BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yang terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Oleh karena itu sebelum digunakan harus dilakukan beberapa jenis pengujian untuk mengetahui kelayakan dari agregat tersebut. Hasil dari pengujian agregat akan disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Minimal	Maksimal	
I. Agregat Kasar						
1	Berat Jenis *Bulk*	-	2.546	-	-	SNI 03-1969-1990
2	Berat jenis *Apparent*	-	2,721	2,5	-	SNI 03-1969-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,640	-	-	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan	%	0,880	-	3	SNI 03-1969-1990
5	Pengujian Abrasi	%	22,83	-	40	SNI 03-2417-1991
II. Agregat Halus						
1	Berat Jenis *Bulk*	-	2,612	-	-	SNI 03-1979-1990
2	Berat jenis *Apparent*	-	2,698	2,5	-	SNI 03-1979-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,643	-	-	SNI 03-1979-1990
4	Penyerapan	%	1,205	-	3	SNI 03-1979-1990

Berdasarkan hasil dari pengujian pada Tabel 5.1 maka agregat kasar dan agregat halus memenuhi persyaratan sebagai bahan yang akan digunakan pada penelitian ini untuk campuran aspal, sesuai dengan SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-2417-1991.

B. Hasil Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal keras dengan penetrasi 60/70. Untuk mengetahui kelayakan dari aspal tersebut, maka akan dilakukan beberapa jenis pengujian. Hasil dari pemeriksaan aspal akan disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian aspal keras AC 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	68.5	60	70	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2
2	Titik Lembek	°C	52,4	48	-	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2
3	Titik Nyala	°C	260	232	-	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2
4	Daktilitas	cm	100	100	-	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2
5	Berat Jenis	gr/cm^3	1,03	1.0	-	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2
6	Kehilangan Berat	% berat	0,236	-	0,8	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2
7	Kelarutan Dalam CC14	% berat	99.50	99	-	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2
8	Penetrasi Setelah kehilangan berat	% off original	56.2	75	-	Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2

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

Berdasarkan pengujian aspal yang telah dilakukan, didapat hasil untuk penetrasi sebesar 65,2. Pemeriksaan penetrasi ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Semakin besar angka penetrasinya, maka tingkat kekerasannya makin rendah. Hasil ini memenuhi persyaratan untuk aspal penetrasi 60/70 dengan toleransi batas maksimum sebesar 70 sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2. Untuk pemeriksaan daktilitas, hasil yang didapat tidak memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2. Batas yang dipersyaratkan minimal 100 cm tetapi hasil dari pemeriksaan didapatkan sebesar 100 cm. Salah satu yang dapat menyebabkan kegagalan pada pemeriksaan daktilitas pada penelitian ini yakni alat pengujian yang kecepatan penarikannya sudah tidak sesuai karena pemeriksaan sudah mengikuti prosedur yang benar.

Pemeriksaan titik nyala berguna untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan terhadap aspal sehingga aspal tidak mudah terbakar sedangkan titik lembek berguna untuk mengetahui kepekaan terhadap perubahan temperatur. Dari hasil pemeriksaan terhadap titik nyala didapat sebesar 295°C, pemeriksaan ini memenuhi

persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2 dengan batas minimum 200°C. Untuk titik lembek sebesar 51°C Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2 dengan batas 48-58°C.

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 0,086% berat. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2 dengan batas maksimum 0,8% berat.

Berat jenis aspal perlu diketahui untuk perhitungan dalam analisa campuran. Pada pemeriksaan didapatkan hasil sebesar 1,03 gr/cm^3 dengan batas minimal 1 gr/cm^3 maka berat jenis dari aspal pada penelitian ini memenuhi persyaratan sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2.

Nilai pengujian kelarutan menunjukan kemurnian aspal dan normalnya bebas dari air. Nilai kelarutan di dalam CCL_4 untuk aspal pen 60/70 sebesar 99.58 % dari berat semula, nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2010 Rev.2 dengan batas minimum 99% berat.

1. Hasil Perencanaan 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 spesesifikasi 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, kelelehan (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ), diperoleh 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 karakteristik *Marshall* yang memenuhi spsesifikasi campuran perkerasan. Rumus-rumus yang digunakan dalam analisis *Marshall* ditunjukkan pada Persamaan 3.2 s/d 3.13.

