

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK MATERIAL

Uji pendahuluan dilakukan sebelum memulai penelitian ini guna memastikan material yang digunakan dalam rangkaian pengujian yang akan dilaksanakan telah memenuhi standarisasi dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3, uji pendahuluan meliputi :

1. Pengujian karakteristik untuk aspal Pen 60/70 Pertamina serta agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang berasal dari Sungai Clereng.
2. Pengujian karakteristik Agregat Kasar, Agregat Halus dan Aspal Bekas yang didapatkan dari proses destilasi dari material *RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)* yang berasal dari pengerukan dengan sistem *cold miling* di ruas Jalan Ring Road Selatan, D.I Yogyakarta.

Rangkaian pengujian dikerjakan di Laboratorium Jalan Raya Prodi Teknik Sipil FTSP UII, Yogyakarta dan Laboratorium Transportasi FTSL UGM, Yogyakarta.

5.1.1 Agregat Kasar Sungai Clereng

Pengujian agregat kasar meliputi uji berat jenis, penyerapan agregat halus terhadap air, kelekatan agregat terhadap aspal dan keausan agregat dengan mesin *Los Angeles*.

Rekapitulasi hasil pengujian dari agregat kasar yang berasal dari Sungai Clereng dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan detail hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar Sungai Clereng

No	Jenis Pengujian	Satuan	Nilai persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis (<i>specific gravity</i>)	-	>2,5	2,68	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air	%	<3	1,935	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar Sungai Clereng

No	Jenis Pengujian	Satuan	Nilai persyaratan	Hasil	Keterangan
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	%	>95	98	Memenuhi
4	Keuasan dengan <i>Los Angeles</i> (500 putaran)	%	<40%	14,2	Memenuhi

Berikut pembahasan terhadap hasil pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam pengujian ini.

1. Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) merupakan perbandingan relatif antara berat volume material dengan berat volume air pada kondisi dan temperatur yang sama, nilai berat jenis agregat kasar penting dalam perencanaan campuran, karena berat jenis menentukan kebutuhan aspal yang digunakan dalam campuran nantinya, semakin kecil nilai berat jenis artinya semakin banyak pori yang terdapat pada material sehingga menyebabkan kebutuhan terhadap pemakaian aspal semakin tinggi, begitupun sebaliknya.

Hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar adalah sebesar 2,68 hasil ini telah memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga yaitu >2,5.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat dalam menyerap air yang masuk melalui rongga ataupun pori yang terdapat padanya, artinya semakin besar pori atau rongga yang terdapat didalam agregat maka semakin besar kemampuan agregat dalam menyerap air hal ini berbanding lurus dengan kemampuannya dalam menyerap aspal sehingga aspal yang dibutuhkan dalam campuran akan semakin meningkat.

Berdasarkan peraturan spesifikasi Bina Marga 2010 kemampuan penyerapan air tidak boleh lebih dari 3%, hasil pengujian menunjukkan nilai penyerapan sebesar 1,935% < 3% maka hasil ini telah memenuhi persyaratan spesifikasi.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal dalam persen, menurut SNI 2439:2011 pengujian ini tidak mempengaruhi kinerja dilapangan sehingga termasuk uji boleh – tidak boleh (*go-no go test*), dari hasil pengujian didapatkan persentase luas permukaan yang terselimuti aspal sebesar 98%, hal ini memenuhi persyaratan dari Bina Marga 2010 yaitu >95%.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat dalam meghadapi penghancuran oleh mesin *Los Angeles*. Besarnya keausan ditentukan berdasarkan perbandingan berat material lolos saringan no. 12 terhadap berat awal, hasil pengujian keausan yang dilakukan mendapat hasil sebesar 14,2%, hal ini menunjukkan bahwa agregat memenuhi spesifikasi keausan yang diberikan oleh Bina Marga 2010 sebesar <40% untuk campuran dengan gradasi lainnya.

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Halus Sungai Clereng

Pengujian agregat halus meliputi uji berat jenis, penyerapan agregat terhadap air dan *sand equivalent*.

Rekapitulasi hasil pengujian dari agregat halus yang berasal dari Sungai Clereng dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan detail hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus Sungai Clereng

No	Jenis Pengujian	Satuan	Nilai persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis (<i>specific gravity</i>)	-	>2,5	2,699	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air	%	<3	2,35	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i>	%	>50	92,96	Memenuhi

Berikut pembahasan dari hasil pengujian agregat halus yang berasal dari Sungai Clereng.

1. Berat Jenis (*specific gravity*)

Sama dengan berat jenis agregat kasar, tujuan pengujian dari berat jenis agregat halus merupakan perbandingan relatif berat volume agregat halus dengan berat

volume air pada kondisi dan temperatur yang sama, berdasarkan hasil dari pengujian maka didapatkan nilai berat jenis agregat halus sebesar 2,699, ini menunjukkan hasil yang didapat dari pengujian telah memenuhi standar Bina Marga 2010 yang sebesar $>2,5$ sehingga agregat halus yang berasal dari Sungai Clereng dapat digunakan dalam campuran.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat halus dalam menyerap air yang masuk melalui pori atau rongga yang ada, semakin besar nilai penyerapan yang dinyatakan dalam persen maka semakin banyak aspal yang dibutuhkan dalam campuran, begitupun sebaliknya semakin kecil kemampuan agregat dalam menyerap air maka semakin sedikit aspal yang dibutuhkan dalam campuran, hasil yang didapat dari hasil pengujian ini sebesar 2,35%, nilai ini telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yang sebesar $<3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Pengujian *Sand Equivalent* memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat halus terhadap kandungan lumpur, debu atau kotoran lainnya. Apabila terlalu banyak kotoran yang terdapat pada agregat halus maka akan mempengaruhi kemampuan aspal untuk melekat dalam campuran, hasil yang didapat dari pengujian *sand equivalent* sebesar 92,96% lebih besar dari 50% yang ditetapkan oleh Bina Marga 2010, maka pengujian *sand equivalent* agregat halus telah memenuhi spesifikasi.

5.1.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar Ruas Ring Road Selatan

Pengujian agregat kasar meliputi uji berat jenis, penyerapan agregat halus terhadap air, kelekatan agregat terhadap aspal dan keausan agregat dengan mesin *Los Angeles*.

Rekapitulasi hasil pengujian dari agregat kasar yang berasal dari ruas Jalan Ring Road Selatan dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan detail hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar Ruas Ring Road Selatan

No	Jenis Pengujian	Satuan	Nilai persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis (<i>specific gravity</i>)	-	>2,5	2,65	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air	%	<3	2,83	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	%	>95	96	Memenuhi
4	Keuasan dengan <i>Los Angeles</i> (500 putaran)	%	<40%	20,613	Memenuhi

Berikut pembahasan terhadap hasil pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam pengujian ini.

1. Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) merupakan perbandingan relatif antara berat volume material dengan berat volume air pada kondisi dan temperatur yang sama, nilai berat jenis agregat kasar penting dalam perencanaan campuran, karena berat jenis menentukan kebutuhan aspal yang digunakan dalam campuran nantinya, semakin kecil nilai berat jenis artinya semakin banyak pori yang terdapat pada material sehingga menyebabkan kebutuhan terhadap pemakaian aspal semakin tinggi, begitupun sebaliknya.

Hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar adalah sebesar 2,65 hasil ini telah memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga yaitu <3.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat dalam menyerap air yang masuk melalui rongga ataupun pori yang terdapat padanya, artinya semakin besar pori atau rongga yang terdapat didalam agregat maka semakin besar kemampuan agregat dalam menyerap air hal ini berbanding lurus dengan kemampuannya dalam menyerap aspal sehingga aspal yang dibutuhkan dalam campuran akan semakin meningkat.

Berdasarkan peraturan spesifikasi Bina Marga 2010 kemampuan penyerapan air tidak boleh lebih dari 3%, hasil pengujian menunjukkan nilai penyerapan sebesar $2,83\% < 3\%$ maka hasil ini telah memenuhi persyaratan spesifikasi.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal dalam persen, menurut SNI 2439:2011 pengujian ini tidak mempengaruhi kinerja dilapangan sehingga termasuk uji boleh – tidak boleh (*go-no go test*), dari hasil pengujian didapatkan persentase luas permukaan yang terselimuti aspal sebesar 96%. Hal ini memenuhi persyaratan dari Bina Marga 2010 yaitu $>95\%$.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat dalam menghadapi penghancuran oleh mesin *Los Angeles*. Besarnya keausan ditentukan berdasarkan perbandingan berat material lolos saringan no. 12 terhadap berat awal, hasil pengujian keausan yang dilakukan mendapat hasil sebesar 20,61%, hal ini menunjukkan bahwa agregat memenuhi spesifikasi keausan yang diberikan oleh Bina Marga 2010 sebesar $<40\%$ untuk campuran dengan gradasi lainnya.

5.1.4 Hasil Pengujian Agregat Halus Ruas Ring Road Selatan

Pengujian agregat halus meliputi uji berat jenis, penyerapan agregat terhadap air dan *sand equivalent*.

Rekapitulasi hasil pengujian dari agregat halus yang berasal dari Sungai Clereng dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan detail hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus Ruas Ring Road Selatan

No	Jenis Pengujian	Satuan	Nilai persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis (<i>specific gravity</i>)	-	$>2,5$	2,584	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air	%	<3	2,93	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i>	%	>50	88,18	Memenuhi

Berikut pembahasan dari hasil pengujian agregat halus yang berasal dari Sungai Clereng.

1. Berat Jenis (*specific gravity*)

Sama dengan berat jenis agregat kasar, tujuan pengujian dari berat jenis agregat halus merupakan perbandingan relatif berat volume agregat halus dengan berat volume air pada kondisi dan temperatur yang sama, berdasarkan hasil dari pengujian maka didapatkan nilai berat jenis agregat halus sebesar 2,584, ini menunjukkan hasil yang didapat dari pengujian telah memenuhi standar Bina Marga 2010 yang sebesar $>2,5$ sehingga agregat halus yang berasal dari Sungai Clereng dapat digunakan dalam campuran.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat halus dalam menyerap air yang masuk melalui pori atau rongga yang ada, semakin besar nilai penyerapan yang dinyatakan dalam persen maka semakin banyak aspal yang dibutuhkan dalam campuran, begitupun sebaliknya semakin kecil kemampuan agregat dalam menyerap air maka semakin sedikit aspal yang dibutuhkan dalam campuran, hasil yang didapat dari hasil pengujian ini sebesar 2,93%, nilai ini telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yang sebesar $<3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Pengujian *Sand Equivalent* memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat halus terhadap kandungan lumpur, debu atau kotoran lainnya. Apabila terlalu banyak kotoran yang terdapat pada agregat halus maka akan mempengaruhi kemampuan aspal untuk melekat dalam campuran, hasil yang didapat dari pengujian *sand equivalent* sebesar 88,18% lebih besar dari 50% yang ditetapkan oleh Bina Marga 2010, maka pengujian *sand equivalent* agregat halus telah memenuhi spesifikasi.

5.1.5 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

Rekapitulasi dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 5.5 dan detailnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 0,1	1,08	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 - 70	61,5	Memenuhi
3	Daktalitas (cm)	> 100	164	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	> 232	275 °C	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	> 99	99,17	Memenuhi
6	Titik Lembek (°C)	> 48	49	Memenuhi

Berikut pembahasan dari rekapitulasi hasil pengujian aspal bekas yang berasal dari PT. Pertamina.

1. Penetrasi

Uji penetrasi bertujuan untuk mengetahui kekasaran relatif suatu semen aspal dengan cara menusukkan jarum secara tegak lurus di bawah suhu, pembebanan dan waktu yang diketahui, semakin besar nilai penetrasi artinya aspal semakin lunak, begitupun sebaliknya. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan nilai penetrasi aspal Pen 60/70 sebesar 61,5 mm

2. Titik Lembek

Titik lembek adalah suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal atau ter tersebut menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, akibat pemanasan tertentu.

Aspal dengan titik lembek yang lebih rendah artinya temperatur yang dibutuhkan untuk pencampuran dengan agregat dalam pemadatan aspal lebih rendah, begitupun sebaliknya.

