

**BAB V**  
**HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS**

**A. Hasil Penelitian**

**1. Penyajian data hasil pengujian sifat-sifat fisik agregat**

Agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Desa Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik atau karakteristik agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang digunakan dalam campuran. Gradasi yang ditinjau adalah didasarkan pada gradasi laston lapis aus (AC-WC) dari spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2.

Berat jenis bulk agregat gabungan (Gsb) diperoleh dari hasil perhitungan penggabungan dari masing-masing fraksi. Data berat jenis bulk gabungan diperlukan dalam perencanaan campuran beraspal. Hasil berat jenis bulk (Gsb) adalah 2,546 dipakai untuk campuran menggunakan aspal Pen 60/70. Tabel 5.1 merupakan hasil pemeriksaan kualitas agregat kasar, agregat halus, dan *filler* memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2.

Tabel 5.1 Hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Minimal	Maksimal	
<b>I. Agregat Kasar</b>						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,521	-	-	SNI 03-1969-1990
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,690	2,5	-	SNI 03-1969-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,606	-	-	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan	%	0,95	-	3	SNI 03-1969-1990
5	Pengujian Abrasi	%	38,28	-	40	SNI 03-2417-1991
<b>II. Agregat Halus</b>						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,580	-	-	SNI 03-1979-1990
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,685	2,5	-	SNI 03-1979-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,633	-	-	SNI 03-1979-1990
4	Penyerapan	%	2,459	-	3	SNI 03-1979-1990
<b>III. Filler</b>						
1	Berat jenis	%	2,550	2,5		SNI 03-1979-1990
<b>IV Agregat Gabungan</b>						
1	Berat jenis <i>bulk</i>	%	2,546			
2	Berat jenis efektif	%	2,612			

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (revisi-2), PU-Bina Marga

## 2. Penyajian data hasil pengujian aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini merupakan aspal keras dengan Pen 60/70. Pengujian aspal yang akan digunakan dalam campuran memenuhi keseluruhan persyaratan spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 2. Tabel 5.2 merupakan hasil pengujian karakteristik aspal Pen 60/70.

Tabel 5.2 Hasil pengujian aspal keras Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	63,3	60	79	Spesifikasi 2010 Revisi 2
2	Titik Lembek	°C	51,0	48	-	
3	Titik Nyala	°C	323	232	-	Spesifikasi 2010 Revisi 2
4	Daktilitas 25°C	Cm	100	100	-	Spesifikasi 2010 Revisi 2
5	Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	1,03	1,0	-	Spesifikasi 2010 Revisi 2
6	Kehilangan Berat	% berat	0,26	-	0,8	
7	Kelarutan Dalam CCl <sub>4</sub>	% berat	99,58	99		Spesifikasi 2010 Revisi 2
8	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	% of original	90,36	75		Spesifikasi 2010 Revisi 2

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (revisi-2), PU-Bina Marga

## 3. Penyajian data hasil rancangan campuran beton aspal dengan metode *marshall* pada variasi kadar aspal tertentu

Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan metode *Marshall*. Pada pengujian metode *Marshall* berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) mensyaratkan enam parameter yang harus dipenuhi yaitu nilai kerapatan (*density*) VIM (*Void in the mix*), VMA (*Void in the Mineral Aggregate*), VFA (*Void Filled with Asphalt*), stabilitas, kelelahan (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ), di peroleh dari hasil analisis terhadap pengujian *Marshall*.

Dari data hasil pengujian *Marshall*, maka dapat ditentukan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum pada campuran beraspal adalah kondisi saat suatu campuran beraspal dengan jumlah kadar aspal tertentu mempunyai sifat-sifat *propertisies Marshall* yang memenuhi spesifikasi campuran perkerasan. Rumus-rumus yang digunakan dalam analisis *Marshall* ditunjukkan pada Persamaan 3.2 s/d 3.14.

Pada penelitian ini dibuat benda uji dengan 5 variasi kadar aspal untuk mendapatkan besar kadar aspal optimum yang sebelumnya telah ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.1. Kadar aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan metode *narrow range* merupakan rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi campuran beraspal dari Dep.Pekerjaan Umum 2010 (Tabel III.8), yaitu: VFA, VIM, VMA, stabilitas, kelelahan dan MQ. Penentuan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan nilai tengah dari rentang kadar aspal maksimum dan minimum yang memenuhi semua persyaratan spesifikasi. Adapun hasil dari pengujian *Marshall* terhadap benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Hasil Pengujian *Marshall* untuk kadar aspal optimum

NO	Sifat-Sifat Campuran	SPESIFIKASI	% ASPAL				
			5%	5,5%	6%	6,5%	7%
1	Density	-	2,25	2,28	2,29	2,30	2,33
2	VFA	>65 %	54,21	65,54	73,43	80,23	93,18
3	VIM	3 - 5%	7,44	5,28	4,08	3,05	1,03
4	VMA	>15 %	16,20	15,30	15,29	15,44	14,75
5	Stabilitas	>800 kg	2547,80	3028,96	3016,62	2958,02	2646,48
6	Flow	>3 mm	5,25	5,42	5,62	5,70	5,90
7	MQ	>250 kg/mm	437,44	495,22	479,10	473,71	436,21

#### 4. Penyajian data hasil pengujian perendaman *marshall*

Pengujian perendaman *Marshall* merupakan salah satu jenis pengujian untuk mengetahui durabilitas campuran. Uji rendaman panas dilakukan untuk mengukur kinerja ketahanan campuran terhadap kerusakan oleh air. Dari pengujian ini diperoleh stabilitas *Marshall* campuran setelah dipengaruhi oleh air.

