

BAB V HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Pembahasan Campuran AC-BC

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil dari setiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakteristik Aspal

Pada pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, peneliti menggunakan dua buah jenis aspal yaitu aspal Pertamina Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan 5.2 berikut, selengkapnya pada Lampiran 8 sampai Lampiran 21.

Tabel 5. 1 Hasil pengujian Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,038	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60/70	62,3	Memenuhi
3	Daktalitas (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

Tabel 5. 2 Hasil pengujian Karakteristik Aspal Starbit E-60

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,063	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	≥ 54	54,4	Memenuhi
3	Daktalitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 60	55	Tidak memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	290	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	324	Memenuhi
7	Kelarutan pada TCE (%)	≥ 99	99,03	Memenuhi

a. Berat jenis aspal

Adapun berat jenis aspal yang sudah di uji yaitu sebesar 1,023 untuk aspal Pertamina Pen 60/70 dan 1,063 untuk aspal Starbit E60, hal ini menunjukkan bahwa aspal Starbit E60 memiliki lebih banyak kandungan *Asphaltene* yang berarti aspal murninya lebih banyak, berdasarkan hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa kedua aspal tersebut memenuhi spesifikasi Bina marga 2018 yaitu $> 1,00$.

b. Penetrasi aspal

Adapun nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang di uji adalah 62,3 mm memenuhi persyaratan spesifikasi Bina marga 2018 yaitu minimal 60 mm sedangkan aspal Starbit E60 memiliki penetrasi sebesar 54 sehingga sesuai dengan spesifikasi minimal dari produk Starbit E60, aspal dengan penetrasi rendah akan cocok digunakan pada daerah dengan suhu panas atau lalu lintas dengan volume tinggi dan sebaliknya untuk aspal dengan penetrasi rendah

c. Daktilitas

Adapun hasil pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 164 cm dan untuk aspal Starbit E60 juga memiliki daktilitas 164 cm sehingga memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu > 100 cm.

d. Titik Nyala

Adapun Hasil pengujian titik nyala aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 332°C dan titik nyala aspal Starbit E60 sebesar 290 sehingga memenuhi persyaratan spesifikasi Bina marga 2018 yaitu $> 232^{\circ}\text{C}$.

e. Kelarutan Dalam TCE

Adapun hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,03% dan kelarutan untuk aspal Starbit E60 sebesar 99.2% sehingga memenuhi persyaratan spesifikasi Bina marga 2018 yaitu sebesar $> 99\%$.

f. Titik Lembek

Adapun hasil pengujian aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan titik lembek sebesar 48°C dan titik lembek untuk aspal Starbit E60 sebesar 55 memenuhi persyaratan spesifikasi Bina marga 2018 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$ untuk aspal pen 60/70 sedangkan aspal starbit tidak memenuhi persyaratan karena di bawah spesifikasi produk yaitu 60. Aspal dengan titik lembek yang tinggi sangat cocok untuk daerah dengan kondisi panas.

5.1.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakteristik Agregat

Pada penelitian ini agregat yang digunakan oleh peneliti berasal dari Clereng Kulonprogo dan Klaten pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Prosedur pengujian dan spesifikasi material mengacu pada persyaratan Bina Marga tahun 2018. Adapun hasil pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 5.3 sampai 5.5, selengkapnya pada Lampiran 1 sampai Lampiran 8.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil		Keterangan
			Zeolite	Clereng	
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,501	2,6643	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	3,15	1,687	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	96	99	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≥ 40	21,91	13,07	Memenuhi

Tabel 5. 4 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. 5 Hasil Pengujian Filler

No	Filler	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≤ 8	2,553	Memenuhi

a. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pada pengujian ini hasil berat jenis untuk batu Clereng sebesar 2,66 dan penyerapannya 1,68%, sedangkan batu Zeolite berat jenisnya 2,501 dan penyerapannya sebesar 3,15%. Batu Zeolite memiliki berat jenis lebih kecil disebabkan pori batu Zeolite lebih besar, dibuktikan dengan penyerapannya yang lebih besar dari Clereng.

b. Kelekatan Agregat Kasar terhadap Aspal

Hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal sebesar 97,5% untuk agregat Clereng dan 97% untuk Zeolite, kelekatan Zeolite lebih kecil karena permukaan dari Zeolite lebih halus dibandingkan Clereng, yang mana memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $> 95\%$.

c. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*.

Pada pengujian ini didapatkan nilai keausan yang lebih tinggi dari batu Zeolite daripada batu Clereng, yaitu 21,91% untuk Zeolite dan 13,17% untuk Clereng, hal ini karena sifat batu Zeolite yang lebih getas karena mengandung kapur.

d. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Adapun berat jenis agregat halus hasil pengujian didapat hasil sebesar 2,53 dan penyerapan air sebesar 2,25%. Berat jenis akan berbanding terbalik dengan penyerapan air, apabila penyerapannya tinggi maka berat jenisnya cenderung rendah. Nilai berat jenis dan penyerapan air ini memenuhi Spesifikasi Bina marga 2018 yang disyaratkan yaitu $> 2,5$ dan penyerapannya maksimal sebesar 3%

e. *Sand Equivalent*

Pengujian Sand Equivalent penting dilakukan untuk mengetahui kebersihan dari agregat halus, jika agregat halus mengandung lumpur atau debu maka ketika dalam pencampuran tersebut aspal tidak bias mengikat agregat halus.

Adapun hasil pengujian *Sand Equivalent* agregat halus Clereng didapatkan nilai 91,987% yang mana memenuhi Spesifikasi Umum Bina marga 2018 yaitu > 50%.

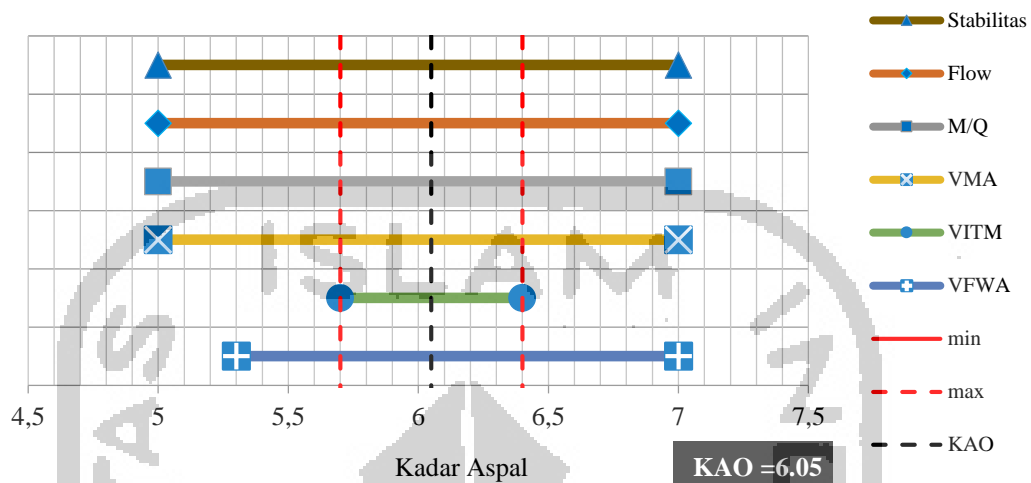
- f. Adapun hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu Clereng yang digunakan sebesar 2,553.

5.1.3 Hasil Pengujian dan Pembahasan Campuran AC- BC Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Adapun pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. 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 5.6 sampai 5.11 berikut ini, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 23 sampai Lampiran 28.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 0% Aspal Pertamina Pen 60/70

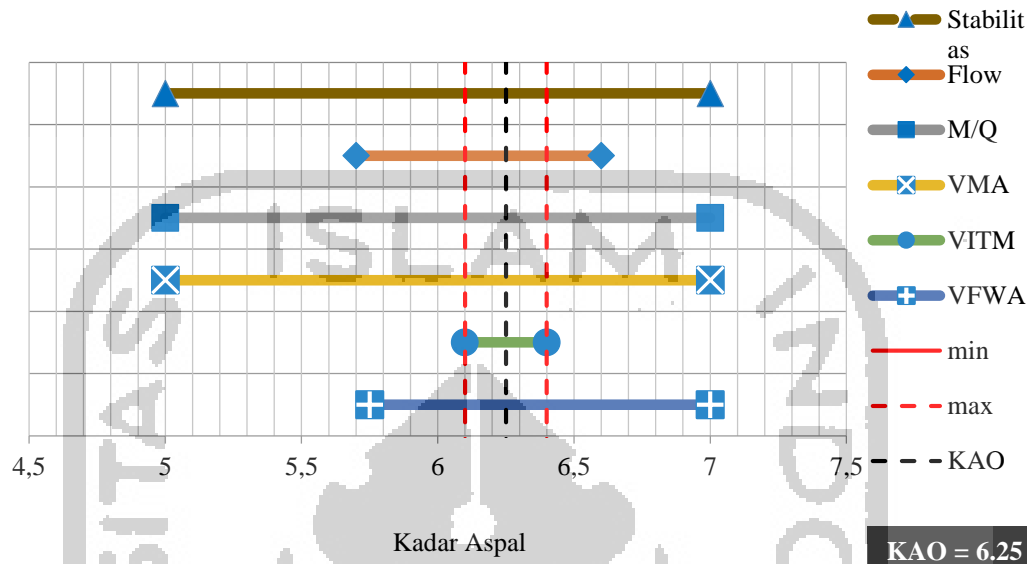
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1195,53	3,07	390,61	6,56	62,32	17,41	2,25
5,5	1009,75	3,27	308,29	5,66	67,92	17,62	2,25
6	951,73	3,40	285,77	4,28	75,57	17,43	2,27
6,5	1193,40	3,22	373,26	1,55	90,58	16,10	2,32
7	1075,42	3,63	299,96	0,59	96,38	16,31	2,33
BINA MARGA	1000	> 2-4	> 250	> 3,0 - 5,0	> 65	> 15	> 2



Gambar 5. 1 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 0% Aspal Pertamina Pen 60/70