Hasil yang didapatkan dari hasil pengujian titik lembek sebesar 49°C

3. Berat Jenis

Berat jenis bitumen adalah perbandingan antara berat bitumen terhadap air suling pada suhu tertentu dengan volume yang sama. Berat jenis aspal

merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam mendesain perencanaan campuran aspal dan agregat, berdasarkan hasil pengujian berat jenis aspal Pen 60/70 didapatkan nilai berat jenis sebesar 1,08, nilai ini lebih besar dari persyaratan minimum yang ditetapkan sebesar 0,1.

4. Daktalitas

Pengujian daktalitas aspal yaitu untuk menentukan keplastisan suatu aspal, apabila digunakan nantinya aspal tidak retak. Percobaan ini dilakukan dengan cara menarik benda uji berupa aspal dengan kecepatan 50 mm/menit pada suhu 25°C dengan toleransi $\pm 5\%$, berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai daktalitas aspal Pen 60/70 sebesar 164 cm, nilai ini memenuhi spesifikasi sebesar >100 cm.

5. Titik Nyala

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan lainnya yang mempunyai titik nyala open cup kurang dari 79°C. Titik nyala adalah suhu yang terjadi pada saat terlihat nyala api singkat pada suatu titik diatas permukaan aspal. Berdasarkan hasil pengujian titik nyala aspal Pen 60/70 adalah sebesar 275°C, nilai ini sesuai dengan persyaratan minimum titik nyala sebesar 232°C.

6. Kelarutan Dalam TCE

Uji kelarutan aspal ini dilakukan untuk menentukan derajat kelarutan dalam trichloroethylene (TCE) pada bahan aspal yang tidak atau sedikit mengandung mineral. Hasil pengujian menunjukkan nilai kelarutan aspal Pen 60/70 dalam larutan TCE adalah 99,17%, nilai ini memenuhi spesifikasi sebesar minimum 99%.

5.1.6 Hasil Pengujian Aspal RAP

Aspal RAP didapatkan dari proses destilasi material RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) menggunakan larutan TCE (*Tri Chlorine Etylene*) selama ± 15 menit pemanasan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil FTSP UII, setelah aspal didapatkan dilanjutkan dengan proses pendinginan selama 24 jam.

Pengujian aspal *RAP* meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, kadar aspal pada agregat dan uji daktalitas.

Rekapitulasi dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 5.6 dan detailnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal Bekas

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar	Hasil
1	Penetrasi	0,1 mm	SNI 06-2456-1991	52
2	Titik Lembek	°C	SNI 06-2434-1991	55
3	Kadar Aspal	%		5,57%

Berikut pembahasan dari rekapitulasi hasil pengujian aspal bekas yang berasal dari ruas Jalan Ring Road Selatan.

1. Penetrasi

Uji penetrasi bertujuan untuk mengetahui kekasaran relatif suatu semen aspal dengan cara menusukkan jarum secara tegak lurus di bawah suhu, pembebanan dan waktu yang diketahui, semakin besar nilai penetrasi artinya aspal semakin kasar, begitupun sebaliknya. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan nilai penetrasi aspal *RAP* sebesar 7,04 mm

2. Titik Lembek

Titik lembek adalah suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal atau ter tersebut menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, akibat pemanasan tertentu.

Aspal dengan titik lembek yang lebih rendah artinya temperatur yang dibutuhkan untuk pencampuran dengan agregat dalam pemadatan aspal lebih rendah, begitupun sebaliknya.

Hasil yang didapatkan dari hasil pengujian titik lembek sebesar 49°C

3. Kadar Aspal

Pengujian kadar aspal dilakukan untuk mengetahui banyaknya aspal yang terkandung dalam material campuran *RAP*, data kadar aspal yang didapatkan akan digunakan untuk menentukan komposisi campuran yang akan dibuat, hasil pengujian kadar aspal menunjukkan nilai sebesar 7,48%.

5.2 HASIL UJI MARSHALL UNTUK MENDAPATKAN NILAI KAO

Penentuan nilai kadar aspal optimum dilakukan menggunakan uji *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, dengan variasi *rejuvenator* berupa minyak goreng bekas dengan variasi 0%, 2,69%, 5,37%, 8,06% dan 10,74%, sehingga didapatkan nilai KAO sebanyak 5 macam.

Nilai-nilai karakteristik yang diperoleh dari uji *Marshall* antara lain stabilitas, *flow*, *VMA*, *VFWA*, *VIM*, *MQ* serta kepadatan, menggunakan jenis campuran *AC-WC* dengan bahan ikat utama berupa aspal Pen 60/70 Pertamina dengan komposisi 70% dan material *RAP* dengan komposisi 30%.

Nilai-nilai karakteristik yang didapatkan selanjutnya akan di cek spesifikasinya sesuai dengan standar yang ditetapkan Bina Marga 2010 Rev 3, rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* untuk memperoleh nilai KAO dapat dilihat pada Tabel 5.7

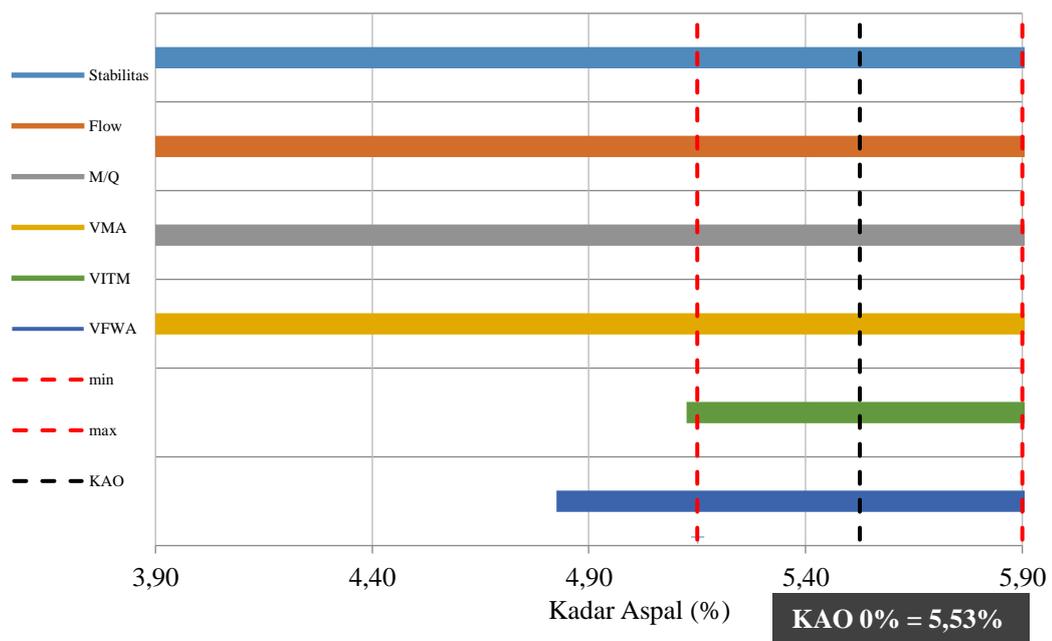
Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai-nilai Karakteristik *Marshall*

Spesifikasi Bina Marga 2010		> 800	2 - 4	-	3 - 5	65	15	-
Kadar Peremaja	Kadar Aspal	Stabilitas	<i>Flow</i>	<i>MQ</i>	<i>VITM</i>	<i>VFWA</i>	<i>VMA</i>	<i>Density</i>
%	%	kg	mm	kg/mm	%	%	%	gr/cc
0	3,9	1768,76	3,51	503,72	4,80	68,45	14,87	2,37
	4,4	2106,02	4,49	467,48	5,00	69,27	16,08	2,35
	4,9	2192,77	4,75	461,61	4,17	75,28	16,38	2,36
	5,4	1816,74	5,58	325,87	4,72	73,59	17,87	2,33
	5,9	2069,96	5,38	385,10	3,97	78,25	18,23	2,33
2,69	3,9	1472,25	2,99	490,58	5,28	65,48	15,30	2,36
	4,4	2073,70	3,69	565,81	4,53	71,09	15,67	2,36
	4,9	1897,84	4,13	486,05	3,61	77,30	15,89	2,37
	5,4	1662,76	4,28	388,48	3,35	79,92	16,69	2,36
	5,9	2003,93	5,18	386,18	2,31	86,28	16,82	2,37
5,37	3,9	1183,83	2,73	430,86	6,44	60,79	16,33	2,33
	4,4	1567,75	2,95	531,97	4,39	71,77	15,54	2,37
	4,9	1780,26	3,35	531,76	3,46	78,09	15,76	2,37
	5,4	1497,34	3,65	410,52	4,30	75,51	17,51	2,34
	5,9	1886,48	5,70	329,83	3,24	81,58	17,61	2,35

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai-nilai Karakteristik Marshall

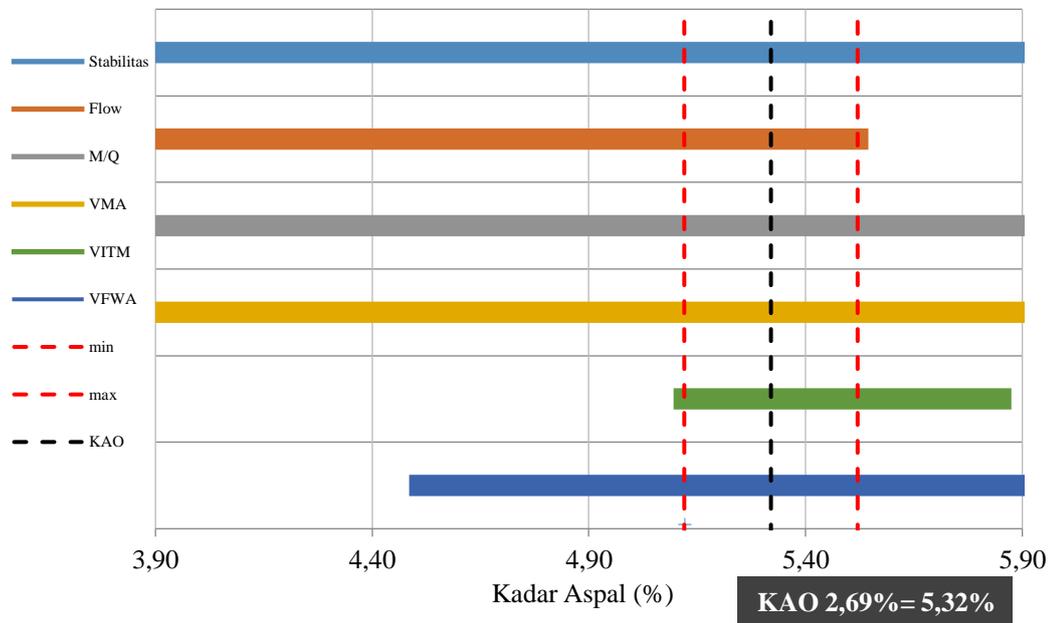
Spesifikasi Bina Marga 2010		> 800	2 - 4	-	3 - 5	65	15	-
Kadar Peremaja	Kadar Aspal	Stabilitas	Flow	MQ	VITM	VFW A	VMA	Density
%	%	kg	mm	kg/mm	%	%	%	gr/cc
8,06	3,9	1183,02	3,00	414,96	6,13	62,05	16,05	2,34
	4,4	1662,24	3,95	421,79	4,69	70,37	15,81	2,36
	4,9	1398,90	3,37	486,69	4,66	72,38	16,81	2,34
	5,4	1347,76	3,73	365,75	3,47	79,58	16,79	2,36
	5,9	1650,02	4,94	341,76	2,05	87,97	16,60	2,37
10,74	3,9	1171,37	2,90	560,19	7,72	55,88	17,48	2,30
	4,4	1268,79	3,65	347,60	5,28	67,77	16,33	2,34
	4,9	1220,88	4,00	317,34	4,92	71,19	17,03	2,34
	5,4	1182,55	3,45	360,25	3,34	80,04	16,68	2,36
	5,9	1391,23	3,85	400,23	2,39	86,21	16,88	2,37

Setelah mendapatkan nilai stabilitas, *flow*, *VITM*, *VFWA*, *VIM*, *MQ* dan *Density*, hal selanjutnya yang perlu dilakukan adalah meletakkan nilai-nilai yang masuk dalam spesifikasi ke dalam grafik yang terdapat pada Gambar 5.1- 5.5, nilai kadar aspal optimum (KAO) didapatkan dari batas tengah dari nilai maksimum dan minimum karakteristik yang sesuai dengan spesifikasi.



