

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Karakteristik Material

Material yang di uji karakteristiknya meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang berasal dari PT. Selo Kencono Putra Persada yang berlokasi di Kemloko, Badran, Kranggan, Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Seluruh pengujian karakteristik material dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Data yang diperoleh dari pengujian karakteristik agregat kasar telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010, Revisi 3. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut dan tabel hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2, Lampiran 8 dan Lampiran 11.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2,5	2,54	Memenuhi
2	Penyerapan Air Oleh Agregat (%)	< 3	2,5	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Oleh Aspal (%)	> 95	97	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	< 40	17,2	Memenuhi

Pembahasan hasil pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni pada suhu tertentu. Semakin kecil berat jenis suatu agregat maka semakin banyak pori yang dimiliki agregat tersebut dan begitu pula sebaliknya. Jadi semakin kecil nilai berat jenis suatu agregat maka akan dibutuhkan aspal yang semakin banyak karena untuk mengisi rongga yang ada pada agregat. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar PT. Selo Kencono Putra Persada adalah sebesar 2,54 dan hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 2,5$.

2. Penyerapan Agregat Oleh Air

Penyerapan agregat oleh air adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap air. Semakin besar kemampuan agregat untuk menyerap air maka agregat tersebut memiliki kadar pori yang semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Dengan demikian semakin besar kemampuan agregat untuk menyerap air maka semakin besar pula aspal yang dibutuhkan untuk mengisi rongga udara yang dimilikinya dan begitu pula sebaliknya. Hasil dari pengujian penyerapan agregat oleh air adalah sebesar 2,5% dan nilai tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

3. Kelekatan Agregat Oleh Aspal

Kelekatan agregat oleh aspal adalah nilai persentase luas permukaan suatu agregat yang terselimuti oleh aspal terhadap luas total permukaan agregat. Hasil pengujian kelekatan agregat oleh aspal menunjukkan nilai sebesar 97% dan nilai tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu sebesar $> 95\%$.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) dengan menggunakan mesin *Los Angeles* yang di dalamnya telah diisi dengan bola baja pejal. Nilai keausan agregat ditunjukkan dengan perbandingan antara berat bahan yang lolos terhadap saringan no. 12 (setelah dilakukan pengujian) terhadap berat semula. Hasil pengujian

menunjukkan nilai sebesar 17,2% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $< 40\%$.

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus adalah pengujian agregat yang lolos saringan no. 8 dan tertahan pada saringan no. 200 berasal dari PT Selo Kencono Putra Persada. Adapun hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.2 sebagai berikut dan tabel hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 9 dan Lampiran 10.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$> 2,5$	2,53	Memenuhi
2	Penyerapan Air Oleh Agregat (%)	< 3	2,33	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	74,96	Memenuhi

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

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni pada suhu tertentu. Semakin kecil berat jenis suatu agregat maka semakin banyak pori yang dimiliki agregat tersebut dan begitu pula sebaliknya. Jadi semakin kecil nilai berat jenis suatu agregat maka akan dibutuhkan aspal yang semakin banyak karena untuk mengisi rongga yang ada pada agregat. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar PT. Selo Kencono Putra Persada adalah sebesar 2,53 dan hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 2,5$.

2. Penyerapan Agregat Oleh Air

Penyerapan agregat oleh air adalah kemampuan agregat untuk menyerap air. Semakin besar kemampuan agregat untuk menyerap air maka agregat tersebut

memiliki kadar pori yang semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Dengan demikian semakin besar kemampuan agregat untuk menyerap air maka semakin besar pula aspal yang dibutuhkan untuk mengisi rongga udara yang dimilikinya dan begitu pula sebaliknya. Hasil dari pengujian penyerapan agregat oleh air adalah sebesar 2,33% dan nilai tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent* agregat halus adalah nilai yang menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya. Hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus PT. Selo Kencono Putra Persada sebesar 74,96% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 50\%$.

5.1.3 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina Pen 60/70 yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Pengujian aspal di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII menggunakan persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1, Lampiran 3, Lampiran 4, Lampiran 5, Lampiran 6 dan Lampiran 7.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$> 1,0$	1,052	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	62,6	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	> 100	165	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	> 232	288	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	> 99	99,67	Memenuhi
6	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	> 48	48,6	Memenuhi

5.1.4 Hasil *PI* (*Penetration Index*) Aspal dengan Penambahan *PP* (*Polypropylene*)

Benda uji yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60/70 yang dicampur dengan serat plastik *PP* dengan cara basah pada kadar tertentu dan pada suhu pencampuran 165 °C lalu dilakukan pengujian penetrasi dan titik lembek aspal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap suhu atau biasa disebut *PI* (*Penetration Index*). Adapun hasil pengujian penetrasi, titik lembek dan nilai *PI* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi *Penetration Index*

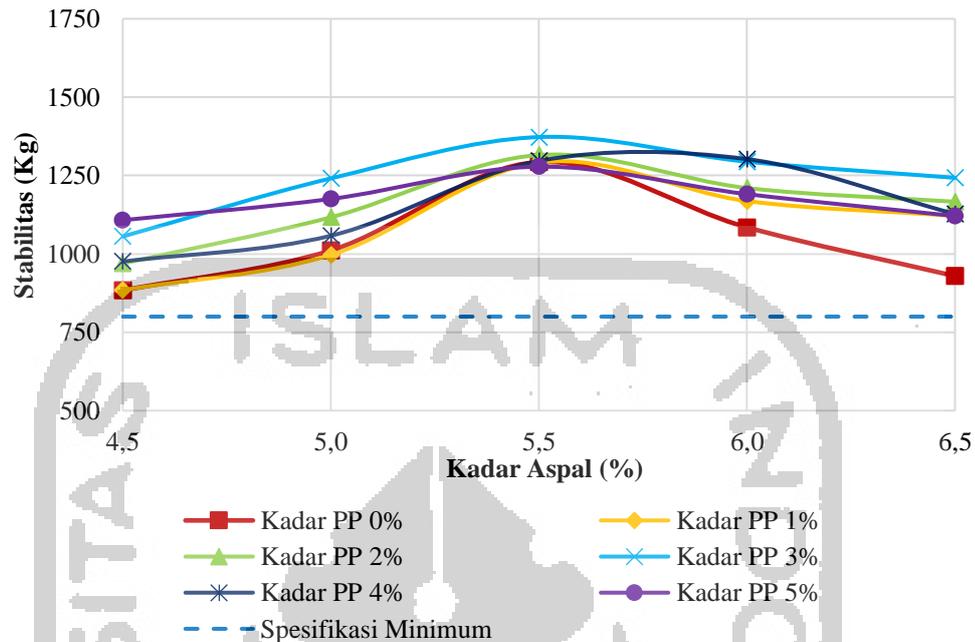
Penambahan Kadar <i>PP</i> (%)	Penetrasi (mm)	Titik Lembek (°C)	<i>Penetration Index</i>
0	6,26	48,6	-1,02955
1	5,97	50,2	-0,73027
2	5,7	53,4	-0,06539
3	5,66	54,8	0,23895
4	5,12	55,4	0,12310
5	4,84	56,3	0,18303

Berdasarkan Tabel 5.4 nilai penetrasi semakin menurun seiring bertambahnya kadar *PP* yang menyebabkan titik lembek aspal semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Dari nilai penetrasi dan titik lembek aspal diperoleh nilai kepekaan aspal terhadap suhu atau *PI* (*Penetration Index*) dimana nilai *PI* mengalami peningkatan hingga kadar *PP* 3% lalu mengalami penurunan pada kadar 4% lalu meningkat kembali pada kadar *PP* 5%. Akan tetapi nilai *PI* pada kadar 5% kurang dari nilai *PI* pada kadar 3%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *PP* pada kadar tertentu membuat aspal kurang peka terhadap suhu. Akan tetapi penambahan pada kadar berlebih membuat aspal kembali peka terhadap suhu yang ditunjukkan dimana nilai *PI* pada kadar *PP* 4% dan 5% mulai mengalami penurunan nilai *PI*. Semakin peka aspal terhadap suhu maka dapat dipastikan aspal bersifat getas.

5.2 Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum

Pada pengujian *Marshall* untuk menentukan nilai KAO pada tiap penambahan kadar plastik PP diperoleh nilai-nilai karakteristik *Marshall* yang meliputi nilai stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *MQ* (*Marshall Quotient*) dan kepadatan (*density*) dari campuran AC-BC.

Kemudian dibuatlah grafik hubungan antara setiap nilai karakteristik *Marshall* dengan kadar aspal untuk menentukan nilai KAO. Pemilihan nilai KAO pada campuran AC-WC ditentukan dengan melihat kriteria parameter pada karakteristik *Marshall*. Adapun kriteria sesuai persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu nilai *VITM* pada rentang 3 – 5%, nilai *VMA* minimum 15%, nilai *VFWA* minimum 65%, nilai *MQ* sebesar 250 kg/mm, nilai *flow* pada rentang 2 – 4 dan stabilitas minimum 800 kg. Dari hasil uji *Marshall* yang memenuhi semua kriteria parameter diperoleh batas maksimum dan batas minimum. Nantinya terdapat 6 KAO yang diperoleh karena variasi penambahan plastik PP yang digunakan. Hal ini disebabkan karena penambahan plastik PP mempengaruhi sifat bitumen. Berikut adalah grafik dari hasil pengujian Marshall untuk kadar aspal optimum pada campuran laston AC – BC dengan penambahan PP Gambar 5.1 – Gambar 5.6 dan Tabel 5.5 – Tabel 5.10.

