

## 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 Pertamina AC 60/70 dan Aspal Ban Karet. Pengujian aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia. Pengujian tersebut menghasilkan data-data yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti yang tercantum dalam Tabel 5.1 sampai Tabel 5. 4.

**Tabel 5. 1 Hasil Pengujian AC 60/70**

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,0547	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	65,6	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	$\geq 100$	157	Memenuhi
4	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	280	Memenuhi
5	Titik Bakar ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 225$	281	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	100	Memenuhi
7	Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 48$	49.5	Memenuhi

**Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Dengan Kadar Karet 3%**

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,055	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	MIN 40	43,8	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	$\geq 100$	126,5	Memenuhi

**Lanjutan Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Dengan Kadar Karet 3%**

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
4	Titik Nyala (°C)	$\geq 232$	259	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	$\geq 225$	274	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	100	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	$\geq 54$	55,3	Memenuhi

**Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Dengan Kadar Karet 5%**

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,0621	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	MIN 40	44,6	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	$\geq 100$	124	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	$\geq 232$	263	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	$\geq 225$	283	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	100	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	$\geq 54$	55	Memenuhi

**Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Dengan Kadar Karet 7%**

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,0854	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	MIN 40	45	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	$\geq 100$	121	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	$\geq 232$	301	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	$\geq 225$	312	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	100	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	$\geq 54$	54,8	Memenuhi

Hasil pengujian yang dilakukan pada aspal pen 60/70 serta pengujian terhadap aspal modifikasi 3%,5% dan 7% menunjukkan nilai Berat Jenis dan Kelarutan yang tidak berubah signifikan. Namun pada uji Penetrasi, Daktalitas, Titik Nyala, Titik Bakar dan Titik lembek menunjukkan perbedaan yang signifikan. Tetapi dalam hasil pengujian tersebut masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

#### 5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Dalam pengujian ini pengujian agregat meliputi pengujian agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang digunakan dari Clereng dan pengujian agregat dilakukan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Berikut data pengujian agregat dalam Tabel 5.5 dan Tabel 5.6.

**Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2,50	2,52	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3,0	2,72	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	99,5	Memenuhi
4	Kausan dengan mesin Los Angeles (%)	< 40	26,6	Memenuhi

**Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus**

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2,5	2,59	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3,0	1,18	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent (%)</i>	> 60	80,85	Memenuhi

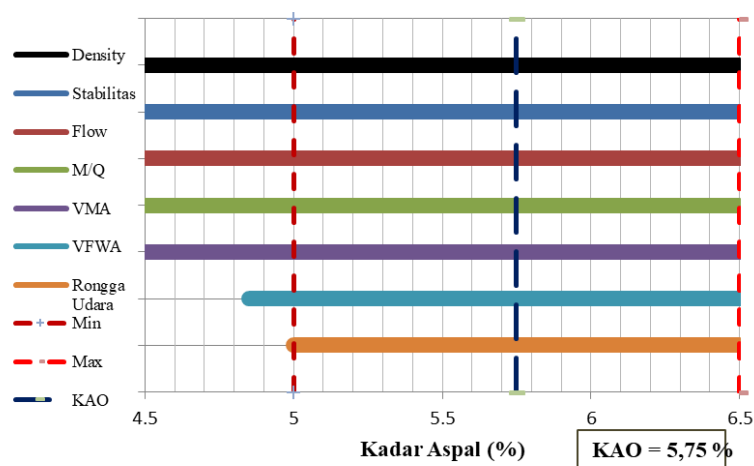
Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal adalah untuk mendapatkan angka persen kelekatan agregat terhadap aspal. Hasil pengujian pada agregat halus dan agregat kasar yang telah dilakukan sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

### 5.1.3 Hasil Pengujian Campuran untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian diperoleh nilai-nilai stabilitas, *flow*, *MQ* (*Marshall Quotient*), *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), dan *VIM* (*Void in Mix*) dari campuran yang menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70. Nilai dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7, kemudian dari hasil tabel tersebut digambarkan pada Gambar 5.1 untuk menentukan kadar aspal optimum.

**Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran AC-WC dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Density (gr/cc)
4,5	908,58	2,30	395,03	17,22	78,29	3,30	2,24
5	1256,23	2,98	422,03	14,89	67,36	4,86	2,26
5,5	1164,62	3,26	357,25	14,82	67,44	4,83	2,27
6	971,97	3,31	293,94	16,16	71,45	4,62	2,25
6,5	958,40	3,87	247,86	15,30	76,33	3,62	2,29
<i>Spesifikasi</i>	> 800	>	> 250	> 15	> 65	3-5	-



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

Berdasarkan Gambar 5.1 diperoleh nilai kadar aspal optimum campuran dengan menggunakan aspal Pen 60/70 adalah 5,75%. Berdasarkan kadar aspal optimum diperoleh jumlah kebutuhan agregat campuran dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

**Tabel 5.8 Kebutuhan Jumlah Agregat Campuran dengan Kadar Aspal 5,75%**

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm						
1 "	25	mm	0	0	0	0		
3/4 "	19	mm	100	100	100	0	0	0
1/2 "	12,5	mm	90	100	95	5	56,55	57
3/8 "	9,5	mm	77	90	83,5	16,5	130,07	187
No. 4	4,75	mm	53	69	61	39	254,48	441
No. 8	2,36	mm	33	53	43	57	203,58	645
No. 16	1,18	mm	21	40	30,5	69,5	141,38	786
No. 30	0,600	mm	14	30	22	78	96,14	882
No. 50	0,300	mm	9	22	15,5	84,5	73,51	956
No. 100	0,150	mm	6	15	10,5	89,5	56,55	1012
No. 200	0,075	mm	4	9	6,5	93,5	45,24	1057
Pan			0	0	0	100	73,51	1131
							1131,00	Jumlah

