

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran

Berdasarkan pengujian diperoleh hasil dari tiap-tiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian karakteristik aspal ini menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 dan aspal Pertamina Pen 60/70 dengan bahan tambah *Wetfix Be* (aspal modifikasi), yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010. Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi

NO	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Aspal Pen 60/70	Aspal Modifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1	1,050607	1,028	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 - 70	63,1	61,300	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	164,000	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}$ C)	≥ 232	285	281,000	Memenuhi
5	Titik Bakar ($^{\circ}$ C)	≥ 232	295	293,000	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,12757	99,013	Memenuhi
7	Titik Lembek ($^{\circ}$ C)	≥ 48	49	48,000	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun hasil dari pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai 5.4 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,6601	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	1,686	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40	12,97	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,6271	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	2,35	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	91,891	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	<i>Filler</i>	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≤ 8	2,550	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari campuran aspal porus. Adapun parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu nilai *VITM* dari pengujian karakteristik *Marshall*, *AFD*, dan *Cantabro* yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 sampai Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
5	545,486	3,6	149,50	18,77	33,69	28,30	2,0006
5,5	584,953	3,7	158,22	18,13	36,66	28,62	2,0029
6	594,306	3,8	156,51	15,33	43,47	27,09	2,0568
6,5	494,327	4	123,61	15,11	45,63	27,78	2,0480
7	491,213	4,3	114,29	14,93	47,64	28,52	2,0380
Spesifikasi	>500	>2-6	<400	18-25			

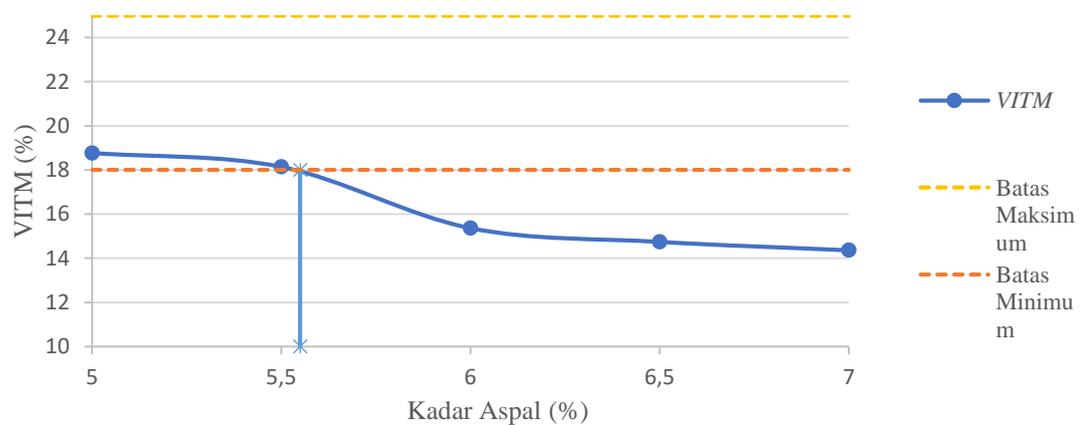
Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal	Nilai <i>Cantabro Loss</i> (%)
5	38,99
5,5	29,81
6	22,19
6,5	20,15
7	15,09

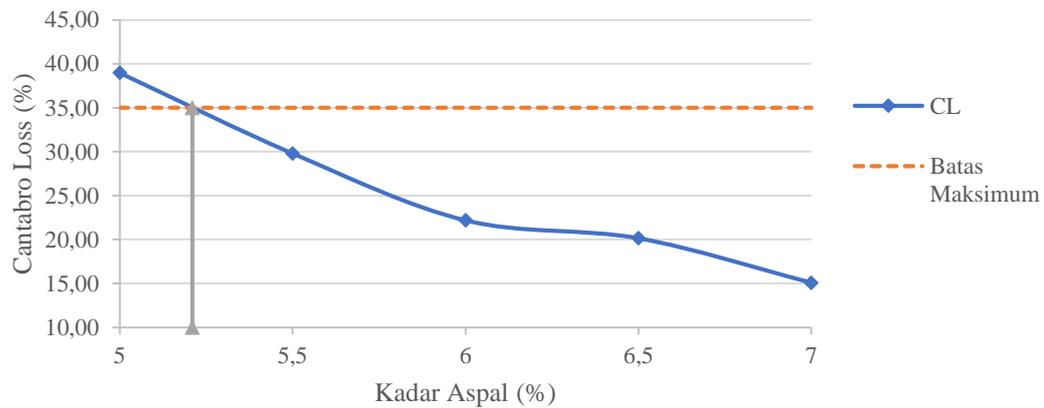
Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal	Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> (%)
5	0,08
5,5	0,24
6	0,64
6,5	1,23
7	1,36

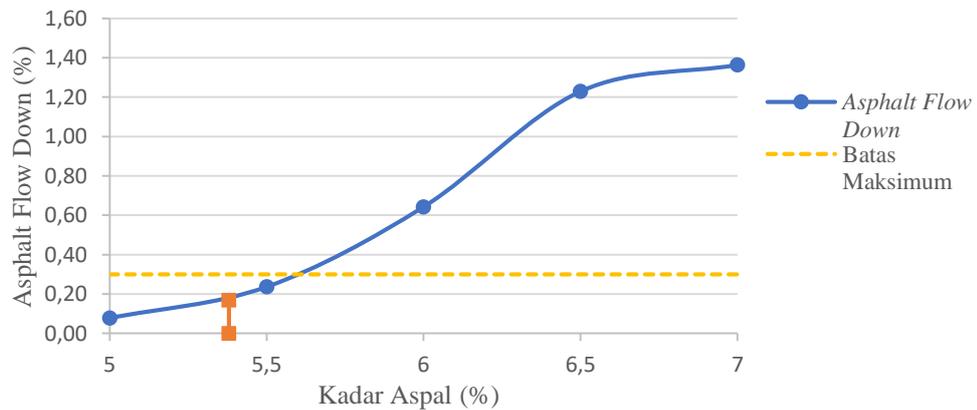
Berikut ini adalah grafik hubungan kadar aspal dengan nilai *VITM*, nilai *cantabro loss* dan nilai *AFD*, untuk menentukan kadar aspal optimum. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.1 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM*



Gambar 5.2 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Cantabro Loss*



Gambar 5.3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Asphalt Flow Down*

Tahapan menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porus sebagai berikut :

1. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai *VITM* 18% (KAO Maksimum) yaitu 5,55%.
2. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai *Cantabro Loss* 35% (KAO Minimum) yaitu 5,21%.
3. Menentukan nilai rerata KAO maksimum dan minimum, diperoleh 5,38%.
4. Proyeksikan nilai rerata KAO (5,38%) terhadap grafik *AFD*, hingga diperoleh nilai *AFD* pada kadar aspal tersebut yaitu 0,17%.
5. Jumlahkan nilai rerata KAO (5,38%) dengan nilai *AFD* (0,17%), sehingga diperoleh KAO pada campuran aspal porus sebesar 5,55%.

Adapun rekapitulasi hasil pembacaan dari ketiga grafik di atas dalam menentukan KAO campuran aspal porus, dapat dilihat pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik *VITM*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk Menentukan KAO

Karakteristik Pengujian	Satuan (%)
<i>VITM</i>	5,55
<i>Cantabro Loss</i>	5,21
Rata-rata	5,38
<i>Asphalt Flow Down</i>	0,17
KAO	5,55

Kadar aspal yang diperoleh merupakan hasil nilai kandungan aspal paling optimum yaitu sebesar 5,55% dari berat total campuran.

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kadar *Wetfix Be* sebagai bahan tambah terhadap campuran aspal porus pada KAO, meliputi pengujian karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *Cantabro Loss*, *AFD* dan permeabilitas. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9 sampai Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall Standard* Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
0	527,68	3,63	145,26	18,10	36,90	28,68	2,002
0,2	591,63	3,70	159,98	18,21	37,16	28,98	1,994
0,3	612,77	3,80	161,44	18,26	37,08	29,02	1,993
0,4	574,45	3,83	149,86	18,29	37,04	29,05	1,992
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400	18 – 25			

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Stabilitas *Immersion* 24 Jam Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	Stabilitas (kg)
0	476,758
0,2	533,074
0,3	552,688
0,4	514,337
Spesifikasi	> 500

Tabel 5.11 Hasil Pengujian *IRS*, *IDP* dan *IDK* Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	Stabilitas (kg)		<i>IRS/IKS</i> (%)	<i>IDP</i> (%)	<i>IDK</i> (%)
	0,5 Jam	24 Jam			
0	527,7	476,8	90,35	0,411	4,724
0,2	591,6	533,1	90,10	0,421	4,846
0,3	612,8	552,7	90,19	0,417	4,800
0,4	574,5	514,3	89,54	0,445	5,123

Tabel 5.12 Hasil Pengujian *ITS* Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	<i>ITS</i> (kg/cm ²)
0	7,85
0,2	8,42
0,3	8,89
0,4	7,72

Tabel 5.13 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)
0	26,57
0,2	20,86

Lanjutan Tabel 5.13 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)
0,3	15,88
0,4	11,82

Tabel 5.14 Hasil Pengujian *AFD* Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	Nilai <i>AFD</i> (%)
0	0,27
0,2	0,19
0,3	0,14
0,4	0,10

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Permeabilitas Menggunakan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	Koefisien Permeabilitas (cm/detik)
0	0,0150
0,2	0,0164
0,3	0,0192
0,4	0,0223

5.1.5 Hasil Analisis Statistik

Hasil analisis statistik meliputi Uji Statistik *T-Test* dan Uji *Anova*. Uji Statistik dilakukan untuk mengetahui signifikansi perubahan dari setiap parameter pengujian yang dipengaruhi oleh variabelnya. Pengujian Statistik metode *T-Test* dilakukan pada data hasil uji karakteristik aspal pertamina pen 60/70 terhadap aspal modifikasi yaitu aspal pertamina pen 60/70 dengan bahan tambah *Wetfix Be*. Sedangkan Uji statistik *Anova* dilakukan pada data hasil pengujian kinerja pada campuran aspal porus yang dipengaruhi oleh bahan tambah *Wetfix Be* dengan variasi kadar yang berbeda. Data hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan *T-Test* dan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 di bawah ini.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *T-Test* untuk Sifat Fisik Aspal Modifikasi Terhadap Aspal Pen 60/70

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Berat Jenis	Tidak Signifikan	H0 Diterima
Penetrasi	Signifikan	H0 Ditolak
Titik Nyala	Tidak Signifikan	H0 Diterima
Titik Bakar	Tidak Signifikan	H0 Diterima
Kelarutan TCE	Tidak Signifikan	H0 Diterima
Titik Lembek	Tidak Signifikan	H0 Diterima
Indeks Penetrasi	Tidak Signifikan	H0 Diterima

Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Anova* untuk Pengaruh Penggunaan *Wetfix Be* Sebagai Aditif Terhadap Karakteristik *Marshall* dan Kinerja Pada Campuran Aspal Porus

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas	Signifikan	H0 Ditolak
<i>Flow</i>	Tidak Signifikan	H0 Diterima
<i>MQ</i>	Signifikan	H0 Ditolak
<i>VITM</i>	Signifikan	H0 Ditolak
<i>VMA</i>	Signifikan	H0 Ditolak
<i>VFWA</i>	Signifikan	H0 Ditolak
<i>Density</i>	Signifikan	H0 Ditolak
<i>IRS</i>	Tidak Signifikan	H0 Diterima
IDP	Tidak Signifikan	H0 Diterima
IDK	Tidak Signifikan	H0 Diterima
<i>ITS</i>	Signifikan	H0 Ditolak
<i>Cantabro Loss</i>	Signifikan	H0 Ditolak
<i>AFD</i>	Signifikan	H0 Ditolak
Permeabilitas	Signifikan	H0 Ditolak

5.2 Pembahasan

Pembahasan dilakukan guna memastikan bahwa material yang digunakan dalam pengujian telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Berikut ini merupakan pembahasan dari setiap pengujian yang dilakukan.