Hasil perbandingan antara stabilitas benda uji setelah perendaman dan stabilitas benda uji standar dinyatakan dalam persen, yang disebut indeks kekuatan *Marshall* sisa (*Marshall Index of Retained Strength*). Pengujian perendaman *Marshall* dilakukan pada Kadar Aspal Optimum (KAO). Untuk pengujian *Marshall* variasi lama waktu perendaman adalah 30 menit (0,5 jam) dan 24 jam. Untuk hasil pengujian *Marshall* pada suhu 60°C, selama 0,5 jam disajikan

pada Tabel 5.4 dan untuk hasil pengujian *Marshall* pada suhu 60°C, selama 24 jam disajikan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian *Marshall* (Perendaman Standar 0,5 jam, Suhu 60°C)  
Benda Uji Dengan Kadar Aspal Optimum

No	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)
			6,05
1	Density	-	2,31
2	VMA	>15 %	15,10
3	VFWA	>65 %	75,38
4	VITM	3 – 5	3,72
5	Stabilitas	>800 kg	2702,0
6	Flow	>3 mm	4,07
7	MQ	>250 kg/mm	581,12

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Marshall* (Perendaman Standar 24 jam, Suhu 60°C)  
Benda Uji Dengan Kadar Aspal Optimum

No	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)
			6,05
1	Density	-	2,31
2	VMA	>15 %	15,06
3	VFWA	>65 %	75,53
4	VITM	3 – 5	3,69
5	Stabilitas	>800 kg	2538,53
6	Flow	>3 mm	3,10
7	MQ	>250 kg/mm	763,16

## B. Analisis Data

### 1. Pengujian agregat

Hasil dari pengujian sifat-sifat fisik atau karakteristik agregat kasar, agregat halus dan filler yang digunakan dalam campuran seperti yang terlihat pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan Departemen Pekerjaan Umum 2010.

#### a. Berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dilakukan pada setiap bagian agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Nilai-nilai berat jenis (*bulk*) yang diperoleh untuk agregat kasar 2,521, agregat halus 2,580 dan berat jenis *filler* yaitu 2,55 nilai ini memenuhi dari spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang menetapkan persyaratan berat jenis (*bulk specific gravity*) agregat kasar dan halus minimum 2,5. Perbedaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus adalah 0,06. Perbedaan berat jenis ini di bawah yang disyaratkan yaitu tidak boleh lebih dari 0,2. Untuk uji penyerapan, nilai yang diperoleh untuk agregat kasar dan halus masing-masing 2,459% dan 1,523% dapat dipenuhi dari spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang menetapkan persyaratan penyerapan air oleh agregat maksimum 3%. Berat jenis yang kecil akan mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama akan membutuhkan aspal yang banyak. Agregat hendaknya sedikit berpori agar dapat menyerap aspal, sehingga terbentuklah ikatan mekanis antara *film* aspal dan butiran batu. Agregat berpori banyak akan menyerap aspal besar sehingga tidak ekonomis.

#### b. Kekerasan

Kekerasan dari agregat kasar diukur dengan uji Abrasi dengan mesin Abrasi Los Angeles, nilai yang diperoleh dari pengujian tersebut adalah 38,66% dapat dipenuhi dari spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang menetapkan persyaratan maksimum nilai abrasi sebesar 40% untuk agregat kasar. Dari hasil uji tersebut dapat disimpulkan bahwa agregat ini mempunyai nilai keausan yang kecil sehingga tidak akan mudah pecah

selama pemadatan atau akibat pengaruh beban lalu lintas. Agregat dengan nilai keausan yang kecil tidak merubah gradasi karena agregat kasar tidak akan menjadi butiran yang halus dengan demikian agregat akan mempunyai gradasi yang memadai. Agregat yang kuat akan menghasilkan lapisan yang kuat karena bidang pengunci yang bersudut tidak akan mudah pecah.

c. Daya lekat terhadap aspal

Hasil uji kelekatan agregat terhadap aspal sebesar 98% dapat dipenuhi dari spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang menetapkan batasan minimum 95%. Ini menunjukkan agregat yang diuji memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang tinggi sehingga sifat ketahanan terhadap pemisahan aspal (*film-stripping*) tinggi pula. *Stripping* yaitu pemisahan aspal dari agregat akibat pengaruh air, dapat membuat agregat ini cocok untuk bahan campuran beraspal.

d. Angularitas

Angularitas merupakan suatu pengukuran penentuan jumlah agregat berbidang pecah. Hasil pengujian angularitas sebesar 51,88 ini dapat dipenuhi sesuai spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang menetapkan batasan minimum 80/75 ini menunjukkan agregat ini memiliki susunan permukaan yang kasar menyerupai kekasaran kertas ampelas sehingga akan menambah kekuatan campuran, dibandingkan dengan permukaan yang licin. Ruang agregat yang kasar biasanya lebih besar sehingga menyediakan tambahan bagian untuk diselimuti oleh aspal. Agregat dengan permukaan licin dengan mudah dilapisi aspal tipis, tetapi permukaan seperti ini tidak dapat memegang lapisan aspal tersebut tetap pada tempatnya.

e. Uji kesetaraan pasir (*sand equivalent test*)

Pengujian ini merupakan suatu tes lapangan untuk menentukan kandungan partikel halus atau lempung dalam agregat halus. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang menetapkan batasan minimum nilai kesetaraan pasir yaitu 50% ini berarti material lempung yang diijinkan berada dalam

agregat harus lebih kecil dari 50%. Hasil pengujian kesetaraan pasir didapat sebesar 87% atau mempunyai kandungan lempung sebesar 13% ini sesuai dengan standar yang ditetapkan. Dari hasil uji tersebut dapat disimpulkan bahwa agregat ini memiliki kebersihan yang tinggi. Agregat yang memiliki kebersihan yang rendah (kotor) akan memberikan pengaruh yang jelek pada kinerja perkerasan, seperti berkurangnya ikatan antara aspal dengan agregat yang disebabkan karena banyaknya lempung pada agregat tersebut.

## 2. Pengujian aspal

Hasil pengujian terhadap sifat-sifat fisik aspal Pen 60/70 diberikan pada Tabel 5.2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aspal yang digunakan dalam campuran beraspal Pen 60/70 semua memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Departemen Pekerjaan Umum 2010. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal Pen 60/70 yaitu :

### a. Berat jenis

Hasil uji berat jenis aspal Pen 60/70 sebesar 1,03 hasil ini memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Departemen Pekerjaan Umum 2010 minimal sebesar 1,0 untuk aspal modifikasi maupun aspal Pen. Ini menunjukkan bahwa aspal Pen 60/70 dalam campuran akan mempunyai ketahanan terhadap *Stripping* (pengelupasan karena pengaruh air).

### b. Uji kehilangan berat (*loss on heating*)

Pemeriksaan lainnya yang dilakukan yaitu kehilangan berat. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Berdasarkan pemeriksaan yang dilakukan didapatkan hasil sebesar 0,26% berat. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 dengan batas maksimum 0,8% berat.

