

BAB VI

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

6.1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini terdiri dari hasil pemeriksaan agregat, pemeriksaan bahan ikat aspal, pemeriksaan asbuton dan hasil pengujian campuran IIRS dengan metode *Marshall*. Hasil tersebut diuraikan sebagai berikut :

1. Hasil pemeriksaan agregat

Hasil pemeriksaan agregat dapat dilihat pada tabel 6.1 berikut ini.

Tabel 6.1 Persyaratan dan hasil pemeriksaan agregat

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi (SKBI - 2.4.26.1987)	Hasil	Satuan
1.	Abrasi	Maks. 40	30,0	%
2.	Kelekatan terhadap aspal	Min. 95	99	%
3.	Bj. Agregat kasar	> 2,50	2,68	
	Bj. Agregat halus	> 2,50	2,55	
	Bj. Mineral Asbuton	-	2,28	
	Bj. Asbuton B ₂₀	-	2,05	%
4.	Absorpsi agregat kasar	< 3,00	1,033	%
	Absorpsi agregat halus	< 3,00	2,67	%
5.	<i>Sand Equivalent</i>	Min.50	80,4	

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya JTS FT UJI

2. Hasil pemeriksaan aspal

Hasil pemeriksaan aspal seperti terdapat pada tabel 6.2 berikut ini.

Tabel 6.2 Hasil pemeriksaan sifat aspal jenis AC 60/70

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi (SKBI – 2.4.26.1987)	Hasil	Satuan
1.	Penetrasi	60 – 79	63,5	0,1 mm
2.	Titik lembek	48 – 58	50	°C
3.	Titik nyala	Min. 200	334	°C
4.	Daktilitas	Min. 100	165	cm
5.	Kelarutan dalam CCl ₄	Min. 99	99,47	%
6.	Berat jenis	Min. 1	1,036	-

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya JTS FT UH

3. Hasil pengujian asbuton

Dari hasil pemeriksaan ekstraksi asbuton yang digunakan (tipe B₂₀), dapat diketahui kadar aspal dalam asbuton, yaitu sebesar 18,6%. Pada penelitian ini, asbuton langsung dicampurkan pada campuran HRS, tanpa diekstraksi terlebih dahulu. Dengan demikian asbuton yang digunakan pada penelitian ini, selain kadar aspalnya, juga batuannya (dalam bentuk bubuk/*filler* asbuton), oleh karena itu, sebagian *filler* abu batu digantikan dengan *filler* dari asbuton. Contoh perhitungan campuran adalah sebagai berikut ini.

- a) Total berat dalam campuran adalah 1200 gram.
- b) Analisa saringan agregat kasar dan halus pada kadar aspal 6,5% (6% AC + 0,5% kadar aspal asbuton) dapat dilihat pada tabel 6.3 dibawah ini, dengan berat agregat total setelah dikurangi kadar aspal adalah :

$$1200 \text{ gram} - (6,5\% \times 1200 \text{ gram}) = 1122 \text{ gram (termasuk filler)}$$

Tabel 6.3 analisa saringan agregat kasar dan halus

No. Saringan		Berat Tertahan (gr)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi	
Mm	Inch	tertahan	jumlah	tertahan	lolos	min	Max
	1"	0	0	0	100	100	100
	3/4"	16,83	16,83	1,5	98,5	97	100
	1/2"	95,37	112,2	10	90	80	100
	3/8"	129,03	241,23	21,5	78,5	69	88
	#4	140,25	381,48	34	66	60	72
	#8	39,27	420,75	37,5	62,5	55	70
	#40	291,72	712,47	63,5	36,5	13	60
	#70	157,08	869,55	77,5	22,5	5	40
	#200	168,3	1037,85	92,5	7,5	2	10
	Pan	84,15	1122				

c) Berat 0,5% kadar aspal asbuton dalam campuran adalah :

$$0,5\% \times 1200 \text{ gram} = 6 \text{ gram}$$

d) Berat asbuton yang dicampurkan (kadar aspal dan *filler* asbuton) pada campuran HRS (misalkan x) adalah:

$$X = 6 \text{ gram} / 18,6\%$$

$$= 32,26 \text{ gram}$$

jumlah *filler* yang dikandung asbuton adalah :

$$\text{filler asbuton} = 32,26 \text{ gram} - 6 \text{ gram}$$

$$= 26,26 \text{ gram}$$

e) *Filler* yang dibutuhkan (dari tabel 6.3) sebesar 84,15 gram (menjadi *filler* abu batu + *filler* asbuton)

f) Berat *filler* abu batu setelah dikurangi *filler* asbuton adalah :

$$\begin{aligned} \text{filler abu batu} - \text{filler asbuton} &= 84,15 \text{ gram} - 26,26 \text{ gram} \\ &= 57,89 \text{ gram} \end{aligned}$$

g) Berat total campuran HRS pada kadar aspal 6,5% (6% AC + 0,5% kadar aspal asbuton) dan kadar *filler* (abu batu + *filler* asbuton) adalah :

- 1) CA + FA = 1037,85 gram (dari tabel 6.3)
 - 2) Kadar aspal AC 6% = 72 gram
 - 3) Kadar aspal asbuton 0,5% = 6 gram
 - 4) *Filler* asbuton = 26,26 gram
 - 5) *Filler* abu batu = 57,89 gram
- Jumlah = 1200 gram

4. Hasil pengujian *Marshall*

Dari hasil pengujian *Marshall* didapat karakteristik seperti pada tabel 6.4 berikut ini.

Tabel 6.4 Hasil Uji *Marshall* Campuran HRS

Sifat <i>Marshall</i>	Kadar Aspal (AC + Aspal Asbuton) (%)	Kadar Aspal Asbuton (%)				
		0	0,25	0,5	1	1,5
<i>Density</i> (gr/cc)	6,5	2,190	2,247	2,149	2,143	2,094
	7	2,260	2,251	2,180	2,159	2,153
	7,5	2,234	2,256	2,184	2,143	2,088
	8	2,243	2,258	2,199	2,223	2,092

Lanjutan tabel 6.4

Sifat <i>Marshall</i>	Kadar Aspal (AC + Aspal Asbuton) (%)	Kadar Aspal Asbuton (%)				
		0	0,25	0,5	1	1,5
VFWA (%)	6,5	64,915	73,600	59,562	58,890	53,419
	7	79,820	78,154	67,067	64,353	64,093
	7,5	79,244	82,802	71,000	65,402	58,893
	8	84,047	86,810	76,681	80,762	62,309
VITM (%)	6,5	7,463	5,059	9,187	9,474	11,527
	7	3,869	4,252	7,244	8,143	8,409
	7,5	4,297	3,392	6,469	8,212	10,564
	8	3,294	2,654	5,165	4,150	9,796
Stabilitas (kg)	6,5	1560,24	1589,20	1346,30	1322,55	2020,30
	7	2168,54	2094,52	1397,83	1378,19	1628,84
	7,5	1621,14	1654,70	1564,85	1384,47	1172,20
	8	1459,872	1539,709	1557,131	1579,45	1259,94
<i>Flow</i> (mm)	6,5	1,77	1,50	2,45	2,00	2,77
	7	2,38	1,77	2,57	2,05	1,50
	7,5	2,45	2,23	2,60	2,10	2,20
	8	2,5	2,53	2,68	1,90	2,33
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	6,5	917,734	1070,708	549,079	661,275	777,533
	7	911,151	1226,432	550,028	672,288	1208,746
	7,5	661,690	768,065	604,476	659,271	534,324
	8	600,104	651,054	584,297	831,289	653,386

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya JTS FT UII

Kemudian dari data tersebut, dibandingkan dengan spesifikasi yang dipakai dalam penelitian ini, yaitu spesifikasi teknis *Hot Rolled Sheet* (HRS) yang baru dari Puslitbang Jalan (1998). Adapun spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 6.5 dibawah ini.

Tabel 6.5 Spesifikasi Teknis Campuran HRS menurut Puslitbang Jalan (1998)

Karakteristik	Persyaratan	Satuan
Stabilitas	> 800	kg
VMA	> 18	%
VFWA	> 68	%
VITM	3 – 6	%
Flow	2 – 4	mm
MQ	200 – 500	kg/mm

Sumber : Puslitbang Jalan 1998

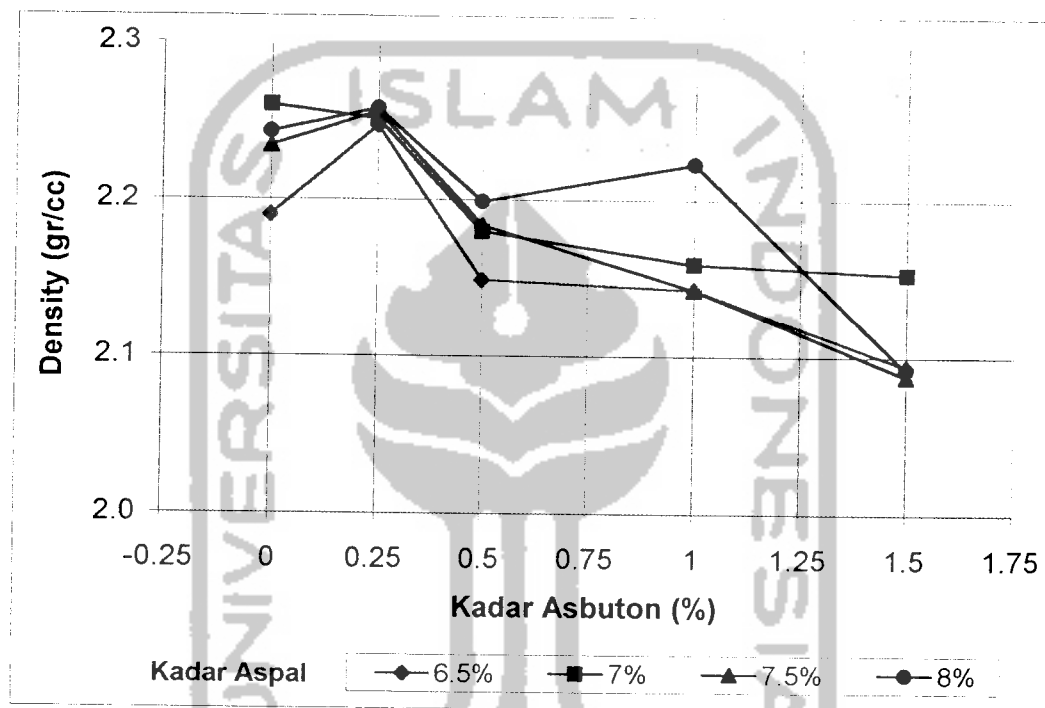
6.2. Pembahasan

6.2.1. Pengaruh Kadar asbuton dan kadar aspal terhadap nilai *density*

Density merupakan tingkat kerapatan setelah dipadatkan. Kepadatan (*density*) adalah berat campuran padat tiap satuan volume. *Density* campuran dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi agregat, pelaksanaan pemadatan, baik suhu pemadatan maupun jumlah tumbukannya, kualitas bahan penyusunnya, berat jenis agregat dan kadar aspal. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan (*density*) tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang mempunyai nilai kepadatan rendah. Campuran akan memiliki nilai *density* yang tinggi apabila memakai batuan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar butir agregat (VMA) yang rendah. Nilai *density* juga meningkat jika energi pemadatan tinggi, serta pada suhu pemadatan yang tepat. Meningkatnya prosentase pemakaian kadar aspal juga

akan meningkatkan kerapatan campuran, hal ini disebabkan karena penggunaan kadar aspal yang semakin tinggi akan menyediakan aspal yang lebih banyak untuk mengisi rongga sehingga campuran lebih padat.

