

## Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Buton Tipe CPHMA dengan Perendaman Berulang

**Dedi Arham Al Anzari, Abd. Rahim Nurdin, Nurhadijah Yunianti**

Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa Makassar

E-mail : [dedyarham08@gmail.com](mailto:dedyarham08@gmail.com)

---

### Artikel info

#### Artikel history:

Diterima: 24-04-2022

Direvisi: 16-06-2022

Disetujui: 18-08-2022

**Abstract.** *Cold Paving Hot Mix Asbuton is a mixture of asbuton consisting of aggregate, granular asbuton, rejuvenator and other added ingredients mixed with cold heat. Hot and cold mixed asphalt asphalt is a ready-to-use asphalt mixture product that is used as a pavement surface layer for low traffic volume roads. The purpose of this study was to obtain the effect of adding styrofoam to the Marshall characteristics of the CPHMA type Buton asphalt mixture with repeated immersion. This study uses styrofoam waste with the addition of 5%, 10%, and 15%. Samples of test objects made as many as 33 samples, 6 normal samples and 27 samples of variation. Treatment of the specimens was carried out with repeated immersion variations of 6, 12, and 18 days. The manufacture of test objects is hot mixed and refers to the 2018 Bina Marga Specifications, the test is carried out with the Marshall test equipment. The results of this test indicate that the effect of Styrofoam waste as an additive in the CPHMA type Buton asphalt mixture with repeated immersion can cause the value of density, stability, MQ, and VFB to decrease. While the value of flow, VMA, and VIM increased.*

**Abstrak.** Cold Paving Hot Mix Asbuton merupakan campuran asbuton yang terdiri dari agregat, asbuton butir, peremaja dan bahan tambah lain yang dicampur panas hampar dingin. Asbuton campuran panas hampar dingin merupakan produk campuran beraspal siap pakai yang digunakan sebagai lapis permukaan perkerasan untuk jalan bervolume lalu lintas rendah. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan styrofoam terhadap karakteristik Marshall pada campuran aspal buton tipe CPHMA dengan perendaman berulang. Penelitian ini menggunakan limbah styrofoam dengan penambahan 5%, 10%, dan 15%. Sampel benda uji dibuat sebanyak 33 sampel, 6 sampel normal dan 27 sampel variasi. Perawatan benda uji dilakukan dengan variasi perendaman berulang 6, 12, dan 18 hari. Pembuatan benda uji dicampur secara panas dan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Pengujian dilakukan dengan alat uji Marshall test. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pengaruh limbah Styrofoam sebagai bahan tambah pada campuran aspal buton type CPHMA dengan perendaman berulang dapat menyebabkan nilai kepadatan, stabilitas, MQ, dan VFB menurun. Sedangkan nilai flow, VMA, dan VIM meningkat.

---

#### Keywords:

CPHMA; Styrofoam; Repeated Immersion

#### Corresponden author:

Email: [dedyarham08@gmail.com](mailto:dedyarham08@gmail.com)



artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY -4.0

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki aset seperti aspal di wilayah Sulawesi Tenggara yang biasa disebut asbuton. Asbuton ditemukan di Pulau Buton diperkirakan sebesar 677.247.000 ton (Balitbang PU 2016), dimana Indonesia sebagai produsen aspal normal penggerak dunia. Kandungan asbuton naik dari 10 menjadi 40%. Dibandingkan dengan negara lain, seperti Amerika Serikat (12-15%) dan Prancis (6-10%), ini adalah zat hitam yang sangat besar. Melihat banyaknya jumlah asbuton, Kementerian Pekerjaan Umum mengeluarkan Peraturan Menteri No. 35/PRT/M/2006 tanggal 27 Desember 2006, meliputi peningkatan pemanfaatan asbuton di jalan-jalan di Indonesia. Satu lagi manfaat Asbuton adalah memiliki titik relaksasi yang lebih tinggi daripada aspal minyak, dan Asbuton memiliki daya tahan intensitas tinggi dan tidak sulit untuk dilunakkan.

