

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran

Adapun berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil dari tiap-tiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Karakteristik Aspal

Pengujian menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian karakteristik aspal ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut atau dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,023	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60/70	62,3	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48	Memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	332	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	345	Memenuhi
7	Kelarutan pada TCE (%)	≥ 99	99,03	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Pengujian karakteristik agregat ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal tersebut 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	$\geq 2,5$	2,6643	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	1,687	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	97,5	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≥ 40	13,07	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,6005	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	2,25	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	91,987	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

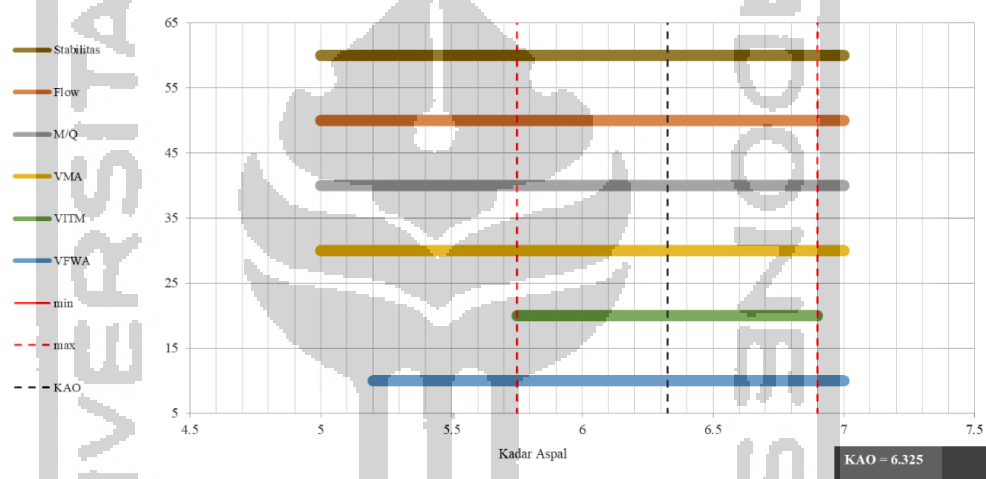
No	<i>Filler</i>	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≤ 8	2,553	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran *Superpave* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun data-data yang dihasilkan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VMA* (*Void in Mineral Agregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VITM* (*Void in Total Mix*), *MQ* (*Marshall Quotient*), dan kepadatan (*density*) dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut..

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1340,00	2,98	451,26	6,40	63,38	17,48	2,266
5,5	1372,96	3,11	443,04	5,59	68,60	17,79	2,269
6	1395,94	3,19	439,27	4,41	75,21	17,79	2,281
6,5	1356,96	3,26	418,26	3,81	79,17	18,30	2,280
7	1317,37	3,39	390,07	2,83	84,71	18,48	2,287
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3,0-5,0	>65	>15	>2



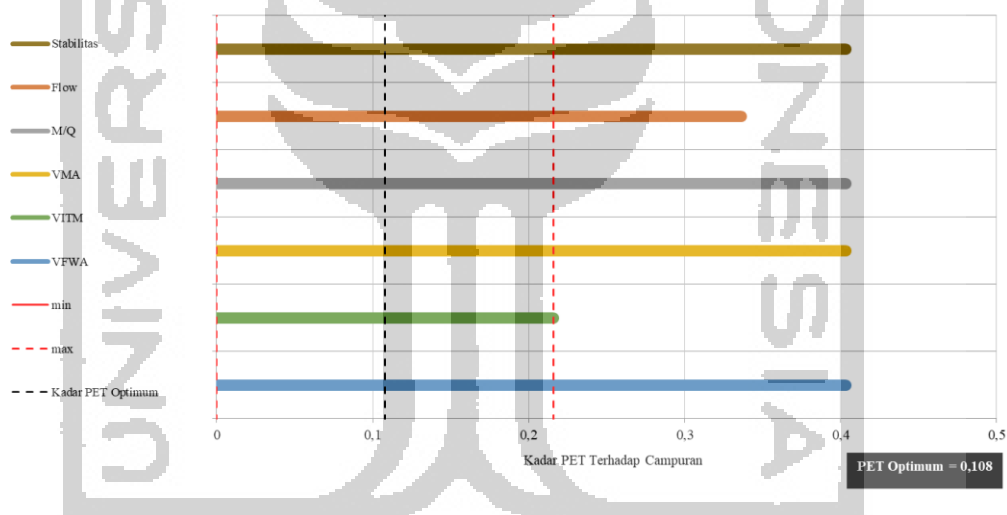
Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran *Superpave* untuk Menentukan Kadar *PET* Optimum dari KAO

Pengujian campuran untuk menentukan kadar *PET* optimum menggunakan data-data dari karakteristik *Marshall* sama seperti penentuan kadar aspal optimum. Adapun hasil pengujianya dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut atau detailnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar *PET* Optimum dari KAO

Kadar PET Terhadap Campuran (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0,000	1311,84	3,20	411,31	4,07	77,60	18,15	2,279
0,067	1393,76	3,39	411,31	4,28	76,72	18,33	2,274
0,135	1409,66	3,46	407,61	4,42	76,05	18,45	2,269
0,202	1450,91	3,70	392,49	4,80	74,59	18,76	2,260
0,269	1503,22	3,90	385,90	5,21	72,96	19,11	2,249
0,336	1428,72	3,98	359,82	5,36	72,27	19,23	2,245
0,403	1373,41	4,12	333,53	5,47	71,89	19,32	2,242
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3,0-5,0	>65	>15	>2



Gambar 5.2 Penentuan Kadar *PET* Optimum dari KAO

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *Superpave* dengan Menggunakan *PET* sebagai Bahan Tambah pada KAO

Adapun hasil pengujian campuran *superpave* dengan menggunakan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum meliputi pengujian *Marshall Standard*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro* dan *Permeabilitas*. Hasil dari pengujian-pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai Tabel 5.9 berikut.