Dari hasil penelitian, didapatkan hubungan kadar asbuton dengan nilai *density* pada berbagai kadar aspal yang ditunjukkan pada gambar 6.1 berikut ini.

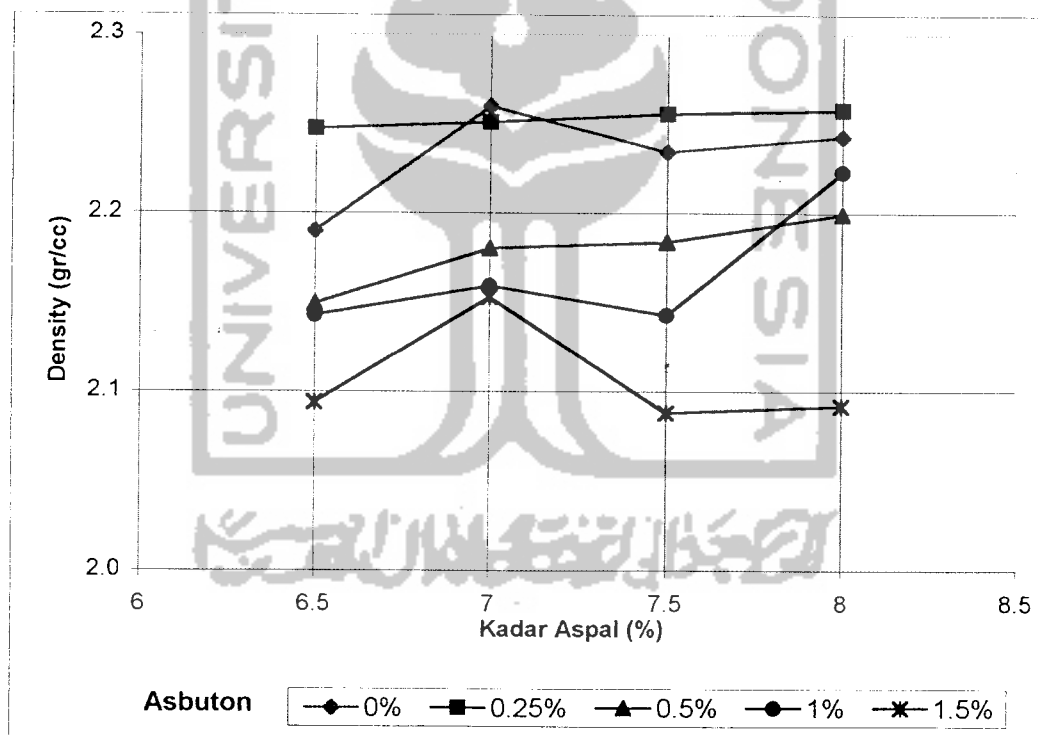


Gambar 6.1 Grafik hubungan antara kadar asbuton dengan *density* pada berbagai kadar aspal.

Hasil penelitian laboratorium terhadap campuran HRS dengan kadar asbuton pada gambar 6.1 menunjukkan kecenderungan bahwa penambahan kadar asbuton dari kadar aspal 0,25 % sampai dengan 1,5 % pada berbagai kadar aspal (AC), mengakibatkan nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pada campuran HRS sudah tidak tersedia lagi rongga yang cukup untuk dapat diisi oleh penambahan asbuton, dimana semakin besar kadar aspal

asbuton yang digunakan, maka semakin banyak pula *filler* dari asbuton yang tersedia (sebagai pengganti sebagian *filler* abu batu), sehingga terbentuklah rongga baru akibat dari berubahnya kondisi saling mengunci antar agregat oleh kelompok partikel asbuton yang memiliki ukuran diameter lebih besar dari selaput aspal. Nilai *density* merupakan perbandingan antara massa per volume, maka dengan terbentuknya rongga baru berarti volume akan bertambah. Pada massa yang tetap menyebabkan nilai *density* campuran berkurang.

Hubungan kadar aspal dengan nilai *density* untuk berbagai kadar asbuton dapat dilihat pada gambar 6.2 berikut ini.



Gambar 6.2 Grafik hubungan antara kadar aspal dengan *density* pada berbagai kadar asbuton.

Hasil penelitian laboratorium terhadap campuran HRS dengan berbagai kadar asbuton dari kadar aspal asbuton 0,25% sampai dengan 1,5% pada

gambar 6.2 menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal menyebabkan nilai *density* meningkat sampai dengan batas tertentu (untuk kadar asbuton 0%, 1% dan 1,5% sampai dengan kadar aspal 7%), kemudian mengalami penurunan. Untuk kadar aspal asbuton 0,25% dan 0,5% mengalami kenaikan nilai *density*. Kenaikan tersebut disebabkan oleh rongga antar butiran agregat masih banyak yang belum terisi aspal, maka dengan penambahan kadar aspal memudahkan agregat yang berukuran kecil mengisi rongga-rongga antar butiran agregat yang ukurannya lebih besar. Sedangkan penurunan terjadi karena penambahan kadar aspal yang berlebihan dalam campuran yang prosentase rongga antar butiran agregat terbatas sesuai dengan gradasi agregat yang dipergunakan dalam campuran, akan mengakibatkan rongga-rongga antar butiran agregat terdesak dan mengembang. Butiran-butiran agregat akan mengembang dalam aspal yang menyebabkan volume campuran akan bertambah dan akibatnya bidang kontak antar agregat menjadi berkurang, sehingga gaya gesek antar agregat menjadi kecil, akibatnya nilai *density* menurun.

Spesifikasi teknis Bina Marga tidak memberikan persyaratan khusus mengenai nilai *density* untuk campuran HRS. Demikian pula halnya Puslitbang Jalan (1998).

6.2.2. Pengaruh Kadar Asbuton dan Kadar Aspal terhadap nilai VFWA

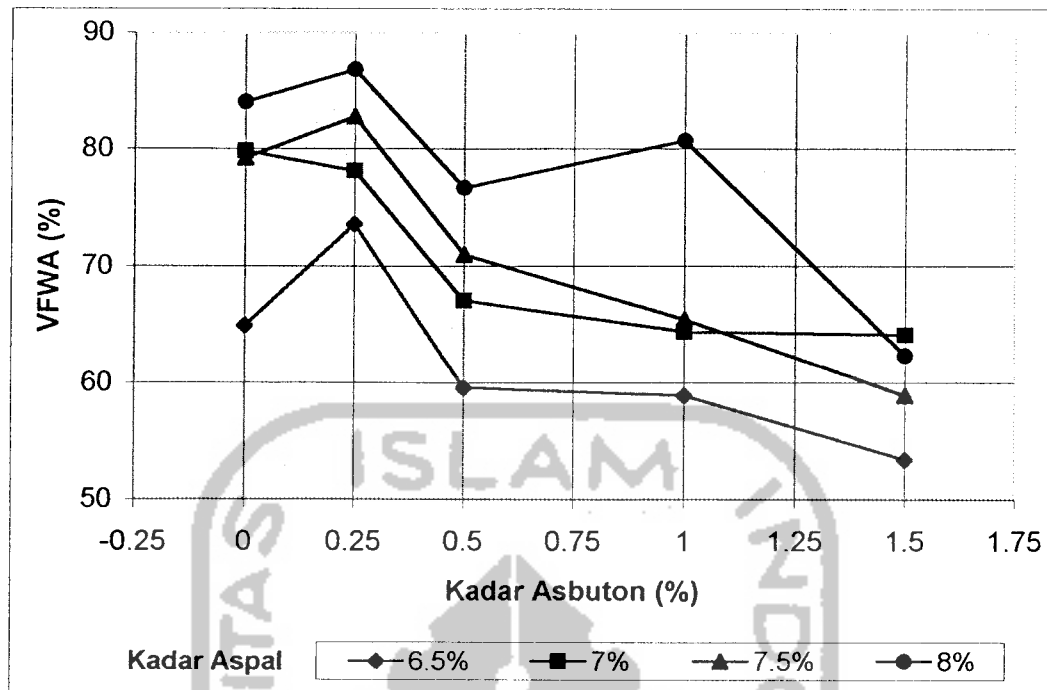
Nilai VFWA (*Void Filled With Asphalt*) menunjukkan besarnya rongga dalam campuran yang terisi aspal. Nilai VFWA dinyatakan dalam prosentase. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VFWA adalah gradasi agregat, kadar aspal dan *density*. Besarnya nilai VFWA berpengaruh terhadap kekedapan

campuran terhadap air dan udara sehingga akan berpengaruh pada keawetan dari lapis keras.

Nilai VFWA yang besar, menunjukkan semakin banyak rongga udara yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Tetapi nilai VFWA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan lapis keras mudah mengalami *bleeding* atau naiknya aspal ke permukaan. Hal ini terjadi pada suhu perkerasan yang tinggi, dimana aspal akan mencair (viskositasnya turun) sesuai dengan sifat termoplastik aspal sehingga jika lapis keras menerima beban, aspal akan mencari ruang kosong. Dengan terlalu banyak rongga yang telah terisi aspal, maka tidak tersedia ruang yang cukup, sehingga akan menyebabkan aspal naik ke permukaan.

