

## BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Hasil Penelitian

#### 5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal AC 60/70 dan Aspal Ban Karet

Dalam penelitian ini aspal yang digunakan adalah aspal AC 60/70 yang dan Aspal Modifikasi dengan Serbuk Ban Karet lolos saringan No.50. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Sesuai persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yang mana menghasilkan data, terlihat dalam Tabel 5.1 dan 5.2 . Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 101 sampai 112.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Pen 60/70**

No.	Jenis Pengujian		Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis		$\geq 1$	1,0751	Memenuhi
2	Penetrasi	(0,1 mm)	60-70	61,5	Memenuhi
3	Daktilitas	(cm)	$\geq 100$	164,0	Memenuhi
4	Titik Nyala	(°C)	$\geq 232$	318,0	Memenuhi
5	Titik Bakar	(°C)	$\geq 225$	331,0	Memenuhi
6	Kelarutan TCE	(%)	$\geq 99$	100,0	Memenuhi
7	Titik Lembek	(°C)	$\geq 48$	48	Memenuhi

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Aspal Ban Karet (Modifikasi) Karet 10%**

No.	Jenis Pengujian		Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis		$\geq 1$	1,0732	Memenuhi
2	Penetrasi	(0,1 mm)	50-80	53,4	Memenuhi
3	Daktilitas	(cm)	$\geq 50$	100,5	Memenuhi
4	Titik Nyala	(°C)	$\geq 225$	245,0	Memenuhi
5	Titik Bakar	(°C)	$\geq 225$	253,0	Memenuhi
6	Kelarutan TCE	(%)	$\geq 99$	93,5	Tidak Memenuhi
7	Titik Lembek	(°C)	$\geq 54$	56,5	Memenuhi

### 5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian agregat berupa pengujian agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang digunakan berupa agregat dari Clereng dan pengujian agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Data yang diperoleh dari pengujian karekteristik agregat telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti tercantum dalam Tabel 5.3 dan 5.4 Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 113 sampai Lampiran 116

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

No .	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2.5	2,6440	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3.0	1,56609	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	97,5	Memenuhi
4	Kausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	< 40	26.6	Memenuhi

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Agregat Halus**

No .	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2.5	2,6271	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3.0	2,35	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	71,2409	Memenuhi

### 5.1.3 Hasil Pengujian Air Laut

Pengujian air laut meliputi Klorida ( $Cl^o$ ), Sulfat ( $SO_4$ ) dan tingkat keasaman (Ph). Air laut diambil dari tanggal 1 januari 2018, Semarang. Pengujian air laut dilakukan pada tanggal 3-16 januari di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII, Yogyakarta. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dilihat pada Tabel 5.5 Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 152.

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Air Laut**

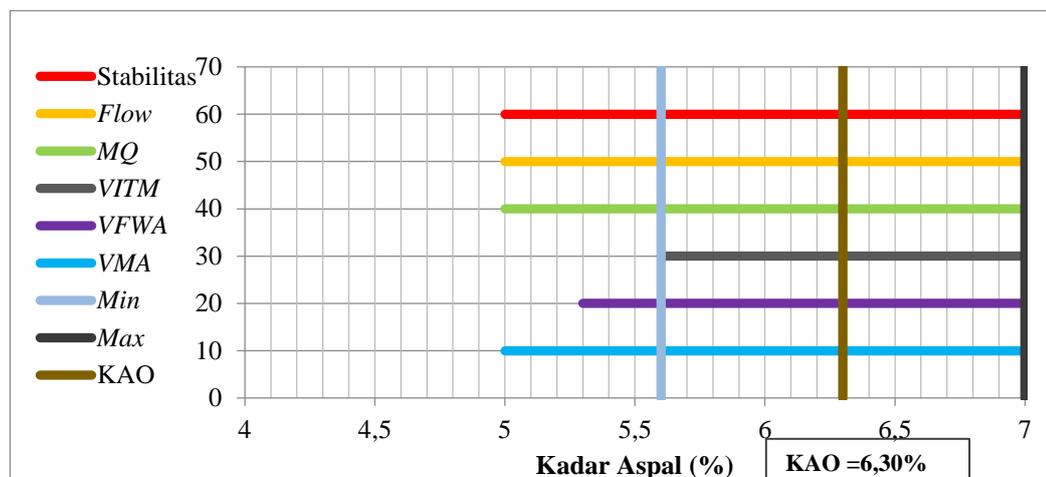
UJI KUALITAS AIR LAUT SEMARANG					
No.	Paramater	Satuan	Hasil Uji		Metode Uji
			A.003		
1	pH	%	-	6,82	SNI 06-6989.11-2004
2	Klorida (Cl*)	%	mg/L	12,240	SNI 6989.19:2009
3	Sulfat (SO4)	%	mg/L	20,9	SNI 6989.20:2009

#### 5.1.4 Hasil Pengujian Campuran *Superpave* untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian di laboratorium Jalan Raya FTSP UII diperoleh nilai-nilai stabilitas (*Stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), *VFWA* (*Void Filled With Asfalt*) dan *VIM* (*Void in Mix*) dari campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat pen 60/70. Nilai-nilai dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.6, Kemudian dari hasil tabel tersebut digambarkan pada gambar 5.1 untuk menentukan kadar aspal optimum yang baik dalam kadar aspal yang memenuhi semua sifat campuran yang diinginkan, nilai kadar aspal optimum diperoleh dari hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi batas-batas spesifikasi campuran. Hasil selengkapnya pada Lampiran 117 dan Lampiran 118.

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Aspal 60/70**

<i>Kadar Aspal</i>	<i>Stabilitas (kg)</i>	<i>Flow (mm)</i>	<i>MQ (kg/mm)</i>	<i>VITM (%)</i>	<i>VFWA (%)</i>	<i>VMA (%)</i>	<i>Density (gr/cc)</i>
5	2341,68	4,20	559.40	7,23	59,51	17,84	2,28
5.5	2553,69	6,20	411.89	5,55	68,02	17,36	2,31
6	1945,68	4,85	402.58	4,07	76,18	17,06	2,33
6.5	1870,25	5,68	333.80	3,47	80,28	17,53	2,33
7	1912,88	5,41	353.75	3,24	82,33	18,32	2,32
<b>Spesifikasi</b>	<b>&gt;800</b>	<b>&gt;3</b>	<b>&gt;250</b>	<b>3,0 - 5,0</b>	<b>&gt;65</b>	<b>&gt;15</b>	<b>-</b>



**Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70**

Berdasarkan Gambar 5.1 diperoleh nilai kadar aspal optimum dari campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 adalah 6,30%. Berdasarkan kadar aspal optimum yang telah diperoleh maka kebutuhan jumlah agregat campuran dapat ditentukan seperti pada Tabel 5.7 berikut ini.

### 5.1.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Setelah didapatkan kadar aspal optimum maka kebutuhan agregat pada campuran *Superpave* 9 mm pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Tabel 5.7 Kadar Aspal Optimum Agregat Campuran yang dipakai 6,30%**

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
inc	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Jumlah	Tertahan
1 "	37,5	100	100	100	0	0	0
3/4 "	25	90	100	95	5	56,22	56,22
1/2 "	19	75	90	82,5	17,5	196,77	140,55
No.8	2,36	23	49	39	61	685,88	489,11
No.16	1,18	13	40	33	67	753,35	67,46
No.30	0,600	10	30	24,5	75,5	848,92	95,57
No.50	0,300	8	20	17	83	933,25	84,33
No.200	0,075	2	8	5	95	1068,18	134,93
Pan		0	0	0	100	1124,4	56,22
						Jumlah	1124,4

**Tabel 5.8 Kebutuhan Ban Karet Yang Digunakan**

Kadar Ban Karet (%)	Berat Aspal Optimum 6,3% (gr)	Berat Ban Karet (gr)	Jumlah Sampel	Kebutuhan Ban Karet (gr)
0	75,60	0	156	0
6		4,536		707,616
8		6,048		943,488
10		7,56		1179,36
			Total	2830,464

### 5.1.6 Hasil Pengujian *Marshall Standart* Kondisi KAO Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Laut

Hasil pengujian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII diperoleh nilai-nilai stabilitas (*Stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*) dari campuran *Superpave* yang menggunakan bahan tambah 0%, 6%, 8%, 10% limbah ban karet dengan aspal Pen 60/70 dan diberi perendaman di dalam air laut selama 0 jam, 48 jam dan 96 jam, sebelum melakukan pengujian. Hasil dilihat pada Tabel 5.9. dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 119 sampai Lampiran 123.

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall Standart* Menggunakan Bahan Tambah Limbah Ban Karet Dengan Variasi Durasi Rendaman Air Laut**

Rekapitulasi Karakteristik <i>Marshall Standar</i>								
Lama Rendaman	Kadar karet	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4 hari/ 96 jam	0	1488,22	2,98	506,57	5,71	70,12	19,08	2,28
	6	1492,54	3,15	476,25	5,79	69,75	19,15	2,28
	8	1543,02	3,30	469,89	6,70	66,39	19,93	2,25
	10	1491,34	3,11	478,89	7,42	64,43	20,55	2,24
2 hari/ 48 jam	0	1517,64	3,08	491,83	5,44	71,22	18,85	2,28
	6	1557,56	3,37	466,29	5,47	71,09	18,87	2,28
	8	1604,99	3,79	424,07	6,29	67,89	19,58	2,26
	10	1529,60	3,27	469,84	6,68	66,47	19,92	2,25
0 hari/ 0 jam	0	1530,44	3,23	473,15	4,29	76,14	17,86	2,31
	6	1618,48	3,63	450,28	4,81	73,79	18,31	2,30
	8	1672,60	4,23	395,42	5,15	72,42	18,60	2,29
	10	1552,43	3,38	461,76	5,44	71,18	18,85	2,28
Spesifikasi		> 800	>3	> 250	3,0 - 5,0	> 65	> 15	-

### 5.1.7 Hasil Pengujian *Marshall Immersion* Kondisi KAO Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Laut

Hasil pengujian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII diperoleh nilai *Index of Retained Strength* berdasarkan pengujian *Marshall Immersion* dari campuran *Superpave* yang menggunakan bahan tambah 0%, 6%, 8%, 10% limbah ban karet dengan aspal Pen 60/70 dan diberi perendaman di dalam air laut selama 0 jam, 48 jam dan 96 jam, sebelum melakukan pengujian. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9. dan Tabel 5.10 dan data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 124 sampai Lampiran 126.