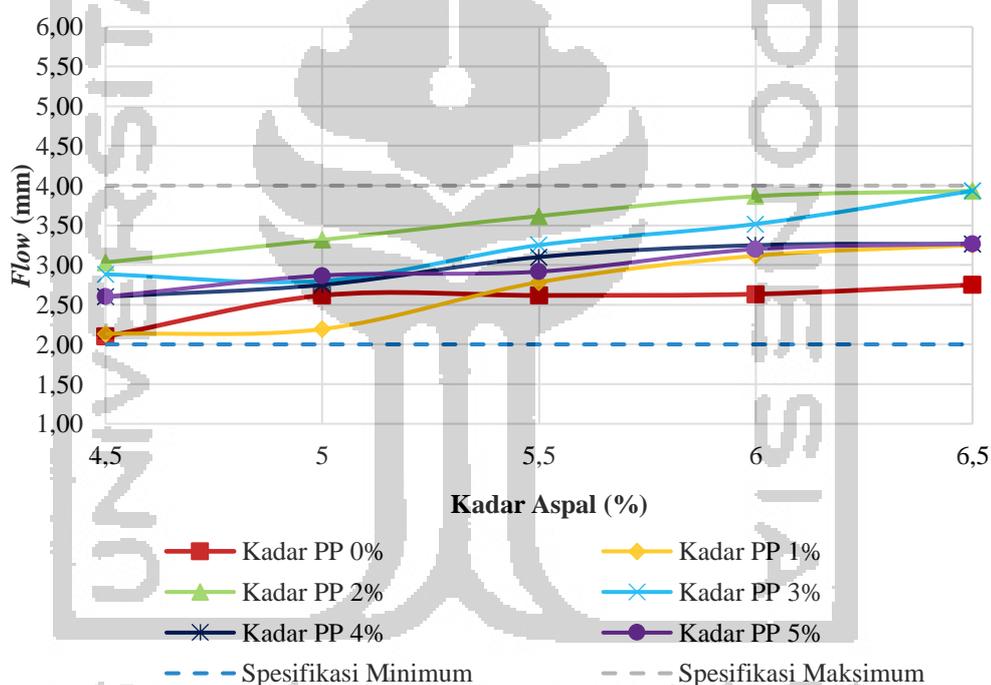


Gambar 5.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.1 nilai stabilitas pada campuran AC-BC dengan penambahan PP pada semua kadar memiliki pola yang sama dimana nilai stabilitas meningkat hingga kadar aspal tertentu lalu menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Nilai stabilitas menurun karena ketika aspal sudah pada titik jenuh maka penambahan kadar aspal hanya akan menurunkan nilai stabilitas campuran dan *interlocking* antar agregat. Hal ini dikarenakan adhesi dari aspal sudah sampai titik puncak untuk mengikat agregat sehingga penambahan kadar aspal hanya menyebabkan aspal semakin tebal dan membuat campuran terlalu lunak. Nilai stabilitas dengan penambahan PP memiliki nilai yang relatif lebih tinggi dari pada campuran tanpa penambahan kadar PP. Nilai stabilitas pada tiap-tiap penambahan kadar PP 0%, 1%, 2% 3%, 4% dan 5% mulai mengalami penurunan mulai kadar aspal 5,5%; 5,5%; 5,5%; 5,5% dan 6%. Hasil dari nilai stabilitas pada keseluruhan penambahan kadar PP memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu 800 kg. Berikut rekapitulasi nilai stabilitas tiap-tiap penambahan kadar PP dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)					
	PP = 0%	PP = 1%	PP = 2%	PP = 3%	PP = 4%	PP = 5%
4,5	883,53	884,30	969,44	1055,65	975,68	1107,61
5	1010,85	996,80	1116,93	1240,90	1057,95	1175,38
5,5	1293,12	1291,68	1315,47	1372,80	1296,72	1278,30
6	1084,84	1168,80	1210,21	1294,25	1302,55	1190,74
6,5	929,42	1121,40	1166,46	1242,80	1127,49	1120,91
Bina Marga 2010	> 800 Kg					

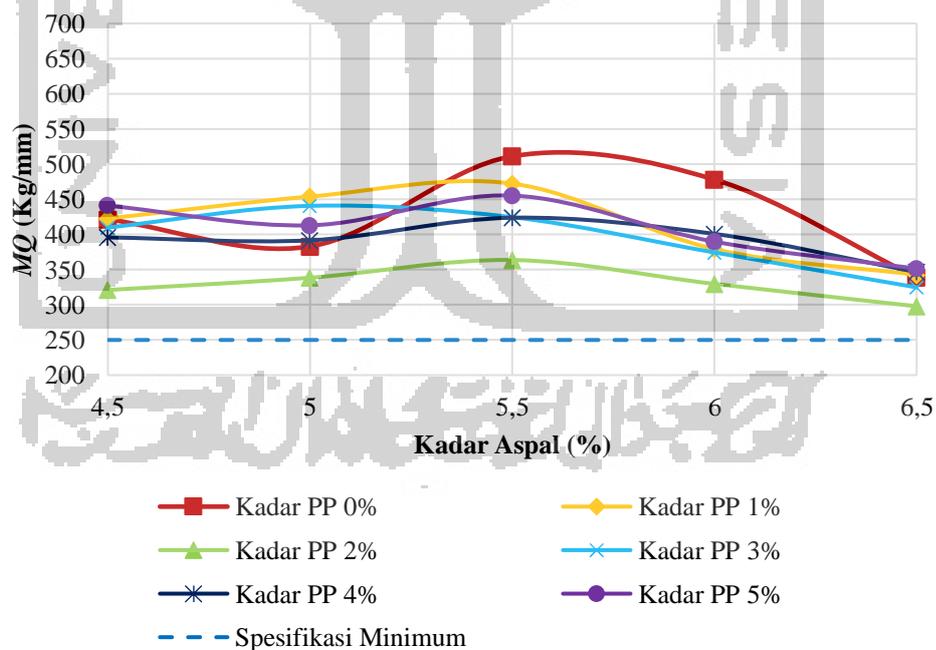
**Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Flow**

Berdasarkan Gambar 5.2 nilai *flow* pada seluruh penambahan kadar *PP* memiliki pola yang relatif sama dimana nilai *flow* cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya kadar aspal maka campuran akan semakin lembek. Hal ini yang membuat nilai *flow* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Nilai *flow* yang terlalu rendah membuat campuran bersifat getas sedangkan nilai *flow* yang terlalu tinggi membuat campuran bersifat plastis. Campuran yang bersifat

terlalu plastis tidak terlalu baik untuk perkerasan karena mudah mengalami deformasi akibat beban lalu lintas. Hasil dari nilai *flow* tiap-tiap penambahan kadar *PP* dan pada seluruh penambahan kadar aspal pada campuran laston *AC-BC* yang digunakan telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu pada rentang 2 – 4 mm. Berikut rekapitulasi nilai *flow* tiap-tiap penambahan kadar *PP* dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Flow

Kadar Aspal (%)	Flow (mm)					
	PP = 0%	PP = 1%	PP = 2%	PP = 3%	PP = 4%	PP = 5%
4,5	2,10	2,13	3,03	2,88	2,60	2,60
5	2,62	2,19	3,32	2,80	2,75	2,87
5,5	2,62	2,78	3,62	3,25	3,10	2,92
6	2,63	3,12	3,87	3,52	3,25	3,20
6,5	2,75	3,25	3,93	3,93	3,27	3,27
Bina Marga 2010	2 – 4					



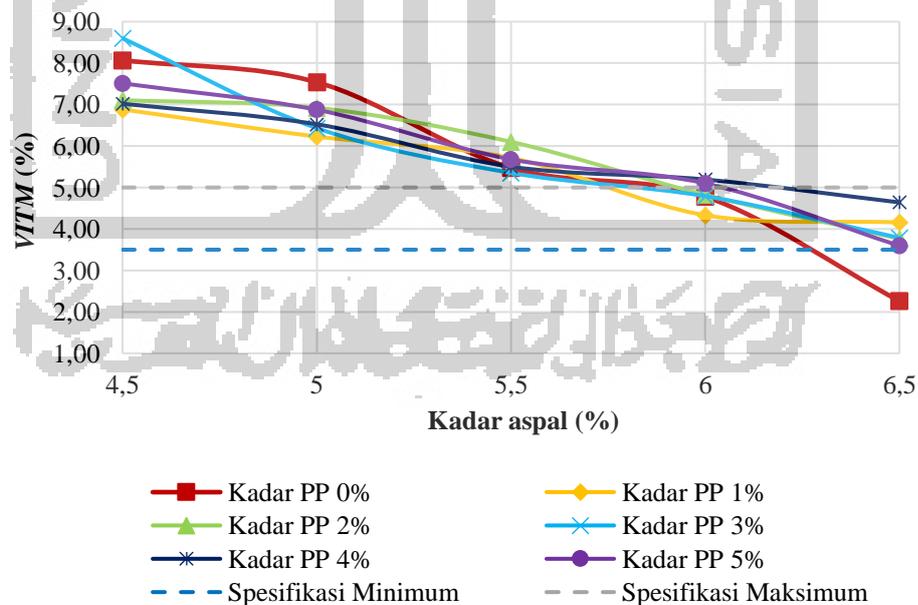
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan MQ