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 0% Aspal Starbit E-60

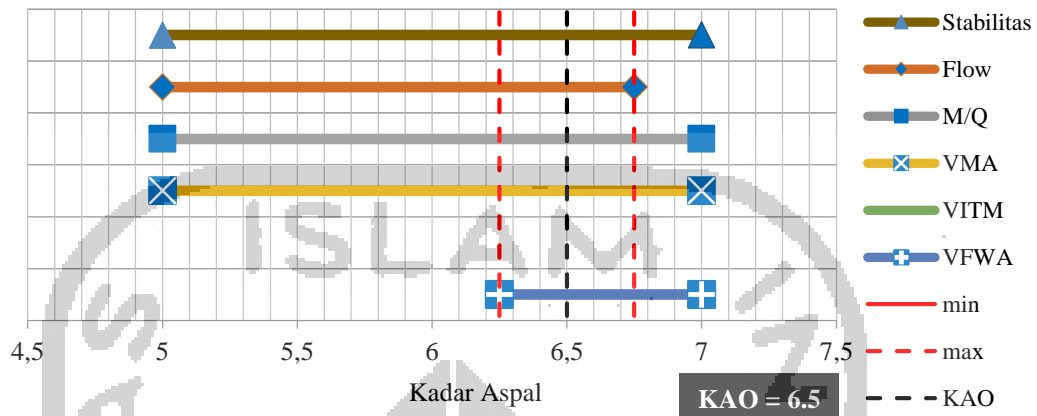
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1461,15	2,93	552,26	6,71	61,32	17,31	2,25
5,5	1295,54	4,33	310,37	6,81	63,22	18,38	2,23
6	1634,01	3,20	534,78	5,33	70,90	18,07	2,25
6,5	1792,42	3,83	478,32	1,70	89,41	15,94	2,32
7	1804,38	4,43	414,55	0,68	95,90	16,07	2,33
BINA MARGA	1000	> 2-4	> 250	> 3,0-5,0	> 65	> 15	> 2



Gambar 5. 2 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 0% Aspal Starbit E-60

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 25% Aspal Pertamina Pen 60/70

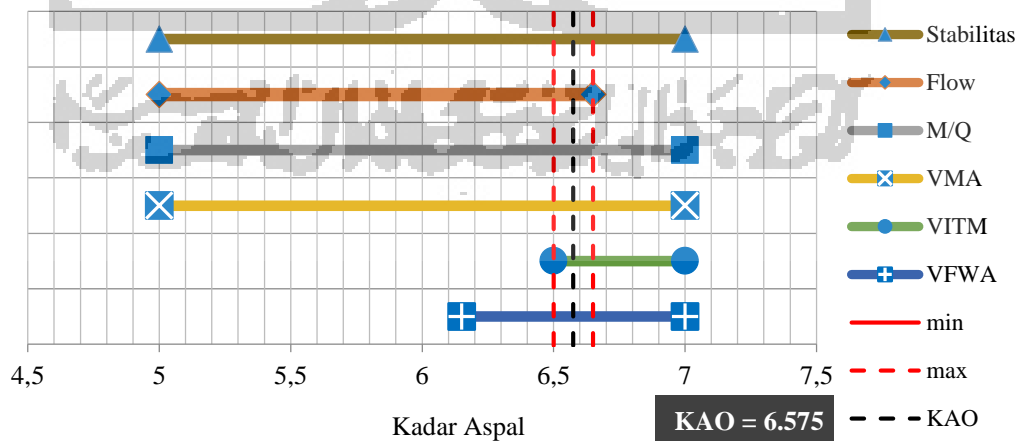
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	990,26	2,8	352,85	11,94	46,09	22,10	2,109
5,5	1223,38	2,93	418,88	9,80	53,72	21,17	2,146
6	1216,01	3,03	400,34	8,11	60,78	20,66	2,171
6,5	1139,24	3,50	333,10	6,60	67,61	20,33	2,192
7	1119,71	4,53	248,47	5,9	71,19	20,77	2,192
BINA MARGA	1000	> 2-4	> 250	> 3,0-5,0	> 65	> 15	> 2



Gambar 5. 3 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 25% Aspal Pertamina Pen 60/70

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 25% Starbit E-60

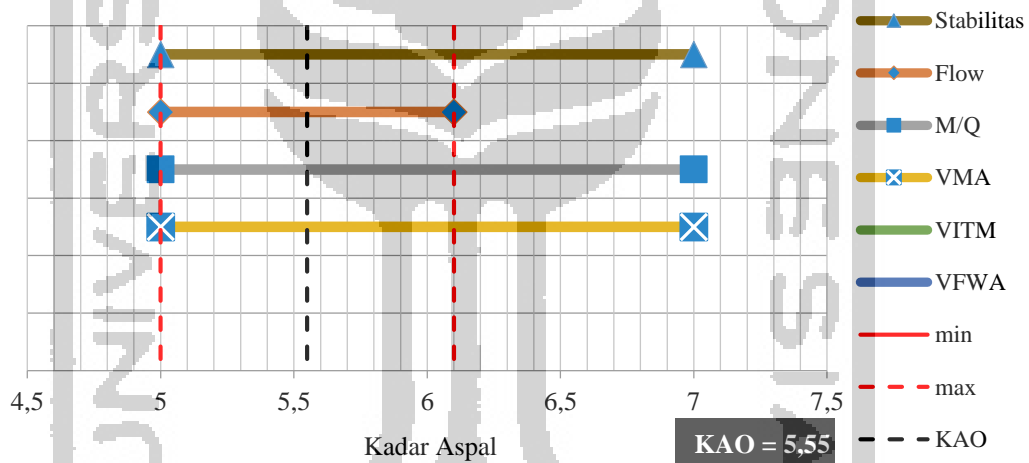
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	M/Q (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1527,75	3,25	471,24	12,44	44,30	22,34	2,103
5,5	1526,89	3,68	413,13	10,33	51,76	21,40	2,14
6	1473,92	3,75	393,04	8,03	60,62	20,34	2,18
6,5	1418,48	3,75	378,96	4,92	73,64	18,62	2,23
7	1417,19	5,20	274,39	4,41	76,96	19,14	2,23
BINA MARGA	1000	> 2-4	> 250	> 3,0-5,0	> 65	> 15	> 2



Gambar 5. 4 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 25% Aspal Starbit E-60

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 50% Pertamina Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1114,27	3,87	287,65	14,60	40,60	24,58	2,07209
5,5	1425,24	3,73	384,32	13,10	45,87	24,20	2,09379
6	1242,77	3,97	314,84	12,13	52,02	24,28	2,10255
6,5	1171,11	4,42	271,65	12,89	50,22	25,85	2,07001
7	1173,23	4,47	263,38	9,27	60,95	23,71	2,14118
BINA MARGA	1000	> 2-4	> 250	> 3,0-5,0	> 65	> 15	> 2

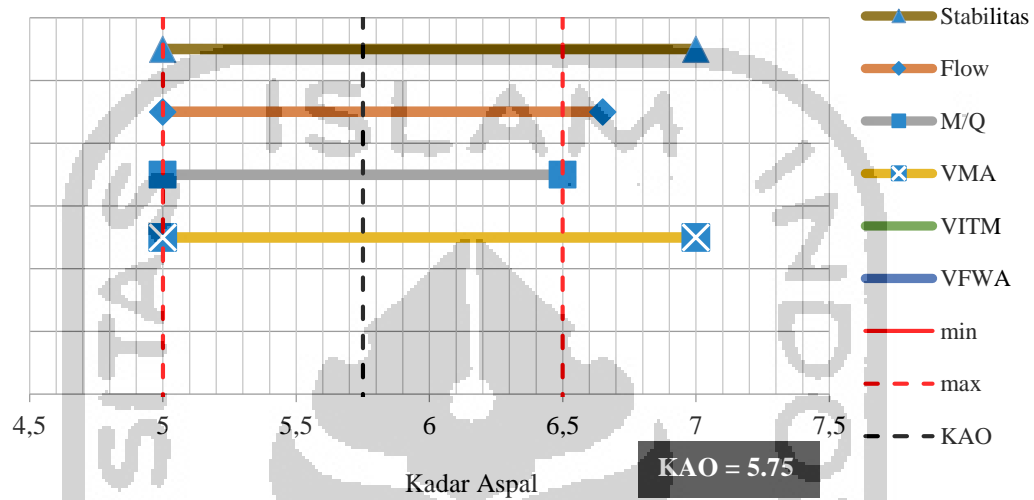


Gambar 5. 5 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 50% Aspal Pertamina Pen 60/70

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 50% Aspal Starbit E60

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1507,41	3,03	499,42	11,46	47,04	21,41	2,11354
5.5	1365,28	3,83	397,26	12,99	45,24	23,66	2,06369
6	1395,85	3,67	402,79	13,28	46,59	24,81	2,04342
6.5	1129,71	4,97	236,55	13,82	47,45	26,15	2,01769

7	1346,08	5,97	228,67	10,72	56,06	24,40	2,07674
BINA MARGA	1000	> 2-4	> 250	> 3,0-5,0	> 65	> 15	> 2

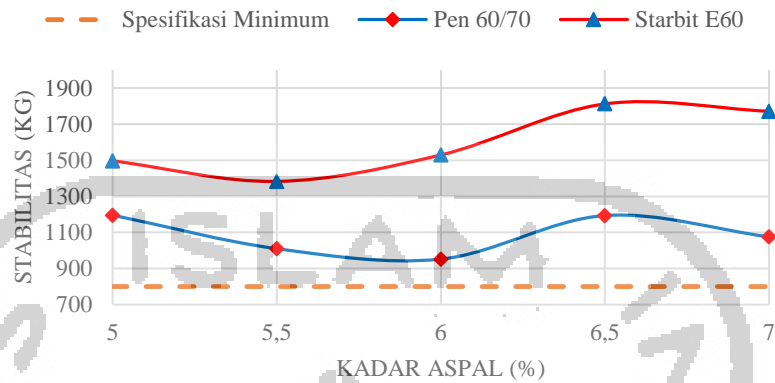


Gambar 5. 6 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 50% Aspal Starbit E-60

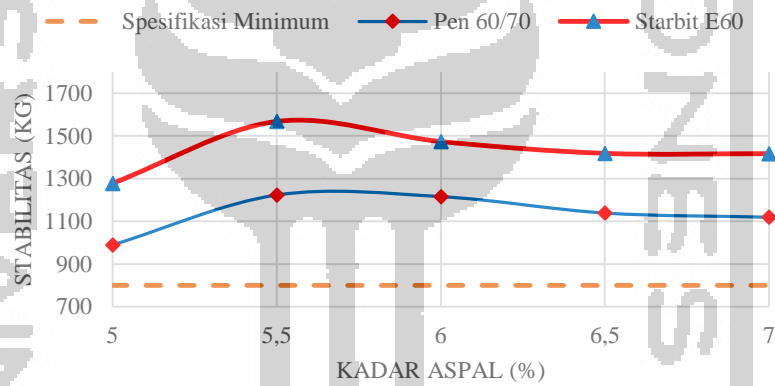
Penentuan kadar aspal optimum pada campuran AC-BC menggunakan parameter Marshall yaitu Stabilitas, Flow, VITM, VMA, VFWA, Marshall Quotient dan Density. Adapun pembahasan hasil pengujian dibuat setiap variasi Agregat Kasar yang di substitusi yaitu 0% Variasi, 25% Variasi dan 50% variasi dapat dilihat sebagai berikut.

