

Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC

Jackson Rante Lebang^{*1}, Rais Rachman^{*2}, Alpius^{*3}

^{*1} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar
jacksenlebang050@gmail.com

^{*2*3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar
rais.rachman@gmail.com dan alpiusnini@gmail.com

Corresponding Author: jacksenlebang050@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran dengan penambahan limbah *Styrofoam* pada campuran AC-WC. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian Marshall. Dari hasil pengujian pada campuran AC-WC dengan penambahan limbah *Styrofoam* metode marshall konvensional diperoleh karakteristik campuran dengan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA dan VFB yang telah memenuhi syarat dalam standar Bina Marga 2018. Limbah *Styrofoam* sangat mempengaruhi nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFB. 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.

Kata Kunci: Karakteristik campuran, AC-WC, Limbah Styrofoam

Abstract

This study was conducted to find out the characteristics of the mixture with the addition of Styrofoam waste in the AC-WC mixture. The test was marshalled. From the results of testing on the AC-WC mixture with the addition of styrofoam waste conventional marshall method obtained mixed characteristics with stability, flow, VIM, VMA and VFB values that have qualified in bina marga standard 2018. Styrofoam waste greatly affects the values of stability, flow, VIM, VMAs, and VFBs. The use of styrofoam waste levels that make the cavity in the mixture become small so that the mixture can be more resistant to water, but the strength of the mixture decreases due to increasing levels of Styrofoam waste so that the cavity in the mixture is filled with styrofoam waste grains that have dissolved and mixed with asphalt which resulted in asphalt is not effective in binding aggregates so that the strength of the mixture becomes reduced.

Keywords: Mixed Characteristics, AC-WC, Styrofoam Waste

PENDAHULUAN

Kerusakan jalan yang disebabkan adanya air yang tergenang dan kelembapan, bisa terlihat dari pengelupasan butir serta ikatan antar aspal yang melemah serta mengakibatkan penurunan kinerja yang berdampak pada penurunan usia layanan yang diberikan oleh jalan, kerusakan tersebut diakibatkan oleh rongga yang besar antar agregat [1]. Dari hal tersebut limbah Styrofoam diteliti sebagai bahan aditif pada aspal karena memiliki sifat pada temperatur ruangan yang bersifat termoplastik padat dan apabila terkena paparan temperatur tinggi

maka bisa mencair. Jika dicampurkan dengan aspal dan Styrofoam akan mencair serta melebur dengan aspal sehingga mengisi rongga yang terdapat dalam campuran.

Styrofoam ialah bagian dari plastik kategori 6 yang terbentuk dari material polisterin serta gas [2]. Kategori tersebut merupakan plastik yang umum digunakan dalam keseharian. Styrofoam juga sering kali ditemukan pada penggunaannya menjaga pengemasan barang-barang elektronik menjadi aman dan menghindari benturan. Namun, dibalik berjuta manfaatnya dalam kehidupan sehari-hari Styrofoam merupakan material yang berbahaya untuk tubuh dan juga lingkungan. Sebab limbah Styrofoam tersebut tidak bisa secara mudah didaur ulang. Apabila sampah plastik lainnya memerlukan waktu hingga 500 tahunan untuk bisa diuraikan oleh tanah, Styrofoam sama sekali tidak bisa diuraikan secara alami. Maka dari itu, sebuah limbah Styrofoam yang telah dibuang lama tidak akan mengalami perubahan bentuk apalagi teruraikan selamanya [3].

Penelitian mengenai Styrofoam yang digunakan untuk lapisan permukaan jalan antara lain “Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Additive pada *Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC)* terhadap Karakteristik Marshall” [4]. “Pemanfaatan Limbah *Styrofoam* Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-BC yang Menggunakan Sungai Bittuang” [5]. “Pengaruh Substitusi *Styrofoam* pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) dengan Pengujian Marshall” [6]. “Pengaruh *Styrofoam* Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Laston Lapis Aus” [7].

Campuran aspal beton dalam penelitian ini adalah campuran Aspal Beton-Lapis Aus atau biasa di kenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) dengan tebal minimum AC-WC adalah 4 cm. “AC-WC memiliki fungsi sebagai pendukung beban lalu lintas, pelindung konstruksi dibawahnya, menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin dan sebagai lapisan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, lapisan ini harus tahan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya”[8].