Berdasarkan Gambar 5.3 pada kadar *PP* 1 – 4% memiliki pola yang relatif sama dimana nilai *MQ* mengalami peningkatan hingga kadar aspal tertentu lalu

mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini terjadi karena nilai stabilitas yang tinggi tidak dibarengi dengan nilai *flow* yang tinggi. Nilai *MQ* yang terlalu tinggi membuat campuran bersifat getas sedangkan nilai *MQ* yang terlalu rendah membuat campuran semakin lembek. Hasil dari nilai *MQ* tiap penambahan kadar *PP* pada seluruh penambahan kadar aspal pada campuran laston AC-BC yang digunakan telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu lebih dari 250 kg/mm. Berikut rekapitulasi nilai *flow* tiap-tiap penambahan kadar *PP* dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Nilai *MQ*

Kadar Aspal (%)	<i>MQ</i> (Kg/mm)					
	<i>PP</i> = 0%	<i>PP</i> = 1%	<i>PP</i> = 2%	<i>PP</i> = 3%	<i>PP</i> = 4%	<i>PP</i> = 5%
4,5	421,45	422,71	321,04	409,84	395,75	440,98
5	382,95	453,84	338,49	440,66	391,68	412,96
5,5	511,15	472,25	363,67	424,60	423,78	455,29
6	478,02	379,18	329,72	374,38	400,78	389,73
6,5	338,74	342,54	297,90	324,79	346,56	351,44
Bina Marga 2010	> 250					

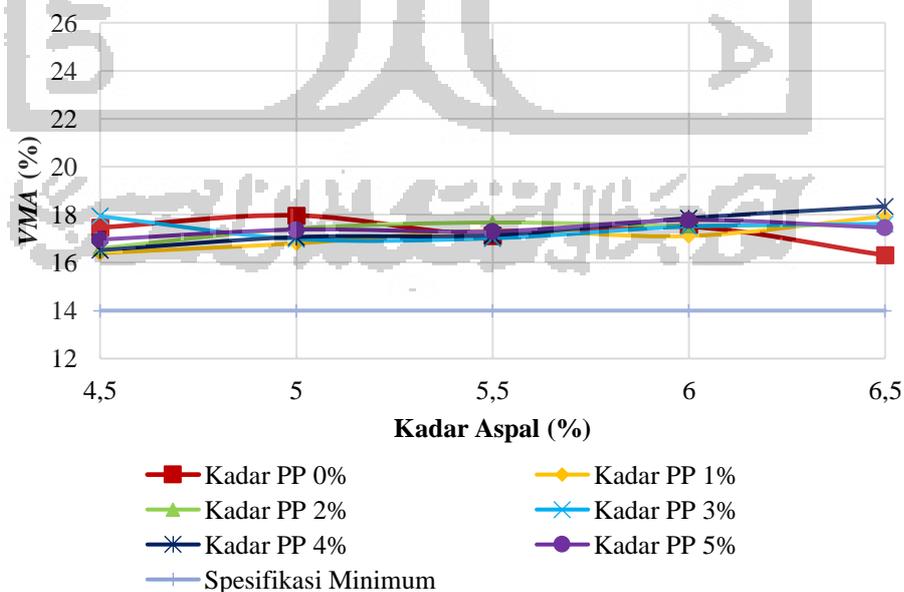


Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan *VITM*

Berdasarkan Gambar 5.4 pada tiap penambahan kadar *PP* memiliki pola yang relatif sama dimana nilai *VITM* semakin menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini terjadi karena semakin bertambahnya kadar aspal maka rongga udara (*void*) semakin kecil karena rongga udara (*void*) akan terisi/terselimuti oleh aspal. Nilai *VITM* yang memenuhi spesifikasi pada kadar *PP* 0% hanya pada kadar aspal 5,8 – 6,25%, kadar *PP* 1% hanya pada kadar aspal 5,75 – 6,5%, kadar *PP* 2% hanya pada kadar aspal 5,9 – 6,5%, kadar *PP* 3% hanya pada kadar aspal 5,9 – 6,5%, kadar *PP* 4% hanya pada kadar aspal 6,2 – 6,5% dan kadar *PP* 5% pada kadar aspal 6 – 6,5%. Berikut rekapitulasi nilai *VITM* tiap-tiap penambahan kadar *PP* dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai *VITM*

Kadar Aspal (%)	<i>VITM</i> (%)					
	<i>PP</i> = 0%	<i>PP</i> = 1%	<i>PP</i> = 2%	<i>PP</i> = 3%	<i>PP</i> = 4%	<i>PP</i> = 5%
4,5	8,07	6,88	7,11	8,60	7,02	7,51
5	7,54	6,23	6,92	6,43	6,52	6,88
5,5	5,47	5,71	6,10	5,35	5,50	5,68
6	4,78	4,33	4,82	4,79	5,19	5,10
6,5	2,26	4,16	3,76	3,79	4,64	3,59
Bina Marga 2010	3,5 – 5					

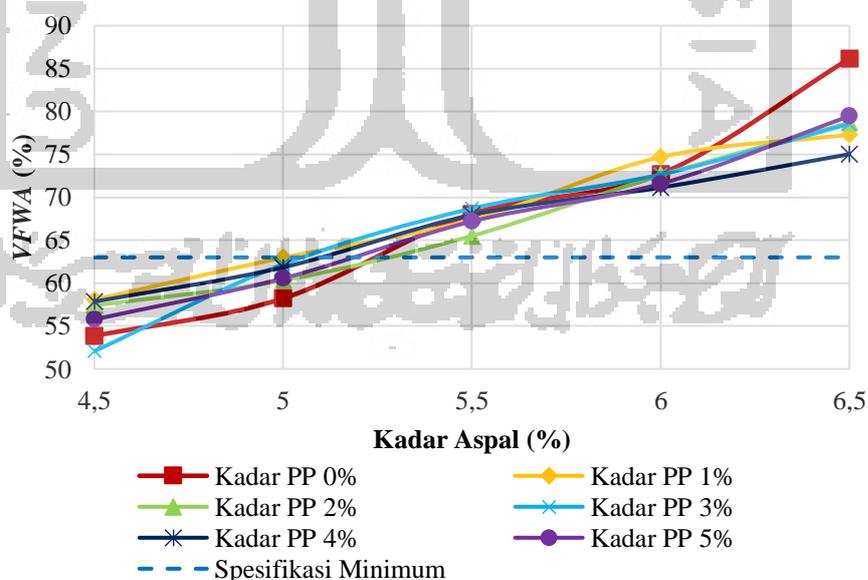


Gambar 5.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan *VMA*

Berdasarkan Gambar 5.5 tiap-tiap penambahan kadar *PP* memiliki pola yang relatif sama dimana nilai *VMA* cenderung tidak stabil. Seharusnya nilai *VMA* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal yang digunakan. Hal ini bisa terjadi karena proses pencampuran serat *PP* secara kering dengan aspal sulit untuk memperoleh campuran yang bersifat homogen. Hasil dari nilai *VMA* tiap-tiap penambahan kadar *PP* pada keseluruhan variasi kadar aspal yang digunakan telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu lebih dari 14%. Berikut rekapitulasi nilai *VMA* tiap-tiap penambahan kadar *PP* dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Nilai *VMA*

Kadar Aspal (%)	<i>VMA</i> (%)					
	<i>PP</i> = 0%	<i>PP</i> = 1%	<i>PP</i> = 2%	<i>PP</i> = 3%	<i>PP</i> = 4%	<i>PP</i> = 5%
4,5	17,46	16,40	16,60	17,94	16,52	16,96
5	17,97	16,80	17,42	16,98	17,07	17,38
5,5	17,12	17,33	17,67	17,02	17,15	17,30
6	17,50	17,11	17,54	17,51	17,86	17,77
6,5	16,31	17,94	17,60	17,62	18,35	17,45
Bina Marga 2010	> 14					