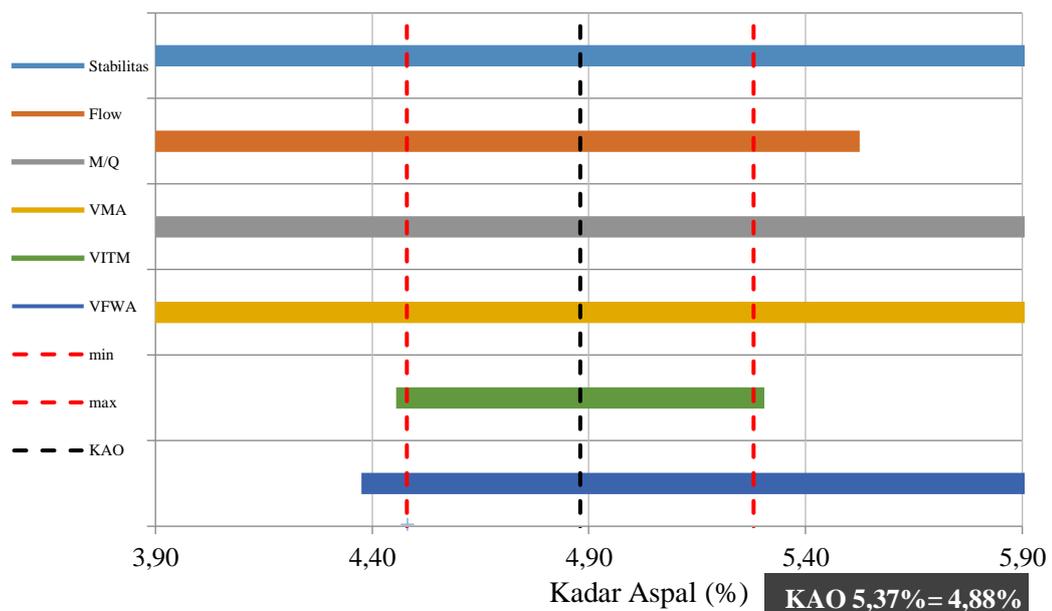
Gambar 5.1 Grafik Kadar Aspal Otimum WCO 0%

Dari grafik di atas maka didapatkan nilai kadar aspal optimum untuk kadar peremeja 0% sebesar 5,53%.



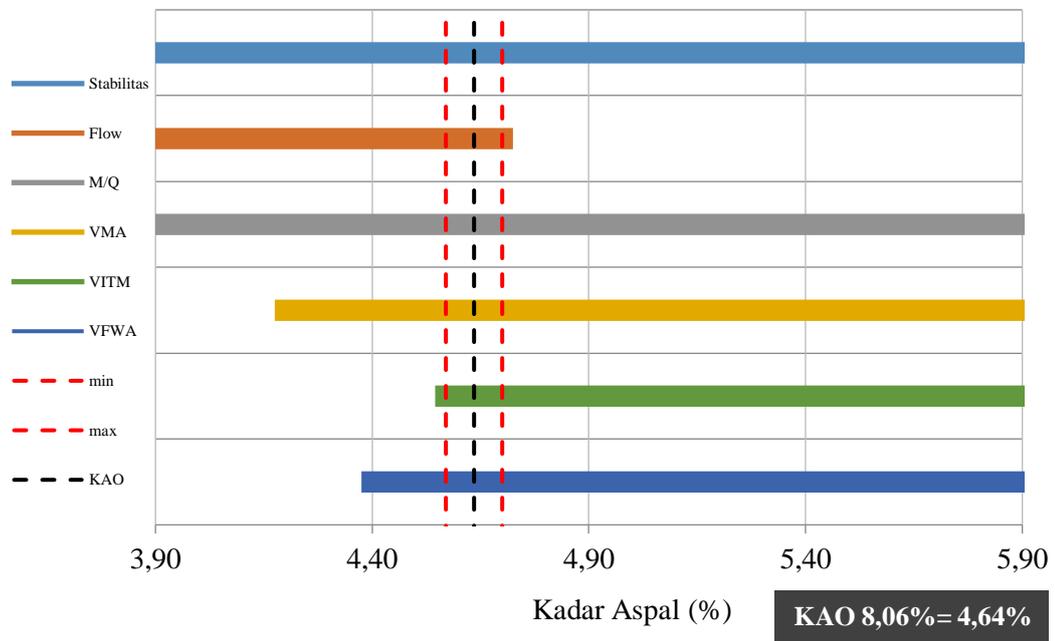
Gambar 5.2 Grafik Kadar Aspal Optimum WCO 2,69%

Dari grafik di atas maka didapatkan nilai kadar aspal optimum untuk kadar peremeja 5,37% sebesar 4,88%.



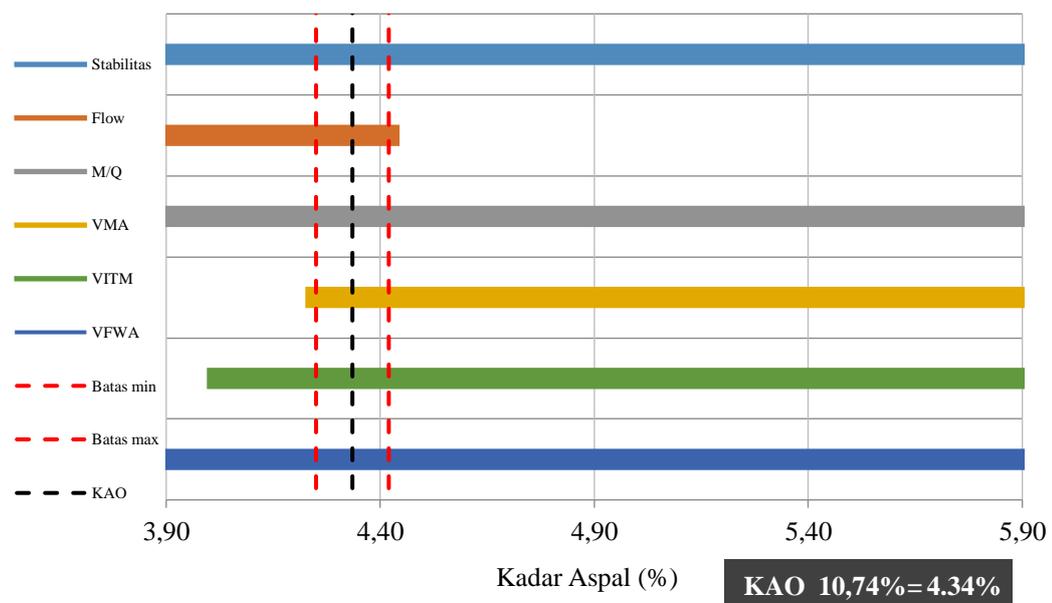
Gambar 5.3 Grafik Kadar Aspal Optimum WCO 5,37%

Dari grafik di atas maka didapatkan nilai kadar aspal optimum untuk kadar peremeja 5,37% sebesar 4,88%.



Gambar 5.4 Grafik Kadar Aspal Otimum WCO 8,06%

Dari grafik di atas maka didapatkan nilai kadar aspal optimum untuk kadar peremeja 8,06% sebesar 4,64%.



Gambar 5.5 Grafik Kadar Aspal Otimum WCO 10,74%

Dari grafik di atas maka didapatkan nilai kadar aspal optimum untuk kadar peremeja 10,74% sebesar 4,34%.

5.3 PENGUJIAN KARAKTERISTIK MARSHALL

5.3.1 Hasil Uji

Uji *Marshall* dilakukan pada campuran AC-WC menggunakan kadar *RAP* sebesar 30% dengan variasi kadar peremeja berupa *waste cooking oil (WCO)* 0%, 2,69%, 5,37%, 8,06% dan 10,74% yang ditinjau terhadap nilai stabilitas, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *MQ* serta *density*. Nilai kadar aspal optimum yang dipakai antara lain 5,53%, 5,32%, 4,88%, 4,64% dan 4,34%.

Hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan hasil uji selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Uji *Marshall* pada kondisi KAO

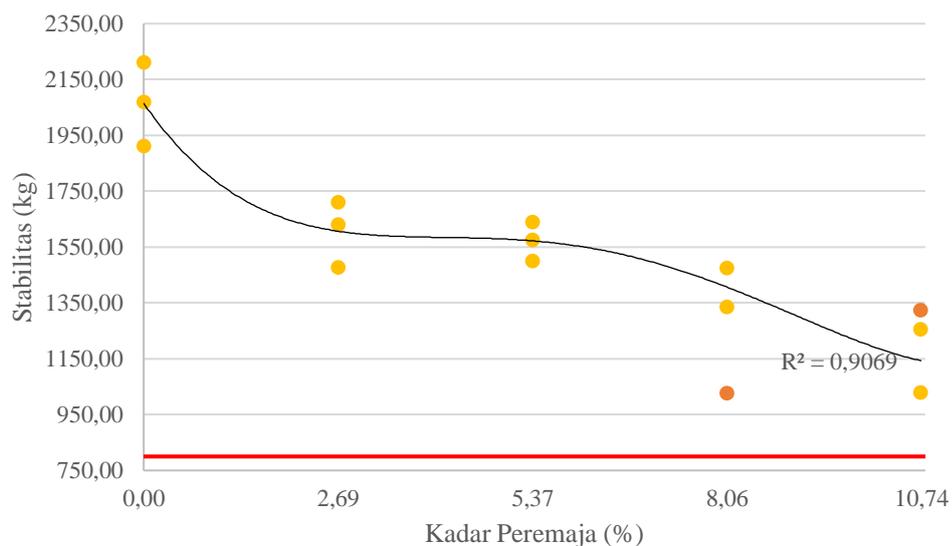
Sampel	Kadar WCO	Stabilitas	Flow	VITM	VMA	VFWA	MQ	Density
		(kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(kg/mm)	
0A	0	1912,50	2,20	6,29	18,79	66,52	869,32	2,29
0B		2069,57	2,05	6,70	19,14	65,00	1009,55	2,28
0C		2211,38	2,15	6,15	18,67	67,05	1028,55	2,30
Rata-rata		2064,49	2,13	6,38	18,87	66,19	969,14	2,29
2A	2,69	1478,79	2,65	5,20	17,40	70,13	558,03	2,33
2B		1709,94	2,85	4,97	17,20	71,10	599,98	2,33
2C		1630,79	2,40	4,57	16,85	72,90	679,50	2,34
Rata-rata		1606,51	2,63	4,91	17,15	71,37	612,50	2,34
4A	5,37	1639,98	3,35	4,20	16,35	74,34	489,55	2,36
4B		1575,11	3,50	4,02	16,19	75,21	450,03	2,36
4C		1501,63	3,05	3,71	15,92	76,72	492,34	2,37
Rata-rata		1572,24	3,30	3,97	16,16	75,42	477,31	2,36
6A*	8,06	1026,47	3,00	3,34	14,61	77,17	342,16	2,39
6B		1336,88	3,05	4,32	15,48	72,08	438,32	2,37
6C		1475,88	2,75	4,03	15,22	73,53	536,68	2,38
Rata-rata		1406,38	2,90	4,18	15,35	72,80	487,50	2,37
8A*	10,74	1323,88	3,60	1,60	12,32	86,99	367,75	2,45
8B		1256,55	3,45	3,34	13,87	75,92	364,22	2,40
8C		1029,89	3,60	3,24	13,77	76,50	286,08	2,41
Rata-rata		1143,22	3,53	3,29	13,82	76,21	325,15	2,41

5.3.2 Pembahasan

Berikut pembahasan hasil dari pengujian *Marshall* campuran AC-WC dengan *RAP*

1. Analisis pengaruh kadar peremaja terhadap stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (*rutting*), maupun mengalami *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, gesekan (*internal friction*), sifat saling mengunci (*interlocking*) dari partikel – partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan serta gradasi agregat. Hasil pengujian stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.6