1. Stabilitas

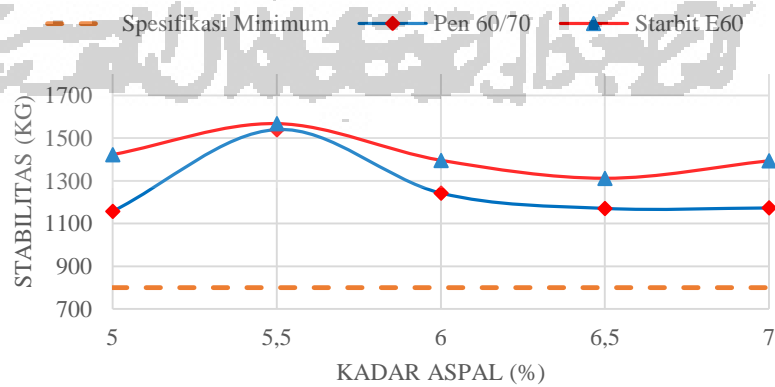
Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan oleh campuran perkerasan sampai terjadi kelelahan plastis, secara teori, nilai stabilitas akan naik sampai kadar aspal optimum lalu akan turun seiring bertambahnya aspal, berikut ini adalah nilai stabilitas campuran AC-BC berdasarkan persen substitusi Zeolite. Grafik nilai stabilitas untuk mencari kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 5.7 sampai 5.9 berikut ini.



Gambar 5. 7 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 8 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

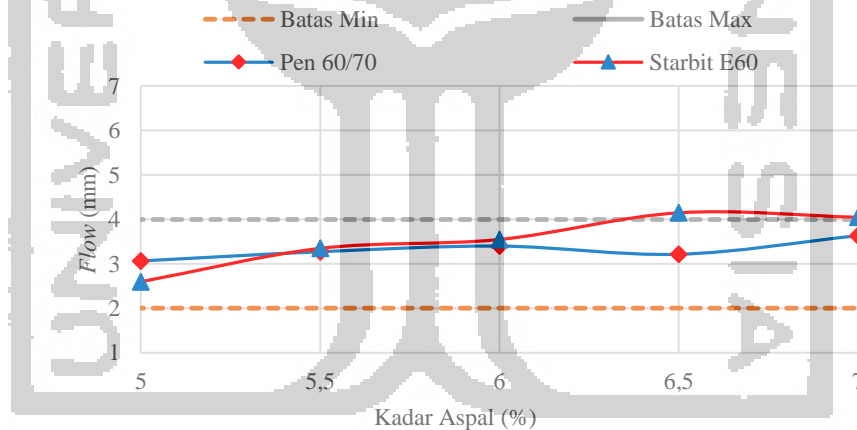


Gambar 5. 9 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

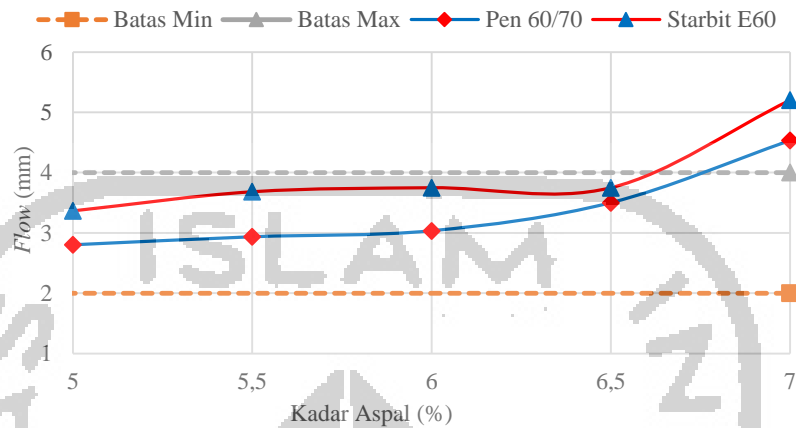
Pada gambar Grafik 5.7 sampai 5.9 di atas memperlihatkan bahwa nilai stabilitas naik sampai mencapai kadar aspal optimum dan akan turun seiring dengan bertambahnya aspal. Penelitian Putra (2017) juga menyatakan bahwa nilai stabilitas pada campuran berbahan ikat Starbit E60 lebih tinggi dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70 hal ini dikarenakan aspal Starbit E60 lebih kohesif dibanding aspal Pen 60/70 sehingga lebih mengikat agregat lebih kuat dibanding pen 60/70.

2. Kelelehan (*Flow*)

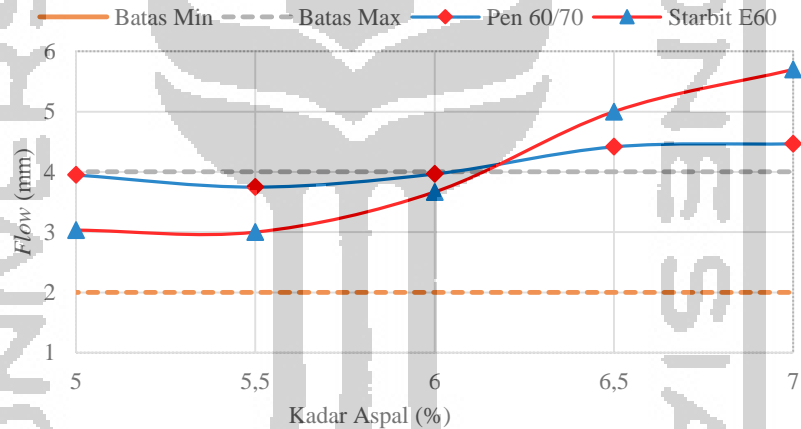
Adapun hasil pengujian flow dapat dilihat pada gambar gambar 5.10 sampai 5.12 di bawah ini.



Gambar 5. 10 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 11 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



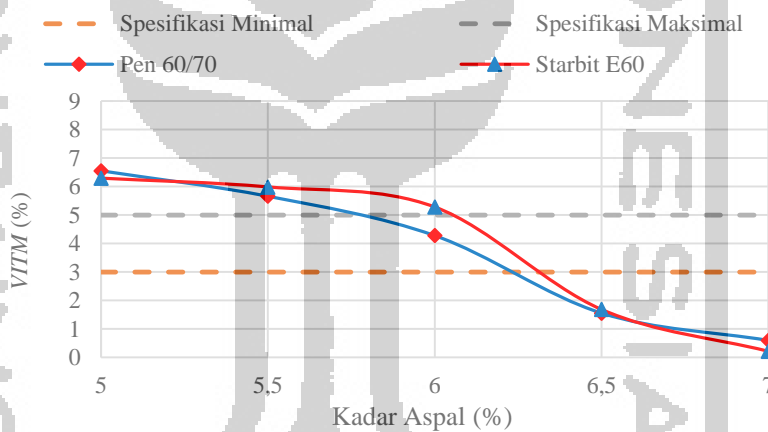
Gambar 5. 12 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.10 sampai 5.12 di atas dapat dilihat nilai *flow* cenderung naik seiring dengan naiknya kadar aspal, nilai *flow* semakin besar dengan naiknya persen substitusi Zeolite, hasil ini sesuai dengan penelitian Kurniawan (2017) yang menyatakan bahwa nilai *flow* pada campuran yang mengandung Zeolite akan semakin besar dengan naiknya persen substitusi Zeolite, hal ini disebabkan karena batu Zeolite memiliki nilai kelekatan terhadap aspal yang lebih rendah daripada Clereng sehingga lebih fleksibel. Pada penelitian Putra (2017) menyatakan bahwa

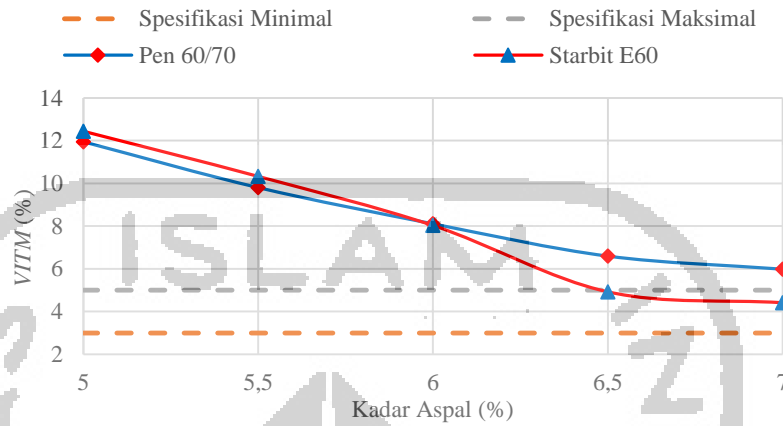
nilai *flow* pada campuran yang menggunakan aspal Starbit E60 lebih tinggi dibanding dengan yang menggunakan aspal Pen 60/70 karena aspal starbit memiliki kandungan minyak lebih tinggi dibuktikan dengan pengujian titik nyala yang hasilnya lebih rendah daripada pen 60/70. Campuran dengan bahan ikat yang mengandung minyak lebih tinggi cenderung mempunyai nilai *flow* yang tinggi.