1. Penggunaan Bahan Tambah *PET* pada Pengujian *Marshall Standard*

Hasil pengujian *Marshall Standard* campuran *superpave* dengan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Marshall Standard*

Kadar <i>PET</i> Terhadap Campuran (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0,000	1348,10	3,33	405,35	3,87	78,57	17,98	2,283
0,108	1402,45	3,41	411,31	4,67	75,07	18,66	2,264
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3,0-5,0	>65	>15	>2

2. Penggunaan Bahan Tambah *PET* pada Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* campuran *superpave* dengan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Kadar <i>PET</i> Terhadap Campuran (%)	ITS (kg/cm ²)
0	27,73
0,108	22,87

3. Penggunaan Bahan Tambah *PET* pada Pengujian *Cantabro*

Hasil pengujian *Cantabro* campuran *superpave* dengan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Cantabro*

Kadar <i>PET</i> Terhadap Campuran (%)	Kehilangan Berat (%)
0	2,127
0,108	2,473

4. Penggunaan Bahan Tambah *PET* pada Pengujian Permeabilitas

Hasil pengujian Permeabilitas campuran *superpave* dengan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Permeabilitas

Kadar <i>PET</i> Terhadap Campuran (%)	Koefisien Permeabilitas (cm/detik)
0	0,00009890
0,108	0,00011779

5.2 Pembahasan

Pembahasan hasil pengujian dilakukan untuk memastikan material yang digunakan dalam pengujian telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Adapun pembahasan pengujian dapat dilihat sebagai berikut.

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang digunakan. Dalam hal ini agregat yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat volume agregat dan berat volume air pada suhu yang sama. Nilai berat jenis digunakan untuk menentukan perencanaan campuran yang digunakan. Agregat dengan berat jenis yang lebih rendah memiliki kadar pori yang besar yang dapat menyerap aspal lebih banyak sehingga selimut aspal lebih tipis sehingga akan berdampak pada durabilitas aspal dan bila sebaliknya akan meningkatkan durabilitas aspal tetapi juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran.

Adapun berat jenis agregat kasar hasil pengujian didapat hasil sebesar 2,664 dengan ketelitian 3 angka dibelakang koma. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 yang disyaratkan yaitu $>2,5$.

2. Penyerapan agregat terhadap air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan agregat untuk menyerap air melalui pori yang ada pada agregat itu sendiri. Agregat dengan pori yang besar akan menyerap aspal lebih banyak sehingga menyebabkan lapisan selimut aspal menjadi lebih tipis yang akan mempengaruhi durabilitas campuran itu sendiri. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 1,660%

3. Kelekatan agregat terhadap aspal
 Daya lekat aspal terhadap aspal dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal sebesar 97,5% yang mana memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu >95%.
4. Keausan dengan mesin *Los Angeles*
 Pengujian keausan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap *degradasi* dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan hasil sebesar 13,07% yang mana nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu <40%.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang digunakan. Dalam hal ini agregat yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat adalah perbandingan berat volume agregat dan berat volume air pada suhu yang sama. Nilai berat jenis digunakan untuk menentukan perencanaan campuran yang digunakan. Agregat dengan berat jenis yang lebih rendah memiliki kadar pori yang besar yang dapat menyerap aspal lebih banyak sehingga selimut aspal lebih tipis sehingga akan berdampak pada durabilitas aspal dan bila sebaliknya akan meningkatkan durabilitas aspal tetapi juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran.

Adapun berat jenis agregat halus hasil pengujian didapat hasil sebesar 2,6005. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 yang disyaratkan yaitu $>2,5$.

2. Penyerapan agregat terhadap air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan agregat untuk menyerap air melalui pori yang ada pada agregat itu sendiri. Agregat dengan pori yang besar akan menyerap aspal lebih banyak sehingga menyebabkan lapisan selimut aspal menjadi lebih tipis yang akan mempengaruhi durabilitas campuran itu sendiri. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 2,201%

3. *Sand Equivalent*

Sand Equivalent bertujuan untuk menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap butir-butir halus lolos saringan No.200 seperti lempung, lanau ataupun tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat. Agregat halus yang banyak mengandung material yang lolos saringan No.200 jika digunakan sebagai campuran pada pembuatan beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah. Hal ini disebabkan material halus membungkus agregat yang lebih kasar sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikat menjadi menurun.

Adapun hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng didapatkan nilai 91,987% yang mana memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu $>50\%$.

5.2.3 Karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*)

Berat jenis adalah perbandingan berat satuan volume antara suatu benda dengan berat air pada volume dan suhu yang sama. Adapun hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu Clereng yang digunakan sebesar 2,553.

5.2.4 Karakteristik Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang digunakan. Dalam hal ini aspal yang digunakan ialah aspal Pertamina Pen 60/70.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan berat antara aspal dengan berat air dengan volume yang sama dan temperatur yang sama. Adapun berat jenis aspal yang sudah di uji yaitu sebesar 1,023 memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>1,00$.

2. Penetrasi aspal

Uji penetrasi aspal bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal dengan beban dan waktu tertentu pada suhu yang telah ditentukan. Adapun nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang di uji adalah 62,3 mm memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu minimal 60 mm.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas memiliki tujuan untuk mengetahui sifat kohesi aspal yang dapat mempengaruhi fleksibilitas campuran aspal sehingga dapat menahan lendutan. Adapun hasil pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 164 cm memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu >100 cm.

4. Titik nyala

Pengujian titik nyala bertujuan bertujuan untuk mengetahui pada suhu berapa batas aspal cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pengujian titik nyala aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 332°C memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 232^{\circ}\text{C}$.

5. Kelarutan dalam *TCE* (*Trichloroethylene*)

Pengujian kelarutan terhadap *TCE* memiliki tujuan untuk mengetahui persentase kelarutan aspal pada larutan *TCE* sehingga diketahui persentase mineral lain yang ada dalam aspal. Semakin besar kelarutan aspal pada *TCE* maka semakin kecil kandungan mineral lain pada aspal yang bisa mengganggu ikatan aspal dengan agregat. Adapun hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,03% memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebsar $>99\%$.

6. Titik Lembek

Pengujian titik lembek berfungsi untuk mengetahui pada temperatur berapa aspal akan mulai melunak atau melembek. Hasil pengujian aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan titik lembek sebesar 48°C memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$.

