadar *filler* 50% dengan proporsi serbuk batu bata tidak terlalu berlebihan yang dapat mengisi rongga dengan baik sehingga campuran menjadi rapat dan kedap air.

Nilai *IRS* cenderung semakin meningkat hingga nilai maksimum yaitu pada kadar *filler* pengganti 50% kemudian mengalami penurunan pada kadar *filler* pengganti 75%. Semakin tinggi nilai *IRS* berarti gangguan air terhadap stabilitas campuran kecil. Nilai *Cantabro Loss* tekecil terjadi pada kadar *filler* serbuk batu bata 50%. Hal ini menunjukkan campuran *SMA 0/11* dengan kadar *filler* serbuk batu bata sebesar 50% pada berbagai variasi durasi rendaman air sungai memiliki kekuatan yang lebih baik untuk menahan abrasi.