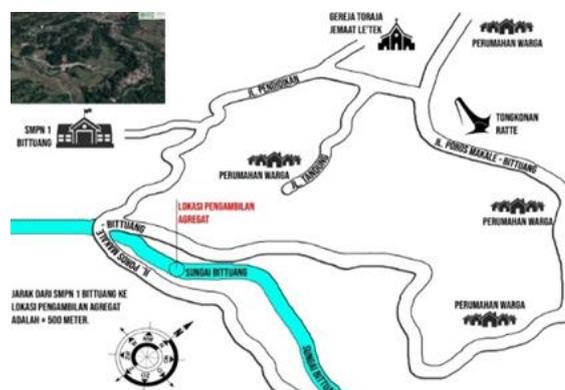
Penelitian tentang AC-WC telah banyak dilakukan diantaranya “Pengaruh penambahan limbah kelapa sawit terhadap karakteristik campuran AC-WC [9]. “Variasi Suhu Pematatan Campuran AC-WC Menggunakan Batu Sungai Balusu Kabupaten Toraja Utara” [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC dengan menambahkan limbah *Styrofoam* dan mengetahui pengaruh penambahan limbah Styrofoam pada campuran AC-WC.

METODOLOGI

1. Lokasi penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimental. Penelitian dilakukan selama 30 hari. Pengujian dilakukan di laboratorium Jalan dan Aspal Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer dan sekunder. Material yang digunakan menjadi bahan penelitian ialah Agregat kasar dan halus yang diambil dari sungai Bittuang Kecamatan Bittuang KabupatenTana Toraja. Aspal yang dicampur dengan AC-WC yang didapat melalui Departemen Pekerjaan Umum Baddoka Makassar dengan penetrasi 60/70 dan Styrofoam yang diperoleh dari limbah barang elektronik yang dibersihkan serta dikeringkan.

2. Karakteristik Aspal

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Satuan	Ket
Penetrasi pada suhu 25°C	SNI 2456-2011	67	(0,1) mm	Memenuhi
Daktalitas Pada Suhu 25o C	SNI 2432-2011	150	Cm	Memenuhi
Titik Lembek Aspal	SNI 2334-2011	51,7	58	Memenuhi
Titik Nyala (oC)	SNI 2433-2011	290	°C	Memenuhi
Berat Jenis	SNI 2441-2011	1,051	°C	Memenuhi
Berat Yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	0,351	%	Memenuhi
Penetrasi pada Suhu 25°C TFOT	SNI 03-6835-2002	83,6	% Semula	Memenuhi

3. Karakteristik Agregat

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik agregat

No.	Pengujian	Metode	Spesifikasi		Satuan	Hasil	Ket			
			Min	Max						
1.	Keausan Agregat	<i>SNI 2417:2008</i>	-	40	%	6.06 7.54 8.24 10.22	Memenuhi			
	Fraksi A									
	Fraksi B									
	Fraksi C									
	Fraksi D									
2.	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	<i>SNI 1969:2008</i>	2,5 2,5 2,5 -	- - - 3	%	2.62 2.67 2.75 1.86	Memenuhi			
	Bulk									
	SSD									
	Apparent									
	Penyerapan									
	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	<i>SNI 1970:2008</i>	2,5 2,5 2,5 -	- - - 3	%	2.54 2.58 2.63 1.32	Memenuhi			
	Bulk									
	SSD									
	Apparent									
	Penyerapan									
3.	Analisa Saringan AC-WC	<i>SNI ASTM C136:2012</i>			%		Memenuhi			
	3/4"							100		100
	1/2"							90	100	94.79
	3/8"							77	90	82.23
	No.4							53	69	65.20
	No.8							33	53	48.36
	No.16							21	40	36.27
	No.30							14	30	26.41
	No.50							9	22	17.67
	No.100							6	15	9.21
	No.200							4	9	3.89
	PAN							0	0	0,00
	4.							Uji Agregat Lolos Ayakan	<i>SNI ASTM</i>	-

No.	Pengujian	Metode	Spesifikasi	Satuan	Hasil	Ket
	No.200	<i>C117:2012</i>				
5.	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	<i>SNI 03-4428-1997</i>			%	
	<i>Sand Equivalent</i>		50	-		97.55
	Kadar Lumpur		-	5		2.45
6.	Partikel Pipih	<i>ASTM D-4791-10</i>	-	10	%	
	3/4"					9.75
	1/2"					8.86
	3/8"					7.47
	1/4"					
	Partikel Lonjong					
	3/4"					9.65
	1/2"					9.24
	3/8"					5.86
	1/4"					
7.	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	<i>SNI 2439-2011</i>	95	-	%	>96