5.2.5 Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

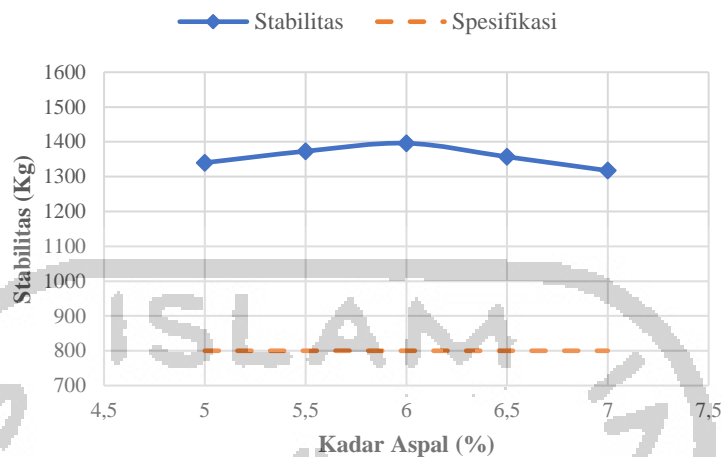
Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *superpave* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas, *flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Marshall Quotient* dan *Density*. Adapun pembahasan hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO dapat dilihat sebagai berikut.

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti alur, gelombang dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi dan beban lalu lintas yang akan dilayani oleh jalan tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal yaitu :

- a. Gesekan internal, yang dapat berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak dan nilai stabilitas campuran.
- b. Kohesi, yaitu gaya ikat aspal yang berasal dari kekekatannya, sehingga mampu menahan tekanan kontak antar butir agregat. Kemampuan kohesi terutama ditentukan dari penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal.

Grafik nilai stabilitas untuk menentukan kadar aspal optimum pada pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



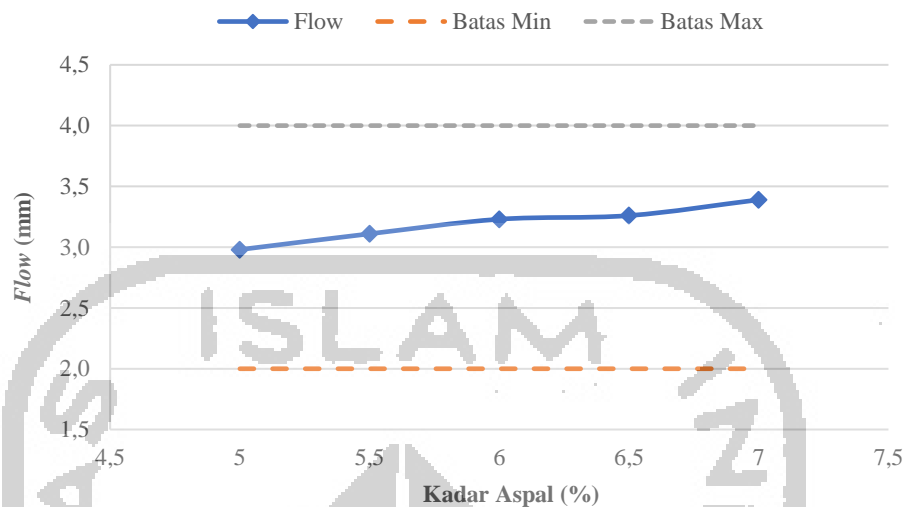
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 di atas dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu >800 kg. Stabilitas pada campuran mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal pada campuran dan mencapai optimum pada kadar 6% dan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh aspal yang pada awalnya menjadi pengikat agregat yang menyebabkan stabilitasnya menjadi meningkat hingga mencapai optimum lalu menjadi pelicin saat kadar aspal menjadi terlalu banyak dan menyebabkan stabilitas menurun.

2. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah angka yang menunjukkan besarnya penurunan vertikal pada benda uji, yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". *Flow* dibutuhkan agar perkerasan mempunyai daerah mulur akibat pembebanan. Pada saat terjadi pembebanan campuran mulur/memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak.

Campuran dengan nilai stabilitas yang tinggi dan nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku dan getas, sebaliknya jika campuran memiliki stabilitas yang rendah dan *flow* yang tinggi akan menyebabkan campuran terlalu lentur dan mudah berdeformasi jika menerima beban kendaraan. *Flow* dipengaruhi beberapa faktor diantaranya, yaitu gradasi agregat, kadar aspal serta temperatur pemadatan.

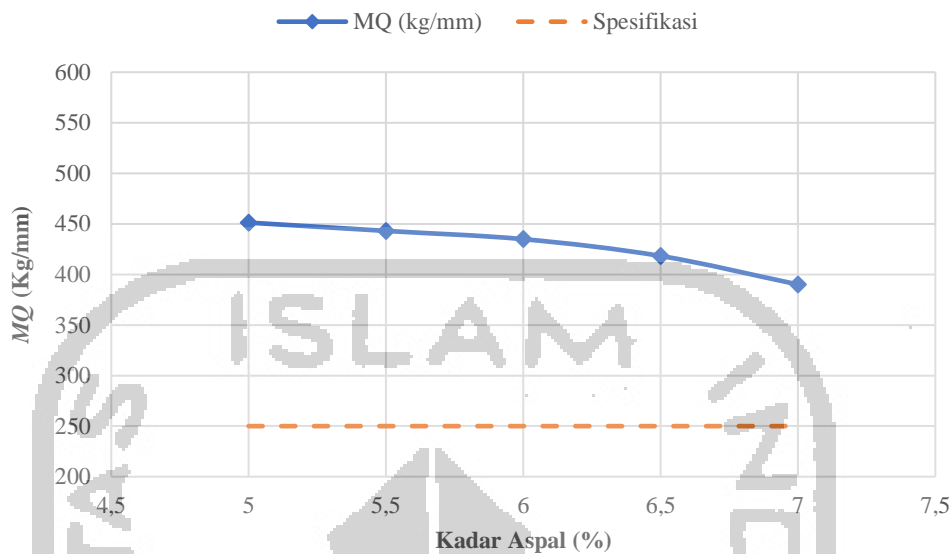


Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai *flow* akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan semakin banyak aspal yang digunakan maka akan semakin tebal lapis aspal yang menyelimuti agregat sehingga kelenturan aspal juga menjadi semakin tinggi. Dapat dilihat juga bahwa *flow* pada grafik di atas memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga yaitu antara 2 mm sampai dengan 4 mm.

3. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan pendekatan terhadap kekakuan dan kelenturan dari suatu lapis perkerasan. Nilai *MQ* didapat dari hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Bila campuran mempunyai nilai *MQ* yang tinggi berarti campuran itu cenderung kaku dan memiliki nilai fleksibilitas yang rendah. Sebaliknya jika suatu campuran memiliki nilai *MQ* yang rendah berarti campuran memiliki fleksibilitas yang tinggi tapi cenderung kurang stabil. Adapun nilai *MQ* yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

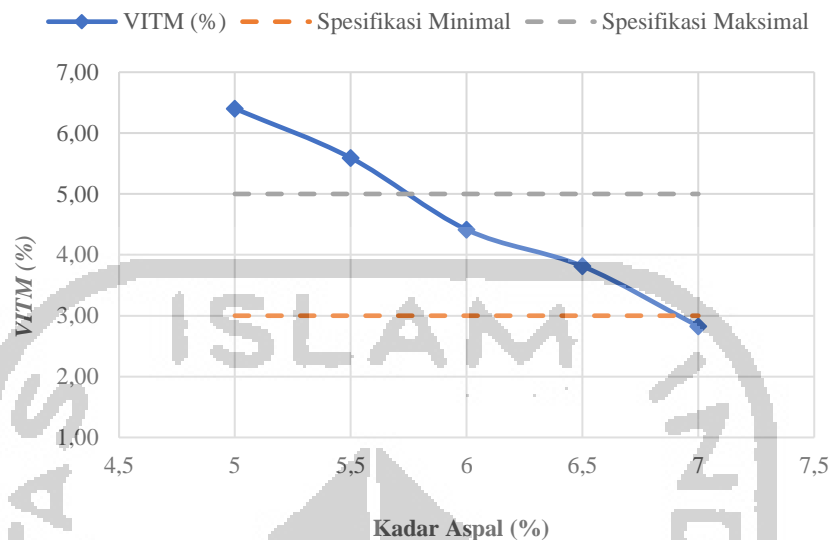


Gambar 5.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient*

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka semakin rendah pula nilai *MQ* nya hal ini disebabkan semakin tinggi kadar aspal semakin tinggi pula nilai *flow* pada campuran yang berarti fleksibilitas campuran menjadi semakin tinggi. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa campuran *superpave* memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu >250 kg/mm.

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

VITM adalah volume pori dalam aspal padat atau persen rongga terhadap agregat yang dinyatakan dalam bilangan bulat. *VITM* merupakan indikator dari durabilitas dan kemungkinan *bleeding*. *VITM* dibutuhkan sebagai tempat bergesernya agregat akibat beban lalu lintas yang berulang atau tempat aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Adapun nilai *VITM* yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

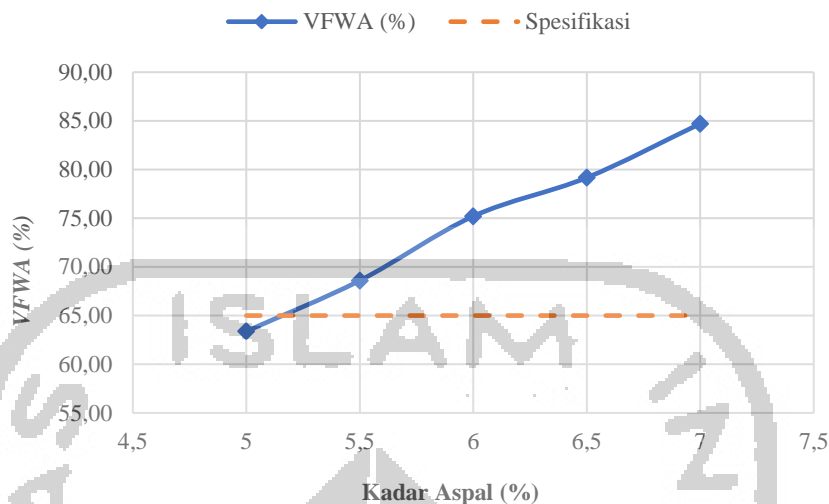


Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VITM

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui semakin tinggi kadar aspal maka semakin rendah pula nilai *VITM* campuran. Hal ini disebabkan semakin tinggi kadar aspal maka aspal akan semakin banyak yang mengisi rongga yang ada pada campuran. Semakin rendah *VITM* maka semakin tinggi resiko campuran mengalami *bleeding*. Berdasarkan grafik diatas didapatkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu pada kadar 5,75% sampai 6,9% dengan *VITM* sebesar 3% sampai dengan 5%.

5. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Void filled with asphalt adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh temperatur dan jumlah pemadatan yang dilakukan serta kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedekatan terhadap air dan udaranya tinggi, tetapi sebaliknya jika nilai *VFWA* rendah maka kedekatannya terhadap air dan udara juga rendah. Adapun nilai *VFWA* yang didapat bisa dilihat pada Gambar 5.7 berikut.

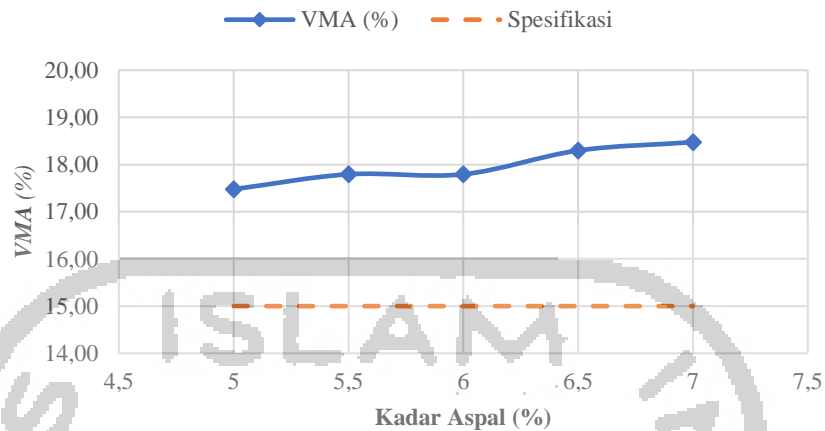


Gambar 5. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFWA

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai *VFWA* akan semakin besar pula. Hal ini disebabkan aspal yang mengisi rongga menjadi semakin banyak seiring dengan besarnya kadar aspal yang digunakan. Grafik diatas menunjukkan bahwa *VFWA* campuran *superpave* memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 pada kadar aspal 5,2% sampai 7% yaitu >65%.

6. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

Void in the mineral agregat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. *VMA* akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal atau agregat yang digunakan menggunakan gradasi terbuka. adapun nilai *VMA* hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

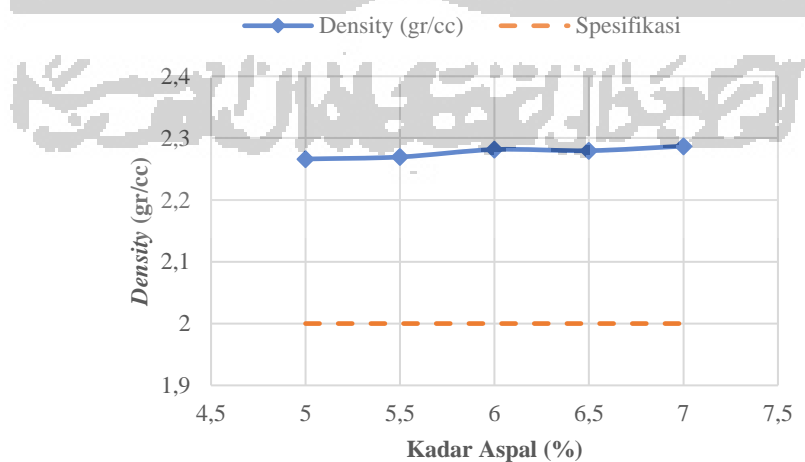


Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa semakin besar kadar aspal maka semakin besar pula nilai VMA. Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai VMA campuran memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>15\%$.

7. **Kepadatan (*Density*)**

Kepadatan (*density*) adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *density* adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai stabilitasnya maka semakin tinggi pula tingkat kepadatannya sampai pada kondisi maksimum. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan grafik nilai *density* sebagai berikut.



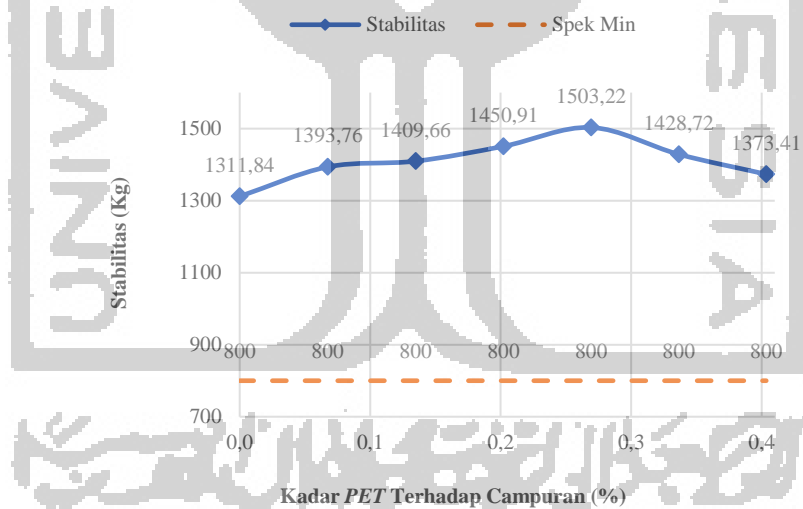
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Density*

Berdasarkan gambar di atas didapatkan nilai *density* campuran *superpave* mengalami kenaikan tetapi tidak cukup signifikan, hal ini disebabkan karena sifat aspal yang digunakan yang mudah cair sehingga menyebabkan *density* campuran menjadi lebih tinggi dan rapat.

5.2.6 Karakteristik *Marshall* Kondisi KAO untuk Menentukan Kadar *PET* Optimum

1. Stabilitas

Stabilitas pada saat kondisi KAO adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti alur, gelombang dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi dan beban lalu lintas yang akan dilayani oleh jalan tersebut. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium diperoleh nilai stabilitas seperti pada grafik pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Nilai Stabilitas Kondisi KAO

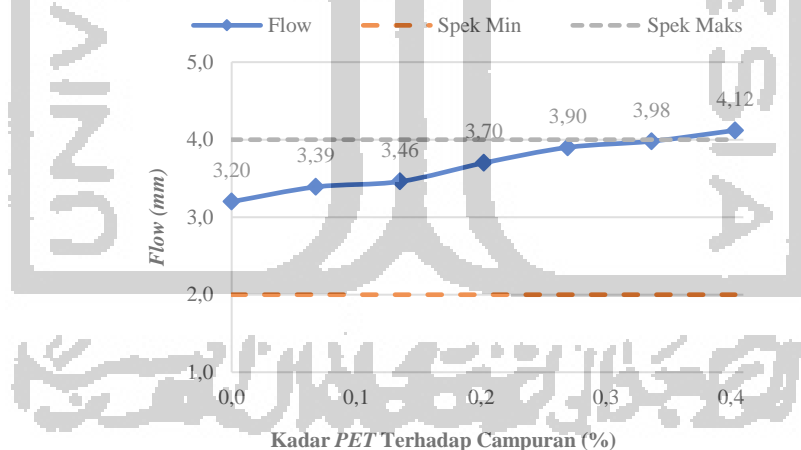
Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa seiring meningkatnya kadar *PET* yang digunakan maka stabilitasnya cenderung meningkat sampai optimum pada kadar *PET* 0,27% kemudian mengalami penurunan. Kenaikan stabilitas yang terjadi pada campuran cukup signifikan, dikarenakan gradasi campuran yang

baik serta penambahan *PET* yang bersifat plastis menambah daya ikat campuran dan meningkatkan stabilitasnya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Prameswari (2016) yang menunjukkan bahwa penambahan *PET* meningkatkan stabilitas campuran.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,00 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,00 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering sangat berpengaruh terhadap nilai stabilitas.

2. *Flow*

Kelelahan (*flow*) adalah angka yang menunjukkan besarnya penurunan vertikal pada benda uji, yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". *Flow* dibutuhkan agar perkerasan mempunyai daerah mulur akibat pembebanan. Pada saat terjadi pembebanan campuran mulur/memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak. Nilai *flow* akibat penambahan *PET* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Nilai *Flow* Kondisi KAO

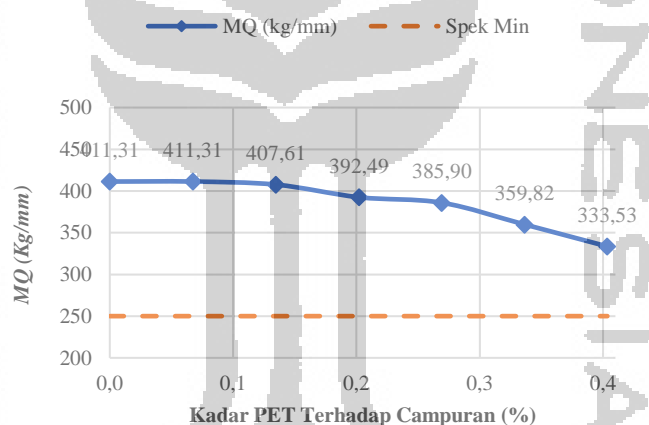
Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* cenderung mengalami peningkatan. Besar nilai *flow* dipengaruhi oleh besarnya kadar rongga dalam campuran, semakin banyak rongga yang tercipta menciptakan rongga-rongga yang nantinya dapat terisi oleh udara karena tidak terisi oleh

filler dan aspal. Hal ini berbeda dengan penelitian Prameswari (2016) yang menunjukkan nilai *flow* akibat penambahan *PET* mengalami penurunan.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,00 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,00 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering sangat berpengaruh terhadap nilai *flow*.

3. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan pendekatan terhadap kekakuan dan kelenturan dari suatu lapis perkerasan. Nilai *MQ* juga menunjukkan tingkat kelenturan suatu campuran. Semakin besar nilai *MQ* maka semakin getas campuran tersebut begitu pula sebaliknya. Hasil perhitungan nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



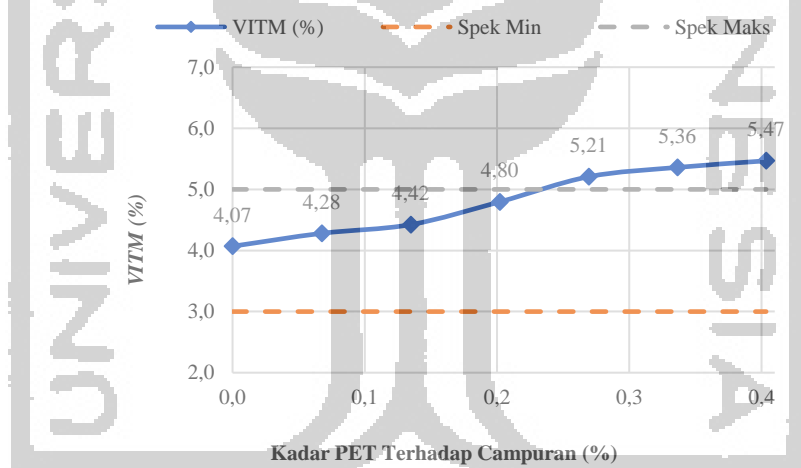
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Nilai *MQ* Kondisi KAO

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai *MQ* semakin menurun seiring bertambahnya kadar *PET* yang digunakan. Hal ini disebabkan semakin tingginya nilai *flow* dengan bertambahnya kadar *PET* yang menunjukkan bahwa campuran menjadi semakin lentur dan semakin tinggi fleksibilitasnya. Hal ini berbeda dengan penelitian Prameswari (2016) yang menunjukkan bahwa nilai *MQ* membentuk grafik parabola yang mengalami kenaikan terlebih dahulu baru kemudian mengalami penurunan.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,00 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,00 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering sangat berpengaruh terhadap nilai *MQ*.

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

VITM adalah volume pori dalam aspal padat atau persen rongga terhadap agregat yang dinyatakan dalam bilangan bulat. *VITM* merupakan indikator dari durabilitas dan kemungkinan *bleeding*. *VITM* dibutuhkan sebagai tempat bergesernya agregat akibat beban lalu lintas yang berulang atau tempat aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Nilai *VITM* dapat dilihat pada grafik di Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Nilai *VITM* Kondisi KAO

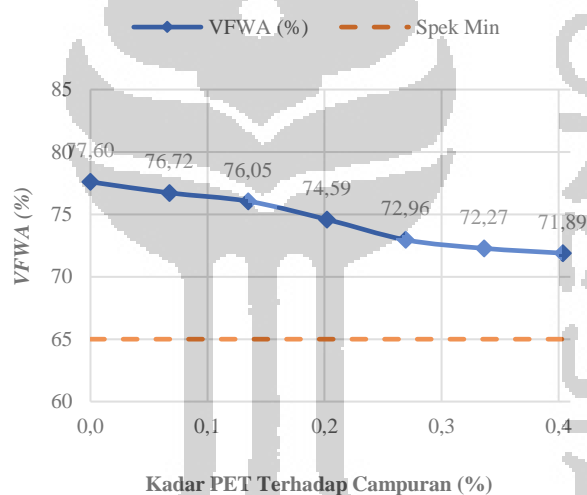
Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa seiring peningkatan kadar *PET* yang digunakan terjadi peningkatan *VITM*. Hal ini sejalan dengan penelitian Prameswari (2016), dimana nilai *VITM* mengalami kenaikan pada tiap penambahan *PET*. Hal ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih berongga dan tidak kedap air.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,122 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,122 < 0,05$

sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering tidak berpengaruh terhadap nilai *VITM*.

5. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Void filled with asphalt adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh temperatur dan jumlah pemadatan yang dilakukan serta kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedekatan terhadap air dan udaranya tinggi, tetapi sebaliknya jika nilai *VFWA* rendah maka kedekatannya terhadap air dan udara juga rendah. Nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



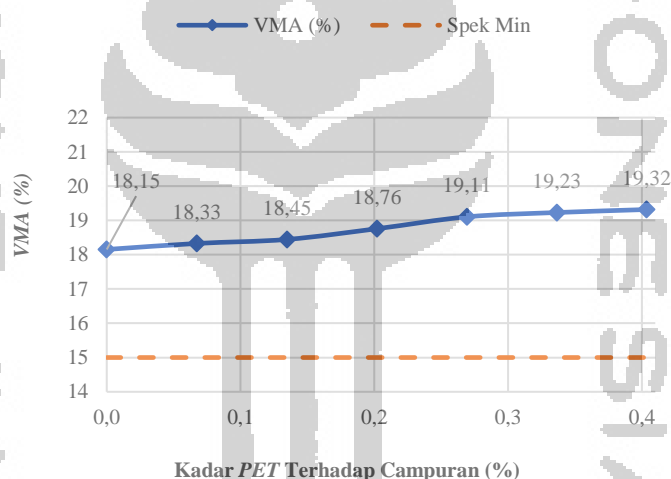
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Nilai *VFWA* Kondisi

KAO

Gambar 5.14 menunjukkan nilai *VFWA* seiring dengan penambahan kadar *PET* mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan penelitian Prameswari (2016) yang menunjukkan seiring dengan penambahan *PET* nilai *VFWA* mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih berongga. Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,116 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,116 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering tidak berpengaruh terhadap nilai *VFWA*.