3. *Void in Total Mix (VITM)*

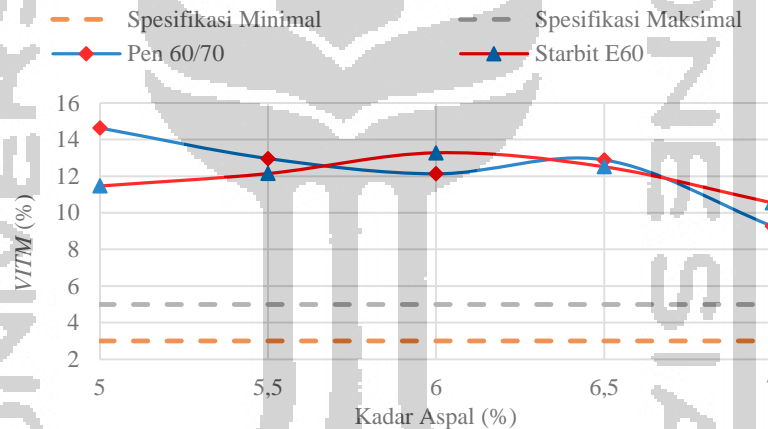
VITM adalah persen rongga terhadap agregat yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Semakin tinggi nilai *VITM* menyebabkan durabilitas menurun dan kemungkinan *Bleeding* menjadi besar. Adapun nilai *VITM* yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.13 sampai 5.15 berikut.



Gambar 5. 13 Grafik *VITM* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5.14 Grafik *VITM* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



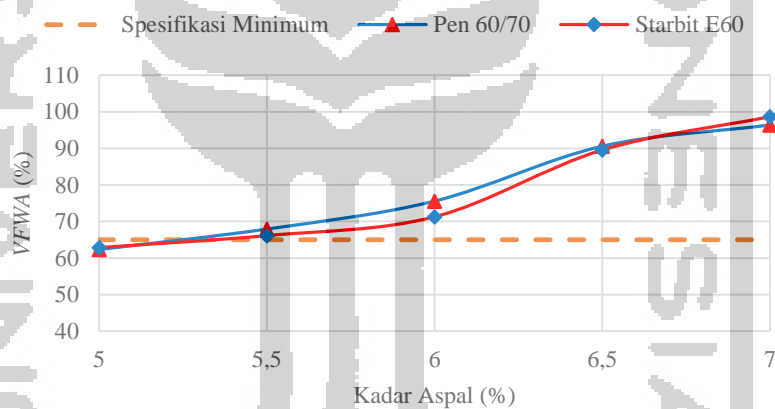
Gambar 5.15 Grafik *VITM* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Dari hasil pembacaan Grafik 5.13 sampai 5.15 di atas memperlihatkan bahwa nilai *VITM* cenderung turun ketika kadar aspal naik dan *VITM* cenderung naik berdasarkan naiknya jumlah substitusi agregat kasar, pada substitusi agregat kasar 25% nilai *VITM* yang masuk hanya pada kadar 6.4% samapi 7% untuk aspal Starbit E60 dan pada aspal Pertamina PEN 60/70 tidak ada yang masuk kriteria dan pada substitusi 50% tidak ada yang masuk kriteria sama sekali. Sesuai dengan penelitian Kurniawan (2017) bahwa campuran yang menggunakan substitusi Zeolite 25% makan nilai *VITM* tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Besarnya nilai

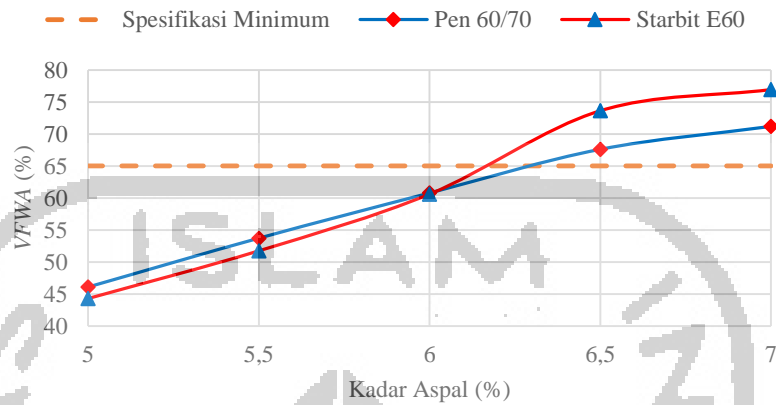
VITM pada pengujian ini disebabkan nilai penyerapan batu Zeolite yang tinggi, sehingga nilai VITM cenderung tinggi, pada campuran yang menggunakan starbit E60 memiliki nilai VITM yang cenderung lebih tinggi karena sifat aspal Pen 60/70 yang lebih menyerap ke batuan dibanding dengan Starbit E60.

4. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

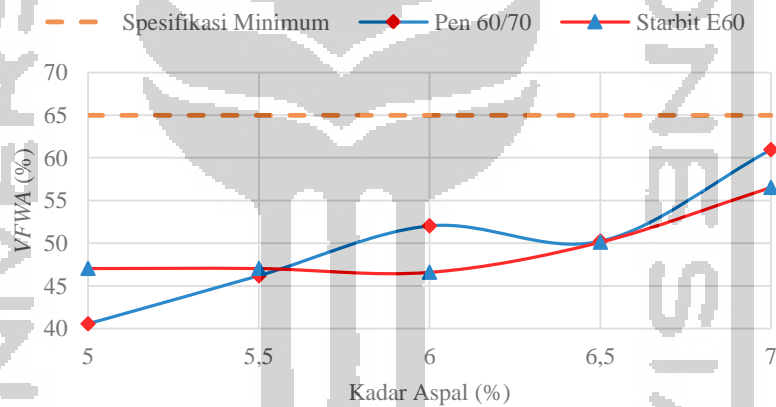
Void filled with asphalt adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Semakin besar nilai VFWA maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedapannya terhadap air dan udaranya tinggi, tetapi sebaliknya jika nilai VFWA rendah maka kedapannya terhadap air dan udara juga rendah. Adapun nilai VFWA yang didapat bisa dilihat pada Gambar 5.16 sampai 5.18 berikut.



Gambar 5. 16 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 17 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



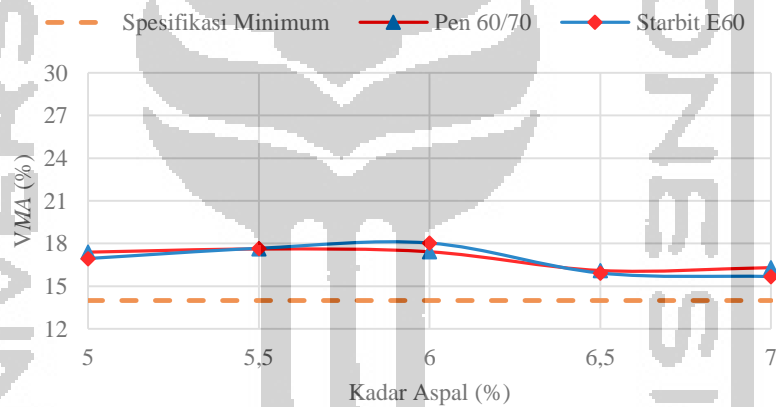
Gambar 5. 18 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.16 sampai 5.18 di atas dapat dilihat bahwa campuran dengan menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 memiliki nilai *VFWA* yang lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan aspal starbit E60 karena aspal pen 60/70 lebih mudah terserap kedalam pori dan dengan bertambahnya variasi substitusi agregat kasar, nilai *VFWA* cenderung menurun di karenakan aspal terserap ke dalam batu Zeolite karena batu Zeolite memiliki nilai penyerapan yang tinggi. Nilai *VFWA*

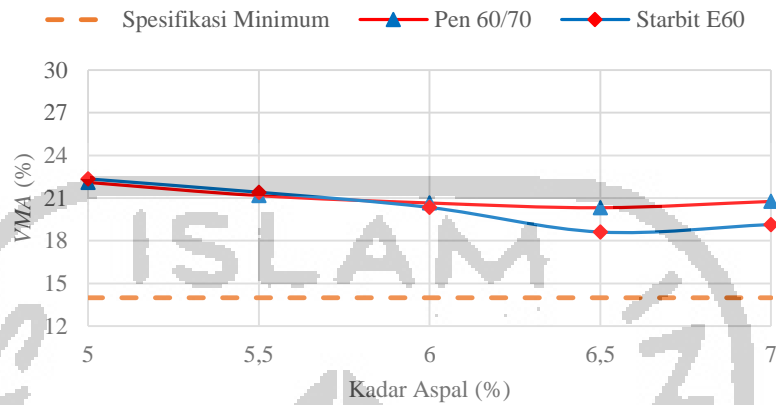
yang memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu >65 hanya pada variasi 25% dengan kadar aspal di atas 6.25%.

5. *Void in Mineral Agregat*

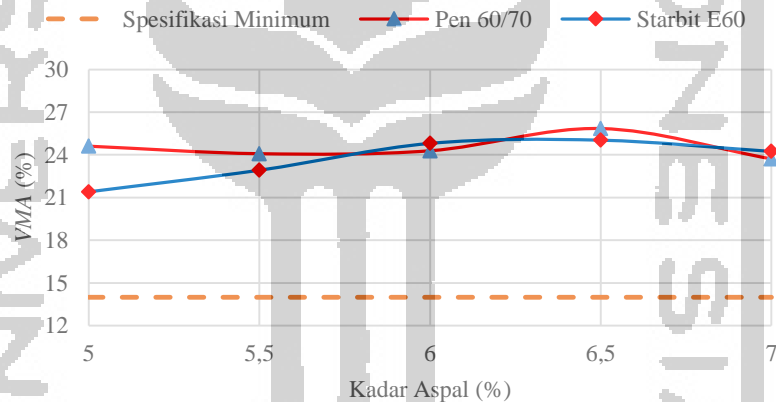
Voids In The Mineral Agregat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. *VMA* akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal. Adapun nilai *VMA* hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.19 sampai 5.21 berikut.