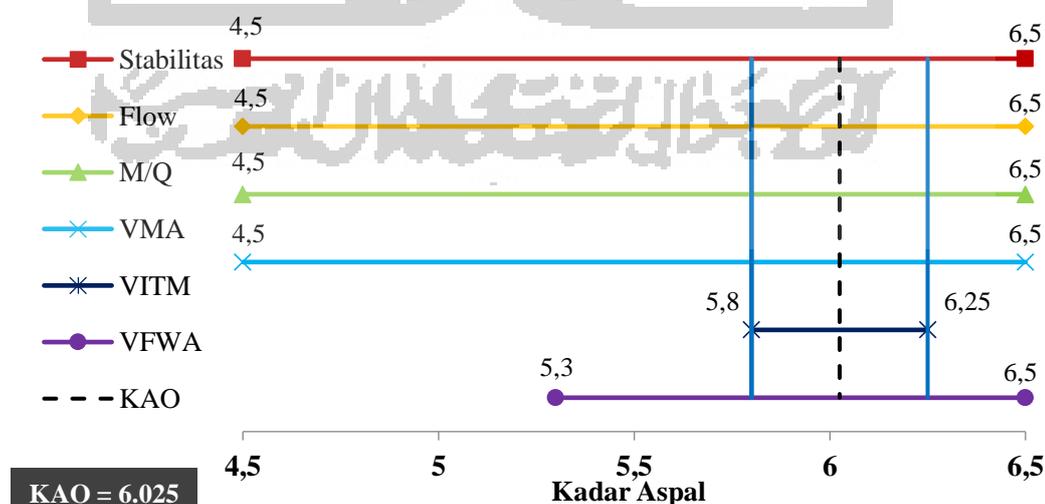
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan *VFA*

Berdasarkan Gambar 5.6 tiap-tiap kadar penambahan *PP* memiliki pola yang relatif sama dimana nilai *VFWA* semakin naik seiring bertambahnya kadar aspal karena banyak rongga yang terisi oleh aspal. Hal ini dapat menyebabkan campuran menjadi lebih kedap terhadap air dan udara. Akan tetapi nilai *VFWA* yang terlalu tinggi menyebabkan *bleeding*. Nilai *VFWA* yang memenuhi spesifikasi pada kadar *PP* 0% hanya pada kadar aspal 5,3 – 6,5%, kadar *PP* 1% hanya pada kadar aspal 5 – 6,5%, kadar *PP* 2% hanya pada kadar aspal 5,3 – 6,5%, kadar *PP* 3% hanya pada kadar aspal 5,1 – 6,5%, kadar *PP* 4% hanya pada kadar aspal 5,1 – 6,5% dan kadar *PP* 5% pada kadar aspal 5,2 – 6,5%. Berikut rekapitulasi nilai *VFWA* tiap-tiap penambahan kadar *PP* dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Nilai *VFWA*

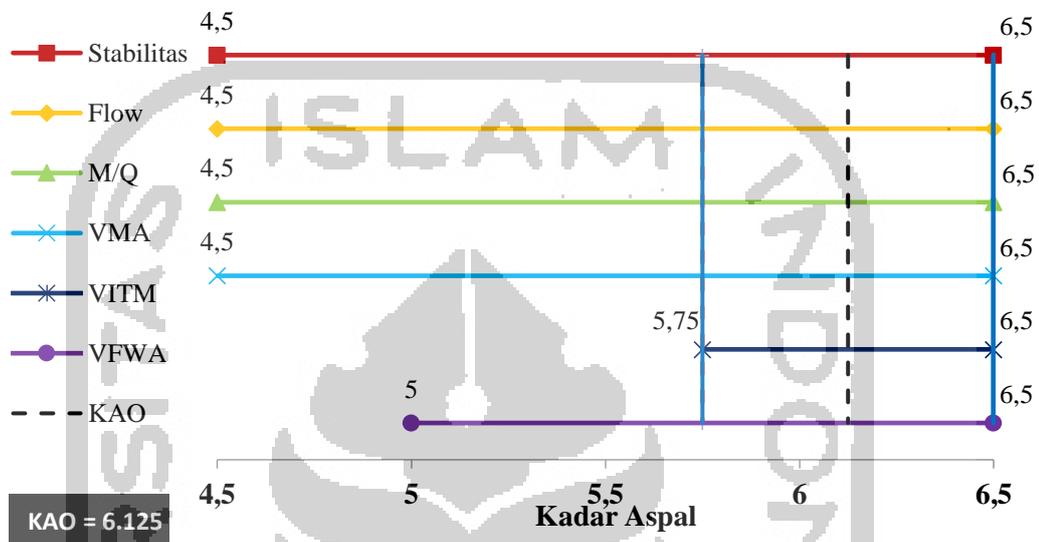
Kadar Aspal (%)	<i>VFWA</i> (%)					
	<i>PP</i> = 0%	<i>PP</i> = 1%	<i>PP</i> = 2%	<i>PP</i> = 3%	<i>PP</i> = 4%	<i>PP</i> = 5%
4,5	53,83	58,08	57,39	52,07	57,84	55,77
5	58,22	62,97	60,31	62,19	61,84	60,55
5,5	68,05	67,36	65,50	68,69	67,94	67,19
6	72,72	74,69	72,58	72,66	71,13	71,57
6,5	86,15	77,31	78,69	78,56	75,03	79,46
Bina Marga 2010	> 64					

Adapun kadar aspal optimum yang diperoleh pada tiap-tiap penambahan kadar *PP* dapat dilihat pada Gambar 5.7 – Gambar 5.12 berikut.



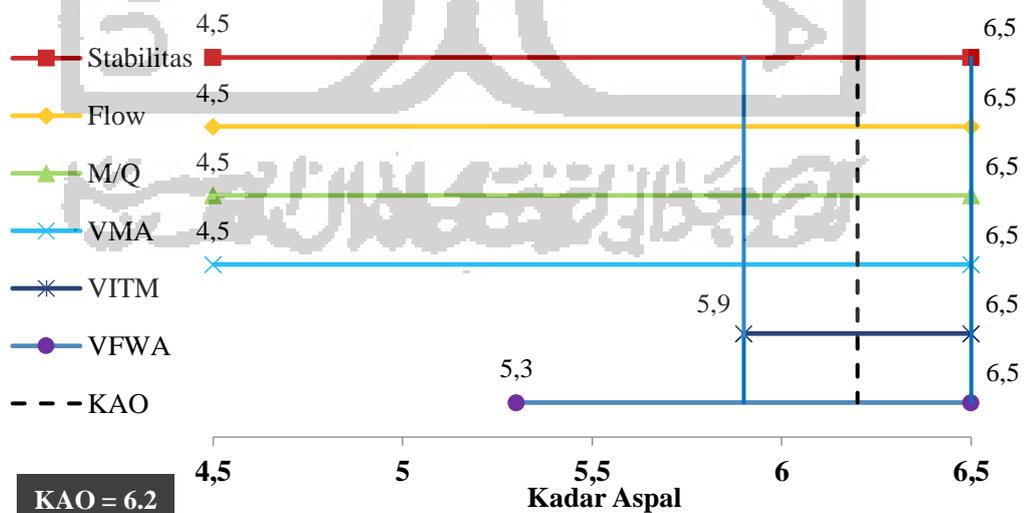
Gambar 5.7 Diagram Kadar Aspal Optimum *PP* = 0%

Berdasarkan Gambar 5.7 nilai kadar aspal optimum pada campuran laston AC-BC dengan penambahan PP 0% yang berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 6,025%.



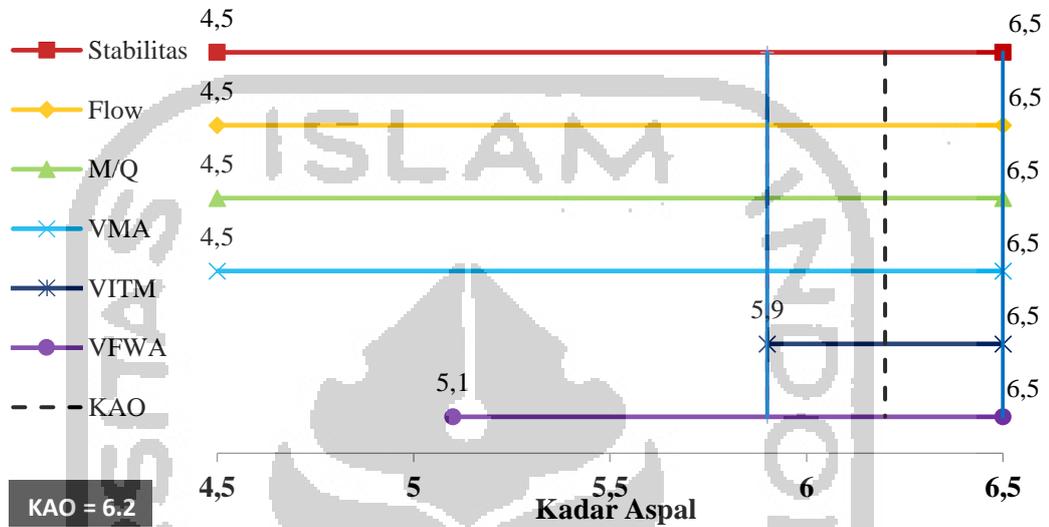
Gambar 5.8 Diagram Kadar Aspal Optimum PP = 1%

Berdasarkan Gambar 5.8 nilai kadar aspal optimum pada campuran laston AC-BC dengan penambahan PP 1% yang berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 6,125%.