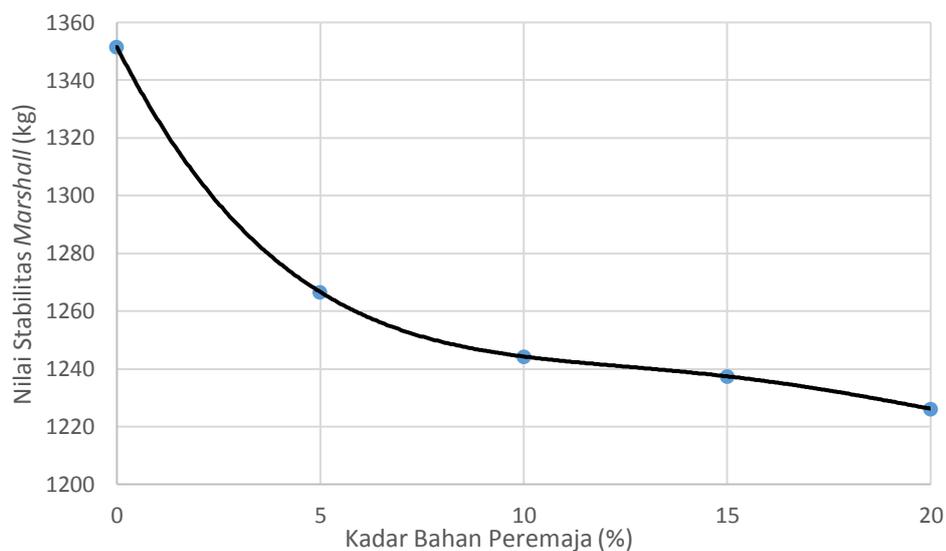


Gambar 5.6 Hubungan Kadar Peremaja dengan Stabilitas

Dari grafik di atas maka terjadi hubungan berbanding terbalik antara penambahan kadar peremaja dan nilai stabilitas campuran, hal ini disebabkan oleh penambahan kadar peremaja dapat mengurangi daya lekat aspal sehingga kemampuan ikat antar agregat (*interlocking*) semakin buruk yang menyebabkan banyak terdapat rongga dalam campuran, jika diperhatikan maka nilai stabilitas campuran cenderung stabil ketika penambahan kadar peremaja sebesar 2,69% sampai 5,37% dan kembali mengalami penurunan pada kadar peremaja 8,06% sampai 10,74%.

Penurunan nilai stabilitas ini sesuai dengan hasil penelitian dari Sumantri dimana semakin banyak penambahan kadar peremaja menyebabkan penurunan nilai stabilitas pada semua proporsi bahan peremaja, hal ini dikarenakan gaya *interlocking* antar agregat menjadi berkurang karena campuran aspal daur ulang menjadi mempunyai rongga.

Penurunan nilai stabilitas juga terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Kasan (2009) yang dapat dilihat pada gambar 5.7



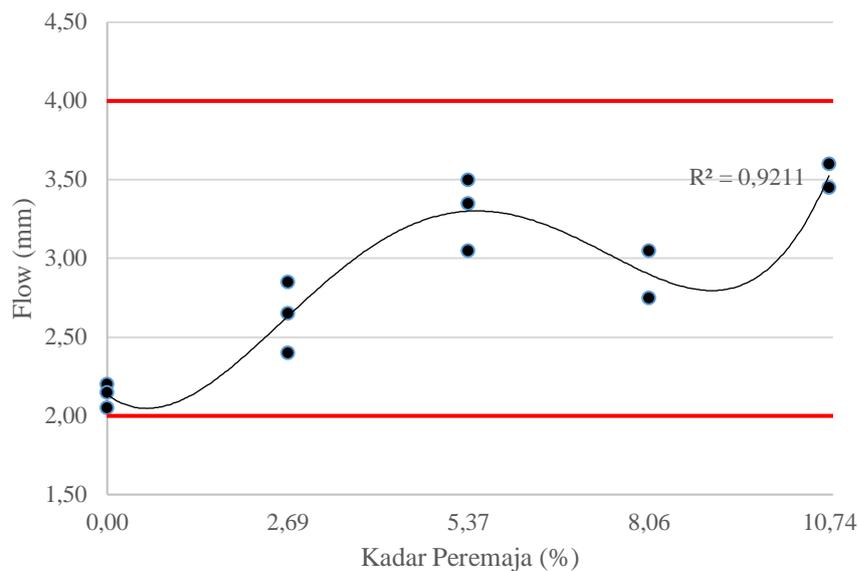
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas Marshall – Kadar bahan peremaja campuran aspal daur ulang pada kondisi Kadar aspal optimum
(Sumber : Kasan 2009)

Jika dilihat dari grafik di atas terjadi penurunan nilai stabilitas seiring penambahan kadar peremaja berupa minyak solar, menurut Kasan penurunan nilai stabilitas terjadi akibat semakin berkurangnya gaya ikat antar agregat (*interlocking*) dan semakin kecilnya daya lekat aspal terhadap asregat.

Berdasarkan uji analisis statistik menggunakan metode *One Way Anova* didapatkan nilai signifikasi sebesar 0,000348, dimana nilai ini lebih kecil dari 0,05 sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan kadar peremaja berupa *WCO* dapat mempengaruhi nilai stabilitas campuran dengan tingkat kepercayaan 95%.

2. Analisis pengaruh kadar peremaja terhadap nilai *flow*

Nilai *flow* dalam campuran menunjukkan fleksibilitas campuran dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya retak maupun perubahan volume dari perkerasan, nilai *flow* dari campuran AC-WC dapat dilihat pada Gambar 5.8.

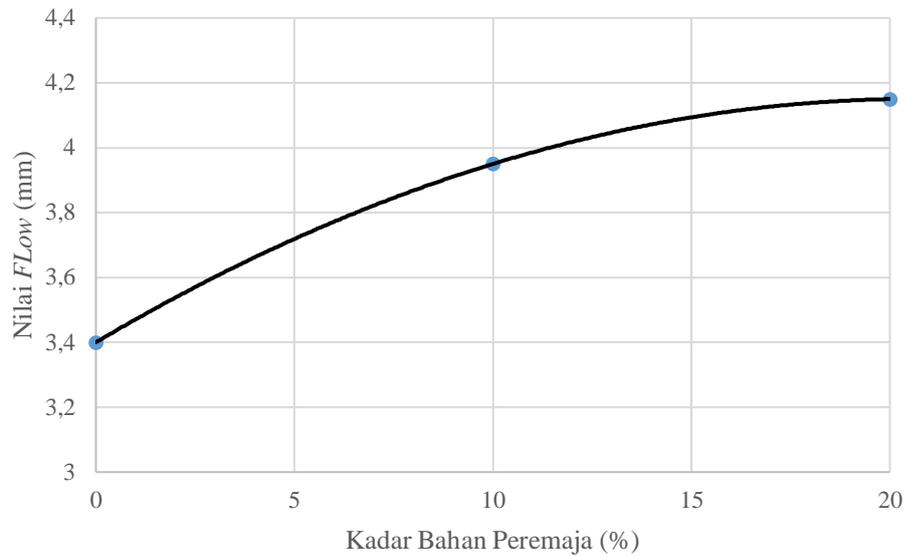


Gambar 5.8 Hubungan Kadar Peremaja dengan *Flow*

Dari grafik hubungan kadar peremaja terhadap nilai *flow* campuran, terjadi kecenderungan peningkatan nilai *flow* seiring bertambahnya kadar peremaja, hal ini disebabkan oleh kadar oil yang hilang dari aspal *RAP* digantikan oleh peremaja yang berupa *WCO* sehingga aspal lebih bersifat elastis dalam menerima beban, nilai *flow* tertinggi berdasarkan grafik terdapat pada nilai kadar peremaja sebesar 10,74% yaitu 3,525 mm.

Penelitian yang serupa dilakukan oleh Nono (2016) dimana penambahan kadar peremaja berupa minyak goreng cenderung meningkatkan nilai *flow* campuran.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Pradipta (2010) dimana nilai dari *flow* campuran cenderung naik seiring bertambahnya kadar peremaja yang diberikan, peremaja yang dipakai oleh Pradipta berupa residu oli, nilai *flow* hasil penelitian yang dilakukan oleh Pradipta dapat dilihat pada Gambar 5.9



Gambar 5.9 Pengaruh Kadar Peremaja Residu Oli Terhadap nilai *Flow*
(Sumber : Pradipta 2010)

Setelah dilakukan uji statistik tentang pengaruh kadar peremaja berupa *WCO* terhadap nilai *flow* campuran, maka didapatkan nilai signifikansi *One Way Anova* sebesar $0,000181 < 0,05$, artinya penambahan kadar peremaja dapat mempengaruhi nilai *flow* campuran secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%.

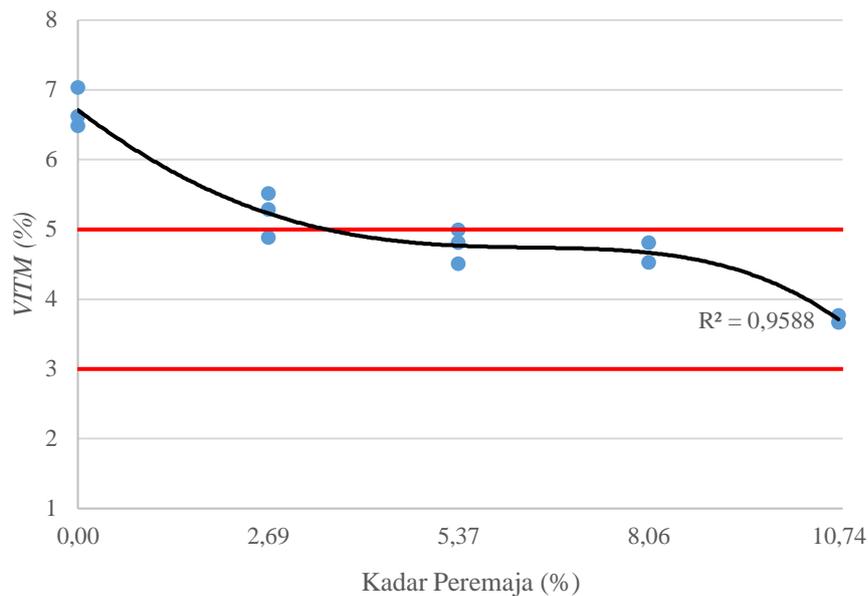
3. Analisis pengaruh kadar peremaja terhadap nilai *VITM*

VIM (Void in Total Mix) menyatakan banyaknya rongga/pori dalam campuran yang telah dipadatkan dan dinyatakan dalam persen, adanya *VTIM* biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah gradasi agregat yang dipakai, campuran dengan gradasi agregat yang senjang akan mengakibatkan nilai *VITM* lebih besar dibandingkan campuran dengan gradasi rapat, selain itu nilai *VITM* dapat dipengaruhi juga oleh kadar aspal dan proses pemadatan selama pembuatan sampel.

Nilai *VITM* yang besar mengindikasikan banyaknya rongga dalam suatu campuran, rongga ini menjadi tempat bagi agregat untuk bergerak ketika beban berulang oleh lalu lintas maupun pelunakan aspal akibat peningkatan temperatur, berdasarkan persyaratan dari Spesifikasi Umum 2010 Bina Marga nilai *VITM* dalam campuran AC-WC adalah 3-5%, nilai *VITM* hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.10

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *VITM* diketahui bahwa seiring bertambahnya nilai kadar peremaja maka nilai dari *VITM* semakin kecil, hal ini disebabkan oleh pertambahan kadar peremaja menyebabkan aspal *RAP* semakin lunak sehingga dapat semakin mudah menyelimuti agregat maupun mengisi rongga yang ada dalam campuran, berdasarkan tren yang terjadi maka nilai kadar peremaja 3,5% sampai dengan 10,74% memenuhi persyaratan nilai *VITM* sebesar 3-5%.