Nilai VFWA yang terlalu kecil akan menyebabkan kedekatan campuran berkurang karena hanya sedikit rongga yang terisi oleh aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk ke dalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang.

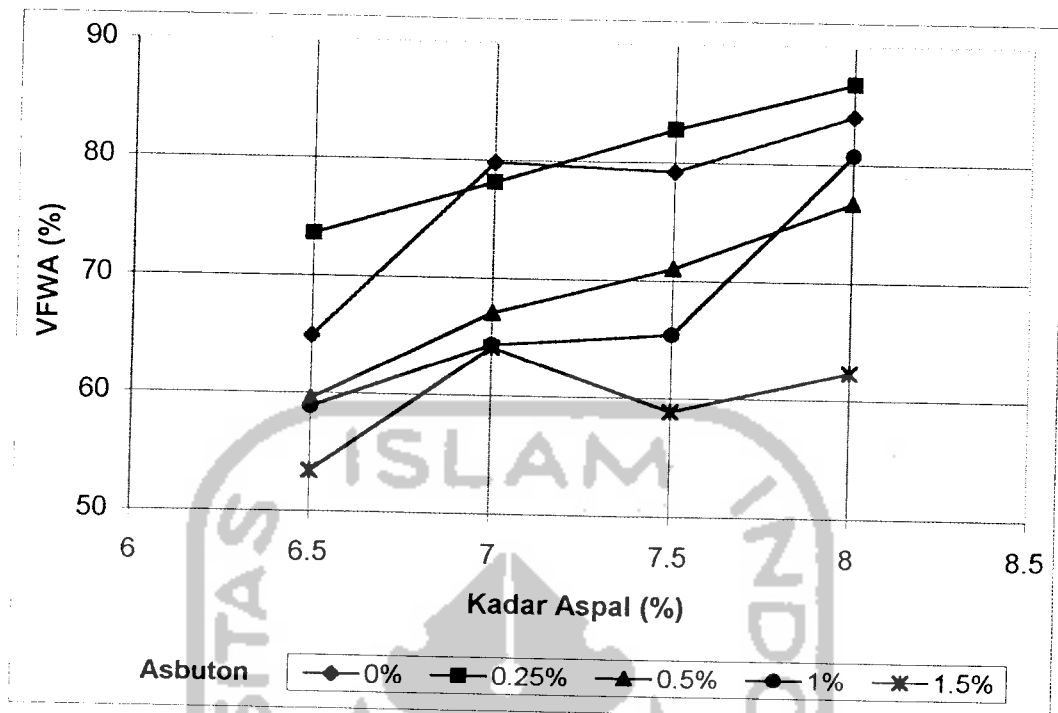
Hubungan kadar asbuton dengan nilai VFWA untuk berbagai kadar aspal ditunjukkan pada gambar 6.3 berikut ini.



Gambar 6.3 Grafik Hubungan antara Kadar Asbuton dengan VFWA pada berbagai Kadar Aspal.

Hasil penelitian laboratorium terhadap campuran HRS dengan asbuton pada gambar 6.3 menunjukkan bahwa dengan penambahan asbuton dari kadar aspal asbuton 0,25% sampai dengan 1,5% pada berbagai kadar aspal (AC) cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kadar asbuton akan menyebabkan terbentuknya rongga baru pada campuran karena adanya partikel-partikel *filler* asbuton yang ukuran diameter butirannya lebih besar dari selaput aspal sehingga rongga menjadi semakin besar dan aspal tidak mampu mengisi rongga sepenuhnya.

Hubungan kadar aspal dengan nilai VFWA untuk berbagai kadar asbuton dapat dilihat pada gambar 6.4 berikut ini.



Gambar 6.4 Grafik Hubungan antar Kadar Aspal dengan VFWA pada berbagai Kadar Asbuton

Dari gambar 6.4 tersebut menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal (AC) pada berbagai kadar asbuton yang digunakan, menyebabkan nilai VFWA cenderung mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena semakin besar kadar aspal maka kandungan rongga yang terisi aspal semakin besar.

Spesifikasi teknis dari Bina Marga (1988) tidak mensyaratkan secara khusus nilai VFWA untuk campuran HRS, sedangkan Puslitbang Jalan (1998) mensyaratkan nilai VFWA lebih dari 68%.

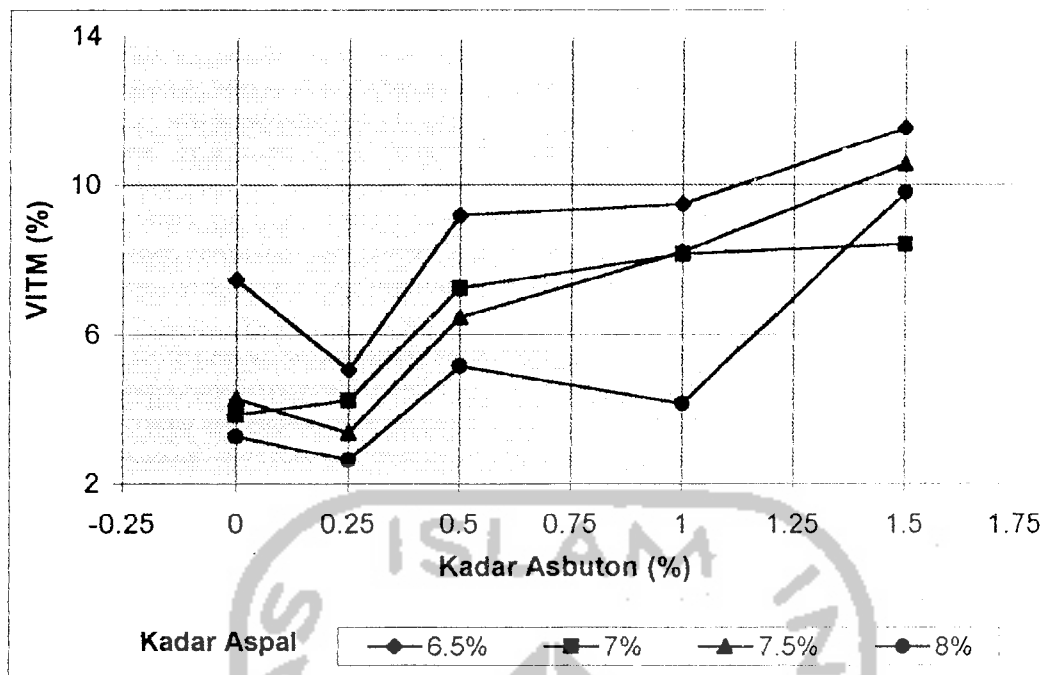
6.2.3. Pengaruh Kadar Asbuton dan Kadar Aspal terhadap nilai VITM

Nilai VITM (*Void In The Mix*) menunjukkan prosentase rongga yang terdapat dalam campuran total. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VITM adalah gradasi, kadar aspal dan *density*. Nilai VITM berpengaruh terhadap kekakuan campuran dan kedekatan campuran terhadap air dan udara.

Nilai VITM yang terlalu tinggi akan mengakibatkan berkurangnya keawetan dari lapis keras, karena rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara ke dalam lapis perkerasan. Udara akan mengoksidasi aspal hingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang. Dengan berkurangnya kohesi aspal, maka sifat adhesi antara agregat dengan aspal juga berkurang. Jika hal ini terjadi, dapat menimbulkan pelepasan butiran (*ravelling*). Sedangkan air akan melarutkan bagian aspal yang tidak teroksidasi, sehingga pengurangan jumlah aspal terjadi lebih cepat.

Nilai VITM yang terlalu rendah akan menyebabkan mudah terjadinya *bleeding* pada lapis keras. Selain *bleeding*, dengan nilai VITM yang rendah, kekakuan lapis keras akan menjadi semakin tinggi yang mengakibatkan lapis keras mudah mengalami retak (*cracking*) apabila menerima beban lalu lintas, karena tidak cukup lentur untuk menahan deformasi yang terjadi.

Hubungan kadar asbuton dengan nilai VITM pada berbagai kadar aspal dapat dilihat pada gambar 6.5 berikut ini.

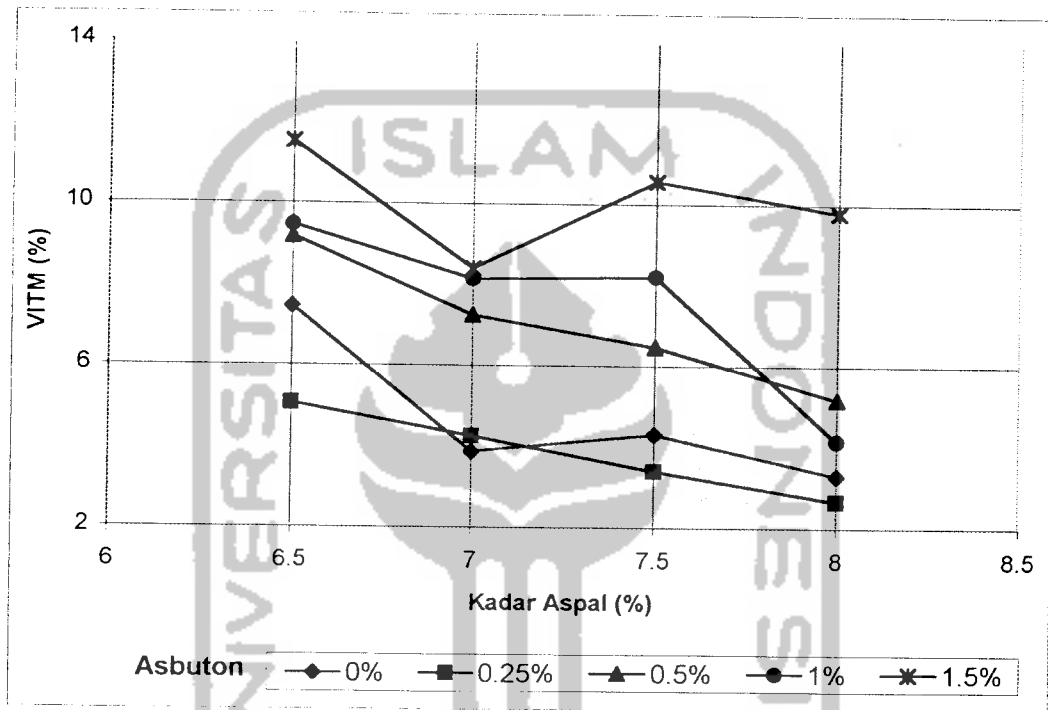


Gambar 6.5 Grafik Hubungan antara Kadar Asbuton dengan nilai VITM pada berbagai Kadar Aspal