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall* 24 jam Water Bath**

Rekapitulasi Karakteristik <i>Marshall</i> Rendaman 24 JAM								
Durasi Rendaman Air Laut	Kadar karet	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4 hari/ 96 jam	0	1434,71	2,69	537,50	3,05	82,57	16,80	2,34
	6	1436,10	2,93	490,25	4,71	74,28	18,22	2,30
	8	1467,30	3,03	487,04	5,16	72,32	18,61	2,29
	10	1380,32	2,80	493,77	5,22	72,06	18,66	2,29
2 hari/ 48 jam	0	1467,41	2,83	522,11	3,86	77,98	17,49	2,32
	6	1503,76	3,09	488,15	4,29	75,98	17,86	2,31
	8	1538,20	3,25	474,65	5,08	72,66	18,54	2,29
	10	1450,50	2,98	491,94	5,32	71,71	18,74	2,29
0 hari/ 0 jam	0	1491,02	3,12	478,03	3,82	78,20	17,46	2,32
	6	1573,18	3,52	448,72	4,40	75,56	17,95	2,31
	8	1624,70	3,72	437,53	5,89	69,40	19,23	2,27
	10	1480,05	3,25	456,35	6,17	68,33	19,48	2,27
Spesifikasi		> 800	>3	> 250	3,0 - 5,0	> 65	> 15	-

**Tabel 5.10 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength***

IRS				
Lama Rendaman (jam)	Kadar karet (%)			
	0	6	8	10
0	97,424	97,201	97,136	95,337
48	96,690	96,545	95,839	94,829
96	96,404	96,219	95,093	92,556

### 5.1.8 Hasil Pengujian Permeabilitas Pada Kondisi KAO Pada Berbagai Variasi Kadar Persentase Ban Karet

Hasil pengujian di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada diperoleh nilai Permeabilitas berdasarkan pengujian *Marshall Immersion* dari campuran *Superpave* yang menggunakan bahan tambah 0%, 6%, 8%, 10% limbah ban karet dengan aspal Pen 60/70. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.10. dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 129.

**Tabel 5.10 Hasil Pengujian Permeabilitas pada Berbagai Kadar Ban Karet**

Kadar Aspal Karet (%)	Sampel	K (Tekanan 1:1)	K (Tekanan 2:2)	Kategori
0	0M.36	2,06E-04	2,15E-04	Drainasi Jelek
	0M.35	1,73E-04	1,62E-04	
	0M.34	1,32E-04	1,73E-04	
Rata-rata		1,70E-04	1,83E-04	
6	6M.36	1,33E-04	1,96E-04	Drainasi Jelek
	6M.35	1,07E-04	1,60E-04	
	6M.34	1,25E-04	1,83E-04	
Rata-rata		1,22E-04	1,79E-04	
8	8M.36	1,10E-04	1,72E-04	Drainasi Jelek
	8M.35	1,13E-04	1,95E-04	
	8M.34	1,28E-04	2,10E-04	
Rata-rata		1,17E-04	1,92E-04	
10	10M.36	2,69E-04	3,00E-04	Drainasi Jelek
	10M.35	2,67E-04	2,94E-04	
	10M.34	2,86E-04	2,31E-04	
Rata-rata		2,74E-04	2,75E-04	

### 5.1.9 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* Kondisi KAO Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Laut

Hasil pengujian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII diperoleh nilai *ITS* berdasarkan pengujian *Indirect Tensile Strength* pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan tambah 0%, 6%, 8% dan 10% serbuk ban karet, yang terlebih dahulu diberikan perlakuan berupa perendaman di dalam air laut selama 0 jam, 48 jam dan 96 jam, sebelum dilakukan pengujian *Indirect Tensile Strength*, dapat

dilihat nilai pada Tabel 5.11 sampai 5.14 dan juga hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 127 dan Lampiran 130.

**Tabel 5.11 Hasil Pengujian ITS pada Berbagai Kadar Ban Karet dan Varian Rendaman Air Laut**

Durasi Perendaman Air Laut		ITS (kg/cm <sup>2</sup> )			
		0	6	8	10
0 HARI / 0 JAM	0	17,277	13,955	11,585	11,234
2 HARI / 48 JAM	48	17,458	15,110	13,352	11,267
4 HARI / 96 JAM	96	17,594	15,792	14,048	11,576

#### 5.1.10 Hasil Pengujian *Cantabro* pada Kondisi KAO dengan Variasi Persentasi Kadar Ban Karet

Hasil pengujian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII diperoleh nilai *Cantabro* berdasarkan pengujian ketahanan benda uji terhadap keausan pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan tambah 0%, 6%, 8% dan 10% serbuk ban karet dengan aspal Pen 60/70, yang terlebih dahulu diberikan perlakuan berupa perendaman di dalam air laut selama 0 jam, 48 jam dan 96 jam sebelum dilakukan pengujian *Cantabro*. Nilai *Cantabro* dilihat pada Tabel 5.12 dan hasil selengkapnya bisa dilihat pada Lampiran 128.

**Tabel 5.12 Hasil Pengujian *Cantabro* pada Berbagai Kadar Ban Karet dan Varian Rendaman Air Laut**

Hari / Jam	<i>Cantabro</i>				%Penurunan
	Persen Karet(%)				
	0	6	8	10	
0	5,928	4,770	4,314	3,669	38,1136
48	8,152	6,894	6,244	4,737	41,89223
96	9,417	7,588	5,577	4,942	47,52403
<b>%Kenaikan</b>	58,85	59,09	29,26579	34.69955	

Data-data uji sifat fisik aspal karet terhadap aspal pen 60/70 dianalisis menggunakan analisis statistic t-test. Hasil rekapitulasi analisis menggunakan

*Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.13, dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran 131 sampai Lampiran 133.

**Tabel 5.13 Hasil Rekapitulasi Data Uji Statistika *Anova* untuk Pengujian Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 Dengan Aspal Karet 10%**

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
Berat Jenis	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
Penetrasi	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
Daktalitas	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
Titik Nyala	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
Titik Bakar	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
Kelarutan <i>TCE</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
Titik Lembek	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan

Data-data seperti karakteristik *Marshall*, *Immersion Test*, *ITS* dan *Cantabro* dengan pengaruh rendaman air laut terhadap karakteristik campuran *Superpave* dengan bahan tambah limbah serbuk ban karet dan aspal Pen 60/70 dianalisis dengan menggunakan analisis statistik *Anova*. Hasil rekapitulasi analisis menggunakan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15

**Tabel 5.14 Hasil Rekapitulasi Data Uji Statistika *Anova* untuk Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Karakteristik *Marshall***

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
Stabilitas	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
<i>Flow</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>MQ</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan

**Tabel 5.15 Hasil Rekapitulasi Data Uji Statistika *Anova* untuk Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap *IRS*, *ITS* dan *Cantabro***

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

Data-data seperti karakteristik *Marshall*, *Immersion Test*, *ITS*, Permeabilitas dan *Cantabro* terhadap karakteristik campuran *Superpave* dengan bahan tambah limbah serbuk ban karet dan aspal Pen 60/70 dianalisis dengan menggunakan analisis statistik *Anova*. Hasil rekapitulasi analisis menggunakan *t-test* dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17

**Tabel 5.16 Hasil Rekapitulasi Data Uji Statistika *Anova* untuk Karakteristik *Marshall* dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet**

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
Stabilitas	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
<i>Flow</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
<i>MQ</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan

**Tabel 5.17 Hasil Rekapitulasi Data Uji Statistika *Anova* terhadap *IRS*, *ITS*, Permeabilitas dan *Cantabro* dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet**

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
<i>Immersion</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>ITS</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
Permeabilitas 1.1	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
Permeabilitas 2.2	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>Cantabro</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Karakteristik Bahan

1. Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Bahan Tambah Ban Karet
  - a) Berat Jenis Aspal

Pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dengan *vicnometer*. Berat jenis bitumen adalah perbandingan antara berat bitumen dan berat aquades dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal perlu diperhatikan dalam merancang campuran antara agregat dan aspal. Hasil pengujian berat jenis menunjukkan nilai berat jenis aspal Pen 60/70 adalah 1,0751 dan berat jenis aspal ban karet (modifikasi), yaitu 1,0731. Kedua nilai

tersebut menunjukkan hasil yang tidak terlalu berbeda/tidak signifikan dan secara memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010  $\geq 1,00$ .

b) Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal. Semakin keras aspal ditunjukkan oleh kecilnya angka penetrasi aspal. Semakin keras aspal menunjukkan semakin lekatnya aspal dan semakin besar nilai kohesinya. Hasil pengujian menunjukkan nilai penetrasi aspal Pen 60/70 sebesar 61,5 mm dan aspal ban karet (modifikasi) sebesar 53,4 mm. Nilai penetrasi kedua aspal tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan. Aspal ban karet (modifikasi) memiliki nilai penetrasi lebih kecil yang berarti memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari pada Pen 60/70. Penetrasi kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu untuk Pen 60/70 antara 60 mm sampai 70 mm dan aspal modifikasi 50 mm sampai 80 mm.

c) Daktalitas

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kelekatan atau kohesi dalam aspal itu sendiri yang dapat mempengaruhi nilai fleksibilitas campuran. fleksibilitas campuran menunjukkan kemampuan campuran untuk menahan lendutan yang terjadi tanpa mengalami kerusakan. Hasil pengujian daktalitas pada aspal Pen 60/70 sebesar 164 cm dan aspal ban karet (modifikasi) lebih kecil yaitu sebesar 100,5 cm. nilai daktalitas kedua aspal tersebut menunjukkan hasil yang berbeda secara signifikan dan keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70  $\geq 100$  cm dan aspal modifikasi  $\geq 50$  cm.

d) Titik Nyala Aspal

Aspal merupakan bahan bersifat *thermoplastik*, dimana kekentalan yang dipengaruhi oleh temperature. Semakin tinggi temperatur maka semakin lunak atau cair. Pengujian titik nyala aspal bertujuan untuk mengetahui batas temperatur dimana aspal masih cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pengujian titik nyala menunjukkan nilai 318°C untuk Pen 60/70, dan 245°C untuk aspal ban karet (modifikasi). Hasil pengujian titik nyala kedua aspal tersebut

menunjukkan perbedaan yang signifikan namun tetap memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70  $\geq 232^{\circ}\text{C}$  dan aspal modifikasi  $\geq 225^{\circ}\text{C}$ .

e) Titik Bakar Aspal

Aspal merupakan bahan bersifat *thermoplastik*, dimana kekentalan yang dipengaruhi oleh temperature. Semakin tinggi temperature maka semakin lunak atau cair. Pengujian titik nyala aspal bertujuan untuk mengetahui batas temperature dimana aspal menimbulkan api ketika dipanaskan. Hasil pengujian titik bakar menunjukkan nilai  $331^{\circ}\text{C}$  untuk Pen 60/70, dan  $253^{\circ}\text{C}$  untuk aspal ban karet (modifikasi). Hasil pengujian titik bakar kedua aspal tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan namun tetap memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70  $\geq 225^{\circ}\text{C}$  dan aspal modifikasi  $\geq 225^{\circ}\text{C}$ .

f) Kelarutan dalam *TCE*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kelarutan aspal dengan *TCE*, semakin besar persentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan material yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan dalam *TEC* menunjukkan nilai sebesar 100% untuk aspal Pen 60/70 dan 93,5% untuk aspal ban karet (modifikasi). Hasil tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan namun persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70  $\geq 99\%$  sesuai syarat sedangkan pada aspal modifikasi tidak sesuai persyaratan yang menunjukkan hasil  $\geq 99\%$ .

g) Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek aspal bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperature. Dimana semakin tinggi temperature maka menjadi lembek. Hasil pengujian titik lembek menunjukkan nilai sebesar  $48^{\circ}\text{C}$  untuk Pen 60/70, dan  $56,5^{\circ}\text{C}$  untuk aspal ban karet (modifikasi). Hasil pengujian titik lembek kedua aspal tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan namun tetap memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70  $\geq 48^{\circ}\text{C}$  dan aspal modifikasi  $\geq 54^{\circ}\text{C}$ .

h) Indeks Penetrasi Aspal / *Penetration Indeks (IP)*

Kepekaan terhadap suhu adalah sensitifitas perubahan sifat viskoelastisitas aspal akibat perubahan suhu dimana sifat ini dinyatakan indeks penetrasi aspal (IP). Nilai penetrasi dapat dinyatakan bersama dengan nilai titik lembek dalam bentuk PI (Penetration Indeks). Semakin tinggi nilai titik lembek maka IP akan semakin tinggi pada nilai penetrasi yang sama, dengan tinggi nilai IP dapat mengurangi deformasi. Kepekaan aspal tersebut dinyatakan dengan Indeks Penetrasinya (IP) yang berkisar antara -3 sampai 7. Nilai-nilai dari hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.18.