Hasil pengujian nilai *VITM* yang didapatkan sejalan dengan hasil yang didapatkan oleh Nono (2016), dimana nilai *VITM* yang didapatkan dengan peremaja berupa minyak goreng cenderung menurun, hal ini dikarenakan penambahan kadar peremaja dapat melunakkan aspal *RAP* sehingga aspal dapat menyelimuti agregat dengan mudah yang menyebabkan berkurangnya rongga dalam campuran.

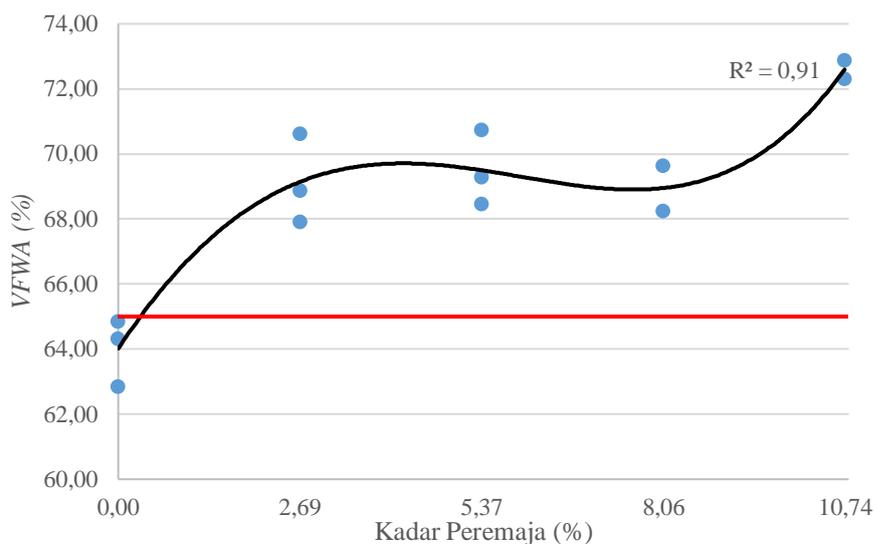


Gambar 5.10 Hubungan Kadar Peremaja dengan *VITM*

Berdasarkan uji statistik menggunakan *One Way Anova* tentang pengaruh penambahan kadar peremaja berupa *WCO* dalam campuran, maka didapatkan nilai signifikansi sebesar $7 \times 10^{-6} < 0,05$, artinya terdapat pengaruh yang signifikan akibat penambahan kadar *WCO* terhadap nilai *VITM* campuran.

4. Analisis pengaruh kadar peremaja terhadap nilai *VFWA* (*Void filled With Asphalt*)

Nilai *VFWA* (*Void filled With Asphalt*) menunjukkan banyaknya aspal yang mengisi rongga dalam campuran, besarnya nilai *VFWA* juga mengindikasikan kedekatan dari campuran, semakin besar nilainya maka semakin kedap campuran tersebut, namun nilai *VFWA* yang terlalu besar dapat menyebabkan *bleeding* terutama pada kondisi temperatur yang tinggi maupun beban lalu lintas yang melaluinya, sebaliknya apabila nilai *VFWA* terlalu kecil maka mengakibatkan terdapat rongga udara dalam campuran yang menyebabkan oksidasi dengan udara sehingga keawetan campuran berkurang, berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hubungan Kadar peremaja dan *VFWA*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar kadar aspal yang ditambahkan maka semakin naik nilai *VFWA*, hal ini menunjukkan hubungan berbanding lurus antara keduanya, kenaikan nilai *VFWA* seiring penambahan kadar peremaja diakibatkan oleh kondisi aspal yang semakin lunak sehingga mampu mengisi rongga yang ada dalam campuran.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nono (2016) bahwa nilai *VFWA* mengalami penurunan, hasil ini berbanding terbalik dengan hasil yang

didapatkan oleh peneliti, penyebab terjadinya perbedaan dapat terjadi akibat perbedaan *rejuvenator* yang digunakan, dimana peneliti menggunakan *WCO* sebagai peremaja dan Nono menggunakan minyak goreng sebagai peremaja.

Berdasarkan uji statistik menggunakan *One Way Anova* tentang pengaruh penambahan kadar peremaja berupa *WCO* dalam campuran terhadap nilai *VFWA*, didapatkan nilai signifikansi sebesar $4,7 \times 10^{-5} < 0,05$, artinya terdapat pengaruh yang signifikan akibat penambahan kadar *WCO* terhadap nilai *VFWA* campuran.

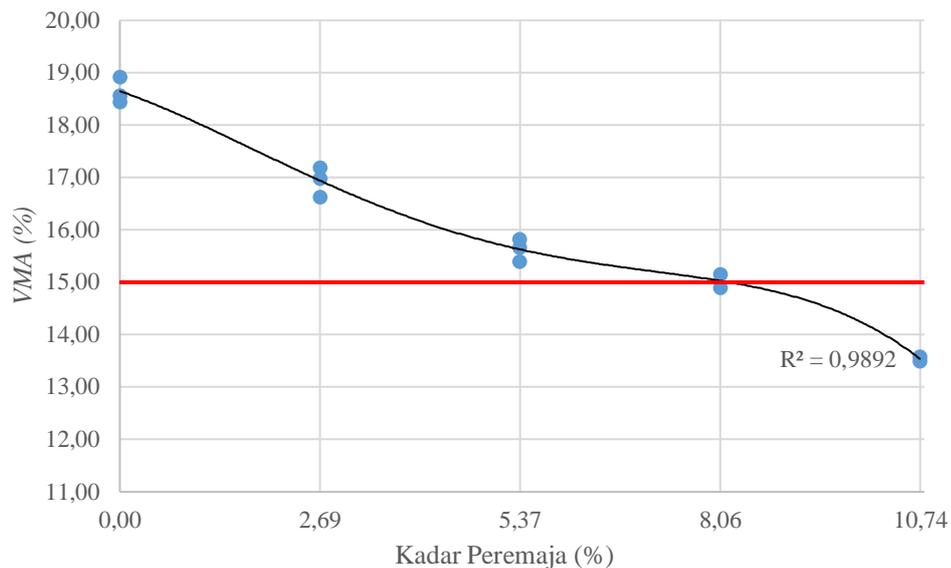
5. Analisis pengaruh kadar peremaja terhadap nilai *VMA* (*Void in mineral Aggregates*)

VMA menunjukkan banyaknya rongga antar butiran agregat baik yang terisi aspal maupun udara, nilai *VMA* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis gradasi agregat, kadar aspal serta tumbukan selama pembuatan benda uji.

Nilai *VMA* dapat menjadi salah satu indikator dalam menentukan keawetan campuran hal ini dikarenakan semakin besar nilai *VMA* maka persentase rongga semakin besar akibatnya terjadi oksidasi dalam campuran akibat masuknya udara hal ini menyebabkan keawetan dari campuran menurun, sebaliknya semakin kecil nilai *VMA* maka semakin sedikit rongga yang terdapat dalam campuran, namun nilai *VMA* yang terlampau kecil dapat menyebabkan *bleeding* pada campuran.

Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 mensyaratkan nilai *VMA* minimum adalah 15%, hubungan kadar peremaja dengan nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.12.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa semakin bertambah kadar peremaja maka nilai *VMA* semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh rongga antar agregat yang diisi oleh aspal, pada kadar peremaja 0% sampai 8,06% memenuhi standar dari Bina Marga namun pada kadar peremaja 10,74% nilai dari *VMA* tidak memenuhi persyaratan yang ditetapkan.



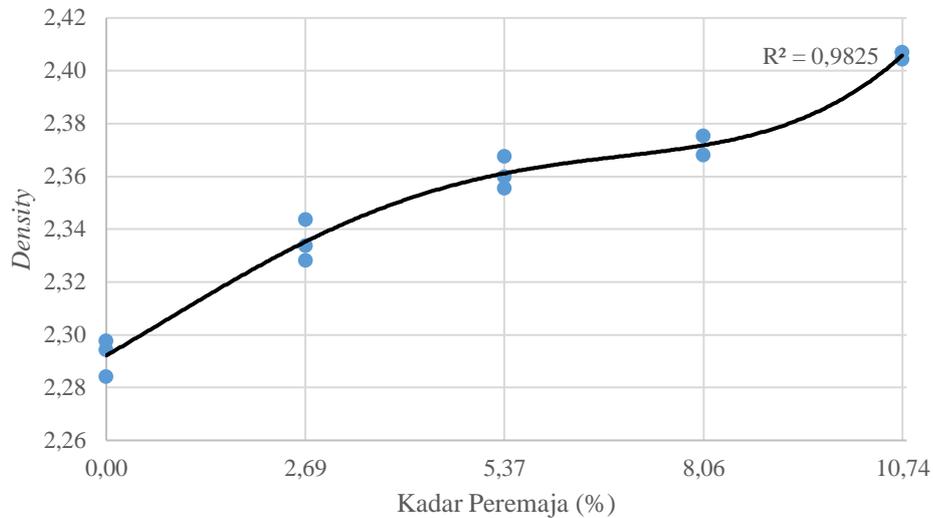
Gambar 5.12 Hubungan Kadar peremaja dan VMA

Penelitian yang dilakukan oleh Nono (2016) menunjukkan hasil yang serupa, penambahan kadar peremaja berupa minyak goreng cenderung menurunkan nilai VMA campuran, pada penelitiannya Nono menggunakan kadar peremaja 8,9% berupa minyak goreng, hasil yang didapatkan oleh Nono secara berturut adalah 17%, 16,2% dan 15,7%.

Setelah melaukan uji analisis statistik menggunakan metode *One Way Anova* mengenai pengaruh penambahan kadar WCO terhadap nilai VMA campuran, didapatkan nilai signifikasi sebesar $8,3 \times 10^{-8} < 0,05$, artinya terdapat pengaruh yang signifikan akibat penambahan kadar WCO terhadap nilai VMA campuran dengan tingkat kepercayaan 95%.

6. Analisis pengaruh kadar peremaja terhadap *Density*

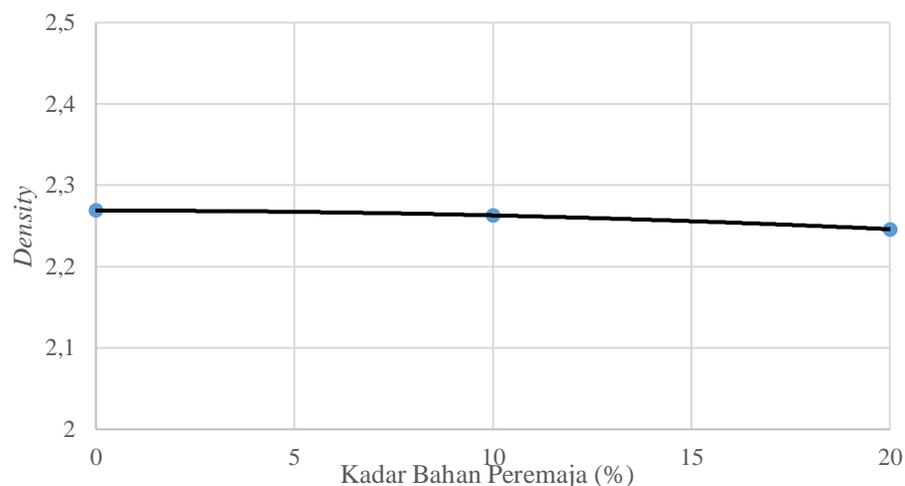
Nilai *density* menunjukkan derajat kepadatan campuran setelah dipadatkan, artinya nilai *density* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran dapat menahan beban yang besar dibandingkan campuran dengan nilai *density* yang rendah, kepadatan campuran dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain bahan penyusun, temperatur, jumlah tumbukan, berat jenis agregat dan kasar aspal, dari pengujian yang dilakukan diperoleh hubungan antara kadar peremaja dan nilai *density* yang dapat dilihat pada Gambar 5.13



Gambar 5.13 Hubungan Kadar Peremaja dan *Density*

Dilihat dari gambar 5.11 di atas dapat dilihat bahwa nilai *density* mengalami kenaikan pada kadar *WCO* 0% hingga kadar 10,74%. Hal ini dikarenakan penambahan kadar *WCO* sebagai *rejuvenator RAP* memudahkan aspal dalam mengisi rongga-rongga antar agregat, sehingga menyebabkan nilai dari *density* bertambah, seiring penambahan kadar *WCO*.