Berbagai langkah telah dimulai untuk memajukan pemanfaatan asbuton untuk pemeliharaan jalan. *Cold Paving Hot Mix Asbuton* (CPHMA) adalah asbuton yang baru saja dikembangkan. Sesuai Ditjen Bina Marga (2013), CPHMA adalah kombinasi asbuton yang terdiri dari asbuton total, granular, peremajaan dan bahan tambahan lainnya yang dicampur dengan panas dan dingin. Kelebihan CPHMA adalah cenderung menyebar dan dipadatkan dalam keadaan dingin (suhu udara). Item ini adalah pilihan yang benar-benar masuk akal untuk

pembangunan jalan di daerah pedesaan dan pulau-pulau kecil di mana fasilitas Asphalt Mixing Plant (AMP) terbatas. Tetapi pada aplikasinya dilapangan CPHMA juga memiliki kelemahan dalam workability karena campuran yang sudah dingin lebih kaku sehingga lebih susah untuk dipadatkan karenanya mempengaruhi kinerja campuran (Suroso, 2008).

Di negara-negara tertentu, styrofoam telah diterapkan sebagai bahan tambahan untuk aspal. Di Bagdad, Irak, styrofoam telah digunakan di beberapa jalan dan dapat mengurangi keretakan dan bekas roda, mengurangi kematangan, meningkatkan hambatan slip (Isra, S, J, 2017). Styrofoam dapat mengurangi ketidakberdayaan terhadap perbedaan suhu, sehingga dapat mengurangi biaya dukungan karena dapat meningkatkan kekokohan dan kinerja aspal. Selain itu, pemanfaatannya dalam kombinasi aspal dapat mengurangi pemborosan styrofoam hingga 40-80% (Cook, M, 2016).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mendapatkan gambaran seberapa besar pengaruh penambahan styrofoam terhadap karakteristik Marshall pada campuran aspal buton tipe CPHMA dengan perendaman berulang. Untuk mengurangi dampak pencemaran limbah styrofoam, dipercaya selain meningkatkan daya dukung jalan, juga dapat menekan biaya pembuatan campuran perkerasan tanpa mengurangi kenyamanan dan keamanan pengguna jalan.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1. Lokasi Penelitian**

Pemeriksaan, pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar. Jenis penelitian ini yaitu eksperimen di laboratorium berupa pengujian Marshall dengan perendaman berulang.

### **2.2. Bahan dan Alat**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bitumen asbuton CPHMA dan limbah styrofoam. Adapun alat-alat yang digunakan adalah: alat uji ekstraksi, satu set saringan, timbangan dengan akurasi 0,1 gr, bak perendam, kuas dan kain lap, cetakan benda uji dengan diameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3"), ejector, batang penumbuk, landasan pematat, alat uji Marshall, dan bak perendam (*water bath*).

### **2.3. Prosedur Penelitian dengan Alat Marshall**

Metodologi pengujian adalah benda uji yang telah dipadatkan dan didinginkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji di udara, kemudian direndam air selama 24 jam pada suhu kamar, kemudian pada saat itu muncul air untuk berat benda uji. Benda uji di dalam air, kemudian pada saat itu benda uji diangkat dan dibersihkan kemudian ditimbang untuk menentukan berat benda uji di dalam air. Berat kering permukaan basah (SSD).

Kemudian pada saat itu benda uji direndam dalam air bersuhu 60°C selama 30 menit dalam *water bath*. Setelah 30 menit, contoh dikeluarkan dan kemudian dicoba dengan alat Marshall. Dari pengujian contoh-contoh tersebut akan diperoleh informasi stabilitas dan flow sebagai alasan untuk menentukan sifat-sifat kombinasi. Rencana campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah CPHMA.

### **2.4. Prosedur Penelitian dengan Perendaman Berulang**

Prosedur pengetesan adalah benda uji yang telah dipadatkan dan didinginkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji di udara, kemudian melakukan perendaman berulang dengan 6 hari, 12 hari, dan 18 hari. Dilakukan perendaman dengan cara pada hari pertama direndam selama 24 jam dan hari kedua diangkat dan dilap. Pada hari ketiga direndam kembali selama 24 jam, dan diulangi prosedur tersebut sampai 12 hari. Begitu pula dengan perendaman 12 hari dilakukan sama seperti prosedur sebelumnya sampai 24 hari. Selanjutnya perendaman 18 hari dilakukan proses perendaman berulang sampai hari ke 36. Kemudian benda uji yang telah melalui proses perendaman berulang, diuji dengan alat Marshall.

Strategi pengujian adalah benda uji yang telah ditetapkan dan didinginkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji di udara, kemudian pada saat itu dilakukan perendaman berulang selama 6 hari, 12 hari, dan 18 hari, dengan cara direndam dalam air. Hari pertama selama 24 jam dan hari berikutnya diangkat dan dibersihkan, hari ketiga direndam lagi selama 24 jam, dan cara diulang selama 12 hari. Selain itu, perendaman 12 hari dilakukan setara dengan metode sebelumnya selama 24 hari dan proses perendaman 18 hari diulang hingga proses penyiraman 36 hari. Kemudian benda uji yang telah mengalami proses perendaman berulang dikeluarkan dan kemudian diuji dengan alat Marshall.

## 2.5 Pengukuran Parameter

### a. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\ \text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\ \text{Berat jenis semu (Appernt Specific Gravity)} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ \text{Penyerapan (Absorption)} &= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \end{aligned}$$

Keterangan:

B<sub>k</sub> = Berat benda kering oven  
 B<sub>j</sub> = Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)  
 B<sub>a</sub> = Berat benda uji di dalam air

### b. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} &= \frac{B_k}{B + 500 - B_t} \\ \text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} &= \frac{B_j}{B + 500 - B_t} \\ \text{Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)} &= \frac{B_k}{B + B_k - B_t} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \end{aligned}$$

Keterangan :

SSD = Berat benda uji kering permukaan jenuh  
 B<sub>k</sub> = Berat benda kering oven  
 B = Berat piknometer + air  
 B<sub>t</sub> = Berat piknometer + air + benda uji

### c. Pemeriksaan Kadar Aspal hasil ekstraksi

$$PB = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + \text{konstanta}$$

Keterangan:

PB = Perkiraan kadar aspal optimum  
 CA = Agregat kasar  
 FA = Agregat halus

### d. Pengujian Marshall

- Stabilitas

$$S = p \times q$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya  
 P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat  
 q = angka koreksi benda uji

- Kelelahan (*Flow*)

*Flow* adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima.

- Kerapatan (*density*)

$$g = c / f$$

$$f = d - e$$

Keterangan:

g = Nilai kepadatan (gr/cc)  
 c = Berat kering / sebelum direndam (gr)  
 d = Berat benda uji jenuh air (gr)  
 e = Berat benda uji dalam air (gr)  
 f = Volume benda uji (cc)

- VIM (*Void In The Mix*)

$$VIM = (100 - i - j)$$

$$b = \frac{a}{100+a} \times 100$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat}$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ.Agregat}$$

Keterangan:

- a = Persentase aspal terhadap batuan
- b = Persentase aspal terhadap campuran
- g = Persen rongga terisi aspal
- i dan j = rumus substitusi

- VFA (Void Filled With Asphalt)

$$VFA = 100 \times \frac{i}{j} = 100$$

$$b = \frac{a}{100+a} \times 100$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat}$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ.Agregat}$$

$$I = 100 - j$$

Keterangan:

- a = Persentase aspal terhadap batuan
- b = Persentase aspal terhadap campuran
- g = Persen rongga terisi aspal
- i dan j = rumus substitusi

- Void in Mineral Aggregate (VMA)

Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah dan suhu pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal.

- Marshall Quotient

$$\frac{MQ}{S} = \frac{S}{F}$$

Keterangan:

- MQ = Nilai Marshall Quotient (kg/mm)
- S= Nilai Stabilitas
- F= Nilai flow

## 2.6. Rancangan Benda Uji

Rancangan benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

**Tabel 1.** Tabel Notasi dan Jumlah Benda Uji

No	Variasi	Kode Sampel	Cphma + Styrofoam (gram)	Styrofoam Terhadap berat Aspal (%)	Berat Styrofoam (gram)	Waktu Perendaman			Jumlah
1	CPHMA + 0% Styrofoam	CN	1200,00	0	-	30 m	&	2x24 jam	6
2	CPHMA +5% Styrofoam	CPHMA 5% STF	1203,92	5	3,92	6 hari	12 hari	18 hari	9
3	CPHMA +10% Styrofoam	CPHMA 10% STF	1207,85	10	7,85	6 hari	12 hari	18 hari	9
4	CPHMA +15% Styrofoam	CPHMA 15% STF	1211,77	15	11,77	6 hari	12 hari	18 hari	9
Total Sampel									33

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, 2021

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Alat Marshall

Tujuan pengujian Marshall yaitu untuk mengetahui karakteristik Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) dengan kadar aspal dengan waktu 30 menit. Maksud dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui ketahanan

(Stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*Flow*) dari campuran aspal tersebut, untuk lebih jelas dapat dilihat pada lampiran.

**Tabel 10.** Resume Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Marshall Sisa dengan Perendaman Selama 30 Menit dan 2x24 Jam

No	Pemeriksaan	Kadar Aspal 6,54%		Spesifikasi 2018
		Perendaman		
		30 Menit	2 x 24 Jam	
1	Kepadatan	2,35	2,34	-
2	Stabilitas (Kg)	1339,95	1243,80	Min 500
3	FLOW (mm)	3,17	3,40	3-5
4	VMA (%)	16,25	16,50	Min 16
5	VIM (%)	6,11	6,34	4-10
6	VFB (%)	62,43	61,61	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	423,20	366,52	Min 250
8	Stabilitas Sisa (%)	93		Min 60

Sumber: Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

**Tabel 11.** Resume Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah Styrofoam 5% dengan Perendaman Berulang

No	Pemeriksaan	Penambahan Styrofoam 5%				Spesifikasi 2018
		Kadar Aspal 6,54%				
		Waktu Perendaman				
		Normal	6 Hari	12 Hari	18 Hari	
1	Kepadatan	2.35	2.35	2.34	2.31	-
2	Stabilitas (Kg)	1339.95	1257.93	1170.20	1084.36	Min 500
3	FLOW (mm)	3.17	3.53	3.73	4.07	3 - 5
4	VMA (%)	16.25	16.31	16.61	17.57	Min 16
5	VIM (%)	6.11	6.17	6.51	7.09	4 - 10
6	VFB (%)	62.43	62.23	60.83	59.59	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	423.20	359.41	313.67	266.83	Min 250

Sumber: Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

**Tabel 12.** Resume Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah styrofoam 10% dengan Perendaman Berulang

No	Pemeriksaan	Penambahan Styrofoam 10%				Spesifikasi 2018
		Kadar Aspal 6,54%				
		Waktu Perendaman				
		Normal	6 Hari	12 Hari	18 Hari	
1	Kepadatan	2.35	2.34	2.32	2.30	-
2	Stabilitas (Kg)	1339.95	1136.12	1002.42	940.25	Min 500
3	Flow (mm)	3.17	4.13	4.23	4.37	3 - 5
4	VMA (%)	16.25	16.67	17.16	17.95	Min 16
5	VIM (%)	6.11	6.58	7.12	8.00	4 - 10
6	VFB (%)	62.43	60.89	58.60	56.50	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	423.20	279.60	238.16	216.78	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

**Tabel 13.** Resume Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah Styrofoam 15% dengan Perendaman Berulang

No	Pemeriksaan	Penambahan Styrofoam 15%				Spesifikasi 2018
		Kadar Aspal 6,54%				
		Waktu Perendaman				
		Normal	6 Hari	12 Hari	18 Hari	
1	Kepadatan	2.35	2.32	2.30	2.29	-
2	Stabilitas (Kg)	1339.95	981.29	874.30	828.76	Min 500
3	FLOW (mm)	3.17	4.67	4.83	5.20	3 - 5
4	VMA (%)	16.25	17.22	18.03	18.40	Min 16
5	VIM (%)	6.11	7.19	8.10	8.51	4 - 10
6	VFB (%)	62.43	58.31	55.17	53.75	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	423.20	210.70	181.17	159.99	Min 250

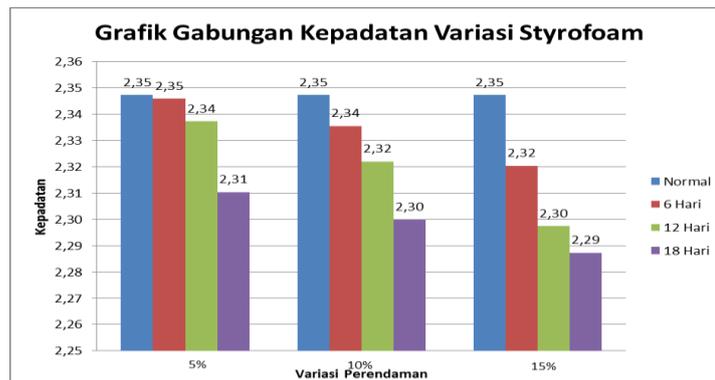
Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUP

### Hasil Pengujian dengan Limbah Styrofoam pada Campuran Beraspal Panas Asbuton Dihampar Dingin (CPHMA)

Hasil pengujian campuran benda uji pada alat pengujian Marshall dengan menggunakan perendaman *waterbath* selama 30 menit akan diperoleh hasil-hasil parameter Marshall dan hasil uji Marshall tersebut sebagai berikut:

a. Kepadatan (*density*)

Nilai kepadatan menunjukkan ketebalan kombinasi yang telah dipadatkan. Campuran dengan ketebalan tinggi di dalam *cut off* tertentu akan lebih siap menanggung beban yang lebih berat daripada kombinasi dengan ketebalan rendah. Nilai kepadatan suatu kombinasi dipengaruhi oleh kualitas dan organisasi bahan susun dan teknik pemadatan. Campuran akan memiliki kepadatan yang tinggi jika memiliki bentuk butir yang tidak seragam dan porositas butir yang rendah.

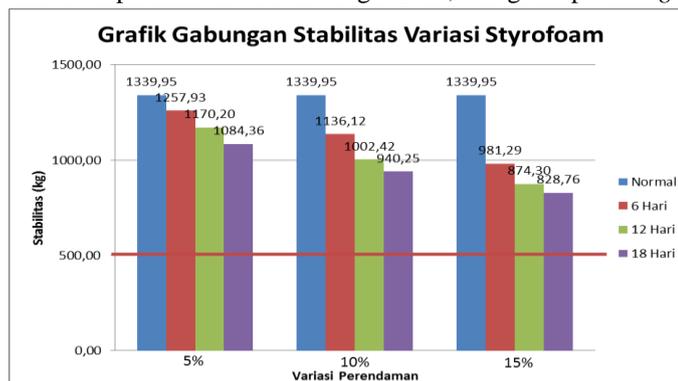


Gambar 1. Diagram Hubungan Variasi Penambahan Styrofoam Terhadap Kepadatan

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin lama perendaman yang dilakukan mempengaruhi nilai kepadatan (*density*) pada variasi perendaman. Hal ini disebabkan lamanya perendaman dapat mengurangi daya lekat aspal.

b. Stabilitas Minimum 500 Kg

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan aspal untuk menahan timbunan tanpa mengalami kerusakan (*twisting*) yang sangat tahan lama, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas. Aspal yang memiliki nilai kesehatan yang tinggi akan benar-benar ingin menahan beban lalu lintas yang sangat besar. Namun kepadatan yang rendah akan menyebabkan aspal tidak sulit untuk digunakan, menghadapi *rutting* oleh beban lalu lintas.



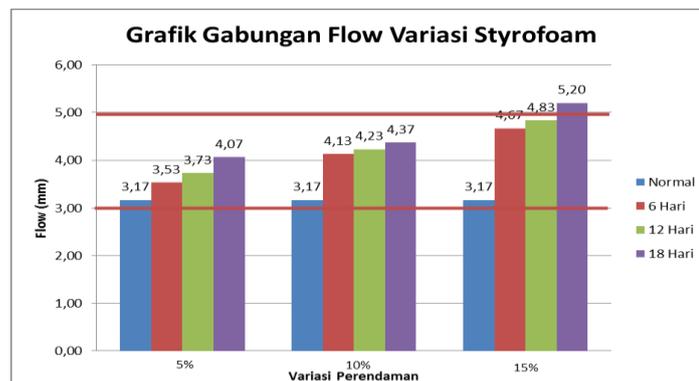
Gambar 2. Diagram Hubungan Variasi Penambahan Styrofoam Terhadap Stabilitas

Gambar 2 menunjukkan bahwa stabilitas campuran yang dilakukan perendaman, nilai stabilitas mengalami penurunan. Ketika campuran aspal direndam dalam air dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap ke dalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian semakin lama campuran terendam dalam air, maka

adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

c. Pelelehan (*Flow*) 3 - 5 mm

Nilai *Flow* menyatakan seberapa besar penurunan yang terjadi pada lapisan aspal akibat beban lalu lintas. Campuran dengan nilai aliran tinggi sering kali sangat halus sehingga akan menyebabkan deformitas yang sangat tahan lama ketika ditumpuk. Kemudian dengan asumsi nilai *flow* rendah, campuran menjadi kaku dan pecah. Secara efektif, dengan asumsi tersebut mendapat tumpukan yang memenuhi batas beban yang dapat diterima.

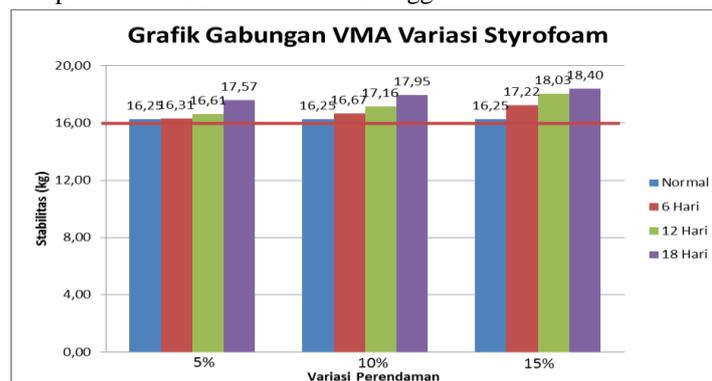


**Gambar 3.** Diagram Hubungan Variasi Penambahan Styrofoam Terhadap Flow

Gambar 3 menunjukkan bahwa variasi perendaman menyebabkan nilai *flow* meningkat. Semakin lama perendaman air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap ke dalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi daya rekat aspal.

d. Rongga Dalam Agregat (*VMA*) Min 16%

*Void in Mineral Aggregates* (*VMA*) menunjukkan tingkat rongga antara butiran total, menggabungkan rongga yang diisi dengan udara dan kekurangan yang diisi dengan lapisan aspal yang menarik. Faktor-faktor yang mempengaruhi *VMA* mencakup jumlah dampak, derajat total, dan substansi lapisan aspal. Nilai *VMA* mempengaruhi sifat, impermeabilitas dan kekuatan campuran terhadap air dan udara bebas serta kekokohan campuran. Semakin tinggi nilai *VMA*, semakin banyak rongga dalam campuran yang diisi dengan aspal, sehingga perlindungan campuran dari air dan udara lebih tinggi.



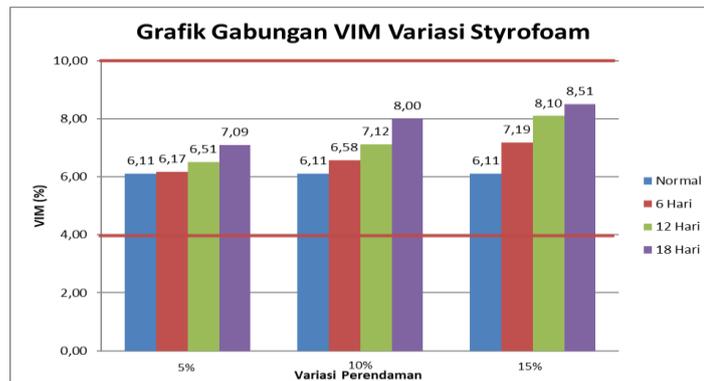
**Gambar 4.** Diagram Hubungan Variasi Penambahan Styrofoam Terhadap VMA

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin lama variasi perendaman keseluruhan benda uji mengalami peningkatan nilai *VMA*. Hal ini disebabkan karena butiran material akan sulit merapat dikarenakan viskositas aspal yang semakin rendah. Penambahan proporsi kadar styrofoam pada campuran benda uji CPHMA juga menyebabkan rongga dalam campuran terisi merata sehingga ikatan antar agregat semakin tidak kuat, yang menyebabkan nilai *VMA* meningkat. Nilai *VMA* yang terlalu tinggi menunjukkan bahwa rongga udara antar

mineral agregat besar, hal ini akan menyebabkan perkerasan jalan menjadi tidak tahan lama nantinya. Persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga untuk nilai VMA adalah minimum 16%. Untuk keseluruhan benda uji yang ada, nilai VMA yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang sudah ditetapkan.

e. Rongga dalam Campuran (VIM) Minimum 4% – 10%

VIM (*void in mixture*) merupakan tingkat rongga udara dalam kombinasi antara total dan aspal setelah pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah batas yang biasanya dihubungkan dengan kekokohan dan kekuatan campuran. Semakin rendah harga VIM, semakin tahan air. Namun, nilai VIM yang terlalu kecil dapat membawa munculnya aspal ke permukaan.

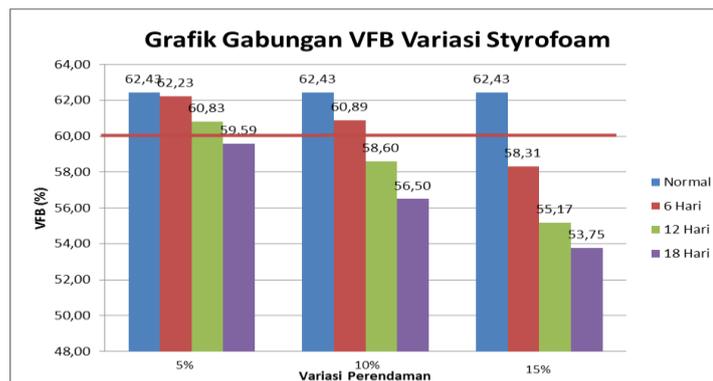


**Gambar 5.** Diagram Hubungan Variasi Penambahan Styrofoam Terhadap VIM

Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah styrofoam dalam campuran yang direndam secara berulang mengalami peningkatan pada nilai VIM. Semakin naiknya nilai VIM pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam dalam air semakin lama air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 60%

Nilai VFB mengungkapkan tingkat kekosongan rongga yang dapat diisi dengan aspal. Harga VFB menentukan tingkat kekuatan kombinasi. Nilai VFB yang sangat besar menunjukkan seberapa banyak aspal yang mengisi lubang besar sehingga ketebalan campuran akan meningkat.

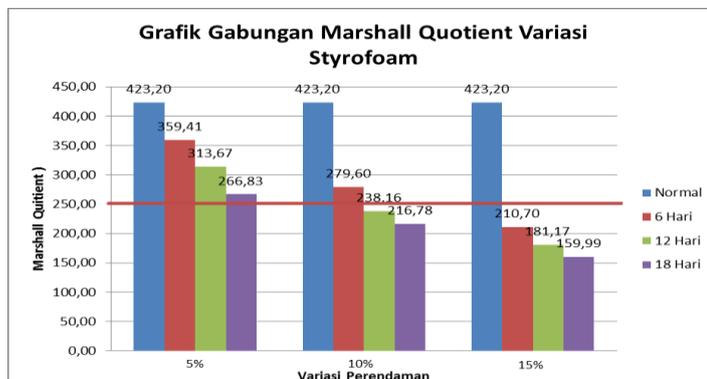


**Gambar 6.** Diagram Hubungan Variasi Penambahan Styrofoam Terhadap VFB

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai VFB pada keseluruhan benda uji mengalami penurunan. Penurunan nilai VFB menyatakan bahwa rongga yang ada dalam campuran lebih banyak tidak terisi aspal semakin lama variasi perendaman. Untuk keseluruhan benda uji yang ada, nilai VFB yang memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu nilai minimum sebesar 60% divariasi styrofoam 5% dengan perendaman 6 dan 12 hari.

g. *Marshall Quotient*

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan terhadap keretakan.



**Gambar 7.** Diagram Hubungan Variasi Penambahan Styrofoam Terhadap MQ

Gambar 7 menunjukkan bahwa penambahan styrofoam perendaman berulang menurunkan nilai Marshall Quotient dari campuran CPHMA. Hal ini menunjukkan bahwa sifat campuran tidak mudah getas, sehingga nilai Marshall Quotient meningkat. Nilai Marshall Quotient sangat dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan flow. Semakin tinggi nilai stabilitas terhadap nilai flow, maka nilai MQ (Marshall Quotient) juga akan semakin tinggi.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian tentang pengaruh limbah styrofoam terhadap karakteristik campuran aspal buton tipe CPHMA dapat menyebabkan nilai kepadatan, stabilitas, MQ, dan VFB menurun. Sedangkan nilai flow, VMA, dan VIM meningkat. Dari hasil penelitian dapat diketahui besar volume limbah styrofoam yang dapat memberikan nilai stabilitas maksimal yaitu pada kadar styrofoam 5%.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Bina Marga. (2016). Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas dengan Asbuton Lawele, Republic Indonesia Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/spesifikasi-khusus-interim-5-seksi-63-campuran-beraspal-panas-dengan-asbuton-lawele-sk-6631>

Ditjen Bina Marga. (2013). Spesifikasi Khusus Interim Seksi 6.3 Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin CPHMA, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum. [https://binamarga.pu.go.id/v3/assets/files/NSPK/2013\\_SKh-.6.3.3%20Cold%20Paving%20Hot%20Mix%20Asbuton.pdf](https://binamarga.pu.go.id/v3/assets/files/NSPK/2013_SKh-.6.3.3%20Cold%20Paving%20Hot%20Mix%20Asbuton.pdf)

Ditjen Bina Marga. (2015). Pedoman Pelaksanaan Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin Cold Pavement Hot Mix Asbuton, CPHMA, Jakarta: Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/pedoman-pelaksanaan-asbuton-campuran-panas-hampar-dingin-cold-paving-hot-mix-asbuton-cphma>

Elsa Eka Putri. (2020). Studi Penggunaan Limbah Styrofoam Pada Perkerasan Aspal Porus, Universitas Andalas. <https://doi.org/10.31869/rtj.v3i2.1705>

Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). Pedoman Spesifikasi Teknis Campuran Beraspal dengan Asbuton, Jakarta. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/pedoman-spesifikasi-teknis-campuran-beraspal-dengan-asbuton>

Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, Affiifi. (2014). Pemanfaatan Limbah Karet Ban dan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Menjadi Aspal Sintetis dengan Oli Bekas Sebagai Pelarut. Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents, 5–33

Menteri Pekerjaan Umum. (2006). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 35/Prt/M/2006 Tentang Peningkatan Pemanfaatan Aspal Buton Untuk Pemeliharaan dan Pembangunan Jalan.

- <https://pustaka.pu.go.id/biblio/peraturan-menteri-pekerjaan-umum-nomor-35prtm2006-tentang-peningkatan-pemanfaatan-aspal-buton-untuk-pemeliharaan-dan-pembangunan-jalan/593D6>
- Noris, T.G. (2017). Analisa Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Substitusi ke dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus, Universitas Negeri Surabaya. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/17440/15868>
- Rahim, A., Wihardi, M., & Muhiddin, A.B. (2012). Pengaruh Air Laut Terhadap Karakteristik Perkerasan Aspal Porus yang Menggunakan Asbuton Sebagai Bahan Pengikat. Jurnal Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Makassar. <https://pasca.unhas.ac.id/jurnal/files/ff24f7402b2f239b45264078f9a64e28.pdf>