**Tabel 5.18 Indeks Penetrasi Aspal Pen 60/70 dan Aspal Karet 10%**

<b>Benda Uji</b>	<b>Sampel</b>	<b>Titik Lembek (°C)</b>	<b>Penetrasi (mm)</b>	<b>PI</b>
<b>Aspal Pen 60/70</b>	1	48	61,5	-0,0489
<b>Aspal Karet 10%</b>	2	56,5	53,4	0,4677

Hasil pengujian sifat fisik aspal pen 60/70 dan aspal ban karet (modifikasi) menunjukkan pada pengujian penetrasi, titik nyala, titik bakar, daktalitas, kelarutan *TCE* dan titik lembek menunjukkan perbedaan yang signifikan Sedangkan nilai berat jenis tidak signifikan. Meskipun demikian, hasil sebagian besar pengujian tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 kecuali pada pengujian Kelarutan *TCE*. Hal ini menunjukkan aspal ban karet (modifikasi) lebih lembek dan memiliki titik nyala, titik bakar, dan titik lembek jauh lebih rendah dibandingkan dengan aspal Pen 60/70.

## 2. Karakteristik Agregat Kasar

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 2,6440. 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 mempunyai kadar pori yang besar memiliki nilai penyerapan yang besar, sehingga akan lebih banyak membutuhkan aspal. Hasil pengujian penyerapan agregat terhadap air adalah sebesar 1,5661%. 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 kedua aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55 menunjukkan nilai sebesar 97,5%. 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 26,6%. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 40\%$ .

3. Karakteristik Agregat Halus

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 temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis agregat halus Clereng sebesar 2,627. Nilai berat jenis dari agregat halus telah 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 mempunyai kadar pori yang besar akan lebih banyak membutuhkan aspal karena nilai penyerapannya semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat halus Clereng terhadap air sebesar 2,35%. Nilai penyerapan agregat terhadap agregat Clereng memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu kurang dari 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 71,241%. Nilai *sand equivalent* pada agregat halus Clereng memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 50\%$ , ini bahwa agregat halus Clereng cukup bersih dan terbebas dari kandungan debu, lumpur, atau kotoran lainnya yang dapat mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat.

4. Karakteristik Air Hujan

a) Ph Air Laut

Pengujian pH bertujuan untuk mengetahui derajat keasaman suatu zat. Semakin rendah nilai pH suatu zat maka akan semakin asam, sebaliknya semakin tinggi pH suatu zat maka akan semakin basa. Nilai pH berkisar antara 0 sampai 14, dan nilai pH normal adalah 7. Hasil pengujian didapatkan nilai pH sebesar 6.82.

b) Klorida ( $\text{Cl}^\ominus$ ) dan Sulfat ( $\text{SO}_4$ )

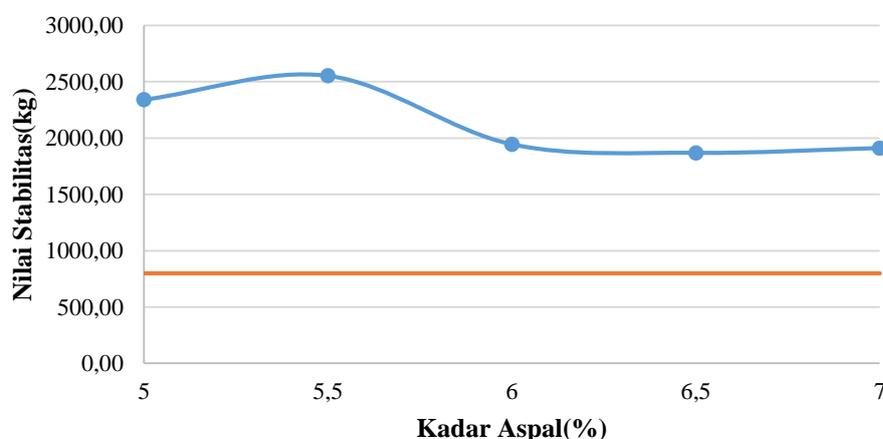
Air laut mengandung 3,5% garam yang dapat mempengaruhi kerusakan jalan. Pada pengujian air laut di Laboratorium Teknik Lingkungan UII ini terdapat kandungan garam berupa klorida dan sulfat pada air laut Semarang yaitu sebesar 12,240 mg/L dan 20,9 mg/L

## 5.2.2 Karakteristik *Marshall* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

### 1. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan campuran beton aspal menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis atau deformasi akibat beban kendaraan yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan yang berarti. Nilai stabilitas tergantung dari gaya saling mengunci (*internal friction*) antara batuan dan kelekatan. *Internal friction* tergantung pada tekstur permukaan, bentuk butiran, gradasi agregat, kepadatan campuran dan kadar aspal.

Kadar aspal dalam suatu campuran dapat mempengaruhi nilai stabilitasnya, seiring dengan penambahan aspal nilai stabilitas akan terus mengalami peningkatan sampai batas maksimumnya. Penambahan aspal diatas batas maksimum akan menyebabkan penurunan stabilitas dan menghasilkan suatu perkerasan yang kaku dan bersifat getas. Berdasarkan hasil pengujian di di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII diperoleh nilai grafik stabilitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.



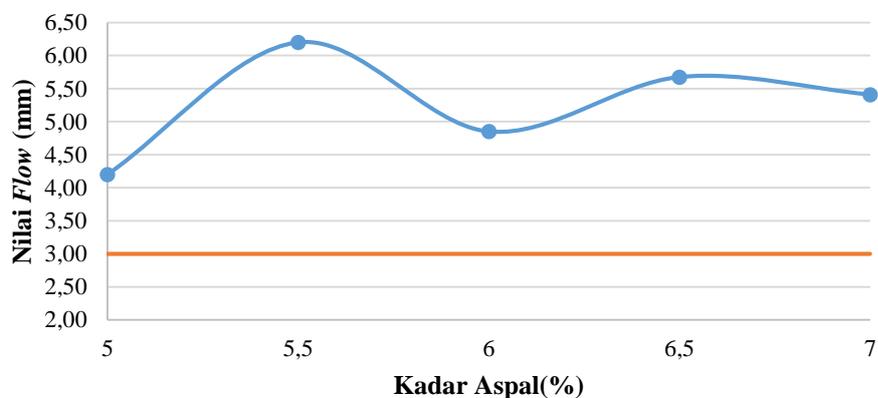
**Gambar 5.2 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.2 diatas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas memeuhi persyaratan Bina Marga 2010 dan campuran mengalami kenaikan dan kemudian mengalami penurunan pada kadar 6%. Hal ini disebabkan fungsi aspal yang semula sebagai pengikat yang menjadikan nilai stabilitas meningkat, lalu berubah fungsi menjadi pelican saat kadar aspal terlalu banyak sehingga menjadikan nilai stabilitas menurun.

## 2. *Flow*

Kelelahan (*Flow*) merupakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). kelelahan suatu campuran menunjukkan tingkat kelenturan lapis perkerasan, tingkat kelelahan tersebut lebih banyak ditentukan oleh jenis aspal, terutama nilai penetrasi aspal. Aspal yang memiliki nilai penetrasi yang rendah maka menghasilkan lapis perkerasan yang tingkat fleksibilitasnya rendah.

Campuran yang memiliki nilai *flow* rendah dengan stabilitas tinggi cenderung kaku sehingga mudah retak bila menerima beban yang melebihi dari kapasitas daya dukungnya. Sebaliknya jika nilai *flow* tinggi dengan stabilitas yang rendah maka akan cenderung bersifat plastis dan mudah merubah bentuk bila menerima beban yang melebihi kapasitasnya. Nilai *flow* dipengaruhi oleh beberapa factor, yaitu gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperatur pematatan.

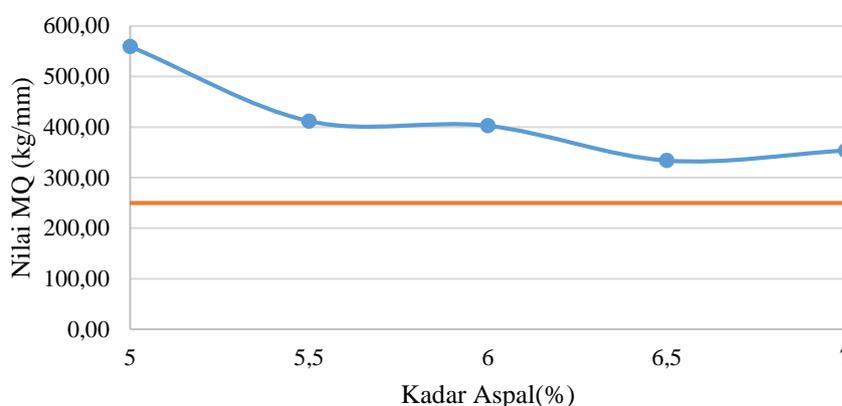


**Gambar 5.3 Grafik Hubungan antar Kadar Aspal dan Nilai *Flow***

Berdasarkan Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa dengan seiringnya penambahan kadar aspal, nilai *flow* mengalami peningkatan dan penurunan di setiap penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan oleh distribusi agregat yang tidak merata dan turunya suhu temperatur aspal pada proses pemadatan. Dapat dilihat juga bahwa nilai *flow* diatas memenuhi persyaratan Bina Marga  $>3$  mm.

### 3. Marshall Quotient (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Nilai *Marshall Quotient* digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Faktor-faktor yang mempengaruhi *Marshall Quotient* adalah stabilitas dan *flow*, seperti bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, daya lekat, kadar aspal, jumlah dan temperature pemadatan. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Marshall Quotient* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4 berikut ini.



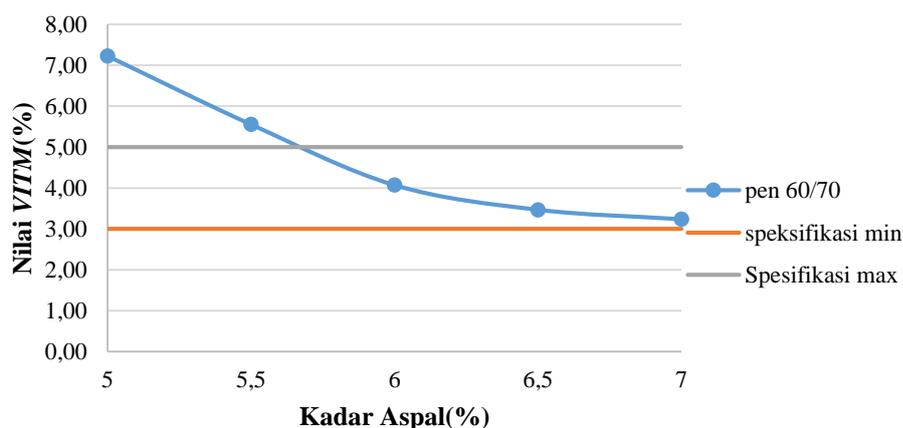
**Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Marshall Quotient***

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa nilai *MQ* semakin kecil seiring bertambahnya persentase aspal yang digunakan dalam campuran beton aspal bergradasi *Superpave* dan memenuhi persyaratan Bina Marga  $>250$  kg/mm.