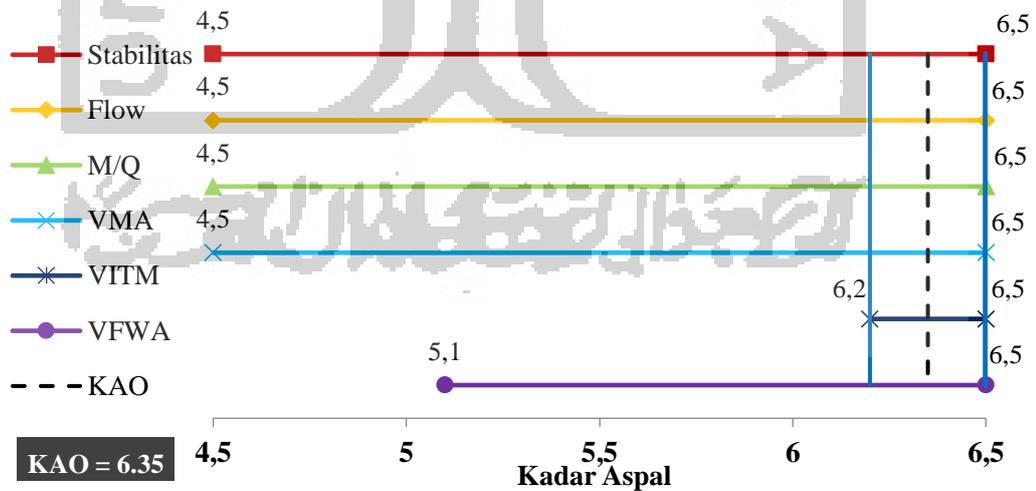
Gambar 5.9 Diagram Kadar Aspal Optimum PP = 2%

Berdasarkan Gambar 5.9 nilai kadar aspal optimum pada campuran laston AC-BC dengan penambahan PP 2% yang berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 6,2%.



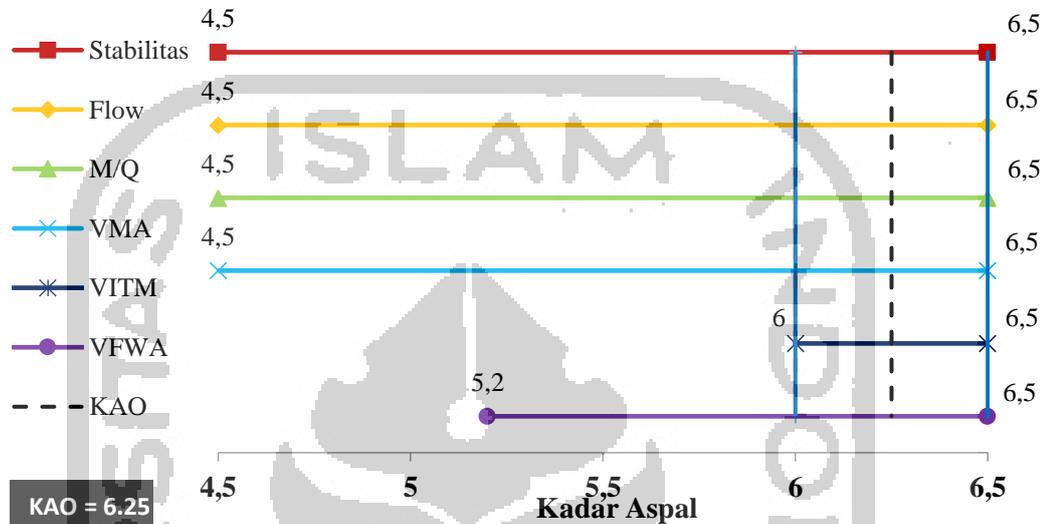
Gambar 5.10 Diagram Kadar Aspal Optimum PP = 3%

Berdasarkan Gambar 5.10 nilai kadar aspal optimum pada campuran laston AC-BC dengan penambahan PP 3% yang berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 6,2%.



Gambar 5.11 Diagram Kadar Aspal Optimum PP = 4%

Berdasarkan Gambar 5.11 nilai kadar aspal optimum pada campuran laston AC-BC dengan penambahan PP 4% yang berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 6,35%.



Gambar 5.12 Diagram Kadar Aspal Optimum PP = 5%

Berdasarkan Gambar 5.12 nilai kadar aspal optimum pada campuran laston AC-BC dengan penambahan PP 5% yang berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 6,25%. Adapun rekap hasil pengujian Marshall untuk menentukan nilai KAO pada tiap penambahan kadar PP dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi KAO tiap Penambahan Kadar PP

No.	Kadar PP	KAO (%)
1	0%	6,025
2	1%	6,125
3	2%	6,2
4	3%	6,2
5	4%	6,35
6	5%	6,25

5.3 Tinjauan Karakteristik Pengujian Marshall

Karakteristik campuran aspal dapat diketahui dari pengujian sifat-sifat Marshall yang ditunjukkan pada nilai stabilitas, flow, MQ, VITM, VFWA, VMA dan density.

5.3.1 Hasil Pengujian

Hasil pengujian *Marshall* campuran *AC-BC* pada kadar aspal optimum dengan penambahan kadar *PP* tertentu dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 19.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* Aspal Pertamina 60/70

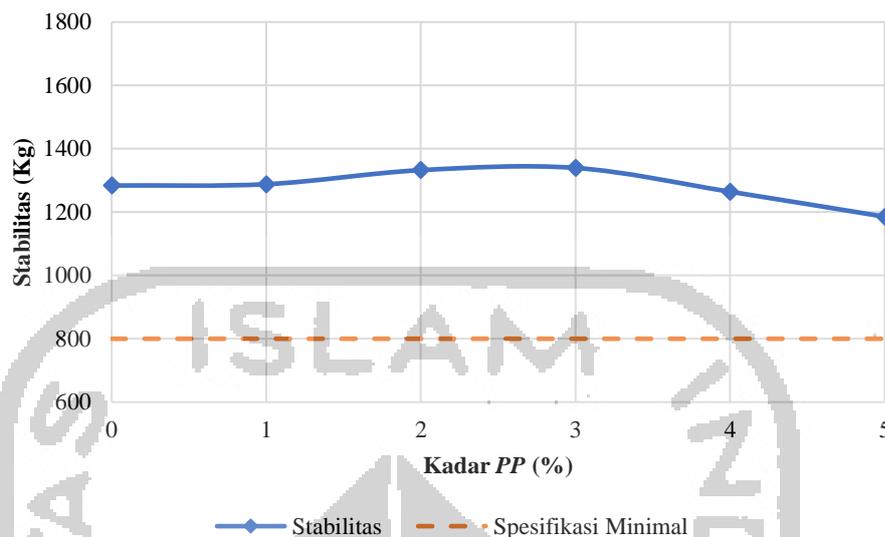
Kadar <i>PP</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
0	1283,86	2,62	515,39	4,20	75,37	16,95	2,24
1	1287,95	2,78	476,01	4,57	74,17	17,46	2,24
2	1332,41	3,25	410,78	4,74	73,95	17,75	2,23
3	1339,34	3,25	412,92	5,12	71,71	18,08	2,22
4	1264,24	3,50	360,89	5,21	71,82	18,45	2,21
5	1185,38	3,58	332,36	5,59	69,92	18,58	2,21
Bina Marga	> 800	> 2 – 4	> 250	> 3,5 – 5	> 63	> 14	> 2

5.3.2 Pembahasan

Adapun parameter-parameter yang dijadikan acuan untuk melihat kinerja variasi penambahan *PP* pada campuran *AC-BC* adalah sebagai berikut ini:

1. Pengaruh Penambahan Kadar *PP* terhadap Stabilitas

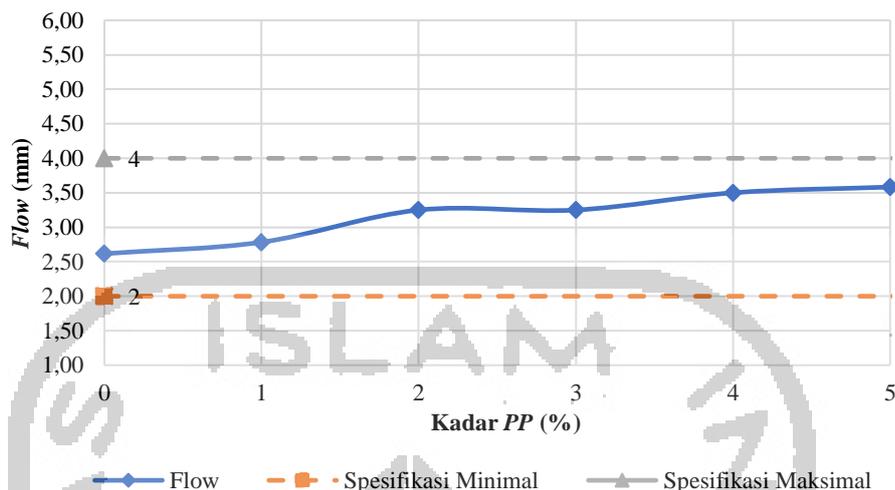
Stabilitas merupakan kemampuan campuran beraspal untuk menerima beban yang bekerja di atasnya tanpa terjadi perubahan bentuk tetap atau sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh gradasi agregat, kualitas agregat, tekstur agregat, nilai penetrasi aspal dan kadar aspal. Nilai stabilitas yang diijinkan harus lebih dari 800 kg. Berikut ini adalah hasil nilai stabilitas yang disajikan dalam grafik pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Hubungan Penambahan Kadar PP dengan Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada kadar 1% mengalami peningkatan hingga pada kadar 3% lalu mengalami penurunan hingga kadar PP 5%. Hal ini dapat dilihat dari nilai *PI* yang menunjukkan peningkatan pada kadar PP 1 – 3% yang membuat aspal menjadi getas yang membuat stabilitas pada kadar PP 1 – 3% mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan PP pada kadar tertentu (optimum) bisa meningkatkan stabilitas campuran tetapi penambahan yang berlebihan justru akan memberikan pengaruh yang negatif. Nilai stabilitas pada seluruh penambahan kadar PP memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 800 kg.