### c. Penetrasi

Pengujian penetrasi dilakukan sebelum dan sesudah kehilangan berat (*Loss on Heating*). Berdasarkan pengujian aspal yang telah dilakukan pada

penetrasi standar (suhu 25°C) didapatkan nilai penetrasi aspal sebelum kehilangan berat untuk aspal Pen 60/70 sebesar 63,5. Hasil ini memenuhi syarat Departemen Pekerjaan Umum 2010 yaitu untuk penetrasi aspal Pen 60/70 pada temperatur 25°C, 100 gram, selama 5 detik harus berada dalam rentang nilai 60-79. Sedangkan dari hasil pengujian aspal Pen 60/70 memiliki nilai penetrasi pada temperatur suhu 25°C setelah kehilangan berat yaitu sebesar 90,36 hasil ini memenuhi syarat spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang mensyaratkan nilai penetrasi harus minimal 75 dari penetrasi asli. Pemeriksaan penetrasi ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal, semakin besar angka penetrasinya maka tingkat kekerasannya makin rendah.

d. Titik lembek

Nilai titik lembek pada aspal Pen 60/70 sebesar 55,05 memenuhi persyaratan spesifikasi Umum bina Marga 2010 Revisi 2 dengan batas minimal 48. Aspal dengan titik lembek yang lebih tinggi kurang peka terhadap perubahan temperatur dan lebih baik untuk bahan pengikat konstruksi perkerasan.

e. Titik nyala (*flash point*)

Pemeriksaan titik nyala berguna untuk mengetahui temperatur maksimum pemanasan terhadap aspal sehingga dapat diketahui batas pemanasan maksimum aspal pada saat proses pencampuran, sedangkan titik lembek berguna untuk mengetahui kepekaan terhadap perubahan temperatur. Dari hasil pemeriksaan terhadap titik nyala didapat sebesar 323°C. Pemeriksaan ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 dengan batas minimum 232°C.

f. Kelarutan di dalam karbon tetraklorida (CCL<sub>4</sub>)

Nilai pengujian kelarutan menunjukkan kemurnian aspal dan normalnya bebas dari air. Nilai kelarutan didalam CCL<sub>4</sub> untuk aspal Pen 60/70 sebesar 99,58 dari berat semula. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 yang mensyaratkan nilai kelarutan minimal 99%.



g. Uji daktilitas

Tujuan pemeriksaan ini untuk mengetahui sifat kohesi dan plastisitas dalam aspal itu sendiri. Untuk pemeriksaan daktilitas, hasil yang didapat memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2. Batas yang dipersyaratkan minimal 100 cm tetapi hasil dari pemeriksaan didapatkan sebesar 100 cm. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur. Salah satu yang dapat menyebabkan kegagalan pada pemeriksaan daktilitas pada penelitian ini yakni alat pengujian yang kecepatan penarikannya sudah tidak sesuai. Pemeriksaan sudah mengikuti prosedur yang benar dengan penambahan gliserin dalam campuran air agar berat jenis aspal terhadap air lebih besar dan pemeriksaan percobaan sudah dilakukan berulang-ulang.

3. Data hasil pengujian karakteristik *marshall* dengan variasi kadar aspal

a. Pengaruh prosentase kadar aspal variasi campuran terhadap nilai kepadatan (*densisty*)

Nilai *density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat, dibandingkan pada campuran yang mempunyai *density* rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan. Suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam, kadar aspal tinggi, porositas butiran rendah. Nilai *density* untuk masing- masing variasi kadar aspal dalam campuran disajikan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Nilai Density Variasi Kadar Aspal dalam Campuran AC-WC

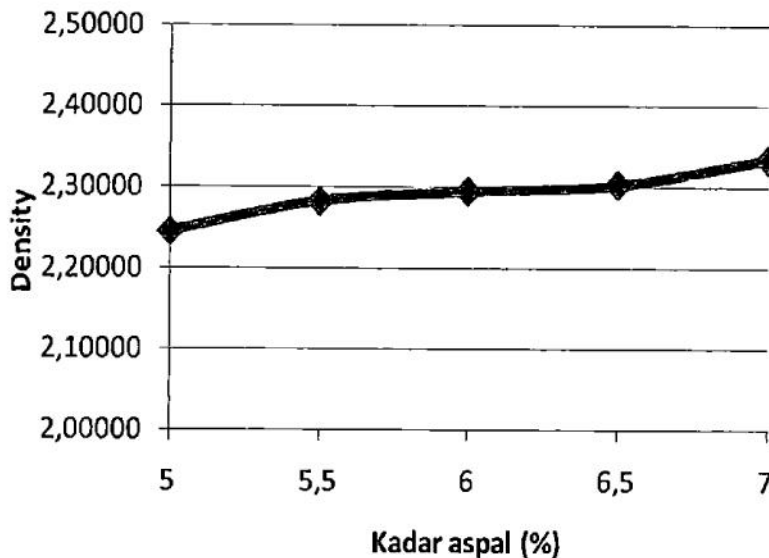
Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Density	gt/cm <sup>3</sup>	2,25	2,28	2,29	2,30	2,33

Dalam spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010), nilai *density* tidak memiliki persyaratan khusus. Nilai *density*

dipergunakan sebagai persyaratan teknis di lapangan yaitu kepadatan rata-rata lapisan yang telah selesai dipadatkan di lapangan tidak boleh kurang dari 97% kepadatan laboratorium. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai *density* dari hasil pengujian didapatkan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Density} &= \frac{\text{Berat kering}}{\text{Volume benda uji}} \\ &= \frac{1246,1}{555,0} \\ &= 2,25 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai *density* yang didapat pada kadar aspal 5% adalah 2,25 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai yang didapatkan juga relatif semakin naik. Hubungan antara *density* dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Density* (gr/cm<sup>3</sup>)

Dari Gambar 5.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang diberikan maka nilai *density* yang dihasilkan cenderung naik dan kenaikannya relatif kecil, hal ini disebabkan setiap penambahan kadar aspal akan mengisi rongga di antara butiran agregat, sehingga rongga dalam campuran menjadi lebih kecil dan campuran menjadi lebih rapat.

b. Pengaruh prosentase kadar aspal variasi campuran terhadap nilai VMA (*Voids in the Mineral Aggregate*)