Dari penelitian laboratorium terhadap campuran HRS dengan kadar aspal asbuton pada gambar 6.5, menunjukkan bahwa dengan penambahan asbuton, nilai VITM mempunyai kecenderungan sebagai berikut, untuk kadar aspal 6,5%, 7,5% dan 8%, nilai VITM mengalami penurunan sampai batas tertentu, kemudian naik. Untuk kadar aspal 7% cenderung naik. Penurunan nilai VITM berarti campuran semakin rapat, karena rongga-rongga antar butiran agregat semakin banyak terisi. Penurunan nilai VITM sampai dengan batas tertentu tersebut terjadi karena penambahan asbuton menyebabkan rongga yang tersedia terisi *filler* dari asbuton, sehingga jumlah rongga dalam campuran akan menurun (nilai VITM turun). Namun sampai batas tertentu, penambahan asbuton tidak lagi dapat mengisi rongga dalam campuran dan menyebabkan terbentuknya rongga baru oleh partikel-partikel agregat halus yang mempunyai diameter lebih

besar dari tebal selaput aspal, sehingga kadar pori yang terjadi akan semakin besar.

Hubungan kadar aspal dengan nilai VITM untuk berbagai kadar asbuton dapat dilihat pada gambar 6.6 berikut ini.



Gambar 6.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan VITM pada berbagai Kadar Asbuton

Dari gambar 6.6 tersebut, dapat dilihat bahwa penambahan kadar aspal pada berbagai kadar asbuton mengakibatkan nilai VITM cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya pemakaian kadar aspal, akan menyebabkan semakin banyak pori atau rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal sehingga jumlah rongga dalam campuran akan menurun (nilai VITM turun).

Spesifikasi yang disyaratkan oleh Puslitbang Jalan (1998), nilai VITM pada campuran HRS yaitu dari 3% sampai dengan 6%. Nilai VITM yang kurang dari 3% akan menyebabkan campuran mudah terjadi *bleeding*. Apabila rongga dalam campuran (VITM) terlalu kecil, pada suhu yang tinggi, aspal mengalami penurunan viskositas (kekentalan), sehingga jika mengalami pembebanan, aspal akan bergerak menuju ruang kosong, jika ruang kosong atau rongga ini terlalu kecil dan tidak tersedia rongga yang cukup bagi aspal tersebut, maka aspal akan naik ke permukaan. Peristiwa inilah yang disebut *bleeding*.

6.2.4. Pengaruh Kadar Asbuton dan Kadar Aspal terhadap nilai stabilitas

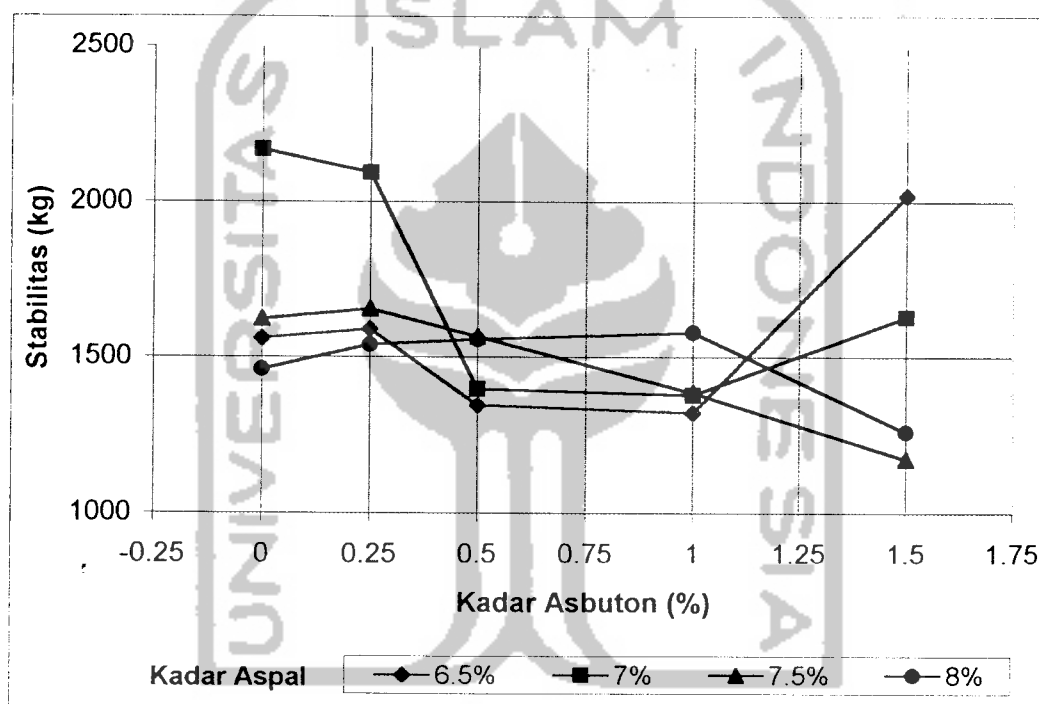
Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi yang terjadi akibat adanya beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel agregat (*interlocking*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

Nilai stabilitas dipengaruhi sifat saling mengunci antar agregat penyusunnya (*internal friction*), yang tergantung dari tekstur permukaan, bentuk butiran, gradasi dan kadar aspal. Fungsi dari aspal adalah untuk memberikan ikatan yang kuat antar agregat, sehingga menjadi satu kesatuan yang padat dan kompak, sehingga nilai stabilitas dapat dicerminkan oleh nilai kepadatan (*density*). Semakin tinggi nilai *density*, maka nilai stabilitas akan semakin tinggi.

Puslitbang Jalan (1998) mensyaratkan nilai stabilitas > 800 kg. Lapis keras dengan nilai stabilitas kurang dari 800 kg, akan mudah terjadi distorsi karena perkerasan bersifat lembek, sehingga tidak mampu menahan beban yang

berat. Sedangkan lapis keras yang mempunyai nilai stabilitas sangat tinggi, akan mudah terjadi retak-retak karena lapis keras bersifat kaku, sehingga pada saat menerima beban akan terjadi deformasi. Deformasi yang terjadi dapat melebihi batas elastisitas perkerasan sehingga menjadi retak.

Hubungan antara kadar asbuton dengan nilai stabilitas untuk berbagai kadar aspal dapat dilihat pada gambar 6.7 berikut ini.

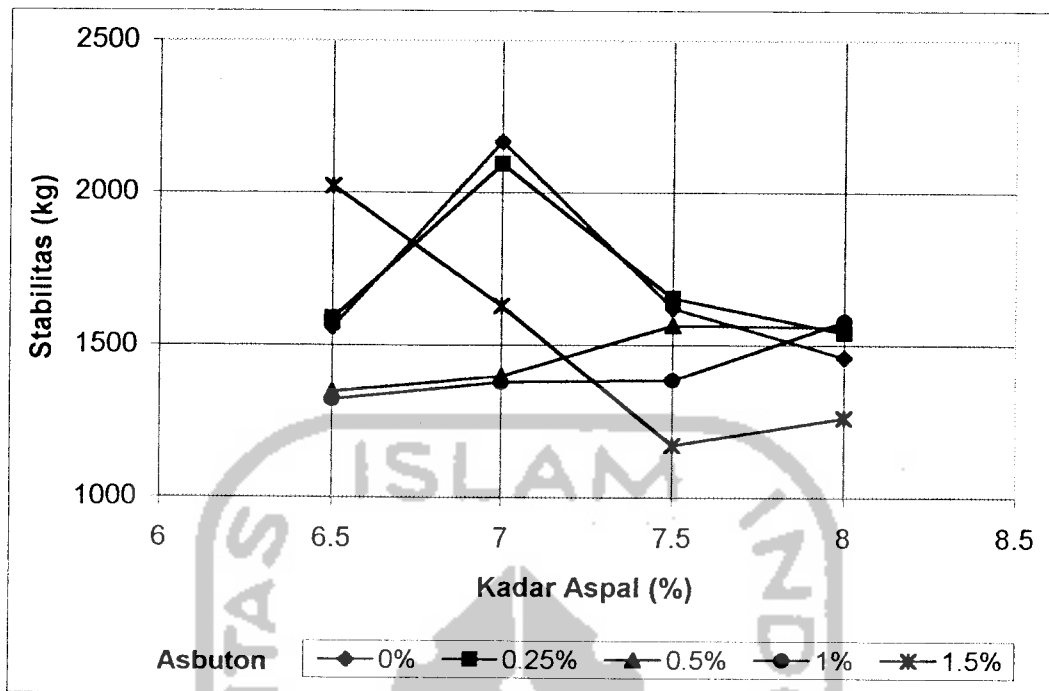


Gambar 6.7 Grafik Hubungan Kadar Asbuton dengan Stabilitas pada berbagai Kadar Aspal

Dari hasil penelitian laboratorium terhadap campuran HRS ini, didapatkan hubungan antara kadar asbuton dengan nilai stabilitas dengan berbagai kadar aspal, seperti ditunjukkan dalam gambar 6.7, bahwa dengan penambahan kadar asbuton dari kadar aspal asbuton 0,25% sampai dengan 1,5% pada berbagai kadar aspal (AC), mempunyai kecenderungan yang berbeda pada kadar aspal

6,5% dan 7% nilai stabilitas mengalami penurunan sampai batas tertentu, kemudian naik, sedangkan pada kadar aspal 7,5% dan 8% akan memberikan penurunan nilai stabilitas. Penurunan ini terjadi karena tidak tersedia lagi rongga yang cukup untuk dapat diisi oleh penambahan asbuton, sehingga terbentuklah rongga baru pada campuran karena adanya partikel-partikel *filler* yang ukuran diameter butirannya lebih besar dari selaput aspal, sehingga rongga menjadi semakin besar, akibatnya penguncian antar agregat semakin kecil. Sedangkan peningkatan nilai stabilitas dalam campuran disebabkan masih tersedia cukup rongga antar butiran agregat serta cukup kadar aspal bebas, sehingga dengan bertambahnya kadar asbuton dalam campuran, akan memberikan tambahan gesekan dan saling mengunci antar butiran agregat dengan masih tersedianya kohesi aspal yang menyebabkan naiknya stabilitas.