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan clereng yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal, dan bila sebaliknya, maka akan meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat kasar yang didapat adalah sebesar 2,660. Nilai ini memenuhi yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>2,5$.

2. Penyerapan agregat terhadap air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan perilaku agregat dalam menyerap air melalui pori yang dimiliki agregat itu sendiri. Agregat dengan pori yang lebih besar dapat menyerap lebih banyak aspal sehingga lapisan selimut aspal menjadi lebih tipis, hal ini akan mempengaruhi durabilitas campuran. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 1,681 %.

3. Kelekatan agregat terhadap aspal

Daya lekat agregat terhadap aspal akan dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Adapun hasil pengujiannya, persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal sebesar 98%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu $>95\%$.

4. Keausan dengan mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Adapun hasil pengujiannya,

menunjukkan hasil sebesar 12,97%. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu <40%.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan clereng yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal, dan bila sebaliknya, maka akan meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat halus yang didapat adalah sebesar 2,620. Sedangkan hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu Clereng yang didapatkan adalah sebesar 2,550. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 yang disyaratkan yaitu >2,5.

2. Penyerapan agregat terhadap air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat dalam menyerap air melalui pori yang dimiliki agregat itu sendiri. Agregat dengan pori yang lebih besar dapat menyerap lebih banyak aspal sehingga lapisan selimut aspal menjadi lebih tipis, hal ini akan mempengaruhi durabilitas campuran. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 2,35 %.

3. *Sand Equivalent*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap butir-butir halus lolos saringan No.200 seperti lempung, lanau pada campuran agregat. Jika campuran pada pembuatan beton aspal banyak menggunakan agregat halus yang mengandung material lolos saringan No.200, maka akan

menghasilkan beton aspal yang memiliki kualitas rendah. Hal ini terjadi karena material agregat halus menyelimuti agregat yang lebih kasar sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikat menjadi menurun. Adapun hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng didapatkan nilai 91,891%. Hasil tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu >50%.

5.2.3 Pengaruh Bahan Tambah *Wetfix Be* Terhadap Karakteristik Sifat Fisik Aspal

Dalam penelitian ini aspal yang digunakan yaitu aspal Pertamina Pen 60/70 yang dimodifikasi dengan menggunakan *anti-stripping Wetfix Be* sebagai bahan tambah. Adapun profil *anti-stripping Wetfix Be* yang diperoleh dari PT. Enceha Pacific yang berlokasi di Jakarta, dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Profil Bahan Tambah *Wetfix Be*

No	Profil		Satuan
1	Hot and Warm Mix	0,2 - 0,5	%
2	Patch Mix, Soft Bitumen Mix	0,5 - 1,0	%
3	Acid Value	<10	mgKOH/g
4	Amine Value	160 - 185	mgHCL/g
5	Appearance at 25°C	Liquid	
6	Pour Point	<-20	°C
7	Flash Point	>218	°C
8	Viscosity at 20°C	800	mPa.s (cP)
9	Density at 20°C	0,98	g/cc

Sumber: Nobel (2014)

Pengujian karakteristik aspal dilakukan guna mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang digunakan. Berikut merupakan pembahasan hasil pengujian karakteristik aspal yang dilakukan.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat antara aspal dengan berat air pada volume yang sama dan temperatur yang sama. Hasil yang didapatkan dari pengujian berat jenis aspal Pertamina pen 60/70 yang sudah di uji yaitu sebesar 1,0500 , sedangkan berat jenis aspal modifikasi adalah sebesar 1,0271. Nilai

berat jenis aspal pertamina pen 60/70 dan aspal modifikasi memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>1,00$.

2. Penetrasi aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal dengan beban dan waktu yang ditentukan pada suhu ruang. Nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang diperoleh adalah 63,1 mm sedangkan nilai penetrasi aspal modifikasi yang diperoleh adalah 61,3 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal modifikasi menggunakan bahan tambah *Wetfix Be* lebih keras dibandingkan dengan aspal penetrasi pen 60/70. Perubahan tingkat kekerasan tersebut merupakan perubahan yang signifikan. Hasil pengujian penetrasi kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu >60 mm.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi aspal yang dapat mempengaruhi fleksibilitas campuran, sehingga dapat menahan lendutan. Hasil pengujian dari aspal pertamina pen 60/70 dan aspal modifikasi *Wetfix Be* yang diperoleh sebesar >164 cm. Hasil pengujian tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu >100 cm.

4. Titik nyala

Pengujian titik nyala memiliki tujuan untuk mengetahui batas suhu tertinggi, bahwa aspal cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 yang diperoleh adalah sebesar 285°C , sedangkan aspal modifikasi memperoleh hasil pengujian sebesar 281°C . Perbedaan titik nyala yang dimiliki kedua aspal tersebut mengalami yang tidak terlalu signifikan. Hasil pengujian kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>232^{\circ}\text{C}$.

5. Kelarutan dalam TCE (*Trychloroethylene*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah persentase kelarutan aspal pada larutan TCE sehingga dapat diketahui jumlah persentase mineral lain yang terdapat dalam aspal. Semakin besar kelarutan aspal dalam TCE mengakibatkan semakin kecil kandungan mineral lain pada aspal, sehingga semakin kecil juga kemungkinan terganggunya ikatan aspal dengan agregat. Hasil pengujian

kelarutan dalam *TCE* aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,12%, sedangkan pada aspal modifikasi adalah 99,01%. Hal ini menunjukkan bahwa kemurnian aspal modifikasi lebih rendah dibandingkan aspal pertamina pen 60/70. Hasil pengujian kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar >99%.

6. Titik Lembek

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui temperatur ketika aspal akan mulai melunak dan melembek. Hasil pengujian titik lembek aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 49°C, sedangkan aspal modifikasi adalah sebesar 48°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal modifikasi menggunakan bahan tambah *Wetfix Be* meningkatkan kepekaan aspal terhadap temperatur. Hasil pengujian kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$.

7. Indeks Penetrasi

Indeks penetrasi merupakan parameter untuk mengetahui nilai konsistensi aspal dalam perubahannya yang dipengaruhi oleh berubahnya temperatur. Kepekaan terhadap temperature merupakan sensitifitas perubahan sifat viskoelastisitas aspal yang diakibatkan oleh perubahan temperature. Nilai penetrasi dinyatakan dengan nilai titik lembek dalam bentuk PI (*Penetration Indeks*). Semakin tinggi nilai titik lembek aspal maka nilai Indeks Penetrasi aspal tersebut akan semakin tinggi juga pada nilai penetrasi yang sama, tingginya nilai Indeks Penetrasi akan mengurangi besar deformasi. Kepekaan aspal tersebut dinyatakan dengan Indeks Penetrasi (IP) yang berkisar antara -3 sampai 7. Nilai Indeks Penetrasi dari hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 adalah -0,904 sedangkan aspal modifikasi yaitu aspal pertamina pen 60/70 dengan penambahan *anti-stripping Wetfix Be* adalah -1,242. Nilai Indeks Penetrasi aspal modifikasi lebih rendah dibandingkan dengan nilai Indeks Penetrasi aspal pertamina pen 60/70. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan penambahan *Wetfix Be* menjadi lebih peka terhadap temperatur. Adapun hasil pengujian PI berdasarkan angka penetrasi dan titik lembek dapat dilihat pada Tabel 5.19 di bawah ini.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Indeks Penetrasi

Benda Uji	Titik Lembek (°C)	Penetrasi (mm)	PI
Aspal Pen 60/70	49	63,1	-0,904
Aspal Mod	48	61,3	-1,242

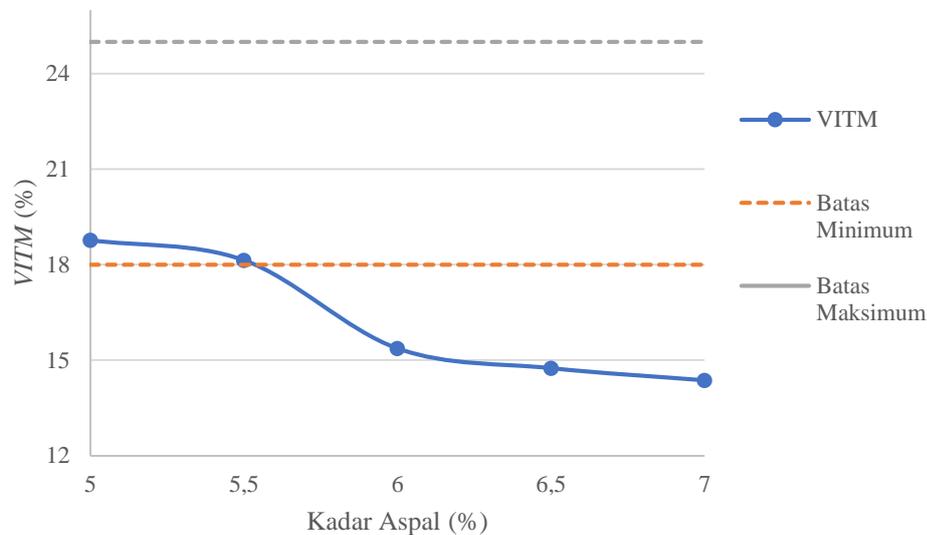
5.2.4 Pengujian Karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)* dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran Aspal Porus menggunakan tiga parameter, yaitu karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Berikut ini adalah pembahasan hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk menentukan KAO.