Gambar 5. 19 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 20 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

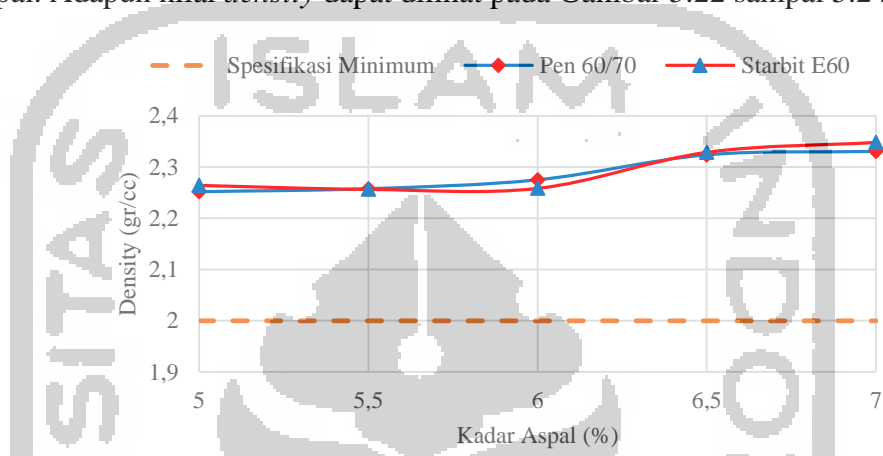


Gambar 5. 21 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

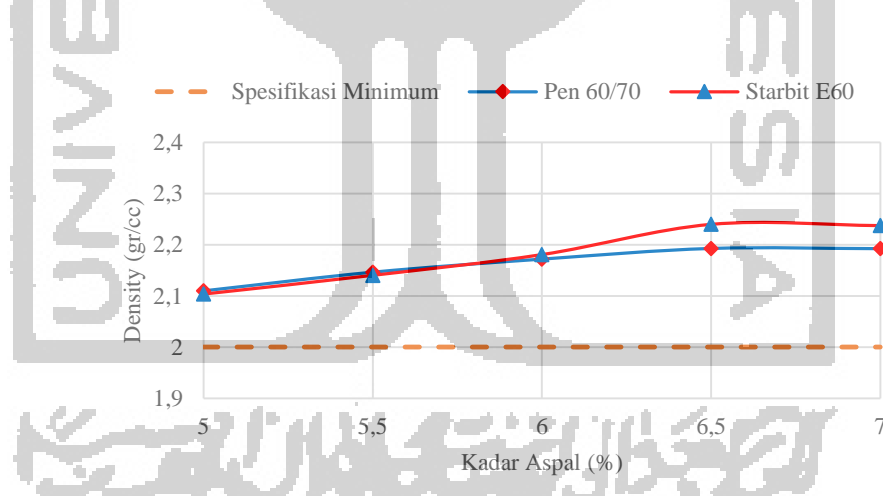
Berdasarkan Grafik 5.19 sampai 5.21 di atas memperlihatkan bahwa nilai VMA cenderung meningkat seiring dengan naiknya kadar aspal semakin besar nilai VMA maka aspal yang menyelimuti agregat akan semakin tebal, hal ini mengakibatkan campuran akan lebih kedap air, selimut aspal yang tipis akan menyebabkan ikatan dalam campuran mudah lepas.

6. Density

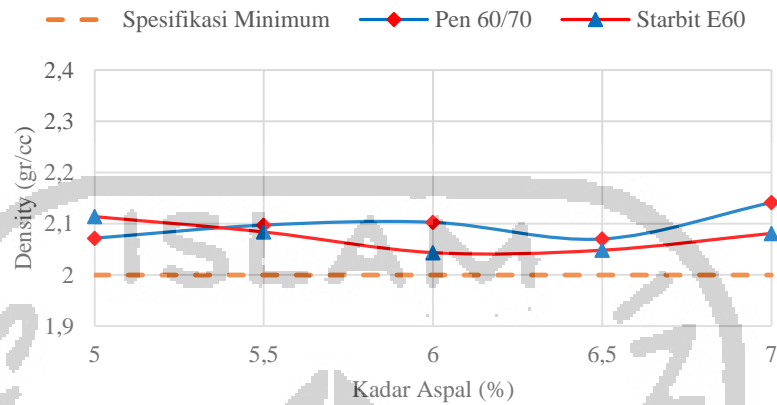
Density adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *density* adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal. Adapun nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 5.22 sampai 5.24 berikut.



Gambar 5. 22 Grafik *Density* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 23 Grafik *Density* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

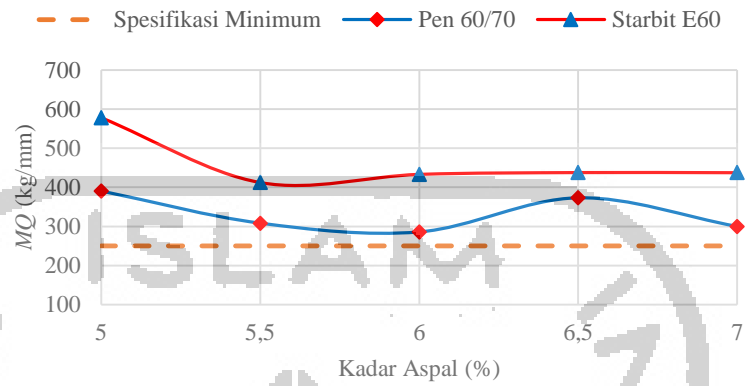


Gambar 5. 24 Grafik *Density* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

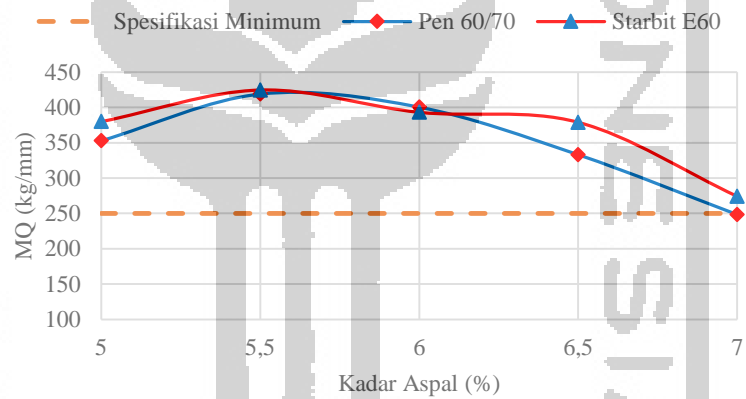
Berdasarkan Grafik 5.22 sampai 5.24 di atas memperlihatkan bahwa nilai kepadatannya cenderung naik seiring dengan naiknya kadar aspal dan menurun dengan bertambahnya variasi batu Zeolite, hal ini disebabkan oleh aspal yang meresap kedalam batu Zeolite yang memiliki penyerapan besar, sehingga campuran kekurangan aspal. Campuran yang menggunakan aspal Starbit E60 memiliki nilai kepadatan yang lebih tinggi karena pada aspal starbit lebih melekatkan agregat dibandingkan dengan Pen 60/70 sehingga menjadi lebih padat, selain itu sifat dari aspal pen 60/70 yang mudah mencair pada suhu tinggi menyebabkan campuran lebih rapat dibandingkan yang menggunakan aspal Starbit E60 walaupun perbedaannya tidak signifikan.

7. *MQ (Marshall Quotient)*

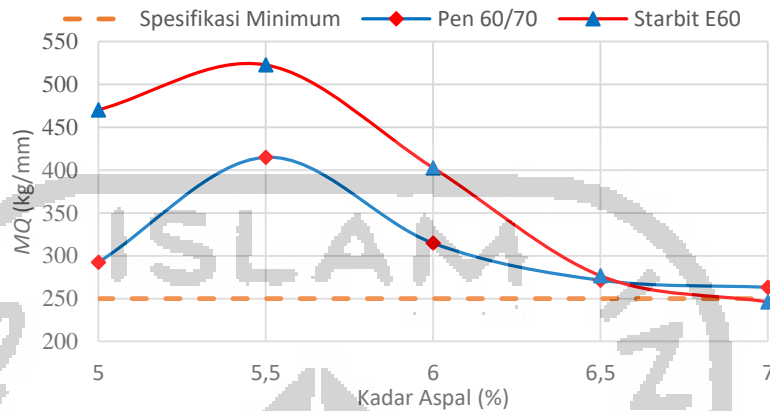
Marshall Quotient adalah hasil bagi *marshall* yang nilainya menyatakan kekakuan dan kelenturan suatu lapisan perkerasan. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran itu semakin getas begitu pula sebaliknya. Adapun hasil perhitungan *MQ* dapat dilihat pada gambar 5.25 sampai 5.27 berikut.



Gambar 5. 25 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 26 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 27 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.25 sampai 5.27 di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai kadar aspal semakin rendah nilai MQ nya, hal itu dikarenakan semakin tinggi nilai kadar aspal nilai flow semakin tinggi yang berarti fleksibilitas campuran semakin tinggi, hal ini sejalan dengan penelitian Putra (2017) yang menyatakan bahwa nilai MQ campuran yang menggunakan Starbit E60 lebih tinggi. Campuran yang menggunakan Starbit E60 memiliki sifat lebih kaku dibandingkan dengan campuran yang menggunakan Pen 60/70, hal itu dipengaruhi oleh titik lembek starbit yang lebih tinggi dibanding Pen 60/70. Kekakuan aspal starbit juga dibuktikan dengan penetrasinya pada suhu 25 derajat yang hasilnya lebih rendah dibanding dengan aspal pen 60/70.

5.1.4 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Pada Pengujian Ini didapatkan nilai KAO sebanyak enam buah, yaitu tiga KAO untuk aspal Pen 60/70 dan tiga KAO untuk Aspal Starbit E60. Hasil rekapitulasi nilai KAO dapat dilihat pada Tabel 5.12 di bawah ini

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum (%)		
Persen Substitusi Zeolite (%)	Aspal Pen 6070	Aspal Starbit E60

0	6,05	6,25
25	6,5	6,575
50	5,55	5,75

Berdasarkan Tabel 5.12 diatas dapat dilihat bahwa besarnya nilai KAO semakin meningkat seiring dengan naiknya persentase substitusi Zeolite, akan tetapi pada persentase substitusi 50% nilai KAO menurun karena pada kadar tersebut nilai *VFWA* dan *VITM* pada karakteristik *Marshall* tidak dipakai karena tidak memenuhi spesifikasi.

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran AC-BC Pada Kadar Aspal Optimum

Adapun hasil pengujian pada kadar aspal optimum (KAO) meliputi empat pengujian, yaitu: Pengujian *Marshall*, pengujian *Indirect Tensile Strength*, pengujian *Immersion* 24 Jam, dan pengujian *Cantabro* hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13 Sampai 5.20, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 29 sampai Lampiran 35.

1. Hasil Pengujian dan Pembahasan *Marshall* Standar Pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Adapun hasil pengujian *Marshall* standar pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 5.12 di bawah ini, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 29.