Hubungan kadar aspal dengan nilai stabilitas untuk berbagai kadar asbuton dapat dilihat pada gambar 6.8 berikut ini.



Gambar 6.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas pada berbagai Kadar Asbuton

Pada gambar 6.8 menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal pada berbagai kadar asbuton menyebabkan kecenderungan nilai stabilitas mengalami kenaikan sampai batas tertentu, kemudian mengalami penurunan (pada kadar aspal asbuton 0%, 0,25% dan 0,5%). Sedangkan Pada kadar aspal asbuton 1% cenderung mengalami kenaikan, dan pada kadar aspal 1,5 % cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena adanya aspal yang terlalu banyak (dengan penambahan kadar aspal tersebut) akan menyebabkan aspal menjadi pelicin sehingga gesekan (*friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*) akan semakin berkurang, sehingga menyebabkan nilai stabilitas menurun. Sedangkan kecenderungan naiknya nilai stabilitas pada kadar aspal asbuton 1%, disebabkan masih tersedianya rongga antar butiran agregat yang

dapat diisi oleh aspal, sehingga masih tersedianya kohesi aspal yang menyebabkan naiknya stabilitas.

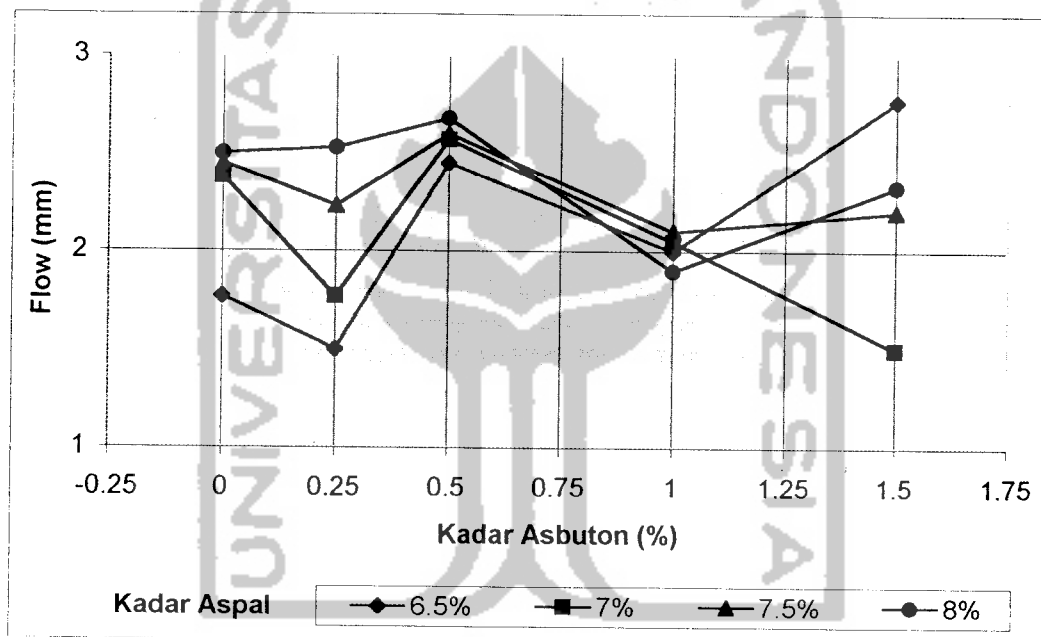
Dari spesifikasi Bina Marga, stabilitas yang disyaratkan untuk campuran HRS adalah 550 kg sampai dengan 1250 kg. Apabila stabilitas kurang dari 550 kg, maka akan mudah mengalami *rutting* karena perkerasan bersifat lembek, sehingga tidak akan mampu menahan beban. Sedangkan jika nilai stabilitasnya lebih dari 1250 kg, akan mudah terjadi retak-retak karena lapis keras akan bersifat kaku. Hal ini karena jika lapis perkerasan mendapatkan beban, akan terjadi deformasi yang melebihi batas elastisitas sehingga terjadi retak-retak atau patah-patah. Untuk spesifikasi Puslitbang Jalan (1998), stabilitas yang disyaratkan untuk campuran HRS adalah harus lebih dari 800 kg. Apabila kurang dari 800 kg akan mengalami *rutting* karena lembek, tetapi tidak ada batas maksimal untuk nilai stabilitas, karena semakin tinggi nilai stabilitas semakin baik. Retak-retak atau patah-patah karena deformasi yang melebihi batas elastisitasnya dapat ditanggulangi atau dihindari dengan mencegah atau paling tidak memperkecil deformasi itu sendiri, berarti lapisan perkerasan di bawahnya yang harus kuat menahan beban agar tidak terjadi deformasi atau paling tidak deformasi yang terjadi tidak melebihi batas elastisitasnya.

6.2.5. Pengaruh Kadar Asbuton dan Kadar Aspal terhadap *flow*

Flow atau kelelahan dari suatu campuran menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat adanya beban yang bekerja. Nilai *flow* ditentukan oleh beberapa faktor antara lain viskositas dan kadar aspal.

Campuran yang memiliki kelelahan (*flow*) yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung menjadi terlalu kaku dan getas (*brittle*). Sedangkan campuran yang memiliki nilai kelelahan (*flow*) yang tinggi dengan nilai stabilitas yang rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban lalu lintas.

Hubungan kadar asbuton dengan nilai *flow* untuk berbagai kadar aspal dapat dilihat pada gambar 6.9 berikut ini.

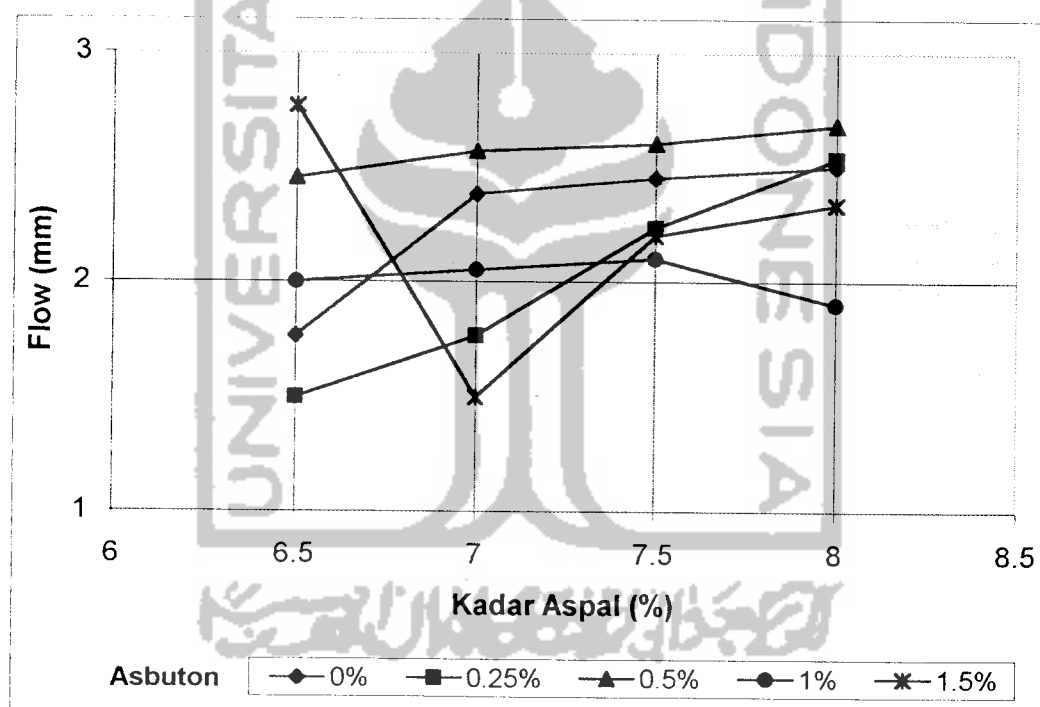


Gambar 6.9 Grafik Hubungan antara Kadar Asbuton dengan *Flow* pada berbagai Kadar Aspal

Dari hasil penelitian laboratorium terhadap campuran HRS dengan asbuton dari kadar aspal asbuton 0,25% sampai dengan 1,5% pada berbagai kadar aspal (AC), menunjukkan bahwa pada kadar aspal (AC) dengan penambahan kadar asbuton sampai batas tertentu (untuk kadar aspal 6,5% sampai dengan 8% pada kadar asbuton 0,5%) mengalami kenaikan, setelah itu penambahan kadar

asbuton menyebabkan nilai *flow* turun.. Kenaikan nilai *flow* terjadi karena berkurangnya kohesi yang dihasilkan oleh aspal dan berubahnya kondisi saling mengunci antar agregat, akibat penambahan asbuton tersebut menyebabkan campuran menjadi lebih rapat atau padat karena rongga-rongga yang ada terisi asbuton. Jika campuran tersebut menerima beban, deformasi akibat beban tadi akan semakin kecil sehingga nilai *flow* turun.

Hubungan kadar aspal dengan nilai *flow* untuk berbagai kadar asbuton dapat terlihat pada gambar 6.10 berikut ini.



Gambar 6.10 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan *Flow* pada berbagai Kadar Asbuton

Dari hasil laboratorium menunjukkan bahwa pada campuran HRS dengan kadar asbuton dari kadar aspal asbuton 0,25% sampai dengan 1,5%, penambahan kadar aspal menyebabkan nilai *flow* cenderung naik atau meningkat.

Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar aspal, maka prosentase rongga dalam campuran berkurang, kerapatan campuran meningkat, kadar aspal yang tinggi menjadikan campuran menjadi lebih plastis.

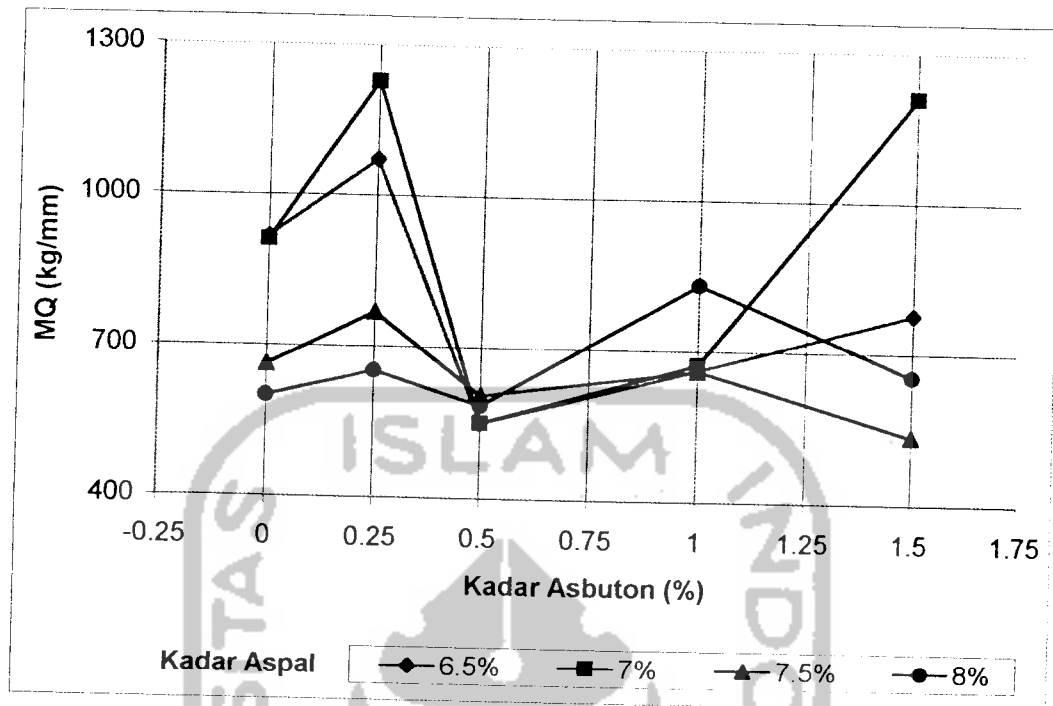
Spesifikasi teknis dari Bina Marga untuk campuran HRS tidak memberikan persyaratan khusus pada nilai *flow*, sedangkan pada spesifikasi dari Puslitbang Jalan (1998) mensyaratkan nilai *flow* 2 mm – 4 mm. Jika nilai *flow* kurang dari 2 mm menyebabkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan mudah mengalami retak.

6.2.6. Pengaruh Kadar Asbuton dan Kadar Aspal terhadap *Marshall Quotient* (QM)

Nilai *Marshall Quotient* (QM) adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Besarnya nilai QM tergantung dari besarnya nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*).

Stabilitas yang tinggi dengan *flow* yang rendah akan menghasilkan nilai QM yang tinggi, sehingga campuran akan menjadi kaku dan fleksibilitasnya rendah. Sebaliknya nilai stabilitas yang rendah dengan nilai *flow* yang tinggi akan menghasilkan campuran dengan nilai QM yang rendah, sehingga campuran menjadi plastis dan akibatnya lapis keras akan mengalami deformasi yang besar apabila menerima beban lalu lintas.

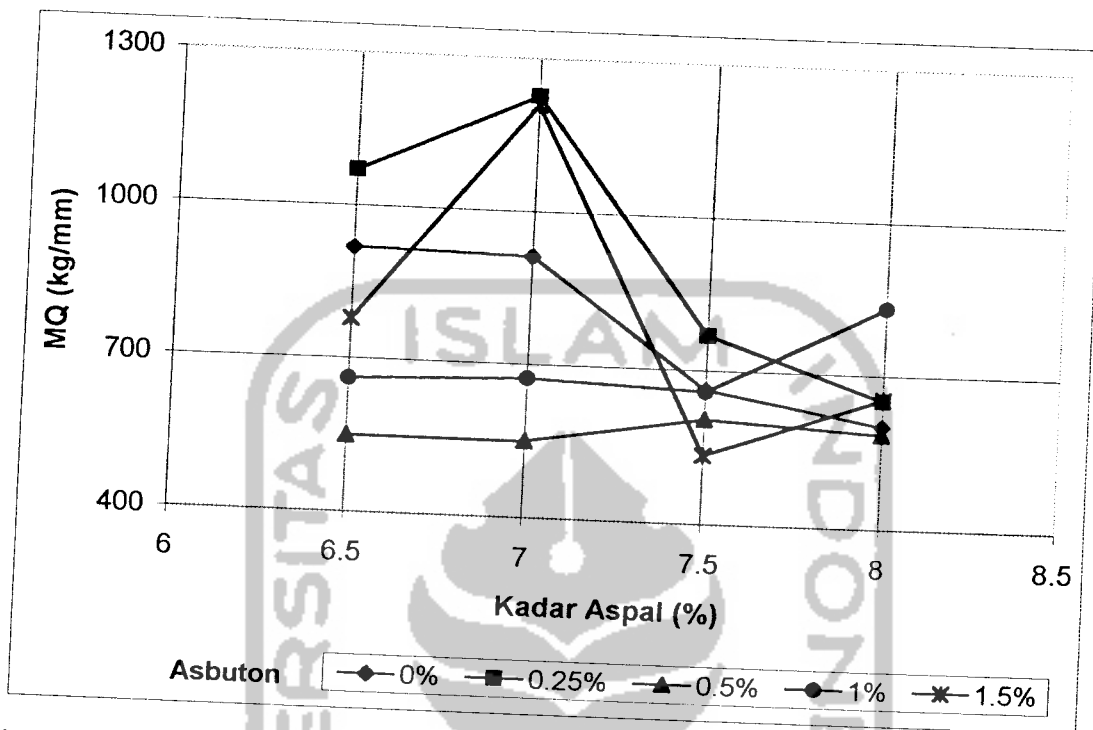
Hubungan kadar asbuton dengan nilai *Marshall Quotient* untuk berbagai kadar aspal dapat dilihat pada gambar 6.11 berikut ini.



Gambar 6.11 Grafik Hubungan antara Kadar Asbuton dengan *Marshall Quotient* pada berbagai Kadar Aspal

Dari hasil penelitian laboratorium menunjukkan bahwa penambahan kadar asbuton pada berbagai kadar aspal menyebabkan nilai QM naik sampai batas tertentu kemudian turun, untuk kadar aspal 6,5%, 7% dan 7,5% naik sampai dengan penambahan kadar aspal asbuton 0,25%, setelah itu mengalami penurunan. Untuk kadar aspal yang lainnya cenderung mengalami kenaikan. Kenaikan sampai batas tertentu kemudian turun, disebabkan oleh stabilitas campuran yang dengan penambahan kadar asbuton, nilai stabilitas mengalami kenaikan sampai batas tertentu kemudian mengalami penurunan, sedangkan *flow*-nya mengalami penurunan sejalan dengan penambahan kadar asbuton, sehingga grafik *Marshall Quotient* cenderung sesuai dengan nilai stabilitas.

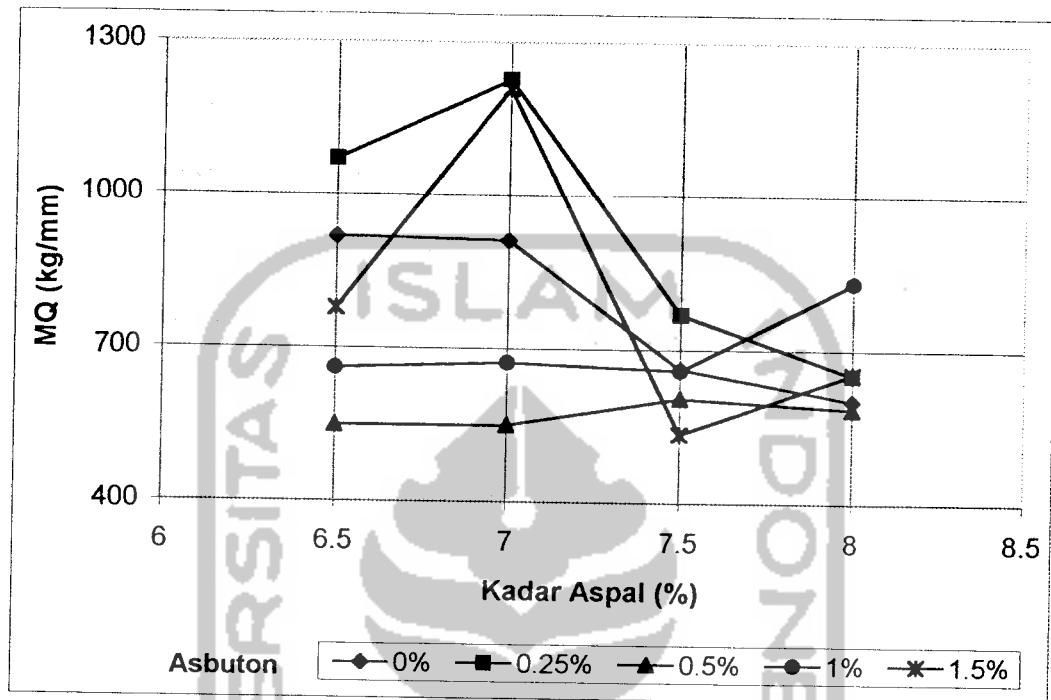
Hubungan kadar aspal dengan nilai *Marshall Quotient* pada berbagai kadar asbuton dapat dilihat pada gambar 6.12 berikut ini.



Gambar 6.12 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient* pada berbagai Kadar Asbuton

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal pada berbagai kadar asbuton, nilai *Marshall Quotient* cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kadar aspal maka nilai stabilitas akan menurun, sedangkan nilai *flow* akan meningkat sehingga nilai *Marshall Quotient* menjadi turun. Sedangkan untuk kadar aspal asbuton 0,5% dan 1% cenderung mengalami kenaikan, hal ini disebabkan dalam campuran tersebut masih tersedia cukup rongga antar butiran agregat, sehingga dengan bertambahnya kadar aspal (AC) akan mengakibatkan tersedianya kohesi aspal,

Hubungan kadar aspal dengan nilai *Marshall Quotient* pada berbagai kadar asbuton dapat dilihat pada gambar 6.12 berikut ini.