VMA (*Voids in the Mineral Aggregate*) adalah rongga di antara butiran agregat dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan, dan dinyatakan dalam prosentase dari volume campuran agregat aspal. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, bentuk dan gradasi agregat serta cara pemadatan meliputi jumlah dan temperatur pemadatan. Nilai VMA untuk masing-masing variasi kadar aspal dalam campuran disajikan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Nilai VMA Variasi Kadar Aspal Campuran AC-WC

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
VMA (%)	≥ 15	16,20	15,30	15,29	15,44	14,75

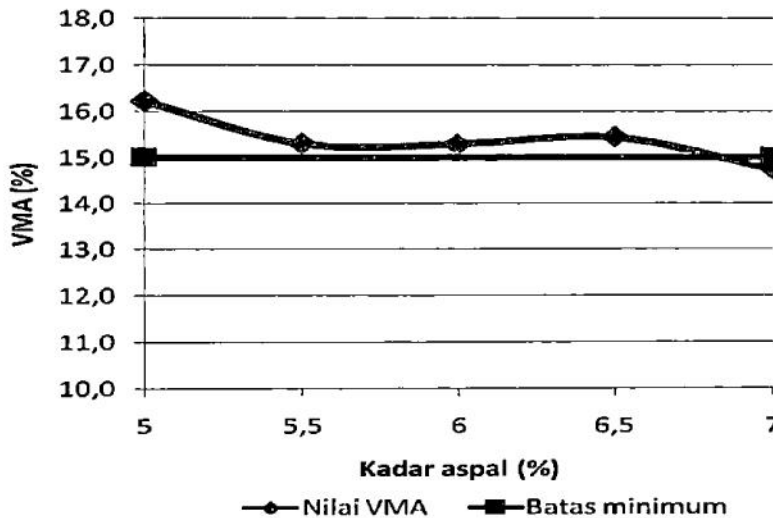
Dari tabel di atas nilai VMA yang disyaratkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 pada campuran AC-WC minimum 15% dengan pemadatan 75 kali per bidang. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai VMA dari hasil pengujian yang didapat, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{VMA} &= (100 - J_{\text{curah}}) \\
 &= (100 - 83,8) \\
 &= 16,20 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai VMA yang didapat pada kadar aspal 5% adalah 16,20 %. VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori.

Kadar aspal yang berlebihan dapat menyebabkan nilai VMA lebih besar, hal ini dikarenakan *film* aspal menjadi lebih tebal sehingga jarak antar agregat menjadi lebih besar. Nilai VMA yang besar akibat dari *film* aspal yang tebal akan menyebabkan campuran mempunyai durabilitas yang tinggi, namun jika jumlah kadar aspal terlalu berlebihan dan membuat stabilitas dari campuran

menjadi turun, oleh karena itu diperlukan suatu kadar aspal yang optimum agar dapat mengakomodasi kedua sifat tersebut. Hubungan antara nilai VMA dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.2



Gambar 5.2 Hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%)

Pada Gambar 5.2 menunjukkan bahwa benda uji dengan variasi kadar aspal 5% memiliki nilai VMA paling besar dibandingkan dengan benda uji dengan variasi kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Hal ini disebabkan rongga antara agregat dalam campuran lebih sedikit sehingga nilai VMA juga semakin kecil. Jadi nilai VMA berbanding terbalik dengan nilai *density* campuran. Pada saat penambahan kadar aspal tertentu, nilai VMA bergerak turun namun jika kadar aspal ditingkatkan lagi maka nilai VMA pun bergerak naik. Hal ini dapat dilihat pada saat penambahan kadar aspal 5,5% nilai VMA cenderung turun namun setelah kadar aspal ditingkatkan menjadi 6% dan 6,5 % maka nilai VMA pun bergerak naik. Hal ini terjadi karena setiap penambahan kadar aspal akan menyebabkan *film* aspal menjadi lebih tebal sehingga jarak antara agregat menjadi lebih besar hingga didapat kondisi optimum, *film* aspal menyelimuti agregat secara efektif. Namun pada penambahan kadar aspal 7% cenderung nilai VMA bergerak turun, hal ini terjadi diperkirakan karena adanya perubahan susunan rongga antara agregat dalam campuran karena faktor pemadatan terdapat agregat kasar yang pecah akibat pemadatan sehingga

jumlah rongga antara agregat menjadi lebih kecil. Saat diisi aspal dengan kadar yang berlebihan menyebabkan *film* aspal yang menyelimuti agregat semakin membuat jarak antara agregat semakin membesar pula sehingga nilai atau nilai VMA akan semakin naik.

c. Pengaruh prosentase variasi kadar aspal terhadap nilai VIM (*Voids In The Mix*)

VIM (*Voids In The Mix*) menyatakan total prosentase rongga dalam campuran. Besarnya nilai VIM sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat dan cara pemadatan campuran. Nilai VIM dapat mengindikasikan tingkat kedekatan campuran, semakin besar nilai VIM berarti semakin besar juga rongga di dalam campuran. Hal ini menunjukkan campuran makin kurang kedap terhadap udara dan air, sehingga campuran akan lebih mudah teroksidasi dan diresapi oleh air. Jika hal ini terjadi maka dapat mengakibatkan kerusakan pada perkerasan. Nilai VIM dari masing-masing variasi kadar aspal AC-WC disajikan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Nilai VIM Variasi Kadar Aspal dalam Campuran AC-WC

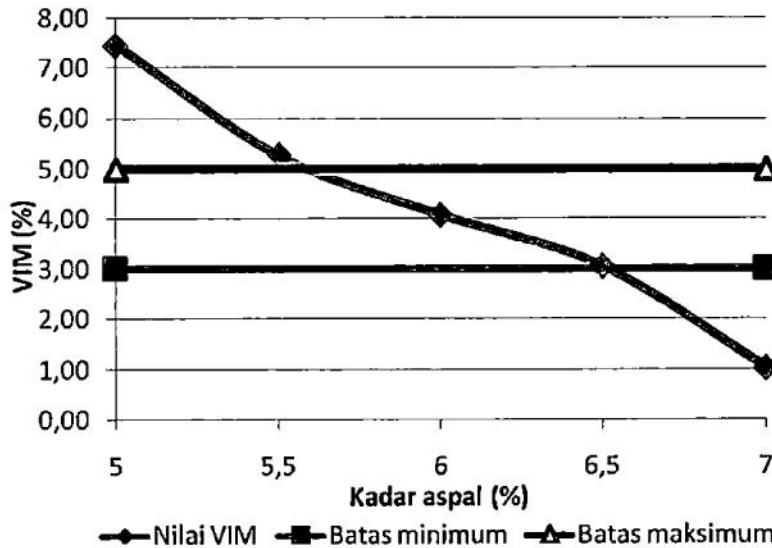
Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
VIM (%)	3-5	7,44	5,28	4,08	3,05	1,03