### 4. VITM (*Void in the Total Mix*)

Nilai *VITM* menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran, yang dinyatakan dalam persentase terhadap total volume campuran agregat dan aspal. Beton aspal yang mempunyai nilai *VITM*  $< 3\%$  akan berpotensi besar terjadinya bleeding (mengalami aspal ke permukaan campuran). Akibat tingginya temperature, aspal dalam campuran akan mencair sehingga saat perkerasan menerima beban, aspal akan mengalir di antara rongga agregat. Sebaliknya nilai *VITM*  $> 5\%$  menunjukkan campuran tidak rapat dan mengakibatkan melelehnya ikatan aspal terhadap agregat yang selanjutnya aspal tidak mampu untuk mengikat agregat.

Bina Marga mensyaratkan nilai *VITM* batas maksimum 5% dan batas minimum 3% untuk dapatkan keawetan campuran dan batas minimum untuk mencegah terjadinya deformasiplastis. Berdasarkan hasil pengujian dilaboratorium diperoleh nilai grafik *VITM* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut ini.



**Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM***

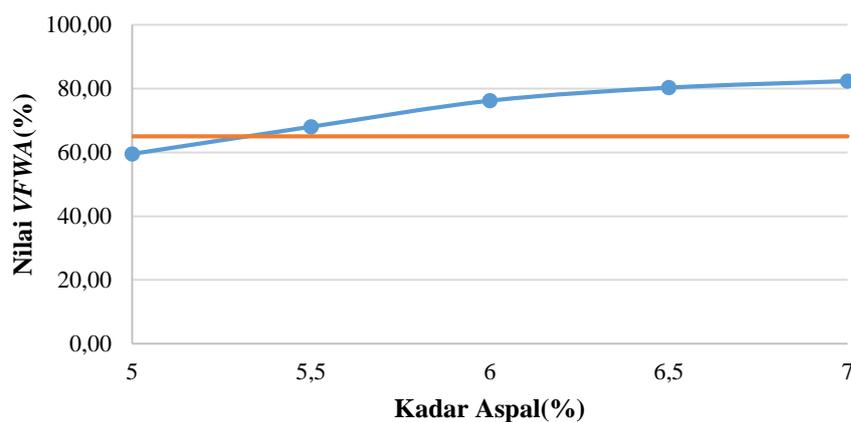
Grafik pada Gambar 5.5 campuran beton aspal bergradasi *Superpave* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 sudah memasuki spesifikasi yang telah ditentukan oleh Bina Marga 2010. Nilai *VITM* pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat aspal pen 60/70 cenderung mengalami penurunan.

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

Nilai *VFWA* menunjukkan banyaknya persen rongga yang ada dalam campuran yang terisi oleh aspal. Berdasarkan nilai *VFWA* berpengaruh pada kedekatan

campuran terhadap air dan udara yang dapat mempengaruhi keawetan suatu perkerasan. Faktor-faktor yang mempengaruhi *VFWA* adalah gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperature pemadatan.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *VFWA*, terlihat pada Gambar 5.6 berikut.

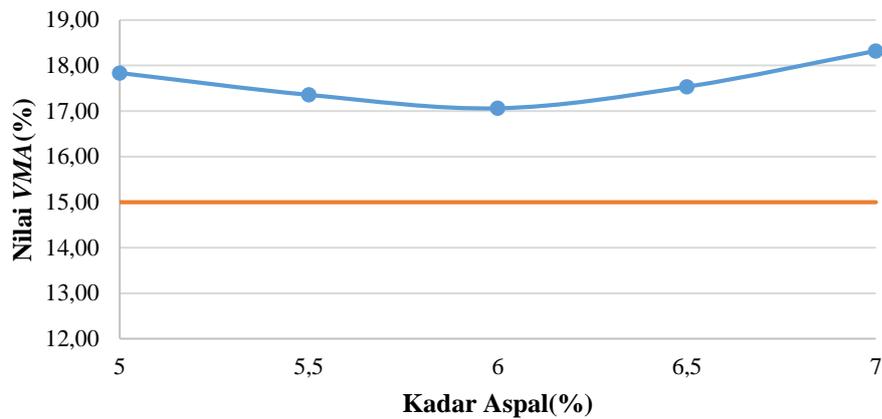


**Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA***

Grafik pada Gambar 5.4 di atas dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar aspal maka nilai *VFWA* semakin meningkat. Hal ini akan mengakibatkan sisa aspal yang menutup rongga menjadi lebih besar, sehingga banyaknya persen rongga dalam campuran yang terisi aspal menjadi besar.

#### 6. *VMA (Void in Mineral Agregat)*

Nilai pori dalam mineral agregat campuran padat (*VMA*) menunjukkan banyaknya pori di antara butir-butir agregat didalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Nilai *VMA* juga sebagai rongga yang tersedia untuk ditempati volume aspal dan udara yang diperlukan dalam campuran agregat dan aspal. Berdasarkan hasil pengujian maka nilai *VMA* terlihat pada Gambar 5.7.

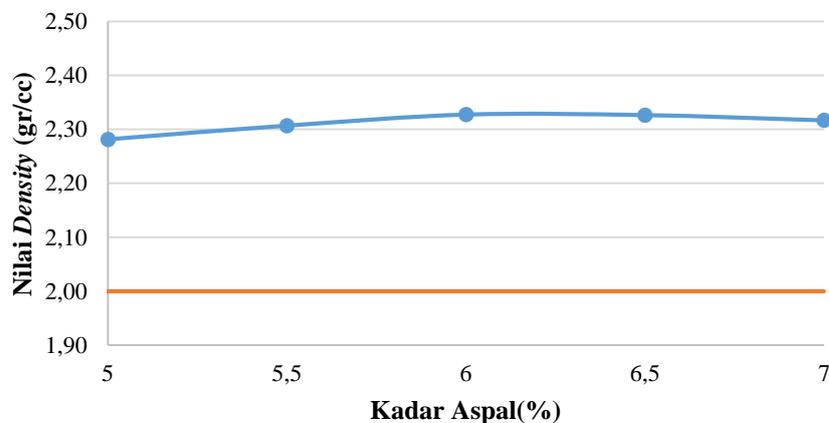


**Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VMA**

Grafik pada Gambar 5.7 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai VMA memiliki nilai sesuai persyaratan Bina Marga 2010 yaitu diatas 15%. Sehingga lapis perkerasan mudah cenderung mengikat dan tidak mudah terjadi *reveling*, *striping* dan lainnya.

#### 7. Density

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai kepadatan ini menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik, tetapi nilai *density* sudah pada nilai optimum kemudian ditambah aspal yang berlebih maka nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh grafik nilai *density* sebagai berikut.



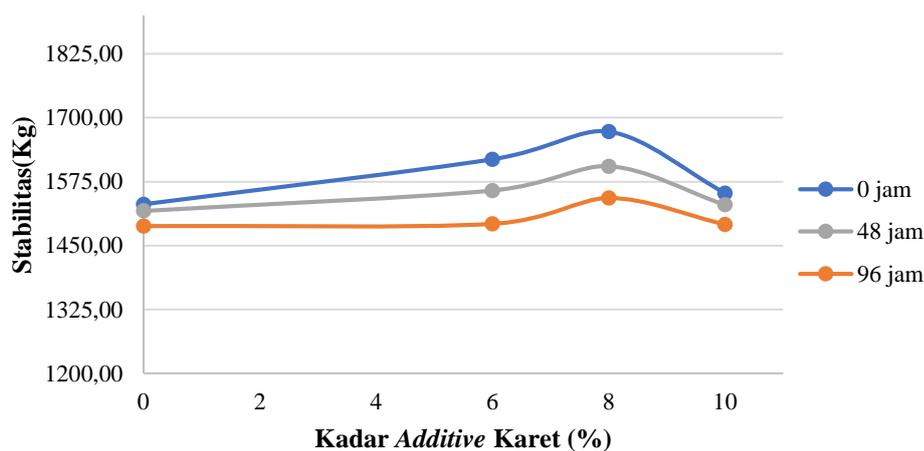
**Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Density**

Gambar 5.8 diatas didapatkan nilai *density* dengan campuran *Superpave* berbahan Pen 60/70 mengalami kenaikan tapi tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karna sifat aspal 60/70 yang mudah cair dan menyebabkan *density* campuran aspal tinggi dan rapat.

### 5.2.3 Karakteristik *Marshall Standard* Kondisi KAO dengan Berbagai Varian Kadar Ban Karet dan Durasi Perendaman Air Laut

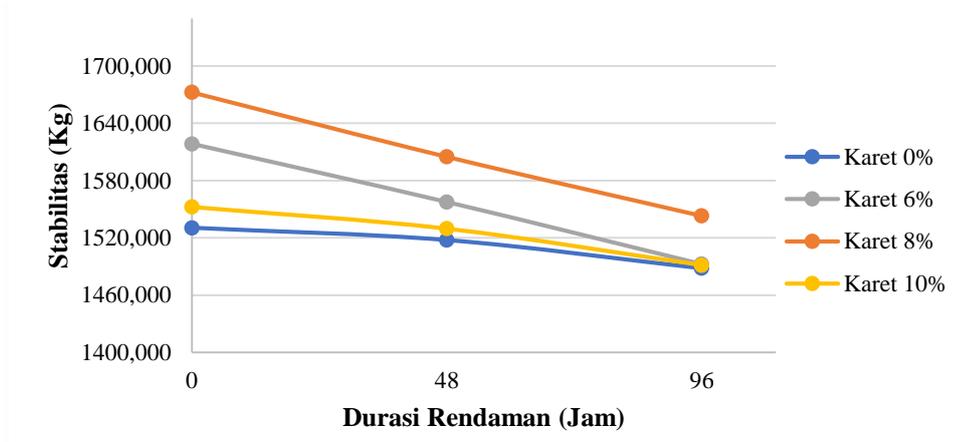
#### 1. Stabilitas

Stabilitas pada kondisi KAO adalah nilai ketahanan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur yang juga campuran memenuhi sifat-sifat karakteristik *Marshall* lainnya. Menurut Sukirman (2003), nilai stabilitas campuran beton aspal dibentuk dari gesekan internal antar butiran agregat yang saling mengunci dan adanya aspal. Selain itu, kohesi atau gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik stabilitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10



**Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai Stabilitas Kondisi KAO.**

Pada gambar 5.9 dilihat nilai rendaman pada waktu yang ditentukan mengalami kenaikan yang tidak signifikan seiring bertambahnya nilai kadar karet ini menunjukkan bahwa penambahan kadar ban karet mampu menahan beban sampai pada aspal modifikasi ban karet 8% kemudian menurun kembali pada kadar 10%. Dikarenakan gradasi campuran yang baik dan nilai penetrasi dan daktalitas aspal modifikasi yang kecil dari pada aspal Pen 60/70, sehingga aspal mudah saling mengunci dengan agregat dan membuat campuran terisi rapat dan cenderung bersifat kaku. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Juliansyah (2017) yang mana hasil penelitian pada penambahan ban karet terus mengalami kenaikan/peningkatan stabilitas pada kadar 0%, 2%, 4% dan 6%. Sedikit berbeda dengan penelitian Darunifah (2007) dimana pada pengujian Mashall campuran HRS-WC pada kondisi standar (2x75) dengan varian kadar karet padat 1%-5% dimana mengalami penurunan pada nilai stabilitas.