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian *Marshall* Standar Pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70

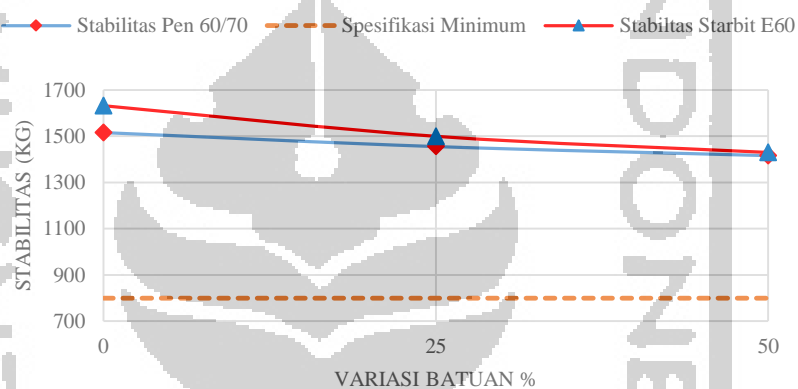
Variasi Substitusi Batuan (%)	Aspal Pen 60/70					
	Stabilitas	Flow	MQ	VITM	VMA	VFWA
0	1516,16	3,38	449,71	3,37	16,85	79,99
25	1455,71	3,57	410,33	4,27	18,95	74,56
50	1416,50	3,13	453,23	10,43	22,82	49,59

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian *Marshall* Standar Pada KAO Aspal Starbit E-60

Variasi Substitusi Batuan (%)	Aspal Starbit E60					
	Stabilitas	Flow	MQ	VITM	VMA	VFWA
0	1631,45	3,53	462,71	3,55	16,98	79,09

25	1499,27	3,70	408,86	4,77	19,13	72,21
50	1407,78	3,13	447,74	10,84	23,27	48,80

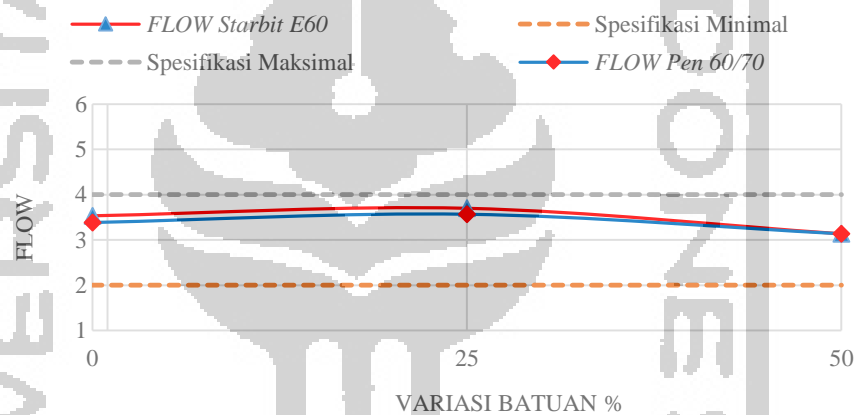
a. Stabilitas



Gambar 5. 28 Grafik Stabilitas pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.28 di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum untuk ketiga variasi persen substitusi agregat cenderung menurun baik untuk campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 maupun aspal Starbit E60 hal ini disebabkan oleh kekuatan batuan Zeolite yang lebih rendah dari batu Clereng yang dilihat dari hasil uji abrasi. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa aspal starbit E60 memiliki stabilitas lebih tinggi karena pada pengujian marshall, sampel direndam pada suhu ekstrem 60 derajat yang mana pada kondisi tersebut aspal starbit cenderung lebih tahan terhadap suhu tinggi. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Kurniawan (2017) mengatakan bahwa stabilitas campuran yang menggunakan Zeolite akan menurun seiring dengan naiknya persen substitusi Zeolite.

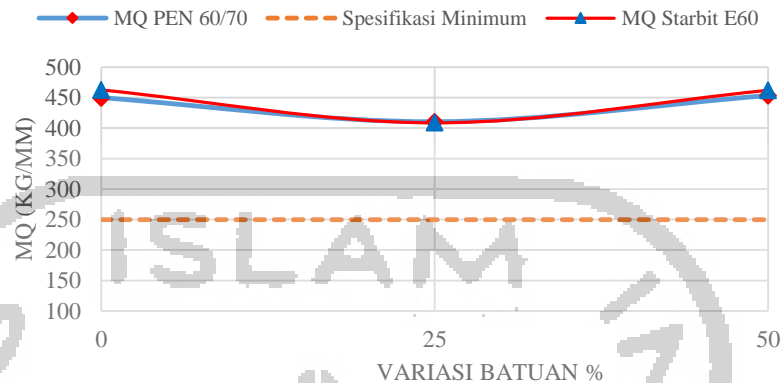
b. *Flow*



Gambar 5. 29 Grafik *Flow* pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.29 di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* cenderung semakin naik seiring dengan naiknya variasi substitusi agregat Zeolite karena kadar aspal optimum cenderung naik. Sedangkan pada variasi 50% *flow* menurun karena pada variasi tersebut KAO lebih rendah dari variasi 25%. Aspal starbit cenderung memiliki *flow* tinggi karena memiliki kandungan minyak yang lebih besar, hal ini di buktikan dengan nilai titik nyalanya yang lebih rendah dibanding Pen 60/70. Semakin naik persen substitusi Zeolite maka *flow* akan naik karena *flow* juga di pengaruhi oleh kekasaran permukaan dari batuan, yang mana kekasaran pada batu Zeolite lebih rendah

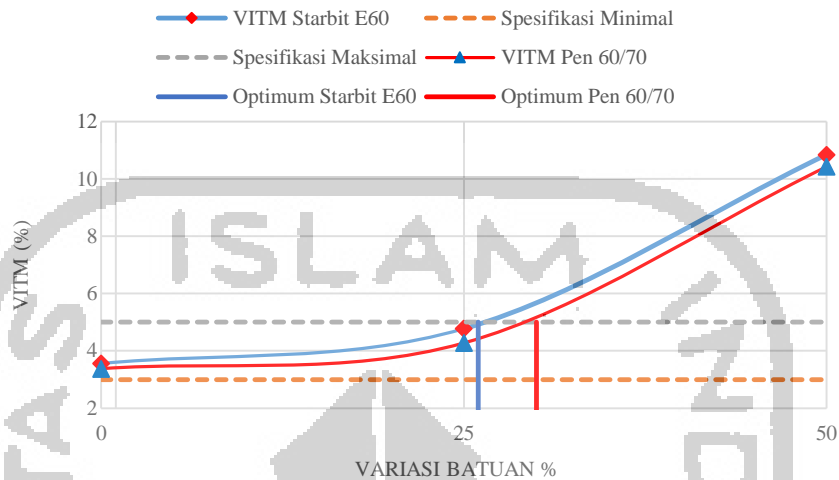
c. *Marshall Quotient*



Gambar 5. 30 Grafik MQ pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.30 di atas dapat dilihat bahwa nilai MQ akan turun seiring dengan naiknya variasi substitusi Zeolite, campuran dengan nilai MQ besar akan lebih bersifat getas, dan kurang stabil. Nilai MQ untuk aspal Starbit E60 lebih tinggi dibandingkan Aspal Pen 60/70 hal ini menunjukkan bahwa aspal starbit E60 Lebih getas dan kaku daripada aspal Pen 60/70, hal ini didukung dengan indeks penetrasi aspal Starbit E60 yang lebih besar dari Pen 60/70, indeks penetrasi yang semakin besar mengakibatkan aspal atau campuran tidak peka terhadap suhu dan bersifat getas. Penelitian ini juga sejalan dengan Putra (2018) yang mengatakan bahwa nilai MQ starbit E60 cenderung lebih tinggi daripada Pen 60/70 pada kondisi KAO. Pada variasi 50% substitusi Zeolite hasil MQ naik karena pada substitusi tersebut KAO nya rendah karena kekurangan aspal, sehingga *flow* rendah.

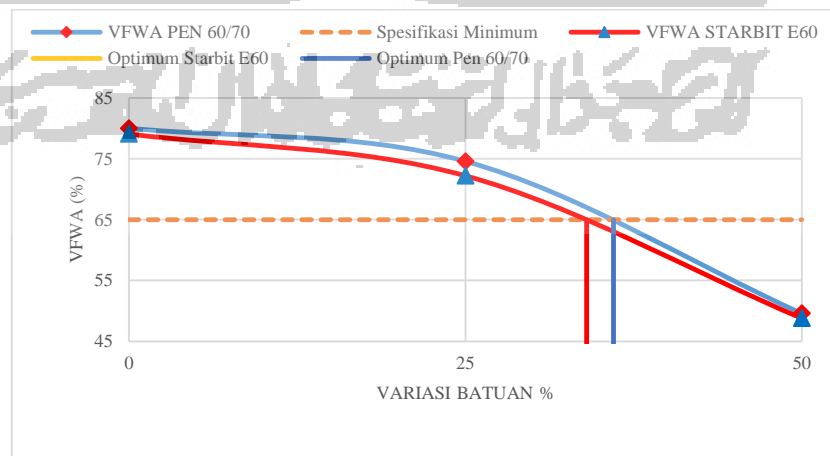
d. *Void in the Mix*



Gambar 5.31 Grafik VITM pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikut Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.31 di atas dapat dilihat bahwa nilai VITM akan naik seiring dengan bertambahnya proporsi agregat Zeolite, hal ini disebabkan oleh nilai penyerapan dari batu Zeolite lebih besar dari batu Clereng. Penelitian ini sejalan dengan Kurniawan (2017) yang mengatakan bahwa persen optimum penggunaan Zeolite adalah di bawah 37,5%, selebihnya untuk VITM tidak masuk spesifikasi

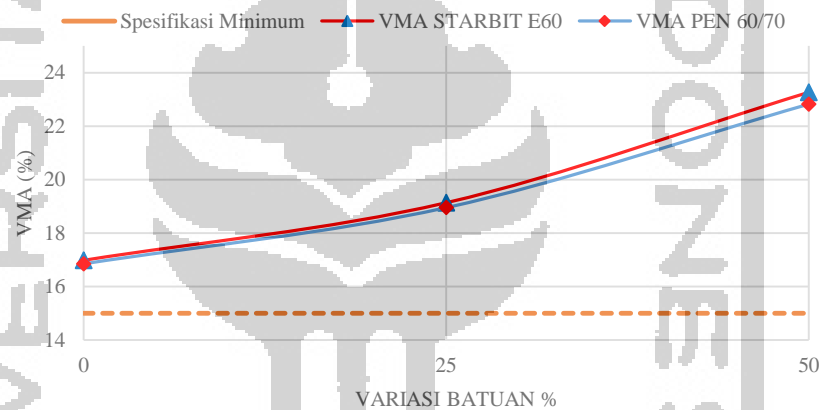
e. *Void Filled with Asphalt*



Gambar 5. 32 Grafik VFWA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.32 di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi persen substitusi batu Zeolite maka nilai VFWA akan semakin turun. Hal ini disebabkan aspal yang mengisi rongga menjadi semakin sedikit karena aspal cenderung terserap ke batu Zeolite sehingga aspal yang menutup rongga cenderung sedikit.