Untuk itu nilai VIM disyaratkan nilai optimum. Nilai VIM yang disyaratkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-WC minimum 3,0% dan nilai maksimum 5,0%. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai VIM dari hasil pengujian yang didapat, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{VIM} &= \left(100 \times \frac{100 \times \text{berat volume}}{B.J \text{ maksimum teoritis}}\right) \% \\ &= \left(100 \times \frac{100 \times 2,24538}{2,426}\right) \% \\ &= 7,44 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai VIM yang didapat pada kadar aspal 5% adalah 7,44 %. Hubungan antara nilai VIM dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.3. Dari Gambar 5.3 menunjukkan

bahwa nilai VIM dipengaruhi oleh jumlah komposisi bahan susun dari masing-masing variasi campuran.



Gambar 5.3 Hubungan antara kadar aspal (%) dengan VIM (%)

Besarnya nilai VIM juga berhubungan dengan rongga antara butiran agregat di dalam campuran atau nilai VMA. Dari Gambar 5.3 ditunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal pada masing-masing variasi campuran maka nilai VIM pada masing-masing variasi campuran mengalami penurunan. Hal ini terjadi dikarenakan setiap penambahan kadar aspal akan mengisi rongga yang ada dalam campuran sehingga menyebabkan rongga yang tersisa dalam campuran atau nilai VIM akan semakin kecil.

Nilai VIM erat kaitannya dengan durabilitas campuran, jika nilai VIM terlalu tinggi maka campuran akan memiliki durabilitas yang rendah dan mudah mengalami kerusakan seperti *cracking*, *revelling*. Namun jika nilai VIM dalam campuran terlalu rendah berarti rongga di dalam campuran sangat kecil, sehingga tidak terdapat cukup rongga untuk menerima pemadatan akibat beban lalu lintas, jika hal ini terjadi maka campuran akan mudah mengalami kerusakan deformasi plastis atau ketidakstabilan (*instability*).

d. Pengaruh prosentase kadar aspal variasi campuran terhadap nilai VFA

(*Voids Filled With Asphalt*)

Nilai VFA (*Voids Filled With Asphalt*) adalah nilai yang menunjukkan besarnya rongga di dalam campuran yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai VFA dapat menunjukkan tingkat keawetan dari campuran. Semakin besar nilai VFA, berarti rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal semakin besar sehingga kekedapan campuran makin besar dan *film* yang menyelimuti agregat juga menjadi lebih tebal. Nilai VFA dari masing-masing variasi kadar aspal AC-WC disajikan dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.9. Nilai VFA variasi Kadar Aspal dalam Campuran AC-WC

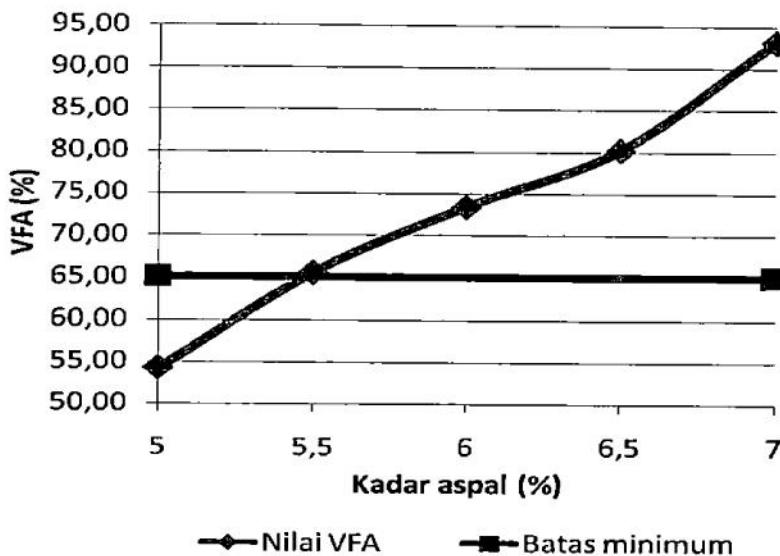
Karakteristik <i>Marshall</i>	Satuan	Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
VFA (%)	≥ 65	54,21	65,54	73,43	80,23	93,18

Nilai VFA yang disyaratkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-WC minimum 65%. Dari tabel di atas nilai VFA untuk masing-masing kadar aspal semakin meningkat. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai VFA dari hasil pengujian yang didapat, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{VFA} &= \left(100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}}\right) \% \\
 &= \left(100 \times \frac{16,22 - 7,44}{16,22}\right) \% \\
 &= 54,21 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai VFA yang didapat pada kadar aspal 5% adalah 54,21 %. Nilai VFA yang terlalu besar akan membuat nilai VIM kecil atau rongga antar butiran (VMA) yang kecil dan pada saat temperatur tinggi maka akan membuat aspal mencair menyebabkan terjadinya *bleeding* pada campuran. Proses ini terjadi karena saat perkerasan menerima beban, sebagian aspal akan mencari tempat yang kosong dan jika tempat yang kosong terbatas maka aspal akan naik ke permukaan perkerasan. Nilai VFA yang terlalu rendah menyebabkan jumlah aspal efektif yang mengisi rongga-

rongga antar butir agregat sedikit dan *film* yang menyelimuti butiran agregat menjadi tipis, sehingga rongga udaranya besar dan kededapan perkerasan menjadi berkurang. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran karena air dan udara dapat dengan mudah mengoksidasi aspal di dalam campuran. Adapun gambar yang menunjukkan hubungan antara nilai VFA dan kadar aspal pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFA (%)

Berdasarkan Gambar 5.4 menunjukkan bahwa benda uji dengan variasi kadar aspal 7% memiliki nilai VFA paling besar dibandingkan dengan benda uji dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Besar kecilnya nilai VFA berhubungan dengan rongga udara butiran agregat di dalam campuran atau nilai VMA. Dengan penambahan atau kenaikan kadar aspal pada masing-masing variasi campuran maka nilai VFA dari masing-masing variasi campuranpun semakin meningkat. Hal ini dikarenakan masih tersedianya rongga yang cukup di dalam campuran untuk menampung aspal.

e. Pengaruh prosentase kadar aspal variasi campuran terhadap nilai stabilitas (*Stability*)

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (deformasi) tetap, dinyatakan dalam



satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas.

Perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas yang besar, tetapi stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan campuran terlalu kaku, sehingga perkerasan akan mudah mengalami retak-retak pada saat menerima beba lalu lintas. Sebaliknya dengan nilai stabilitas yang rendah maka perkerasan akan mudah mengalami alur (*rutting*) oleh beban lalu lintas atau oleh perubahan bentuk *subgrade*.

Nilai stabilitas untuk masing-masing variasi kadar aspal AC-WC disajikan pada Tabel 5.10.

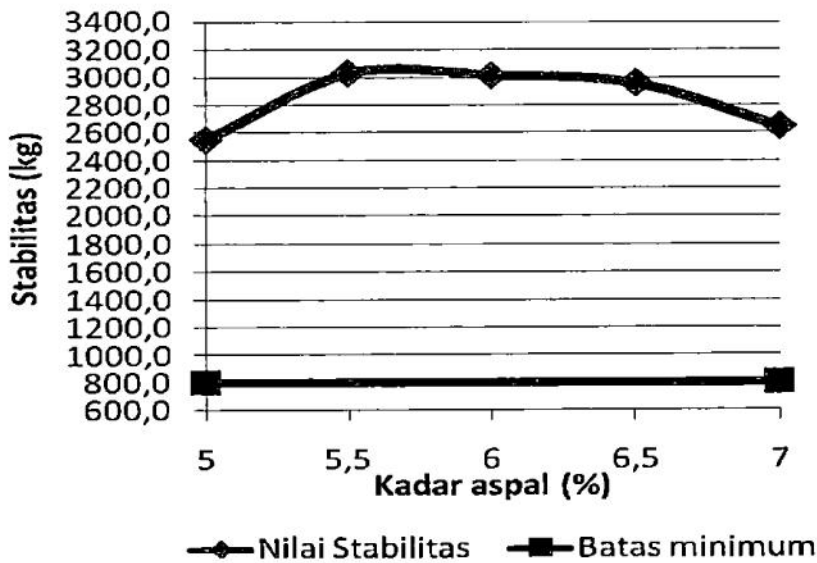
Tabel 5.10. Nilai Stabilitas Variasi Kadar Aspal dalam Campuran AC-WC

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Stabilitas (kg)	$\geq 800$	2547,80	3028,96	3016,62	2958,02	2646,48

Tabel V.10 menunjukkan bahwa nilai minimum stabilitas yang disyaratkan di spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-WC dengan pengujian *Marshall* adalah 800 kg. Terkait dengan batasan ini, maka dengan kenyataan nilai yang didapatkan berada di atas batas minimum. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai stabilitas dari hasil pengujian yang didapat, yaitu :

$$\begin{aligned}
 o &= q \times \text{kalibrasi proving ring} \times \text{koreksi tebal benda uji} \\
 &= 138 \times 40,8 \times 0,4536 \\
 &= 2547,80 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai stabilitas yang didapat pada kadar aspal 5% adalah 2547,80 kg. Hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Hubungan antara kadar aspal (%) dengan Stabilitas (kg)

Pada Gambar 5.6 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan atau kenaikan kadar aspal pada masing-masing variasi campuran maka nilai stabilitas cenderung mengalami kenaikan sampai batas maksimum dan kemudian mengalami penurunan. Nilai stabilitas maksimum terjadi pada saat kadar aspal 5,5%. Kemudian saat penambahan kadar aspal 6%, 6,5%, 7% kembali mengalami penurunan nilai stabilitas.

Fenomena tersebut terjadi karena pada kadar aspal disaat nilai stabilitas bergerak naik dan mencapai maksimum merupakan kadar aspal optimum campuran. Kadar aspal yang ditambahkan berfungsi sebagai perekat antara butiran agregat yang menyebabkan kerapatan campuran meningkat, sehingga meningkatkan bidang kontak antara butiran agregat dan menjadikan kemampuan menahan *internal friction* meningkat antar agregat yang akhirnya akan meningkatkan nilai stabilitas pada campuran. Sedangkan pada saat penambahan kadar aspal sudah berlebihan, maka yang terjadi adalah meningkatnya ketebalan *film* aspal yang berubah fungsi aspal sebelumnya sebagai perekat atau bahan pengikat menjadi pelicin antara agregat, sehingga mengakibatkan turunnya nilai stabilitas campuran. Stabilitas campuran sangat dipengaruhi oleh kemampuan campuran dalam menahan beban, yang untuk perkerasan jenis AC-WC terletak pada kemampuan mortarnya.

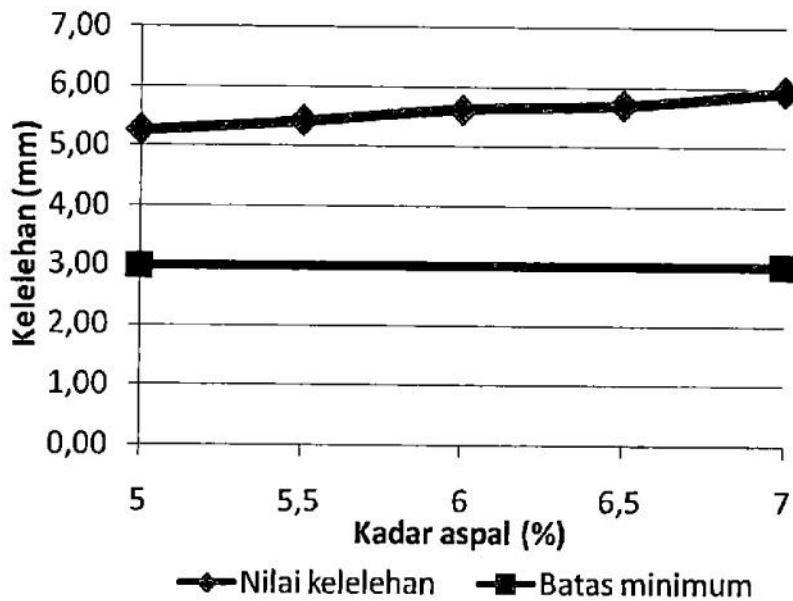
f. Pengaruh prosentase variasi kadar aspal campuran terhadap nilai kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *Flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas, gradasi agregat dan temperatur pemadatan. Nilai minimum *flow* disyaratkan di spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-WC dengan pengujian *Marshall* adalah 3 mm. Nilai *flow* untuk masing-masing variasi campuran AC-WC disajikan pada Tabel 5.11. Nilai *flow* juga diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshall*.