Penelitian yang sama dilakukan oleh Pradipta (2010), berdasarkan hasil penelitiannya nilai *density* campuran terhadap penambahan kadar peremaja mengalami penurunan, grafik penurunan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Pengaruh Kadar Peremaja Residu Oli Terhadap Nilai *Density*
(sumber : Pradipta 2010)

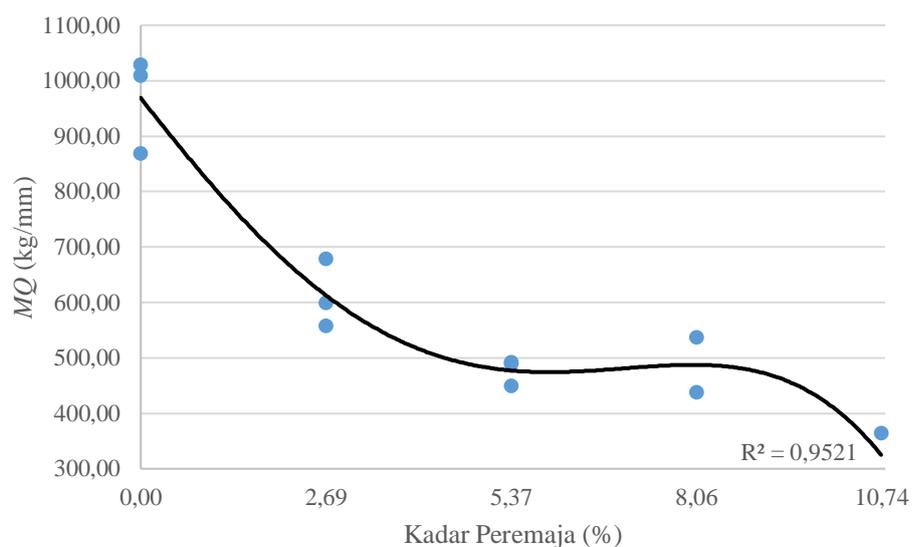
Perbedaan nilai *density* antara peneliti dan Pradipta (2010) dapat terjadi karena kadar peremaja yang digunakan berbeda, sehingga mempengaruhi reaksi *RAP* terhadap peremaja yang diberikan, dimana dengan peremaja *WCO* terjadi kenaikan sedangkan peremaja berupa residu oli terjadi penurunan.

Setelah dilakukan uji statistik tentang pengaruh kadar peremaja berupa *WCO* terhadap nilai *Density* campuran, maka didapatkan nilai signifikansi *One Way Anova* sebesar $4,6 \times 10^{-7} < 0,05$, artinya penambahan kadar peremaja dapat mempengaruhi nilai *Density* campuran secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%.

7. Analisis pengaruh kadar peremaja terhadap *MQ*

Marshall Quotient merupakan nilai yang menyatakan tingkat fleksibilitas dari campuran, nilai *MQ* yang tinggi menyatakan bahwa campuran cenderung kaku sehingga mudah retak, sebaliknya jika nilai *MQ* terlalu rendah maka campuran cenderung kurang stabil akibat terlalu lentur. Nilai *MQ* dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.15

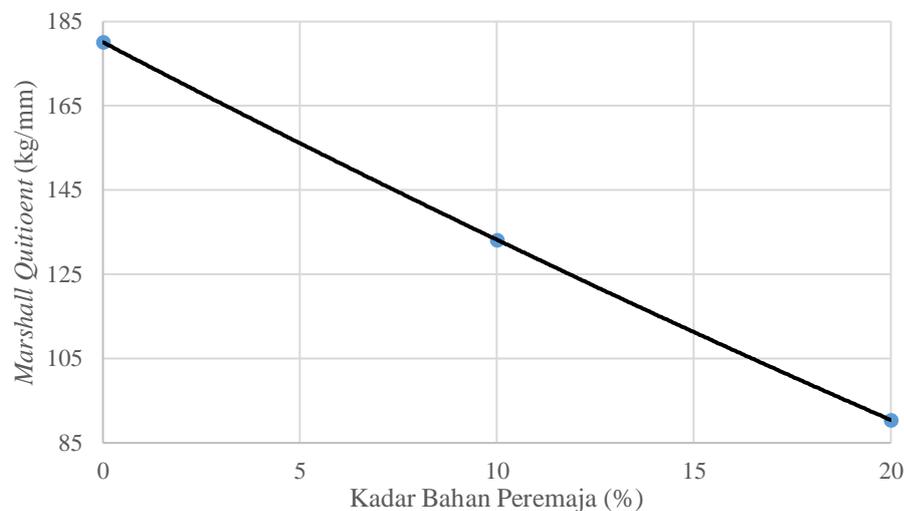
Pada gambar 5.15 merupakan grafik hubungan antara kadar peremaja dan *MQ*, jika dilihat dari grafik maka terjadi penurunan nilai *MQ* pada kadar 0% hingga 5,37%, lalu cenderung stabil pada kadar peremaja 5,37% hingga 8,06% dan kembali turun pada kadar peremaja 8,06% hingga 10,74%.



Gambar 5.15 Hubungan Kadar Peremaja dan *MQ*

Penurunan nilai MQ terjadi akibat naiknya nilai $flow$ dan turunnya stabilitas, sehingga dapat diartikan bahwa nilai MQ sangat dipengaruhi oleh besarnya stabilitas dan $flow$ dari campuran.

Penurunan nilai MQ yang didapatkan dari hasil pengujian sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pradipta (2010), dimana nilai MQ campuran dengan bahan peremaja berupa residu oli juga mengalami penurunan, untuk lebih jelas besar penurunan nilai MQ oleh Pradipta (2010) dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Pengaruh Peremaja Residu Oli Terhadap Nilai MQ
(sumber : Pradipta 2010)

Nilai signifikansi analisis statistik dengan metode *One Way Anova* sebesar $2,5 \times 10^{-5}$ pada tingkat signifikansi 0,05, artinya nilai $2,5 \times 10^{-5} < 0,05$ menyatakan bahwa penambahan kadar WCO berpengaruh secara signifikan terhadap nilai MQ campuran dengan tingkat kepercayaan 95%.

5.4 PENGUJIAN *IRS*

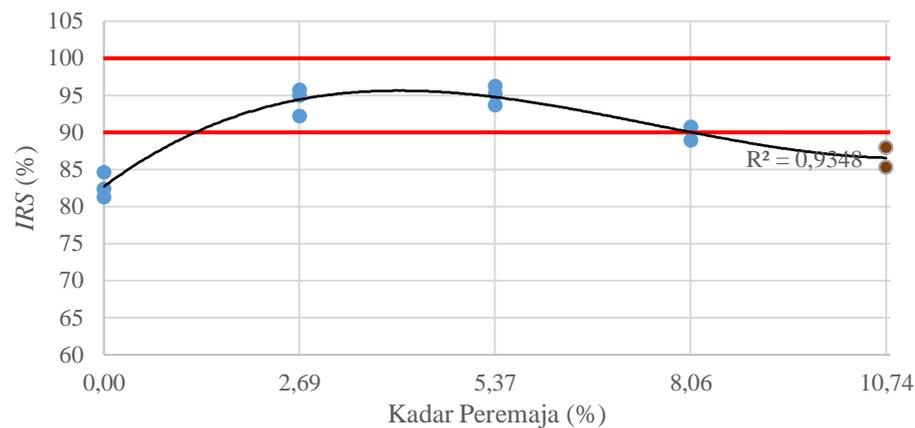
Pengujian *IRS* (*Index of Retained Strength*) bertujuan untuk mengetahui *durability* campuran, pengujian dilakukan dengan cara perendaman sampel uji pada suhu 60°C selama ± 24 di *waterbath* terhadap benda uji yang direndam selama 0,5 jam pada suhu yang sama.

Nilai hasil *IRS* dapat dilihat pada tabel 5.9

Tabel 5.9 Nilai Stabilitas Sisa (IRS)

Stabilitas Sisa (kg)					
Jenis Aspal	Kadar Peremaja (%)				
	0	2,69	5,37	8,06	10,74
Pen 60/70 + RAP	84,609	95,742	95,174	99,243	87,942
	81,239	92,186	93,625	88,889	85,308
	82,362	94,931	96,209	90,705	92,051

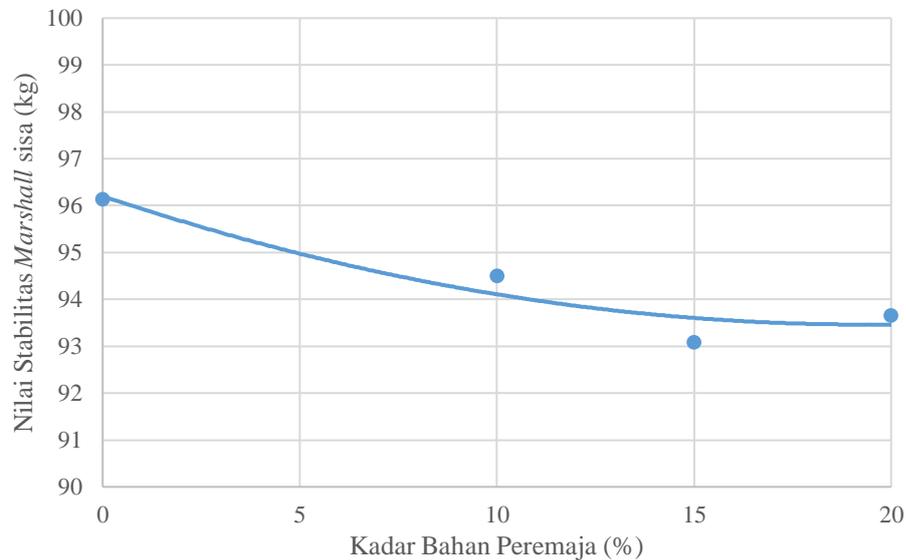
Nilai stabilitas mengalami penurunan setelah direndam dalam suhu 60°C selama 24 jam, hal ini dipengaruhi oleh perubahan temperatur dalam waktu yang cukup lama membuat aspal menjadi lembek sehingga aspal dapat bergerak dalam campuran yang membuat stabilitasnya menurun. Grafik pada hasil pengujian IRS dapat dilihat pada Gambar 5.17

**Gambar 5.17 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dan IRS**

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas sisa meningkat pada kadar peremaja 0% hingga 2,69%, kemudian turun pada kadar peremaja 5,37% hingga 10,74%, menurut spesifikasi Bina Marga 2010, nilai stabilitas sisa minimum adalah 90%, nilai IRS pada penambahan kadar peremaja 2,69%, 5,37% dan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dengan nilai secara berturut-turut 94,28% dan 95%

Hasil pengujian nilai IRS yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nono (2016) dimana hasil pengujian stabilitas sisa menggunakan peremaja minyak goreng mengalami penurunan stabilitas pada sampel yang direndam di suhu 60°C selama 24 jam dibanding stabilitas pada sampel yang direndam selama 0,5 jam pada suhu yang sama.

Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Kasan (2009) menunjukkan kecenderungan penurunan nilai *IRS* yang dapat dilihat pada Gambar 5.18



Gambar 5.18 Pengaruh Penggunaan Minyak Solar Terhadap Nilai *IRS*
(sumber : Kasan 2009)

Penurunan nilai *IRS* menurut Kasan terjadi akibat kemampuan adhesi dari aspal *RAP* yang kurang baik seiring penambahan kadar peremaja berupa minyak solar kedalam campuran, sehingga menyebabkan *interlocking* antar agregat menurun.