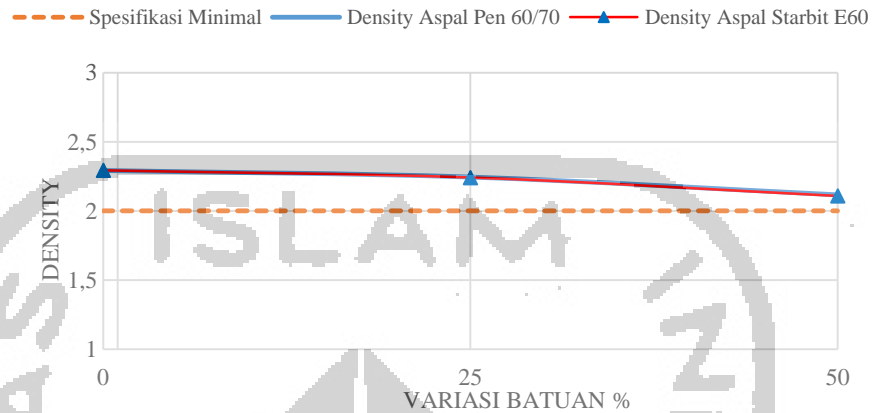
f. *Void in Mineral Agregat*



Gambar 5. 33 Grafik VMA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.33 diatas dapat dilihat bahwa nilai VMA akan naik seiring dengan naiknya persen substitusi agregat batu Zeolite, hal ini disebabkan karena batu Zeolite cenderung memiliki pori yang lebih tinggi dibanding batu Clereng, sehingga persentase pori diantara agregat cenderung lebih tinggi pada campuran yang menggunakan batu Zeolite sebagai substitusi, sedangkan pada campuran berbahan ikat Starbit E60 dan Pen 60/70 tidak memiliki perbedaan yang besar.

g. *Density*



Gambar 5. 34 Grafik *Density* pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.34 di atas dapat dilihat bahwa nilai kepadatan (*Density*) semakin menurun seiring dengan naiknya persen substitusi batuan, semakin menurun nilai kepadatan tersebut dipengaruhi oleh batu Zeolite yang memiliki pori yang lebih besar dibanding batu Clereng. Pori yang besar menandakan batuan tersebut memiliki kepadatan yang rendah sehingga memiliki volume yang besar. Nilai kepadatan pada campuran dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit E60 cenderung sama atau tidak mempunyai perbedaan yang besar

2. Hasil Pengujian dan Pembahasan *Indirect Tensile Strenght* Pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60.

Adapun hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan 5.16 di bawah ini, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 31.

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70

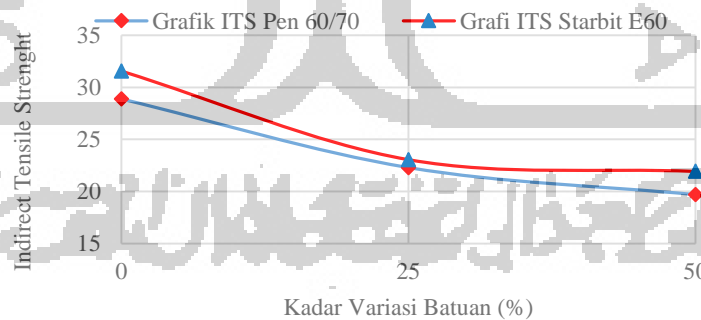
Pen 60/70

Variasi Substitusi Batuan (%)	ITS (kg/cm ²)
0	28,88
25	22,29
50	19,70

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada KAO Aspal Starbit E-60

Aspal Starbit E 60	
Variasi Substitusi Batuan (%)	ITS (kg/cm ²)
0	31,55
25	23,06
50	21,93

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. Berdasarkan data diatas dapat dibuat Grafik hasil pengujian *ITS* sebagai berikut. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut



Gambar 5. 35 Grafik *ITS* Pada Variasi Agregat Dengan Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.35 di atas dapat dilihat bahwa nilai *ITS* cenderung menurun seiring bertambahnya variasi substitusi agregat kasar, hal ini disebabkan kelekatan batuan Zeolite terhadap aspal lebih rendah dibandingkan dengan batuan Clereng, struktur batu Zeolite yang getas dan mudah patah juga menyebabkan nilai *ITS* menurun. Penelitian ini sejalan dengan Kurniawan (2017), bahwa nilai *ITS* akan menurun seiring dengan naiknya persen substitusi Zeolite. Nilai *ITS* pada campuran dengan bahan ikat Starbit E60 memiliki nilai *ITS* yang tinggi karena Starbit E60 terbukti lebih lekat dibanding dengan Pen 60/70.

3. Karakteristik *Cantabro* Pada Kondisi KAO

Adapun hasil pengujian *Cantabro* pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan 5.18 di bawah ini, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 33 dan Lampiran 34.

Tabel 5. 17 Hasil Pengujian *Cantabro* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70

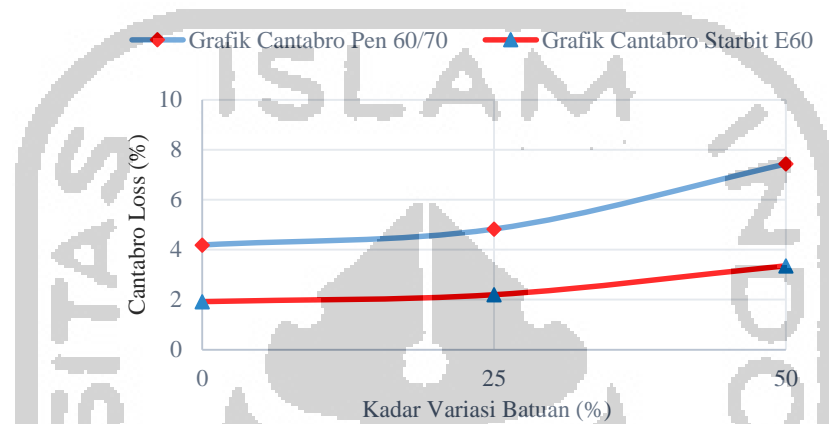
Variasi Substitusi Batuan (%)	Kehilangan Berat (%)
0	4,19
25	4,83
50	7,43

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian *Cantabro* pada KAO Aspal Starbit E-60

Variasi Substitusi Batuan (%)	Kehilangan Berat (%)
0	1,92
25	2,19
50	3,35

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 *ITS* dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut.



Gambar 5. 36 Grafik Karakteristik *Cantabro* Pada Kondisi KAO

Berdasarkan Grafik 5.36 diatas dapat dilihat bahwa nilai keausan campuran semakin meningkat seiring dengan naiknya variasi substitusi Zeolite, hal ini disebabkan karena campuran dengan variasi agregat Zeolite lebih mudah aus karena nilai pengujian keausan agregat Zeolite lebih besar dibandingkan dengan Clereng. Pada campuran berbahan ikat Starbit E60 memiliki nilai *Cantabro* lebih rendah karena Starbit lebih lekat sehingga ikatan antara aspal dan agregat menjadi lebih kuat.

4. Hasil Pengujian *Imerrision* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60.

Adapun hasil pengujian *Imerrision* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 di bawah ini, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 35 dan Lampiran 36.

Tabel 5. 19 Hasil Pengujian *Imerrision* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70

Index of Retained Strength Pen 60/70			
Substitusi Agregat Kasar (%)	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	Nilai IRS
0	1516,16	1414,28	93,28
25	1455,71	1336,49	91,81
50	1416,50	1182,49	83,48

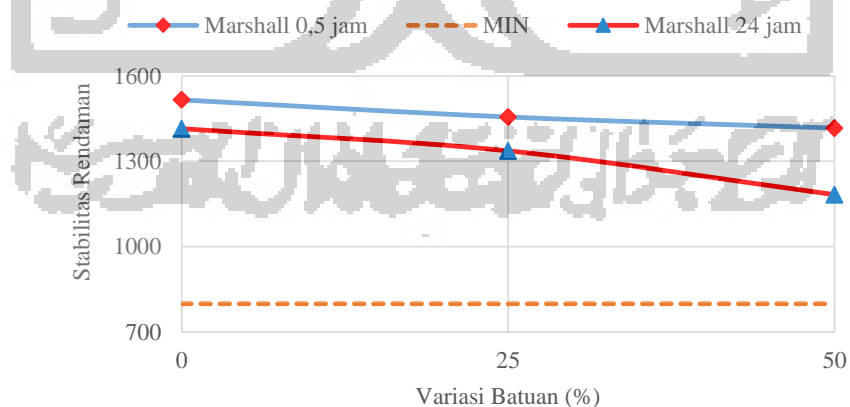
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian *Immersion* pada KAO Aspal Starbit E-60

Index of Retained Strength Starbit E60			
Substitusi Agregat Kasar (%)	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	Nilai IRS
0	1631,45	1489,39	91,292
25	1499,27	1367,59	91,217
50	1407,78	1189,87	84,521

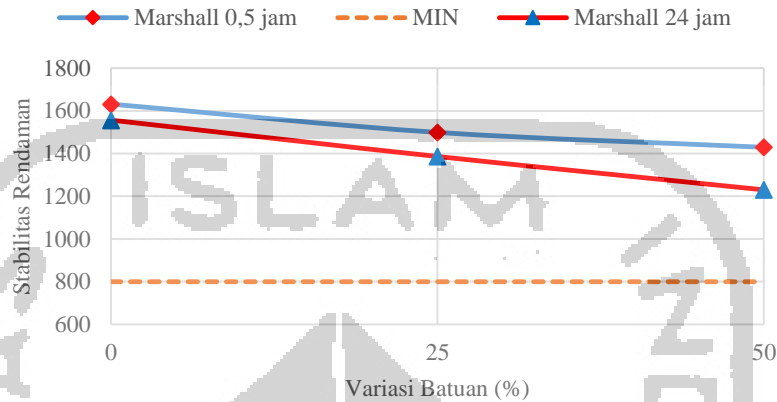
Immersion test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar, hanya waktu perendaman di dalam *waterbath* yang berbeda. Dalam pengujian ini dilakukan perendaman di *waterbath* selama 24 jam. Berdasarkan Bina Marga 2018 nilai *Index Retained Strenght* minimal adalah 90%.

a. Stabilitas Rendaman

Nilai Stabilitas rendaman 0,5 jam dan 24 jam dapat dilihat pada gambar 5.37 dan 5.38 berikut ini.