Gambar 6.12 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient* pada berbagai Kadar Asbuton

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal pada berbagai kadar asbuton, nilai *Marshall Quotient* cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kadar aspal maka nilai stabilitas akan menurun, sedangkan nilai *flow* akan meningkat sehingga nilai *Marshall Quotient* menjadi turun. Sedangkan untuk kadar aspal asbuton 0,5% dan 1% cenderung mengalami kenaikan, hal ini disebabkan dalam campuran tersebut masih tersedia cukup rongga antar butiran agregat, sehingga dengan bertambahnya kadar aspal (AC) akan mengakibatkan tersedianya kohesi aspal,

sehingga ikatan antar aspal dan agregat menjadi baik, yang menjadikan stabilitas menjadi naik, sehingga *Marshall Quotient* menjadi naik.

Spesifikasi teknis dari Puslitbang Jalan memberikan persyaratan khusus untuk campuran HRS yaitu lebih dari 200 kg/mm - 500 kg/mm, nilai *Marshall Quotient* di bawah 200 kg/mm akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *rutting* dan *bleeding*, sedangkan nilai *Marshall Quotient* di atas 500 kg/mm akan mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak.

6.3 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum untuk masing-masing campuran diperoleh dengan cara grafis, yaitu dengan cara rentang (*range*) kadar aspal dan kadar aspal asbuton yang memenuhi nilai-nilai *density*, stabilitas, VFWA, VITM, *flow* (kelelehan).

Nilai kadar aspal optimum, berdasarkan spesifikasi dari Puslitbang Jalan (1998), dapat dilihat pada tabel 6.6, tabel 6.7; tabel 6.8, tabel 6.9, dan tabel 6.10 dibawah ini.

Tabel 6.6 Kadar Aspal Optimum Campuran HRS pada Kadar Aspal Asbuton 0 %

Spesifikasi	Kadar Aspal			
	6,5 %	7 %	7,5 %	8 %
<i>Density</i>	—————			
Stabilitas	—————			
VFWA	—————			
VITM	—————			
<i>Flow</i>	—————			

6,8% 8%

$$\text{Keterangan : KAO} = \frac{6,8\% + 8\%}{2} = 7,4\%$$

Tabel 6.7 Kadar Aspal Optimum Campuran HRS pada Kadar Aspal Asbuton
0,5%

Spesifikasi	Kadar Aspal			
	6,5%	7 %	7,5 %	8 %
<i>Density</i>	—————			
Stabilitas	—————			
VFWA		—————	—————	—————
VITM			—————	—————
<i>Flow</i>	—————			

7,7% 8%

$$\text{Keterangan : KAO} = \frac{7,7\% + 8\%}{2} = 7,85\%$$

Tabel 6.8 Kadar Aspal Optimum Campuran HRS dengan Kadar Aspal Asbuton
,1 %

Spesifikasi	Kadar Aspal			
	6,5 %	7 %	7,5 %	8 %
<i>Density</i>	—————			
Stabilitas	—————			
VFWA				—————
VITM				—————
<i>Flow</i>	—————			

Keterangan : KAO tidak terpenuhi

Tabel 6.9 Kadar Aspal Optimum Campuran HRS pada Kadar Aspal Asbuton
1,5 %

Spesifikasi	Kadar Aspal			
	6,5 %	7 %	7,5 %	8 %
<i>Density</i>	—————			
Stabilitas	—————			
VFWA				
VITM				
<i>Flow</i>	—————			—————

Keterangan : Nilai VFWA dan VITM tidak terpenuhi

Karena KAO hanya terpenuhi pada kadar aspal asbuton 0% dan 0,5% saja, maka diambil nilai tengah pada *range* tersebut, yaitu kadar aspal asbuton 0,25%. Kao pada kadar aspal asbuton 0,25% dapat dilihat pada tabel 6.10 dibawah ini.

Tabel 6.10 Kadar Aspal Optimum Campuran HRS pada Kadar Aspal Asbuton
0,25 %

Spesifikasi	Kadar Aspal			
	6,5 %	7 %	7,5 %	8 %
<i>Density</i>	—————			
Stabilitas	—————			
VFWA	—————			
VITM	—————			
<i>Flow</i>			—————	—————

7,3%

7,7%

Keterangan : $KAO = \frac{7,3\% + 7,7\%}{2} = 7,5\%$

Dari tabel-tabel tersebut diketahui bahwa dengan memakai spesifikasi Puslitbang Jalan (1998), untuk kadar asbuton 1% dan 1,5%, tidak dapat diperoleh kadar aspal optimumnya, hal ini disebabkan pada kadar asbuton 1% dan 1,5% nilai VITM terlalu tinggi. Kadar aspal optimum untuk campuran pada kadar aspal asbuton 0,25% dan 0,5% adalah 7,5% dan 7,85%, sehingga dalam membuat suatu campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) dengan menambahkan aspal dan agregat halus dari asbuton perlu penggunaan kadar aspal dan kadar asbuton yang tepat.

Spesifikasi dari Puslitbang Jalan (1998) dalam hal ini digunakan karena sebagian syarat pada spesifikasi Bina Marga tidak diberikan.

Hasil pengujian *Marshall* pada kadar aspal optimum dengan kadar aspal asbuton 0%, 0,25% dan 0,5%, pada perendaman 30 menit dan 24 jam dapat di lihat pada tabel 6.11 dibawah ini.

Tabel 6.11 Hasil Uji Kadar Aspal Optimum pada perendaman 30 menit dan 24 jam

Sifat <i>Marshall</i>	Kadar Aspal Optimum (%)	Kadar Aspal Asbuton (%)	Perendaman	
			30 Menit	24 Jam
Stabilitas (kg)	7,4	0	2095,71	1989,84
	7,5	0,25	1520,21	1347,27
	7,85	0,5	1437,57	1224,32
<i>Flow</i> (mm)	7,4	0	2,97	2,38
	7,5	0,25	2,17	3,57
	7,85	0,5	2,37	2,40
<i>Marshall</i> <i>Quotient</i> (kg/mm)	7,4	0	772,708	835,350
	7,5	0,25	772,874	380,685
	7,85	0,5	608,567	634,483

Lanjutan tabel 6.11

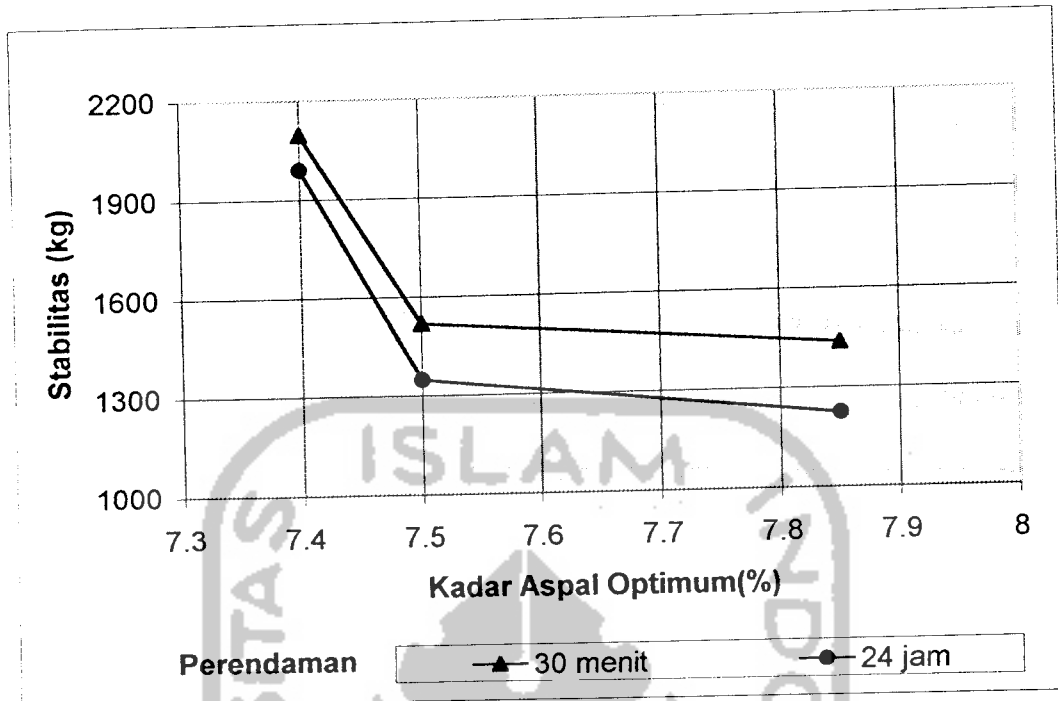
Sifat <i>Marshall</i>	Kadar Aspal Optimum (%)	Kadar Aspal Asbuton (%)	Indeks Perendaman
Indeks	7,4	0	94,95
Perendaman	7,5	0,25	88,62
(%)	7,85	0,5	85,16

6.3.1 Pengaruh Variasi Perendaman Pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi yang terjadi akibat adanya beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel agregat (*interlocking*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

Nilai stabilitas dipengaruhi sifat saling mengunci antar agregat penyusunnya (*internal friction*), yang tergantung dari tekstur permukaan, bentuk butiran, gradasi dan kadar aspal. Fungsi dari aspal adalah untuk memberikan ikatan yang kuat antar agregat, sehingga menjadi satu kesatuan yang padat dan kompak, sehingga nilai stabilitas dapat dicerminkan oleh nilai kepadatan (*density*). Semakin tinggi nilai *density*, maka nilai stabilitas akan semakin tinggi.

Grafik nilai stabilitas pada kadar aspal optimum untuk perendaman 30 menit dan 24 jam dapat dilihat pada gambar 6.13 berikut ini.