2. Pengaruh Penambahan Kadar PP terhadap *Flow*
Flow merupakan besarnya penurunan yang terjadi pada awal pembebanan benda uji akibat beban yang diterimanya yang mengakibatkan stabilitasnya menurun. Faktor yang mempengaruhi nilai *flow* antara lain gradasi agregat, viskositas aspal, kadar aspal dan proses pemadatan baik dari temperatur pemadatan maupun jumlah campuran yang dipadatkan. Proses pencampuran serat PP secara kering membuat campurannya sulit untuk tercampur secara homogen sehingga mempengaruhi konsistensi nilai *flow*. Berikut ini adalah hasil nilai *flow* yang disajikan dalam grafik pada Gambar 5.14.



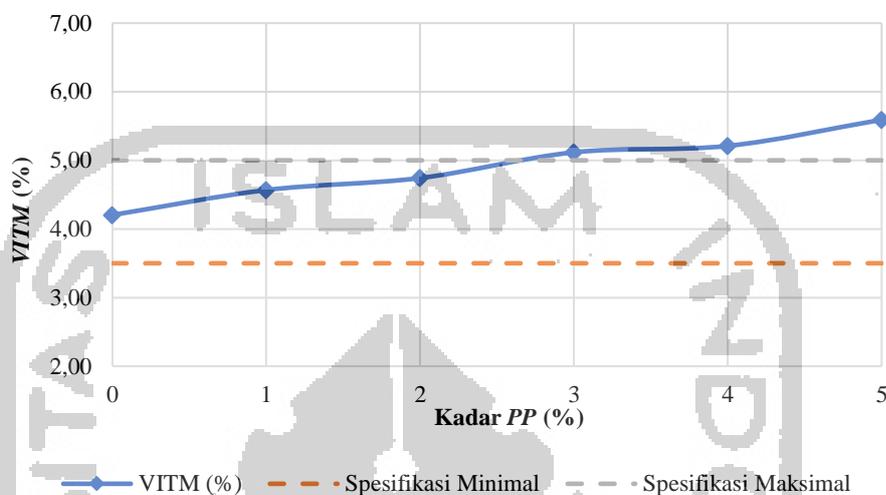
Gambar 5.14 Hubungan Penambahan Kadar PP dengan Flow

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa semakin naik kadar *PP* yang ditambahkan maka nilai *flow* cenderung semakin naik. Hal ini sejalan dengan Anita, Rahmawati (2017) yang menyatakan bahwa nilai *flow* bertambah seiring dengan penambahan kadar *PP*. Hal ini menyebabkan campuran semakin elastis sehingga campuran akan sulit untuk rusak *crack* akan tetapi bentuk responnya adalah deformasi. Seharusnya nilai *flow* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *PP* karena nilai berdasarkan uji penetrasi yang dilakukan pada aspal dengan penambahan *PP* dengan kadar yang sudah ditentukan pada nilai penetrasi mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *PP* yang menyebabkan aspal semakin getas seiring penambahan kadar *PP*. Ini artinya pada proses pencampuran secara kering sulit diperoleh kehomogenan antara *PP* dan aspal. Seluruh nilai *flow* pada tiap penambahan kadar *PP* memenuhi spesifikasi yaitu pada rentang 2 – 4 mm.

3. Pengaruh Kadar *PP* terhadap *VITM* (*Void In The Mix*)

VITM adalah persentase perbandingan antara rongga udara pada campuran beraspal dengan volume campuran total setelah dilakukannya proses pemadatan. Nilai *VITM* berbanding terbalik dengan kadar aspal dimana nilai *VITM* akan semakin kecil apabila kadar aspal yang digunakan semakin besar.

Berikut ini adalah hasil nilai *VITM* yang disajikan dalam grafik pada Gambar 5.15.



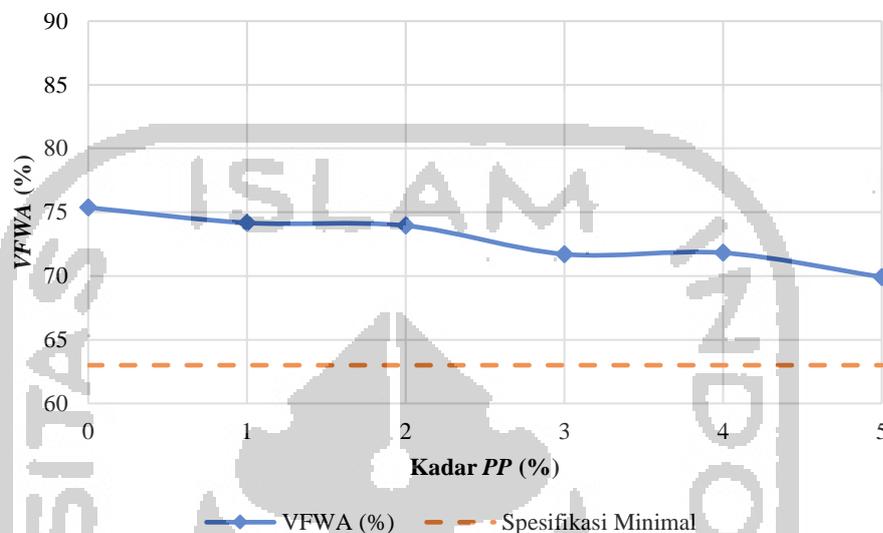
Gambar 5.15 Hubungan Penambahan Kadar PP dengan VITM

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar *PP* maka nilai *VITM* akan semakin tinggi yang menyebabkan campuran semakin bersifat porus. Hal ini sejalan dengan Ida Hadijah (2016) yang menyatakan nilai *VITM* semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *PP* yang ditambahkan. Hal ini membuat lapis perkerasan menjadi kurang awet karena dengan semakin kurang rapatnya campuran maka air dan udara akan dengan mudah masuk ke dalam campuran yang menyebabkan aspal akan mudah teroksidasi. Nilai *VITM* yang masuk spesifikasi (pada rentang 3,5 – 5%) hanya pada penambahan kadar *PP* 0 – 2,8%.

4. Pengaruh Kadar *PP* terhadap *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*)

VFWA (*Void Filled With Asphalt*) adalah nilai persentase rongga yang terisi oleh aspal pada campuran setelah dilakukan proses pemadatan. Yang mempengaruhi nilai *VFWA* antara lain faktor pemadatan (metode dan temperatur pemadatan), gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Proses pencampuran serat *PP* secara kering dengan aspal sulit untuk memperoleh campuran yang bersifat homogen juga merupakan salah satu

faktor yang mempengaruhi nilai *VFWA*. Berikut ini adalah hasil nilai *VFWA* yang disajikan dalam grafik pada Gambar 5.16



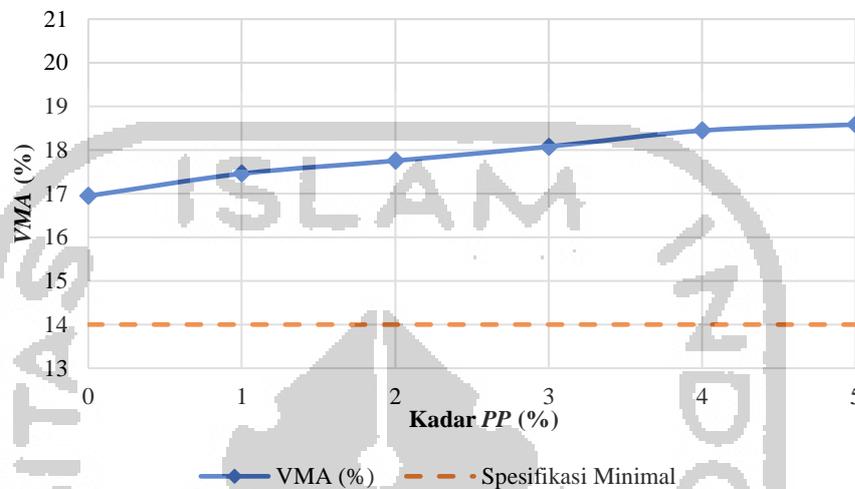
Gambar 5.16 Hubungan Penambahan Kadar *PP* dengan *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.16 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar *PP* maka nilai *VFWA* cenderung semakin turun sehingga campuran kurang kedap terhadap air dan udara serta menjadi mudah retak bila menerima beban. Hal ini bisa terjadi karena proses pencampuran serat *PP* secara kering dengan aspal sulit untuk memperoleh campuran yang bersifat homogen sehingga *PP* yang tidak tercampur sempurna justru menambah rongga pada campuran. Akan tetapi nilai *VFWA* pada tiap penambahan kadar *PP* masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 63\%$.