#### 5.1.4 Hasil Pengujian *Marshall Standart* Pada Kondisi KAO

Hasil pengujian diperoleh nilai-nilai stabilitas, *flow*, *MQ* (*Marshall Quotient*), *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), *VFWA* (*Void Filled With Asfalt*), dan *VIM* (*Void in Mix*) dari campuran AC-WC yang menggunakan bahan tambah 3%,5%,7% limbah ban karet dan 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% *Gypsum* dengan aspal Pen 60/70. Nilai-nilai dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9.

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall Standart* Menggunakan Bahan Tambah Limbah Ban Karet dan *Filler Gypsum***

Kadar Karet (%)	Kadar Gypsum (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VFWA (%)	VMA (%)	VITM (%)	Density (gr/cc)
3	5	1080,17	2,56	421,39	67,56	12,01	3,90	2,34
	5,5	1144,56	2,67	429,21	73,80	14,30	3,75	2,29
	6	1223,00	3,30	370,61	73,62	13,75	3,63	2,31
	6,5	1048,17	3,47	302,36	75,80	14,88	3,60	2,30
	7	1015,10	3,87	262,52	77,58	15,70	3,52	2,29

**Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall Standart* Menggunakan Bahan Tambah Limbah Ban Karet dan *Filler Gypsum***

Kadar Karet (%)	Kadar Gypsum (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VFWA (%)	VMA (%)	VITM (%)	Density (gr/cc)
5	5	1040,93	2,50	415,82	68,29	12,72	4,03	2,32
	5,5	1066,83	2,79	382,83	69,35	13,89	4,26	2,30
	6	1238,15	3,27	378,64	70,82	14,36	4,19	2,30
	6,5	1171,55	3,38	346,27	74,94	14,86	3,72	2,30
	7	1099,77	3,73	294,58	77,48	15,52	3,50	2,29
7	5	818,12	2,37	345,69	72,23	13,88	3,85	2,29
	5,5	926,28	2,99	310,14	71,78	13,81	3,90	2,30
	6	1106,23	3,20	345,70	67,87	13,06	4,20	2,33
	6,5	1039,46	3,83	2,71,16	74,40	18,61	4,76	2,20
	7	904,54	3,95	229,19	85,01	18,38	2,76	2,21
Spesifikasi		>800	> 2-4	>250	>65	>15	>3-5	-

#### 5.1.5 Hasil Pengujian Permeabilitas Pada Kondisi KAO Dengan Variasi

##### Kadar Persentase ban karet dan *filler Gypsum*

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada diperoleh nilai pengujian Permeabilitas pada campuran AC-WC yang menggunakan bahan tambah 3%, 5%, 7% limbah ban karet dan *filler* 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% gypsum dengan aspal Pen 60/70. Nilai-nilai dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Permeabilitas Pada Berbagai Kadar Karet**

Kadar Karet (%)	<i>Filler Gypsum</i>	K (Tekanan 1:1) Kg/cm <sup>2</sup>	K (Tekanan 2:2) Kg/cm <sup>2</sup>	Kategori
3	5A	0,000921441	0,000742272	Drainasi Jelek
	5B	0,000874041	0,000683545	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000897741	0,000712908	Drainasi Jelek
	5,5A	0,000953234	0,001067622	Drainasi Jelek
	5,5B	0,000938712	0,001337665	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000945973	0,001202644	Drainasi Jelek
	6A	0,001030686	0,001116577	Drainasi Jelek
	6B	0,000846599	0,000683791	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000938643	0,000900184	Drainasi Jelek
	6,5A	0,000708466	0,000632559	Drainasi Jelek
	6,5B	0,000735819	0,000662238	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000722143	0,000647398	Drainasi Jelek
	7A	0,000674559	0,000720138	Drainasi Jelek
	7B	0,000762511	0,000808724	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000718535	0,000764431	Drainasi Jelek

**Lanjutan Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Permeabilitas Pada Berbagai Kadar Karet**

Kadar Karet (%)	Filler Gypsum	K (Tekanan 1:1)	K (Tekanan 2:2)	Kategori
5	5A	0,001188978	0,00107008	Drainasi Jelek
	5B	0,000715759	0,000706341	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000952369	0,000888211	Drainasi Jelek
	5,5A	0,000342584	0,000303654	Drainasi Jelek
	5,5B	0,000382583	0,000371956	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000362584	0,000337805	Drainasi Jelek
	6A	0,000302649	0,000357126	Drainasi Jelek
	6B	0,000317931	0,000346834	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,00031029	0,00035198	Drainasi Jelek
	6,5A	0,000281067	0,000259237	Drainasi Jelek
	6,5B	0,000299704	0,00039226	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000290386	0,000325748	Drainasi Jelek
	7A	0,00045813	0,000837519	Drainasi Jelek
	7B	0,000452588	0,000762934	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000455359	0,000800226	Drainasi Jelek
7	5A	0,000731713	0,001027213	Drainasi Jelek
	5B	0,000774684	0,001162026	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000753199	0,001094619	Drainasi Jelek
	5,5A	0,000612394	0,000951397	Drainasi Jelek
	5,5B	0,000548491	0,000554205	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000580442	0,000752801	Drainasi Jelek
	6A	0,000627253	0,00063472	Drainasi Jelek
	6B	0,000612658	0,000555221	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000619955	0,000594971	Drainasi Jelek
	6,5A	0,000693387	0,000808952	Drainasi Jelek
	6,5B	0,00062833	0,000568171	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0000660859	0,000688561	Drainasi Jelek
	7A	0,001069291	0,001069291	Drainasi Jelek
	7B	0,000786403	0,000722641	Drainasi Jelek
	Rata-rata	0,000927847	0,000895966	Drainasi Jelek