4. Berat Jenis Filler

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis Filler

No.	Pengujian	Metode	Spesifikasi		Satuan	Hasil Penelitian	Ket
			Min	Min			
1.	Pemeriksaan Berat Jenis Filler semen	<i>SNI 03-1969-1990</i>	-	-	%	3,09	Memenuhi

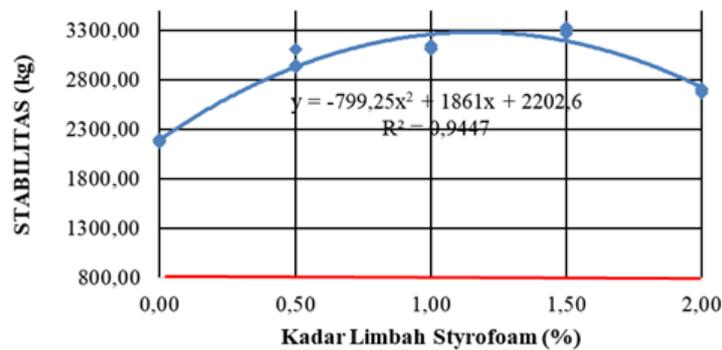
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis terhadap Stabilitas

Dengan menggunakan variasi kadar limbah Styrofoam 0%-2% untuk campuran AC-WC diperoleh nilai stabilitas untuk kadar limbah Styrofoam 0% sebesar 2191,27 kg, kadar limbah Styrofoam 0,5% mengalami kenaikan sebesar 2999.84 kg, kadar limbah Styrofoam 1% mengalami kenaikan 3132.61 kg, kadar limbah Styrofoam 1,5% mengalami penurunan sebesar 3304.74 kg, dan untuk kadar limbah Styrofoam 2% mengalami penurunan dengan nilai 2694.93 kg. Seluruh nilai ketahanan untuk campuran AC-WC sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 4. Nilai Stabilitas Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC

Kadar Styrofoam (%)	0,00	0,5	1,00	1,50	2,00
Stabilitas	2207.27	3112.94	3157.20	3334.24	2670.35
	2171.28	2950.66	3112.94	3275.23	2699.85
	2195.27	2935.90	3127.70	3304.74	2714.61
Rata-Rata	2191.27	2999.84	3132.61	3304.74	2694.93
Persyaratan	Min 800 (kg)				



Gambar 2. Hubungan Variasi Limbah Styrofoam Dengan Stabilitas

Dilihat dari Gambar 2 bisa disimpulkan bahwa Jika limbah Styrofoam meningkat maka ikatan antara agregat bertambah kuat. Selanjutnya apabila proporsi limbah Styrofoam ditambah lagi maka mengakibatkan ikatan antar agregat menjadi lemah dikarenakan penambahan kadar limbah Styrofoam yang banyak mengakibatkan banyak rongga yang terisi oleh limbah Styrofoam, sehingga aspal sulit untuk mengikat agregat membuat stabilitas campuran menjadi berkurang.

Sesuai dengan hasil uji dengan metode Marshall Konvensional pada campuran AC-WC yang memanfaatkan batu Sungai Bittuang dengan bahan tambah limbah Styrofoam diperoleh: Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Stabilitas Sesuai dengan persamaan garis :

$$y = -799,25x^2 + 1861x + 2202,6 \dots\dots\dots (1)$$

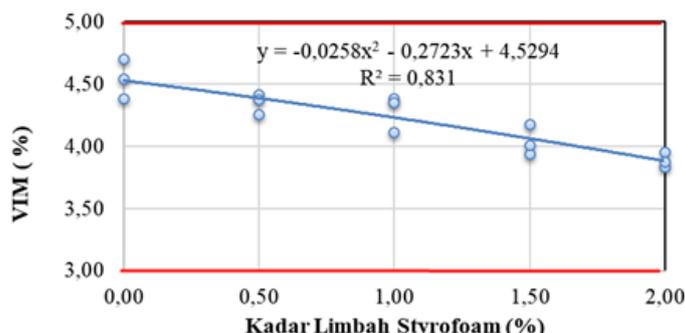
Didapatkan bahwa setiap peningkatan 0,5% kadar Limbah Styrofoam, maka daya tahan akan mengalami peningkatan hingga pada proporsi limbah Styrofoam 1%, tapi apabila proporsi limbah Styrofoam ditingkatkan lagi maka dapat menurunkan daya tahan perkerasan sampai pada kadar Limbah Styrofoam 2%. Berdasarkan persamaan garis stabilitas maximum yaitu 3278,57 berada pada kadar Styrofoam 1,26 %.