1. Karakteristik *Marshall*

a. *Void in the Total Mix (VITM)*

VITM adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. *VITM* berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)* mensyaratkan batas nilai *VITM* pada campuran aspal porus adalah sebesar 18% - 25%, nilai *VITM* pada campuran aspal porus didesain cukup besar sehingga campuran ini dapat dengan mudah meloloskan air melalui rongga yang cukup sesuai dengan fungsi campuran aspal porus, akan tetapi hal ini mengakibatkan air dapat dengan mudah memasuki campuran melalui rongga tersebut sehingga akan menyebabkan penurunan durabilitas campuran dan memungkinkan terjadinya *ravelling*. Adapun nilai *VITM* yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

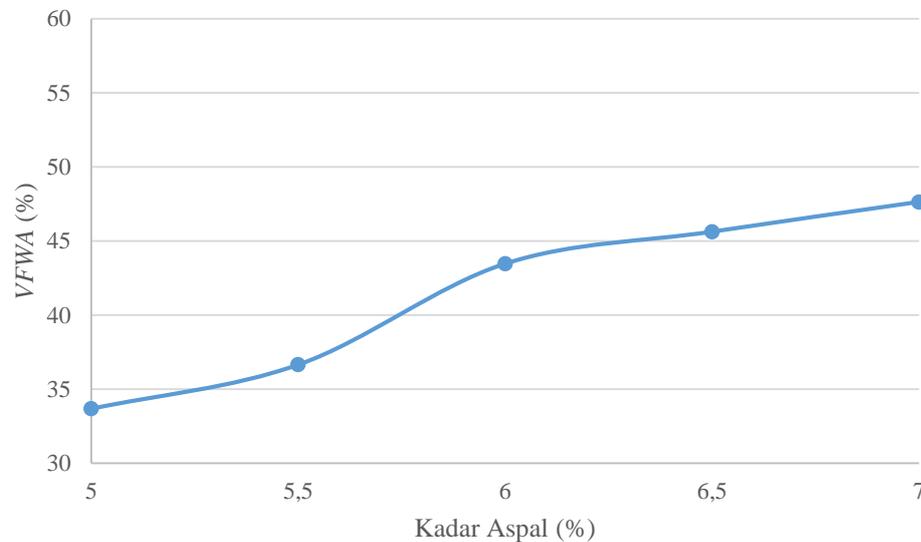


Gambar 5.4 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan VITM

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan pada campuran maka semakin rendah nilai *VITM* pada campuran tersebut. Penurunan nilai *VITM* terjadi disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran, sehingga rongga yang tersisa atau rongga udara pada campuran semakin kecil. Semakin rendah nilai *VITM* maka semakin tinggi resiko campuran mengalami *bleeding* dan semakin tinggi juga resiko campuran mengalami penurunan durabilitas. Dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi *AAPA 2004* yaitu pada kadar 5% sampai 5,65%.

b. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Void filled with asphalt merupakan volume pori pada campuran yang terisi oleh aspal setelah campuran dipadatkan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh suhu, rongga dalam mineral, kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak, kedekatan terhadap air dan udaranya meningkat, sehingga meningkatkan durabilitas campuran hingga kondisi tertentu. Sedangkan jika nilai *VFWA* semakin rendah maka tingkat kedekatan terhadap air dan udara juga rendah. Adapun nilai *VFWA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

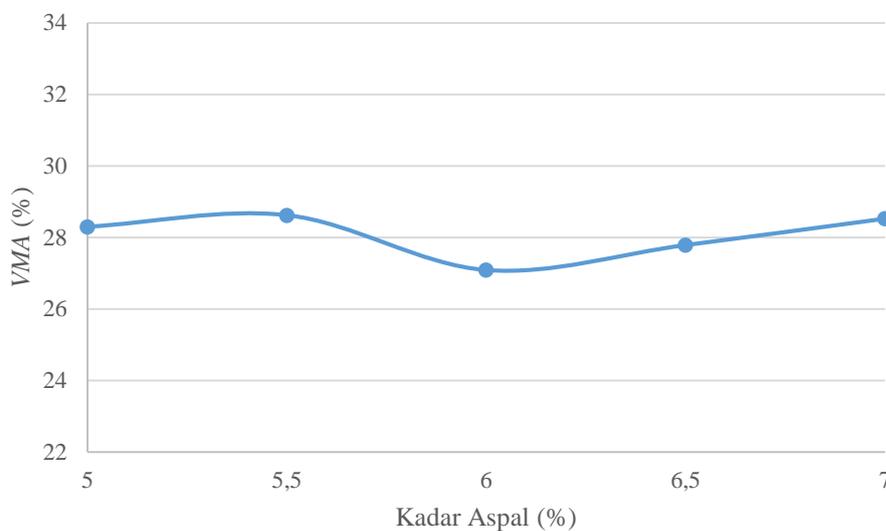


Gambar 5.5 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan VFWA

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat diketahui bahwa jika semakin besar kadar aspal maka nilai *VFWA* akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan oleh gradasi yang ditentukan, sehingga aspal yang mengisi rongga menjadi semakin banyak. Penyerapan yang terjadi pada gradasi terbuka cukup besar yang mengakibatkan aspal yang diserap oleh agregat juga besar, sehingga aspal yang menutupi rongga pada campuran menjadi lebih kecil. Dari hasil pengujian di laboratorium, nilai *VFWA* tertinggi adalah 47,64 % pada penggunaan kadar aspal 7% terhadap campuran. Sedangkan nilai *VFWA* terendah adalah 33,69 % pada penggunaan kadar aspal 5% terhadap campuran. Hal tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, temperatur dan jumlah pemadatan.

c. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

Void in the mineral agregat merupakan jumlah pori diantara butir-butir agregat di dalam campuran padat yang dinyatakan dalam persen. *VMA* akan meningkat pada campuran yang menggunakan gradasi terbuka. Berikut nilai *VMA* hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.6.

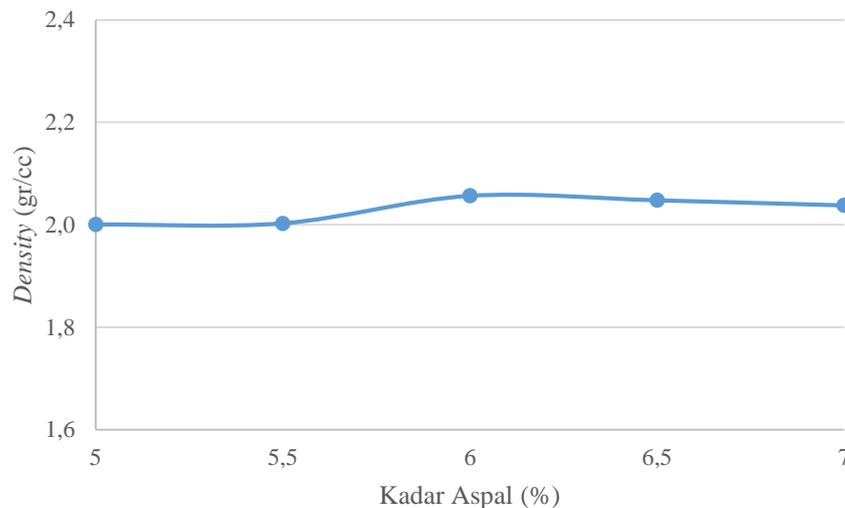


Gambar 5.6 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan VMA

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat diketahui bahwa nilai VMA akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dan kemudian meningkat setelah mencapai batas optimum. Hal ini disebabkan karena pada kadar aspal yang rendah, rongga antar agregat yang tersedia untuk ditempati oleh aspal juga akan semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya pada kadar aspal yang tinggi maka rongga antar agregat yang tersedia juga tinggi. Nilai VMA dipengaruhi oleh gradasi agregat, ukuran agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal.

d. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) merupakan nilai berat volume yang dapat menunjukkan kepadatan dari campuran. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai *density* adalah suhu pemadatan, komposisi penyusun, jumlah *filler*, dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai stabilitas yang dimiliki suatu campuran maka tingkat kepadatan dan kerapatannya juga akan semakin tinggi sampai pada kondisi maksimum. Semakin tinggi kepadatan (*density*) suatu campuran, semakin tinggi juga nilai durabilitas campuran tersebut. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium didapatkan grafik nilai *density* sebagai berikut.

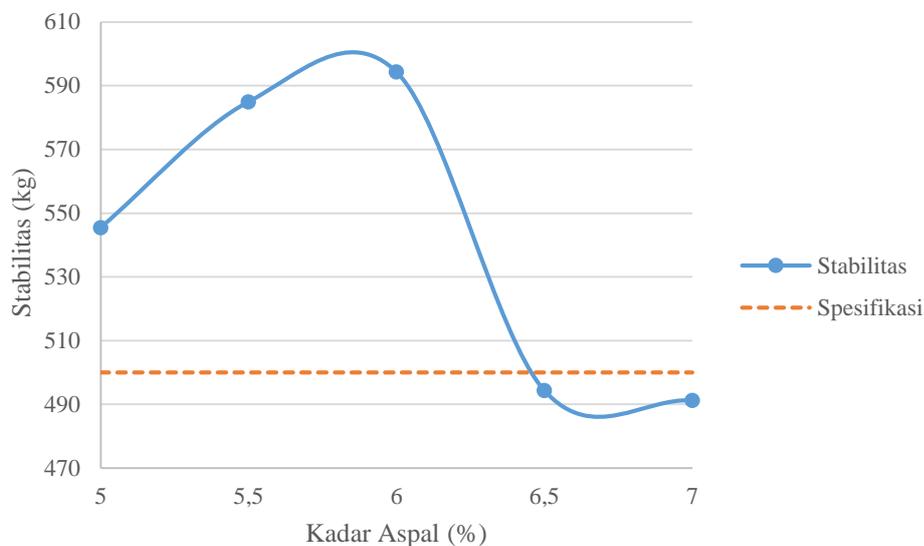


Gambar 5.7 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan *Density*

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat diketahui nilai *density* campuran mengalami perubahan tetapi tidak signifikan, hal ini dapat terjadi karena aspal yang digunakan memiliki sifat mudah cair. Nilai *density* yang berubah juga disebabkan oleh gradasi yang digunakan banyak menggunakan agregat kasar, sehingga mengakibatkan rongga yang ada akan semakin besar pada kadar aspal rendah.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan dalam menerima beban tanpa mengalami deformasi sampai terjadi kelelahan plastis. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas perkerasan. Gesekan internal yang disebabkan oleh permukaan agregat, luas bidang kontak antar agregat dan atau bentuk/tekstur dari agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran dan teal selimut aspal yang menyelubungi agregat. Adapun kohesi atau gaya ikat aspal, menyebabkan aspal mampu menahan tekanan kontak antar butir agregat. Kemampuan kohesi ditentukan berdasarkan hasil uji penetrasi aspal, perubahan temperatur, perubahan viskositas, tingkat pembebanan, kandungan bahan kimia dari aspal, dan umur aspal. Berikut ini adalah hasil nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.8.