#### 5.1.6 Hasil Pengujian Cantrabo Pada Kondisi KAO Dengan Variasi Kadar Persentase ban karet dan *Filler Gypsum*

Hasil pengujian cantrabo menggunakan bahan tambah karet 3%, 5%, 7% dan *filler gypsum* 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% dengan aspal Pen 60/70 diperoleh nilai-nilai dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5. 11 Hasil Pengujian *Cantrabro* Pada Berbagai Kadar Karet dan *Filler Gypsum***

Kadar Karet (%)	<i>Filler Gypsum</i>	Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di Abrasi	Kehilangan Berat	Rata - Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
3	5A	1168,96	1152,28	16,68	1,42	1,49
	5 B	1175,02	1166,61	8,41	0,71	
	5C	1179,4	1151,68	27,72	2,35	
	5,5A	1171,99	1158,33	13,66	1,17	1,61
	5,5B	1168,85	1150,65	18,2	1,56	
	5,5C	1169,15	1144,27	24,88	2,13	
	6A	1159,74	1134,56	25,18	2,17	2,08
	6B	1154,41	1132,88	21,53	1,87	
	6C	1181,84	1155,67	26,17	2,21	
	6,5A	1192,23	1167,78	24,45	2,05	2,13
	6,5B	1179,11	1159,46	19,65	1,67	
	6,5C	1159,1	1127,99	31,11	2,68	
	7A	1178,99	1153,18	25,81	2,19	2,34
	7B	1185,25	1146,02	39,23	3,31	
	7C	1193,26	1175,03	18,23	1,53	
5	5A	1175,29	1151,26	24,03	2,04	2,19
	5 B	1181,82	1164,04	17,78	1,50	
	5C	1196,43	1160,27	36,16	3,02	
	5,5A	1191,73	1170,64	21,09	1,77	2,64
	5,5B	1187,14	1139,89	47,25	3,98	
	5,5C	1181,85	1156,2	25,65	2,17	
	6A	1171,67	1142,16	29,51	2,52	2,98
	6B	1198,78	1148,98	49,8	4,15	
	6C	1187,15	1152,05	26,78	2,27	
	6,5A	1175,03	1145,32	41,83	3,52	3,27
	6,5B	1157,99	1139,66	35,37	3,01	
	6,5C	1173,06	1146,95	39,08	3,30	
	7A	1157,99	1144,44	13,55	1,17	3,35
	7B	1173,06	1146,78	26,28	2,24	
	7C	1182,27	1103,42	78,85	6,67	
7	5A	1176,36	1142,11	34,25	2,91	2,86
	5B	1178,37	1144,25	34,12	2,90	
	5C	1165,74	1133,09	32,65	2,80	
	5,5A	1181,9	1138,1	43,8	3,71	2,92
	5,5B	1179,75	1139,4	40,35	3,42	
	5,5C	1148,47	1129,52	18,95	1,65	



**Lanjutan Tabel 5. 11 Hasil Pengujian *Cantrabro* Pada Berbagai Kadar Karet dan *Filler Gypsum***

Kadar Karet (%)	<i>Filler Gypsum</i>	Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di Abrasi	Kehilangan Berat	Rata - Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
7	6A	1175,91	1131,2	42,71	3,63	3,06
	6B	1168,82	1131,1	37,72	3,23	
	6C	1178,14	1150,63	27,51	2,34	
	6,5A	1189,54	1139,2	50,34	4,23	3,49
	6,5B	1173,73	1140,4	33,33	2,84	
	6,5C	1175,49	1135,43	40,06	3,41	
	7A	1183,12	1133,44	49,68	4,20	3,52
	7B	1176,71	1135,55	41,16	3,50	
	7C	1175,33	1141,33	34	2,89	

## 5.2 Analisis Karakteristik *Marshall*

### 5.2.1 Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Karet

Pembahasan mengenai pengujian karakteristik aspal Pen 60/70 dan aspal karet sebagai berikut.

#### 1. Berat Jenis Aspal

Hasil pengujian berat jenis aspal bertujuan menentukan berat jenis aspal keras dengan vicnometer. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat aquades dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian berat jenis menunjukkan nilai berat jenis aspal Pen 60/70 adalah 1,0547 dan nilai berat jenis aspal modifikasi aspal karet 3% sebesar 1,055, aspal karet 5% sebesar 1,062, dan aspal karet 7% sebesar 1,085. Hasil nilai tersebut menunjukkan tidak berbeda jauh dan keempat aspal memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010  $\geq 1,00$ .

#### 2. Penetrasi Aspal

Hasil pengujian penetrasi aspal bertujuan 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 65,6 mm dan aspal modifikasi ban karet 3% sebesar 43,8 mm, aspal karet 5% sebesar 44,6 mm, dan aspal karet 7% sebesar 45 mm. Dari hasil pengujian keempat aspal menunjukkan perbedaan yang signifikan yang dimana aspal ban karet 3% yang telah dimodifikasi memiliki nilai penetrasi lebih kecil yang berarti memiliki kekerasan lebih tinggi dari pada Pen 60/70. Dari hasil pengujian penetrasi keempat aspal memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70 sebesar 60 mm sampai 70 mm, sedangkan aspal modifikasi minimum 40 mm.