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

Void in the mineral agregat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. *VMA* akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal atau agregat yang digunakan menggunakan gradasi terbuka. Apabila nilai *VMA* terlalu kecil maka akan berpengaruh terhadap durabilitas dan stabilitas aspal karena rongga yang terlalu kecil dan membatasi rongga yang bisa diisi oleh aspal, sebaliknya jika *VMA* terlalu besar maka menyebabkan kemampuan agregat untuk saling mengisi dan saling mengunci menjadi menurun. Adapun nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



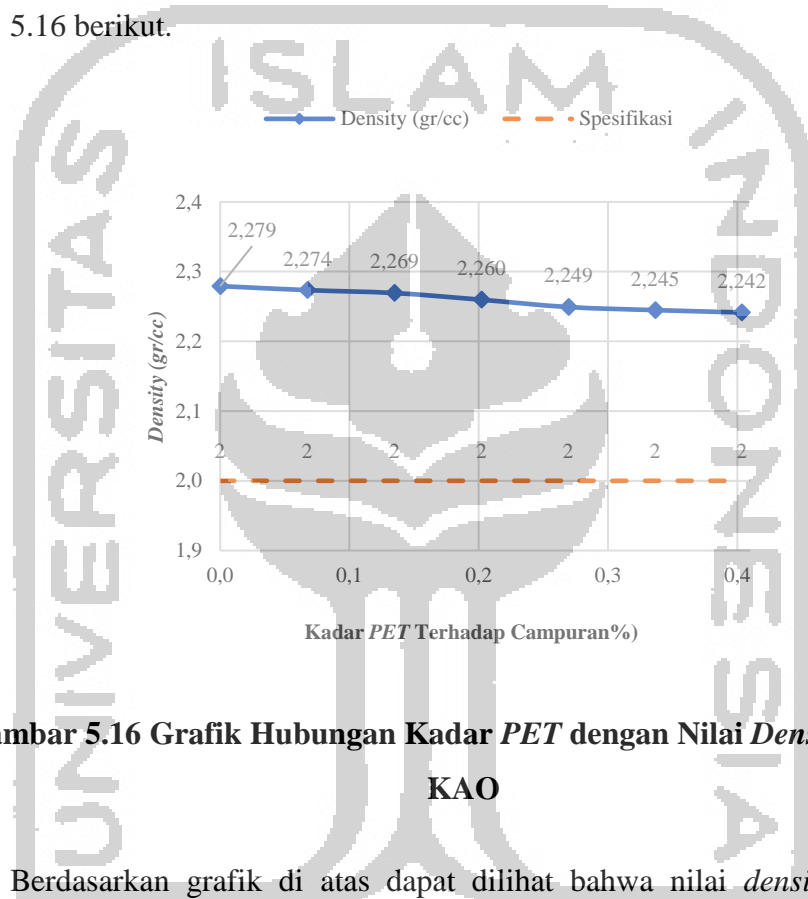
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Nilai *VMA* Kondisi KAO

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui nilai *VMA* memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 dan nilai *VMA* mengalami kenaikan. Hal ini sejalan dengan penelitian Prameswari (2016) yang menunjukkan bahwa seiring bertambahnya kadar *PET* yang digunakan maka semakin naik pula nilai *VMA*.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,136 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,136 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering tidak berpengaruh terhadap nilai *VMA*.

7. *Density*

Density adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *density* adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal. Adapun nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Nilai *Density* Kondisi KAO

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai *density* mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar *PET*. Hal ini disebabkan penambahan *PET* menyebabkan meningkatnya rongga yang menyebabkan kerapatan campuran menjadi menurun meskipun tidak terlalu signifikan.

Hasil signifikansi dengan statistik *Anova* menghasilkan nilai sebesar 0,057 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,057 > 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering agak berpengaruh terhadap nilai *density*.

5.2.7 Karakteristik *Marshall* pada Campuran *Superpave* dengan Bahan Tambah *PET* dan Non-*PET*.

Uji *Marshall* dimaksudkan untuk untuk mengetahui kinerja dari campuran. Adapun parameter dari uji *Marshall* diantaranya yaitu : stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void filled with Ashphalt*), *VMA* (*Void in the Mineral Agregat*) dan kepadatan (*Density*). Adapun untuk hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

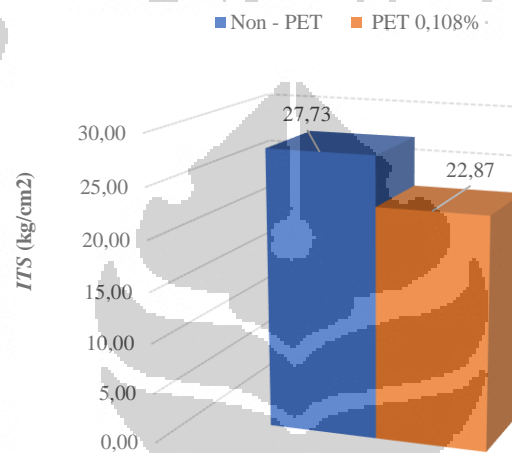
Tabel 5.11 Karakteristik *Marshall* dengan Bahan Tambah *PET* dan Non-*PET*

Kadar <i>PET</i> Terhadap Campuran (%)	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)
0,000	1348,10	3,33	405,35	3,87	78,57	17,98	2,283
0,108	1402,45	3,41	411,31	4,67	75,07	18,66	2,264
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3,0-5,0	>65	>15	>2

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa secara keseluruhan dengan adanya penambahan *PET* meyebabkan stabilitas, *flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA* mengalami kenaikan sedangkan untuk *VFWA* dan *density* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penambahan *PET* menyebabkan rongga pada campuran menjadi meningkat yang menyebabkan *VITM* dan *flow* menjadi meningkat dan menurunkan nilai *density* yang melemahkan campuran meskipun tidak signifikan. Serta membuat campuran menjadi lebih getas ditandai dengan nilai *MQ* yang meningkat meskipun tidak signifikan. Berdasarkan analisis statistik *T-test* dapat diketahui bahwa stabilitas mengalami perubahan secara signifikan hal ini dapat dilihat dari nilai signifikansinya $0,032 < 0,05$ sehingga diketahui penambahan *PET* menyebabkan perubahan yang signifikan pada stabilitas, sedangkan karakteristik *Marshall* lainnya mengalami perubahan yang tidak signifikandengan nilai signifikansi $> 0,05$.