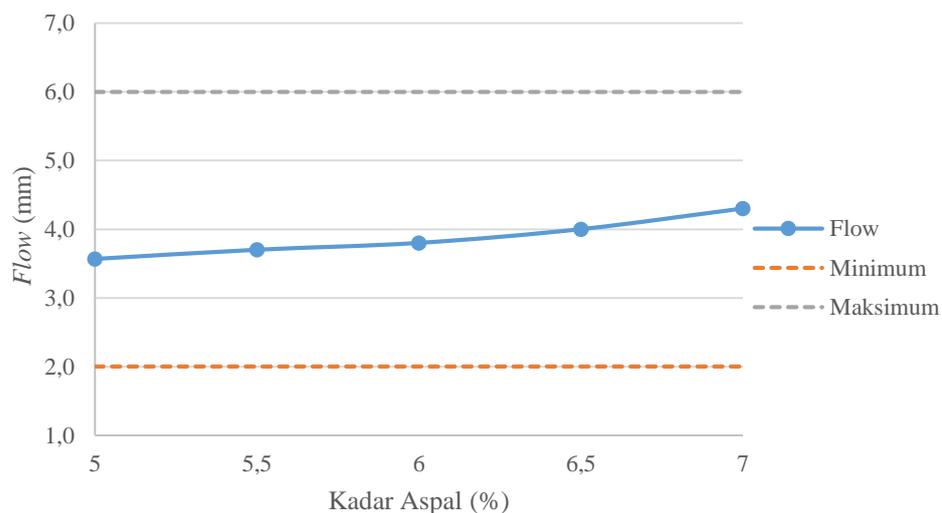
Gambar 5.8 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu >500 kg. Nilai stabilitas pada campuran aspal porus mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai optimum pada kadar 5,5% dan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena peran aspal sebagai pengikat agregat yang menyebabkan stabilitas campuran meningkat hingga mencapai optimum lalu mengalami penurunan setelah titik optimum disebabkan karena peran aspal berubah menjadi pelicin saat kadar aspal terlalu banyak pada campuran.

f. *Flow*

Kelelehan (*flow*) menyatakan besarnya penurunan vertikal campuran akibat beban sampai batas runtuh. *Flow* diperlukan agar supaya perkerasan memiliki daerah mulur akibat pembebanan, sehingga saat terjadi pembebanan, campuran memulur atau memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak. Semakin tinggi nilai *Flow* suatu campuran, maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan campuran tersebut, hal tersebut dipengaruhi oleh persen kadar aspal. Semakin rendah nilai *flow* campuran, maka akan semakin rendah fleksibilitas campuran. *Flow* dapat dipengaruhi

oleh beberapa faktor diantaranya yaitu, gradasi agregat, kadar aspal dan temperatur saat pemadatan. Berikut ini adalah grafik nilai *flow* yang didapatkan dari pengujian, dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

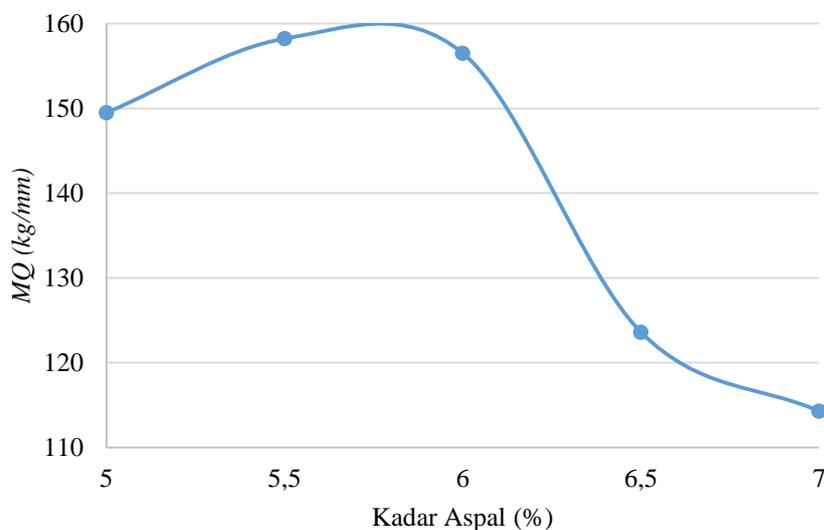


Gambar 5.9 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan *Flow*

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu berada diantara 2 mm – 6 mm. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa jika semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai *flow* akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan akibat semakin tebal lapis aspal yang menyelimuti agregat sehingga kelenturan aspal menjadi semakin lebih tinggi.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* dapat menyatakan kekakuan dan kelenturan dari suatu campuran. Nilai *MQ* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Jika nilai *MQ* suatu campuran tinggi maka campuran tersebut cenderung kaku dan memiliki nilai fleksibilitas yang rendah. Sebaliknya bila suatu campuran memiliki nilai *MQ* yang rendah maka campuran tersebut memiliki fleksibilitas tinggi tapi cenderung kurang stabil. Nilai *MQ* yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

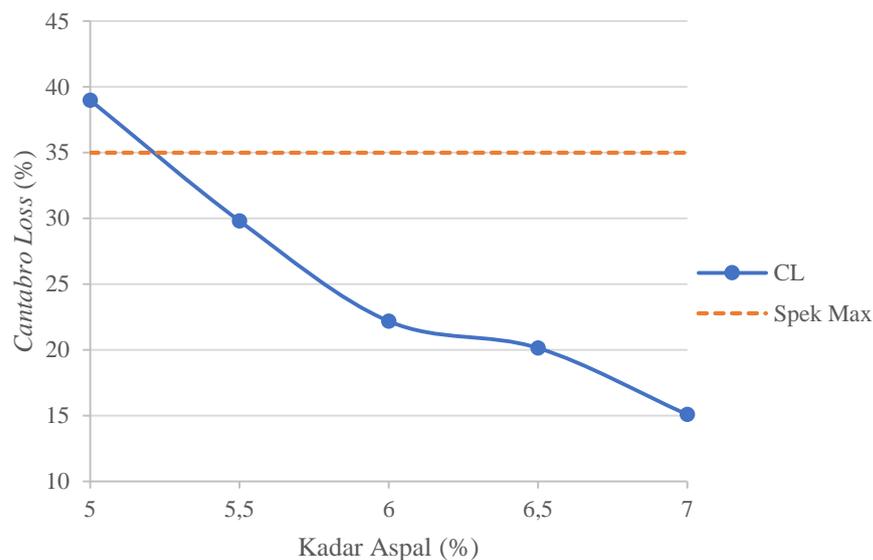


Gambar 5.10 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan *Marshall Quotient*

Berdasarkan Gambar 5.10 dapat diketahui semakin tinggi kadar aspal maka akan semakin rendah nilai MQ , hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kadar aspal menyebabkan meningkatnya nilai *flow* pada campuran yang berarti fleksibilitas campuran semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai *flow* maka nilai MQ akan cenderung besar yang berarti campuran bersifat kaku dan plastis. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, temperatur dan jumlah pemadatan.

2. Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *Cantabro Loss* bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran dalam mempertahankan bentuk dan berat campuran dari keausan akibat dari repetisi beban yang diuji menggunakan mesin *Loss Angeles*. Pengujian ini juga merupakan salah satu parameter dalam menentukan KAO aspal porus seperti yang disyaratkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) yaitu kurang dari 35%. Adapun hasil pengujian *Cantabro Loss* yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

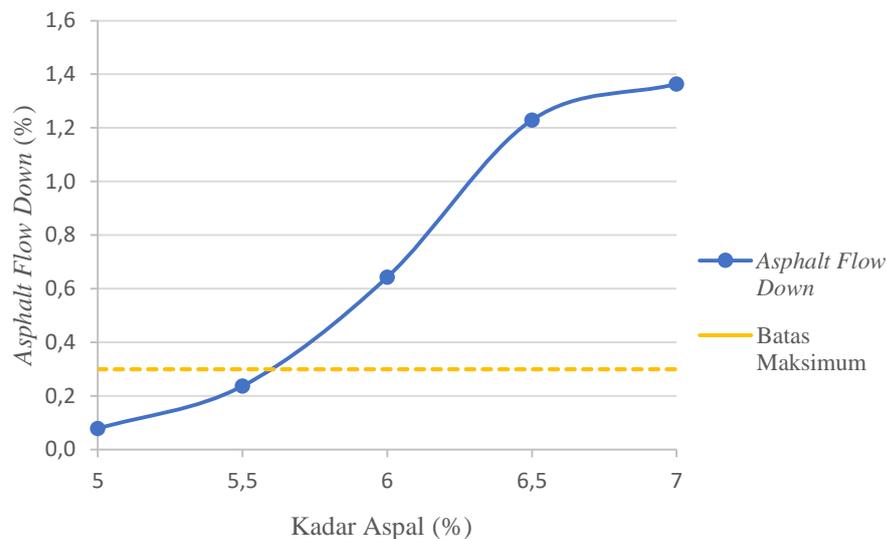


Gambar 5.11 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan *Cantabro Loss*

Dari Gambar 5.11 dapat diketahui bahwa nilai *cantabro loss* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar aspal. Bila nilai *cantabro* semakin menurun maka campuran akan semakin tahan terhadap benturan. Hal ini disebabkan oleh daya ikat campuran antara agregat dan aspal semakin baik sehingga meningkatkan kemampuan campuran aspal porus untuk tahan terhadap benturan.

3. Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian *Asphalt Flow Down* bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Pengujian *Asphalt Flow Down* merupakan parameter untuk mengetahui banyak aspal yang efektif untuk menyelimuti agregat atau sebagai film agregat di dalam campuran, sehingga campuran memiliki durabilitas yang baik. Berdasarkan ketentuan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) besarnya nilai *Asphalt Flow Down* yaitu lebih kecil dari 0,3%. Adapun hasil pengujian *Asphalt Flow Down* yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan *Asphalt Flow Down*

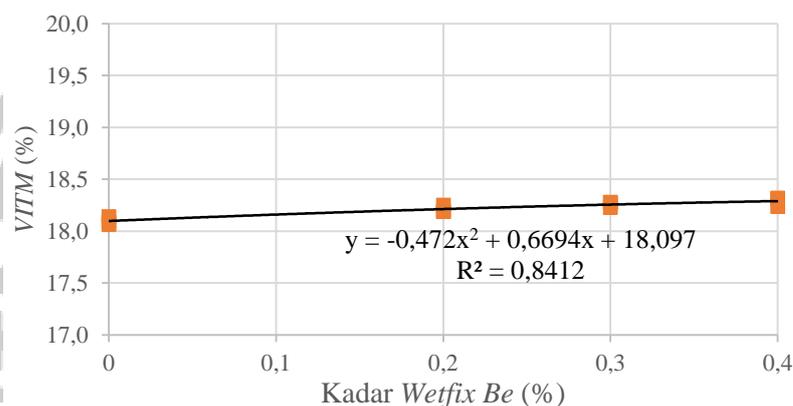
Berdasarkan Gambar 5.12 dapat diketahui bahwa nilai *Asphalt Flow Down* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Meningkatnya nilai *Asphalt Flow Down* diakibatkan karena banyaknya kadar aspal pada campuran, sehingga aspal pada campuran tidak tercampur dan terpadatkan secara homogen. Semakin meningkatnya jumlah persentase *Asphalt Flow Down* maka pemisahan antara aspal dengan agregat akan semakin meningkat juga, hal ini terjadi karena aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal, sehingga aspal yang melekat pada permukaan terluar akan meleleh dan terpisah dari campuran.

5.2.5 Karakteristik *Marshall Standard* pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Uji *Marshall* dilakukan untuk mengetahui kinerja campuran. Parameter dari uji *Marshall* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void filled with Asphalt*), *VMA* (*Void in the Mineral Agregat*) dan kepadatan (*Density*). Adapun hubungan antara penambahan kadar *Wetfix Be* dengan parameter uji *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.13 di bawah ini.

1. *VITM*

Hasil perhitungan nilai *VITM* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.13 di bawah ini.



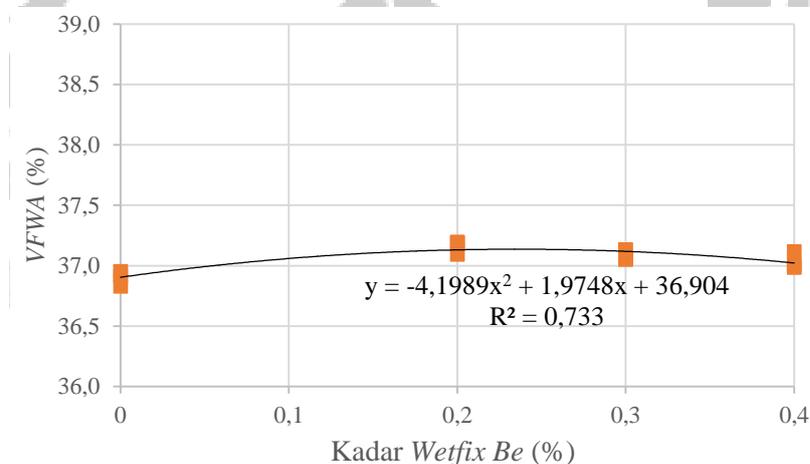
Gambar 5.13 Hubungan Nilai *VITM* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat diketahui bahwa campuran aspal porus dengan penambahan *Wetfix Be* mengalami peningkatan nilai *VITM* seiring penambahan penggunaan kadar *Wetfix Be*. Kondisi ini disebabkan karena semakin banyak kadar *Wetfix Be* yang ditambahkan, maka bahan ikat akan semakin sulit untuk mengisi rongga campuran karena dengan bertambahnya kadar *Wetfix Be*, tingkat kekerasan bahan ikat akan semakin besar. Nilai *VITM* yang besar menyebabkan campuran lebih mudah meloloskan air, sehingga dapat mengurangi sifat durabilitas aspal. Perubahan nilai *VITM* yang terjadi akibat penggunaan *Wetfix Be* adalah perubahan yang signifikan. Dari hasil pengujian didapatkan nilai *VITM* pada pengujian *Marshall standard* sebesar 18,10%, 18,21%, 18,26% dan 18,29%. Dapat disimpulkan seluruh hasil pengujian tersebut memenuhi persyaratan *AAPA* (2004) yaitu >18%. Pada penelitian Arsyad (2012) yang meneliti bahan ikat liquid asbuton dengan *anti stripping Wetfix Be* sebagai aditif, menyatakan hal yang sama. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui semakin bertambahnya penggunaan kadar *Wetfix Be* maka nilai *VITM* mengalami peningkatan. Hal senada juga dapat ditemukan

pada penelitian yang dilakukan oleh Simatupang dan Muis (2013) yang meneliti perbandingan *anti-stripping Wetfix Be* dengan *derbo-401 UN 2375* pada campuran *ACWC*. Penelitian tersebut menyatakan bahwa nilai *VITM* pada campuran *ACWC* akan bertambah besar seiring dengan penambahan kadar *Wetfix Be*.

2. *VFWA*

Hasil perhitungan nilai *VFWA* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.14 di bawah ini.



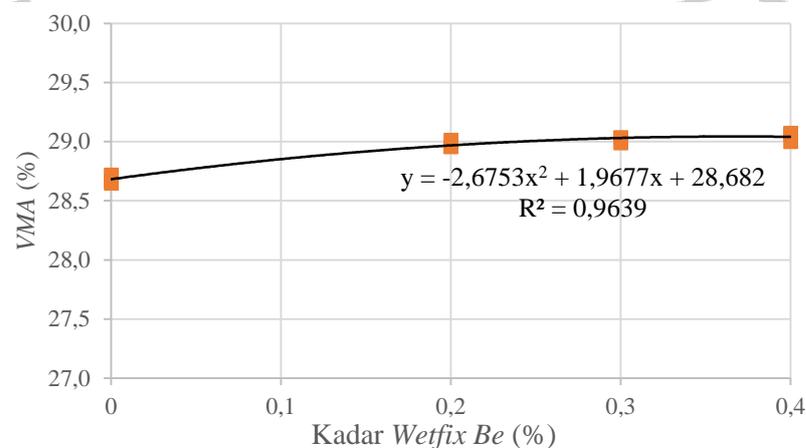
Gambar 5.14 Hubungan Nilai *VFWA* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* mengalami peningkatan hingga penambahan kadar *Wetfix Be* tertentu, kemudian akan mengalami penurunan. Nilai *VFWA* yang mengalami peningkatan terjadi akibat penambahan *Wetfix Be* hingga kadar tertentu akan membantu bahan ikat menjadi lebih mengisi rongga. Nilai *VFWA* yang tinggi menunjukkan bahwa rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal. Sedangkan nilai *VFWA* yang mengalami penurunan setelah kadar tertentu, diakibatkan karena semakin banyak bahan tambah *Wetfix Be* yang digunakan, menyebabkan campuran akan menjadi lebih *brittle* karena bahan ikat memiliki nilai penetrasi yang rendah sehingga rongga sulit terisi aspal. Perubahan nilai *VFWA* adalah perubahan yang signifikan. Hal yang sama dapat dilihat pada studi yang dilakukan oleh Simatupang dan Muis

(2013). Studi tersebut menyatakan bahwa nilai *VFWA* pada campuran *ACWC* dengan menggunakan bahan tambah *anti-stripping Wetfix Be* mengalami kenaikan hingga kadar tertentu dan kemudian mengalami penurunan.

3. *VMA*

Hasil perhitungan nilai *VMA* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.15 di bawah ini.



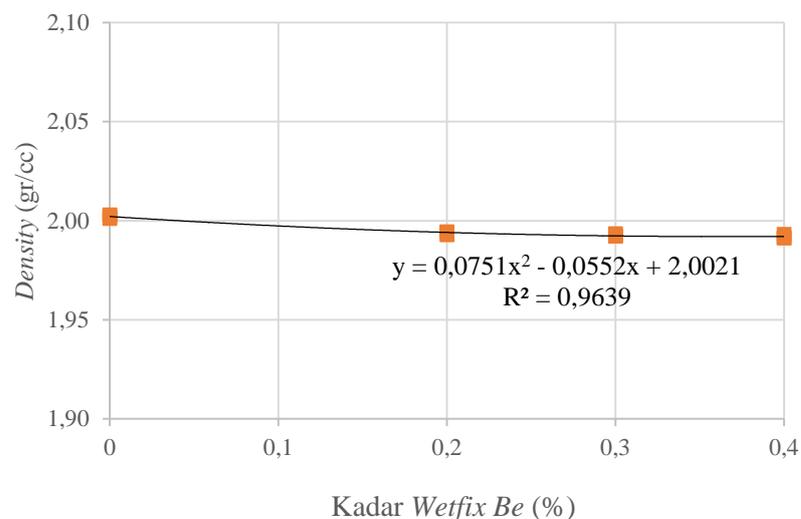
Gambar 5.15 Hubungan Nilai *VMA* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada *KAO*

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* mengalami peningkatan dengan penambahan kadar *Wetfix Be*. Peningkatan nilai *VMA* diakibatkan karena semakin banyak kadar *Wetfix Be* yang digunakan akan mengakibatkan semakin tebal film aspal yang melekat pada agregat, hal ini terjadi karena bahan ikat yang menggunakan *anti-stripping Wetfix Be* memiliki angka penetrasi yang rendah sehingga bahan ikat akan bersifat lebih keras dan menjadikan rongga antar agregat semakin besar. Nilai *VMA* mengalami perubahan yang signifikan. Hal yang sama dapat diketahui pada penelitian Arsyad (2012), penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin banyak kadar *anti-stripping Wetfix Be* yang ditambahkan, maka tebal film aspal yang menyelimuti agregat akan semakin tebal. Adapun kajian yang dilakukan oleh Susilowati dan Wiyono (2017) mengenai penggunaan bahan *anti-stripping* untuk campuran *ACWC* juga menyatakan hal senada, yaitu dengan penambahan

anti-stripping Wetfix Be akan mengakibatkan nilai *VMA* pada suatu campuran menjadi lebih besar.

4. *Density*

Hasil perhitungan nilai *Density* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.16 di bawah ini.