### 3. Daktalitas Aspal

Hasil pengujian daktalitas aspal bertujuan mengetahui sifat 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 menunjukkan nilai aspal Pen 60/70 sebesar 157 cm dan aspal modifikasi ban karet 3 % sebesar 126,5 cm, aspal karet 5 % sebesar 124 cm, dan aspal karet 7% sebesar 121 cm. Nilai daktalitas dari keempat aspal tersebut menunjukkan hasil yang signifikan dimana aspal modifikasi aspal karet 7% memiliki nilai terkecil, namun keempat aspal memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu  $\text{Pen } 60/70 \geq 100 \text{ cm}$  dan aspal modifikasi  $\geq 100 \text{ cm}$ .

### 4. Titik Nyala Aspal

Pengujian titik nyala aspal bertujuan untuk mengetahui batas temperatur dimana aspal masih cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pengujian titik nyala pada aspal Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 280°C dan aspal modifikasi 3% sebesar 259°C, aspal karet 5% sebesar 263°C, dan aspal karet 7% sebesar 301°C. Nilai titik nyala keempat aspal tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan namun tetap memenuhi

persyaratan Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70  $\geq 232^{\circ}\text{C}$  dan aspal modifikasi  $\geq 232^{\circ}\text{C}$ .

#### 5. Titik Bakar Aspal

Pengujian titik nyala bakar bertujuan untuk mengetahui batas temperatur dimana aspal akan menimbulkan api ketika dipanaskan. Hasil pengujian titik bakar pada aspal Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar  $281^{\circ}\text{C}$  dan aspal modifikasi 3% sebesar  $274^{\circ}\text{C}$ , aspal karet 5% sebesar  $283^{\circ}\text{C}$ , dan aspal karet 7%  $312^{\circ}\text{C}$ . Nilai titik bakar dari keempat aspal tersebut menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, hanya saja di aspal karet 7% memiliki nilai yang tinggi dari yang lain. Namun keempat aspal tersebut masih memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu untuk aspal Pen 60/70  $\geq 225^{\circ}\text{C}$  dan aspal modifikasi  $\geq 225^{\circ}\text{C}$ .

#### 6. Kelarutan TCE

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kelarutan aspal dengan TCE, semakin besar persentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan dalam TCE pada aspal Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 100% dan untuk aspal modifikasi aspal karet 3% sebesar 100%, aspal karet 5% sebesar 100%, dan aspal karet 7% sebesar 100%. Nilai kelarutan dalam TCE keempat aspal tersebut menunjukkan tidak ada perbedaan dan memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu Pen 60/70  $\geq 99\%$  dan aspal modifikasi  $\geq 99\%$ .

#### 7. Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek aspal bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur dimana aspal akan lembek apabila berada pada temperatur tinggi. Hasil pengujian titik lembek pada aspal Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar  $49,5^{\circ}\text{C}$  dan untuk aspal modifikasi aspal karet 3% sebesar  $55,3^{\circ}\text{C}$ , aspal karet 5% sebesar  $55^{\circ}\text{C}$ , aspal karet 7% sebesar  $54,8^{\circ}\text{C}$ . Nilai titik lembek antara keempat aspal tersebut

menunjukkan hasil yang signifikan namun keduanya memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu  $Pen\ 60/70 \geq 48^{\circ}C$  dan aspal modifikasi  $\geq 54^{\circ}C$ .

### 5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar

Pembahasan terhadap pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam benda uji sebagai berikut.

#### 1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis atau penyerapan adalah dua parameter yang saling berkaitan . Berat jenis yang tinggi menunjukkan batuan yang padat dan kuat serta menunjukkan porositas rendah dan sebaliknya batuan dengan berat jenuh yang kecil menunjukkan tingkat kekuatan yang rendah dan porositas tinggi. Hasil pengujian berat jenis menunjukkan nilai sebesar 2,52. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 2,5$ .

#### 2. Pengujian Agregat Terhadap Air

Pengujian agregat terhadap air bertujuan mengetahui besarnya porositas dari agregat. Semakin besar nilai penyerapannya maka agregat semakin porous. Hasil pengujian penyerapan agregat terhadap air menunjukkan nilai 2,72%. Nilai tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 3\%$ .

#### 3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan mengetahui besarnya kemampuan agregat untuk dilekati aspal. Semakin tinggi daya ikat yang diberikan oleh aspal terhadap agregat maka *internal friction* akan semakin tinggi, sehingga nilai stabilitas campuran akan semakin meningkat. Hasil pengujian kelekatan agregat terhadap aspal menunjukkan hasil nilai sebesar 99,5%. Nilai tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 95\%$ .

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

Pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat terhadap keausan. Agregat yang digunakan dalam campuran merupakan komponen yang berfungsi untuk mendukung beban lalu lintas yang bekerja diatas perkerasan sehingga diperlukan agregat yang tahan terhadap keausan oleh gesekan roda kendaraan. Hasil pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* menunjukkan nilai sebesar 26,6%. Nilai tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 40\%$ .

#### 5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

Pembahasan terhadap pengujian karakteristik agregat halus yang digunakan dalam benda uji sebagai berikut.