5. Pengaruh Kadar *PP* terhadap *VMA* (*Void In Mineral Agregate*)

VMA (*Void In Mineral Agregate*) adalah nilai persentase rongga udara dan kadar aspal yang digunakan terhadap total volume campuran setelah proses pemadatan. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan (metode pemadatan dan temperatur pemadatan), gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Proses pencampuran serat *PP* secara kering dengan aspal sulit untuk memperoleh campuran yang bersifat homogen juga merupakan

salah satu faktor yang mempengaruhi nilai *VMA*. Berikut ini adalah hasil nilai *VMA* yang disajikan dalam grafik pada Gambar 5.17.

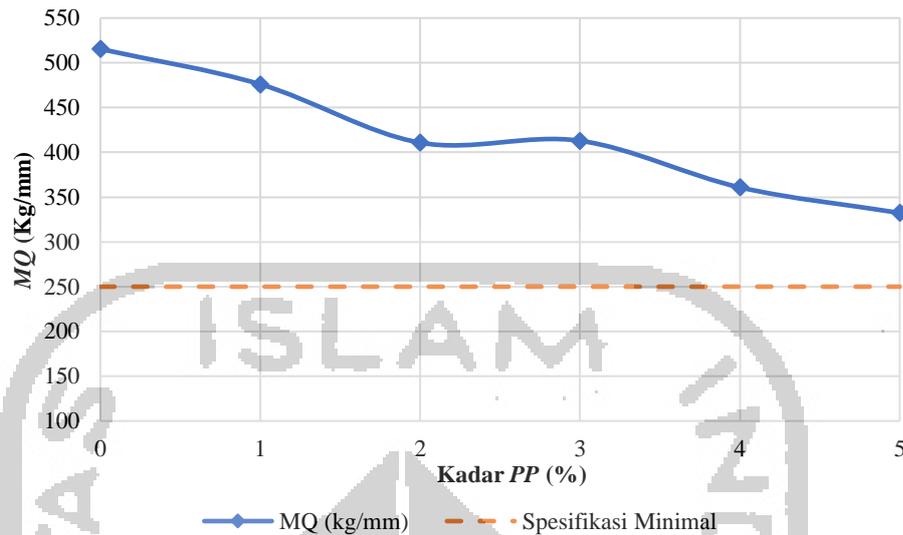


Gambar 5.17 Hubungan Penambahan Kadar *PP* dengan *VMA*

Grafik pada Gambar 5.17 menunjukkan bahwa nilai *VMA* semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kadar *PP*. Hal ini bisa terjadi karena proses pencampuran serat *PP* secara kering dengan aspal sulit untuk memperoleh campuran yang bersifat homogen sehingga *PP* yang tidak tercampur sempurna justru memberikan tambahan rongga pada campuran. Hal ini menyebabkan campuran akan semakin porus seiring dengan bertambahnya kadar *PP* yang digunakan. Akan tetapi seluruh nilai *VMA* pada tiap penambahan kadar *PP* masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 14\%$.

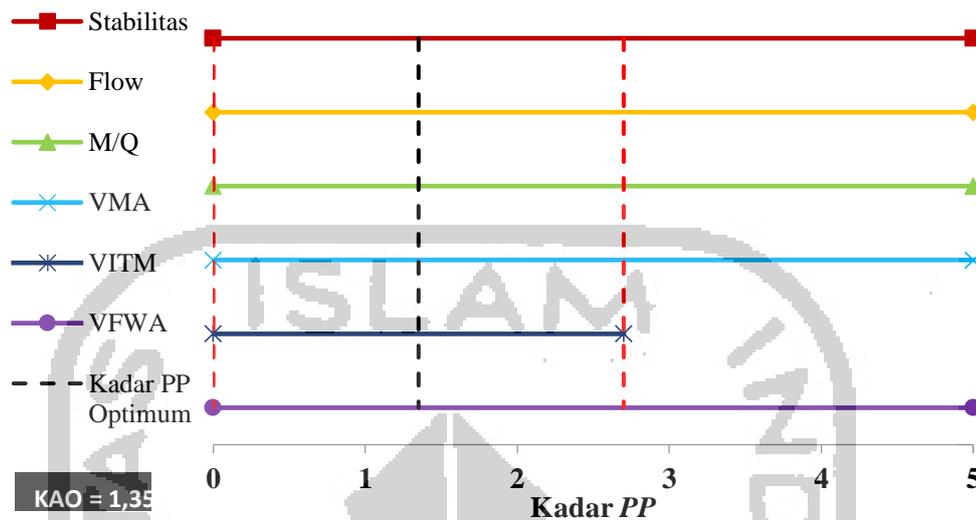
6. Pengaruh Kadar *PP* terhadap *MQ* (*Marshall Quotient*)

MQ (*Marshall Quotient*) merupakan nilai perbandingan antara stabilitas dengan *flow* dimana nilai ini menunjukkan tingkat fleksibilitas suatu campuran. Berikut ini adalah hasil nilai *MQ* yang disajikan dalam grafik pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Hubungan Penambahan Kadar PP dengan MQ

Grafik pada Gambar 5.18 menunjukkan bahwa nilai *MQ* cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kadar *PP*. Seharusnya nilai *MQ* bertambah seiring dengan bertambahnya kadar *PP* yang digunakan karena berdasarkan uji penetrasi seiring bertambahnya kadar *PP* aspal semakin getas. Hal ini bisa terjadi karena pada *flow* justru mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *PP* yang tidak dibarengi dengan kenaikan stabilitas. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran akan semakin kaku, sedangkan semakin kecil nilai *MQ* maka campuran akan semakin lentur. Nilai *MQ* pada tiap penambahan kadar *PP* masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu di atas 250 kg/mm.



Gambar 5.19 Diagram Kadar *PP* Optimum pada Campuran Laston AC-BC

Berdasarkan Gambar 5.19 nilai kadar *PP* optimum pada campuran laston AC-BC yang berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 1,35% dari berat aspal.

5.4 Tinjauan Karakteristik Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran beraspal dengan menggunakan alat *ITS (Indirect Tensile Test)*.

5.4.1 Hasil Pengujian

Hasil pengujian *ITS* campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik *PP* dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 20.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* Campuran Laston AC-BC dengan Penambahan Serat Plastik *PP*

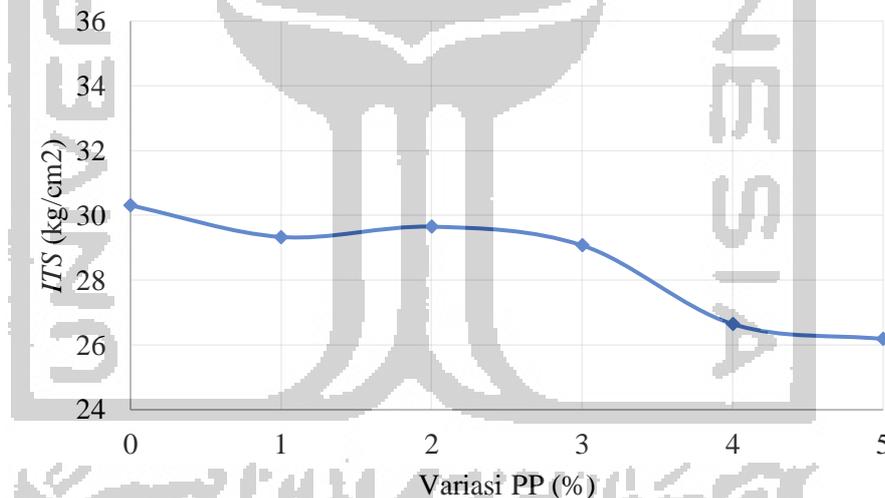
Variasi <i>PP</i> (%)	<i>ITS</i> (kg/cm ²)
0	30,308
1	29,334
2	29,652

Lanjutan Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* Campuran Laston AC-BC dengan Penambahan Serat Plastik PP

Variasi PP (%)	ITS (kg/cm ²)
3	29,074
4	26,645
5	26,182

5.4.2 Pembahasan

Indirect Tensile Strength (ITS) adalah pengujian untuk mengetahui nilai gaya tarik tidak langsung pada campuran beraspal akibat beban lalu lintas. Nilai *ITS* pada campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik PP dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Hubungan Variasi Kadar PP dengan Nilai ITS

Grafik pada Gambar 5.20 menunjukkan bahwa nilai stabilitas *ITS* pada campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik PP cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar PP. Ini menunjukkan bahwa campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik PP lebih buruk untuk menahan gaya tarik tidak langsung dibandingkan dengan campuran AC-BC tanpa penambahan serat plastik PP. Hal tersebut dapat terjadi karena pada uji penetrasi

seiring bertambahnya kadar *PP* nilai penetrasi semakin rendah yang artinya semakin dengan bertambahnya kadar *PP* maka aspal semakin getas. Tujuan dari uji *ITS* adalah untuk mengetahui respon retak pada campuran beraspal dan pada campuran yang bersifat getas membuat campuran gampang mengalami retak. Hal inilah yang membuat nilai *ITS* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *PP*. Ditambah lagi pengujian *ITS* yang dilakukan pada suhu ruang membuat manfaat dari penambahan plastik *PP* kurang maksimal karena *PP* merupakan jenis polimer plastomer dimana polimer jenis ini bersifat getas pada suhu ruang dan bersifat elastis pada suhu tinggi. aspal justru bersifat getas.