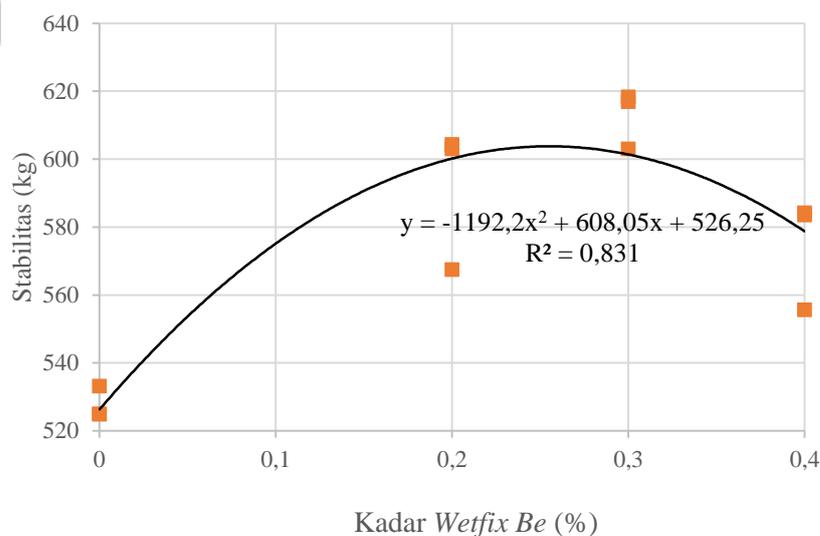
Gambar 5.16 Hubungan Nilai *Density* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat diketahui bahwa nilai *density* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *Wetfix Be*. Nilai *density* yang menurun diakibatkan karena semakin banyak *anti-stripping Wetfix Be* yang ditambahkan pada campuran, akan mengakibatkan campuran semakin tidak padat. Hal ini dapat terjadi karena bahan ikat dengan bahan tambah *Wetfix Be* memiliki angka penetrasi yang rendah sehingga bahan ikat lebih keras, dan menyebabkan rongga pada campuran menjadi tidak rapat sehingga campuran tidak cukup padat. Nilai *VITM* yang semakin tinggi, menunjukkan bahwa campuran semakin tidak rapat, seiring dengan bertambahnya *anti-stripping Wetfix Be*. Nilai *density* mengalami perubahan yang signifikan. Hasil yang serupa dapat ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Simatupang dan Muis (2013). Pada penelitian yang dilakukan pada campuran ACWC tersebut didapatkan nilai kepadatan yang

semakin menurun seiring dengan semakin banyaknya penambahn kadar *Wetfix Be* pada campuran.

5. Stabilitas

Hasil pengujian stabilitas pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.17 di bawah ini.



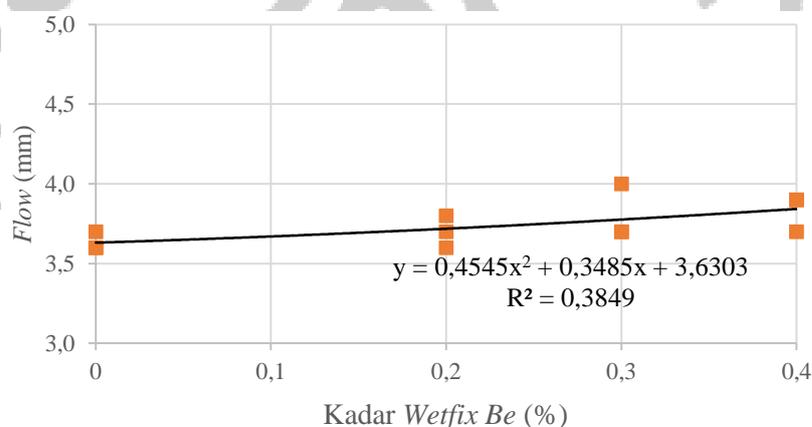
Gambar 5.17 Hubungan Stabilitas dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.17 dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *Wetfix Be* meyebabkan nilai stabilitas mengalami peningkatan hingga mencapai titik optimum dan kembali mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi karena penambahan *Wetfix Be* menyebabkan kekuatan dan ketahanan campuran meningkat akibat dari kekerasan aspal modifikasi yang dipengaruhi oleh *anti-stripping Wetfix Be*. Peningkatan nilai stabilitas campuran hingga penambahan kadar *Wetfix Be* tertentu disebabkan oleh bahan ikat yang dimodifikasi dengan penambahan *Wetfix Be* memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah, sehingga kemampuan untuk mempertahankan ikatan dan mencegah terjadinya deformasi semakin besar, dan tentunya akan lebih stabil dalam menahan beban. Pada kadar tertentu, nilai stabilitas mengalami penurunan, hal ini terjadi karena seiring dengan bertambahnya kadar *Wetfix Be* pada campuran

akan menyebabkan campuran semakin peka terhadap temperatur, yang akan mengakibatkan penurunan kinerja dari campuran tersebut termasuk nilai stabilitas. Hal ini sejalan dengan penelitian Arsyad (2012) yang menunjukkan bahwa penambahan *Wetfix Be* meningkatkan nilai stabilitas campuran aspal porus yang menggunakan bahan ikat liquid asbuton, dan kemudian mengalami penurunan seiring pertambahan kadar *Wetfix Be*. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Oktafriyadi, Anif dan Khaidir (2017) mengenai pengaruh penambahan *Wetfix Be* pada campuran ACWC menunjukkan hal yang senada, bahwa nilai stabilitas akan mengalami peningkatan pada penambahan *Wetfix Be* hingga kadar tertentu dan kemudian mengalami penurunan. Perubahan stabilitas bersifat signifikan yaitu sebesar 16,12% dari stabilitas campuran tanpa *Wetfix Be* dengan penambahan kadar *Wetfix Be* 0,3% terhadap bahan ikat.

6. Flow

Kelelahan (*Flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Semakin tinggi nilai kelelahan (*Flow*) pada campuran, maka semakin tinggi juga tingkat kelenturan campuran. Semakin rendah nilai daktilitas suatu campuran, maka semakin rendah juga sifat fleksibilitas suatu campuran. Adapun hasil pembacaan nilai kelelahan (*flow*) pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.18 di bawah ini.

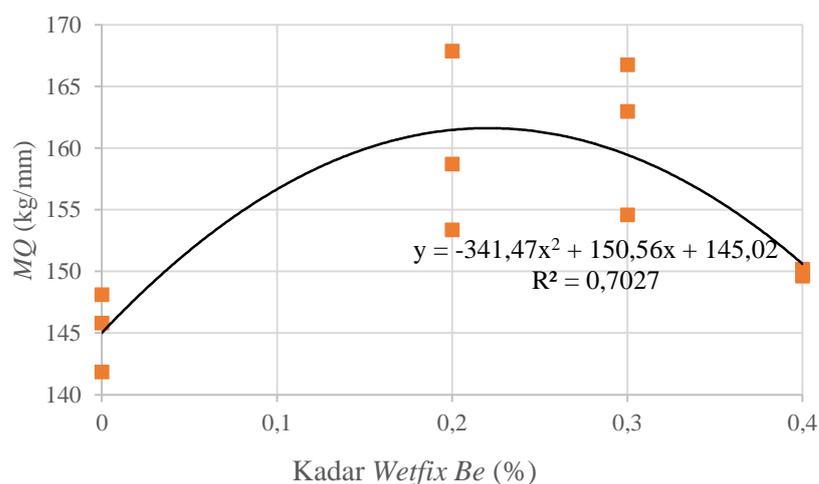


Gambar 5.18 Hubungan Nilai *flow* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Nilai *flow* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *Wetfix Be* yang digunakan walaupun tidak terlalu besar <1 mm. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi penambahan kadar *Wetfix Be* akan mengakibatkan campuran menjadi lebih lentur pada temperatur yang tinggi. Proses tersebut terjadi karena bahan ikat yang dimodifikasi memiliki tingkat kepekaan terhadap temperatur yang lebih tinggi berdasarkan nilai IP. Nilai *flow* yang tinggi mengakibatkan campuran cenderung elastis, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Dapat diketahui hasil pengujian nilai *flow* pada *Marshall Standard* memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu 2 - 6 mm. Hal yang sama dapat diketahui dari penelitian yang dilakukan oleh Arsyad (2012), penggunaan *Wetfix Be* sebagai bahan tambah pada campuran aspal porus dengan bahan ikat liquid asbuton akan meningkatkan kelelahan campuran tersebut. Perubahan nilai *flow* akibat penambahan *Wetfix Be* terhadap campuran pada *KAO* akan menghasilkan perubahan yang tidak signifikan.

7. Marshall Quotient (MQ)

Nilai *MQ* pada campuran dengan variasi penambahan bahan tambah *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.19 di bawah ini.



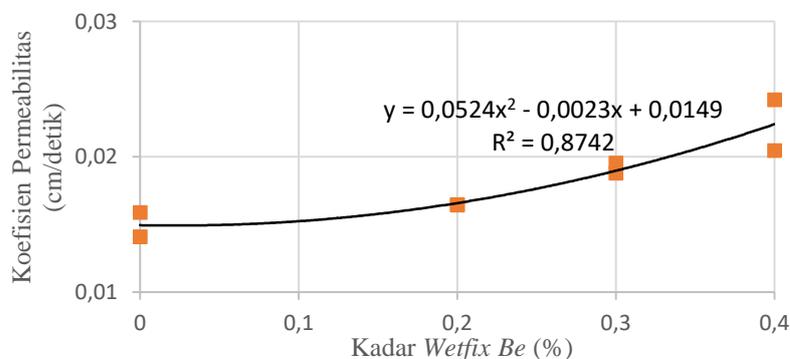
Gambar 5.19 Hubungan Nilai *MQ* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada *KAO*

Berdasarkan Gambar 5.19 dapat diketahui bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan hingga penambahan kadar *Wetfix Be* tertentu, kemudian

akan mengalami penurunan seiring pertambahan *kadar Wetfix Be*. Hal yang sama dapat dilihat pada penelitian Arsyad (2012), dan kajian yang dilakukan Susilowati dan Wiyono (2017). Seiring dengan penambahan *Wetfix Be* campuran akan memiliki nilai stabilitas yang meningkat hingga kadar tertentu dan kemudian mengalami penurunan. Sedangkan nilai *flow* pada campuran akan terus meningkat. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas yang tinggi dengan nilai keelehan yang rendah, dalam hal ini mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Sedangkan nilai *MQ* yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas rendah dengan nilai keelehan yang tinggi, sehingga mengakibatkan campuran memiliki sifat *overelastis* dan mudah mengalami perubahan deformasi. Pada penelitian ini nilai *MQ* pada semua varian penambahan *Wetfix Be* memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu <400 kg/mm. Perubahan nilai *MQ* pada campuran aspal porus merupakan perubahan yang signifikan yaitu sebesar 11,13% .