##### 1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat halus sangat berpengaruh pada penentuan besarnya kadar aspal optimum campuran aspal beton untuk tiap variasinya dan hasil Karakteristik *Marshall* yaitu nilai *VITM*, *VFWA*, *VMA* dan *density*. Hasil pengujian berat jenis menunjukkan nilai sebesar 2,59. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 2,5$ .

##### 2. Pengujian Agregat Terhadap Air

Hasil pengujian agregat halus Clereng terhadap air didapatkan nilai penyerapan air sebesar 1,18%. Besarnya penyerapan agregat terhadap air akan mempengaruhi besarnya aspal yang dibutuhkan dalam campuran aspal beton. Semakin besar nilai penyerapan agregat terhadap air maka semakin besar kebutuhan aspal yang diperlukan dalam campuran aspal beton. Nilai pengujian agregat halus tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu  $< 3\%$ .

### 3. *Sand Equivalent*

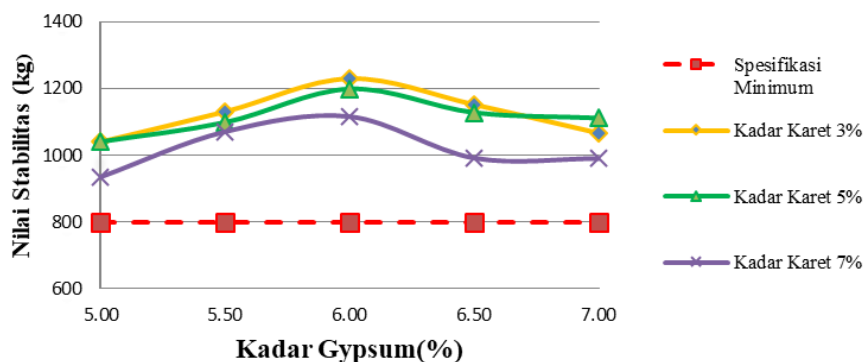
Nilai *sand equivalent* agregat halus menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya. Semakin tinggi nilai *sand equivalent*, maka jumlah debu, lumpur, atau kotoran lainnya akan semakin rendah atau sedikit. Jumlah debu, lumpur, atau kotoran yang terkandung dalam agregat halus dapat mempengaruhi atau mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat. Hasil pengujian *sand equivalent* menunjukkan nilai sebesar 80,85%. Nilai tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 50\%$ .

#### 5.2.4 Karakteristik *Marshall Standart* pada Kondisi Kadar Aspal Optimum

Pembahasan terhadap pengujian karakteristik *Marshall Standart* yang digunakan dalam benda uji sebagai berikut.

##### 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. Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik hubungan nilai stabilitas dengan nilai kadar aspal karet dan filler gypsum dan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.2 dibawah ini.



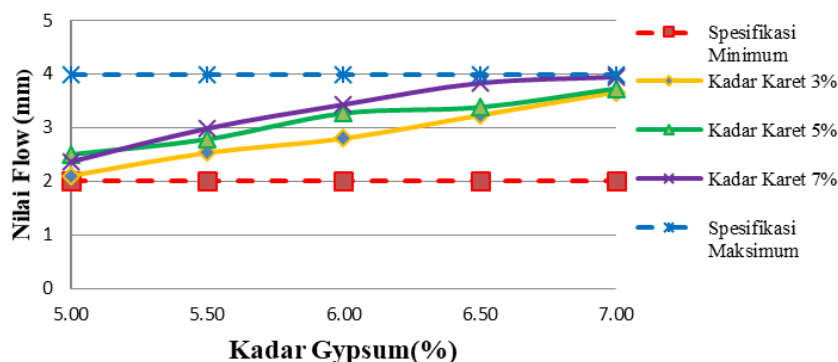
**Gambar 5.2 Grafik Hubungan Nilai Kadar Aspal Karet dan Nilai *Filer Gypsum* Terhadap Nilai Stabilitas.**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.2 nilai stabilitas campuran dipengaruhi oleh kadar karet dan kadar gypsum dalam campuran tersebut. Nilai stabilitas akan semakin menurun sering bertambahnya kadar karet dan meningkatnya kadar gypsum hingga maksimum pada 6%, kemudian menurun pada kadar 6,5% hingga 7%. Hal ini dikarenakan penambahan kadar karet serta penambahan *filler gypsum* mempengaruhi fungsi aspal sebagai perekat antara agregat. Dengan kata lain penambahan kadar karet mempengaruhi tingkat kemurnian aspal yang menyebabkan kemampuan aspal merekat agregat menjadi berkurang dan kadar *filler gypsum* yang awalnya membantu naiknya nilai stabilitas tetapi karena kadar *filler* yang berlebihan tidak mampu diserap oleh rongga-rongga dalam suatu campuran yang menyebabkan ikatan antara butiran-butiran agregat menjadi lemah dan terpisah satu sama lainnya, mengakibatkan nilai stabilitas menurun.

## 2. *Flow*.

Kelelahan (*flow*) merupakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat pembebanan sampai batas maksimum yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). Kelelahan suatu campuran menunjukkan suatu keadaan yang menunjukkan tingkat kelenturan atau

kegetasan suatu campuran beton aspal. Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik hubungan antara kadar karet dan kadar Filler Gypsum pada nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.3 dibawah ini.