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, yaitu: VFA, VIM, VMA, stabilitas, kelelehan 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				
			4%	4,5%	5%	5,5%	6%
1	Density	-	2,264	2,283	2,286	2,286	2,309
2	VFA	>60 %	53,80	63,01	72,20	74,80	85,99
3	VIM	3.5 – 5%	6,66	5,23	4,08	3,86	2,07
4	VMA	>13 %	14,4	14,13	14,15	15,02	14,51
5	Stabilitas	>1800 kg	2233,2	2399,73	2387,39	2313,36	2165,3
6	Flow	>4.5 mm	441,67	442,62	438,90	417,17	341,78
7	MQ	>300 kg/mm	441,67	530,04	494,65	417,17	341,78

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan 2014

2. Pengujian 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 perusakan 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) Marshall. Untuk pengujian Marshall variasi lama waktu perendaman adalah 12 jam dan 24 jam. Untuk hasil pengujian Marshall pada suhu 60°C, selama 12 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 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall (Perendaman Standar 12 jam, Suhu 60°C) Benda Uji Dengan Kadar Aspal Optimum

No	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)
			5,15
1	Density	-	2,08828
2	VMA	>13 %	21,9
3	VFA	>60 %	36,35
4	VIM	3,5 – 5	13,92
5	Stabilitas	>1800 kg	2387,4
6	Flow	>4,50 mm	4,22
7	MQ	>300 kg/mm	494,54

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

No	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)
			5,15
1	Density	-	2,09245
2	VMA	>13 %	21,7
3	VFA	>60 %	36,68
4	VIM	3.5 – 5	13,75
5	Stabilitas	>1800 kg	2652,7
6	Flow	>4.50 mm	4,24
7	MQ	>300 kg/mm	540,28

C. Analisis Data

1. Analisis Data Karakteristik *Marshall* Campuran AC-Base dengan Variasi Kadar aspal 4% - 6%

a. Pengaruh Persentase Kadar Aspal Terhadap Nilai Kepadatan (*density*)

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 5.5.

Tabel 5.5. Nilai Density Variasi Kadar Aspal dalam Campuran

Karakteristik Marshall	Satuan	Kadar Aspal				
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%
Density	gr/cm^3	2,264	2,283	2,286	2,296	2,309

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

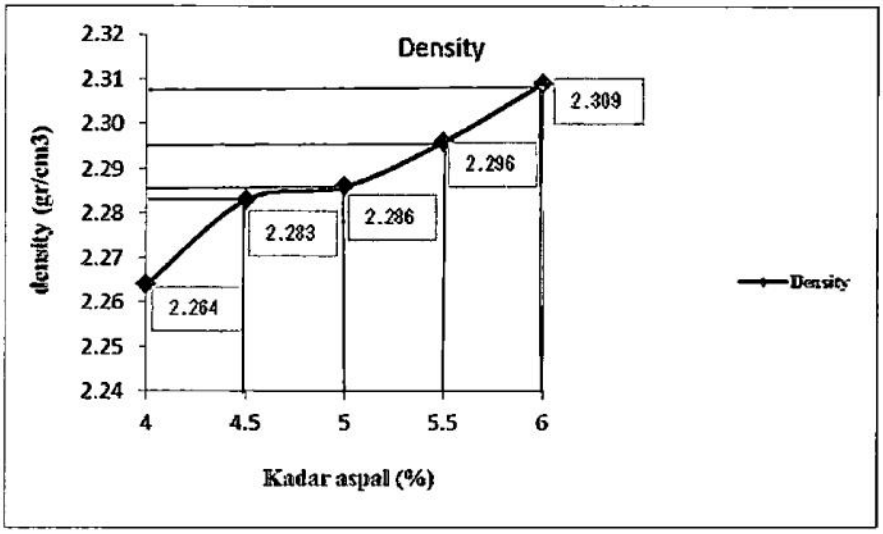
Dalam spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010), nilai density tidak memiliki persyaratan khusus. Nilai *density* dipergunakan sebagai persyaratan teknis di lapangan yaitu kepadatan rata-rata lapisan yang telah selesai dipadatkan di lapangan tidak boleh kurang dari 97% kepadatan laboratorium. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai *density* dari hasil pengujian didapatkan,yaitu :

$$Density = \frac{BeratKering}{Volume}$$

$$Density = \frac{1145}{565}$$

$$Density = 2{,}578 \text{ gr/cm3}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai density yang didapat pada kadar aspal 6% adalah 2,023 gr/cm^3. Nilai yang didapatkan juga relatif semakin naik. Untuk nilai kadar aspal selanjutnya digunakan rumus yang sama dengan nilai berat kering dan nilai volume benda uji yang berbeda-beda. Hubungan antara *density* dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.1.