5.2.6 Karakteristik Permeabilitas Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Permeabilitas merupakan kemampuan suatu media yang poros untuk melewati fluida. Setiap material yang memiliki ruang kosong diantaranya disebut poros, dan jika ruang kosong tersebut saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Adapun hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



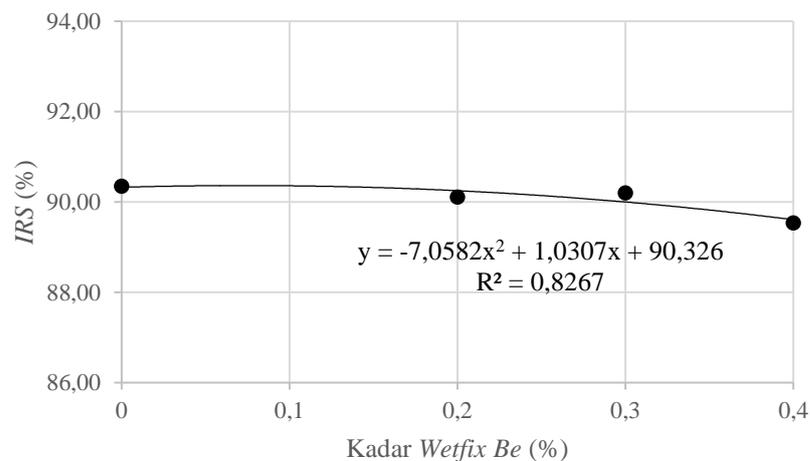
Gambar 5.20 Hubungan Nilai Permeabilitas dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa semakin banyak penggunaan penambahan kadar *Wetfix Be* maka nilai koefisien permeabilitas campuran semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena penambahan *Wetfix Be* meningkatkan persentase rongga sesuai dengan hasil analisis *VITM* yang semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar *Wetfix Be* pada campuran sehingga menyebabkan campuran akan lebih mudah meloloskan air. Perubahan yang terjadi pada koefisien permeabilitas merupakan perubahan yang signifikan. Pada pengujian permeabilitas pada campuran aspal porus menggunakan bahan tambah *Wetfix Be* menunjukkan bahwa campuran aspal tersebut tidak kedap karena memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi dan dikategorikan sebagai drainase sedang.

5.2.7 Karakteristik *Index Retained Strength*, Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

1. *Index Retained Strength*

IRS merupakan metode untuk mengetahui besar kekuatan sisa yang dimiliki oleh campuran aspal beton akibat perendaman pada suhu yang ekstrim. Nilai *IRS* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas pada rendaman (*Immersion*) 24 jam dengan rendaman 0,5 jam (*marshall standard*). Adapun hasil perhitungan *IRS* dengan penambahan *wetfix be* dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.

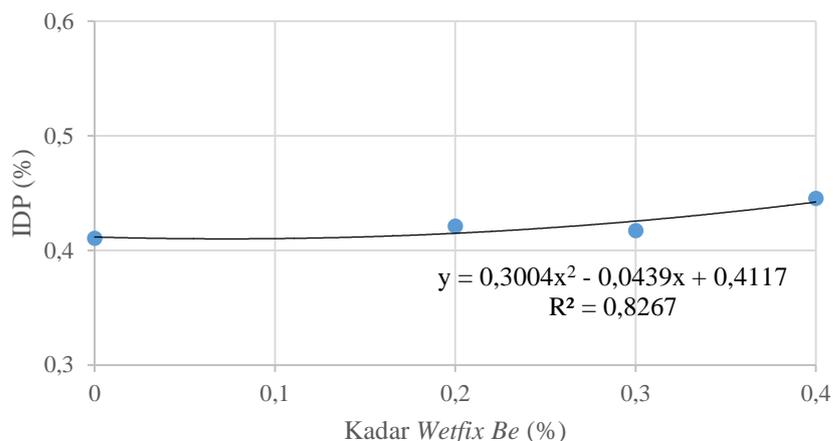


Gambar 5.21 Hubungan Nilai *IRS* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.21 dapat diketahui nilai kekuatan sisa (*IRS*) mengalami peningkatan hingga penambahan kadar *wetfix be* 0,3%, kemudian mengalami penurunan pada penambahan kadar *wetfix be* 0,4%. Hal ini disebabkan karena campuran yang menggunakan *anti-stripping Wetfix Be* akan lebih peka terhadap perubahan temperatur dan seiring dengan bertambahnya kadar *Wetfix Be* menyebabkan rongga udara pada campuran semakin besar, sehingga campuran akan mudah mengalami perubahan fisik dan kinerja akibat dari gangguan air dan temperatur tinggi. Nilai *IRS* pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0, 2% - 0,3%, masih memenuhi spesifikasi syarat Bina Marga yaitu >90%, sedangkan pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,4%, didapatkan nilai *IRS* sebesar 89,54%, yang artinya tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga. Perkerasan yang memiliki nilai *IRS* yang lebih dari 90% dapat dianggap bahwa perkerasan tersebut cukup tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan temperatur. Perubahan nilai *IRS* akibat penggunaan *Wetfix Be* sebagai bahan tambah adalah tidak signifikan. Hal yang sama dapat diketahui pada penelitian yang dilakukan oleh Susilowati dan Wiyono (2012) bahwa nilai kekuatan sisa suatu campuran aspal porus dengan menggunakan *Wetfix Be* sebagai bahan tambah akan mengalami peningkatan hingga suatu kondisi, dan kemudian mengalami penurunan. Berdasarkan penelitian Susilowati dan Wiyono (2012), nilai *IRS* yang diperoleh berdasarkan penambahan *wetfix be* pada kadar 0%, 0,2%, 0,3%, dan 0,4% berturut-turut adalah 90,8%, 91,9%, 96,9% dan 92,6%. Nilai *IRS* paling tinggi diperoleh pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,3%, yaitu 96,9 %.

2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

IDP merupakan nilai sensitivitas kehilangan kekuatan atau penurunan stabilitas campuran terhadap perendaman. Adapun hasil perhitungan IDP dengan penambahan *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.

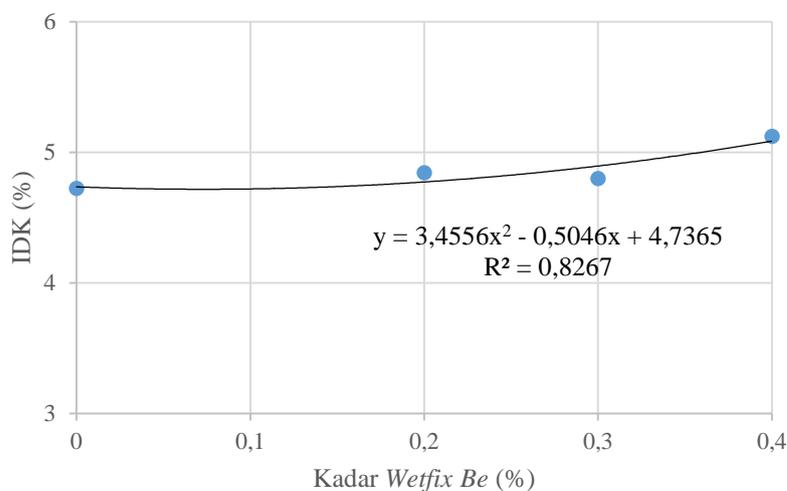


Gambar 5.22 Hubungan Nilai IDP dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.22 dapat diketahui bahwa nilai IDP mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *Wetfix Be*, yang artinya campuran mengalami penurunan kekuatan. Nilai sensitivitas kehilangan kekuatan atau penurunan stabilitas campuran terbesar terjadi pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,4%, yaitu 0,44%. Berdasarkan perhitungan, semua variasi penambahan kadar *Wetfix Be* memenuhi spesifikasi Bina Marga, yaitu <1%. Sehingga dapat dikatakan campuran aspal porous dengan menggunakan *wetfix be* sebagai bahan tambah cukup durable hingga 24 jam. Adapun hasil penelitian yang senada mengenai IDP yang dilakukan oleh Setiawan (2014), yaitu pengaruh lama rendaman terhadap durabilitas campuran ACWC. Penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin lama variasi rendaman yang dilakukan pada campuran, maka campuran tersebut akan mengalami penurunan nilai kekuatan yang semakin besar akibat dari semakin tingginya nilai sensitivitas campuran tersebut terhadap air dan temperatur.

3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

IDK merupakan kehilangan kekuatan rata-rata satu hari. Adapun hasil perhitungan IDK dengan penambahan *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



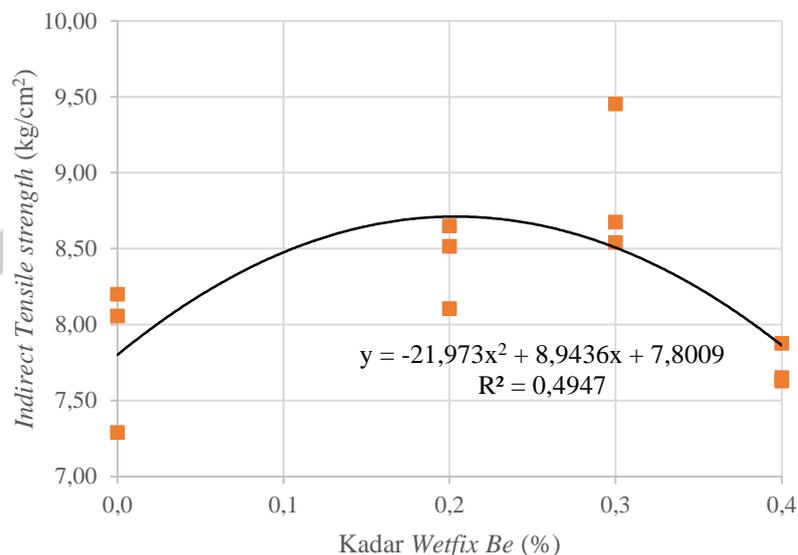
Gambar 5.23 Hubungan Nilai IDK dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa nilai IDK mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *Wetfix Be*, yang artinya campuran mengalami penurunan durabilitas rata-rata satu hari. Nilai kehilangan kekuatan rata-rata satu hari pada campuran terbesar terjadi pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,4%, yaitu 5,123% atau nilai kekuatan sisa satu hari adalah sebesar 94,877%. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kekuatan akan semakin besar seiring dengan lamanya perendaman. Pernyataan senada dapat ditemukan pada kajian yang dilakukan oleh Ratih (2018), yang mengkaji mengenai komparatif durabilitas campuran aspal beton. Pada penelitian tersebut menyatakan bahwa nilai IDK akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya lama waktu rendaman, sehingga mengakibatkan kinerja campuran memburuk.