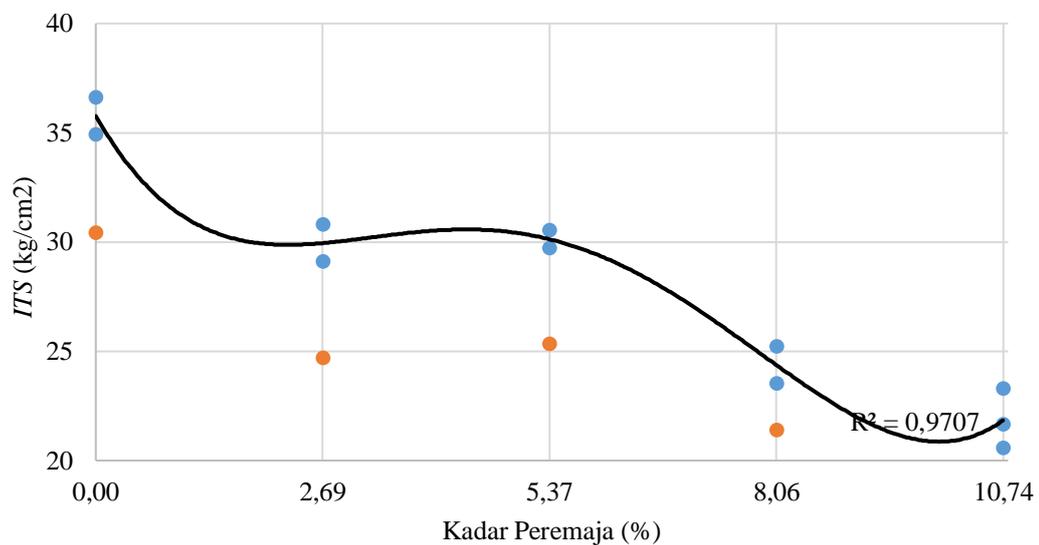
Setelah dilakukan uji statistik tentang pengaruh kadar peremaja berupa *WCO* terhadap nilai *IRS* campuran, maka didapatkan nilai signifikansi *One Way Anova* sebesar $8 \times 10^{-5} < 0,05$, artinya penambahan kadar peremaja dapat mempengaruhi nilai *IRS* campuran secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%.

5.5 PENGUJIAN *ITS*

ITS (Indirect Tensile Strength) merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui besar nilai gaya tarik tak langsung pada campuran akibat beban lalu lintas, Hasil pengujian *ITS* dapat menggambarkan perkiraan potensi stripping atau terlepasnya butiran-butiran agregat dari campuran, Menurut Sunarjono (2012), pengujian *ITS* dapat digunakan untuk mengetahui potensi retakan (*fatigue*) pada campuran aspal, besarnya nilai *ITS* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis batuan, kadar aspal dan rongga serta porositas batuan, faktor-faktor tersebut

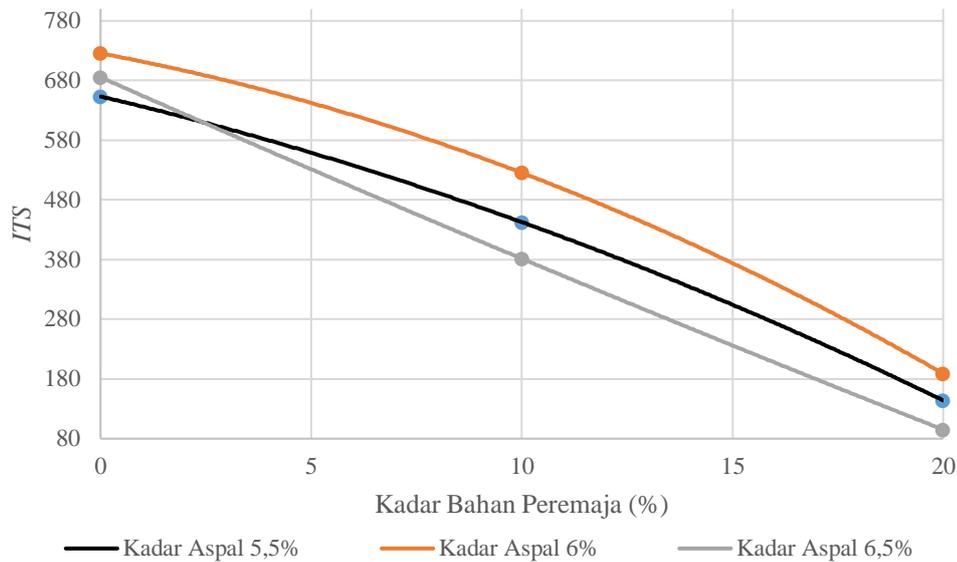
akan menentukan seberapa besar gaya tarik yang dapat ditahan oleh campuran. Grafik hasil pengujian *ITS* dapat dilihat pada Gambar 5.19.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai *ITS* campuran yang terdiri dari 30% material *RAP* yang diberikan bahan peremaja berupa *WCO* dengan kadar 0%, 2,69%, 5,37%, 8,06% dan 10,74% ditambah 70% material baru cenderung menurun, penurunan terjadi pada penambahan kadar peremaja 0% hingga 2,69%, kemudian stabil dan kembali turun pada kadar 5,37% hingga 10,74%, penurunan nilai *ITS* terjadi akibat penambahan kadar peremaja yang menyebabkan gaya *interlocking* antar material yang kurang baik.



Gambar 5.19 Hubungan Kadar Peremaja dan *ITS*

Pengujian serupa juga dilakukan oleh Pradipta (2010), menggunakan variasi bahan peremaja berupa residu oli dalam 3 variasi kadar aspal, didapatkan nilai *ITS* semua benda uji mengalami penurunan, hal ini sejalan dengan yang didapatkan oleh peneliti, bahwa semakin banyak kadar peremaja yang digunakan maka semakin menurun nilai *ITS* campuran, penurunan nilai *ITS* yang dilakukan oleh Pradipta dapat dilihat pada Gambar 5.20



Gambar 5.20 Pengaruh Kadar Peremaja Residu Oli Terhadap Nilai ITS
(sumber : Pradipta 2010)

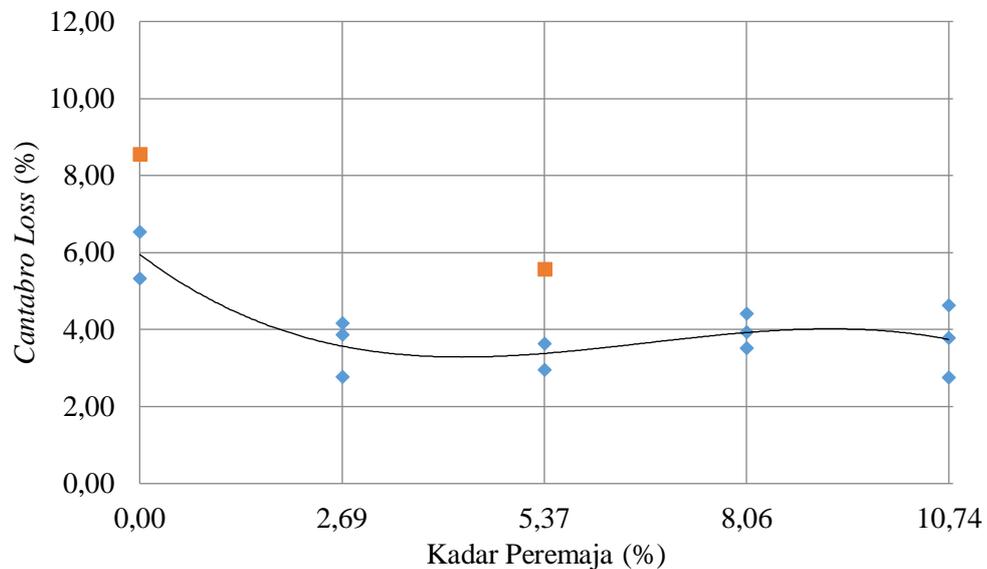
Setelah dilakukan uji statistik tentang pengaruh kadar peremaja berupa *WCO* terhadap nilai *ITS* campuran, maka didapatkan nilai signifikansi *One Way Anova* sebesar $9,8 \times 10^{-5} < 0,05$, artinya penambahan kadar peremaja dapat mempengaruhi nilai *ITS* campuran secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%.

5.6 PENGUJIAN *CANTABRO*

Pengujian *cantabro* merupakan pengujian untuk mengetahui berat sampel yang hilang setelah dilakukan test abrasi menggunakan alat mesin *Los Angeles*. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* tanpa bola baja yang kemudian diputar sebanyak 300 putaran, berat sebelum benda uji masuk kedalam mesin dibandingkan dengan berat setelah benda uji mengalami putaran sebanyak 300 kali.

Uji *Cantabro* memberikan gambaran bagaimana kinerja campuran dalam menerima repitisi beban (beban berulang) akibat gesekan roda kendaraan dengan permukaan jalan, menurut spesifikasi Bina Marga 2010, persentase kehilangan berat pada pengujian *Cantabro* $< 20\%$.

Nilai *Cantabro* pada pengujian menggunakan material *RAP* sebanyak 30% ditambah peremaja berupa *WCO* dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



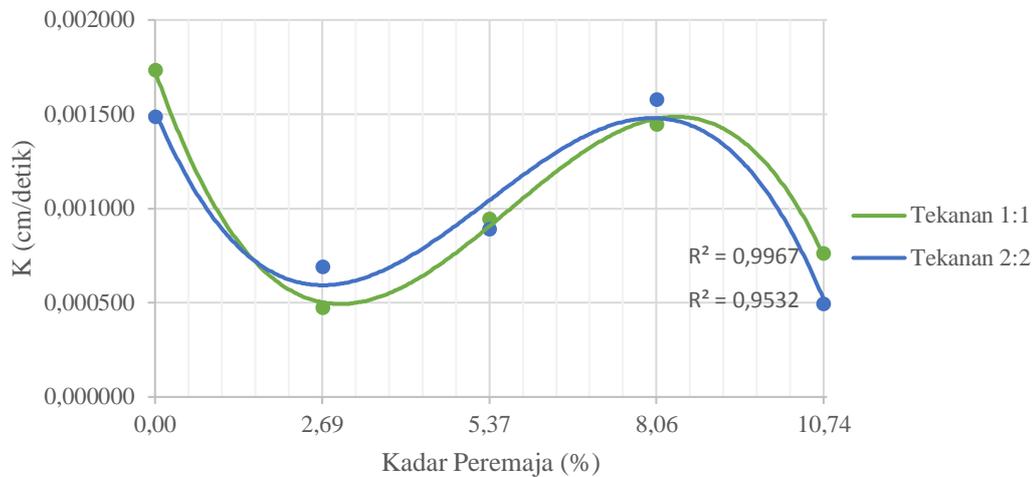
Gambar 5.21 Hubungan Kadar Peremaja dan *Cantabro Loss*

Dari grafik di atas maka dapat dilihat bahwa seiring penambahan kadar *WCO* maka nilai *Cantabro Loss* cenderung turun pada kadar 0% hingga 5,37% dan cenderung stabil pada penambahan kadar *WCO* 5,37% hingga 10,74%, sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga 2010 maka nilai *Cantabro Loss* yang didapatkan memenuhi persyaratan yang ditetapkan yaitu sebesar $<20\%$.

Setelah dilakukan uji statistik tentang pengaruh kadar peremaja berupa *WCO* terhadap nilai *Cantabro* campuran, maka didapatkan nilai signifikansi *One Way Anova* sebesar $0,036 < 0,05$, artinya penambahan kadar peremaja dapat mempengaruhi nilai *Cantabro* campuran secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%.