5.2.8 Karakteristik *Indirect Tensile Strength* Campuran *Superpave* dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET*

Indirect tensile strength adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Adapun hasil pengujian *ITS* dengan penambahan *PET* dan *Non-PET* dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



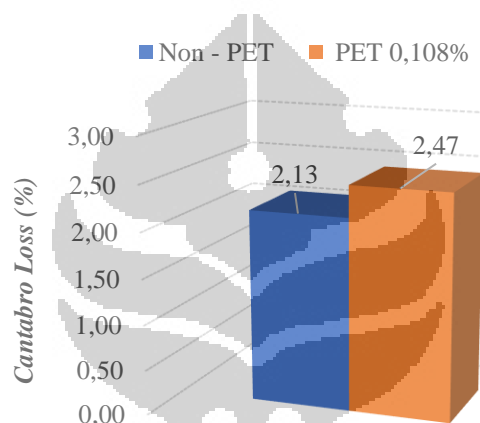
Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Campuran dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET* Terhadap Nilai *ITS*

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *PET* menyebabkan campuran menjadi lebih getas dan mudah retak. Hal ini menunjukkan dengan adanya penambahan *PET* campuran menjadi lebih mudah retak.

Hasil signifikansi dengan statistik *T-test* menghasilkan nilai sebesar 0,104 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,104 > 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering tidak berpengaruh terhadap nilai *ITS*.

5.2.9 Karakteristik *Cantabro* Campuran *Superpave* dengan Bahan Tambah *PET* dan Non-*PET*

Pengujian *cantabro* bertujuan untuk menggambarkan tingkat ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang ulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Adapun hasil pengujian *Cantabro* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Campuran dengan Bahan Tambah *PET* dan Non-*PET* Terhadap Nilai *Cantabro*

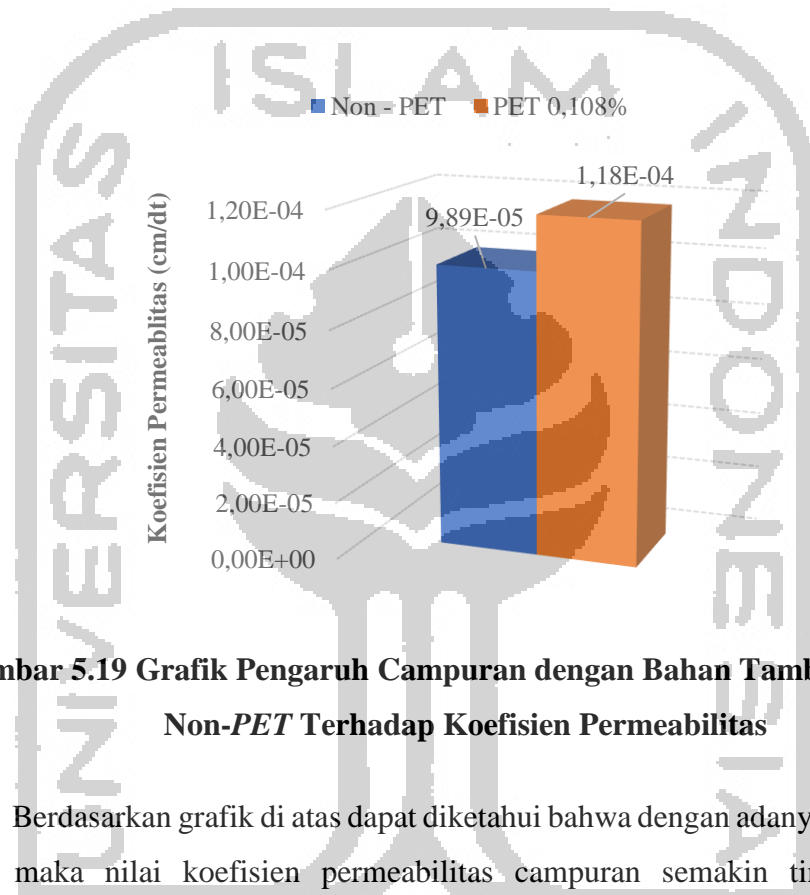
Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *PET* pada campuran menyebabkan nilai *cantabro loss* menjadi semakin besar. Hal ini menunjukkan dengan penambahan *PET* campuran menjadi lebih mudah aus.

Hasil signifikansi dengan statistik *T-test* menghasilkan nilai sebesar 0,409 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,409 > 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering tidak berpengaruh terhadap nilai *Cantabro*.

5.2.10 Karakteristik Permeabilitas Campuran *Superpave* dengan Bahan Tambah *PET* dan Non-*PET*

Permeabilitas adalah kemampuan media yang porous untuk mengalirkan fluida. Setiap material dengan ruang kosong diantaranya disebut porous, dan apabila

ruang kosong itu saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Material dengan ruang kosong yang lebih besar biasanya memiliki angka pori yang lebih besar pula. Oleh karena itu pengujian permeabilitas campuran aspal penting untuk dilakukan agar mampu menghasilkan perkerasan dengan ketahanan yang baik. Adapun hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Pengaruh Campuran dengan Bahan Tambah *PET* dan Non-*PET* Terhadap Koefisien Permeabilitas

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *PET* maka nilai koefisien permeabilitas campuran semakin tinggi. Hal ini menunjukkan penambahan *PET* meningkatkan jumlah rongga pada campuran sehingga campuran menjadi lebih mudah melewatkan air.

Hasil signifikansi dengan statistik *T-test* menghasilkan nilai sebesar 0,459 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan $0,459 > 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *PET* dengan pencampuran kering tidak berpengaruh terhadap nilai koefisien permeabilitas.

5.3 Tinjauan Karakteristik Campuran *Superpave* dengan Menggunakan *PET* sebagai Bahan Tambah Campuran Aspal

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data dapat diketahui bahwa penambahan *PET* dengan kadar optimum sebesar 0,108% terhadap berat campuran menyebabkan kenaikan pada stabilitas benda uji yang menunjukkan penambahan *PET* yang bersifat plastis meningkatkan daya ikat campuran sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan secara signifikan berdasarkan analisis statistik *T-test*. Akan tetapi ada parameter kerja yang tidak ditambahkan pada penelitian ini yakni uji *Indirect Retained Strength (IRS)* untuk mengetahui kemampuan benda uji dalam menerima beban pada suhu ekstrem. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Suhardi (2016) dan Puspitasari (2018) yang menunjukkan bahwa penambahan *PET* meningkatkan stabilitas campuran dan meningkatkan volume rongga pada campuran, akan tetapi hasil ini berbeda dengan hasil penelitian Nasution (2017) yang menunjukkan bahwa rongga campuran menjadi menurun dikarenakan perbedaan metode pencampuran yang digunakan.