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

Berdasarkan pengujian terhadap karakteristik Marshall, hubungan antara masing-masing variasi kadar aspal terhadap campuran disajikan pada Gambar 5.1. 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 Persentase Variasi Kadar Aspal Terhadap *Voids in the Mineral Aggregate* (VMA)

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. 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 flim aspal menjadi tebal sehingga jarak antara agregat menjadi lebih besar. Nilai VMA yang besar akibat dari *flim* aspal yang tebal akan menyebabkan campuran mempunyai durabilitas yang tinggi, namun jika jumlah kadar aspal terlalu berlebihan dapat membuat stabilitas dari campuran menurun. Oleh karena tu diperlukan suatu kadar aspal yang optimum agar dapat mengakomodasi kedua sifat tersebut.

Nilai VMA untuk masing- masing variasi kadar aspal dalam campuran disajikan pada Tabel 5.6

Tabel 5.6 Nilai VMA untuk masing-masing campuran

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%
VMA	≥13%	14,4	14,13	14,15	15,02	14,51

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

Dari tabel di atas nilai VMA yang disyaratkam dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 2 pada campuran AC-BASE minimum 13% dengan

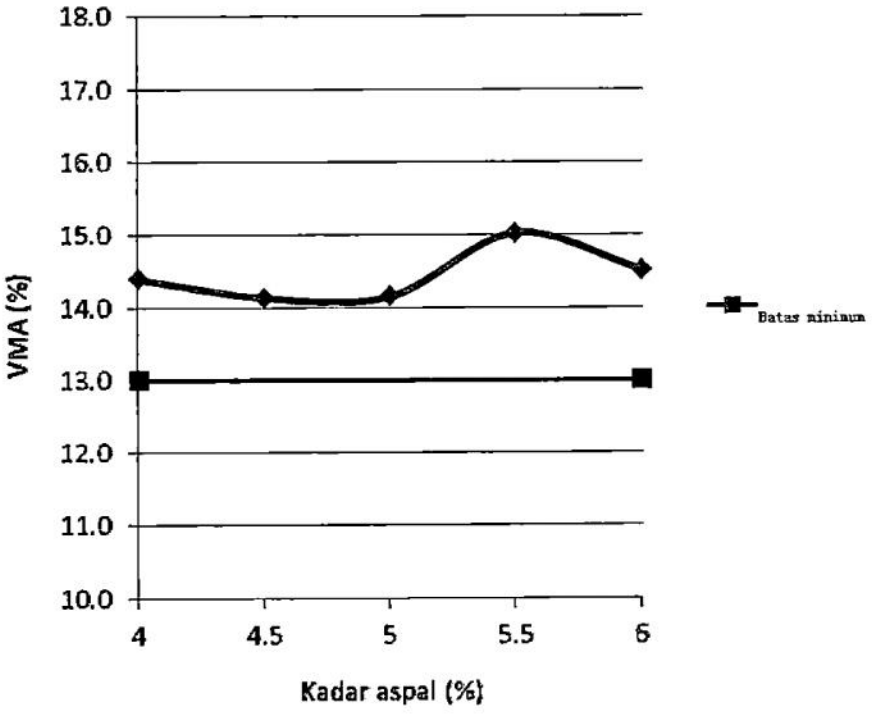
pemadatan 75 kali per bidang. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai VMA dari hasil pengujian yang didapat, yaitu

$$VMA = 100 - \frac{Gmm \times Ps}{Gsb}$$

$$VMA = 100 - \frac{84{,}75 \times 100}{2{,}546}$$

$$VMA = 14{,}51$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai VMA yang didapat pada kadar aspal 6% adalah 14.51 %.



Gambar 5.2 Hubungan antara Nilai VMA dengan kadar aspal

Pada Gambar 5.2 ditunjukkan bahwa dengan penambahan atau kenaikan kadar aspal pada masing-masing variasi kadar campuran, cenderung membentuk

kurva cekung yang landai pada satu titik minimum. 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 4,5% nilai VMA cenderung turun namun setelah kadar aspal ditingkatkan menjadi 5% maka nilai VMA pun bergerak naik. Hal ini terjadi karena setiap penambahan kadar aspal akan menyebakan *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 6% cenderung nilai VMA bergerak turun, hal ini terjadi diperkirakan kerena 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 besar, dan saat diisi aspal dengan kadar yang berlebihan menyebakan *film* aspal yang menyelimuti agregat semakin membuat jarak antara agregat semakin membesar pula.

