



PENGARUH PENAMBAHAN STYROFOAM TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL BETON AC-WC

Marselinus Nasot^{1*}, Adnan², Abd. Muis. B³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel:

Dikirim: 15 Juli 2022

Revisi: 19 Juli 2022

Diterima: 28 Juli 2022

Tersedia online: 31 Juli 2022

Keywords:

Styrofoam, Karakteristik Marshall, KAO, AC-WC

*Penulis Korespondensi:

Marselinus Nasot,
Program Studi Teknik Sipil,
Universitas Muhammadiyah
Parepare,
Jl Jenderal Ahmad Yani KM. 6,
Kota Parepare, Indonesia.
Email:
[Email: nasotmarsel@gmail.com](mailto:nasotmarsel@gmail.com)

ABSTRACT

Styrofoam is one type of waste that is difficult to decompose so that it can have an impact on environmental problems. Therefore, many researchers recycle styrofoam waste, one of which is as an additive material for asphalt mixtures. The purpose of this study was to determine whether the addition of styrofoam waste can increase the strength of the concrete mixture, especially AC-WC. experimental testing was carried out in the laboratory starting from May to June 2021. The conclusion obtained from the test was that the addition of 5% styrofoam could increase the strength of the AC-WC asphalt mixture, while the styrofoam content of 10%, 15% and 20% did not meet the requirements. the required SNI standards.

ABSTRAK

Styrofoam merupakan salah satu jenis limbah yang sulit diuraikan sehingga dapat berdampak pada permasalahan lingkungan. Oleh karena itu banyak peneliti yang mendaur ulang kembali limbah tersebut salah satunya sebagai bahan adiktif terhadap campuran aspal. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui apakah penambahan limbah styrofoam dapat meningkatkan kekuatan campuran aspal beton khususnya AC-WC. Pengujian secara eksperimental dilaksanakan pada laboratorium terhitung dari bulan Mei hingga Juni 2021. Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian adalah penambahan styrofoam 5% dapat meningkatkan kekuatan campuran aspal AC-WC, sedangkan untuk kadar styrofoam sebanyak 10%, 15% dan 20% tidak memenuhi standar SNI yang telah disyaratkan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



I. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang dibutuhkan dalam rangka pemenuhan kebutuhan ekonomi sehingga harus tetap di pertahankan dalam kondisi baik. Air adalah faktor utama penyebab rusaknya pada konstruksi perkerasan jalan lentur yang rusak berupa longsor, lubang dan retak, sehingga menurunkan kinerja jalan dan memperpendek umur layan jalan. Hal ini dikarenakan air laut yang menggenangi jalan akan sangat mempengaruhi kinerja jalan sehingga mengakibatkan penurunan kinerja dan umur jalan [1].

Limbah didefinisikan sebagai bahan sisa yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan proses produksi, baik pada skala rumah tangga, industri, pertambangan dan lainnya. Bentuk limbah dapat berupa gas, debu, cair dan padat. Limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan daur ulang seperti limbah plastik diantara limbah plastik yang dapat di daur ulang adalah limbah styrofoam. Penggunaan styrofoam yang semakin

banyak berakibat meningkatnya limbah styrofoam. Styrofoam dikenal sebagai gabus putih yang sering dipakai untuk pengganjal pada pengepakan barang elektronik. Styrofoam adalah sejenis polimer plastik yang memiliki sifat seperti aspal yaitu sifat termoplastik, ketika dipanaskan menjadi lunak dan mengeras kembali setelah dingin. Penggunaan styrofoam sebagai bahan aditif dalam campuran aspal sekaligus untuk mengurangi jumlah limbah styrofoam [5].

A. Aspal

Aspal atau bitumen adalah bahan kental memiliki warna hitam, elastis, semi padat, dan komponen utamanya adalah aspal alam yang ditemukan pada alam dan memperolehnya dengan penyulingan pada minyak. Aspal adalah bahan yang mempunyai warna cokelat tua dengan sifat pembentuk gel. Aspal terdiri dari serangkaian hidrokarbon dan turunannya. Biasanya merupakan residu dan hasil penyulingan minyak mentah di bawah vakum. Ini semisal padat pada suhu kamar dan tidak memiliki sifat logam menguap dan

secara bertahap melunak saat dipanaskan. Aspal adalah bahan kental elastis yang perilakunya tergantung pada suhu dan durasi beban. Dalam hal pencampuran dan pemadatan, karakteristik aspal meliputi viskositas. Namun, selama masa pakainya aspal bersifat kental dan elastis [2].

B. Bahan Campuran Beraspal

Suatu campuran beraspal sebagai lapis perkerasan harus memiliki karakteristik yaitu stabilitas (*stability*), keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kemudahan dalam proses pelaksanaan (*workability*), kekesatan permukaan (*skid resistance*) dan kedap air (*impermeability*) [2].

C. Agregat

Pengujian agregat yang umumnya dilaksanakan antara lain ukuran butir, gradasi, kebersihan, kekerasan, bentuk partikel, tekstur permukaan, penyerapan, dan kelekatan terhadap aspal [2].

D. Polimer (Styrofoam)

Meningkatnya jumlah penduduk secara otomatis meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan sehingga menimbulkan permasalahan tersendiri. Karena sulit diuraikan, limbah styrofoam yang berasal dari pelapis barang elektronik serta kemasan makanan memerlukan lahan yang luas untuk penanganannya. Mengirim limbah styrofoam ke lokasi tempat pembuangan akhir (TPA) sampah membuat TPA cepat penuh dan di kota-kota besar cukup sulit untuk mencari lokasi baru yang cocok sebagai lahan TPA untuk menggantikan TPA lama sehingga menjadi beban bagi pemerintah daerah. Styrofoam memiliki karakteristik dasar seperti aspal yang dapat berbentuk solid pada temperatur ruang, meleleh pada suhu di atas 100°C dan menjadi kaku kembali ketika didinginkan. Penggunaan limbah styrofoam pada campuran perkerasan aspal juga meningkatkan kemampuan memikul beban dan memperkecil kelelahan (*flow*), meningkatkan kemampuan terhadap rutting dan retak, mengurangi kerusakan akibat *fatigue*, mengurangi pengelupasan butiran serta lebih tahan terhadap cuaca [11].

E. Lapisan Aspal Beton

Laston didefinisikan lapisan struktural berharga yang diterapkan pada konstruksi perkerasan jalan. Kombinasi ini terdiri dari agregat bergradasi menerus serta aspal keras yang telah dicampur, didispersikan, serta dipadatkan pada suhu tertentu. Laston didefinisikan

lapisan konstruksi jalan yang tersusun dari kombinasi aspal keras serta agregat dengan gradasi menerus yang dicampur, didistribusikan, serta dipadatkan pada temperatur tertentu. Jenis lapisan campuran aspal panas yakni laston, diklasifikasikan menjadi AC lapis aus (AC-WC), AC lapis antara (AC-BC), serta AC lapis pondasi (AC-Base). Pada penelitian ini meninjau jenis beton aspal campuran panas AC-WC [2].

F. Penelitian Terdahulu

1) *Karakteristik Aspal (HRS-WC) Dalam Kondisi Terendam Air Laut Dengan Variasi Waktu Rendaman Berdasarkan Uji Marshall: Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh akibat perendaman air laut, baik pada perendaman dengan air laut 24 jam maupun 48 jam. Secara keseluruhan, semakin lama campuran aspal yang direndam dalam air laut, akan berpengaruh pada peningkatan nilai VIM, VMA, dan kelelahan, sedangkan pada stabilitas dan nilai *marshall quotient* (MQ) akan mengalami penurunan mengakibatkan kehilangan durabilitas atau keawetan [1].*

2) *Pemanfaatan Limbah Styrofoam Untuk Substitusi Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Laston Dengan Metode Pencampuran Basah Dan Kering: Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk metode basah yang memenuhi persyaratan Bina Marga adalah kadar aspal 5,50% dengan persentase styrofoam 12% dan nilai stabilitas yaitu 1000,52 kg dan metode kering diperoleh hasil terbaik kadar aspal 5 % persentase styrofoam 15% dengan nilai 1623,40 kg [3].*

3) *Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Penambahan Styrofoam: Hasil dari pengujian Marshall campuran styrofoam didapat hasil terbaik pada kadar 6,5% yang lebih banyak memenuhi syarat dengan nilai stabilitas sebesar 1362,045 kg, nilai VITM 4,96%, VMA 15,02%, VFWA 67,8%, flow 3,44 mm, dan MQ 416,338 kg/mm [5].*

4) *Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC: Penggunaan kadar limbah styrofoam yang banyak membuat rongga dalam campuran menjadi kecil sehingga campuran bisa lebih tahan terhadap air, tetapi kekuatan campuran menurun dikarenakan semakin bertambah kadar limbah Styrofoam sehingga membuat rongga dalam campuran banyak yang terisi oleh butiran limbah Styrofoam yang telah larut dan tercampur dengan aspal yang mengakibatkan aspal tidak efektif dalam mengikat agregat sehingga kekuatan campuran menjadi berkurang [6].*

5) *Uji Experimental Variasi Agregat Halus Pada Campuran Asphalt AC-BC*: Hasil penelitian menunjukkan bahwa gradasi agregat gabungan campuran tidak melebihi dan tidak kurang dari spesifikasi kecuali pada percobaan variasi 55% pada saringan No.8 yaitu 51.55 sedangkan spesifikasinya 30-49. Berdasarkan hasil uji marshall hasil yang di dapatkan dari ketiga percobaan tidak melebihi dan tidak kurang dari spesifikasi kecuali pada hasil nilai VIM pada percobaan variasi 45% dan 50% pada masing nilai kadar aspal optimum 6,5% yaitu 5.22% serta 5.35% sedangkan spesifikasinya 3% - 5% [7]

6) *Pengaruh Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Laston Lapisan Aus*: Styrofoam pada campuran Laston Lapis Aus mampu mengisi rongga pada campuran yang membuat rongga menjadi lebih kecil, membuat ikatan antara agregat menjadi lebih kuat sehingga dengan adanya penambahan Styrofoam campuran menjadi lebih kedap air/ tahan terhadap air, cuaca dan beban lalu lintas [8].

7) *Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-WC Yang Menggunakan Sungai Bittuang*: Hasil pengujian yaitu jika kadar limbah Styrofoam 1%, maka nilai VIM, VMA, dan Flow mengalami penurunan pada setiap kadar limbah Styrofoam, sedangkan untuk nilai Stabilitas dan VFB selalu meningkat pada setiap kadar limbah Styrofoam. Adapun hasil pengujian Marshall Immersion memperoleh nilai stabilitas campuran dapat menahan rendaman selama 24 jam [9].

8) *Pengaruh Penambahan Limbah Keramik Sebagai Filler Pada Lapisan Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*: Pada penambahan 50% dan 100% keramik nilai VMA, MQ, stabilitas, flow dan VFB memenuhi spesifikasi sedangkan nilai VIM tidak. Penambahan serbuk keramik terhadap karakteristik Marshall hanya berpengaruh pada peningkatan stabilitas dan flow sedangkan VIM tidak ada yang memenuhi spesifikasi sehingga penggunaan serbuk keramik sebagai filler pada campuran AC-WC tidak bisa dipakai [4].

9) *Pengaruh Penetration Index Terhadap Karakteristik Marshal Laston Menggunakan Limbah Styrofoam Dan PVC*: Berdasarkan analisa yang dilakukan disimpulkan bahwa penggunaan limbah styrofoam dan limbah PVC meningkatkan nilai penetration index dan nilai penetration index berpengaruh sangat signifikan terhadap karakteristik campuran laston tersebut [10].

10) *Pengaruh Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-WC Batu Sungai Tetean Kab. Mamasa*: Semuanya memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Pengaruh penambahan styrofoam pada campuran AC-WC mampu mengisi rongga pada campuran yang membuat rongga menjadi lebih kecil, membuat ikatan antara agregat menjadi lebih kuat sehingga dengan adanya penambahan styrofoam campuran menjadi lebih kedap air/ tahan terhadap air ,cuaca dan beban lalu lintas [11].

G. Tujuan Umum Penelitian

Adapun tujuan umum dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan Styrofoam terhadap karakteristik marshall pada lapisan aspal beton AC-WC dan untuk mengetahui apakah dengan penambahan Styrofoam dapat meningkatkan kekuatan campuran aspal.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu penelitian di laboratorium yang bertujuan untuk menyelidiki sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Proses penelitian dilakukan dengan melakukan serangkaian pengujian terhadap karakteristik bahan yang digunakan dengan persyaratan yang ditentukan.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PT. Mareraya Multi Pratama Jaya Sempang E Sengkang Kabupaten Wajo. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan Juni 2021.

C. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dari Laboratorium PT. Mareraya Multi Pratama Jaya Sempang E Sengkang Kabupaten Wajo dan dipastikan dalam kondisi yang baik dan sesuai spesifikasi.

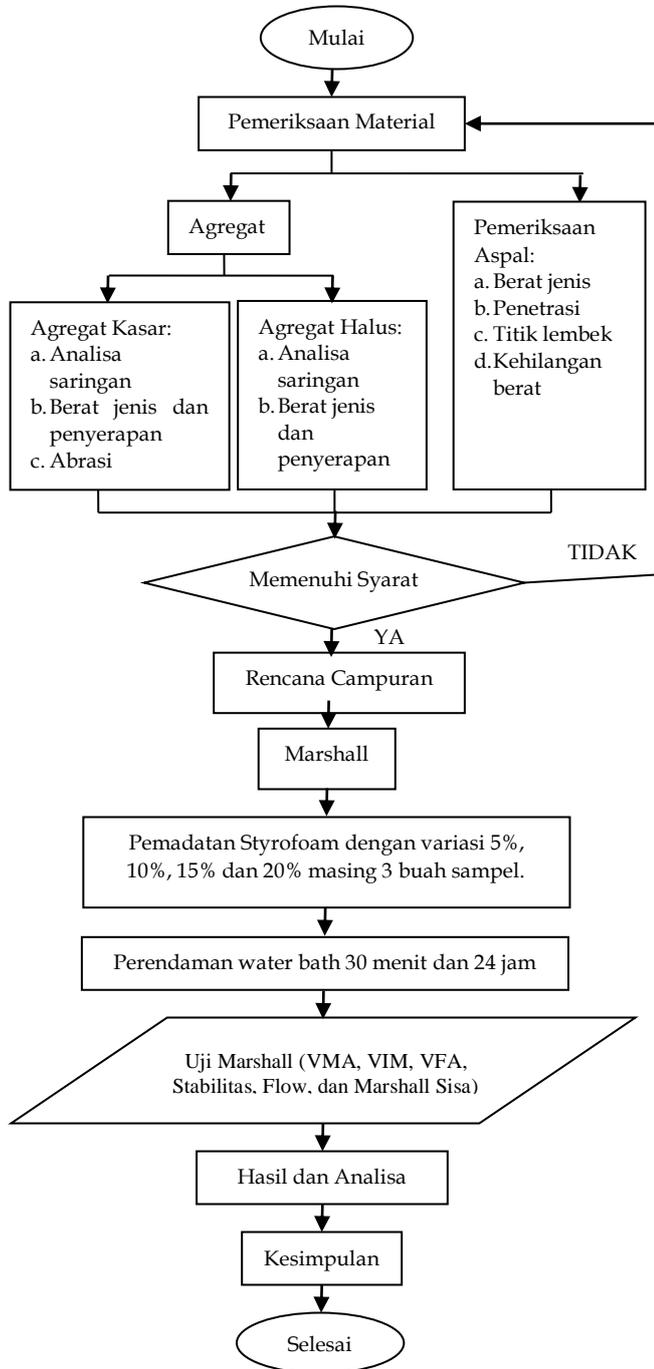
1) *Alat*: Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari mesin Los Angeles, saringan (ayakan), mesin penggetar ayakan (*shieve shaker*), oven, timbangan, talang, kompor, wajan, sodek, *thermometer*, *mold*, *compactor*, dongkrak dan marshall.

2) *Bahan*: Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari agregat halus (abu batu), agregat kasar (batu pecah ukuran 0,5-1), agregat kasar (batu pecah ukuran 1-2), semen dan aspal minyak.

D. Teknik Pengumpulan Data

Data diperoleh dari pengujian material di Laboratorium dan wawancara terhadap pihak yang berkaitan langsung dengan Laboratorium jalan.

E. Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Material

Pengujian agregat ini harus sesuai dengan acuan Kementerian Perkerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 Revisi II.

1) *Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar:* Bahan agregat yang digunakan dalam penelitian ini, terdiri dari agregat kasar dan agregat halus untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan. SNI 03-1968-1990. Hasil pemeriksaan saringan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis Saringan Agregat Kasar Batu Pecah 1-2

Saringan	Berat Tertahan Sampel I	Berat Tertahan Sampel II	Rata-Rata Lolos %
ASTM 3/4 (mm)	19		100
1/2	12,5	1212,000	18,306
3/8	9,5	253,000	1,933
No. 4	4,75	35,000	
No. 8	2,36		
No. 16	1,18		
No. 30	0,6		
No. 50	0,3		
No. 100	0,15		
No. 200	0,075		
PAN		1500,400	1500,200

Tabel 2. Analisis Saringan Agregat Kasar 0,5-1

Saringan	Berat Tertahan Sampel I	Berat Tertahan Sampel II	Rata-Rata Lolos %
ASTM 3/4 (mm)	19		100
1/2	12,5		100
3/8	9,5	25,500	98,070
No. 4	4,75	1290,100	13,154
No. 8	2,36		
No. 16	1,18		
No. 30	0,6		
No. 50	0,3		
No. 100	0,15		
No. 200	0,075		
PAN		1500,400	1500,200

2) *Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus*

Tabel 3. Analisis Saringan Agregat Halus Abu-Batu

Saringan		Berat Tertahan Sampel I	Berat Tertahan Sampel II	Rata-Rata Lolos %
ASTM	(mm)			
¾	19			100,000
½	12,5			100,000
3/8	9,5			100,000
No. 4	4,75			100,000
No. 8	2,36	327,600	349,200	77,442
No. 16	1,18	423,500	443,200	48,553
No. 30	0,6	264,400	272,500	30,658
No. 50	0,3	144,800	133,200	21,392
No. 100	0,15	159,600	145,500	11,223
No. 200	0,075	81,100	71,500	6,136
PAN		99,100	85,000	
		1500,1	1500,1	

3) *Pengujian Analisis Saringan No. 200 Pada Filler*

Tabel 4. Hasil Pengujian Analisis Saringan Pada Filler

Jenis filler	No. saringan	Ukuran saringan	Spesifikasi	Hasil penelitian
Semen	No. 200	0,075	Min 75 %	99,1 %

4) *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar:* Dari pengujian berat jenis agregat kasar 1-2 didapat berat jenis (BULK) rata-rata 2,553 gr, Berat jenis jenuh kering permukaan rata-rata 2,598 gr, berat jenis semu rata-rata 2,674 gr, penyerapan air rata-rata 1,781 gr, dan berat jenis (BULK) rata-rata 3,852 gr. Pengujian Ini Telah Memenuhi Persyaratan Kementrian Perkerjaan Umum Bina Marga 2018 Revisi II, dengan minimum 3%.

5) *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*

Tabel 5. Berat Jenis Agregat Halus

No	Pengujian	Spesifikasi	Nilai
1	Berat Jenis		
	a. Kering Oven(<i>Bukl</i>	Perbandingan	2,544
	b. Kering Permukaan Jenuh (SSD)	Agregat Kasar Dan Halus Maks.	2,601
	c. Semu (<i>Apparent</i>)	0,2	2,697
2	Penyerapan (Absorpsi) %	Maks. 3%	2,224

Hasil pengujian ini telah memenuhi persyaratan karena pengujian berat jenis agregat halus di atas diperoleh berat jenis (BULK) rata-rata 2,544 gr, berat jenis kering

jenuh rata-rata 2,601 gr, berat semu rata-rata 2,697 gr, dan penyerapan rata-rata 2,224, dengan spesifikasi 3%.

6) *Pemeriksaan Keausan Abrasi Agregat Kasar*

Tabel 6. Pemeriksaan Keausan Abrasi Agregat Kasar

Pengujian	Spesifikasi	Hasil pengujian
Keausan Agregat Kasar	Maks 30 %	28,744

Pemeriksaan keausan atau abrasi agregat kasar menggunakan mesin Los Angeles dan diputar sebanyak 500 putaran bersama dengan bola-bola baja sebanyak 12 bola. Pemeriksaan ini mengikuti prosedur SNI 03-2417-1991. Dari hasil pemeriksaan laboratorium didapat hasil pemeriksaan keausan agregat kasar 28,74% dimana spesifikasi 30%.

7) *Hasil Pengujian Berat Jenis Filler*

Tabel 7. Pengujian Berat Jenis Filler

Jenis Filler	Pengujian	Hasil Pengujian
Semen	Berat Jenis	3,10

B. *Pemeriksaan Aspal*

Pengujian aspal dilakukan untuk melihat apakah aspal tersebut layak dipakai dalam pengujian yang telah memenuhi persyaratan. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70.

Tabel 8. Pengujian Aspal

No. Contoh		1	L1	Rata-rata	
	Berat Conto				
a	Kering Oven (Kg)	D	3242.900	4313.300	3778.100
	Berat Contoh				
b	Kering Permukaan (Kg)	B	3302.800	4387.300	3845.050
	Berat Contoh				
c	Air (Kg)	C	2030.500	2700.300	2365.400
	Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{D}{B - C}$	2.549	2.557	2.553
	Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Permukaan)	$\frac{B}{B - C}$	2.592	2.601	2.598
e	Berat Jenis Semu	$\frac{D}{D - C}$	2.675	2.674	2.674
f	Penyerapan Air	$\frac{B - D}{D}$	1.847	7.176	1.781
g					

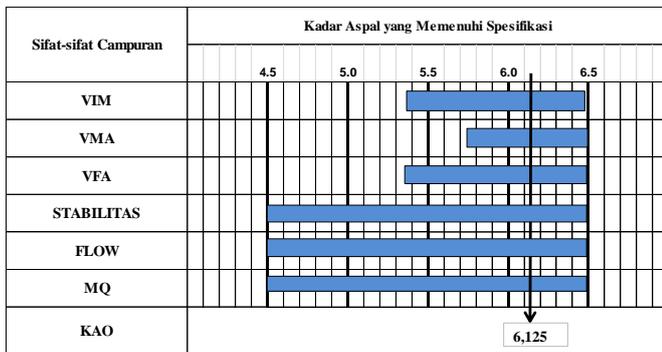
Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil pengujian aspal antara lain nilai penetrasi nilai yang didapat yaitu 65,9 mm, memenuhi spesifikasi 60-70 mm. untuk titik lembek nilai yang didapatkan 50,864 °C memenuhi spesifikasi 48°C, untuk pengujian kehilangan berat aspal nilai yang didapatkan 0,39 % memenuhi spesifikasi, untuk pengujian pemeriksaan aspal setelah kehilangan berat nilai yang didapatkan 85,33% memenuhi spesifikasi dan pengujian untuk berat jenis aspal nilai yang didapatkan 1,030 memenuhi spesifikasi yaitu Min. 1.

C. Menentukan Kadar Aspal Optimum

Nilai KAO Telah Memenuhi Persyaratan Kementerian Perkerjaan Umum Bina Marga Direktorat Jendral Bina Marga 2018 Revisi II. Maka diambil nilai terendah untuk menentukan nilai KAO, yaitu VMA.

$$KAO = (5,75 + 6,5) / 2 = 6,126\%$$

Dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Grafik Untuk Mencari Nilai KAO

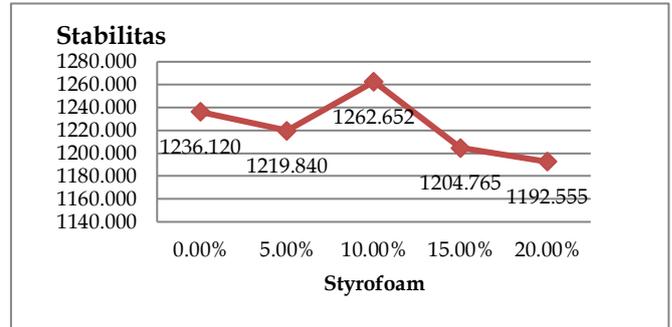
D. Pembuatan Briket Dengan Variasi Styrofoam

Setelah didapat nilai KAO selanjutnya pembuatan briket dengan variasi Styrofoam, karena penelitian ini penambahan Styrofoam dengan variasi Styrofoam 5 %, 10 %, 15 % dan 20 %. Berikut adalah rumusan untuk mendapatkan timbangan untuk setiap penambahan Styrofoam. Berikut adalah rumusan untuk mendapatkan timbangan setiap variasi styrofoam yang dinyatakan dalam kilogram (kg):

$$\begin{aligned}
 6,125 \times 1200 &= 73,50 \\
 5 \% \times 73,50 &= 3,675 \text{ gr} \\
 10 \% \times 73,50 &= 7,35 \text{ gr} \\
 15 \% \times 73,50 &= 11,025 \text{ gr} \\
 20 \% \times 73,50 &= 14,7 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

E. Pengujian Marshall

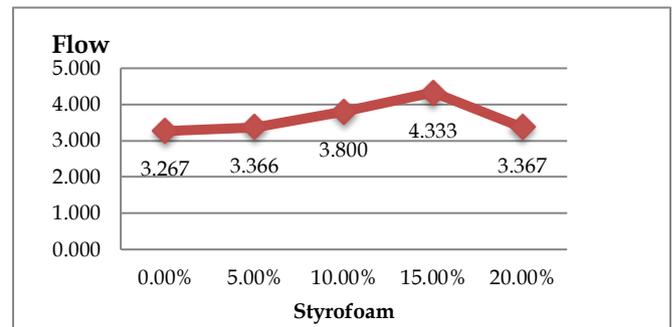
1) Pengujian Marshall Perendaman 30 Menit Untuk Nilai Stabilitas



Gambar 3. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai Stabilitas

Dari pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa nilai penambahan Styrofoam untuk 5%, nilai stabilitasnya adalah 1219,840 kg, untuk penambahan Styrofoam 10% adalah 1262,652 kg, untuk 15% adalah 1204,765 kg dan untuk 20% adalah 1192.555 kg. Mengacu pada spesifikasi bina marga 800 kg. Maka nilai diperoleh dari penambahan Styrofoam memenuhi standar yang ditentukan.

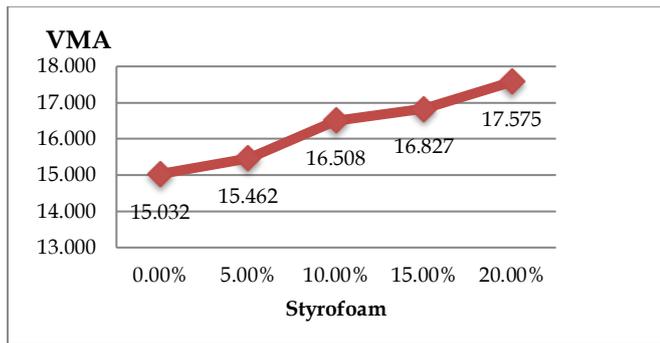
2) Pengujian Marshall Perendaman 30 Menit Untuk Nilai Flow (Kelelahan)



Gambar 4. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai Flow

Dari pengujian laboratorium diperoleh nilai flow hasil penambahan Styrofoam pada variasi Styrofoam 5% adalah 3,366%, untuk 10% adalah 3,800%, untuk 15% adalah 4,333% dan untuk 20% adalah 3,267%, dimana pada penambahan Styrofoam 5%, 10%, 20% memenuhi spesifikasi yang ditentukan adalah 2-4% dan pada variasi styrofoam 15% tidak memenuhi standar.

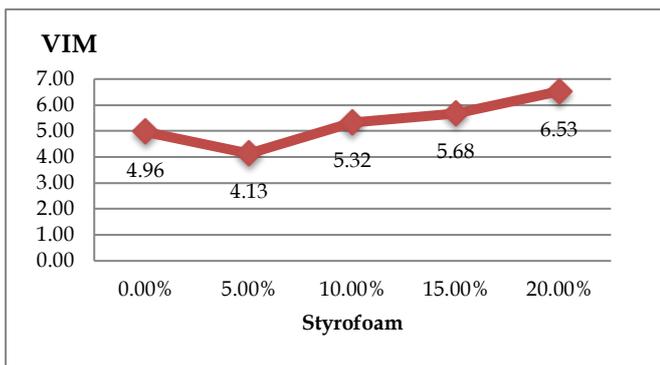
3) Pengujian Marshall Perendaman 30 Menit Untuk Nilai VMA



Gambar 5. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai VMA

Dari pengujian laboratorium diperoleh hasil untuk penambahan Styrofoam 5% adalah 15,462 kg, untuk 10% adalah 16,508 kg, untuk 15% adalah 16,827 kg dan untuk 20% adalah 17,575. Dari hasil tersebut dibandingkan dari ketentuan spesifikasi bina marga minimum 15%, maka dengan pengujian tersebut memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

4) *Pengujian Marshall Perendaman 30 Menit Untuk Nilai VIM*

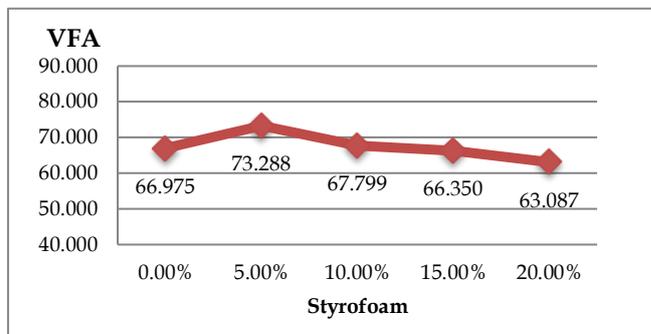


Gambar 6. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai VIM

Dari pengujian di laboratorium diperoleh hasil untuk penambahan Styrofoam 5% adalah 4,13 %, untuk styrofoam 10% adalah 5,32 %, untuk styrofoam 15% adalah 5,68 % dan untuk Styrofoam 20% adalah 6,53 %. jika dibandingkan dengan nilai spesifikasi bina marga hasil pengujian tersebut melebihi ketentuan bina marga minimum 3% dan maksimum 5%. Dimana penambahan Styrofoam 5% yang memenuhi spesifikasi.

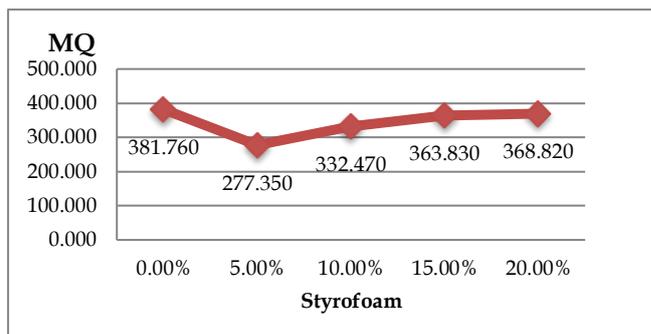
5) *Pengujian Marshall Perendaman 30 Menit Untuk Nilai VFA*: Dari pengujian laboratorium diperoleh hasil untuk penambahan Styrofoam 5% adalah 73,288%, untuk Styrofoam 10% adalah 67,799%, untuk Styrofoam 15% adalah 66,350% dan untuk 20% adalah 63,087%. Berdasarkan spesifikasi bina marga hasil yang diperoleh telah memenuhi standar yang telah ditentukan

minimum 65 %, nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding* atau naiknya aspal ke permukaan. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi.



Gambar 7. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai VFA

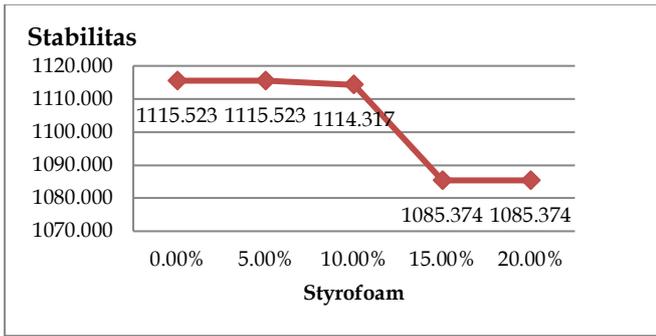
6) *Pengujian Marshall Perendaman 30 Menit Untuk Nilai MQ*



Gambar 8. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai MQ

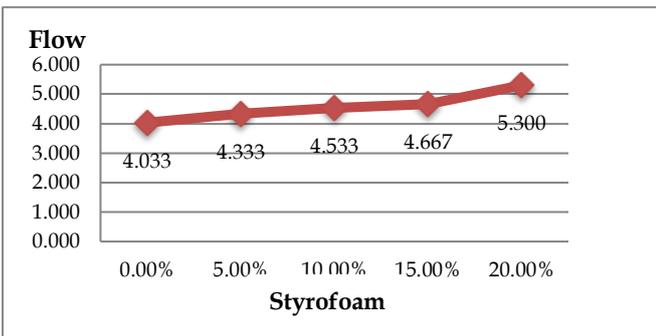
Dari pengujian laboratorium hasil penambahan Styrofoam 5% adalah 277,35 %, untuk penambahan 10% adalah 332,470%, untuk penambahan 15%, adalah 363,830% dan untuk 20% adalah 368,820%, dari grafik di atas menunjukkan bahwa semua variasi Styrofoam telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan yaitu 250%.

7) *Pengujian Marshall Perendaman 24 Jam Untuk Nilai Stabilitas*: Dari pengujian laboratorium diperoleh nilai stabilitas pada penambahan Styrofoam untuk 5% nilainya adalah 1115,523 kg, untuk 10% adalah 1114,317 kg, untuk 15% adalah 1085,374 kg dan untuk 20% adalah 1085,374 kg. Mengacu pada spesifikasi yang telah ditentukan oleh bina marga minimum 800 kg. maka nilai yang didapat dari hasil pengujian diatas menunjukan melebihi standar ketentuan.



Gambar 9. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai Stabilitas

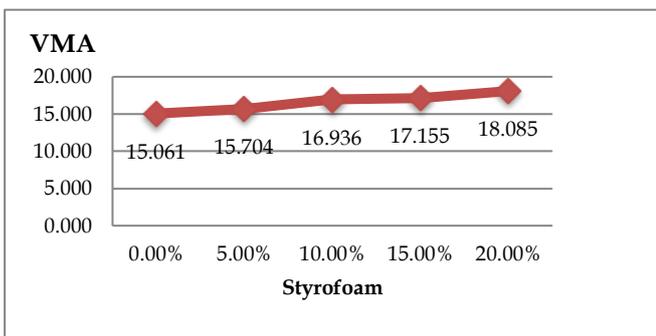
8) *Pengujian Marshall Perendaman 24 Jam Untuk Nilai Flow (Kelelahan)*



Gambar 10. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai Flow

Dari pengujian laboratorium diperoleh hasil untuk penambahan Styrofoam 5% adalah 4,333 kg, untuk 10% adalah 4,533 kg, untuk 15% adalah 4,667 kg dan untuk 20% adalah 5,300 kg. Berdasarkan Bina marga yang ditentukan minimum 2-4, Maka nilai yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut melebihi dari ketentuan bina marga.

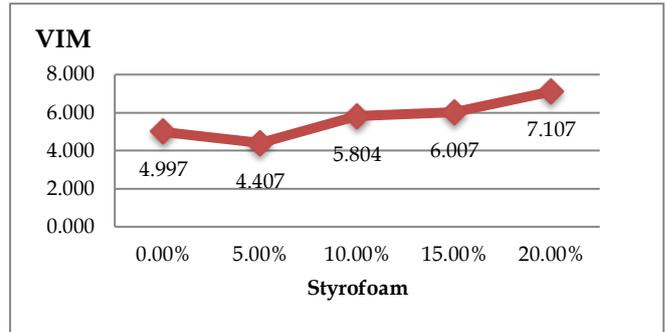
9) *Pengujian Marshall Perendaman 24 Jam Untuk Nilai VMA*



Gambar 11. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai VMA

Dari hasil pengujian laboratorium diperoleh nilai untuk penambahan Styrofoam 5% adalah 15,704 kg, untuk 10% adalah 16,936 kg, untuk 15% adalah 17,155 kg dan untuk 20% adalah 18,085 kg. Dari hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan spesifikasi bina marga minimum 15%, maka pengujian tersebut melebihi spesifikasi yang ditentukan.

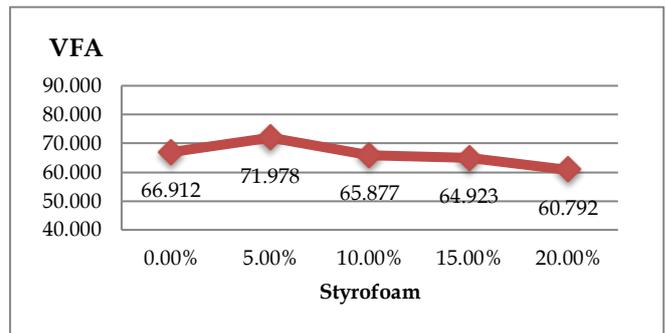
10) *Pengujian Marshall Perendaman 24 Jam Untuk Nilai VIM*



Gambar 12. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai VIM

Dari pengujian laboratorium diperoleh hasil untuk penambahan styrofoam 5% adalah 4,41%, untuk Styrofoam 10% adalah 5,80%, untuk Styrofoam 15% adalah 6,01 %, dan untuk Styrofoam 20% adalah 7,11%. Jika dibandingkan dengan standar spesifikasi yang telah ditentukan untuk nilai minimum 3% - 5%. Maka nilai penambahan Styrofoam dari 5%, 10%, 15%, dan 20% tidak memenuhi standar spesifikasi.

11) *Pengujian Marshall Perendaman 24 Jam Untuk Nilai VFA*

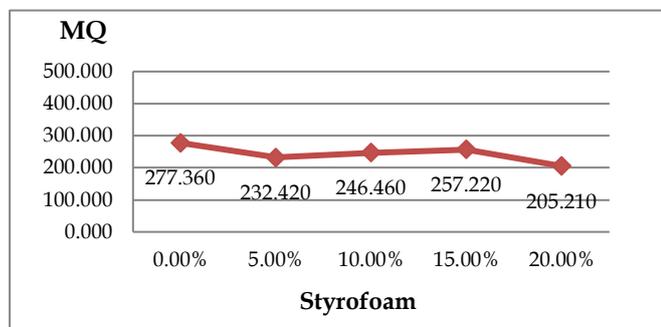


Gambar 13. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai VFA

Dari hasil pengujian laboratorium diperoleh hasil untuk penambahan Styrofoam 5% adalah 71,978%, untuk styrofoam 10% adalah 65,877 %, untuk styrofoam 15% adalah 64,923% dan untuk 20% adalah 60,792%.

Berdasarkan spesifikasi bina marga yang telah ditentukan hasil yang diperoleh telah memenuhi standar minimum yang telah ditentukan adalah 65%.

12) *Pengujian Marshall Perendaman 24 Jam Untuk Nilai MQ*



Gambar 14. Hubungan Styrofoam Terhadap Nilai MQ

Dari pengujian laboratorium diperoleh hasil penambahan Styrofoam 5% adalah 232,420 %, untuk 10 adalah 246,460 % , untuk 15% adalah 257,220 % dan untuk 20% adalah 205,210 %. Dari hasil nilai grafik diatas dapat menarik kesimpulan bahwa untuk penambahan styrofoam 15 % yang masuk spesifikasi, dan untuk penambahan Styrofoam 5 %, 10 % dan 20 % tidak masuk spesifikasi.

IV. SIMPULAN

Dari hasil penelitian, nilai karakteristik yang diperoleh melalui pengujian marshall dengan stabilitas, flow, VMA,VIM dan VFA diperoleh nilai KAO 6,125. Pengaruh penambahan styrofoam sebanyak 5% pada perendaman 30 menit menyebabkan aspal yang mengisi rongga campuran (VIM) maupun rongga agregat (VMA) tidak mudah meleleh sehingga cenderung stabil. Kemudian penambahan styrofoam yang lebih dari 5% menyebabkan persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA (VFA) semakin menurun seiring dengan penambahan Styrofoam sehingga campuran semakin berongga (tidak padat) dan stabilitasnya menurun.

REFERENSI

[1] A. Sabarno. "Karakteristik Aspal (HRS-WC) Dalam Kondisi Terendam Air Laut Dengan Variasi Waktu Rendaman Berdasarkan Uji Marshall," vol. 3 no. 1, hlm. 1, Januari 2022, ISSN 2721-3188, <https://jurnal.uts.ac.id/index.php/hexagon/article/view/1330>

[2] Direktorat Jenderal Bina Marga. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Jakarta, Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum, 1997

[3] F. D. Kurniasari, Ruslaini dan H. Mahyar. "Pemanfaatan Limbah Styrofoam Untuk Substitusi Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Laston Dengan Metode Pencampuran Basah Dan Kering," vol. 7 no. 1, hlm. 2, Januari 2020, ISSN 2541-1934, DOI: <https://doi.org/1052722/pcej.v4i2.456>

[4] H. Wakkang, F. Fadli dan Ramdiana. "Pengaruh Penambahan Limbah Keramik Sebagai Filler Pada Lapisan Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)," vol. 1 no. 1, hlm. 53, Januari 2021, ISSN: 2775-5266, <http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata/issue/view/74>

[5] I. Sulianti, I. Ibrahim, A. Subrianto, A. Monita dan M. Medici. "Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Penambahan Styrofoam," vol. 8 no. 2, hlm. 52, November 2019, ISSN 2356-1491, DOI: <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v8i2.653>

[6] J. R. Lebang, R. Rachman dan Alpius. "Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC," vol. 4 no. 2, hlm. 290, Juni 2022, ISSN 2775-429, DOI: <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i22.458>

[7] M. I. W. Azis, H. Hamsyah dan K. Kasmaida. "Uji Experimental Variasi Agregat Halus Pada Campuran Asphalt AC-BC," vol. 2 no. 1, hlm. 5, Juni 2022, ISSN 2775-5266 <http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata/article/view/1600>

[8] N. Lolok, N. Ali dan R. Racman. "Pengaruh Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Laston Lapisan Aus," vol. 3 no. 3, hlm. 7, September 2021, ISSN 2775-4529, DOI: <http://doi.org/1052722/pcej.v3i3.292>

[9] N. Sambo, R. Racman dan Alpius. "Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-WC Yang Menggunakan Sungai Bittuang," vol. 3 no. 3, hlm. 5, September 2021, ISSN 2775-4529, DOI: <http://doi.org/1052722/pcej.v3i3.283>

[10] R. Yuniarti dan I. D. M. A. Karyawan. "Pengaruh Penetration Index Terhadap Karakteristik Marshal Laston Menggunakan Limbah Styrofoam Dan PVC," vol. 7 no. 1, hlm. 71, April 2021, ISSN 2549-3973, DOI: <https://doi.org/10.31849/siklus.v7i1.6060>

[11] S. Tandiang, Alpius dan Elizabeth. "Pengaruh Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-WC Batu Sungai Tetean Kab. Mamasa," vol. 4 no. 1, hlm. 84, Maret 2022, ISSN 2775-4529, DOI: <https://doi.org/1052722/pcej.v4i1.380>