

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Pemeriksaan yang sudah dilakukan untuk penelitian Tugas Akhir ini meliputi pemeriksaan material perkerasan lama dan material perkerasan baru. Material tersebut sesuai persyaratan yang telah ditetapkan

5.1.1 Hasil dan Pembahasan Pemeriksaan Material Perkerasan Lama

Pemeriksaan material lama meliputi analisa saringan agregat, pemeriksaan penyerapan dan berat jenis agregat kasar, pemeriksaan penyerapan agregat halus dan ekstraksi material perkerasan lama. Pemeriksaan gradasi agregat kasar dan halus dilakukan dengan mengikuti persyaratan yang telah ditentukan sehingga suatu bahan dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar dan halus campuran beton aspal lama pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.1.



Tabel 5.1 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Beton Aspal Lama)

Ukuran Saringan	Hasil Penelitian				Spesifikasi Bina Marga 1987 Grading IV	
	Berat (gram)		Jumlah (%)		Jumlah % Lolos	
	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
$\frac{3}{4}'$	0,00	0,00	0,00	100,00	100	
$\frac{1}{2}'$	51,65	51,65	6,38	93,62	80	100
$\frac{3}{8}'$	88,23	139,88	17,28	82,72	70	90
# 4	308,98	448,87	55,46	44,54	50	70
# 8	84,30	533,17	65,87	34,13	35	50
# 30	114,18	647,35	79,98	20,02	18	29
# 50	40,75	688,10	85,02	14,98	13	23
# 100	63,67	751,77	92,88	7,12	8	16
# 200	43,37	800,13	98,86	1,14	4	10
Pan	9,23	809,37	100,00	0,00		

Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan terhadap material agregat lapis permukaan perkerasan aspal. Tabel 5.1 menunjukkan bahwa prosentase agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}'$ adalah sebesar 100 % dan agregat yang lolos saringan $\frac{1}{2}'$ sebesar 93,62 %. Grading IV Bina Marga 1987 mensyaratkan ukuran agregat lolos saringan $\frac{3}{4}'$ sebanyak 100 % dan lolos saringan $\frac{1}{2}'$ sebesar 80–100 %. Dari hasil pemeriksaan diatas menunjukkan bahwa ukuran maksimal agregat yang ada memenuhi spesifikasi Grading IV Bina Marga 1987, maka spesifikasi ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan gradasi agregat campuran daur ulang.

Gradasi agregat material lama dengan ukuran $\frac{3}{4}'$, $\frac{1}{2}'$, $\frac{3}{8}'$, #30 dan #50 masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 1987 Grading IV, sedangkan gradasi

agregat dengan ukuran # 4, # 8, # 100 dan # 200 tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 1987 Grading IV, untuk itu diperlukan penambahan material agregat baru.

Pemeriksaan agregat lainnya adalah pemeriksaan penyerapan agregat terhadap air dan berat jenis agregat. Hasil pemeriksaan penyerapan dan berat jenis agregat kasar serta penyerapan agregat halus campuran beton aspal lama pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.2 dan tabel 5.3.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil
1	Penyerapan agregat terhadap air	$\leq 3,0 \%$	1,22 %
2	Berat jenis agregat kasar	$\geq 2,5 \%$	2,63 %

Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 5.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil
1	Penyerapan agregat terhadap air	$\leq 3,0 \%$	2,21 %
2.	Berat jenis agregat halus	$\leq 2,5$	2,48

Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

Berdasarkan tabel 5.2 dan tabel 5.3 terlihat bahwa nilai penyerapan agregat kasar dan halus serta berat jenis agregat kasar masih memenuhi syarat yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa agregat kasar dan halus dari material lama, dapat digunakan kembali sebagai bahan campuran beton aspal daur ulang.

Hasil evaluasi secara menyeluruh terhadap campuran beton aspal lama dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Ekstraksi Material Perkerasan Lama

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan			Rerata
		I	II	III	
1	Beton aspal (gr)	799	1172	684	885
2	Material yang terekstraksi (gr)	736,85	1068,95	622,3	809,37
3	Berat aspal (gr)	40,15	67,05	44,7	50,89
4	Kadar aspal (%)	5,03	5,72	6,54	5,76
5	Penetrasi aspal (mm)	1,26	1,3	-	1,28

Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

Berdasarkan Tabel 5.4 terlihat bahwa nilai penetrasi aspal lama sudah menurun dari nilai penetrasi yang biasa digunakan untuk perencanaan perkerasan jalan di Indonesia, yaitu aspal dengan penetrasi 60 – 70 (Bina Marga). Rendahnya nilai penetrasi ini menunjukkan bahwa aspal lama telah mengalami pengerasan.

Aspal adalah material yang termoplastis dengan komponen penyusun terbesar *oils*. Pengerasan aspal bisa dikarenakan hilangnya komponen-komponen *oils* dalam aspal. Berkurangnya *oils* dalam aspal kemungkinan disebabkan karena temperatur yang tinggi pada perkerasan aspal atau pada saat pemanasan aspal yang mengakibatkan fraksi *oils* pada aspal menguap. Penyebab lain pengerasan aspal diantaranya adalah *oksidasi*, penyerapan *oils* oleh agregat dan perubahan struktur kimiawi aspal.

Aspal yang telah mengeras (rusak) akibat hilangnya *oils* maupun akibat perubahan komposisi dalam aspal dapat diperbaiki dengan merubah komponennya, yaitu dengan menambahkan kandungan *oils* pada aspal dengan menggunakan bahan peremaja. Penambahan bahan peremaja ini dapat memperbaiki kualitas aspal karena kandungan utama bahan peremaja adalah *oils*

(80 – 90 %). Besarnya perbaikan kualitas aspal dipengaruhi oleh penetrasi aspal lama dan jumlah dan jenis bahan peremaja. Pada penelitian ini digunakan oli bekas SAE 40 sebagai bahan peremaja, karena telah terbukti dapat meningkatkan nilai penetrasi aspal (Heddy, 1990 dalam Nur Jazilah, 1995). Oli SAE 40 ditambahkan kedalam campuran perkerasan aspal dengan kadar tertentu, sehingga dicapai nilai penetrasi aspal lama sama dengan nilai penetrasi aspal baru yang digunakan. Menurut Heddy (1990), untuk menaikkan penetrasi aspal 2,1 mm diperlukan Oli bekas SAE 40 sebanyak 4 % dari berat total aspal lama.

Kadar aspal dalam campuran material lama sebesar 5,76 % menunjukkan bahwa kandungan aspal dalam campuran perkerasan masih berada dalam batas yang diijinkan Bina Marga untuk lapis keras aspal yaitu sebesar 4 % – 7 %.

5.1.2 Hasil dan Pembahasan Pemeriksaan Material Perkerasan Baru

Pemeriksaan material perkerasan baru meliputi pemeriksaan agregat kasar, agregat halus dan aspal baru. Hasil pemeriksaan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada tabel 5.5 dan tabel 5.6.

Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Baru

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil
1	Keausan dengan mesin Los Angeles	$\leq 40 \%$	32,02 %
2	Kelekatan terhadap aspal	$\geq 95 \%$	99 %
3	Penyerapan agregat terhadap air	$\leq 3,0 \%$	0,8 %
4	Berat jenis agregat kasar	$\geq 2,5 \%$	2,64 %

Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Baru

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil
1	Nilai <i>sand equivalent</i>	$\geq 50 \%$	65,7 %
2	Penyerapan agregat terhadap air	$\leq 3,0 \%$	2,88 %
3	Berat jenis agregat halus	$\leq 2,5 \%$	2,49 %

Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 5.5 dan tabel 5.6 menunjukkan bahwa secara keseluruhan agregat baru yang akan digunakan memenuhi persyaratan Bina Marga 1987.

Pemeriksaan aspal baru dilakukan dengan menggunakan prosedur Bina Marga. Hasil pemeriksaan aspal baru dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Aspal Baru

No	Jenis Pemeriksaan	Metode Pengkajian	Syarat		Hasil	Satuan
			Min	Maks		
1	Penetrasi	PA 0301-76	60	79	63,2	0,1mm
2	Titik lembek	PA 0302-76	48	58	51,50	$^{\circ}\text{C}$
3	Titik nyala	PA 0303-76	200	-	328	$^{\circ}\text{C}$
4	Kelarutan dalam CCL_4	PA 0305-76	99	-	99,28	% berat
5	Daktilitas	PA 0306-76	100	-	165	Cm
6	Berat jenis	PA 0308-76	1	-	1,1	-

Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 5.7 menunjukkan bahwa aspal baru yang akan digunakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

5.2 Desain Campuran Daur Ulang

Desain campuran daur ulang meliputi perencanaan gradasi target dan material penambah (baru).

5.2.1 Gradasi Target

Gradasi target campuran daur ulang direncanakan berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1987 Grading IV, yaitu dengan mengambil nilai tengah dari syarat maksimum dan minimum. Hasil analisa saringan agregat material perkerasan lama pada tabel 5.1 menunjukkan bahwa nilai tengah Grading IV Bina Marga 1987 adalah yang paling mendekati prosentase lolos dan tertahan dari agregat material perkerasan lama. Agregat yang lolos saringan #4 tidak menggunakan nilai tengah, dikarenakan terjadinya penumpukan material tertahan pada saringan #4 tersebut secara berlebihan. Adapun hasil perhitungan gradasi target dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Gradasi Target berdasarkan Grading IV Bina Marga 1983 dan Bina Marga 1987.

Ukuran Saringan	Jumlah % lolos	% Tertahan	
		Jumlah	Tertahan
3/4'	100	0,00	0,00
1/2'	90,00	10,00	10,00
3/8'	80,00	20,00	10,00
#4	59,22	40,78	20,78
#8	42,50	57,50	16,72
#30	23,50	76,50	19,00
#50	18,00	82,00	5,50
#100	12,00	88,00	6,00
#200	7,00	93,00	5,00
Pan	0,00	100,00	7,00

5.2.2 Material Penambah (Baru)

Penambahan material baru meliputi penambahan agregat dan aspal baru serta oli SAE 40. Perhitungan penambahan agregat dan aspal baru dilakukan dengan menggunakan perbandingan berat campuran rencana sebesar 1200 gr.

$$\begin{aligned}\text{Berat material Lama} &= \text{berat agregat} + \text{aspal} \\ &= 885,0 \text{ gr}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan tersebut didapat komposisi campuran material lama dalam campuran daur ulang terhadap berat rencana 1200 gr sebesar :

$$885 \text{ gr} : 1200 \text{ gr} = 73,75 \%$$

Prosentase penambahan material baru adalah sebesar :

$$= 100 \% - 73,75 \% = 26,25 \%$$

Perhitungan aspal baru dilakukan dengan menggunakan persamaan 2 sampai dengan persamaan 4 pada BAB III, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P_c &= 0,035 \times a + 0,045 \times b + F + 0,18 \times c \\ &= (0,035 \times 57,5) + \{(0,045) \times (93 - 57,5)\} + (2) + (0,18 \times 7) \\ &= 5,84 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_r &= P_c - (P_a \times P_p) \\ &= 5,84 - (5,78 \times 73,75 \%) \\ &= 1,57 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{O}) \% &= X \% \times A_i \times B_i \\ &= 19,6 \times (5,76 : 100) \times (73,75 : 100) \\ &= 0,4078 \%\end{aligned}$$

keterangan :

- P_c = Prosen aspal terhadap berat total campuran rencana
 a = Prosen agregat yang tertahan saringan no. 8
 b = Prosen agregat yang lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200
 c = Prosen agregat yang lolos saringan no. 200
 F = Bernilai 0 – 2 %, tergantung dari absorpsi agregat.
 P_r = Prosen aspal baru dalam campuran daur ulang (100 % berat).
 P_c = Prosen aspal terhadap berat total campuran.
 P_a = Prosen aspal dalam campuran perkerasan lama.
 P_p = Prosen campuran perkerasan lama terhadap total campuran.
 O = Prosen oli SAE-40 yang diperlukan (%)
 X = Prosen oli SAE-40 dari berat total aspal lama (%)
 A_i = Kadar aspal lama (%)
 B_i = Prosen bahan lama pada campuran (%)

Nilai X didapatkan dari perhitungan sebagai berikut :

Nilai penetrasi target yang dipakai adalah nilai penetrasi aspal baru. Penambahan oli SAE-40 dimaksudkan untuk menaikkan nilai penetrasi aspal lama hingga sama atau mendekati nilai penetrasi baru. Untuk menaikkan penetrasi sebesar 2,1 mm diperlukan penambahan oli SAE-40 sebanyak 4 % atau untuk menaikkan penetrasi sebesar 1mm diperlukan oli SAE-40 sebanyak :

$$= \frac{2,1 : 4}{100} = 0,525 (\%)$$

Diketahui :

Penetrasi aspal lama = 1,28 mm

Penetrasi aspal baru = 6,32 mm

Besarnya penetrasi aspal lama yang harus dinaikkan adalah sebesar :

$$= 6,32 \text{ mm} - 1,28 \text{ mm} = 5,04 \text{ mm}$$

Jadi kebutuhan oli SAE 40 dari berat total aspal lama dalam campuran adalah :

$$= 5,04 : 0,525 = 9,6 (\%)$$

Benda uji dibuat berdasarkan komposisi material diatas, dengan berat total material seberat 1000 gr, sehingga komposisi campuran adalah :

$$\text{Material lama} = 73,75 \% \times 1000 = 737,5 \text{ gram}$$

$$\text{Aditive (oli SAE-40)} = 0,408 \% \times 1000 = 4,08 \text{ gram}$$

$$\text{Aspal baru} = 1,57 \% \times 1000 = 15,7 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat baru} &= (100 \% - 73,75 \% - 5,84 \% - 0,4078 \%) \times 1000 \\ &= 24,27 \% \times 1000 = 242,7 \text{ gram} \end{aligned}$$

Variasi kadar aspal yang digunakan untuk mencari kadar aspal optimum adalah dengan menggunakan variasi sebesar 0,5 %, yaitu masing-masing sebesar :

$$P_c \pm 0,5 \% = 5,84 \% \pm 0,5 \%$$

$$P_c - 0,5 \% = 5,84 \% - 0,5 \% = 5,34 \%$$

$$P_c = 5,84 \%$$

$$P_c + 0,5 \% = 5,84 \% + 0,5 \% = 6,34 \%$$

Variasi kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5,34 %, 5,84% dan 6,34 %. Komposisi campuran daur ulang serta komposisi agregat dan aspal baru didapat berdasarkan prosentase, variasi kadar aspal dan perbandingan berat, sebagaimana terlihat pada tabel 5.9 dan tabel 5.10.

Tabel 5.9 Komposisi Material Campuran Daur Ulang

Jenis material	Variasi Kadar Aspal (%)		
	5,34	5,84	6,34
Material lama	73,75	73,75	73,75
Aspal baru	1,07	1,57	2,07
Agregat baru	24,77	24,27	23,77
Additive (oli SAE-40)	0,41	0,41	0,41
Total	100,00	100,00	100,00
Jenis Material	Berat material (gr)		
Material lama	737,50	737,50	737,50
Aspal baru	10,71	15,71	20,71
Agregat baru	247,71	242,71	237,71
Additive (oli SAE-40)	4,08	4,08	4,08
Total	1000,00	1000,00	1000,00

Tabel 5.10 Komposisi Agregat dan Aspal Baru Campuran Daur Ulang

Ukuran Saringan	Gradasi Daur Ulang			Kadar Aspal (%)		
	% Tertahan		% Lolos	5,34	5,84	6,337
	Jumlah	Tertahan	Jumlah	Berat Penambah (gram)		
3/4'	0,00	0,00	242,71	0,00	0,00	0,00
1/2'	48,68	48,68	67,75	49,18	48,68	48,18
3/8'	66,87	18,19	64,26	18,69	18,19	17,69
#4	0,00	0,00	182,63	0,00	0,00	0,00
#8	83,07	16,21	113,60	18,08	16,21	14,33
#30	162,19	79,11	53,52	80,06	79,11	78,16
#50	178,67	16,49	43,83	16,76	16,49	16,21
#100	180,65	1,98	52,46	2,28	1,98	1,68
#200	186,20	5,55	54,97	5,80	5,55	5,30
Pan	242,71	56,51	0,00	56,86	56,51	56,16
Total	0,00	242,71		247,71	242,71	237,71

5.3 Pembahasan Hasil Uji *Marshall*

Pengujian *Marshall* di laboratorium dilakukan dengan gradasi target dan bahan ikat aspal (AC 60/70) serta bahan penambah oli SAE 40 yang diuji dengan alat *Marshall*. Hasil yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998 seperti pada tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Uji *Marshall* dan Spesifikasi Campuran

Sifat Campuran	Spesifikasi Campuran						Hasil Uji
	Bina Marga 1983		Bina Marga 1987		Bina Marga 1998		
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	
Jumlah Tumbukan	2 x 75		2 x 75		2 x 75		2 x 75
Stabilitas (kg)	750	-	550		800	-	2210,11
<i>Flow</i> (mm)	2	4	2	4	2	-	3,06
<i>VITM</i> (%)	3	5	3	5	3	5	3,33
<i>VFWA</i> (%)	75	82	-	-	65		79,73
<i>VMA</i> (%)	-	-	14		16	-	16,37
<i>MQ</i> (kg/mm)	-	-	200	350	200	500	636,49

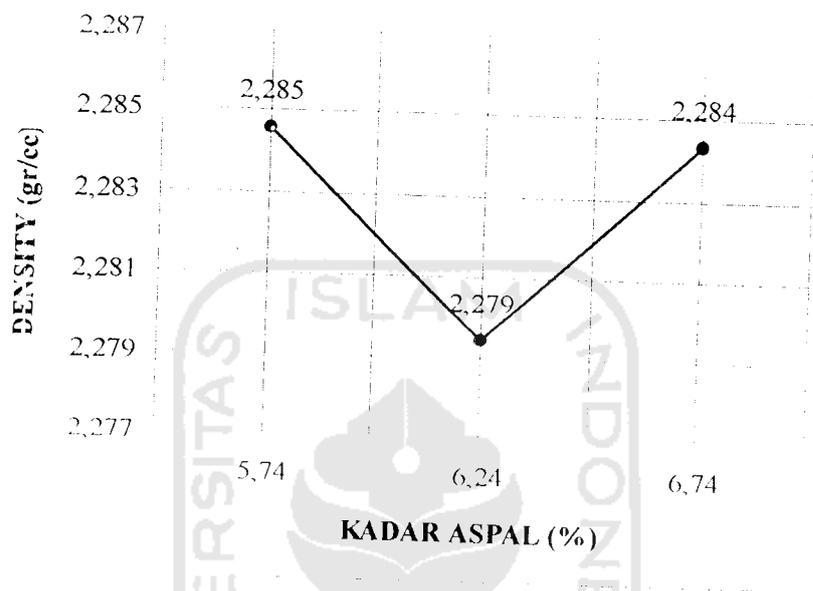
Sumber : Hasil Penelitian Lab. Jalan Raya FTSP UII

5.3.1 Tinjauan Terhadap Kepadatan (*Density*)

Nilai kepadatan campuran (*density*) menunjukkan kepadatan campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran dengan nilai *density* yang lebih rendah. Nilai *density* suatu campuran beton aspal dipengaruhi oleh kualitas bahan dan cara pemadatan campuran beton aspal tersebut. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998 besarnya nilai *density* tidak dibatasi. Nilai *density* beton aspal pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.12 dan gambar 5.1.

Tabel 5.12 Nilai *Density* Campuran Beton Aspal

Kadar aspal	5,74 %	6,24 %	6,74 %
<i>Density</i>	2,285 gr/cc	2,279 gr/cc	2,284 gr/cc

Gambar 5.1 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan *Density*

Berdasarkan gambar 5.1 terlihat bahwa nilai *density* maksimum dalam penelitian ini terjadi pada kadar aspal 5,74 % sebesar 2,285 gr/cc, sedangkan nilai *density* minimum sebesar 2,279 gr/cc pada kadar aspal 6,24 %.

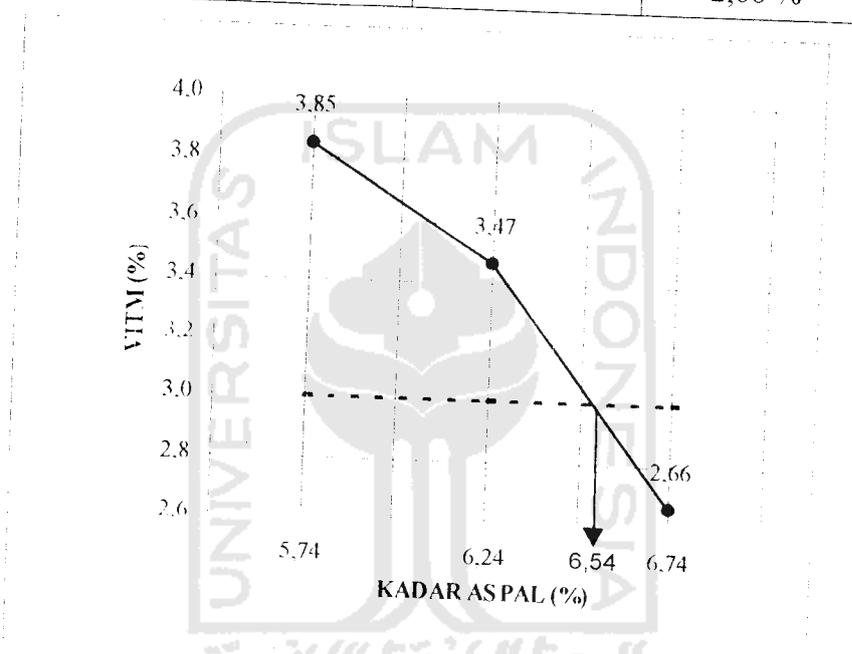
5.3.2 Tinjauan terhadap *VITM* (*Void In The Mix*)

Volume rongga dalam campuran (*VITM*) menunjukkan prosentase rongga udara antar butir agregat yang terbungkus aspal dalam volume total campuran beton aspal setelah dipadatkan. Nilai *VITM* berpengaruh terhadap keawetan campuran betor aspal. Semakin tinggi nilai *VITM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran menjadi kurang rapat, sebaliknya semakin rendah nilai *VITM* menunjukkan rongga dalam campuran semakin kecil

sehingga campuran menjadi lebih rapat. Spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998 untuk nilai *VITM* adalah 3%-5%. Nilai *VITM* yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.13 dan gambar 5.2.

Tabel 5.13 Nilai *VITM* Campuran Beton Aspal

Kadar aspal	5,74 %	6,24 %	6,74 %
<i>VITM</i>	3,85 %	3,47 %	2,66 %



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan *Void In Total Mix*

Berdasarkan gambar 5.2 terlihat bahwa nilai *VITM* akan berkurang sejalan dengan meningkatnya kadar aspal dalam campuran beton aspal yang disebabkan aspal mampu mengisi rongga yang terdapat dalam campuran beton aspal.

Nilai *VITM* campuran daur ulang pada kadar aspal 5,74 % sampai kadar aspal 6,54 % masih memenuhi batas spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998, sedangkan nilai *VITM* pada kadar aspal 6,74 % sebesar 2,66 % tidak memenuhi batas spesifikasi, disebabkan oleh kecilnya rongga akibat bertambahnya kadar aspal.

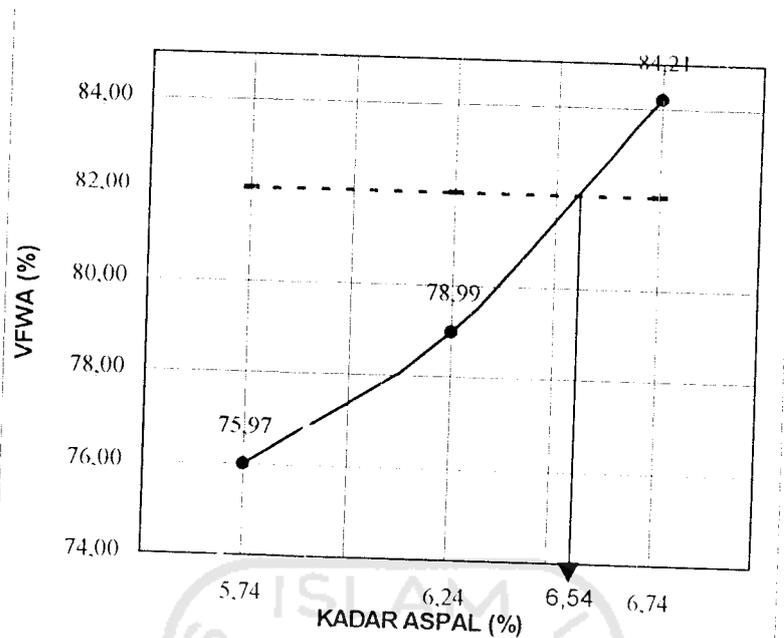
5.3.3 Tinjauan Terhadap *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*)

Nilai *VFWA* menunjukkan prosentase rongga pada campuran yang terisi aspal setelah mengalami proses pemadatan, tidak termasuk aspal yang diserap. Nilai *VFWA* menentukan sifat kedekatan dan keawetan suatu campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh jumlah, temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VFWA* berbanding terbalik dengan nilai *VTM*. Nilai *VFWA* yang kecil mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat terbatas dan membuat *film* aspal tipis sehingga lapisan kurang kedap terhadap air dan akan mudah retak bila terjadi penambahan beban. Beban lalu-lintas berulang yang diterima campuran beton aspal menyebabkan terjadinya pemadatan kembali. Pemadatan akibat beban disertai dengan temperatur relatif tinggi mengakibatkan kekentalan aspal menjadi turun sehingga pada campuran dengan nilai *VFWA* yang besar kemungkinan terjadi *bleeding* menjadi cukup besar karena tidak terdapat ruang bagi aspal untuk melakukan penetrasi terhadap rongga antar agregat dalam campuran.

Spesifikasi Bina Marga 1983 membatasi nilai *VFWA* minimum 75 % dan maksimum 82 %, Bina Marga 1987 tidak membatasi nilai *VFWA*, sedangkan Bina Marga 1998 membatasi nilai *VFWA* minimal 65 %. Nilai *VFWA* yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.14 dan gambar 5.3.

Tabel 5.14 Nilai *VFWA* Campuran Beton Aspal

Kadar aspal	5,74 %	6,24 %	6,74 %
<i>VFWA</i>	75,97 %	78,99 %	84,21 %



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan *VFA*

Berdasarkan gambar 5.3 terlihat bahwa nilai *VFA* meningkat sejalan dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran beton aspal. Kenaikan ini disebabkan rongga antar agregat masih mampu diisi aspal.

Nilai *VFA* campuran daur ulang pada kadar aspal 5,74 % sebesar 75,97 % dan pada kadar aspal 6,24 % sebesar 78,99 % sehingga masih memenuhi batas spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998. Nilai *VFA* tertinggi terjadi pada kadar aspal 6,74 % sebesar 84,21 %, tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 1983 tetapi memenuhi spesifikasi Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998.

5.3.4 *Void in Mineral Agregat (VMA)*

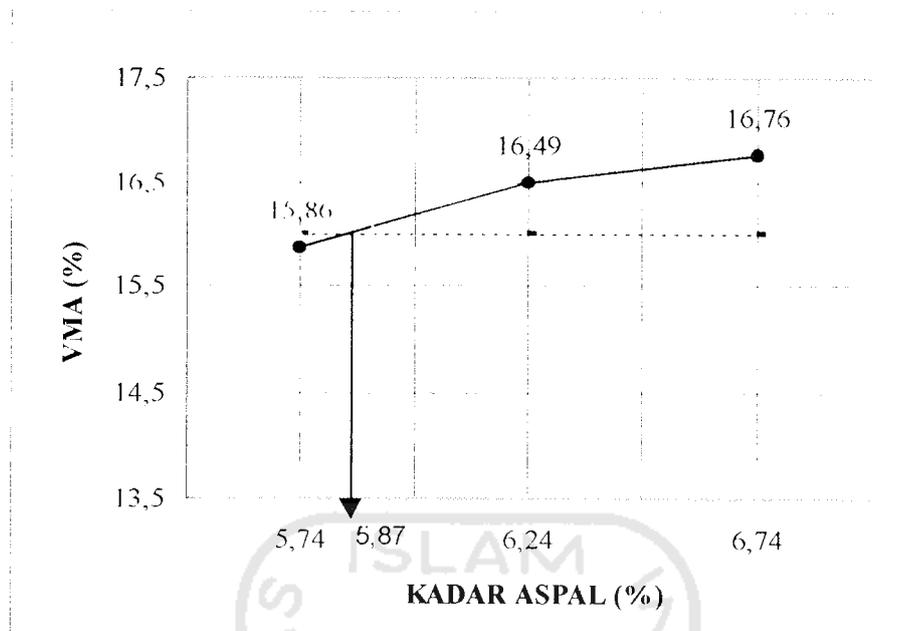
Nilai *VMA* adalah rongga antar butir agregat dalam campuran aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, dinyatakan dalam persen (%) terhadap total berat campuran. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh jumlah tumbukan,

gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai *VMA* berpengaruh pada sifat kedap air dan keawetan campuran terhadap air dan udara serta elastisitas campuran. Nilai *VMA* yang semakin tinggi berarti rongga yang terdapat dalam campuran semakin banyak yang terisi aspal, sehingga kedap air campuran terhadap udara dan air semakin tinggi. Campuran dengan nilai *VMA* terlalu tinggi dengan *VIM* rendah akan lebih mudah terjadi *bleeding* pada saat menerima beban pada temperatur tinggi, sedangkan nilai *VMA* yang terlalu rendah menyebabkan aspal yang menyelimuti agregat terbatas sehingga lapisan menjadi kurang kedap air, oksidasi mudah terjadi dan dapat mengakibatkan *cracking* (retak).

Spesifikasi Bina Marga 1983 tidak mencantumkan besarnya nilai *VMA*, Bina Marga 1987 mensyaratkan nilai *VMA* minimal sebesar 15 % untuk ukuran maksimal agregat $\frac{1}{2}$ " dan Bina Marga 1998 mensyaratkan nilai *VMA* minimal sebesar 16 %. Nilai *VMA* dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 5.4 dan tabel 5.15.

Tabel 5.15 Nilai *VMA* Campuran Beton Aspal

Kadar Aspal	5,74 %	6,24 %	6,74 %
<i>VMA</i>	15,86 %	16,49 %	16,76 %



Gambar 5.4 Grafik hubungan Kadar Aspal dengan *VMA*

Berdasarkan gambar 5.4 terlihat bahwa nilai *VMA* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Kenaikkan ini dikarenakan bertambahnya kadar aspal mengakibatkan film aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal, sehingga jarak antar agregat menjadi semakin berjauhan, dengan bertambahnya kadar aspal semakin besar pula rongga yang diisi oleh aspal sehingga nilai *VMA* menjadi besar. Nilai *VMA* tertinggi terjadi pada kadar aspal 6,74 % sebesar 16,76 %, sedangkan nilai *VMA* terendah terjadi pada kadar aspal 5,74 % sebesar 15,86 %, sehingga memenuhi spesifikasi Bina Marga 1983 dan Bina Marga 1987. Nilai *VMA* yang dihasilkan pada kadar aspal 5,74 % sebesar 15,86 % tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 1998.

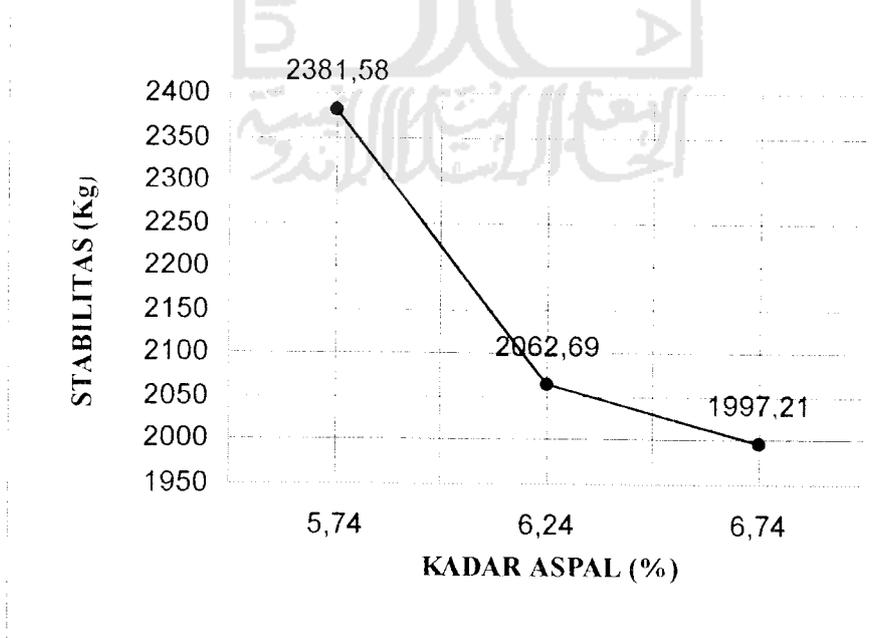
5.3.5 Tinjauan Terhadap Stabilitas

Stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan suatu campuran beton aspal untuk dapat menahan deformasi akibat beban lalu-lintas yang bekerja di atasnya

tanpa mengalami perubahan bentuk. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh ketahanan gesek antar agregat, bentuk agregat, bentuk permukaan agregat, kepadatan campuran beton aspal dan kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar agregat. Campuran beton aspal dengan stabilitas tinggi akan mampu menahan beban lalu-lintas yang besar, namun bila stabilitas terlalu tinggi dapat menyebabkan bahan campuran menjadi kaku sehingga mudah terjadi retak (*cracking*). Campuran dengan stabilitas yang terlalu rendah dapat menyebabkan campuran mudah mengalami deformasi plastis. Spesifikasi Bina Marga 1983 untuk nilai stabilitas minimal sebesar 750 kg, Bina Marga 1987 minimal sebesar 550 kg dan Bina Marga 1998 minimal sebesar 800 kg. Nilai stabilitas pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.16 dan gambar 5.5.

Tabel 5.16 Nilai Stabilitas Campuran Beton Aspal

Kadar aspal	5,74 %	6,24 %	6,74 %
Stabilitas	2381,58 kg	2062,69 kg	1997,21 kg



Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

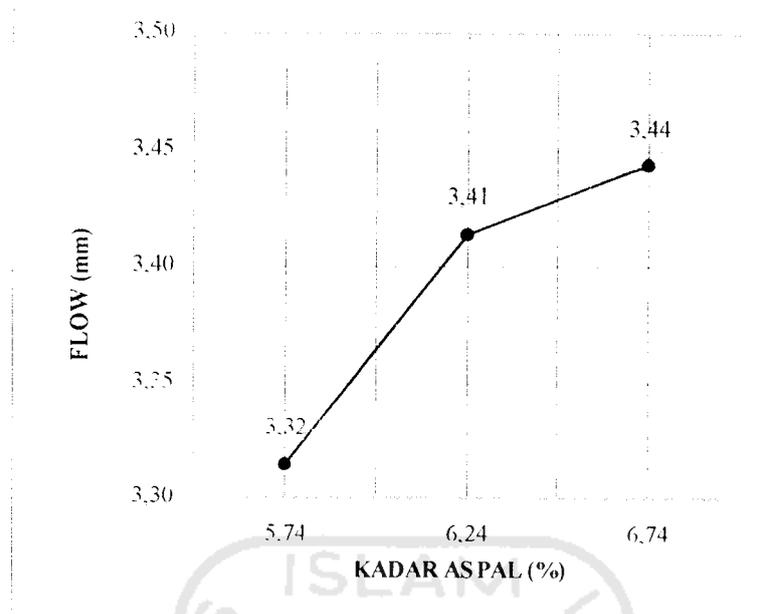
Berdasarkan gambar 5.5 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas menurun sejalan dengan bertambahnya kadar aspal. Penurunan ini disebabkan penggunaan aspal sudah melebihi stabilitas optimum, maka aspal akan berfungsi sebagai pelicin dalam campuran sehingga menurunkan nilai stabilitas dan meningkatkan sifat fleksibilitas. Pada penelitian ini nilai stabilitas tertinggi terjadi pada kadar aspal 5,74 % sebesar 2381,58 kg sedangkan nilai terrendahnya terjadi pada kadar aspal 6,74 % sebesar 1997,21 kg, sehingga masih memenuhi batas spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998.

5.3.6 Tinjauan Terhadap *Flow*

Kelelehan (*flow*) adalah angka yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada campuran beton aspal akibat beban yang bekerja padanya. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Nilai *flow* berhubungan erat dengan nilai stabilitas. Campuran yang mempunyai nilai *flow* rendah dengan nilai stabilitas tinggi menunjukkan campuran beton aspal bersifat kaku dan getas, sebaliknya nilai *flow* tinggi dan stabilitas rendah menunjukkan campuran beton aspal bersifat plastis. Bina Marga 1983 dan Bina Marga 1987 mensyaratkan nilai *flow* sebesar 2-4 mm, sedangkan Bina Marga 1998 nilai *flow* minimal sebesar 2 mm. Nilai *flow* yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.17 dan gambar 5.6.

Tabel 5.17: Nilai *Flow* Campuran Beton Aspal

Kadar aspal	5,74 %	6,24 %	6,74 %
<i>Flow</i>	3,32 mm	3,41 mm	3,44 mm



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan *Flow*

Berdasarkan gambar 5.5 terlihat bahwa nilai *flow* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Kenaikkan ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar aspal campuran menjadi lebih fleksibel. Hal ini terlihat dari gambar 5.5 sebelumnya, dengan kenaikan kadar aspal nilai stabilitas menjadi turun. Pada penelitian ini dihasilkan nilai *flow* tertinggi sebesar 3,44 mm dengan nilai stabilitas terendah sebesar 1997,21 kg yang terjadi pada campuran daur ulang dengan kadar aspal 6,74 %, sedangkan nilai *flow* terendah 3,32 mm dengan nilai stabilitas tertinggi 2381,58 kg terjadi pada campuran daur ulang dengan kadar aspal 5,74 %, sehingga masih memenuhi batas spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998.

5.3.7 Tinjauan Terhadap *Marshall Quotient (MQ)*

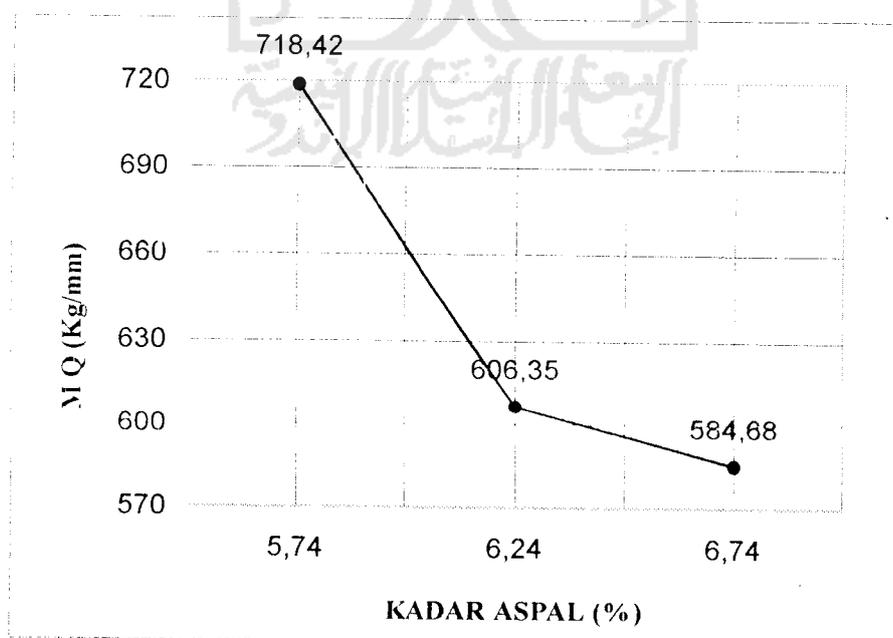
Marshall quotient (MQ) merupakan hasil bagi dari stabilitas dengan kelelahan (*flow*) yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan

suatu campuran. Semakin besar nilai *marshall quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya *marshall quotient* terlalu rendah berarti campuran semakin lentur. Nilai *marshall quotient* terlalu tinggi berakibat campuran bersifat kaku dan mudah mengalami retak-retak bila menerima beban lalu-lintas, sebaliknya nilai *marshall quotient* yang terlalu rendah akan menghasilkan campuran dengan fleksibilitas tinggi sehingga campuran mudah mengalami deformasi plastis bila menerima beban lalu-lintas.

Spesifikasi Bina Marga 1983 tidak membatasi besarnya nilai *marshall quotient*, pada Bina Marga 1987 nilai *marshall quotient* sebesar 200-350 kg/mm dan 200-500 kg/mm berdasarkan Bina Marga 1998. Nilai *marshall quotient* yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.18 dan gambar 5.7.

Tabel 5.18 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Beton Aspal

Kadar aspal	5,74 %	6,24 %	6,74 %
<i>MQ</i>	718,42 kg/mm	606,35 kg/mm	584,68 kg/mm



Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan *MQ*

Berdasarkan gambar 5.7 terlihat bahwa nilai *marshall quotient* menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Penurunan ini dikarenakan penambahan kadar aspal berakibat menurunnya nilai stabilitas dan menaikkan nilai *flow*. Hasil pengujian ini mengindikasikan dengan bertambahnya kadar aspal mengakibatkan naiknya sifat fleksibilitas pada campuran. Hasil pengujian nilai *marshall quotient* tertinggi sebesar 718,42 kg/mm terjadi pada campuran beton aspal dengan kadar aspal 5,74 % dan nilai *marshall quotient* terendah sebesar 584,68 kg/mm pada kadar aspal 6,74 %. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1983 nilai *marshall quotient* tidak dibatasi sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998 nilai *marshall quotient* tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan karena nilai *marshall quotient* yang dihasilkan terlalu besar. Untuk mengatasi kekakuan campuran yang terlalu tinggi, perlu dilakukan percobaan dengan bahan peremaja lain atau oli dengan tingkat kekentalan (SAE) yang lain.

5.4 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah prosentase kadar aspal yang digunakan dalam campuran beton aspal agar dapat mencapai persyaratan berdasarkan *density*, *VITM*, *VFWA*, *flow*, stabilitas dan *MQ*. Penentuan kadar aspal optimum pada campuran beton aspal ini menggunakan spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998. Nilai kadar aspal optimum diperoleh dengan cara memplotkan rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi berdasarkan nilai *density*, *VITM*, *flow*, *VFWA*, stabilitas dan *MQ* pada tabel spesifikasi kadar aspal. Garis yang telah diplotkan pada tabel spesifikasi kadar aspal dicari batas

Tabel 5.21 Kadar Aspal Optimum berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 1998

No	% Kadar aspal Pemeriksaan	5,74	6,24	6,74
		1	Density (gr/cc)	[Bar chart showing density range from 5.74 to 6.74]
2	VMA (%)	[Bar chart showing VMA range from 5.74 to 6.74]		
3	VITM (%)	[Bar chart showing VITM range from 5.74 to 6.74]		
4	Stabilitas (kg)	[Bar chart showing stability range from 5.74 to 6.74]		
5	Flow (mm)	[Bar chart showing flow range from 5.74 to 6.74]		
6	Marshall Quotient (kg/mm)	[Bar chart showing Marshall Quotient range from 5.74 to 6.74]		
7	VIWA (%)	[Bar chart showing VIWA range from 5.74 to 6.74]		

↓ 5,87% ↓ 6,21% ↓ 6,54%

Tabel 5.22 Rentang Kadar Aspal Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998

No	Spesifikasi Jenis	Bina Marga 1983	Bina Marga 1987	Bina Marga 1998
		Rentang Kadar Aspal	Rentang Kadar Aspal	Rentang Kadar Aspal
1	Density (gr/cc)	5,74-6,74	5,74-6,74	5,74-6,74
2	VITM (%)	5,74-6,54	5,74-6,54	5,74-6,54
3	VIWA (%)	5,74-6,54	5,74-6,74	5,74-6,74
4	VMA (%)	5,74-6,74	5,74-6,74	5,87-6,74
5	Stabilitas (kg)	5,74-6,74	5,74-6,74	5,74-6,74
6	Flow (mm)	5,74-6,74	5,74-6,74	5,74-6,74
7	MQ (kg/mm)	5,74-6,74	-	-

7

28

Tabel 5.23 Kadar Aspal Optimum Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 1983, Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998

Spesifikasi	Rentang Kadar Aspal (%)	KAO (%)	Keterangan
Bina Marga 1983	5,74 – 6,54	6,14	• Semua nilai memenuhi persyaratan
Bina Marga 1987	5,74 – 6,54	6,14	• Nilai <i>MQ</i> tidak memenuhi persyaratan
Bina Marga 1998	5,87 – 6,54	6,21	• Nilai <i>MQ</i> tidak memenuhi persyaratan

Berdasarkan tabel 5.20 dan tabel 5.21 terlihat bahwa kadar aspal optimum untuk campuran beton aspal hasil daur ulang berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1987 dan Bina Marga 1998, nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan tidak memenuhi syarat, sedangkan dengan spesifikasi Bina Marga 1983 semua nilai hasil penelitian memenuhi syarat dan dicapai kadar aspal optimum 6,14 %, dengan karakteristik seperti pada tabel 5.24.

Tabel 5.24 Karakteristik *Marshall* Campuran Daur Ulang Pada Kadar Aspal Optimum

No	Karakteristik	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 1983
1	<i>Density</i> (gr/cc)	2,28	-
2	<i>VIM</i> (%)	3,55	3 – 5
3	<i>VIWA</i> (%)	76,57	75-82
4	<i>IMA</i> (%)	15,99	-
5	Stabilitas (kg)	2126,47	>750
6	<i>Flow</i> (mm)	3,39	2 – 4
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	628,76	-