Tabel 5.11. Nilai *Flow* Variasi Kadar Aspal dalam Campuran AC-WC

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
<i>Flow</i> (mm)	3	5,25	5,42	5,62	5,70	5,93

Campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas, sehingga akan mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Campuran dengan kerapatan yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh yang baik bagi nilai kelelahan. Nilai *flow* diharapkan cukup *flexibel* sehingga memungkinkan perubahan bentuk (deformasi) tanpa terjadi retakan/*cracking*. Hubungan antara kelelahan dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Hubungan antara kadar aspal (%) dengan Kelelehan (mm)

Dari Gambar 5.7 menunjukkan bahwa campuran dari variasi kadar aspal nilai *flow*nya cenderung naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Kenaikan *flow* ini disebabkan dengan penambahan kadar aspal akan mengakibatkan campuran menjadi plastis, sehingga deformasi menjadi lebih besar pada saat menerima beban dan dengan demikian nilai *flow* semakin besar.

Untuk itu diperlukan rancangan kadar aspal optimum agar didapatkan campuran yang memiliki stabilitas yang tinggi dengan nilai kelelehan (*flow*) yang optimum juga sehingga campuran tidak terlalu bersifat plastis dan ketika menahan beban, campuran masih bisa mengalami deformasi yang tidak menyebabkan retak atau rusak. Sebaliknya untuk stabilitas yang rendah dengan nilai *flow* yang juga cukup rendah, campuran akan bersifat getas atau kaku sehingga ketika campuran menerima beban maka campuran kurang bersifat lentur (*fleksibel*) dalam menahan beban, lebih kaku dan kemungkinan terjadinya perubahan bentuk sangat kecil, bahkan ketika mencapai beban maksimum, campuran dapat langsung retak. Oleh karena itu jenis campuran ini diperlukan kadar aspal yang lebih tinggi karena komposisi agregat halusya

lebih banyak dibandingkan dengan komposisi agregat kasar. Dengan kadar aspal yang optimum diharapkan nilai *flow* dapat meningkat, sehingga variasi campuran memiliki stabilitas dan *flow* yang memenuhi spesifikasi.

g. Pengaruh prosentase variasi kadar aspal campuran terhadap nilai MQ (*Marshall Quotient*)

*Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai MQ tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran (*friktional resistance*) dan saling mengunci antara butiran (*interlocking*) yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan. Nilai *Marshall Quotient* untuk masing-masing variasi kadar aspal AC-WC disajikan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12. Nilai MQ Variasi Kadar Aspal dalam Campuran AC-WC

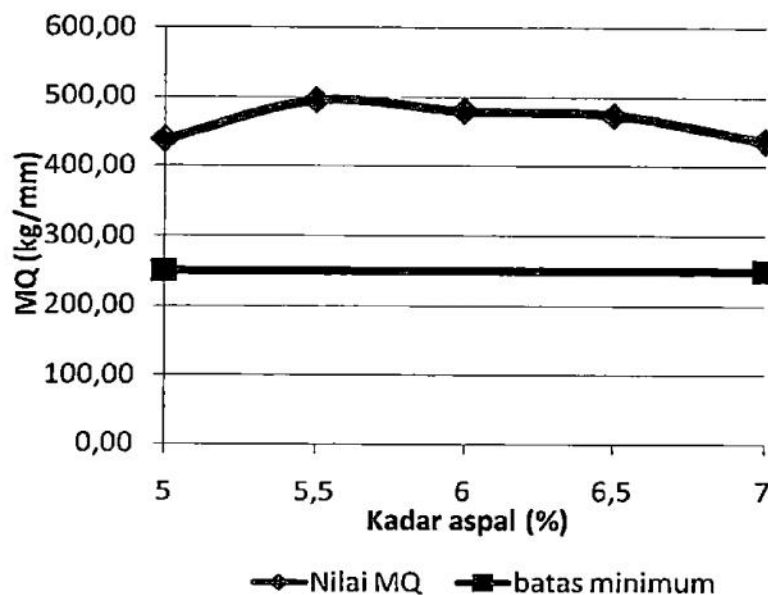
Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
MQ (kg/mm)	≥ 250	473,44	495,22	479,10	473,71	436,21

Nilai minimum *Marshall Quotient* (MQ) yang disyaratkan di spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-WC dengan pengujian *Marshall* adalah 250 Kg. Terkait dengan batasan ini, maka dengan kenyataan nilai yang didapatkan berada di atas batas minimum. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai *Marshall Quotient* dari hasil pengujian yang didapat, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{MQ} &= \frac{\text{Marshall stability}}{\text{Flow marshall}} \\
 &= \frac{2208,6}{5,25} \\
 &= 437,44 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai *Marshall Quotient* yang didapat pada kadar aspal 5% adalah 529,79 kg/mm. Campuran yang memiliki

nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan. Hubungan antara *Marshall Quotient* dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Hubungan antara kadar aspal (%) dengan MQ (kg/mm)