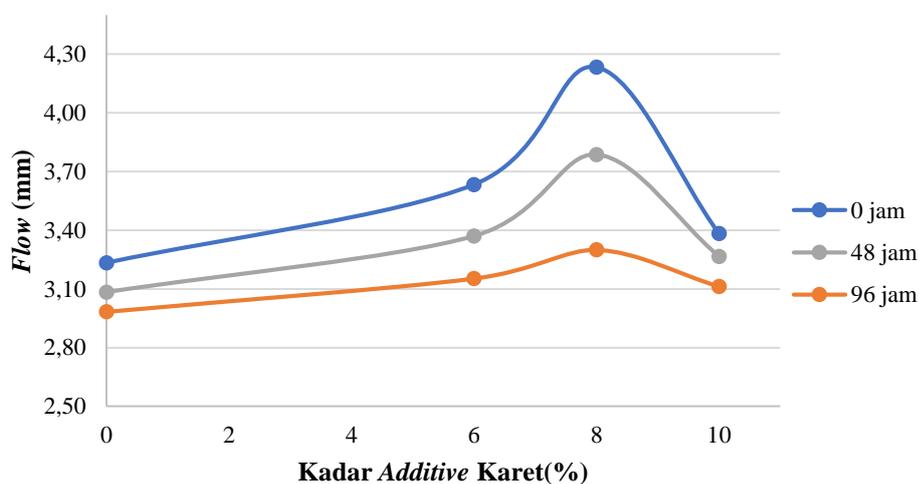
**Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai Stabilitas Kondisi KAO.**

Berdasarkan Gambar 5.10 di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran mengalami penurunan seiring lamanya waktu perendaman di dalam air laut. Turunnya nilai stabilitas yang tidak signifikan, menunjukkan bahwa adanya pengaruh penurunan ikatan antara agregat dan aspal. Sifat asam yang ada pada air laut (Ph air laut yang digunakan bernilai 6,83, dibawah rentang normal yaitu 7) mempengaruhi kelekatan aspal dan agregat campuran, sehingga campuran

mengalami penurunan nilai stabilitas. Hasil perbandingan lama perendaman air hujan 0 jam sampai 96 jam menunjukkan adanya penurunan stabilitas sebesar 2,76% pada campuran aspal dengan bahan tambah 0% dan 3,94% untuk kadar ban karet 10%. Hal ini sama pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yusuf (2017) yang menunjukkan penurunan pada campuran *Ston Matrix* dengan bahan ikat aspal Pen 6070 dan Starbit E-55 sampai pada rendaman air laut 96 jam. Dan juga penelitian Juliansyah (2017) dengan hasil perbandingan lama perendaman air hujan 0 jam sampai 48 jam menunjukkan adanya penurunan stabilitas 15% pada campuran aspal dengan tambah ban karet 0%.

## 2. *Flow*

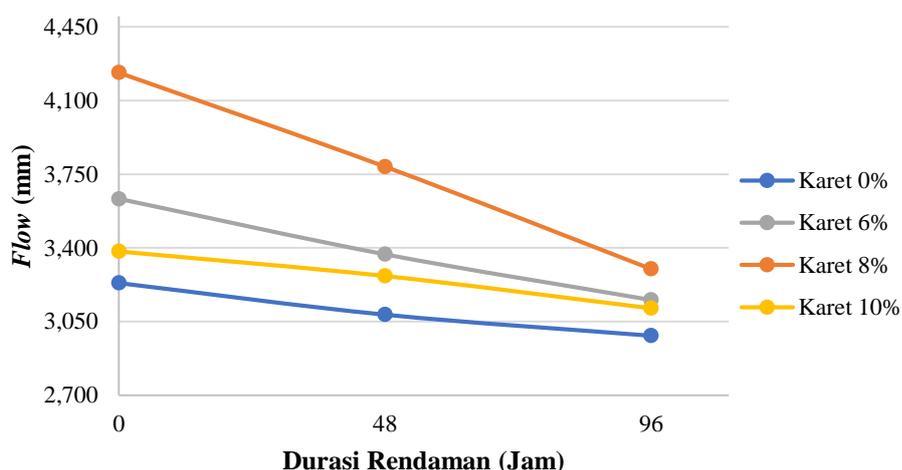
Nilai *flow* dipengaruhi oleh beberapa factor, yaitu gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperature pemadatan. Menurut Bina Marga 2010, nilai *flow* untuk beton aspal dengan lalu lintas tinggi yaitu >2 mm. Nilai *flow* terhadap rendaman air laut dan penambahan kadar ban karet sebagai bahan tambah aspal modifikasi dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



**Gambar 5.11 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *Flow* Kondisi KAO.**

Dari Grafik pada Gambar 5.11. diperoleh penambahan kadar ban karet pada nilai *flow* mengalami Kenaikan yang tidak signifikan sama seperti pada stabilitas,

sehingga membuat campuran mampu menahan deformasi dengan baik, sampai pada penambahan karet 8% dan kembali mengalami penurunan pada penambahan 10% kadar karet. Di karenakan hasil nilai penetrasi pada aspal modifikasi max 10% ban karet lebih kecil dari pada aspal Pen 60/70 yang membuat tingkat fleksibilitas aspal rendah sehingga nilai *flow* menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Sugiyanto (2008) dimana nilai *flow* mengalami kenaikan seiring penambahan ban bekas pengganti agregat pada campuran No.50. Berbeda dengan penelitian Darunifah (2007) dimana pada pengujian Mashall campuran *HRS-WC* pada kondisi standar (2x75) dengan varian kadar karet padat 1%-5% didapat hasil nilai *flow* mengalami penurunan seiring penambahan ban karet pada aspal 7,1%.



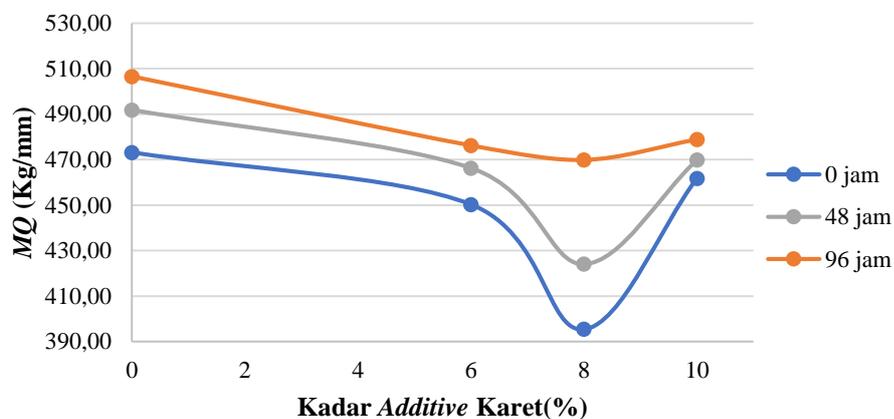
**Gambar 5.12 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai *Flow* Kondisi KAO.**

Berdasarkan Gambar 5.12 di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya durasi rendaman dimana membuat aspal mudah retak dan tidak tahan akan deformasi hal tersebut disebabkan karna nilai *Penetrasi Indeks* pada aspal modifikasi yang lebih besar dibanding aspal Pen 60/70 yang mengurangi nilai deformasi. Persen penurunan rendaman selama 96 jam pada kadar ban karet 10% sebesar 7,98%, varian rendaman air laut sendiri dapat mempengaruhi kelenturan campuran aspal karena dapat meningkatkan nilai *flow* campuran yang merupakan indikator terhadap

lentur. Sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yusuf (2017), yang cenderung mengalami penurunan akibat rendaman air laut dimana pada campuran aspal Pen 60/70 direndam selam 192 jam mengalami penurunan sebanyak 16,19% dari nilai *flow* pada campuran yang tidak direndam. dan Juliansyah (2017), dimana nilai *flow* sedikit menurun seiring lamanya waktu perendaman di dalam air hujan, persentase penurunan pada variasi rendaman 0 jam sebesar 75%, pada variasi 48 jam sebesar 80% dan pada variasi rendaman 96 jam sebesar 93% dengan bertambahnya kadar ban karet.

### 3. Marshall Quotient (MQ)

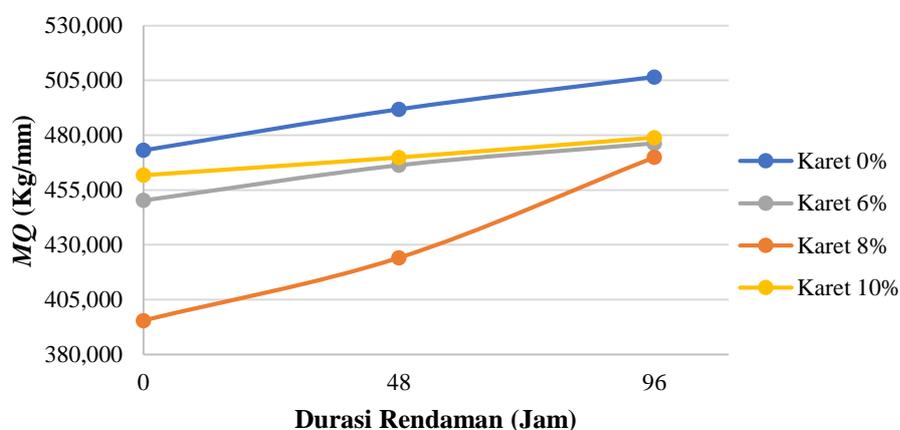
Nilai *MQ* merupakan rasio atau perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow* pada campuran beton aspal yang digunakan untuk menunjukkan tingkat fleksibilitas campuran. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan campuran tersebut cenderung kaku dan kurang fleksibel saat menerima beban, namun sebaliknya bila campuran dengan nilai *MQ* yang rendah menunjukkan campuran tersebut cenderung fleksibel dalam menerima beban. Hasil perhitungan *MQ* dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut ini.



**Gambar 5.13 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai Marshall Quotient Kondisi KAO.**

Seperti yang terlihat pada Gambar 5.13 didapatkan hasil dimana terlihat penurunan nilai *MQ* yang tidak signifikan sampai pada kadar 8% ban karet dan diiringi dengan kenaikan nilai *flow* yang tidak terlalu signifikan, dan juga dilihat dari nilai Penetrasi dan daktilitas pada aspal modifikasi yang lebih kecil dari aspal

Pen 60/70 ini membuat penambahan varian ban karet bersifat tidak terlalu fleksibel. Sejalan dengan penelitian saudara Juliansyah (2017), dimana didapatkan hasil pada penambahan kadar ban karet menunjukkan turunnya nilai *Marshall Quotient* yang signifikan. Akan tetapi tidak sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh saudara Darunifah (2007), dimana pengujian *Mashall* campuran *HRS-WC* pada kondisi standar (2x75) dengan varian kadar karet padat 1%-5% didapatkan nilai *MQ* pada kadar aspal 7,1% mengalami kenaikan.