c. Pengaruh Persentase 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 kekedapan 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-BASE disajikan pada Tabel 5.7

Tabel 5.7 Nilai VIM untuk masing-masing campuran

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%
VIM	3,5-5	6,66	5,23	4,08	3,86	2,07

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

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-BASE minimum 4,0% dan nilai maksimum 6,0%. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai VIM dari hasil pengujian yang didapat, yaitu :

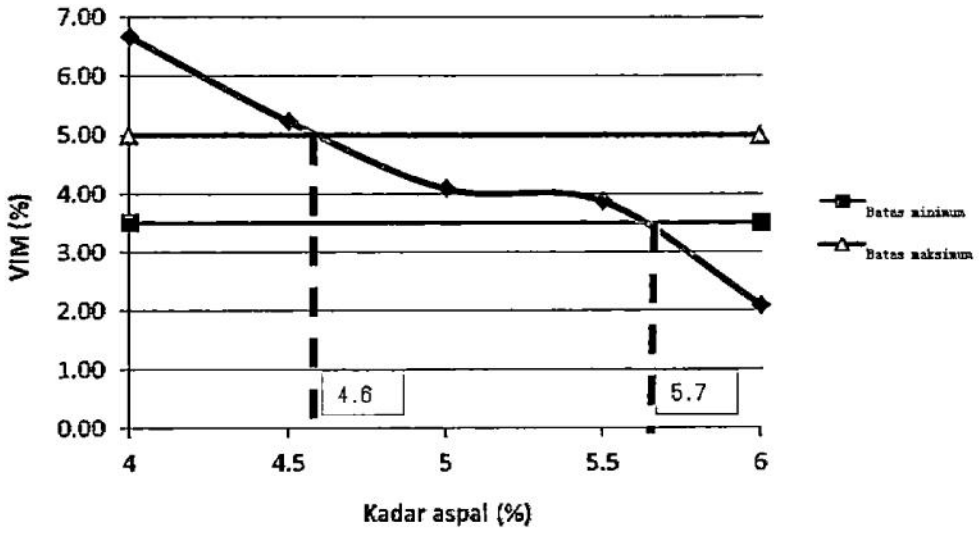
$$VIM = 100 - \frac{100 - Gmb}{Gmm}$$

$$VIM = 100 - \frac{100 - 85.48}{2.426}$$

$$VIM = 2.07$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai VIM yang didapat pada kadar aspal 6% adalah 2.07 %. Untuk nilai kadar aspal selanjutnya digunakan rumus yang sama dengan nilai berat volume dan nilai berat jenis yang berbeda-beda..

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 nilai VIM

Nilai VIM mempunyai batas minimum sebesar 4% dan batas maksimum sebesar 6%. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai VIM pada kedua variasi campuran hampir sama. Keduanya mengalami penurunan nilai VIM disetiap kenaikan kadar aspal. Hal ini dikarenakan setiap penambahan kadar aspal akan mengisi rongga yang ada dalam campuran (VIM) semakin kecil (Sari, 2012).

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

d. Pengaruh Persentase Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA)

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-Base disajikan dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Nilai VFA untuk masing-masing campuran

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%
VFA	>60 %	53,80	63,01	72,20	74,80	85,99

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

Nilai VFA yang disyaratkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-BASE minimum 60%. 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 :

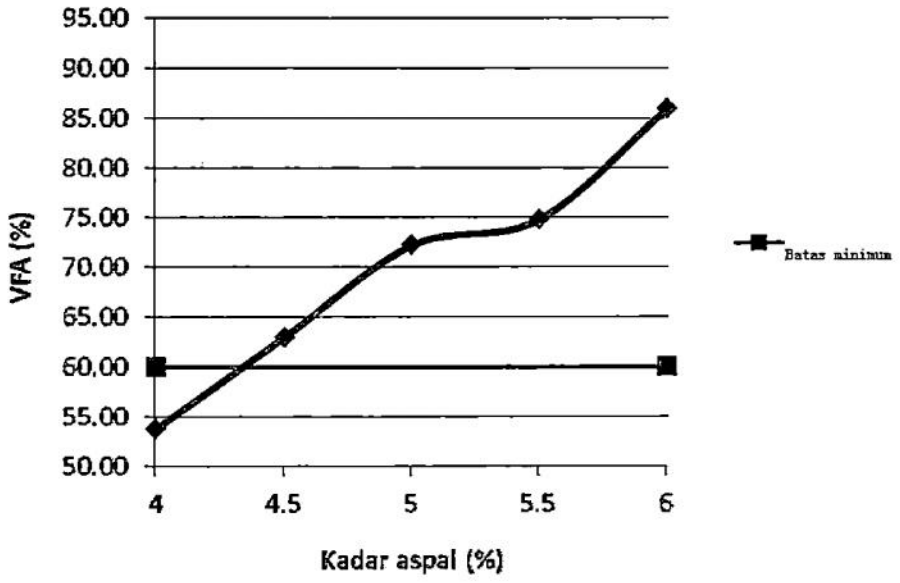
$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA}$$