Gambar 6.13 Grafik Stabilitas pada Perendaman 30 menit dan 24 jam untuk berbagai Kadar Aspal Optimum

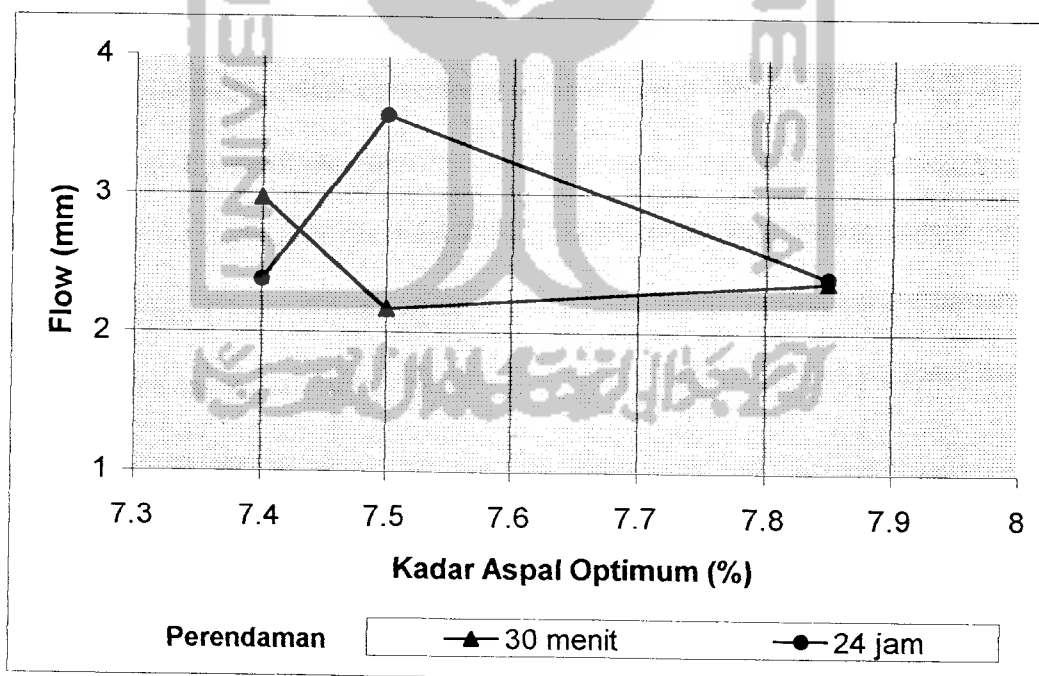
Pada gambar 6.13 menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada perendaman 30 menit lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai stabilitas pada perendaman 24 jam. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman, maka pengaruh air dan suhu pada campuran tersebut akan semakin besar. Akibatnya penguncian antar partikel agregat akan berkurang karena masuknya air ke dalam campuran tersebut. Semakin banyak air yang diserap mengakibatkan ikatan antar butiran agregat melemah, sehingga menyebabkan nilai stabilitas menjadi rendah. Nilai stabilitas setelah perendaman 30 menit dan 24 jam masih memenuhi nilai stabilitas yang disyaratkan oleh Puslitbang Jalan, yaitu > 800 kg.

6.3.2 Pengaruh Variasi Perendaman Pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai *flow*

Flow atau keelehan dari suatu campuran menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat adanya beban yang bekerja. Nilai *flow* ditentukan oleh beberapa faktor antara lain viskositas dan kadar aspal.

Campuran yang memiliki keelehan (*flow*) yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung menjadi terlalu kaku dan getas (*brittle*). Sedangkan campuran yang memiliki nilai keelehan (*flow*) yang tinggi dengan nilai stabilitas yang rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban lalu lintas.

Grafik nilai *flow* pada kadar aspal optimum untuk berbagai perendaman dapat dilihat pada gambar 6.14 berikut ini.



Gambar 6.14 Grafik *Flow* pada Perendaman 30 menit dan 24 jam untuk berbagai Kadar Aspal Optimum

Pada gambar 6.14 menunjukkan bahwa nilai *flow* setiap kadar aspal optimum pada perendaman 24 jam cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai *flow* pada perendaman 30 menit. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman, maka pengaruh air dan suhu pada campuran tersebut akan semakin besar, akibatnya penguncian antar partikel agregat akan berkurang karena masuknya air ke dalam campuran tersebut. Semakin banyak air yang diserap mengakibatkan ikatan antar butiran agregat melemah, sehingga menyebabkan nilai *flow* menjadi tinggi. Pada perendaman 24 jam (pada kadar aspal optimum 7,4%), nilai *flow* lebih rendah dibandingkan pada perendaman 30 menit (pada kadar aspal yang sama). Hal ini mungkin disebabkan kesalahan pembacaan alat. Nilai *flow* setelah perendaman 30 menit dan 24 jam masih memenuhi persyaratan spesifikasi Puslitbang Jalan yaitu sebesar 2-4 mm.

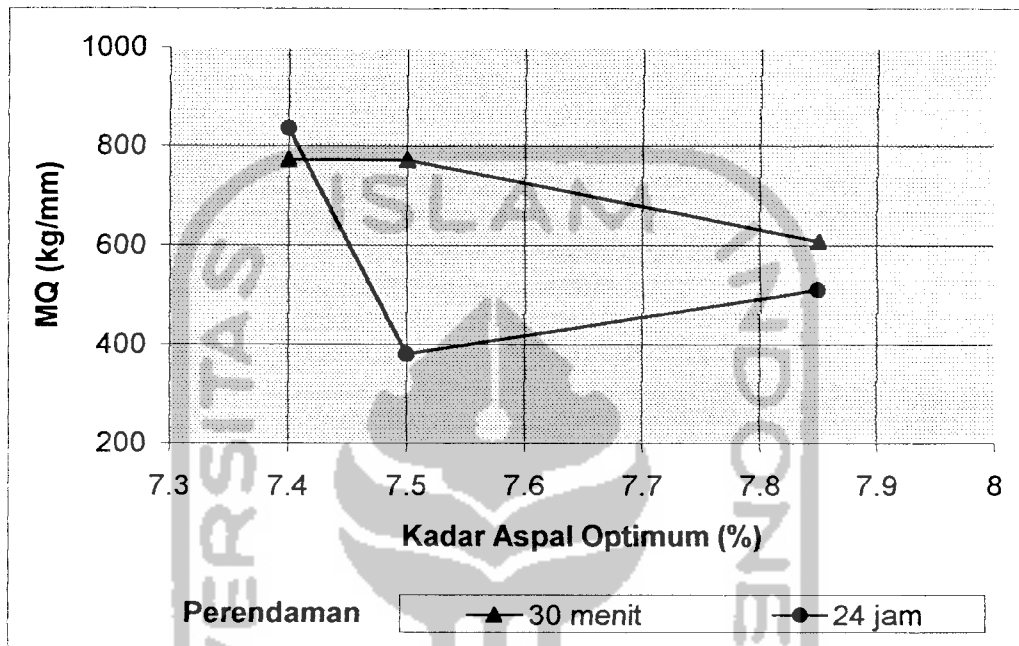
6.3.3 Pengaruh Variasi Perendaman Pada Kadar Aspal Optimum terhadap nilai *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient* (QM) adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Besarnya nilai QM tergantung dari besarnya nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*).

Stabilitas yang tinggi dengan *flow* yang rendah akan menghasilkan nilai QM yang tinggi, sehingga campuran akan menjadi kaku dan fleksibilitasnya rendah. Sebaliknya nilai stabilitas yang rendah dengan nilai *flow* yang tinggi akan menghasilkan campuran dengan nilai QM yang rendah, sehingga campuran

menjadi plastis dan akibatnya lapis keras akan mengalami deformasi yang besar apabila menerima beban lalu lintas.

Grafik nilai QM pada kadar aspal optimum untuk berbagai perendaman dapat dilihat pada gambar 6.15 berikut ini.



Gambar 6.15 Grafik MQ pada perendaman 30 menit dan 24 jam untuk berbagai Kadar Aspal Optimum

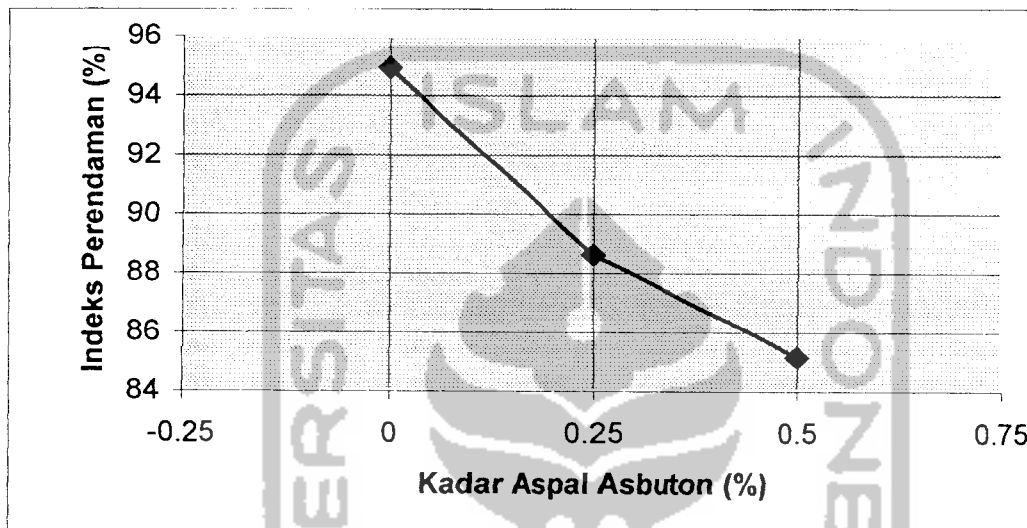
6.3.4 Indeks Perendaman Pada Kadar Aspal Optimum

Immersion test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu dan cuaca. Prinsip kerja dari pengujian *immersion*, sama dengan pengujian *Marshall* standar, hanya waktu perendamannya saja yang berbeda. Benda uji pada *immersion test* direndam selama 24 jam pada suhu konstan 60°C sebelum pembebanan diberikan.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal adalah prosentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam dengan pengujian *immersion* (S_2) yang dibandingkan dengan nilai stabilitas campuran biasa (S_1).

$$\text{Index of retained strength} = (S_2/S_1) \times 100\%$$

Grafik indeks perendaman pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 6.16 berikut ini.



Gambar 6.16 Grafik indeks perendaman untuk berbagai Kadar Aspal Optimum

Gambar 6.16 menunjukkan indeks perendaman mengalami penurunan seiring penambahan asbuton. Hal ini mengakibatkan berkurangnya keawetan campuran akibat penambahan asbuton, namun indeks perendaman pada kadar aspal optimum tersebut masih memenuhi persyaratan yaitu $> 75\%$, sehingga campuran tersebut dapat dikatakan memiliki tahanan yang cukup memuaskan dari kerusakan akibat pengaruh air, suhu dan cuaca.