Gambar 5. 37 Nilai Stabilitas Rendaman Aspal Pen 60/70

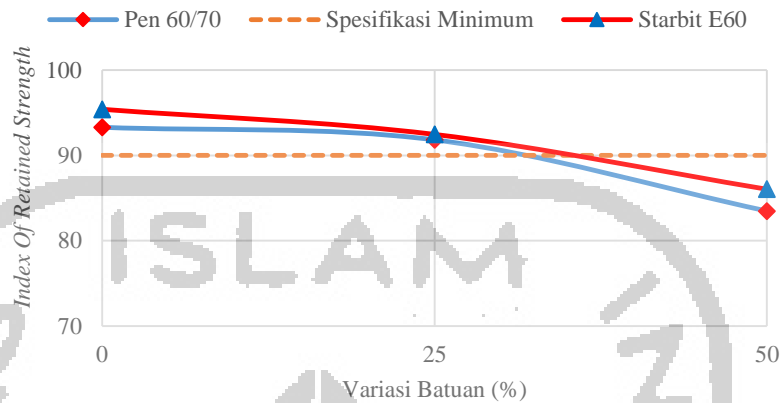


Gambar 5. 38 Nilai Stabilitas Rendaman Aspal Starbit E60

Pada gambar 5.37 dan 5.38 di atas, terlihat bahwa campuran dengan persen substitusi yang besar mengakibatkan nilai stabilitas 0,5 jam dan 24 jam menurun, hal ini disebabkan pori agregat Zeolite yang besar, pernyataan ini sejalan dengan penelitian Arum (2017). Campuran yang menggunakan Starbit E60 juga memiliki stabilitas yang lebih tinggi pada perendaman 24 jam, hal ini membuktikan bahwa aspal Starbit E60 lebih tahan terhadap suhu ekstrim. Penyerapan yang tinggi berpengaruh pada kelekatan aspal, karena aspal bersifat *hidrofobik* (tidak suka air) sehingga daya ikat aspal dan agregat pada campuran menurun yang menyebabkan nilai stabilitas pada perendaman cenderung menurun

b. *Index of Retained Strenght*

Index of Retained Strenght adalah indeks tahanan sisa yang berasal dari proses perendaman. Nilai *IRS* dihitung dengan cara membandingkan nilai stabilitas perendaman selama 24 jam dengan stabilitas perendaman 0,5 jam. Nilai *IRS* dapat dilihat pada gambar 5.39 berikut ini.



Gambar 5. 39 Nilai *Index Retained Strenght*

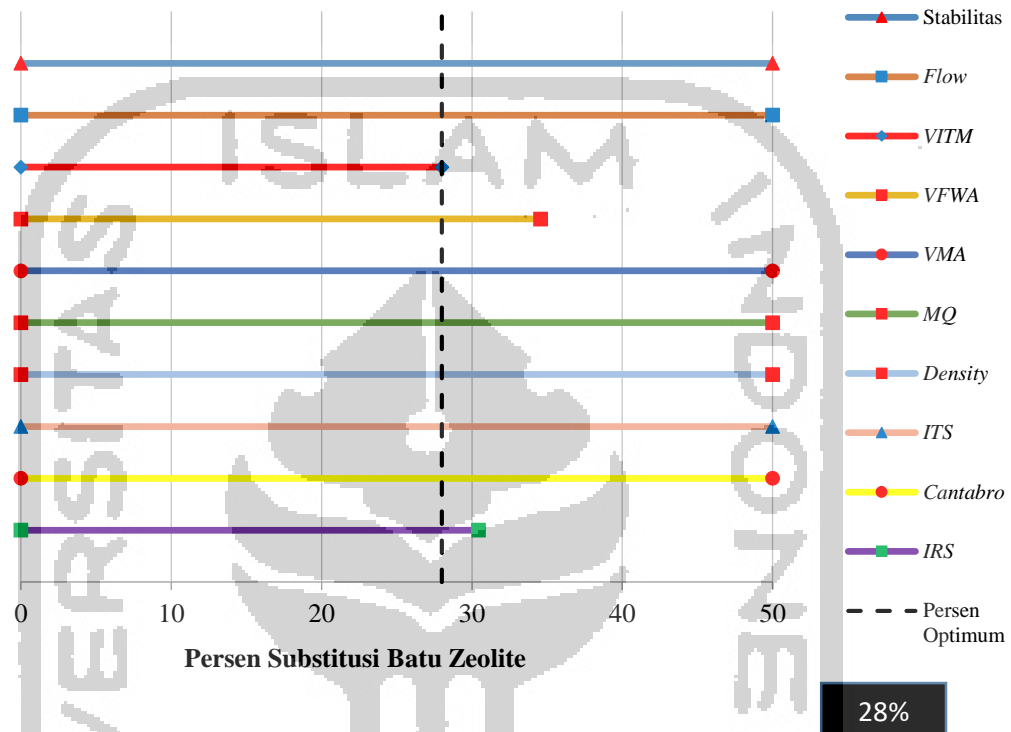
Berdasarkan Grafik 5.39 di atas dapat dilihat bahwa nilai *IRS* cenderung menurun seiring dengan naiknya persen substitusi batu Zeolite, hal ini sejalan dengan penelitian Kurniawan (2017) yang menyatakan bahwa nilai *IRS* cenderung menurun seiring dengan naiknya persen substitusi Zeolite. Putra (2017) mengatakan bahwa nilai *IRS* campuran yang menggunakan aspal Starbit E60 lebih tinggi daripada yang menggunakan aspal Pen 60/70, sehingga penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya.

5.1.6 Persentase Optimum Substitusi Optimum Batu Zeolite Terhadap Agregat Kasar

Setelah dilakukan serangkaian pengujian, maka didapatkan hasil persentase optimum batu Zeolite pada campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.40 dan 5.41 berikut ini.

1. Persentase Optimum Substitusi Batu Zeolite dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70

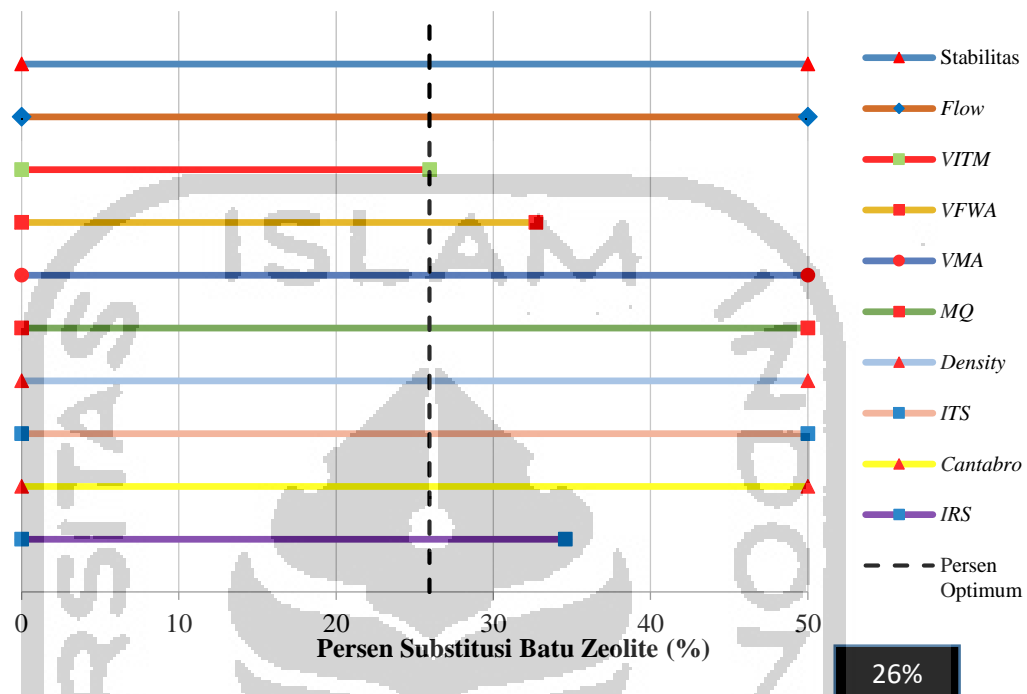
Persentas optimum substitusi batu Zeolite pada campuran AC - BC berbahan ikat Aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.40 dibawah ini.



Gambar 5. 40 Grafik Persentase Optimum Substitusi Batu Zeolite dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70

2. Persentase Optimum Substitusi Batu Zeolite dengan Bahan Ikat Aspal Starbit E60

Persentas optimum substitusi batu Zeolite pada campuran AC - BC berbahan ikat Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Gambar 5.40 dibawah ini



Gambar 5. 41 Grafik Persentase Optimum Substitusi Batu Zeolite dengan Bahan Ikat Aspal Starbit E60

Berdasarkan grafik 5.40 dan 5.41 di atas, maka dapat dilihat bahwa pada campuran yang menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 memiliki kadar persentase optimum Zeolite sebesar 28% terhadap berat total agregat kasar dan pada campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit E60 memiliki kadar persentase optimum sebesar 26% terhadap berat total agregat kasar. Nilai *VITM* pada kedua pencampuran menjadi pertimbangan yang penting, dikarenakan nilai *VITM* menjadi yang terkecil persentasenya pada kedua campuran ini.