2. Analisis terhadap VIM (Void in Mix)

Dengan menggunakan satu kadar aspal yaitu 5,00% dengan penambahan limbah Styrofoam dengan variasi 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2% diperoleh nilai VIM untuk kadar limbah Styrofoam 0% didapatkan nilai sebesar 4,54%, kadar limbah Styrofoam 0.5% mengalami penurunan sebesar 4,35%, kadar limbah Styrofoam 1% mengalami penurunan sebesar 4,28%, kadar limbah Styrofoam 1.5% mengalami penurunan sebesar 4,04%, dan untuk kadar limbah Styrofoam 2% juga menurun sejumlah 3,89%. Seluruh nilai VIM dengan Limbah Styrofoam berkadar 0%-2% sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018

Tabel 5. Nilai VIM Dari Pengujian Karakteristik Campuran

Kadar Styrofoam (%)	0,00	0,5	1,00	1,50	2,00
VIM	4.54	4.41	4.38	4.17	3.83
	4.38	4.37	4.11	3.93	3.87
	4.70	4.25	4.35	4.01	3.95
Rata-Rata	4.54	4.35	4.28	4.04	3.89
Persyaratan	3 - 5 (%)				



Gambar 3. Hubungan Kadar Limbah Styrofoam Dengan VIM

Dilihat dari Gambar 3, bisa ditarik kesimpulan bahwa peningkatan proporsi limbah Styrofoam yang ditambahkan pada campuran bisa memperkecil nilai VIM. Sama seperti kebalikannya jika proporsi limbah Styrofoam yang ditambahkan pada campuran dikurangi maka bisa memperbesar nilai VIM, hasil tersebut disebabkan oleh limbah Styrofoam yang berfungsi mengurangi volume rongga udara dalam campuran yang mengakibatkan rongga udara pada campuran menjadi kecil.

Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap VIM (Void in Mix) seperti pada Persamaan garis

$$y = 0.0258x^2 - 0.2723x + 4.5294 \dots\dots\dots (2)$$

menunjukkan bahwa masing-masing kenaikan 0% kadar limbah Styrofoam, maka VIM akan mengalami penurunan sampai pada kadar Limbah Styrofoam 2%. Berdasarkan persamaan garis kurva diperoleh VIM mencapai batas minimumnya yaitu 3 mm pada kadar Limbah Styrofoam 6,3%, sedangkan VIM tidak mencapai batas maksimum yang telah ditetapkan yaitu maksimal 5%.

3. Analisis Terhadap Flow

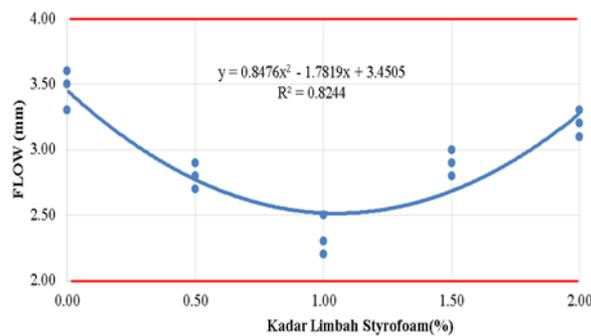
Dengan memanfaatkan proporsi limbah Styrofoam 0%-2% didapatkan nilai kelenturan untuk kadar limbah Styrofoam 0% sebesar 3,47 mm, untuk kadar limbah Styrofoam 0,5 % menurun sejumlah 2,80 mm, untuk kadar limbah Styrofoam 1% mengalami penurunan sebesar 2,33 mm, untuk kadar limbah Styrofoam 1,5% mengalami kenaikan sebesar 2,90 mm, dan untuk kadar limbah Styrofoam 2% juga meningkat sejumlah 3,20 mm. Seluruh nilai kelenturan dengan proporsi limbah Styrofoam 0% - 2% susah sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [11]

Tabel 6. Nilai Flow Dari Pengujian Karakteristik Campuran

Kadar Styrofoam (%)	0	0.5	1.00	1.50	2.00
Flow	3.30	2.90	2.30	3.00	3.20
	3.50	2.80	2.20	2.80	3.30
	3.60	2.70	2.50	2.90	3.10
Rata-Rata	3.47	2.80	2.33	2.90	3.20
Persyaratan	2-4 mm				