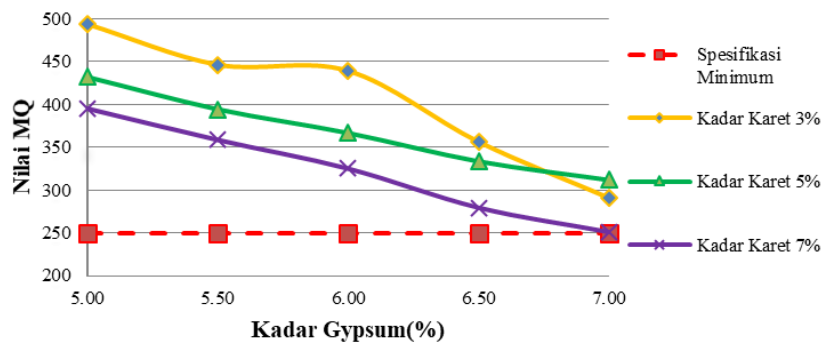
**Gambar 5.3 Grafik Hubungan Nilai Kadar Aspal Karet dan Nilai *Filler Gypsum* Terhadap Nilai *Flow*.**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar karet dan kadar *filler gypsum*. Peningkatan *flow* disebabkan penambahan kadar karet yang semakin banyak sehingga mengurangi kinerja aspal sebagai perekat antar agregat yang menyebabkan campuran menjadi lebih elastis dan nilai *flow* meningkat. Sedangkan nilai *flow* meningkat pada campuran seiring penambahan kadar *filler gypsum* yang menyebabkan semakin banyak rongga pada campuran, hal ini disebabkan karena *filler gypsum* tidak mampu mengisi rongga pada butiran agregat.

### 3. Marshall Quotient.

*Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil perbandingan antara stabilitas dengan nilai *flow*. Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik hubungan antara kadar karet dan kadar *filler gypsum* pada nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 5.4 dibawah ini.





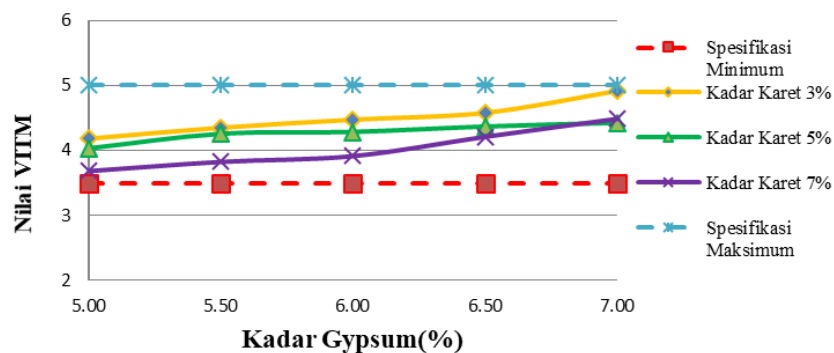
**Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal Karet dan Kadar *Filler Gypsum* Terhadap Nilai *Marshall Quotient***

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* terjadi penurunan. Menurunnya nilai *MQ* disebabkan seiring bertambahnya kadar karet dan kadar *gypsum* yang menyebabkan nilai stabilitas mengalami penurunan dan nilai *flow* mengalami peningkatan sehingga nilai perbandingan stabilitas dan *flow* mengalami penurunan. Campuran dengan nilai stabilitas yang rendah dan *flow* yang tinggi mengakibatkan campuran memiliki kekakuan yang relatif rendah sehingga campuran cenderung bersifat elastis.

#### 4. *Void In The Total Mix (VITM)*.

*Void In The Total Mix (VITM)* merupakan volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti oleh aspal dalam suatu campuran yang telah di padatkan dan dinyatakan dalam persen. Campuran beton aspal yang memiliki nilai *VITM* yang kurang dari 3,5% akan dapat menimbulkan terjadinya *Bleeding* (aspal yang meleleh kepermukaan). Semakin kecil rongga udara maka campuran beraspal akan semakin kedap terhadap air akan tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan sehingga aspal menjadi mudah rapuh dan getas. Sebaliknya bila nilai *VITM* lebih dari 5% menunjukkan campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap air, sehingga melemahkan ikatan agregat terhadap aspal. Berdasarkan hasil

pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik *Void In The Total Mix (VITM)* dapat dilihat pada Gambar 5.5 dibawah ini.

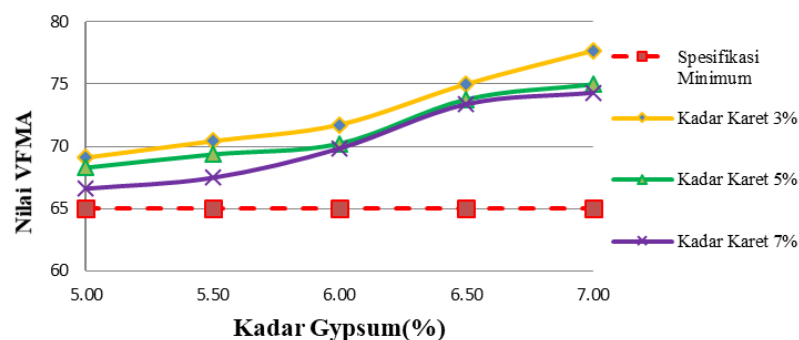


**Gambar 5.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal Karet dan Kadar *Filler Gypsum* Terhadap *Void In The Total Mix (VITM)*.**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5 dapat di lihat bahwa grafik *Void in the Mix (VITM)* dengan penambahan kadar karet dan *filler gypsum*. Nilai *VITM* akan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal serta seiring bertambahnya kadar *filler gypsum*. Bertambahnya kadar *filler gypsum* menyebabkan rendahnya penyerapan rongga sehingga membentuk rongga yang lebih banyak.