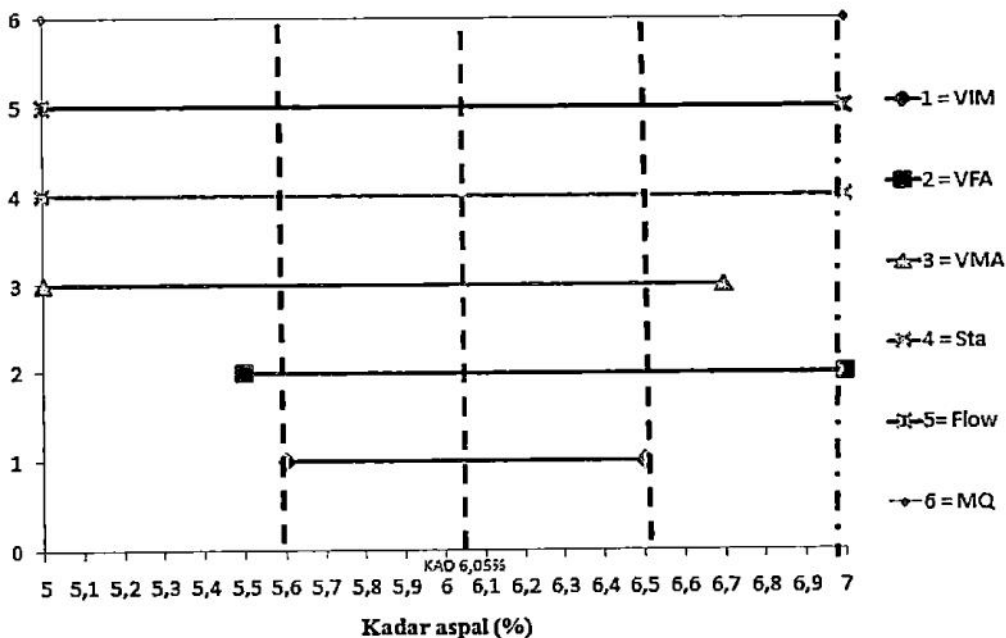
Berdasarkan Gambar 5.8 benda uji dengan variasi kadar aspal, nilai MQ-nya semula naik seiring dengan kenaikan kadar aspal yang ditambahkan dan selanjutnya mengalami penurunan pada saat penambahan kadar aspal berikutnya. Kenaikan nilai *Marshall Quotient* (MQ) mencapai optimum pada benda uji dengan kadar aspal 5,5% yang berarti pada kadar aspal bersifat optimum untuk mencapai stabilitas yang tertinggi yang menunjukkan campuran mengalami kekakuan, kompak dan padat serta aspal berfungsi sebagai bahan pengikat. Dan ketika penambahan kadar aspal selanjutnya yaitu pada kadar aspal 6% - 7% nilai MQ mengalami penurunan, ini menunjukkan aspal yang ditambahkan sudah berfungsi sebagai pelicin sehingga campuran

bersifat plastis, dengan nilai stabilitas yang semakin rendah dan nilai *flow* yang tinggi.

#### 4. Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran AC-WC

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) dalam campuran sangat penting karena campuran dengan kadar aspal yang kurang akan menyebabkan campuran bersifat kering dan campuran akan bersifat mudah retak. Tetapi jika campuran mempunyai kadar aspal yang berlebihan maka campuran akan bersifat lunak dan mudah mengalami deformasi secara permanen.

Kadar aspal optimum (KAO) adalah kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi dari karakteristik *Marshall* yang disyaratkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010). Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan cara grafis (*narrow range*), yaitu dengan cara mengambil nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi. Dari penentuan secara grafis dan metode *narrow range* didapat nilai kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan variasi kadar aspalnya.



Gambar 5.8. Hasil Pengujian Variasi Kadar aspal pada Campuran AC-WC

Dari grafik parameter *marshall* di atas yang berpedoman pada Bina Marga dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) yang didapat berada pada kadar aspal 5,6% - 6,5%. Pada penelitian ini nilai KAO yang dipakai adalah 6,05%.

### 5. Analisis Indeks Durabilitas Campuran AC-WC

Nilai RMS (*Retained Marshall Stability*) yang besar menunjukkan durabilitas perkerasan yang tinggi begitu pula sebaliknya. Adapun nilai hasil pengujian *Marshall* pada campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) AC-WC disajikan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13. Hasil Pengujian Marshall pada campuran dengan KAO

Parameter	Kadar Aspal Optimum (KAO)	Waktu	
		0,5 Jam	24 Jam
Stabilitas	6,05	2702,00	2538,53
<i>Flow</i>	6,05	4,07	3,10
MQ	6,05	581,12	763,16
RMS	6,05	94%	

Dari Tabel 5.3 di atas, terlihat bahwa periode rendaman mempengaruhi tingkat keawetan (durabilitas) suatu perkerasan. Penurunan nilai stabilitas mengindikasikan bahwa campuran perkerasan tersebut mengalami pengurangan kekuatan. Hal ini diakibatkan adanya kerusakan yang disebabkan oleh infiltrasi air ke dalam rongga campuran perkerasan tersebut. Periode rendaman dan suhu perendaman yang mencapai 60° C dapat merusak keutuhan struktur perkerasan, dikarenakan air dapat menghilangkan sifat kohesi dan kekakuan aspal. Penyebab lain dari turunnya nilai stabilitas selama periode peredaman adalah karena air dapat merusak sifat adhesi antara aspal dan agregat dalam campuran (*stripping*). Oleh karena itu, air merupakan salah satu faktor yang dapat mengurangi kekuatan perkerasan. Nilai stabilitas selanjutnya dilakukan perhitungan nilai Indeks Durabilitas atau stabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60 °C memenuhi syarat minimum yang disyaratkan pada spesifikasi Umum Bina Marga (2010) yaitu sebesar 90%. Dari hasil pengujian, nilai stabilitas *Marshall* yang didapat adalah 94% memenuhi syarat minimum ( $\geq 90\%$ ). Hal ini



menunjukkan bahwa performa campuran perkerasan pada perendaman selama 24 jam memiliki kemampuan durabilitas (keawetan) sebagai campuran aspal panas. Tingkat durabilitas dari aspal dipengaruhi dari rongga udara didalam perkerasan. Rongga yang terlalu besar bisa mengakibatkan masuknya air (infiltrasi) ke dalam lapisan perkerasan dan akan menjadikan lapisan cepat rusak dan menjadi getas, karena lapisan tersebut kehilangan kohesi dan adhesinya. Terlalu rendah rongga udara dalam campuran juga tidak terlalu baik, karena akan mengakibatkan aspal menjadi terhimpit dan mengalami *bleeding* sehingga banyak lapisan aspal yang keluar dari perkerasan dan berada di permukaan perkerasan, sehingga mengakibatkan perkerasan menjadi miskin aspal dan kehilangan kekuatan karena minimnya ikatan antara agregat dan aspal.