5.7 PENGUJIAN PERMEABILITAS

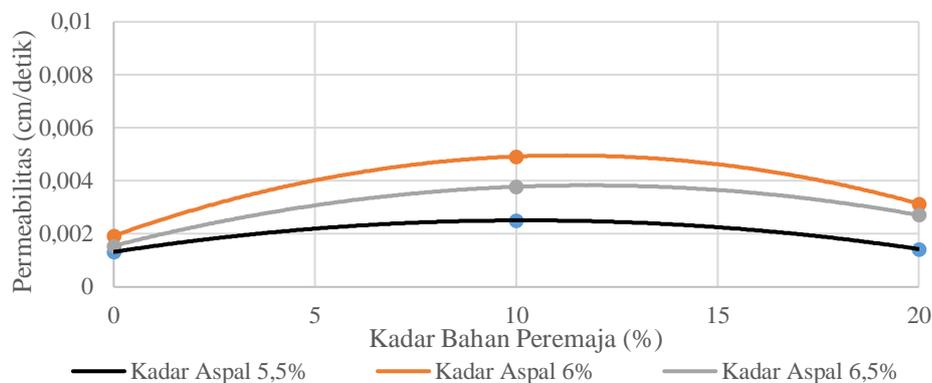
Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui kededapan campuran dalam meloloskan air maupun udara yang dapat mempercepat proses penuaan aspal serta pengelupasan aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan menjadi indikator kededapan air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya. Grafik hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Hubungan Kadar Peremaja dan Permeabilitas

Dari grafik yang terdapat pada Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa nilai permeabilitas mengalami penurunan pada kadar *WCO* 0% hingga 2,69% serta pada kadar 8,06% hingga 10,74%, sedangkan pada kadar 2,69% hingga 8,06% mengalami kenaikan baik untuk tekanan 1:1 maupun tekanan 2:2, penurunan nilai permeabilitas disebabkan oleh rongga yang terdapat pada campuran, sehingga air dengan mudah masuk dan melewati campuran, dari pengujian yang dilakukan di laboratorium Transportasi UGM hasil pengujian untuk permeabilitas adalah buruk.

Penelitian serupa dilakukan oleh Pradipta (2010), dimana pada penelitiannya didapatkan hasil nilai permeabilitas dalam kategori baik (*fair drainage*), hal ini dapat diakibatkan oleh penggunaan bahan peremaja yang berbeda serta penggunaan gradasi agregat dalam campuran, grafik nilai permeabilitas penelitian yang dilakukan oleh Pradipta dapat dilihat pada Gambar 5.23



Gambar 5.23 Pengaruh Penggunaan Residu Oli Terhadap Nilai Permeabilitas Campuran

(Sumber : Pradipta 2010)

Setelah dilakukan uji statistik tentang pengaruh kadar peremaja berupa *WCO* terhadap nilai permeabilitas campuran, maka didapatkan nilai signifikansi *One Way Anova* sebesar $0,281 > 0,05$ untuk tekanan 1:1 dan $0,245 > 0,05$ untuk tekanan 2:2, artinya penambahan kadar peremaja tidak mempengaruhi nilai permeabilitas campuran secara signifikan, baik untuk tekanan 1:1 maupun 2:2.

5.8 REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN PENGARUH *WCO* TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *RAP* DAN MATERIAL BARU DENGAN GRADASI *SUPERPAVE*

Penelitian terhadap karakteristik campuran dengan variasi kadar peremaja 0%, 2,69%, 5,37%, 8,06% dan 10,74% dapat diambil kesimpulannya berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian *Marshall*, *ITS*, *IRS*, *Cantabro* dan Permeabilitas. Dilihat dari hasil yang didapatkan terjadi peningkatan kinerja seiring penambahan kadar *WCO* dibandingkan tanpa penggunaan *WCO*. Rangkuman hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Campuran

Parameter	Kesimpulan
Stabilitas	Nilai stabilitas campuran mengalami kecenderungan menurun seiring penambahan kadar <i>WCO</i> , stabilitas tertinggi terdapat pada kadar <i>WCO</i> 0% sebesar 2064,49 kg dan yang terendah pada kadar <i>WCO</i> 10,74% sebesar 1143,22 kg, sesuai dengan standar Bina Marga dimana nilai stabilitas minimum 800 kg, maka semua nilai stabilitas sesuai dengan standar yang ditetapkan. Berdasarkan uji analisis statistik dengan metode <i>One Way Anova</i> , bahwa penambahan kadar peremaja berupa <i>WCO</i> dapat mempengaruhi nilai stabilitas campuran

Lanjutan Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Campuran

Parameter	Kesimpulan
<i>Flow</i>	Berdasarkan pengujian karakteristik <i>marshall</i> diketahui bahwa nilai <i>flow</i> campuran cenderung naik seiring penambahan kadar peremaja, nilai <i>flow</i> terkecil sebesar 2,13 mm dan yang terbesar sebesar 3,53 mm berturut-turut pada kadar <i>WCO</i> 0% dan 10,74%, sesuai dengan standar Bina Marga dimana nilai <i>flow</i> campuran dibatasi maksimum 4 mm dan minimum 2 mm maka semua nilai <i>flow</i> pada kadar <i>WCO</i> 0%-10,74% memenuhi standar yang ditetapkan. Berdasarkan uji analisis statistik maka diketahui penambahan kadar <i>WCO</i> mempengaruhi nilai <i>flow</i> campuran secara signifikan.
<i>VITM</i>	Nilai <i>VITM</i> pada campuran mengalami penurunan seiring penambahan kadar peremaja berupa <i>WCO</i> , berdasarkan nilai yang didapatkan nilai <i>VITM</i> terbesar sebesar 6,71% dan yang terkecil sebesar 3,71% berturut-turut pada kadar <i>WCO</i> 0% dan 10,74%, sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Bina Marga dimana nilai <i>VITM</i> maksimum 5% dan minimum 3% maka nilai <i>VITM</i> yang memenuhi terdapat pada penambahan kadar peremaja 3,5%-10,74%. Sesuai dengan uji analisis statistik maka penambahan kadar <i>WCO</i> mempengaruhi secara signifikan nilai <i>VITM</i> campuran.
<i>VMA</i>	Nilai <i>VMA</i> campuran pada kadar peremaja 0%, 2,69%, 5,37% dan 8,06% berturut-turut sebesar 18,65%, 16,94%, 15,63% dan 15,03%, nilai ini masuk kedalam syarat yang ditetapkan yaitu minimum 15%, sedangkan nilai <i>VMA</i> pada kadar 10,74% tidak memenuhi syarat karena berada dibawah nilai minimum yaitu 13,54%. Penambahan kadar peremaja pada campuran mempengaruhi nilai <i>VMA</i> campuran secara signifikan.
<i>VFWA</i>	Nilai <i>VFWA</i> cenderung mengalami kenaikan seiring penambahan kadar <i>WCO</i> , nilai <i>VFWA</i> tertinggi terdapat pada kadar <i>WCO</i> 10,74% dan terendah pada 0% dengan nilai berturut-turut 72,59% dan 64,01%, nilai <i>VFWA</i> yang memenuhi standar (minimum 65%) terdapat pada kadar peremaja 0,3%-10,74%. Berdasarkan uji statistik maka penambahan kadar peremaja berupa <i>WCO</i> mempengaruhi secara signifikan nilai <i>VFWA</i> campuran.

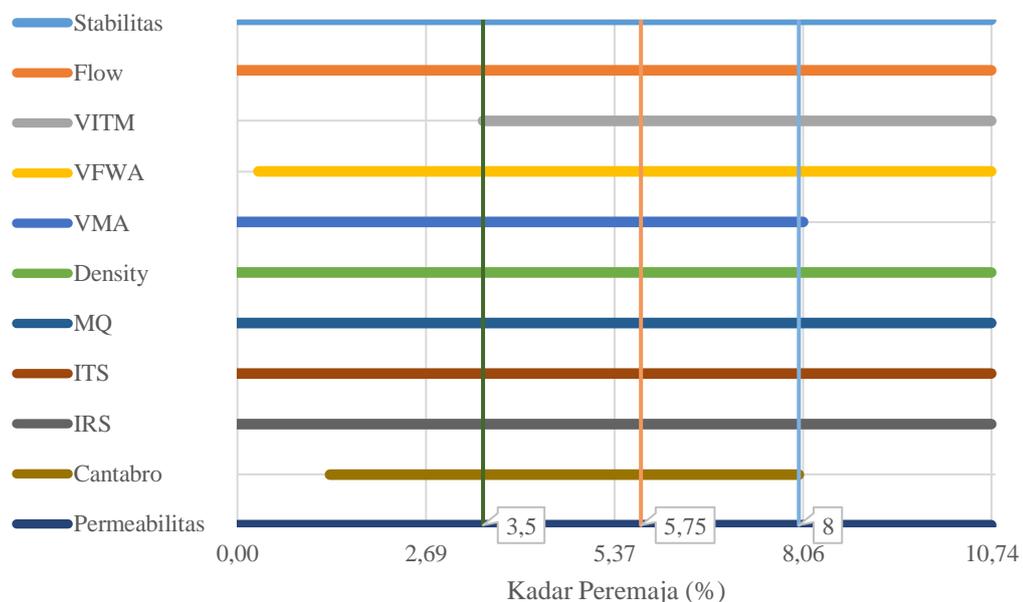
Lanjutan Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Campuran

Parameter	Kesimpulan
<i>Density</i>	Nilai <i>Density</i> campuran mengalami kenaikan seiring penambahan kadar <i>WCO</i> . Berdasarkan hasil uji analisis statistik maka penambahan kadar peremaja mempengaruhi nilai <i>Density</i> campuran secara signifikan.
<i>MQ</i>	Nilai <i>MQ</i> campuran mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar peremaja, nilai <i>MQ</i> dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan <i>flow</i> campuran. Berdasarkan hasil uji statistik maka penambahan kadar peremaja mempengaruhi secara signifikan nilai <i>MQ</i> campuran.
<i>ITS</i>	Hasil pengujian <i>ITS</i> didapatkan nilai kuat tarik campuran mengalami penurunan seiring pertambahan kadar peremaja, dimana nilai <i>ITS</i> mengalami penurunan yang cukup besar pada kadar peremaja 0% ke 2,69% dan 5,37% ke 8,06%, dengan persentase penurunan berturut-turut sebesar 16,25% dan 19,14%. Berdasarkan uji analisis statistik dengan metode <i>one way anova</i> didapatkan hasil bahwa penambahan kadar peremaja mempengaruhi nilai kuat tarik campuran secara signifikan.
<i>IRS</i>	Berdasarkan pengujian <i>IRS</i> maka didapatkan persentase stabilitas tersisa mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar peremaja dari 0% hingga 2,69% dan menurun pada kadar peremaja 5,37% hingga 10,74%, dilihat dari grafik hubungan kadar peremaja vs stabilitas sisa maka kadar peremaja optimum untuk stabilitas sisa terbaik adalah 3%, nilai <i>IRS</i> yang memenuhi terdapat pada kadar peremaja 0,9% hingga 5,9%. Berdasarkan uji analisis statistik <i>one way anova</i> , bahwa penambahan kadar peremaja berpengaruh secara signifikan terhadap nilai <i>IRS</i> campuran.
<i>Cantabro</i>	Hasil pengujian <i>Cantabro</i> menunjukkan penurunan pada kadar peremaja 0% hingga 5,37% dengan nilai berturut-turut 5,94%, 3,61% dan 3,29%, lalu mengalami kenaikan pada 8,06% dan kembali turun pada kadar <i>WCO</i> 10,74% dengan nilai berturut-turut 3,96% dan 3,74%, nilai <i>Cantabro</i> pada kadar peremaja 0% hingga 10,74% memenuhi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga. Berdasarkan nilai uji statistik maka penambahan kadar <i>WCO</i> mempengaruhi hasil uji <i>cantabro</i> secara signifikan.

Lanjutan Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Campura

Parameter	Kesimpulan
Permeabilitas	Hasil pengujian permeabilitas campuran berada pada kategori jelek untuk kadar peremaja 2,69%, 5,37% dan 10,74%, sedangkan pada kadar peremaja 0% dan 8,06% berada pada kategori sedang-jelek, semakin buruk kategori drainase yang didapatkan oleh campuran artinya semakin baik kedekatan campuran dalam menahan air agar tidak lolos, semakin bagus kategori drainase semakin buruk campuran dalam menahan air agar tidak lolos (air mudah lolos). Berdasarkan uji analisis statistik dengan metode <i>one way anova</i> didapatkan bahwa penambahan kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap nilai permeabilitas campuran.

Dari hasil rekapitulasi pengujian terhadap karakteristik campuran material *RAP* dan material baru dengan gradasi *superpave*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kadar peremaja untuk kinerja yang terbaik bagi campuran adalah sebesar 3,5%-8% dengan nilai optimum sebesar 5,75%, nilai ini didapat dari hasil rekapitulasi kadar peremaja yang memenuhi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga 2010 yang dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Kadar Peremaja Optimum Didapat