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

*Void Filled With Asphalt* adalah nilai yang menunjukkan banyaknya persen rongga yang ada dalam campuran terisi oleh aspal. Besarnya nilai *VFWA* akan berpengaruh pada kedekatan campuran terhadap air dan udara yang pada akhirnya akan berpengaruh pada keawetan dan ketahanan suatu perkerasan. Faktor yang mempengaruhi *VFWA* antara lain kadar aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadat. Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.6 dibawah ini.

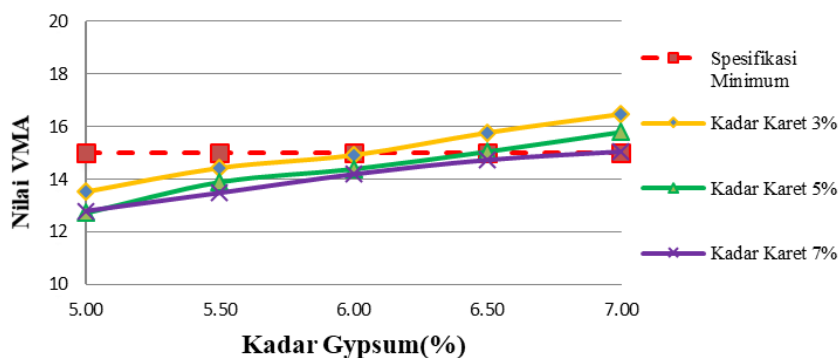


**Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal Karet dan Kadar *Filler Gypsum* Terhadap *Void Filled With Asphalt (VFWA)*.**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar aspal dan kadar *filler gypsum* maka nilai *VFWA* akan semakin bertambah. Bertambahnya *VFWA* disebabkan oleh fungsi aspal selain sebagai bahan ikat juga sekaligus sebagai pengisi rongga dalam campuran sehingga semakin bertambah *filler gypsum* maka campuran semakin longgar, hal ini disebabkan semakin banyak rongga yang tidak terisi oleh *filler gypsum*.

#### 6. *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

*Void In Mineral Aggregate (VMA)* adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Nilai *VMA* yang kecil mengakibatkan terbatasnya aspal yang dapat menyelimuti agregat dan menghasilkan selimut aspal yang tipis. Selimut aspal yang tipis akan mudah lepas sehingga menyebabkan lapis tidak kedap air dan lapis perkerasan menjadi rusak. Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik *Void In Mineral Aggregate* dapat dilihat pada Gambar 5.7 dibawah ini.

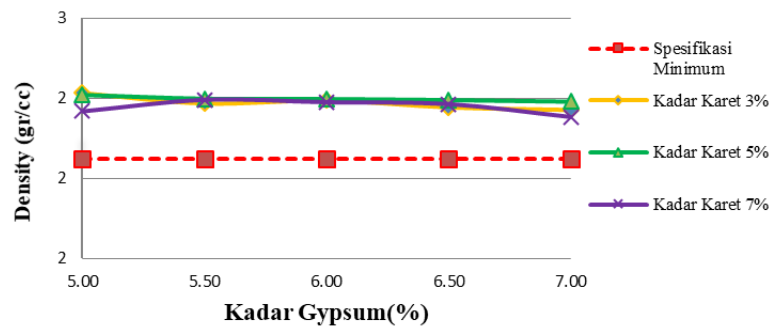


**Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal Karet dan Kadar *Filler Gypsum Void In Mineral Agregate (VMA)*.**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar karet dan kadar *filler gypsum* menyebabkan peningkatan *VMA*. Peningkatan ini disebabkan oleh penambahan *filler gypsum* membuat rongga antar agregat yang terdapat di dalam campuran semakin bertambah karena rongga-rongga tidak dapat terisi oleh *filler gypsum*.

#### 7. *Density*

Nilai Kepadatan atau *density* menunjukkan tingkat kerapatan suatu campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan kepadatannya semakin baik. Nilai dari *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan kualitas bahan penyusun, gradasi campuran, jumlah pemadatan, temperature pemadatan, kadar aspal, serta penambahan bahan *addictive* dalam campuran. Suatu campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai *density* yang rendah. Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik *density* dapat dilihat pada Gambar 5.8 dibawah ini.

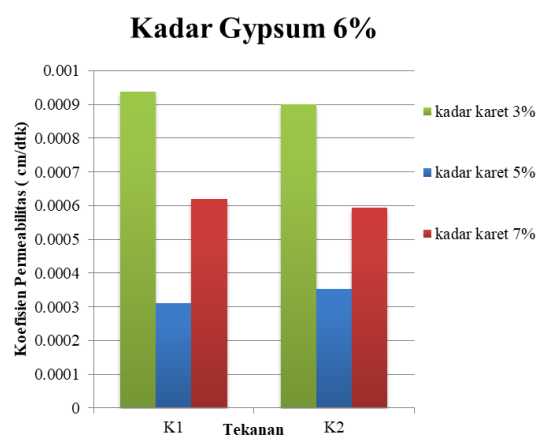


**Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal Karet dan Kadar *Filler Gypsum* Terhadap *Density*.**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa nilai *density* tidak mengalami perubahan yang signifikan tetapi tetap mengalami penurunan. Penurunan tersebut seiring dengan bertambahnya kadar *filler gypsum* pada campuran. Hal ini disebabkan *filler gypsum* tidak mampu mengisi rongga-rongga dalam campuran, sehingga campuran longgar dan bersifat kurang padat.