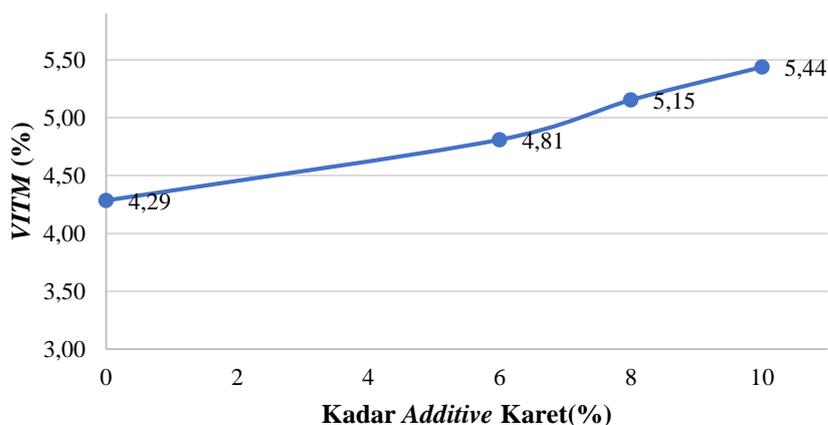
**Gambar 5.14 Grafik Hubungan antara Durasi Perendaman Air Laut dan Nilai *Marshall Quotient* Kondisi KAO.**

Berdasarkan Gambar 5.14 di atas dapat dilihat bahwa nilai *marshall quotient* campuran akan semakin naik dilihat dari penambahan durasi rendaman, dimana terjadi kenaikan yang tidak signifikan. Hal tersebut membuat rendaman cenderung menjadi kaku. Persentase kenaikan *MQ* setelah dilakukan perendaman selama 96 jam yaitu sebesar 7,06% dan 3,71% untuk kadar ban karet 0% dan 10%. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Yusuf (2017), dimana terjadi kenaikan pada perendaman aspal Pen 60/70 sebesar 26,85% selama 96 jam rendaman air laut. Berbeda dengan penelitian Juliansyah (2017), bahwa nilai *Marshall Question* campuran akan semakin turun seiring lamanya waktu perendaman di dalam air hujan.

#### 4. *VITM (Void in the Total Mix)*

*VITM* menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran, dinyatakan dalam persentase terhadap total volume campuran agregat dan aspal. Faktor yang mempengaruhi nilai *VITM* diantaranya yaitu gradasi agregat, jenis dan kadar aspal yang digunakan, serta faktor pemadatan.

Bina Marga mensyaratkan nilai *VITM* batas maksimum 5% dan batas minimum 3% untuk mendapatkan keawetan campuran dan batas minimum untuk mencegah terjadinya deformasi plastis. Beton aspal yang mempunyai nilai *VITM* < 3% akan berpotensi besar terjadinya *bleending* (mengalami aspal ke permukaan campuran). Akibat tingginya temperature, aspal dalam campuran akan mencair sehingga saat perkerasan menerima beban, aspal akan mengalir di antara rongga agregat. Sebaliknya nilai *VITM* > 5% menunjukkan campuran tidak rapat dan mengakibatkan melelehnya ikatan aspal terhadap agregat yang selanjutnya aspal tidak mampu untuk mengikat agregat. Nilai *VITM* dapat dilihat pada grafik di Gambar 5.15.



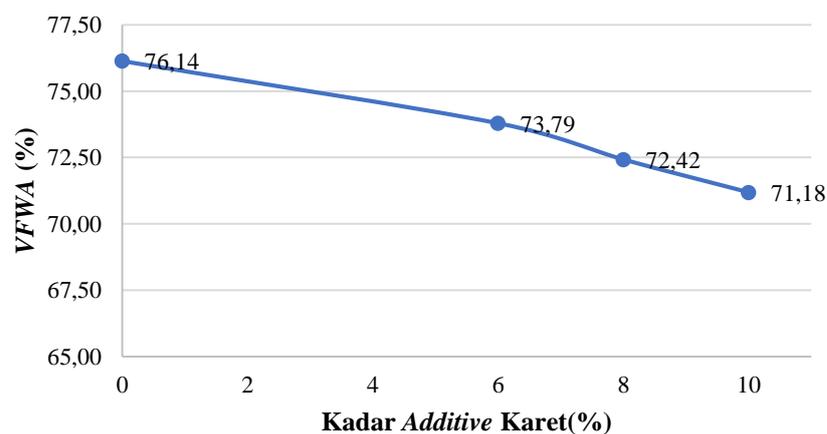
**Gambar 5.15 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *VITM* Kondisi KAO.**

Terlihat pada Gambar 5.15 nilai *VITM* mengalami peningkatan yang tidak signifikan seiring bertambahnya kadar *additive* ban karet, ini menjelaskan bahwa semakin banyak kadar aspal modifikasi yang digunakan maka jumlah rongga semakin besar dan membuat benda uji mudah lelah dan menyebabkan patah. Hal tersebut dikarenakan sifat aspal modifikasi yang kurang fleksibel dimana nilai

daktalitas yang kecil, yang membuat campuran sulit mengisi rongga. Namun kenaikan tidak terlalu signifikan sehingga membuat campuran tahan menahan beban. Sejalan dengan penelitian Juliansyah (2017), dimana nilai *VITM* mengalami kenaikan pada tiap penambahan ban karet. Sedangkan berbeda pada penelitian Darunifah (2007), dimana menggunakan campuran *HRS-WC* dengan syarat penumbukan 2x75 tumbukan pada kadar aspal 7,1% nilai *VITM* akibat penambahan ban karet 0% - 5% menunjukkan penurunan.

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

*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* berhubungan dengan kedekatan campuran terhadap air dan udara, serta keelastisan campuran. Semakin tinggi nilai *VFWA* maka selimut aspal semakin tebal, yang berarti semakin kedap air dan udara, sehingga campuran lebih awet dan lentur. Ketahanan campuran terhadap kelelahan akibat beban berulang (*fatigue*) akan lebih baik. Nilai *VFWA* dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.16.



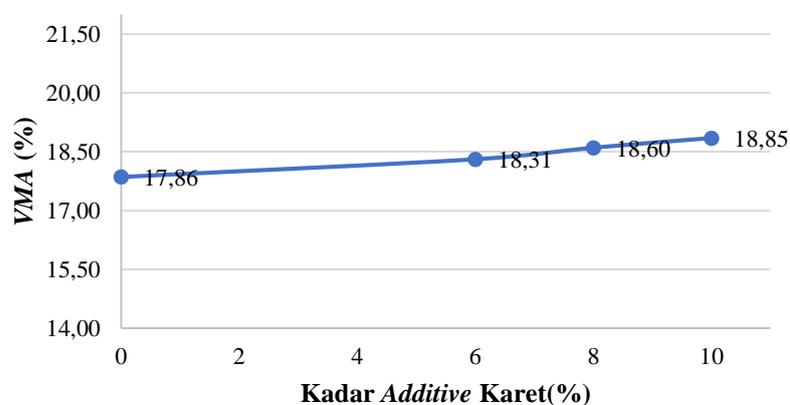
**Gambar 5.16 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *VFWA* Kondisi KAO.**

Gambar 5.16 menunjukkan hasil nilai *VFWA* yang seiring dengan penambahan kadar karet mengalami penurunan yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan kadar

aspal yang cenderung bersifat lembek tapi kurang fleksibel yang dilihat dari hasil penetrasi dan daktalitas dan juga pada saat proses pemadatan yang kurang, sehingga penyerapan agregat terhadap air besar dan mengakibatkan aspal yang diserap oleh agregat kurang. Hal tersebut menyebabkan aspal yang kurang menutup rongga, sehingga banyaknya persentase rongga dan membuat aspal kurang kedap terhadap air dan udara. Kebalikan dengan penelitian Darunifah (2007), dimana menggunakan campuran *HRS-WC* dengan syarat penumbukan 2x75 tumbukan pada kadar aspal 7,1% nilai *VFWA* akibat penambahan ban karet 0%-5% mengalami kenaikan.

#### 6. *VMA (Void in Mineral Asphalt)*

*VMA* adalah persentase banyaknya pori antar butiran agregat dalam campuran, atau dapat dinyatakan sebagai persentase rongga yang dapat ditempati aspal dan udara. Nilai *VMA* pada umumnya mengalami penurunan sampai batas maksimum dan akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal. Apabila nilai *VMA* terlalu kecil, maka akan menimbulkan masalah durabilitas, yaitu membatasi banyaknya rongga terisi aspal, sehingga campuran menjadi kurang kedap air dan udara. Sebaliknya, nilai *VMA* yang terlalu besar akan menimbulkan masalah stabilitas dan kurang ekonomis, karena rongga antar agregat yang terlalu besar mengakibatkan kemampuan agregat saling mengunci dan mengisi menjadi menurun. Nilai *VMA* terlihat pada Gambar 5.17.

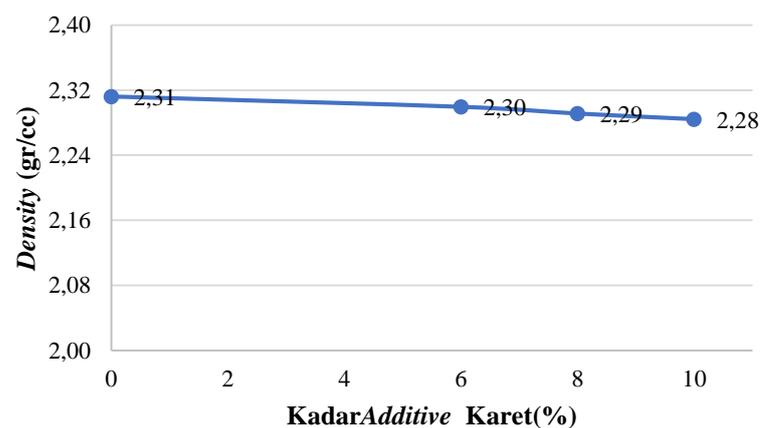


**Gambar 5.17 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *VMA* Kondisi KAO.**

Dapat dilihat pada Gambar 5.17 berdasarkan hasil pengujian nilai *VMA* yang sesuai disyaratkan oleh Bina Marga 2010 yaitu di atas 15%. Dengan bertambahnya nilai *VMA* seiring penambahan kadar ban karet yang tidak signifikan. Sehingga beda uji tidak terlalu berongga dan kedap terhadap air. Berbeda dengan penelitian Darunifah (2007), dimana menggunakan campuran *HRS-WC* dengan syarat penumbukan 2x75 tumbukan pada kadar aspal 7,1% nilai *VMA* akibat penambahan ban karet 0%-5% menunjukkan terjadinya penurunan. Dan pada penelitian Juliansyah (2017), sejalan dengan hasil yang didapat yaitu terjadi kenaikan pada penambahan kadar aspal karet 0%, 2%, 4% dan 6%.