$$VFA = \frac{100(14{,}51 - 2.07)}{14.15}$$

$$VFA = 85{,}99\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai VFA yang didapat pada kadar aspal 6% adalah 85,99 %. Untuk nilai kadar aspal selanjutnya digunakan rumus yang sama dengan nilai berat volume dan nilai berat jenis yang berbeda-beda.

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 kekedapan 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 Nilai VFA

Nilai VFA mempunyai batas minimum 60%. Gambar diatas menunjukkan bahwa penambahan atau kenaikan kadar aspal masing – masing variasi campuran maka

nilai VFA dari masing – masing variasi campuranpun semakin meningkat. Hal ini dikarenakan masih tersedianya rongga yang cukup di dalam rongga yang cukup di dalam campuran untuk menampung aspal.

2. Analisis Nilai Perhitungan Marshall

Nilai perhitungan Marshall ditunjukkan dengan nilai stabilitas, kelelehan (*flow*), dan hasil bagi Marshall (MQ). Nilai tersebut merupakan besaran yang diukur langsung dari pengujian pada saat benda uji dibebani dengan alat Marshall.

a. Stabilitas

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 beban lalu lintas. Sebaliknya dengan nilai stabilitas yang rendah maka perkerasan akan mudah mengalami alur (*rutting*) oleh beban lalu lintas atau oleh perubahan bentu *subgrade.*

Nilai stabilitas untuk masing-masing variasi kadar aspal AC-BASE disajikan pada Tabel 5.9

Tabel 5.9 Nilai stabilitas untuk masing-masing campuran

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%
Stabilitas	>1800 kg	2233,2	2399,73	2387,39	2313,36	2165,3

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

Tabel 5.9 menunjukkan bahwa nilai minimum stabilitas yang disyaratkan di spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-BASE dengan pengujian *Marshall* adalah 1800 kg. Terkait dengan

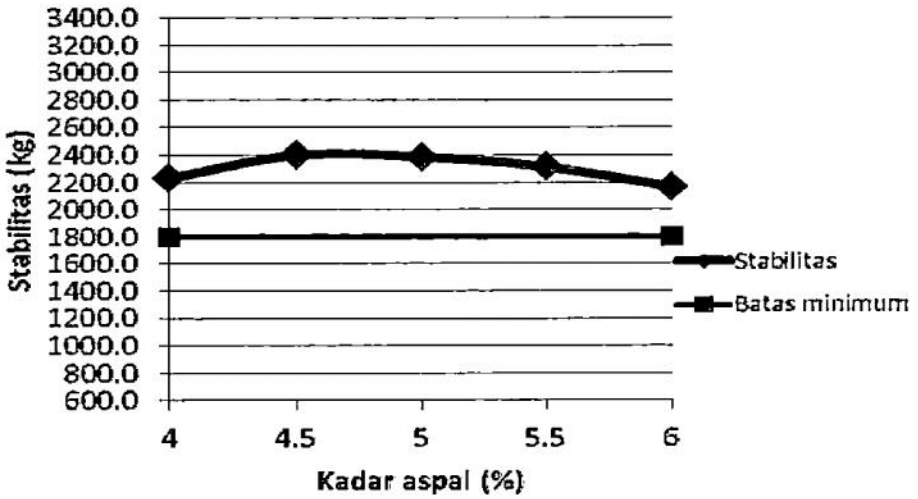
batasan ini, maka dengan kenyataan nilai yang didapatkan berada di atas batas minimum. Berikut akan dijelaskan dengan contoh perhitungan nilai stabilitas dari hasil pengujian yang didapat, yaitu :

o = q×kalibrasi proving ring×koreksi tebal benda uji

= 122×40,8×0,4536

= 2165,30 kg

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai stabilitas yang didapat pada kadar aspal 6% adalah 1809,991 kg. Untuk nilai kadar aspal selanjutnya digunakan rumus yang sama dengan nilai stabilitas pembacaan *Marshall* (q) yang berbeda. Untuk nilai sabilitas pembacaan *Marshall* (q), kalibrasi proving ring dan koreksi tebal benda uji. Hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas

Nilai stabilitas minimum 1800 Kg. Seiring dengan penambahan kadar aspal nilai stabilitas mengalami kenaikan hingga batas maksimum kemudian turun nilai stabilitasnya, nilai maksimum terjadi pada kada aspal 5%. Kemudian saat penambahan kadar aspal kembali mengalami penurunan nilai stabilitasnya.