### 5.3 Permeabilitas pada Kondisi Kadar Aspal Optimum

Permeabilitas aspal adalah tingkat derajat kerapatan konstruksi aspal untuk dapat ditambus oleh zat cair. Hasil pengujian permeabilitas campuran pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.9.

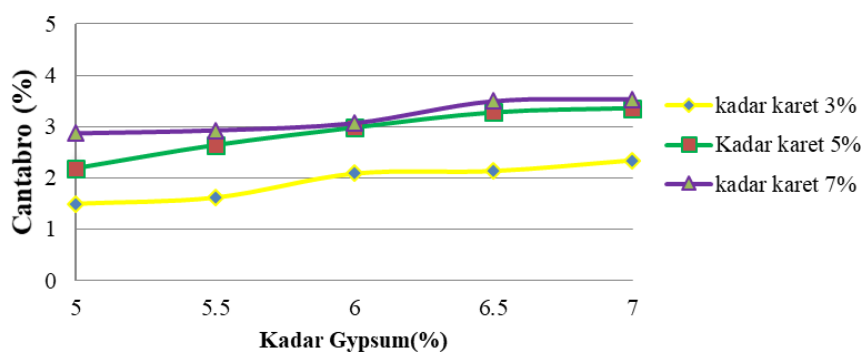


**Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kadar Aspal Karet dan Kadar *Filler Gypsum* Terhadap Permeabilitas**

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai permeabilitas tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar karet 3% dan permeabilitas menurun pada kadar karet 5% dan 7%. Hal ini disebabkan karena pada penambahan kadar karet 3%, karet tidak mempengaruhi kinerja aspal sebagai perekat butiran agregat dan membuat aspal menjadi kedap terhadap air. Sedangkan pada penambahan kadar karet sebesar 5% dan 7% justru menurangi kinerja aspal sebagai perekat butiran agregat sehingga campuran memiliki rongga yang banyak sehingga campuran permeabilitas menurun.

#### 5.4 Cantrabo pada Kondisi Kadar Aspal Optimum

*Cantabro Test* adalah suatu metode pengujian yang dilakukan 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. Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh nilai grafik *Cantabro* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10 dibawah ini.



**Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar Aspal Karet dan Kadar *Filler Gypsum* Terhadap Nilai *Cantabro*.**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai *Cantabro* cenderung menurun seiring bertambahnya kadar *filler gypsum* dan bertambahnya kadar karet. Bertambahnya kadar *filler gypsum* menyebabkan semakin banyak rongga dalam campuran yang tidak dapat diisi oleh *filler gypsum* tersebut. Sehingga campuran menjadi longgar dan lebih rapuh. Bertambahnya kadar karet menyebabkan aspal mengalami penurunan kemampuan melekatkan butiran agregat

dalam campuran sehingga pemisahan antar agregat semakin besar. Syarat spesifikasi *Bina Marga* untuk pengujian *Cantrabo* harus <20%.

### 5.5 Hasil Analisis Statistika Anova

ANOVA adalah singkatan dari *Analysis of Variance* yang merupakan sebuah analisis statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata k sampel bila datanya berbentuk interval atau ratio (Sugiyono, 2010). Hasil rekapitulasi analisis menggunakan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.12 di bawah ini.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Uji Statistika Anova Untuk Karakteristik Marshall dan Cantabro**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>Marshall</i>	Signifikan	H <sub>1</sub> diterima
<i>Permeability</i>	Signifikan	H <sub>0</sub> diterima
<i>Cantabro</i>	Signifikan	H <sub>0</sub> diterima

Berdasarkan tabel diatas bahwa hasil uji statistika *Anova* terhadap pengujian *Marshall* didapatkan H<sub>1</sub> ada perbedaan signifikan terhadap penambahan kadar karet dan penambahan kadar *filler gypsum*. Sedangkan untuk pengujian *permeability dan cantrabo* didapatkan hasil H<sub>0</sub>, tidak ada perbedaan yang signifikan namun tetap ada perubahan yang terjadi pada penambahan kadar karet serta penambahan *filler gypsum*.

### 5.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap karakteristik *Marshall* pada kadar aspal optimum dengan campuran bergradasi AC-WC menggunakan bahan aspal Pen 60/70 dan kadar karet 3%,5%, dan 7% serta *Filler Gypsum* 5%, 5,5%, 6%, 6,5%,7% menggunakan penambahan kadar karet mengalami penurunan nilai stabilitas dan *MQ* dan menaiknya nilai *flow*. Sedangkan kadar *Filler Gypsum* terjadi peningkatan

pada stabilitas pada kadar 5% sampai 6% kemudian pada kadar 6,5% dan 7% mengalami penurunan. Serta nilai *flow* dan *MQ* mengalami penurunan.

Pada pengujian peremabilitas pada campuran *AC-WC* menggunakan bahan tambah karet dan *filler gypsum* menunjukkan bahwa campuran tersebut masuk dalam kategori drainase jelek terhadap air, pada tekanan 1000 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan 2000 kg/cm<sup>2</sup>.

Pada pengujian *cantrabo* pada campuran *AC-WC* menggunakan bahan tambah karet dan *filler gypsum* menunjukkan bahwa campuran tersebut mengalami presentase kehilangan berat yang menurun. Syarat spesifikasi *Bina Marga* untuk pengujian *Cantrabo* harus < 20%.