### 7. *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai kepadatan ini menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik, tetapi nilai *density* sudah pada nilai optimum kemudian ditambah aspal yang berlebih maka nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Nilai *density* dilihat pada Gambar 5.18.



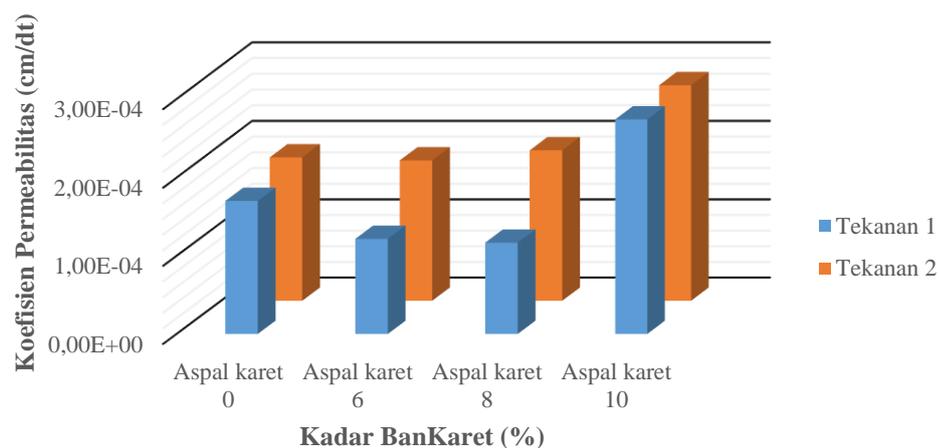
**Gambar 5.18 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *Density* Kondisi KAO.**

Dilihat pada Gambar 5.18 dibawah ini berdasarkan hasil pengujian diperoleh grafik nilai *density* dengan bertambahnya kadar ban karet mengalami penurunan

yang tidak signifikan sehingga kerapatan pada benda uji kurang baik. Hal ini disebabkan karena sifat aspal modifikasi yang memiliki nilai kelarutan yang lebih kecil yang mana serbuk ban karet tidak dapat terlarut total dengan aspal yang membuat rongga pada campuran. Hal ini sejalan dengan penelitian Juliansyah (2017), menggunakan campuran *Superpave* dengan kadar aspal karet 0%, 2%, 4% dan 6% mengalami nilai *density* mengalami penurunan. Tetapi sedikit berbeda dengan penelitian Darunifah (2007), dimana menggunakan campuran *HRS-WC* dengan syarat penumbukan 2x75 tumbukan pada kadar aspal 7,1% nilai *density* akibat penambahan ban karet 0%-5% menunjukkan terjadinya kenaikan.

#### 5.2.4 Permeabilitas

Permeabilitas aspal adalah tingkat derajat kerapatan konstruksi aspal untuk dapat ditembus oleh zat cair, nilai permeabilitas aspal didapatkan berdasarkan hasil pengujian yang selanjutnya dianalisis menggunakan Persamaan 2.6. Hasil pengujian permeabilitas campuran pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.10. adapun hubungan campuran *Superpave* berbahan ikat karet dengan varian 0%, 6%, 8% dan 10% dengan koefisien permeabilitas pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Gambar 5.19 berikut.

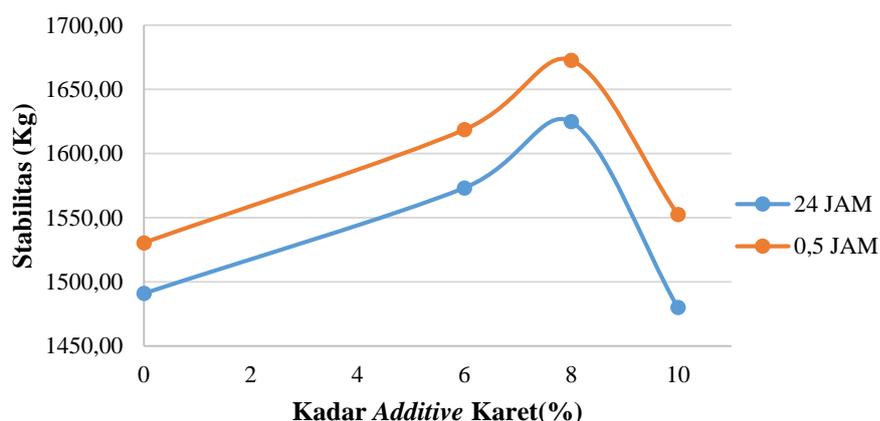


**Gambar 5.19 Grafik Hubungan antara Campuran Berbahan Ikat Aspal Karet dengan Koefisien Permeabilitas Kondisi KAO.**

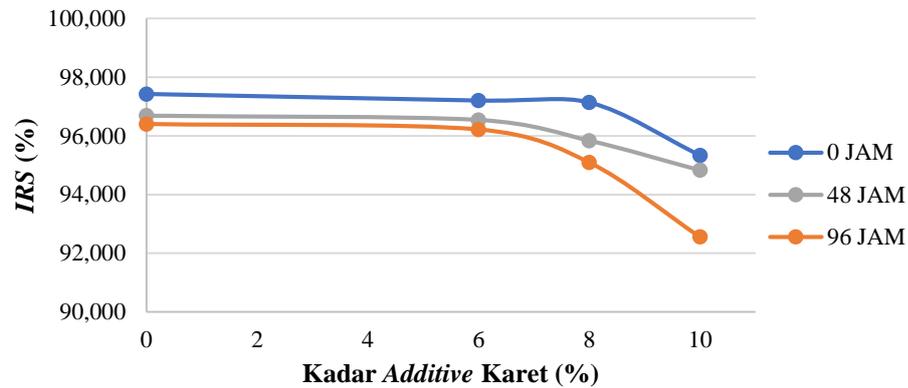
Berdasarkan Gambar 5.19 dimana pengujian di Laboratorium Trasportasi UGM, didapatkan semakin besar tekanan maka angka koefisien permeabilitas akan semakin besar pula. Terlihat bahwa terjadi kenaikan pada tekanan 1 dan tekanan 2 menunjukkan angka kenaikan Permeabilitas signifikan. Sehingga dapat dilihat bahwa angka permeabilitas pada campuran aspal modifikasi dengan bahan tambahan ban karet lebih besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada campuran aspal modifikasi tambah ban karet hampir kedap terhadap air sehingga penurunan air tidak signifikan. Sejalan dengan penelitian Juliansyah (2017), dimana dilihat bahwa semakin besar tekanan maka angka koefisien permeabilitas akan semakin besar pula tekanan 1 dan tekanan 2 yang terlihat sangat signifikan kenaikannya.

### 5.2.5 Karakteristik *Marshall Immersion* dengan Berbagai Varian Kadar Ban Karet dan Durasi Perendaman Air Laut

*Index of Retained Strength (IRS)* diperoleh dari proses perendaman, untuk mengetahui kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman. Perendaman yang dilakukan yaitu di dalam *waterbath* selama 0,5 jam dan 24 jam pada suhu 60°C. Nilai *Index of Retained* dapat dilihat seperti pada Gambar 5.20, Gambar 5.21 dan Gambar 5.22.

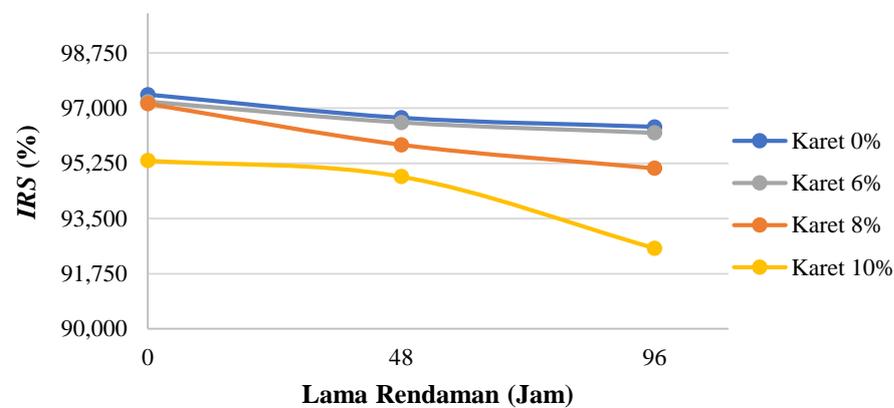


**Gambar 5.20. Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai Stabilitas *Marshall Standard* dan *Marshall 24 JAM* Campuran *Superpave* yang Menggunakan Aspal Berbahan Tambah Ban Karet Kondisi KAO.**



**Gambar 5.21** Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *Index of Retained Kondisi KAO*.

Pada Gambar 5.21 nilai *IRS* memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 dimana nilai *IRS* lebih besar dari  $\geq 90\%$ . Nilai *IRS* menunjukkan hasil datar kemudian sedikit mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar ban karet, besar nilai persen penurunan *IRS* pada 0 jam, 24 jam dan 96 jam yaitu 2,19%, 1,96% dan 4,16%. Hal ini sedikit berbeda dengan penelitian Darunifah (2007), dimana menggunakan campuran *HRS-WC* dengan syarat penumbukan 2x75 tumbukan pada kadar aspal 7,1% nilai *IRS* akibat penambahan ban karet 0%-5% menunjukkan kenaikan sampai pada kadar aspal karet 3% kemudian kembali menurun. Sejalan dengan penelitian Juliansyah (2017), pada penelitian ini menggunakan campuran *Superpave* dengan penambahan ban karet sebesar 0%, 2%, 4% dan 6% pada kadar aspal optimum 5% menunjukkan terjadinya kenaikan pada nilai *IRS*.

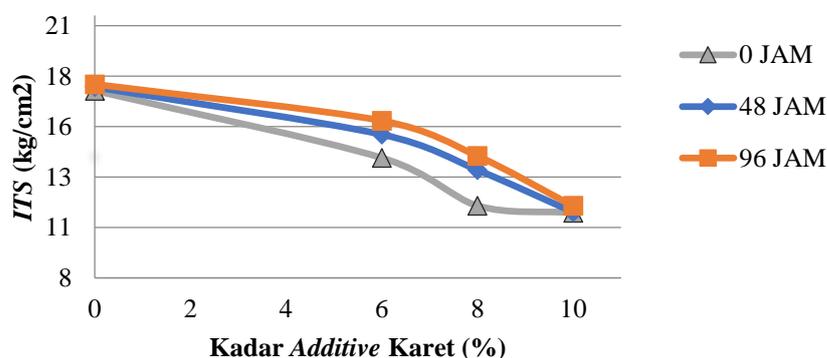


**Gambar 5.22** Grafik Hubungan antara Lama Rendaman dan Nilai *Index of Retained Kondisi KAO*.

Gambar 5.22 dapat dilihat bahwa perubahan *IRS* akibat pengaruh rendaman air laut mengalami penurunan yang tidak signifikan atau terlihat netral, nilai penurunan *IRS* pada tiap persen penambahan ban karet 0%, 6%, 8% dan 10% yaitu sebesar 1,06%, 1,02%, 2,15% dan 3,01%. Hal ini sesuai dengan penelitian Yusuf (2017), yang mana didapatkan hasil terjadi peningkatan pada perendaman untuk aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55 selama 192 jam dan pada penambahan kadar ban karet nilai *IRS* mengalami penurunan yang signifikan. Berbeda dengan penelitian Juliansyah (2017), yang mana didapatkan terjadi peningkatan nilai *IRS* pada penambahan kadar ban karet sebesar 0%, 2%, 4% dan 6%.