5.5 Tinjauan Karakteristik *Immersion Test*

Pengujian ini menggunakan alat yang sama dengan uji *Marshall* dan cara pengujiannya pun hampir sama. Yang membedakan adalah lama perendaman yang dilakukan. Pada *Immersion Test* dilakukan dengan durasi perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C di dalam *waterbath* sedangkan pada uji *Marshall* dilakukan perendaman dengan durasi 0,5 jam pada suhu 60°C di dalam *waterbath*.

5.5.1 Hasil Pengujian

Hasil *Immersion Test* campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik *PP* dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 21.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil *Immersion Test* Aspal Pertamina 60/70 dengan Penambahan Serat Plastik *PP*

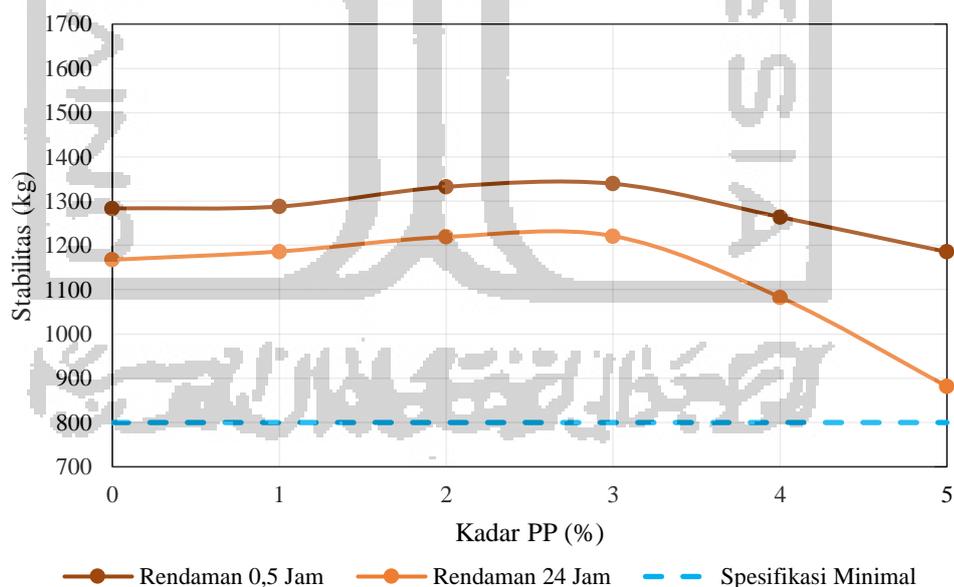
Kadar <i>PP</i> (%)	Stabilitas 0,5 Jam (Kg)	Stabilitas 24 Jam (Kg)
0	1283,859	1167,651
1	1287,951	1186,344
2	1332,405	1219,219
3	1339,344	1221,196
4	1264,237	1082,952
5	1185,38	881,74
Spesifikasi	> 800	> 800

5.5.2 Pembahasan

Immersion Test bertujuan untuk mengetahui durabilitas suatu campuran. Durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim (Sukirman, 2003). Metode yang digunakan yaitu membandingkan nilai stabilitas benda uji yang telah direndam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit dan 24 jam. Adapun hasil pengujian *Immersion Test* pada campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik PP adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh Penambahan Kadar PP terhadap Nilai Stabilitas Rendaman 0,5 Jam dengan Rendaman 24 Jam

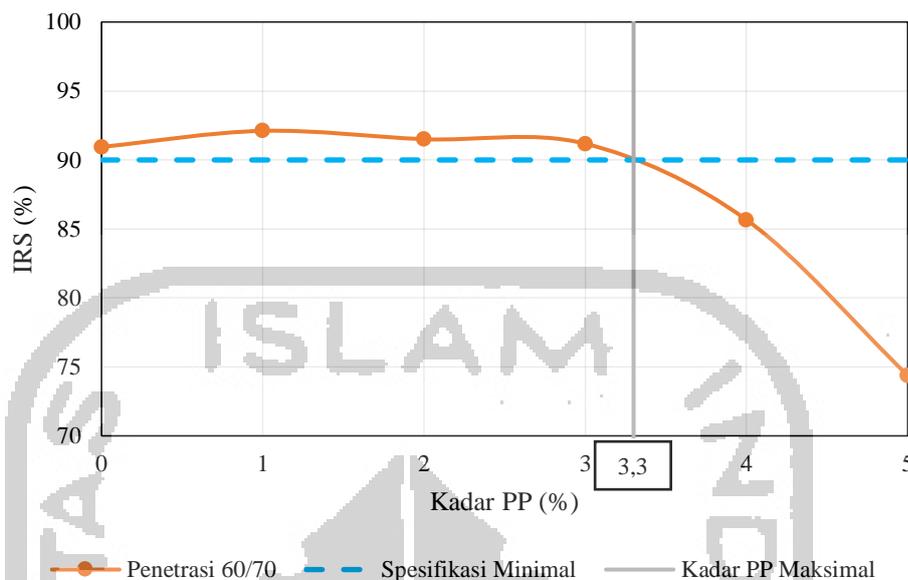
Perendaman dalam *waterbath* pada suhu 60°C bertujuan untuk pengondisian campuran beraspal pada suhu tertinggi di lapangan. Nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dan 24 jam pada campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik PP dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Pengaruh Penambahan Kadar PP terhadap Nilai Stabilitas Perendaman

Grafik pada Gambar 5.21 menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik PP tiap kadarnya terjadi penurunan stabilitas pada perendaman 24 jam. Adapun nilai penurunannya dapat dilihat pada Tabel 5.14 di atas. Dari grafik di atas pada kadar penambahan PP 1 – 3% masih stabil. Hal ini dapat kita lihat pada nilai PI pada penambahan kadar PP 1 – 3% yang mengalami peningkatan yang memberikan indikasi bahwa campuran semakin kurang peka terhadap suhu. Nilai stabilitas di atas campuran tanpa penambahan PP dan penambahan kadar PP > 3% mengalami penurunan. Hal ini dapat kita lihat pada penambahan kadar PP > 3% nilai PI mengalami penurunan hingga kadar 4% meskipun naik kembali pada kadar 5%. Akan tetapi nilai PI pada kadar PP 5% tetap masih dibawah kadar PP 3%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar PP pada kadar tertentu mampu meningkatkan kualitas suatu campuran tetapi penambahan kadar PP yang terlalu banyak membuat campuran menjadi sensitif terhadap suhu. Ditambah kadar VMA yang semakin naik seiring bertambahnya kadar PP membuat campuran semakin porus sehingga air masuk ke dalam rongga campuran dan mengurangi kelekatan aspal terhadap agregat.

2. Pengaruh Penambahan Kadar PP terhadap Nilai *Index of Retained Strength*
Proses perendaman pada *Immersion Test* bertujuan mengetahui durabilitas campuran beraspal dengan cara membandingkan stabilitas campuran pada proses perendaman dalam *waterbath* selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman selama 0,5 jam pada suhu 60°C. Nilai IRS pada campuran AC-BC dengan penambahan serat plastik PP dapat dilihat pada Gambar 5.22 di bawah ini.



Gambar 5.22 Pengaruh Penambahan Kadar *PP* terhadap Nilai *IRS*

Grafik pada Gambar 5.22 menunjukkan bahwa pada kadar penambahan *PP* 1 – 3,3% nilai *IRS* masih stabil dan memenuhi spesifikasi. Penambahan kadar *PP* yang berlebih justru membuat campuran menjadi menjadi sensitif terhadap suhu. Ditambah kadar *VMA* yang semakin naik seiring bertambahnya kadar *PP* membuat campuran semakin porus (seiring bertambahnya kadar *PP*) sehingga air masuk ke dalam rongga campuran dan mengurangi kelekatan aspal terhadap agregat. Hal ini mengakibatkan pada kadar *PP* 3,4 – 5% terjadi penurunan stabilitas yang signifikan pada perendaman di *waterbath* pada suhu 60°C sehingga pada kadar *PP* 3,4 – 5% terjadi penurunan nilai *IRS* secara signifikan dan tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (lebih dari 90%).