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 nilai stabilitas pada campuran. Sedangkan pada saat penambahan kadar aspal sudah berlebihan, maka yang terjadi adalah meningkatnya ketebalan *flim* aspal yang merubah fungsi aspal sebelumnya sebagai perekat atau bahan pengikat menjadi licin antara agregat, sehingga mengakibatkan turunnya nilai stabilitas campuran. Stabilitas campuran sangat dipengaruhi oleh kemampuan campuran dalam menahan beban, yaitu untuk perkerasan jenis AC-BASE terletak pada kemampuan mortarnya.

b. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*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-BASE dengan pengujian Marshall adalah 3 mm. Nilai flow untuk masing-masing variasi campuran AC-BASE disajikan pada Tabel 5.10. Nilai *flow* juga diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshal.*

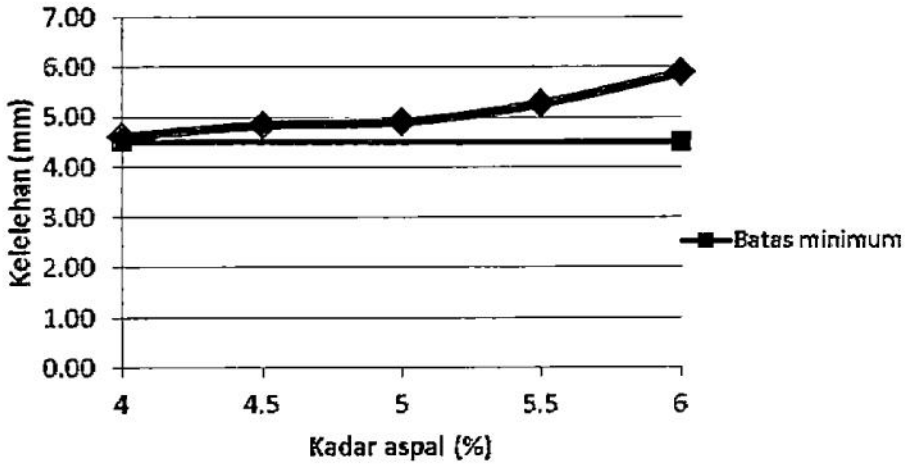
Tabel 5.10 Nilai kelelehan untuk masing-masing campuran

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%
Kelelehan	>4.5 mm	4,60	4,83	4,90	5,27	5,88

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

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 kelelehan. Nilai *flow* diharapkan cukup *flexibel* sehingga memungkinkan perubahan bentuk (deformasi) tanpa terjadi retakan/*cracking*. Hubungan antara kelelehan dengan kadar aspal akan ditampilkan dalam bentuk Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Kelelehan

Nilai *flow* mempunyai batas minimum sebesar 3 mm. Dari gambar diatas dapat dikatakan bahwa setiap kadar aspal memnuhi syarat. Dari Gambar 5.7 nilai *flow* tersebut tinggi seiring dengan peningkatan kadar aspal.

Dalam hal ini diperlukan rancangan kadar aspal optimum agar didapatkan campuran yang memiliki stablititas tinggi dengan nilai kelelehan *(flow)* yang optimum sehingga campuran tidak terlalu bersifat plastis ketika menahan beban,

campuran perkerasan tersebut masih bisa mengalami deformasi yang tidak menyebabkan retak atau rusak.

c. *Marshall Quotient* (MQ)

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 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-BASE disajikan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Nilai MQ untuk masing-masing campuran

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal				
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%
MQ	>300kg/mm	441,67	442,62	438,90	417,17	341,78

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

Nilai minimum *Marshall Quotient* (MQ) yang disyaratkan di spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Departemen Pekerjaan Umum (2010) pada campuran AC-BASE dengan pengujian Marshall adalah 300 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:

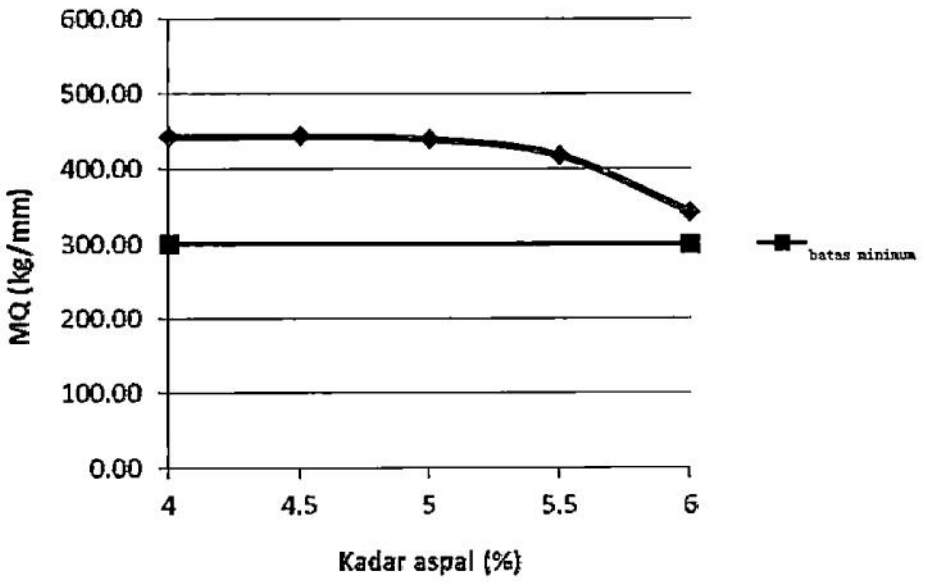
$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

$$MQ = \frac{1992,74}{5,88}$$

$$MQ = 341,78 \text{ kg/mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas terlihat bahwa nilai *Marshall Quotient* yang didapat pada kadar aspal 6% adalah 341,78 kg/mm. Untuk nilai kadar aspal selanjutnya digunakan rumus yang sama dengan nilai *Marshall stability* dan nilai *Flow marshall* benda uji yang berbeda-beda.

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 5.7.

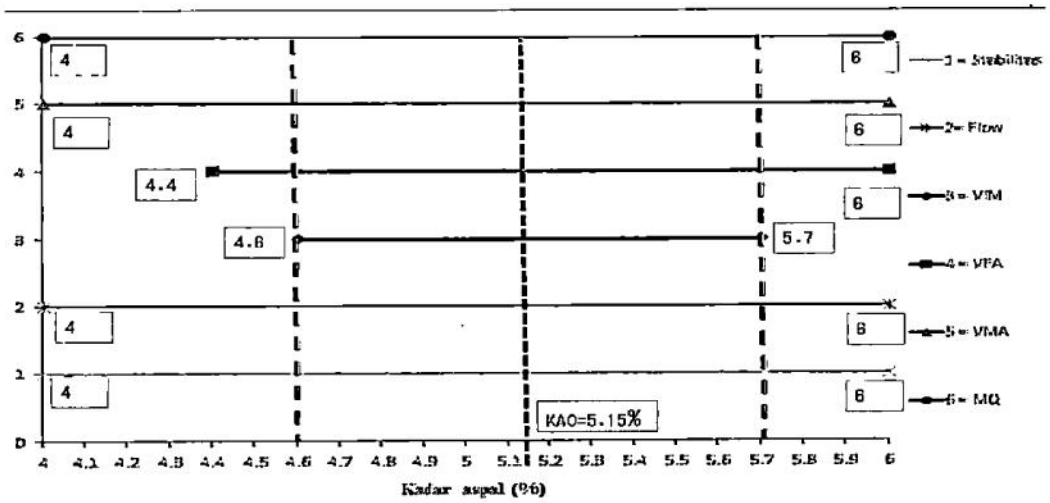


Gambar 5.7 Hubungan antara kadar aspal dengan nilai MQ

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) mempunyai batas minimum sebesar 300 kg/mm. Dari gambar diatas terlihat bahwa mengalami kenaikan hingga maksimum pada kadar aspal 4,5% kemudian mengalami penurunan seiring penambahan kadar aspal dalam campuran. Nilai MQ yang mengalami penurunan tersebut menunjukkan bahwa aspal yang ditambahkan sudah berfungsi sebagai pelican sehingga campuran bersifat plastis, dengan nilai stabilitas yang semakin rendah dan nilai *flow* yang tinggi.

3. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) dalam campuran sangat penting karena campuran dengan kadar aspal yang kurang akan menyebabkan campuran bersifat kering dan campuran akan 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 dan karakteristik *Marshall* yang disyaratkan dalam spesifikasi umum bidang jalan raya dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum (2010) KAO ditentukan dengan cara grafis *(narrow range)*, yaitu dengan cara mengambil nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi.



Gambar 5.8 Hasil pengujian Kadar Aspal Optimum benda uji dengan variasi kadar aspal 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum yang dipakai sebesar 5,15%. Hal ini dikarenakan nilai VMA,VIM, VFA, Stabilitas, Kelelehan dan *marshall Quotient* memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 Rev-2 dan memiliki nilai yang paling optimum.

4. Indeks Durabilitas AC-BASE

Suatu perkerasan dirancang untuk tahan dalam beberapa tahun sesuai dengan perancangan perkerasan tersebut, Perkerasan tersebut dirancang tahan terhadap perubahan cuaca dan suhu yang besar. Durabilitas merupakan faktor penting pada saat perkerasan dirancang untuk mencapai kala ulang dan akan diberi perkuatan seperti memberikan lapis tambahan di atas perkerasan yang lama. Salah satu metode yang digunakan untuk menilai durabilitas suatu perkerasan adalah dengan merendam. Indeks Stabilitas sisa merupakan variasi lain dari pengujian durabilitas suatu campuran. Indeks Stabilitas sisa dapat dinyatakan dalam *Retained Marshall Stability* (RMS). (RMS) didapat dengan membandingkan stabilitas benda uji yang direndam 24 jam dengan 12 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60° C.

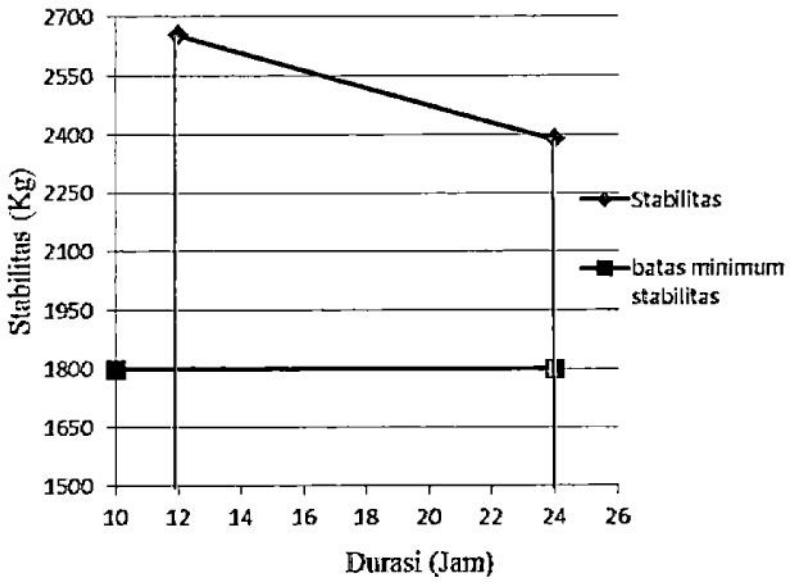
Nilai RMS yang besar menunjukkan durabilitas perkerasan yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. Nilai RMS modifikasi sebesar 90%. Adapaun nilai hasil pengujian *Marshall* pada campuran dengan kadar aspal optimum 5,15% dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil pengujian *Marshall* pada campuran kadar aspal optimum 5.15%

Parameter	Kadar Aspal	Waktu Perendaman	
		12 Jam	24 Jam
Stabilitas	5,15	2652,7	2387,4
Flow	5,15	4,22	4,24
MQ	5,15	494,54	540,28
RMS		96,74%	

Indeks durabilitas atau durabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman 24 jam pada suhu 60° C memenuhi syarat minimum yang disyaratkan pada spesifikasi Umum, 2010 yaitu sebesar 90%. Hal ini menunjukkan bahwa performa campuran perkerasan

dapat bertahan pada perendaman selama 24 jam dan mengalami sedikit peningkatan nilai stabilitas karena waktu perendamanya lebih lama.



Gambar 5.9 Hubungan Durasi dengan Stabilitas *Marshall*

Dari Gambar 5.9 hubungan durasi dengan stabilitas *Marshall* menunjukkan bahwa semakin bertambahnya durasi perendaman maka akan semakin rendah nilai stabilitas suatu campuran perkerasan jalan. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai stabilitas sebesar 2387,4 kg pada perendaman 24 jam masih memenuhi syarat nilai stabilitas yang minimalnya adalah 1800 kg (Bina Marga).