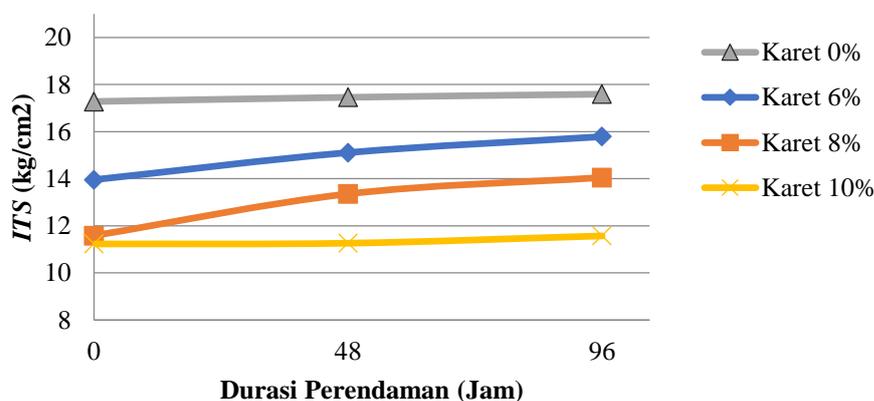
### 5.2.6 Karakteristik *Indirect Tensile Strength* pada Kondisi KAO terhadap Varian Aspal Ban Karet dan Varian Durasi Perendaman Air Laut.

*Indirect Tensile Strength (ITS)* adalah pengujian yang berguna untuk mengetahui nilai gaya tarik tidak langsung pada campuran akibat beban lalu lintas. Nilai *ITS* terhadap pengaruh rendaman air laut dengan variasi 0 jam, 48 jam, 96 jam pada campuran *Superpave* yang menggunakan aspal berbahan tambah ban karet dengan varian karet 0%, 6%, 8% dan 10%. Nilai *ITS* dilihat pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24.



**Gambar 5.23 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *ITS* pada Kondisi KAO.**

Pada Gambar 5.23 nilai *ITS* terhadap aspal modifikasi ban karet terlihat menurun signifikan seiring bertambahnya serbuk ban karet, yang dimana disebabkan karena sifat aspal modifikasi yang cenderung bersifat kurang fleksibel atau kaku. Nilai Penurunan *ITS* pada 0 jam 24 jam dan 96 jam sebesar 34,20%, 35,46% dan 34,37% terhadap penambahan 0% sampai 10% ban karet, yang disebabkan karena nilai kelarutan dan daktalitas pada aspal modifikasi ban karet lebih kecil dari aspal Pen 60/70. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Juliansyah (2017), dengan penambahan limbah ban karet 0%, 2%, 4% dan 6% limbah ban karet sebagai additive untuk mengatasi penurunan kinerja campuran *Superpave* akibat rendaman air hujan dimana terjadi kenaikan nilai *ITS* pada tiap penambahan serbuk ban karet sampai pada 6% ban karet. kemudian pada penelitian ini mengalami penurunan seiring penambahan ban karet 6%, 8% dan 10% sehingga campuran yang melewati 6% penambahan ban karet tidak stabil dan mengalami penurunan. Bisa dilihat dari hasil nilai daktalitas aspal modifikasi 10% ban karet lebih kecil dari pada aspal Pen 60/70 dimana bersifat kurang fleksibel atau kaku.



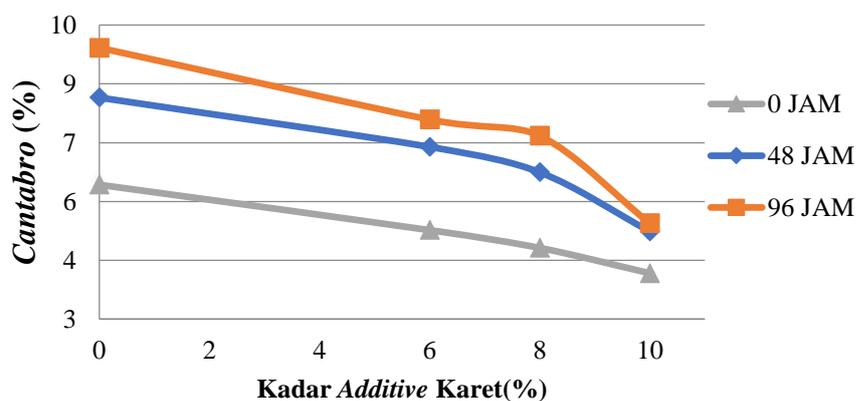
**Gambar 5.24 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman dan Nilai *ITS* Kondisi KAO.**

Terlihat pada Gambar 5.24 hasil grafik diatas menunjukkan nilai *ITS* akibat perendaman air laut mempengaruhi kenaikan tetapi tidak signifikan, yang mana pada grafik terlihat dari durasi perendaman 0 jam sampai 96 jam terlihat stabil.

Besar kenaikan nilai *ITS* pada penambahan 0%, 6%, 8% dan 10% ban karet sebesar 1,84%, 13,17%, 21,26% dan 3,05% dari perendaman 0 jam sampai 96 jam. Dikarenakan sifat bahan ikat aspal modifikasi Pen 60/70 dengan ban karet yang lembek sehingga rongga jauh lebih kecil dan juga dikarenakan susunan materialnya yang lebih sedikit mengandung pori. Hal sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yusuf (2017), yang mana pada penelitian yang memiliki nilai *ITS* yang lebih stabil dan memiliki nilai yang lebih baik pada saat direndam air laut selama 96 jam hingga 192 jam.

### 5.2.7 Nilai *Cantabro* Terhadap Varian Kadar Aspal Ban Karet dan Varian Durasi Rendaman.

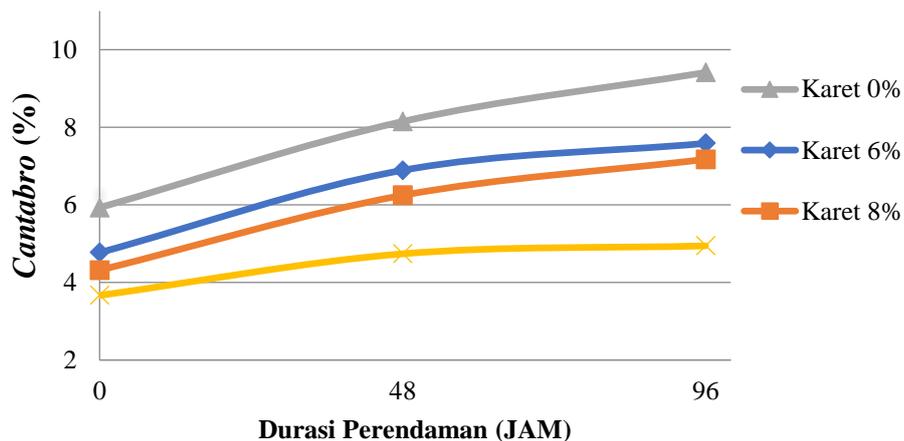
*Cantabro test* adalah pengujian untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi. Sebelum dilakukan pengujian sampel terlebih dahulu direndam air laut 0 jam, 48 jam dan 96 jam. Terlihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26.



**Gambar 5.25 Grafik Hubungan antara Kadar Ban Karet dan Nilai *Cantabro* Kondisi KAO.**

Dari Gambar 5.25 maka didapatkan penurunan nilai persentase *Cantabro* semakin turun, nilai persentase *Cantabro* seiring bertambahnya kadar Ban karet pada campuran. Nilai penurunan pada 0 jam, 24 jam dan 96 jam. Sebesar 38,11%,

41,89%, dan 47,52%. Hal ini menunjukkan penambahan ban karet dapat menahan berat akibat beruntun. Hal ini sejalan dengan penelitian Juliansyah (2017), yang mana didapatkan hasil penurunan pada penambahan kadar ban karet 0%, 2%, 4% dan 6% dan mengalami kenaikan pada perendaman air hujan.



**Gambar 5.26 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman dan Nilai *Cantabro* Kondisi KAO.**

Berdasarkan hasil penelitian yang terlihat pada Gambar 5.26 dapat dilihat nilai *Cantabro Loss* semakin naik seiring dengan lamanya waktu perendaman air laut. Dapat dilihat dari persentase kehilangan berat berdasarkan 0 jam rendaman, pada penambahan kadar ban karet 0% sebesar 5,93%, kadar ban karet 6% sebesar 4,77%, kadar ban karet 8% sebesar 4,31% dan kadar karet 10% sebesar 3,37%. Meningkatnya persen kehilangan ini membuat campuran tidak tahan akan benturan bila terendam oleh air laut. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Juliansyah (2017), yang mana semakin lama rendaman di air laut maka semakin besar nilai persen *Cantabro*.

### 5.2.8 Pembahasan Secara Keseluruhan

Keseluruhan penelitian yang telah dilakukan sehingga dapat diambil kesimpulan dari berbagai macam hasil yang diperoleh, yaitu penambahan kadar ban

karet sebesar 0%, 6%, 8% dan 10% dan juga pengaruh rendaman air laut selama 0 jam, 48 jam dan 96 jam. Hasil pengujian dirangkum dalam Tabel 5.19.

**Tabel 5.19 Rangkuman Hasil Penelitian.**

<b>Parameter</b>	<b>Hasil Penelitian</b>
Stabilitas	Nilai Stabilitas campuran mengalami kenaikan hanya sampai pada 8% penambahan karet kemudian turun kembali. Sedangkan pada perendaman air laut nilai Stabilitas mengalami penurunan seiring lamanya waktu perendaman didalam air laut.
<i>Flow</i>	Nilai <i>flow</i> pada penambahan kadar ban karet mengalami kenaikan seperti pada nilai stabilitas. Tetapi mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya durasi rendaman, dan nilai <i>flow</i> kadar penambahan ban karet sendiri mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan.
<i>MQ</i>	Nilai <i>marshall quotient</i> campuran akan semakin menurun tidak signifikan seiring lamanya waktu perendaman di dalam air laut. Dan pada penambahan kadar ban karet sendiri mengalami kenaikan yang tidak signifikan sampai pada 8% dan turun kembali pada kadar aspal 10%.
Permeabilitas	Nilai permeabilitas pada tekanan 1 dan 2 mengalami kenaikan yang signifikan, dan tekanan bersifat hampir kedap air, sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan air tidak signifikan.
<i>IRS</i>	Nilai <i>IRS</i> akibat pengaruh rendaman air laut mengalami penurunan yang signifikan, sedangkan pada penambahan kadar ban karet nilai <i>IRS</i> mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan sampai terlihat seperti netral.
<i>ITS</i>	Nilai <i>ITS</i> akibat perendaman air laut mempengaruhi kenaikan tidak signifikan sehingga terlihat netral. Dan pada pengaruh penambahan kadar ban karet mengalami penurunan yang signifikan di setiap penambahan.
<i>Cantabro</i>	Nilai <i>Cantabro</i> akibat rendaman air laut menunjukkan kenaikan yang tidak terlalu signifikan dan juga pada penambahan bahan kadar ban karet mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan.