

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. PERENCANAAN PERSENTASE AGREGAT CAMPURAN.

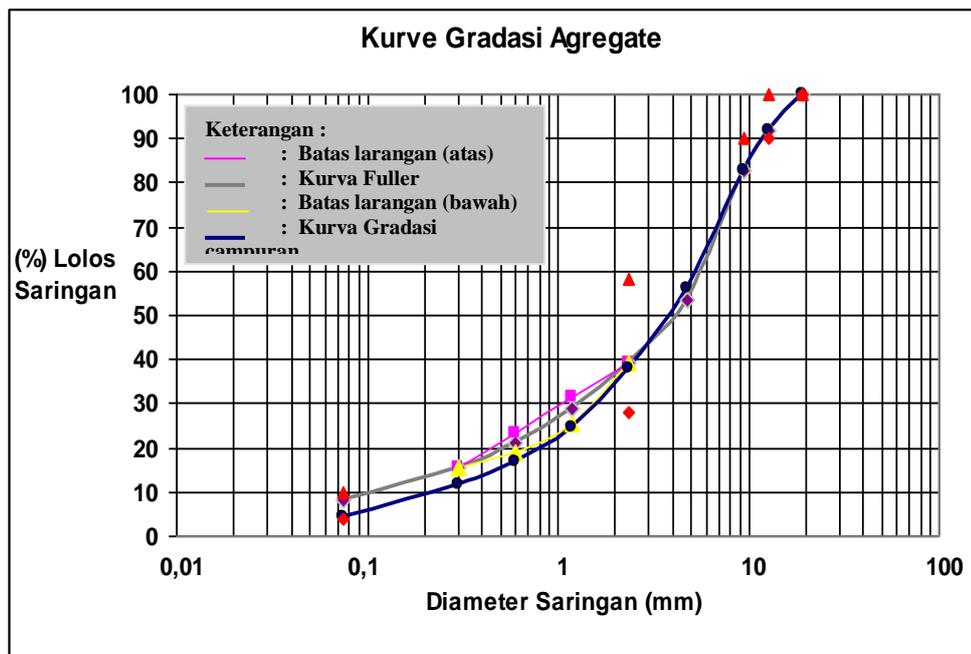
Dalam memperoleh gradasi argegat campuran yang sesuai dengan spesifikasi gradasi jenis AC-WC, terlebih dahulu menetapkan persentase butiran agregat yang lolos nomor saringan tertentu dengan mempertimbangkan batasan gradasi jenis AC-WC dan gradasi Fuller beserta batas larangannya, maka presentase agregat campuran akan diperoleh seperti yang tertera pada Tabel 4.1 dibawah.

Tabel 4.1. : Persentase Agregat Campuran

No	Diameter Saringan		% Lolos	% Tertahan	Bahan Yang Lolos (%) AC-WC		
	Inci	(mm)			Batas Gradasi	Gradasi Fuller	Batas Larangan
1	3/4"	19,000	100,000	-	100	100,000	-
2	1/2"	12,700	92,000	8,000	90-100	82,800	-
3	3/8"	9,530	82,750	9,250	Maks. 90	73,300	-
4	No. 4	4,760	56,250	26,500	-	53,600	-
5	No. 8	2,380	37,750	18,500	28-58	39,100	39,1-39,1
6	No. 16	1,190	24,500	13,250	-	28,600	25,6-31,6
7	No. 30	0,600	16,750	7,750	-	21,100	19,1-23,1
8	No. 50	0,300	11,750	5,000	-	15,800	15,5-15,5
9	No. 200	0,075	4,500	7,250	4-10	8,300	-
10	PAN	-	0,000	4,500	-	-	-

Penetapan persentase agregat lolos saringan seperti Tabel 4.1 telah memenuhi batas gradasi yang di syaratkan untuk AC-WC dan memenuhi batas larangan yang disyaratkan Fuller. Pemilihan butiran agregat berdasarkan persentase tersebut,

untuk lolos saringan no.8 hingga saringan no.200 berada dibawah gradasi Fuller sedangkan lolos saringan no.4 keatas berada diatas gradasi Fuller seperti yang terlihat dalam Gambar 4.1 dibawah.



Gambar 4.1 : Kurve Gradasi Agregat Campuran

Pemilihan gradasi berada di bawah gradasi Fuller (Gambar 4.1) dimaksudkan untuk mendapatkan butiran agregat lebih kasar dari pada gradasi Fuller, sehingga akan mengurangi pemakaian kadar aspal.

#### 4.2. HASIL PENGUJIAN MATERIAL

Pengujian material dalam campuran beraspal jenis perkerasan AC-WC ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal. *Filler* yang digunakan sebagai bahan penelitian terdiri dari dua jenis yaitu abu batu dan abu vulkanik. Kendala dalam pengujian ini adalah penimbangan terhadap agregat, alat timbang digital sangat peka terhadap udara sekitarnya yang mempengaruhi berat agregat, sehingga dalam pengerjaan ini perlu perhatian secara kusus.

#### 4.2.1. Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar untuk mendapatkan Berat Jenis Agregat didasarkan atas pengujian berat jenis kering, berat jenis SSD, berat jenis apparent dan penyerapan air dikarenakan pada pengujian tersebut memiliki kebutuhan parameter yang sama dan saling terkait, yaitu berat benda uji kering oven, berat benda uji kering permukaan jenuh dan berat benda uji dalam air. Sehingga pengujian tersebut dapat dilakukan pada hari yang bersamaan dan menjadi satu paket pengujian. Sedangkan pengujian yang lain dilakukan berlainan waktu. Hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.2. di bawah ini.

Tabel 4.2 : Hasil Pengujian Agregat Kasar.

Pengujian	Standar	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk	AASHTO T-85- 81	2,614 (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Berat Jenis SSD	AASHTO T-85-81	2,644 (gr/cm <sup>3</sup> )	2,5 (gr/cm <sup>3</sup> )
Berat Jenis Apparent	AASHTO T-85 -81	2,694 (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Penyerapan Air	SNI 1969-1989- F	1,139 %	Maks.3%
Abrasi (Los Angeles Test)	SNI 03-2417-1991	17,83 %	Maks.40%

Dalam Tabel 4.2 terlihat bahwa hasil pengujian berat jenis bulk (kering udara) agregat kasar sebesar 2,614 (gr/cm<sup>3</sup>), menurut SNI 03-1737-1989 berat jenis minimum 2,5 (gr/cm<sup>3</sup>) Sedangkan penyerapan air diperoleh hasil sebesar 1,139 %, maksimum penyerapan diperbolehkan sebesar 3% dan pengujian Abrasi dengan mesin Los Angeles diperoleh hasil sebesar 17,830 %, maksimum yang diperbolehkan sebesar 40 %, sehingga dapat dikatakan bahwa Agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat.

#### 4.2.2. Agregat halus

Pengujian agregat halus untuk mendapatkan berat jenis dalam perhitungannya adalah mirip dengan mendapatkan berat jenis agregat kasar yaitu pengujian berat jenis kering, berat jenis SSD, berat jenis apparent dan penyerapan air yang didasarkan atas berat benda uji kering oven, berat benda uji kering permukaan jenuh dan berat benda uji dalam air. Pada Tabel 4.3. di bawah ini adalah hasil pengujian agregat halus.

Tabel 4.3 : Hasil Pengujian Agregat Halus.

Pengujian	Standar	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk	AASHTO T-85- 81	2,508 (gr/cm <sup>3</sup> )	2,5(gr/cm <sup>3</sup> )
Berat Jenis SSD	AASHTO T-85-81	2,551 (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Berat Jenis Apparent	AASHTO T-85 -81	2,619 (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Penyerapan Air	SNI 1969-1989- F	1,688 %	maks. 3%
Material lolos ayakan no.200	SNI-03-4428-1997	-	maks. 8%

Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan No.001-03/BM/2006 DirJen Bina Marga, bahwa berat jenis bulk agregat kasar dan agregat halus minimum 2,5 (gr/cm<sup>3</sup>) dan perbedaan antara berat jenis agregat kasar dengan agregat halus tidak boleh lebih dari 0,2. Dalam Tabel 4.3 terlihat bahwa hasil pengujian berat jenis bulk (kering udara) terhadap agregat halus sebesar  $2,569 > 2,5$  (gr/cm<sup>3</sup>) dan selisih berat jenis kasar dengan halus sebesar  $0,075 < 0,2$ . Sedangkan penyerapan air diperoleh hasil sebesar 2,838 %, maksimum penyerapan diperbolehkan sebesar 3 % sehingga Agregat halis yang akan digunakan sebagai bahan campuran telah memenuhi syarat.

#### 4.2.3. Filler

Hasil pengujian jenis *filler*, ditampilkan pada Tabel 4.4. dibawah. Kedua jenis *filler* berupa material yang lolos dari pengayakan dengan saringan No. 200, sehingga dapat dikatakan bahwa kedua *filler* yang digunakan adalah 100 % lolos saringan No.200.

Tabel 4.4.: Hasil Pengujian *Filler*.

Jenis Filler	Pengujian	Standar	Hasil	Spesifikasi
Abu batu	Berat Jenis	-	2,531	-
	Lolos ayakan No. 200	SNI M-02-1994-03	100 %	Min. 70 %
Abu Vulkanik	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2,819	-
	Lolos ayakan No. 200	SNI M-02-1994-03	100 %	Min. 70 %

Hasil pengujian Berat Jenis yang dilakukan terhadap *filler* abu vulkanik dan *filler* abu batu seperti yang terlihat dalam Tabel 4.4 menunjukkan bahwa Berat Jenis *Filler* abu vulkanik lebih besar dari pada abu batu yaitu sebesar 2,819 gr/cm<sup>3</sup> untuk abu vulkanik dan 2,531 gr/cm<sup>3</sup> untuk abu batu. Pada umumnya nilai Berat Jenis abu batu berada diantara nilai berat jenis agregat halus hingga nilai berat jenis agregat kasar yang digunakan. Hasil yang diperoleh tersebut mengindikasikan bahwa *filler* abu vulkanik memiliki nilai stabilitas Marshall lebih baik dari pada *filler* abu batu, karena peningkatan nilai stabilitas seiring dengan kenaikan berat jenis *filler* yang digunakan (Widodo, 2000).

#### 4.2.4. Aspal

Pada pengujian material aspal kondisi ruang laboratorium juga mempengaruhi hasil dalam pengujian titik leleh. Pengujian yang dilakukan

terhadap jenis aspal pen 60 adalah Berat Jenis, Daktilitas serta Penetrasi. Hasil Pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 4.5. di bawah ini.

Tabel 4.5 : Hasil Pengujian Aspal.

No.	Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Persyaratan Pen 60
1.	Penetrasi, 25 °C; 100gr; 5detik; 0,1mm	SNI 06-2456-1991	68,400	60 - 69
2.	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	49,500	48 - 58
3.	Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 06-2441-1991	1,049	Min. 1,0
4.	Daktilitas 25 °C, cm	SNI 06-2432-1991	101,250	Min. 100

Dalam Tabel 4.5 terlihat bahwa hasil pengujian Penetrasi sebesar 68,4 berada pada batas persyaratan (60-69) demikian juga Titik lembek sebesar 49,5 °C berada pada batas persyaratan (48-58) sedangkan Berat Jenis diperoleh sebesar 1,049 gr/cm<sup>3</sup> lebih besar dari pada yang disyaratkan (min. 1,0) dan Daktilitas sebesar 101,25 cm lebih besar dari pada yang disyaratkan (min. 100). Sehingga Aspal yng digunakan memenuhi syarat untuk campuran beraspal.

#### 4.3. PENENTUAN PERKIRAAN KADAR ASPAL RENCANA

Setelah didapatkan hasil persentase lolos saringan terhadap masing-masing gradasi butiran baik agregat kasar, agregat halus maupun filler, seperti yang tertera dalam Tabel 4.1 diatas maka agregat kasar menempati porsi 43,750 %, agregat halus 51,750 % dan 4,50 % filler. Nilai konstanta untuk Laston jenis AC-WC adalah rentang 0,5 – 1,0. Jika konstanta diambil sebesar 0,750 maka kadar aspal rencana (Pb) dapat dihitung sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,180 (\%FF) + k$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (43,75) + 0,045 (51,75) + 0,180 (4,5) + 0,75 \\
 &= 1,531 + 2,328 + 0,864 + 0,75 \\
 &= 5,473 \% \text{ ----- dibulatkan } = 5,500 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan  $P_b$  yang diperoleh, maka perkiraan rentang kadar aspal rencana dapat dilihat dalam Tabel 4.6 dibawah .

Tabel 4.6. : Perkiraan Nilai Kadar Aspal

<b>Pb-1</b>	<b>Pb-0,5</b>	<b>Pb</b>	<b>Pb+0,5</b>	<b>Pb+1</b>
4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Untuk selanjutnya dengan berdasarkan nilai kadar aspal tersebut, dilakukan perhitungan proporsi berat agregat yang lolos saringan sesuai gradasi butiran serta berat aspal yang diperlukan untuk sebuah benda uji. Hasil perhitungan proporsi campuran agregat adalah sebagai berikut :

Volume benda uji ( $V$ ) =  $1/4 \pi d^2 \cdot t$  dengan  $d = 10 \text{ cm}$ ,  $t = 6,35 \text{ cm}$  , maka :

$$\begin{aligned}
 V &= 1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 6,35 \\
 &= 498,728 \text{ cm}^3.
 \end{aligned}$$

Untuk kadar aspal 4,5 % dengan berat jenis teori maksimum 2,526 gr/cm<sup>3</sup>, akan diperoleh berat sampel ( $w$ ) =  $V \times BJ$

$$= 498,728 \times 2,526 = 1.259,790 \text{ gr.}$$

Berat aspal = Berat sampel x Kadar aspal

$$= 1.259,79 \times 4,5/100 = 56,690 \text{ gr.}$$

Berat Total Agregat = Berat sampel - Berat aspal

$$= 1.259,790 - 56,690 = 1.203,100 \text{ gr.}$$

Sebagai contoh untuk mendapatkan berat fraksi setiap agregat yang tertahan di masing-masing No. saringan pada kadar aspal 4,5 % adalah :

$$\text{Tertahan saringan } 1/2'' = 8/100 \times 1.203,100 \text{ gr.} = 96,250 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan } 3/8'' = 9,250/100 \times 1.203,100 \text{ gr.} = 111,290 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.4} = 26,500/100 \times 1.203,100 \text{ gr.} = 318,810 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.8} = 18,500/100 \times 1.203,100 \text{ gr.} = 222,570 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.16} = 13,250/100 \times 1.203,100 \text{ gr.} = 159,410 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.30} = 7,750/100 \times 1.203,100 \text{ gr.} = 93,240 \text{ gr.}$$

Demikian seterusnya hingga sampai pada saringan No.200, sedangkan hasil selengkapnya untuk rentang kadar aspal dapat dilihat dalam Tabel 4.7 dibawah.

Tabel 4.7 : Proporsi Campuran Agregat

Saringan	Diameter	% Lolos	% Tertahan	Kadar Aspal				
				4,5% A(gr)	5% B(gr)	5,5% C(gr)	6% D(gr)	6,5% E(gr)
3/4"	19,050	100,000						
1/2"	12,700	92,000	8,000	96,250	95,100	93,960	92,820	91,700
3/8"	9,530	82,750	9,250	111,290	109,960	108,640	107,330	106,020
No. 4	4,760	56,250	26,500	318,810	315,010	311,230	307,470	303,730
No. 8	2,380	37,750	18,500	222,570	219,920	217,280	214,650	212,050
No. 16	1,190	24,500	13,250	159,410	157,510	155,620	153,740	151,870
No. 30	0,600	16,750	7,750	93,240	92,130	91,020	89,920	88,830
No. 50	0,300	11,750	5,000	60,160	59,440	58,720	58,010	57,310
N. 200	0,075	4,500	7,250	87,220	86,180	85,150	84,120	83,100
PAN	-	0,000	4,500	54,140	53,490	52,850	52,210	51,580
Jumlah (Gram)				1203,09	1188,74	1174,47	1160,27	1146,19
B J Teoritis Maks. (gr/cm <sup>3</sup> )				2,526	2,509	2,492	2,475	2,458
Berat Aspal (Gram)				56,690	62,570	68,360	74,060	79,680

#### 4.4. HASIL UJI MARSHALL PADA KADAR ASPAL RENCANA

Hasil pengujian Marshall tidak lain adalah sifat campuran beraspal dan dapat diperoleh setelah seluruh persyaratan material, berat jenis, dan perkiraan kadar aspal rencana telah terpenuhi. Hasil pengujiannya selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran 2.1 dan 2.2 sedangkan rekap hasil dapat dilihat dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 : Hasil Pengujian Sifat Campuran Beraspal

Sifat Campuran	Jenis Filler	Kadar Aspal				
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	Abu Batu	2,294	2,336	2,357	2,366	2,338
	A.Vulkanik	2,325	2,347	2,371	2,371	2,346
	Minimum :	--				
Stabilitas (kg)	Abu Batu	962,731	995,090	1009,350	994,460	1007,780
	A.Vulkanik	995,955	1000,500	1025,300	1010,840	1017,380
	Minimum :	800				
Kelelahan /Flow (mm)	Abu Batu	3,866	3,766	4,133	4,266	4,667
	A.Vulkanik	3,533	3,500	3,700	3,966	4,266
	Minimum :	3,00				
Marshall Quotient (kg/mm <sup>2</sup> )	Abu Batu	254,087	265,705	247,602	235,400	217,194
	A.Vulkanik	283,549	292,265	277,683	256,990	239,527
	Minimum :	200				
Rongga dian tara mineral agregat /VMA (%)	Abu Batu	25,955	24,809	23,941	23,821	25,997
	A.Vulkanik	25,088	22,951	23,024	23,460	25,537
	Minimum :	16				
Rongga terisi aspal /VFA (%)	Abu Batu	66,295	70,393	80,509	79,608	78,267
	A.Vulkanik	68,510	72,155	81,248	81,310	81,579
	Minimum :	65				
Rongga dalam campuran / VIM (%)	Abu Batu	9,160	6,862	5,406	4,397	4,861
	A.Vulkanik	7,9190	6,418	4,831	4,169	4,551
	Minimum :	3				
	Maksimum :	6				

Pada Tabel 4.8 diatas terlihat bahwa pada seluruh rentang kadar aspal, nilai kepadatan campuran dengan *filler* abu vulkanik memiliki nilai lebih tinggi dari pada campuran dengan *filler* abu batu. Kepadatan tertinggi sebesar 2,371 gr/cm<sup>3</sup> terjadi pada kadar aspal 6% untuk *filler* abu vulkanik dan 2,366 gr/cm<sup>3</sup> terjadi pada kadar aspal 6% untuk *filler* abu batu.

Stabilitas Marshall seperti dalam Tabel 4.8, terlihat bahwa pada seluruh rentang kadar aspal, kedua jenis *filler* sebagai bahan campuran telah memenuhi batas yang disyaratkan yaitu minimum 800 kg. Terlihat pula bahwa campuran dengan *filler* abu vulkanik memiliki nilai lebih tinggi dari pada campuran dengan *filler* abu batu. Nilai tertinggi stabilitas Marshall terjadi pada kadar aspal 5,5 % yaitu 1009,350 kg untuk *filler* abu batu dan 1025,301 kg untuk *filler* abu vulkanik.

Pada uji kelelahan plastis (*Flow*) menunjukkan hasil bahwa campuran dengan *filler* abu batu maupun abu vulkanik telah memenuhi persyaratan (minimum 3mm). Pada seluruh kadar aspal, nilai *flow* campuran dengan *filler* abu batu lebih tinggi dari pada campuran dengan *filler* abu vulkanik. Nilai tertinggi pada *filler* abu batu sebesar 4,667 mm, sedangkan *filler* abu vulkanik sebesar 3,667 mm, nilai kedua jenis *filler* tersebut terjadi pada kadar aspal 6 %.

Nilai *Marshall Quotient* pada Tabel 4.8 terlihat bahwa kedua jenis *filler* dengan penggunaan berbagai kadar aspal, telah memenuhi batas yang disyaratkan yaitu minimum 200 kg/cm<sup>2</sup>. Dari berbagai kadar aspal tersebut campuran dengan abu vulkanik memiliki nilai lebih tinggi dari pada abu batu. Nilai *Marshall Quotient* tertinggi untuk *filler* abu vulkanik sebesar 328,789 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan

untuk *filler* abu batu sebesar 265,705 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai kedua jenis *filler* tersebut terjadi pada kadar aspal 5 %.

Hasil pengujian Rongga diantara mineral agregat (VMA) seperti yang terlihat dalam Tabel 4.8 bahwa kedua jenis *filler* telah memenuhi batas ketentuan yang disyaratkan (VMA > 16 %) dan terlihat pula bahwa pada semua rentang kadar aspal nilai VMA campuran dengan *filler* abu batu memiliki nilai VMA lebih tinggi dari pada *filler* abu vulkanik. Nilai VMA tertinggi untuk *filler* abu batu sebesar 25,997 % , untuk *filler* abu vulkanik sebesar 25,537 % dan nilai kedua jenis *filler* tersebut terjadi pada kadar aspal 6 %

Rongga terisi aspal (VFA) terlihat bahwa nilai VFA untuk *filler* abu vulkanik maupun *filler* abu batu untuk seluruh rentang kadar aspal telah memenuhi batas yang disyaratkan (minimum 65%). Namun pada rentang kadar aspal tersebut nilai VFA *filler* abu vulkanik lebih tinggi dari pada abu batu. Nilai tertinggi sebesar 81,579 % untuk *filler* abu vulkanik terjadi pada kadar aspal 6 % sedangkan nilai tertinggi untuk *filler* abu batu sebesar 80,509 % terjadi pada kadar aspal 5,5 %.

Rongga udara dalam campuran (VIM), terlihat bahwa yang memenuhi persyaratan adalah pemakaian kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5% dan terjadi pada kedua jenis *filler*. Hasil pengujian pada Tabel 4.8 tersebut adalah sifat-sifat campuran beraspal melalui pengujian Marshall.

Berbagai penelitian tentang penggunaan *filler* sebagai bahan campuran beraspal telah dilakukan diantaranya: Semen, Kapur, *Fly Ash*, Serbuk Gamping dan lain sebagainya yang memberikan hasil uji Marshall seperti dalam Tabel 4.9 dibawah.

Tabel 4.9 : Jenis Filler Terhadap Sifat Marshall dari Berbagai Referensi

Jenis Filler	SIFAT-SIFAT MARSHALL					Jenis Perkerasan	Sumber
	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VFA (%)	VIM (%)		
Semen	1272,760	3,375	15,330	67,375	5,003	AC-WC	Rian, 2006
Abu batu	1194,190	3,425	15,370	68,315	4,870		
<b>Abu Vulkanik</b>	<b>1025,300</b>	<b>3,966</b>	<b>277,683</b>	<b>81,248</b>	<b>4,169</b>	AC-WC	<b>Hasil Penelitian</b>
<b>Abu batu</b>	<b>1009,350</b>	<b>4,266</b>	<b>247,602</b>	<b>80,509</b>	<b>4,397</b>		
Mikro-Asbuton	1266,100	4,380	17,500	78,310	3,830	HRA	Novrizal, 2000
Limbah-Karbit	938,000	3,700	-	80,900	3,600	SMA	Widodo, 2000
Kapur	768,000	2,200	-	-	-	HRS	Pratomo P, 1999
Lanau	348,000	2,300	-	-	-		
<i>Fly As</i>	855,000	2,300	-	-	-		
PC	833,000	2,800	-	-	-		
Abu Batu	831,000	2,800	-	-	-		
Serbuk-Genting	988,790	3,615	20,450	73,750	6,237	HRS- WC	Darmawan, 2003
Batu-Kapur	1094,140	4,34	14,450	71,090	4,920	AC-BC	Ariawan, 2007

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa bahan semen, memberi nilai stabilitas Marshall sebesar 1272,760 kg, sedangkan serbuk genting memberi nilai stabilitas 988,790 kg. Dalam penelitian Ariawan (2007), penggunaan batu kapur sebagai *filler* dengan kadar aspal 5,9% memberikan stabilitas sebesar 1094,14 kg. Sedangkan penggunaan *fly ash* nilai stabilitas sebesar 855 kg dan PC memberikan nilai stabilitas sebesar 833 kg (Pratomo. P, 1999).

Nilai *flow* (kelelahan) dari penelitian yang terdahulu untuk bahan semen, memberi nilai sebesar 3,375 mm kg, sedangkan serbuk genting dengan memberi nilai kelelahan 3,615mm. Dalam penelitian Ariawan (2007), penggunaan batu kapur sebagai *filler* memberikan kelelahan sebesar 4,34%. Sedangkan penggunaan

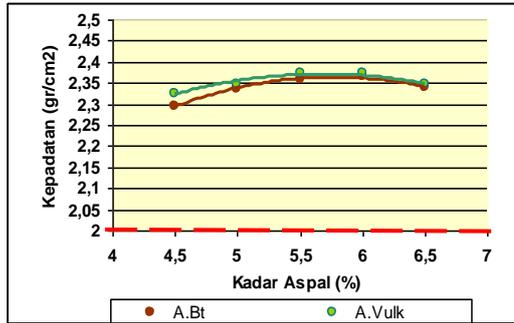
*fly ash* dengan nilai sebesar 2,3 mm dan PC memberikan nilai sebesar 2,8 mm (Pratomo. P, 1999).

Nilai VMA pada Penelitian yang telah dilakukan terhadap bahan semen sebagai *filler* dengan kadar aspal 5,7% memberi nilai VMA 15,33%, sedangkan serbuk genting dengan kadar aspal 7% memberi nilai VMA sebesar 20,45 % Dalam penelitian Ariawan (2007), penggunaan batu kapur sebagai *filler* dengan kadar aspal 5,9% memberikan VMA 14,45 % .

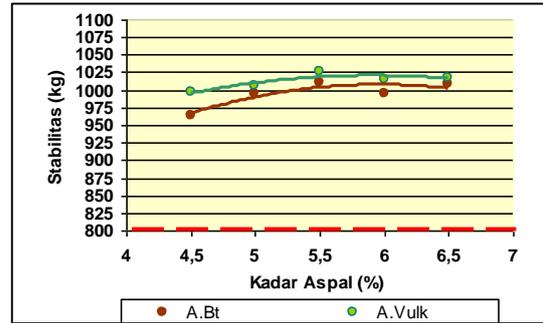
Nilai VIM pada penelitian yang telah dilakukan bahan semen sebagai *filler* memberi nilai VIM 5,003%, sedangkan serbuk genting memberi nilai VIM sebesar 6,237 %. Dalam penelitian Ariawan (2007), penggunaan batu kapur sebagai *filler* dengan kadar aspal 5,9% memberikan VIM 4,92 % .

Jika diperbandingkan dengan hasil penelitian tersebut, maka secara umum menunjukkan bahwa *Filler* Abu Vulkanik memiliki sifat Marshall lebih baik dari pada bahan: Kapur, Serbuk Genting, *Fly Ash*, Lanau dan sebagainya. Namun jika dibandingkan dengan bahan Semen sebagai *filler*, maka terlihat bahwa bahan semen memiliki sifat Marshall lebih baik dari pada bahan abu vulkanik. Ditinjau dari keberadaan dan nilai ekonomis terhadap bahan semen maupun abu vulkanik, bahwa bahan semen cukup mahal, sedangkan abu vulkanik pada keadaan dan daerah tertentu sangat murah, sehingga material vulkanik seperti abu vulkanik sebagai *filler*, dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif pengganti semen.

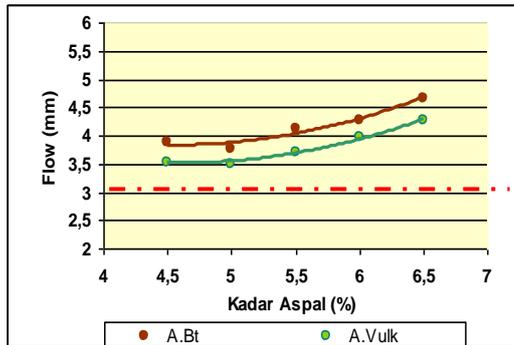
Grafik hubungan kadar aspal dengan sifat campuran terhadap uji Marshall dari hasil penelitian antara *filler* abu batu dan *filler* abu vulkanik dapat dilihat dalam Gambar 4.2 dibawah ini.



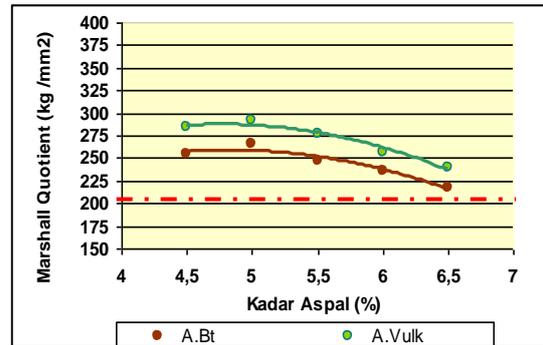
Gmb. 4.2.a. Hub. Kadar Aspal vs Kepadatan



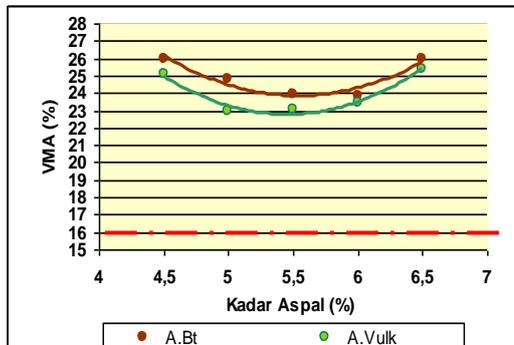
Gmb. 4.2.b. Hub. Kadar Aspal vs Stabilitas



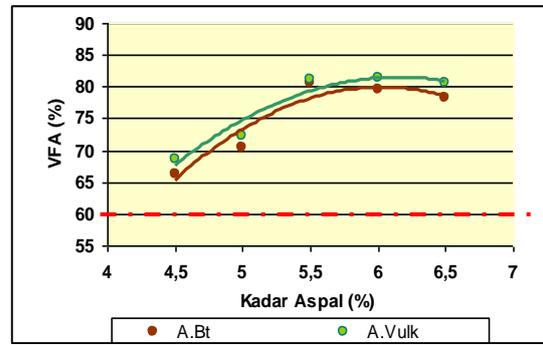
Gmb. 4.2.c. Hub. Kadar Aspal vs Flow



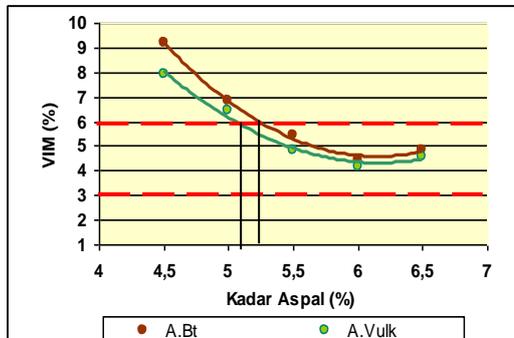
Gmb. 4.2.d. Hub. Kadar Aspal vs Marshall Quotient



Gmb. 4.2.e. Hub. Kadar Aspal vs VMA



Gmb. 4.2.f. Hub. Kadar Aspal vs VFA



Gmb. 4.2.g. Hub. Kadar Aspal vs VIM

Gambar 4.2. Grafik Hubungan Parameter Marshall dengan Kadar Aspal Rencana

Grafik yang tertera dalam Gambar 4.2 adalah pengaruh kadar aspal terhadap sifat-sifat campuran beraspal melalui uji standar Marshall yang terdiri atas :

#### 1. Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan Marshall.

Terlihat dalam Gambar 4.2 a, bahwa Grafik yang dibentuk oleh *filler* abu batu dan abu vulkanik, nilai kepadatan akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal dan akan menurun pada pertengahan rentang kadar aspal ( $\pm 5,5$  %). Namun tingkat kepadatan pada *filler* abu vulkanik lebih tinggi dari pada *filler* abu batu, hal ini terjadi karena perbedaan kadar rongga udara yang terdapat dalam masing-masing campuran. Semakin besar rongga udara dalam campuran, akan semakin rendah tingkat kepadatan dan stabilitasnya. Dengan demikian kadar rongga pada campuran dengan *filler* abu batu lebih besar dari pada *filler* abu vulkanik.

#### 2. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas Marshall.

Pada Gambar 4.2.b terlihat bahwa nilai Stabilitas kedua jenis *filler* di seluruh rentang kadar aspal telah memenuhi Stabilitas Marshall, nilai tersebut cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal namun akan sedikit menurun setelah kadar aspal mencapai  $\pm 5,5$  %. Kondisi ini dipengaruhi oleh kadar rongga sebagaimana pada kepadatan Marshall. Kadar rongga rendah dapat menghasilkan ketidakstabilan karena adanya pelelehan plastis setelah adanya pembebanan (lalu lintas). Kekurangan rongga dapat menjadi penyebab ketidakstabilan pula karena jumlah aspal diperlukan untuk memperoleh keawetan yang tinggi pada campuran yang lebih halus, walaupun stabilitas awal

mencukupi untuk lalu lintas yang khas. Adanya degradasi pada agregat selama produksi campuran dan/atau selama pengaruh lalu lintas dapat pula menimbulkan ketidakstabilan dan pelelehan jika kadar rongga campuran tidak mencukupi.

### 3. Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow* (kelelehan)

Pada Gambar 4.2.c, Grafik hubungan Kadar Aspal dengan Pelelehan (*Flow*) menunjukkan bahwa nilai *flow* pada campuran dengan *filler* abu batu lebih tinggi dari pada *filler* abu vulkanik. Kedua Grafik cenderung meningkat sesuai dengan penambahan kadar aspal. Hal ini dapat terjadi karena rongga udara dalam campuran yang terisi aspal semakin banyak sehingga ruang udara dalam campuran semakin kecil. Dengan meningkatnya kadar aspal, akan bertambah pula jumlah aspal yang menyelimuti agregat, waktu kelelehannya bertambah panjang sehingga pada saat pembebanan akan lebih mampu mengikuti perubahan bentuk. Jika dikaitkan dengan kepadatan maupun stabilitas Marshall (Gambar 4.2.a dan 4.2.b), bentuk kelengkungan grafik hubungan kadar aspal dengan sifat Marshall terlihat berkebalikan dalam arti kelengkungan Grafik hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan Marshall dan Grafik hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas Marshall mengarah keatas, sedangkan Grafik hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan (*Flow*) mengarah kebawah. Hal ini menunjukkan bahwa berkurangnya nilai Kelelehan (*Flow*), nilai Kepadatan Marshall dan Stabilitas Marshall akan meningkat. Nilai Kelelehan terendah baik untuk agregat campuran dengan *filler* abu batu maupun abu vulkanik

terjadi pada kadar aspal rencana  $\pm 5 \%$ , sedangkan nilai tertinggi terjadi pada kadar aspal rencana 6,5 %.

#### 4. Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient (MQ)*

*Marshall Quotient (MQ)* adalah hasil bagi Marshall dengan *flow* yang merupakan tingkat kekakuan campuran. Faktor kekakuan cukup penting untuk mendapatkan campuran yang fleksibel. Bila campuran tidak cukup kaku maka campuran akan mudah mengalami deformasi, sebaliknya bila campuran terlalu kaku maka akan menjadi getas dan mudah retak. Pada Grafik hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient* (Gambar 4.2.d) ada kecenderungan menurun pada nilai hasil bagi Marsahall terhadap prosentase kadar aspal yang tinggi. Penurunan tersebut disebabkan pembagian antara stabilitas dengan kelelehan (*flow*). Dapat diartikan pula bahwa nilai *Marshall Quotient* sangat dipengaruhi oleh nilai Stabilitas maupun Kelelehan (*flow*). Stabilitas yang tinggi tidak menjamin nilai *Marshall Quotient* yang tinggi pula bila hal tersebut juga diikuti oleh angka Kelelehan (*flow*) yang tinggi.

#### 5. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA.

Rongga diantara mineral agregat (*Voids in Mineral Aggregate, VMA*) adalah volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat campuran beraspal yang telah dipadatkan. Grafik hubungan antara Kadar Aspal dengan VMA pada umumnya membentuk cekungan dengan satu nilai ekstrim minimum, kemudian naik lagi sesuai dengan naiknya kadar aspal seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4.2.e. nilai terkecil terjadi pada kadar aspal rencana  $\pm 5,5 \%$ , dengan

nilai VMA sebesar 22,363 % untuk abu batu dan 21,427 % untuk abu vulkanik, sedangkan persyaratan nilai VMA minimal 16 %, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai VMA minimum yang tertera dalam Grafik (Gambar 4.2.e) berada diatas batas nilai minimum VMA, maka VMA pada titik ini akan memenuhi tetapi bila bergeser ke sebelah kanan maka pengerjaan pemadatan akan leblh mudah tetapi rongga udara lebih banyak terdorong oleh aspal. Kondisi kadar aspal yang tinggi cenderung menyebabkan terjadinya pelelehan dan alur plastis, karena itu hindari penggunaan kadar aspal yang berlebihan.

#### 6. Hubungan Kadar Aspal dengan VFA.

Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled with Asphalt*, VFA) bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi aspal efektif. VFA ini berfungsi untuk menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. VFA, VMA dan VIM saling berhubungan karena itu bila dua di antaranya diketahui maka dapat mengevaluasi yang lainnya. Kriteria VFA membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. Pengaruh utama kriteria VFA adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. VFA juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang diijinkan yang memenuhi kriteria VMA minimum. Pada Gambar 4.2.f Grafik hubungan Kadar Aspal dengan VFA untuk bahan *filler* abu batu maupun *filler* abu vulkanik, terlihat ada kenaikan nilai VFA sesuai dengan peningkatan kadar aspal, hal ini terjadi dikarenakan ada peningkatan rongga terisi aspal, tetapi akan menurun setelah mencapai kadar aspal maksimum (6%).

## 7. Hubungan Kadar Aspal dengan VIM.

Rongga Udara dalam campuran (*Voids in Mix, VIM*) adalah ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan dan dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran.

Rongga udara rencana dengan usaha pemadatan yang benar akan tercapai bila dirancang pada VIM sebesar 6%. Campuran yang mengalami pemadatan di mana VIM dicapai kurang dari 3% akan mengakibatkan alur plastis dan jembul. Kejadian dengan kadar aspal menjadi tinggi dapat disebabkan pula oleh fasilitas pencampuran yang kurang baik, atau adanya sejumlah bahan halus lolos 75 mikron yang tinggi sehingga mengakibatkan aspal berlebih. Apabila kadar rongga akhir terlalu tinggi atau pada saat pemadatan selesai, VIM dicapai lebih dari 6%. akibat yang terjadi adalah munculnya retak dini, pelepasan butir dan pengelupasan. Tujuan perencanaan VIM adalah untuk membatasi penyesuaian kadar aspal rencana pada kondisi VIM mencapai tengah-tengah rentang kadar aspal yang direncanakan. Pada Gambar 4.2.g. Grafik hubungan antara Kadar Aspal dengan VIM terlihat bahwa nilai VIM yang memenuhi syarat adalah kadar aspal dengan rentang sekitar 5,25 % hingga 6,5 % untuk *filler* abu batu dan sekitar 5,15 % hingga 6, % untuk abu vulkanik. Terlihat pula dalam rentang kadar aspal yang sama, nilai VIM pada campuran agregat dengan *filler* abu vulkanik lebih rendah dari pada *filler* abu batu. Hal ini terjadi karena volume *filler* abu vulkanik lebih kecil dari pada volume abu batu akibat dari berat jenis *filler* yang berbeda, sehingga rongga terisi aspal pada *filler* abu vulkanik lebih banyak dari pada abu batu.

#### 4.5. PERKIRAAN KADAR ASPAL PADA KEPADATAN MUTLAK.

Penentuan Kadar Aspal pada kepadatan mutlak (Kasp) didasarkan pada hasil uji Marshall yang memberikan nilai VIM sebesar 6 %. Pada Gambar 4.2.g, nilai kadar aspal pada VIM 6 % adalah 5,25 % untuk abu batu dan 5,15 % untuk abu vulkanik. Dari nilai tersebut diberikan rentang kadar aspal  $\pm 0,5$  %, maka perkiraan rentang kadar aspal pada kepadatan mutlak dapat dilihat dalam Tabel 4.10 dibawah

Tabel 4.10. Perkiraan Kadar Aspal pada Kepadatan Mutlak

JENIS FILLER	KADAR ASPAL		
	-0,5	KAsp	+0,5
Abu Batu	4,750	5,250	5,750
Abu Vulkanik	4,650	5,150	5,650

Berdasarkan nilai kadar aspal tersebut, dilakukan perhitungan proporsi berat agregat yang lolos saringan sesuai gradasi butiran serta berat aspal yang diperlukan untuk sebuah benda uji. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

Volume benda uji ( $V$ ) =  $1/4 \pi d^2 \cdot t$  dengan  $d = 10$  cm,  $t = 6,350$  cm , maka :

$$\begin{aligned} V &= 1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 6,350 \\ &= 498,728 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

Untuk kadar aspal 4,75 % dengan berat jenis teori maksimum 2,517 gr/cm<sup>3</sup>, akan diperoleh berat sampel ( $w$ ) =  $V \times BJ$

$$= 498,728 \times 2,517 = 1.255,298 \text{ gr.}$$

Berat aspal = Berat sampel x Kadar aspal

$$= 1.255,298 \times 4,75/100 = 59,630 \text{ gr.}$$

Berat Total Agregat = Berat sampel - Berat aspal

$$= 1.255,298 - 59,630 = 1.195,670 \text{ gr.}$$

contoh untuk mendapatkan berat fraksi setiap agregat yang tertahan di masing-masing No. saringan adalah :

$$\text{Tertahan saringan } 1/2'' = 8/100 \times 1.195,670 \text{ gr.} = 95,650 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan } 3/8'' = 9,250/100 \times 1.195,670 \text{ gr.} = 110,600 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.4} = 26,500/100 \times 1.195,670 \text{ gr.} = 316,850 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.8} = 18,500/100 \times 1.195,670 \text{ gr.} = 221,200 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.16} = 13,250/100 \times 1.195,670 \text{ gr.} = 158,430 \text{ gr.}$$

$$\text{Tertahan saringan No.30} = 7,750/100 \times 1.195,670 \text{ gr.} = 92,660 \text{ gr.}$$

Demikian seterusnya hingga sampai pada saringan No.200, sedangkan hasil selengkapnya untuk rentang kadar aspal dapat dilihat dalam Tabel 4.11 dibawah.

Tabel 4.11 : Proporsi Campuran Agregat pada kepadatan mutlak.

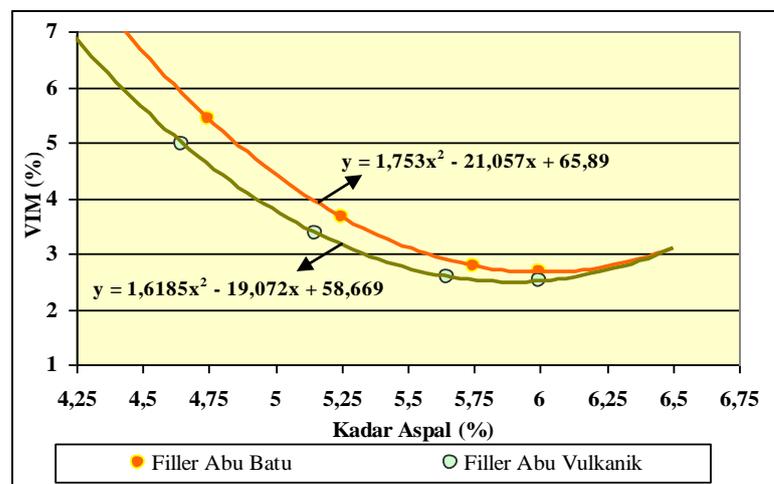
Saringan	Diameter	% Lolos	% Tertahan	ABU BATU			ABU VULKANIK		
				4,75% A(gr)	5,25% B(gr)	5,75% C(gr)	4,65% A(gr)	5,1% B(gr)	5,65% C(gr)
3/4"	19,050	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1/2"	12,700	92,000	8,000	95,650	94,510	93,630	95,870	94,760	93,770
3/8"	9,530	82,750	9,250	110,600	109,280	108,260	110,850	109,57	108,420
No. 4	4,760	56,250	26,500	316,850	313,060	310,160	317,560	313,89	310,620
No. 8	2,380	37,750	18,500	221,200	218,550	216,530	221,700	219,13	216,850
No. 16	1,190	24,500	13,250	158,430	156,530	155,080	158,780	156,95	155,310
No. 30	0,600	16,750	7,750	92,660	91,560	90,710	92,870	91,800	90,840
No. 50	0,30	11,750	5,000	59,780	59,070	58,520	59,920	59,230	58,610
N. 200	0,075	4,500	7,250	86,690	85,650	84,860	86,880	85,880	84,980
PAN	-	0,000	4,500	53,810	53,160	52,670	53,930	53,300	52,750
Jumlah (Gram)				1195,670	1181,360	1170,430	1195,67	1184,5	1172,14
Berat Jenis teori Maks. (gr/cm <sup>3</sup> )				2,520	2,500	2,490	2,520	2,500	2,490
Berat Aspal (Gram)				59,630	65,460	71,410	59,630	64,310	70,190

Kepadatan mutlak akan dicapai bila nilai VIM berada antara 2 % hingga 3 % dari pengujian terhadap benda uji yang dilakukan dengan pemadat Marshall sebanyak 2 x 400 tumbukan. Berdasarkan proporsi agregat campuran seperti yang tertera dalam Tabel 4.11, dan berdasar pula pada rentang kadar aspal seperti dalam Tabel 4.10. maka dapat diperoleh nilai VMA, VIM dan VFA (Tabel 4.12)

Tabel 4.12. : Rongga Campuran pada Rentang Kadar Aspal Kepadatan Mutlak.

Rongga dalam Campuran	KADAR ASPAL (%)					
	ABU BATU			ABU VULKANIK		
	4,75	5,25	5,75	4,65	5,15	5,65
VMA (%)	21,182	17,920	17,412	20,706	17,929	17,053
VIM (%)	5,422	3,758	2,771	4,981	3,676	2,480
VFA (%)	74,403	79,025	84,131	75,987	79,496	85,498

Pada Tabel 4.12. terlihat bahwa kadar aspal yang memenuhi kriteria pengujian campuran dengan uji Marshall 2 x 400 tumbukan /kepadatan mutlak untuk bahan *filler* abu batu adalah  $\pm 5,75$  % dengan nilai VIM sebesar 2,771 % sedangkan kadar aspal untuk bahan *filler* abu vulkanik adalah  $\pm 5,65$  % dengan nilai VIM sebesar 2,480 %. Sedangkan rentang Kadar Aspal yang memenuhi nilai VIM antara 2 % hingga 3 % dapat dilihat dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 : Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM Kepadatan Mutlak.

Nilai VIM yang didapat dari uji Marshal 2 x 400 tumbukan, berupa Grafik hubungan antara Kadar Aspal dengan VIM (Gambar 4.3), yang dinyatakan dalam  $Y = 1,753X^2 - 21,057X + 65,89$  untuk abu batu dan  $Y = 1,6185X^2 - 19,072X + 58,669$  untuk abu vulkanik. Puncak Grafik (titik belok) akan terjadi bila  $dy/dx = 0$ , sehingga didapat:  $2(1,753)X - 21,055 = 0$  dan diperoleh  $X = 6,00599$  (abu batu), dengan cara yang sama untuk abu vulkanik diperoleh  $X = 5,891875$ , dalam hal ini  $X$  menunjukkan nilai kadar aspal. Terlihat setelah titik belok, Grafik akan keatas yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar aspal diiringi dengan bertambahnya rongga didalam campuran. Hal ini dapat terjadi karena kadar aspal yang berlebihan menyebabkan kadar rongga rendah yang dapat menghasilkan ketidakstabilan karena adanya pelelehan plastis setelah menerima pembebanan.

Dengan berdasar persamaan tersebut rentang kadar aspal diperoleh jika  $Y = 0$ , sehingga persamaan menjadi  $1,753X^2 - 21,057X + 65,89 = 0$ , didapat:  $X_1 = 5,563$  ;  $X_2 = 6,449$  (abu batu) sedangkan abu vulkanik  $1,6185X^2 - 19,072X + 58,669 = 0$  didapat:  $X_1 = 5,327$  ;  $X_2 = 6,456$  sehingga rentang kadar aspal berkisar antara  $5,563 \% \sim 6,449 \%$  untuk abu batu dan  $5,327 \% \sim 6,456 \%$  untuk abu vulkanik.

#### **4.6. PENETAPAN K.A.O PADA KEPADATAN MUTLAK.**

Penetapan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan metode Bar-Chart, sebagai nilai tengah dari rentang kadar aspal maksimum dan minimum yang memenuhi semua persyaratan nilai Stabilitas Marshall, Kepadatan Marshall, *Flow* (Kelelehan), Marshall Qoutient, *Voids in Mineral Aggregate*, *Voids Filled with Asphalt*, *Voids in Mix* pada kepadatan mutlak. Nilai rentang Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat dalam Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dibawah ini.

KADAR ASPAL OPTIMUM CAMP. DENGAN FILLER ABU BATU	
SIFAT – SIFAT CAMPURAN	RENTANG KADAR ASPAL
	4,5      5,0      5,5      6,0      6,5
1. KEPADATAN	
2. STABILITAS MARSHALL	
3. KELELEHAN MARSHALL	
4. HASIL BAGI MARSHAL (MQ)	
5. RONGGA DIANTARA AGREGAT (VMA)	
6. RONGGA DALAM CAMP. (VIM)	
7. RONGGA TERISI ASPAL (VFA)	
8. RONGGA DALAM CAMP. PADA KEPADATAN MUTLAK	
KADAR ASPAL OPTIMUM	5,563      6,006      6,449

Gambar 4.4 : Pemilihan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Filler Abu Batu

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa kadar aspal yang memenuhi ke delapan sifat campuran adalah pada rentang kadar aspal 5,563 % hingga 6,449 %. Dengan demikian Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk Campuran dengan menggunakan *filler* abu batu adalah  $(5,563 + 6,449)/2 = 6,006$  %. Sedangkan kadar aspal untuk campuran dengan *filler* abu vulkanik dapat dilihat dalam Gambar 4.5 dibawah.

KADAR ASPAL OPTIMUM CAMP. DENGAN FILLER ABU VULKANIK	
SIFAT – SIFAT CAMPURAN	RENTANG KADAR ASPAL
	4,5      5,0      5,5      6,0      6,5
1. KEPADATAN	
2. STABILITAS MARSHALL	
3. KELELEHAN MARSHALL	
4. HASIL BAGI MARSHAL (MQ)	
5. RONGGA ANTARA AGREGAT (VMA)	
6. RONGGA DALAM CAMP. (VIM)	
7. RONGGA TERISI ASPAL (VFA)	
8. RONGGA DALAM CAMP. PADA KEPADATAN MUTLAK	
KADAR ASPAL OPTIMUM	5,327      5,89      6,456

Gambar 4.5 : Pemilihan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Filler Abu vulkanik

Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa kadar aspal yang memenuhi ke delapan sifat campuran adalah pada rentang kadar aspal 5,327 % hingga 6,456 %. Dengan demikian Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk Campuran dengan menggunakan *filler* abu vulkanik adalah  $(5,327 + 6,456)/2 = 5,89$  %. Berdasar pada hasil uji sifat-sifat Marshall seperti Gambar 4.4 dan 4.5 diatas, bahwa yang menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah rongga dalam campuran. Sedangkan yang diperlihatkan dalam Grafik pada Gambar 4.3, bahwa puncak Grafik (titik belok) terjadi pada absis  $X = 6,00599$  (abu batu) dan  $X = 5,891875$  (abu vulkanik). Berarti hal ini dapat dikatakan bahwa: Jika salah satu sifat Marshall menentukan KAO, maka nilai KAO merupakan titik puncak (titik belok) dari Grafik salah satu sifat Marshall tersebut.

Berdasar pada hasil diatas terdapat perbedaan Kadar Aspal Optimum (KAO) antara campuran dengan *filler* abu batu dengan *filler* abu vulkanik. KAO pada campuran dengan *filler* abu batu lebih besar dari pada *filler* abu vulkanik, hal ini berarti daya serap *filler* abu batu lebih tinggi dari pada *filler* abu vulkanik.

#### **4.7. HASIL ANALISIS MARSHALL DENGAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KEPADATAN MUTLAK.**

Kadar aspal optimum yang diperoleh sebesar 6,006 % untuk *filler* abu batu dan 5,89 % untuk *filler* abu vulkanik, namun dalam perhitungannya nilai-nilai tersebut dibulatkan sehingga untuk *filler* abu batu dengan KAO sebesar 6 % sedangkan untuk *filler* abu vulkanik sebesar 5,9 %. Uji Marshall dengan pendekatan kepadatan mutlak didalam hal ini adalah sama dengan pengujian standar Marshall, namun digunakan 2 x 400 tumbukan. Jumlah tumbukan yang lebih dari standar

Marshall 2 x 75 tumbukan akan mempengaruhi sifat-sifat campuran Marshall seperti kepadatan, stabilitas, kelelahan (*flow*) dan hasil bagi Marshall. Pengujian dilakukan terhadap benda uji yang berjumlah sesuai dengan: "Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, Dir.Jen. Bina Marga No.76/KPTS/Db/1999" Tanggal 20 Desember 1999 yaitu minimum benda uji berjumlah dua. Proporsi setiap benda uji terdiri dari campuran agregat yang lolos saringan sesuai gradasi butiran. Dengan cara yang sama seperti diatas, perhitungan proporsi campuran (sebagai contoh) campuran dengan *filler* abu vulkanik adalah sebagai berikut :

Volume benda uji  $V = 1/4 \pi d^2 \cdot t$  dengan  $d = 10 \text{ cm}$ ,  $t = 6,350 \text{ cm}$ , maka :

$$V = 1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 6,350 = 498,728 \text{ cm}^3.$$

Untuk kadar aspal 5,9 % dengan berat jenis teori maksimum 2,480 gr/cm<sup>3</sup>, akan diperoleh berat sampel  $W = V \times BJ = 498,728 \times 2,480 = 1.236,097 \text{ gr}$ .

Berat aspal = Berat sampel x Kadar aspal

$$= 1.236,097 \times 5,900/100 = 72,930 \text{ gr}.$$

Berat Total Agregat = 1.236,097 - 72,930 = 1.163,170 gr.

Untuk mendapatkan berat fraksi setiap agregat yang tertahan di masing-masing No. saringan adalah :

$$\text{Tertahan saringan } 1/2" = 8/100 \times 1.163,170 \text{ gr} = 93,050 \text{ gr}.$$

$$\text{Tertahan saringan } 3/8" = 9,250/100 \times 1.163,170 \text{ gr} = 107,590 \text{ gr}.$$

$$\text{Tertahan saringan No.4} = 26,500/100 \times 1.163,170 \text{ gr} = 308,240 \text{ gr}.$$

Demikian seterusnya hingga sampai pada saringan No.200 dan hasil selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 4.13 dibawah.

Tabel 4.13 : Proporsi Campuran benda uji Rendaman.

Saringan	Diameter	% Campuran		ABU BATU	ABU VULKANIK
		Lolos	Tertahan	6 % A(gr)	5,9 % A(gr)
3/4"	19,050	100,000	0,000	0,000	0,000
1/2"	12,700	92,000	8,000	92,820	93,050
3/8"	9,530	82,750	9,250	107,330	107,590
No. 4	4,760	56,250	26,500	307,470	308,240
No. 8	2,380	37,750	18,500	214,650	215,190
No. 16	1,190	24,50	13,250	153,740	154,120
No. 30	0,600	16,750	7,750	89,920	90,150
No. 50	0,300	11,750	5,000	58,010	58,160
N. 200	0,075	4,500	7,250	84,120	84,330
PAN	-	0,000	4,500	52,210	52,340
Jumlah (Gram)				1160,270	1163,170
Berat Jenis teori Maks. (gr/cm <sup>3</sup> )				2,475	2,480
Berat Aspal (Gram)				74,060	72,930

Dalam Tabel 4.13 terlihat bahwa jumlah aspal yang digunakan untuk campuran dengan *filler* abu batu lebih banyak dari pada campuran dengan *filler* abu vulkanik yaitu 74,06 gr. untuk *filler* abu batu dan 72,930 gr. untuk *filler* abu vulkanik.

Pengujian benda uji, dilakukan rendaman dengan suhu  $60^{\circ} \text{C} \pm 1$  selama 30 menit dan tidak dilakukan sebagai mana dalam ketentuan yaitu 24 jam, namun diperlakukan modifikasi perendaman selama 1 hari, 2 hari dan 3 hari dan setiap hari diberi pemanasan dengan suhu  $60^{\circ} \text{C} \pm 1$  selama 10 jam, hal ini disesuaikan dengan kondisi alam yaitu panas pada siang hari dan dingin pada malam hari.

Hasil perhitungan uji rendaman secara lengkap terhadap benda uji dapat dilihat dalam Lampiran 2.4 dan 2.5 sedangkan rekap dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.14. dibawah.

Tabel 4.14 : Hasil Pengujian campuran dengan Kepadatan Mutlak.

Sifat Campuran	Jenis Filler	LAMA RENDAMAN (Hari)			
		0	1	2	3
Kepadatan (gr/cm <sup>3</sup> )	Abu Batu	2,429	2,428	2,427	2,425
	A.Vulkanik	2,439	2,435	2,433	2,429
Stabilitas (kg)	Abu Batu	1151,069	1137,822	1121,943	1077,842
	A.Vulkanik	1153,067	1142,489	1131,910	1084,307
Kelelahan /Flow (mm)	Abu Batu	3,300	3,300	3,400	3,600
	A.Vulkanik	3,150	3,200	3,350	3,550
Marshall Quotient (kg/mm <sup>2</sup> )	Abu Batu	351,201	344,362	331,520	300,994
	A.Vulkanik	353,795	361,855	341,197	305,438
Rongga diantara mineral agregat /VMA (%)	Abu Batu	17,433	17,562	17,712	17,865
	A.Vulkanik	16,885	17,169	17,359	17,715
Rongga terisi aspal /VFA (%)	Abu Batu	84,133	84,027	83,833	83,600
	A.Vulkanik	85,841	85,280	84,968	84,221
Rongga dalam campuran/VIM(%)	Abu Batu	2,766	2,810	2,871	2,938
	A.Vulkanik	2,390	2,526	2,611	2,797

Pada Tabel 4.14 diatas terlihat bahwa nilai kepadatan penggunaan *filler* abu batu lebih rendah dari pada *filler* abu vulkanik dan hal ini terjadi pada seluruh lamanya perendaman. Kepadatan terendah terjadi pada perendaman selama 3 hari sebesar 2,425 gr/cm<sup>3</sup> untuk *filler* abu batu dan 2,429 gr/cm<sup>3</sup> untuk *filler* abu vulkanik. Demikian pula nilai yang dihasilkan pada stabilitas Marshall yaitu stabilitas penggunaan *filler* abu batu lebih rendah dari pada *filler* abu vulkanik dan cenderung menurun sesuai dengan lama perendaman. Stabilitas terendah terjadi pada perendaman selama 3 hari sebesar 1077,842 kg untuk *filler* abu batu dan 1084,307 kg untuk *filler* abu vulkanik.

Sedangkan pada nilai kelelahan (*flow*), penggunaan *filler* abu batu lebih tinggi dari pada *filler* abu vulkanik dan kedua jenis *filler* cenderung meningkat sesuai dengan

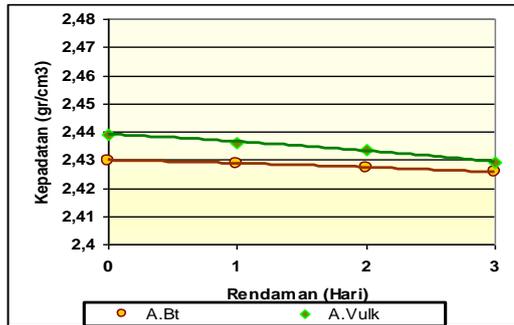
lamanya perendaman. Nilai *Flow* terendah terjadi pada lama perendaman 24 jam sebesar 3,3 mm untuk *filler* abu batu dan 3,2 mm untuk abu vulkanik. Namun terlihat pada nilai Marshall Quotient, bahwa penggunaan *filler* abu batu maupun *filler* abu vulkanik cenderung menurun sesuai dengan lamanya perendaman, tetapi nilai untuk *filler* abu batu lebih tinggi dari pada *filler* abu vulkanik. Nilai terendah terjadi pada perendaman selama 3 hari sebesar 300,994 kg/mm<sup>2</sup> untuk *filler* abu batu dan 305,4385 kg/mm<sup>2</sup> untuk *filler* abu vulkanik.

Rongga diantara mineral agregat (VMA) pada Tabel 4.13 terlihat bahwa nilai VMA dengan penggunaan *filler* abu batu memiliki nilai lebih besar dari pada abu vulkanik, namun masing-masing jenis *filler* cenderung meningkat sesuai dengan peningkatan lamanya perendaman. Nilai terendah sebesar 17,433 % untuk *filler* abu batu dan 16,882 % untuk *filler* abu vulkanik, kedua jenis bahan *filler* masih memenuhi batas yang disyaratkan (VMA minimum 16 %).

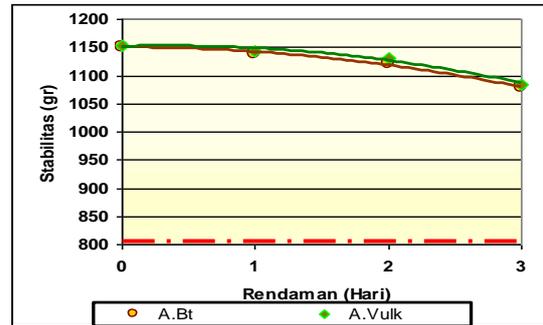
Demikian pula pada rongga udara dalam campuran (VIM) bahwa penggunaan *filler* abu batu memiliki nilai lebih besar dari pada abu vulkanik, namun masing-masing jenis *filler* cenderung meningkat sesuai dengan peningkatan lamanya perendaman.

Sedangkan Rongga terisi aspal (VFA) terlihat bahwa penggunaan *filler* abu batu dan *filler* abu vulkanik cenderung menurun sesuai lamanya perendaman namun nilai VFA untuk *filler* abu batu lebih rendah dari pada *filler* abu vulkanik.

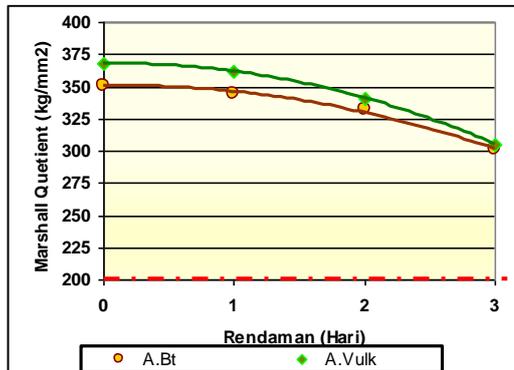
Hasil analisis hubungan sifat-sifat campuran Marshall dengan lamanya perendaman pada pendekatan kepadatan mutlak dapat dilihat dalam Gambar 4.6 berikut.



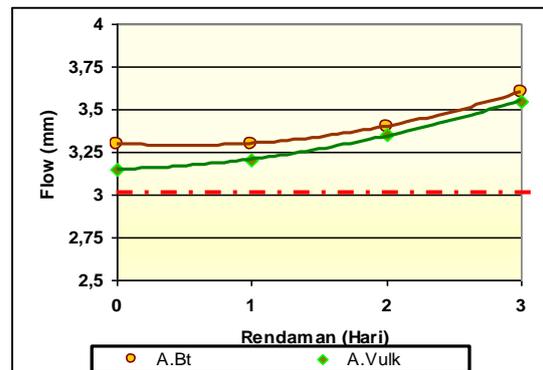
Gambar 4.6.a : Hub. Kepadatan vs lama rendaman.



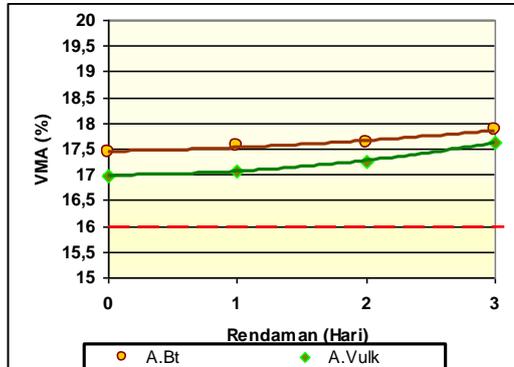
Gambar 4.6.b : Hub. Stabilitas vs lama rendaman.



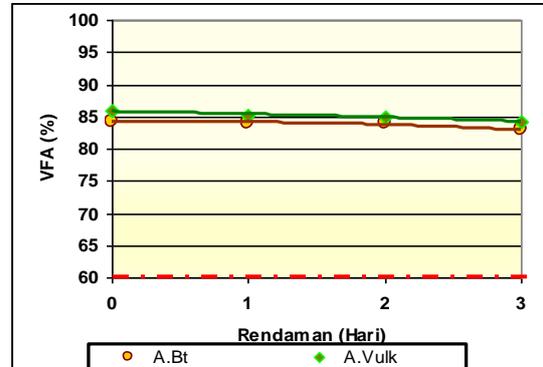
Gambar 4.6.c : Hub. Marshal Q vs lama rendaman.



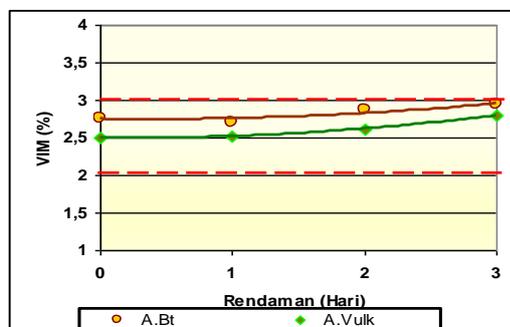
Gambar 4.6.d : Hub. Flow vs lama rendaman.



Gambar 4.6.e : Hub. VMA vs lama rendaman.



Gambar 4.6.f : Hub. VFA vs lama rendaman.



Gambar 4.6.g : Hub. VIM vs lama rendaman.

Gambar 4.6 : Grafik Hubungan sifat-sifat campuran dengan lama perendaman pada KAO dengan Kepadatan Mutlak

Berdasarkan pada Gambar 4.6, lama perendaman akan berpengaruh terhadap sifat-sifat campuran beraspal sebagaimana dalam penjelasan berikut.

1. Kepadatan.

Terlihat bahwa kedua jenis *filler* memiliki tingkat kepadatan yang cenderung menurun sesuai dengan lamanya perendaman (Gambar 4.6.a). Namun tingkat kepadatan yang dimiliki *filler* abu vulkanik lebih tinggi/ lebih baik dari pada *filler* abu batu. Terjadinya penurunan kepadatan pada campuran yang diakibatkan oleh lamanya perendaman tersebut akibat dari disintegrasi mineral agregat pada campuran, terutama pada lapisan briket bagian luar (Rian, 2006)

2. Stabilitas.

Grafik Stabilitas seperti yang terlihat dalam Gambar 4.6.b, memperlihatkan penurunan yang tidak drastis untuk kedua jenis *filler*. Namun setelah dua hari perendaman, penurunan stabilitas untuk kedua jenis *filler* cukup besar. Hal ini dapat terjadi karena geseran antar butir agregat dan penguncian antar butir agregat serta daya ikat dari lapisan aspal berkurang..

3. Marshall Quotient.

Grafik hubungan Marshall Quotient dengan Lama Perendaman (Gambar 4.6.c) terlihat bahwa nilai MQ untuk kedua jenis *filler* cenderung menurun sesuai dengan lamanya perendaman. Namun nilai MQ untuk *filler* abu vulkanik lebih tinggi dari pada *filler* abu batu. Hal ini menunjukkan bahwa perkerasan dengan campuran *filler* abu batu lebih rentan terhadap deformasi dari pada *filler* abu vulkanik. Menurut Kusmawan. (2000), Marshall Quotient memprediksikan

fleksibilitas bahan, campuran dengan Marshall Quotien yang rendah akan menjadikan campuran lebih rentan terhadap deformasi dan bila campuran Marshall Quotient lebih tinggi akan menjadikan campuran lebih kaku

#### 4. Kelelehan (*Flow*).

Nilai Kelelehan (*Flow*) seperti dalam Gambar 4.6.d, terlihat bahwa nilai *flow* untuk kedua jenis filler cenderung meningkat sesuai dengan lamanya perendaman. Namun nilai *flow filler* abu batu lebih tinggi dari pada *filler* abu vulkanik. Hal ini memperlihatkan bahwa tingkat kelenturan perkerasan dengan campuran *filler* abu batu lebih rendah dari pada *filler* abu vulkanik. Peningkatan kelelehan teraebut disebabkan lekatan aspal dan *filler* terhadap batuan berkurang, yang berakibat campuran menjadi kurang tahan menahan tarik (lentur).

#### 5. Rongga Didalam Campuran.(VMA, VFA dan VIM)

Grafik hubungan antara VMA dengan lama Perendaman (Gambar 6.4.e) terlihat bahwa nilai VMA untuk kedua jenis bahan *filler* cenderung meningkat seiring dengan lamanya perendaman. Peningkatan ini terjadi karena adanya desakan air dan masuk kedalam rongga agregat. Namun nilai VMA jenis bahan *filler* abu batu dalam lama perendaman yang sama lebih tinggi dari pada bahan *filler* abu vulkanik. Hal ini terjadi karena berat jenis *filler* abu batu lebih kecil dari pada *filler* abu vulkanik. Dalam berat yang sama, volume abu batu akan lebih besar dari pada volume abu vulkanik, sehingga banyaknya rongga dalam agregat semakin besar.

Pada Gambar 6.4.f. yaitu Grafik hubungan antara VFA dengan lama perendaman terlihat bahwa kedua jenis bahan *filler* cenderung menurun sesuai dengan lamanya perendaman. Hal ini disebabkan karena nilai VMA yang cenderung meningkat. Namun dalam Grafik tersebut terlihat bahwa nilai VFA untuk *filler* abu batu lebih rendah dari pada *filler* abu vulkanik, hal ini memperlihatkan bahwa *filler* abu batu mengisi rongga diantara agregat lebih banyak dari pada *filler* abu vulkanik karena volume filler abu batu lebih besar dari pada volume *filler* abu vulkanik.

Pada Grafik hubungan antara VIM dengan lama perendaman (Gambar 4.6.g) terlihat bahwa kedua jenis *filler* cenderung naik sesuai dengan lamanya perendaman. Hal ini terjadi adanya air yang mengisi rongga udara dan meresap diantara butiran agregat. Disamping dalam Grafik tersebut terlihat pula bahwa nilai VIM untuk *filler* abu batu lebih tinggi dari pada *filler* abu vulkanik. Hal ini disebabkan karena volume *filler* abu vulkanik lebih sedikit dalam mengisi rongga udara sehingga rongga terisi aspal akan lebih besar dari pada *filler* abu batu.

#### **4.8. HASIL ANALISIS DURABILITAS DENGAN 2 X 400 TUMBUKAN**

Kriteria mekanis untuk durabilitas adalah dengan stabilitas Marshall yang dilakukan terhadap benda uji setelah mendapat perlakuan dalam perendaman selama 0 , 24 jam (1 hari), 48 jam (2 hari) dan 72 jam (3 hari) serta setiap hari (24 jam) mendapat pemanasan 60° C selama 10 jam.

Indek Stabilitas Sisa (*Index of Retained Stability / IRS*) ditentukan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap pengrusakan air dan efisiensi daya adhesi dari bahan ikat dan agregat. Perendaman lebih lama menyebabkan air terserap kedalam spesimen meningkat dan air menembus kebagian antar permukaan aspal-agregat dan pori-porinya. Kehadiran air pada bagian permukaan antar permukaan-aspal dan pori-pori ini pada akhirnya akan mengarah pada pengelupasan aspal dari permukaan agregat dan menyebabkan berkurangnya kekuatan campervan.

Indek Durabilitas Pertama (**r**) didefinisikan sebagai jumlah kemiringan dari setiap bagian yang berurutan dari kurve durabilitas. Secara praktis indek durabilitas pertama ini menggambarkan persentase kehilangan kekuatan yang dibobotkan untuk pengujian satu hari.

Indek Durabilitas Kedua (**a**) didefinisikan sebagai rata-rata luasan kehilangan kekuatan yang dibentuk antara kurva durabilitas dan garis  $S_0 = 100$  persen. Indeks durabilitas kedua juga menggambarkan suatu ekivalensi kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (**a**) mengindikasikan kehilangan kekuatan, nilai negatif berarti penambahan kekuatan. Dengan definisi ini maka  $a < 100$  dan konsekuensinya memungkinkan untuk menampilkan persen equivalen kuat sisa satu hari ( $S_a$ ) =  $(100 - a)$ . Hasil Analisis Indek-indek Durabilitas tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.15 dibawah

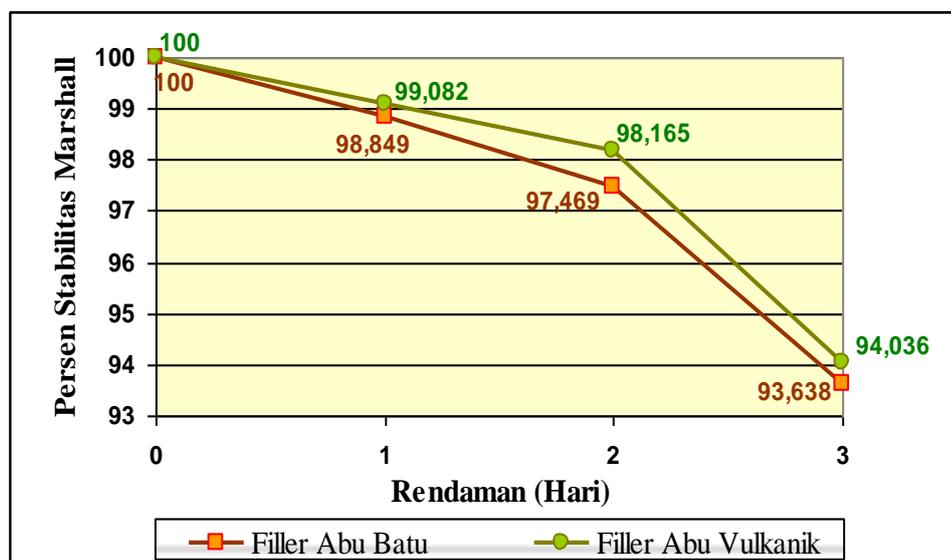
Tabel 4.15 : Hasil Analisis Durabilitas modifikasi Marshall.

Sifat Marshall	Jenis Filler	Lama Perendaman (Hari)				Hasil
		0	1	2	3	
Stabilitas (Kg)	Abu Batu	1151,069	1137,822	1121,943	1077,842	
	A.Vulkanik	1153,067	1142,489	1131,91	1084,307	
Persen Sisa Stabilitas (Kg)	Abu Batu	100	98,849	97,469	93,638	
	A.Vulkanik	100	99,082	98,165	94,036	
Durabilitas IRS (%)	Abu Batu					98,849
	A.Vulkanik					99,082
	Minimal					75
r (%)	Abu Batu	0	0,049	0,057	0,159	0,266
	A.Vulkanik	0	0,039	0,038	0,172	0,249
a (%)	Abu Batu	0	0,959	0,689	0,638	2,287
	A.Vulkanik	0	0,764	0,458	0,688	1,911
Sa (%)	Abu Batu					97,712
	A.Vulkanik					98,088

Kriteria Indeks Durabilitas Pertama ( $r$ ) mengindikasikan bahwa antara campuran dengan bahan *filler* abu batu dan *filler* abu vulkanik tidak memiliki perbedaan persen kehilangan kekuatan yang signifikan. Perbedaan yang terjadi bahan *filler* abu batu sedikit lebih tinggi dari pada bahan *filler* abu vulkanik yaitu sebesar 0,266 % untuk *filler* abu batu dan 0,249 % untuk *filler* abu vulkanik.

Indeks Durabilitas Kedua ( $a$ ) seperti dalam Tabel 4.15 terlihat bahwa campuran dengan bahan *filler* abu batu memiliki nilai ( $a$ ) lebih tinggi dari pada bahan *filler* abu vulkanik yaitu sebesar 2,287 % untuk bahan *filler* abu batu dan 1,911 % untuk bahan *filler* abu vulkanik. Sedangkan persen ekuivalen kuat sisa ( $S_a$ ) untuk bahan *filler* abu batu sebesar 97,712 % sedangkan *filler* abu vulkanik 98,088 %

Persen Sisa Stabilitas masing-masing bahah *filler* menunjukkan sedikit perbedaan pada perendaman 1 dan 2 hari, sedangkan perendaman pada hari ketiga, kedua jenis bahan *filler* mengalami penurunan persen sisa durabilitas yang cukup besar, namun kedua jenis bahan *filler* tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, seperti yang terlihat dalam Gambar 4.7 dibawah.



Gambar 4.7 : Kurva Durabilitas