5.2.8 Karakteristik *Indirect Tensile Strength* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Indirect tensile strength merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak atau kerusakan pada perkerasan.

Adapun hasil pengujian *ITS* dengan penambahan *Wetfix Be* dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut.



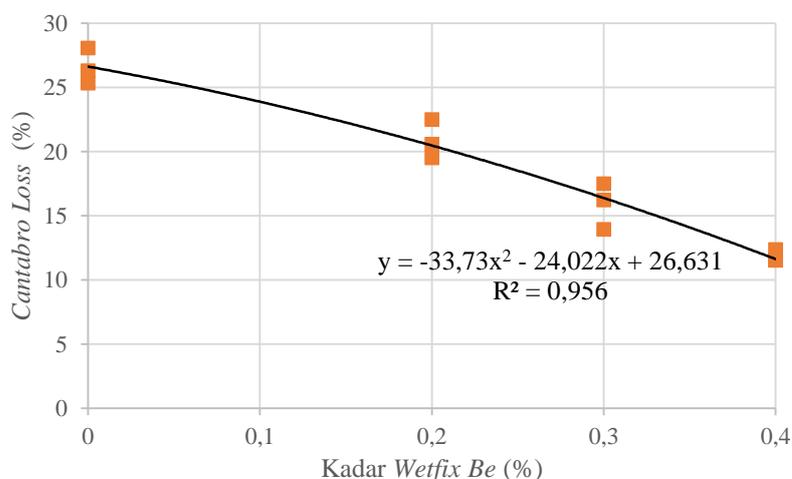
Gambar 5.24 Hubungan Nilai *ITS* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Dari Gambar 5.24 dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *Wetfix Be* menyebabkan campuran menjadi lebih tahan terhadap tarik/retak hingga variasi kadar *Wetfix Be* tertentu, dan kemudian mengalami penurunan. Peningkatan nilai *ITS* campuran disebabkan karena sifat aspal yang telah dicampur dengan *wetfix be* memiliki penetrasi yang lebih rendah dan memiliki daktilitas yang semakin besar, sehingga aspal semakin pekat dan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan pada posisinya semakin bertambah hingga penambahan kadar *wetfix be* 0,3%. Kemudian nilai *ITS* mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena semakin banyak penggunaan *Wetfix Be* mengakibatkan campuran akan semakin getas, kemudian menjadikan bahan ikat menjadi cepat patah dan kehilangan kekuatan dalam mempertahankan ikatannya. Nilai *ITS* tertinggi pada campuran aspal porus dengan kadar penambahan *Wetfix Be* 0,3%, yaitu 8,89 kg/cm². Perubahan nilai *ITS* akibat penggunaan *Wetfix Be* sebagai bahan tambah merupakan perubahan yang signifikan yaitu sebesar 11,81%. Hal yang sama dapat ditemukan pada penelitian Gani dan Tronge (2012), bahwa penggunaan *Wetfix Be* pada bahan ikat liquid asbuton dapat meningkatkan nilai *ITS* hingga penambahan kadar

tertentu, pada penelitian tersebut nilai *ITS* tertinggi diperoleh pada penambahan kadar *wetfix be* 0,35 %, kemudian mengalami penurunan.

5.2.9 Karakteristik *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Pengujian *cantabro loss* bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran terhadap keausan atau kehilangan berat dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Benda uji yang telah dipadatkan didiamkan pada suhu ruang selama 48 jam. Pengujian *cantabro loss* dapat dijadikan sebagai ukuran ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas berulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Adapun hasil pengujian *cantabro loss* yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.



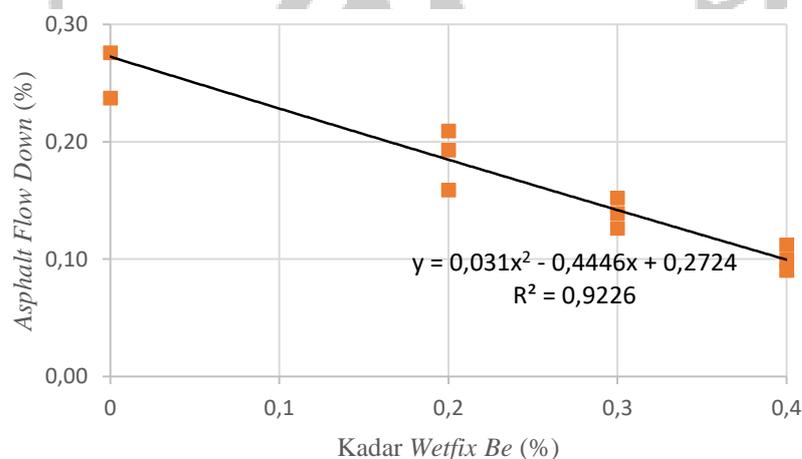
Gambar 5.25 Hubungan Nilai *Cantabro Loss* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *Wetfix Be* pada campuran, mengakibatkan nilai *cantabro loss* mengalami penurunan yang besar atau kemampuan campuran mencegah terjadinya disintegrasi semakin besar. Hal ini disebabkan karena penambahan *Wetfix Be* dapat menjadikan kelekatan aspal terhadap agregat menjadi kuat dan tidak mudah lepas.

Berdasarkan pengujian sifat fisik aspal yaitu pengujian penetrasi dan daktilitas, angka penetrasi aspal yang ditambahkan *Wetfix Be* memiliki nilai yang lebih rendah dan daktilitas aspal modifikasi semakin besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal modifikasi memiliki kekuatan ikatan kohesi yang besar sehingga dapat melekat dengan sangat kuat dan mencegah terjadinya abrasi dan atau *revelling* akibat repetisi beban. Pada penelitian ini nilai *cantabro loss* terendah diperoleh pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,4% yaitu sebesar 11,82 %. Perubahan nilai *Cantabro Loss* akibat penggunaan *wetfix be* sebagai bahan tambah merupakan perubahan yang signifikan yaitu sebesar 40,23%. Pada penelitian Arsyad (2012) menyebutkan seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar *Wetfix Be*, maka nilai *cantabro loss* semakin berkurang. Adapun penelitian Gani dan Tronge (2012) menyatakan hal yang senada berdasarkan pengujian yang mereka lakukan pada penelitiannya terhadap campuran aspal porus yang menggunakan bahan ikat liquid asbuton.

5.2.10 Karakteristik *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Pengujian ini bertujuan untuk dapat mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Adapun hasil pengujian *AFD* dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.26 Hubungan Nilai *Asphalt Flow Down* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Dari Gambar 5.26 dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan kadar *wetfix be* maka nilai *AFD* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan *Wetfix Be* akan meningkatkan sifat kohesi pada aspal, sehingga walaupun film aspal pada agregat cukup tebal, ikatan antar aspal pun semakin kuat. *AAPA 2004* mensyaratkan batas nilai *AFD* pada aspal porus sebesar 0,3% karena pada batas tersebut homogenitas yang dimiliki campuran tersebut pada kadar aspal tertentu akan mudah tercampur dengan baik pada campuran aspal porus. Perubahan nilai *AFD* pada penelitian ini merupakan perubahan yang signifikan. Berdasarkan hasil pengujian variasi penambahan kadar *Wetfix Be* 0,2% - 0,4%, nilai *AFD* terendah adalah 0,1 % saat penambahan kadar *Wetfix Be* 0,4%. Dapat disimpulkan hasil dari semua variasi pengujian *AFD* memenuhi spesifikasi *AAPA 2004*.

5.3 Tinjauan Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Menggunakan *Wetfix Be* sebagai Bahan Tambah

Penelitian secara menyeluruh yang telah dilakukan, mendapatkan kesimpulan dari berbagai macam hasil yang didapat. Perubahan sifat fisik aspal dapat dilihat dari menurunnya nilai penetrasi, titik lembek, nilai kelarutan terhadap *TCE*, seiring dengan penambahan kadar *Wetfix Be*. Sehingga aspal semakin peka terhadap perubahan temperatur. Perubahan yang signifikan terjadi pada pengujian karakteristik *Marshall*, *ITS*, *Cantabro Loss*, *AFD* dan Permeabilitas. Nilai stabilitas *Marshall* dan *ITS* mengalami peningkatan hingga penambahan kadar *Wetfix Be* 0,3%, kemudian mengalami penurunan pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,4%. Sehingga dengan penambahan kadar *Wetfix Be* 0,3%, campuran mengalami peningkatan kinerja yang signifikan dalam mempertahankan kekuatan dan ketahanan tanpa terjadinya deformasi permanen dan keretakan. Nilai *Cantabro Loss* dan *AFD* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar *Wetfix Be*, yang berarti bahwa campuran mengalami peningkatan kemampuan dalam mencegah terjadinya keausan, disintegrasi dan *revelling*. Nilai koefisien permeabilitas mengalami peningkatan yang signifikan, hal ini terjadi karena nilai *VITM* yang semakin besar seiring bertambahnya kadar *Wetfix Be*, yang berarti bahwa campuran mampu meloloskan air lebih cepat. Sedangkan nilai *IRS* tidak

mengalami perubahan yang signifikan, namun pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,4% nilai *IRS* tidak memenuhi persyaratan Bina Marga. Sehingga berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan dari berbagai macam hasil yang telah diperoleh, bahwa penambahan kadar *Wetfix Be* sebesar 0,3% terhadap campuran menghasilkan kinerja yang terbaik dan paling efektif bagi campuran aspal porous. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian penambahan *Wetfix Be* pada campuran aspal porous dapat dilihat pada Tabel 5.20 di bawah ini.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Pengujian Penggunaan *Wetfix Be* sebagai Bahan Tambah pada Campuran Aspal Porus

Parameter	Satuan	Keterangan				Statistik Anova
		Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)				
		0	0,2	0,3	0,4	
Stabilitas	kg	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>Flow</i>	mm	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak Signifikan
<i>MQ</i>	kg/mm	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>VITM</i>	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>VMA</i>	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>VFWA</i>	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>Density</i>	gr/cc	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>IRS</i>	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Tidak Signifikan
IDP	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak Signifikan
IDK	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak Signifikan
<i>ITS</i>	kg/cm ²	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>Cantabro Loss</i>	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
<i>AFD</i>	%	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Signifikan
Permeabilitas	cm/dtk	Drainase Sedang	Drainase Sedang	Drainase Sedang	Drainase Sedang	Signifikan