Sesuai dengan Gambar 4 bisa diambil kesimpulan bahwa pembuatan aspal dengan menggunakan bahan tambah limbah Styrofoam dalam campuran dengan proporsi aspal sedikit, maka bisa mengurangi ikatan antara agregat yang mengakibatkan kelelahan parah. Jika memanfaatkan bahan tambah limbah Styrofoam dengan jumlah yang besar maka keterikatan antara agregatnya bisa bertambah kuat yang menyebabkan penurunan pada kelelahan campurannya. Selanjutnya apabila memanfaatkan bahan tambah Limbah Styrofoam diperbanyak atau ditingkatkan proporsinya maka selimut aspal dapat menebal yang menyebabkan

penurunan durabilitas tapi peningkatan pada kelelehannya, yang memiliki arti stabilitas memiliki pengaruh yang berlawanan dengan kelenturan.



Gambar 4. Hubungan Kadar Limbah Styrofoam dengan Flow

Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Flow sesuai dengan Persamaan garis

$$y=0.8476x^2-1.7819x+3.4505 \dots\dots\dots (3)$$

menunjukkan bahwa setiap kenaikan 0,5% kadar limbah Styrofoam, maka kelenturan bisa menurun hingga pada proporsi Limbah Styrofoam 1,05%, tetapi pada kadar limbah Styrofoam 1,5% terjadi peningkatan Flow sampai pada kadar limbah Styrofoam 2%. Apabila kadar limbah Styrofoam terus bertambah lagi maka akan terjadi peningkatan Flow. Berdasarkan persamaan garis kurva diperoleh Flow paling kecil berada pada kadar limbah Styrofoam 1 % dengan nilai kelenturan sejumlah 2,52 mm tetapi bukan Flow terkecil sesuai dengan syarat yang telah ditentukan yakni 2 mm dan nilai flow maksimum yaitu 4 mm berada pada kadar Styrofoam 2,38 %.

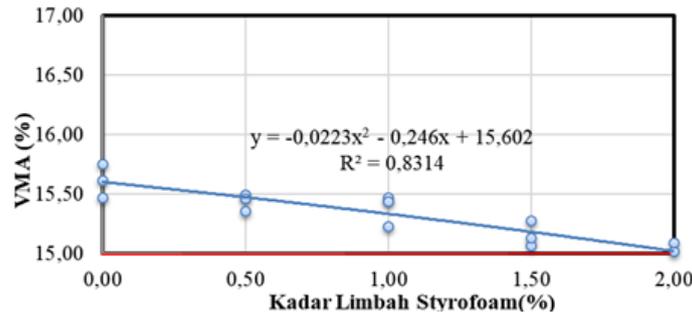
4. Analisis Terhadap VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

Dengan menggunakan kadar variasi limbah Styrofoam 0%-2% diperoleh nilai VMA untuk variasi limbah Styrofoam 0% didapatkan nilai sebesar 15.61%, untuk kadar limbah Styrofoam 0,5% mengalami penurunan sebesar 15.44%, untuk kadar limbah Styrofoam 1% mengalami penurunan sebesar 15.38%, untuk kadar limbah Styrofoam 1.5% mengalami penurunan sebesar 15,16%, dan untuk kadar limbah Styrofoam 2% juga mengalami penurunan sebesar 15,02%. Untuk nilai VMA dengan proporsi limbah Styrofoam 0%,0,5 %, 1 %, serta 2 % sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

Tabel 7. Nilai VMA Dari Pengujian Karakteristik

Kadar Styrofoam (%)	0	0.5	1.00	1.50	2.00
VMA	15.61	15.49	15.47	15.28	14.98
	15.47	15.46	15.22	15.06	15.01
	15.75	15.35	15.44	15.13	15.09
Rata-Rata	15.61	15.44	15.38	15.16	15.02
Persyaratan	Min 15 (%)				

Jumlah limbah yang banyak waktu ditambahkan pada campuran memengaruhi nilai VMA dari campurannya, sebab Styrofoam bisa membuat rongga di antara agregat serta partikel agregatnya terisi. Dianalisis dari Gambar 5. bisa diambil kesimpulan bahwa apabila proporsi limbah yang ditambahkan memiliki jumlah yang besar maka pori-pori dalam agregatnya terisi limbah Styrofoam yang menyebabkan penurunan pada nilai VMA.



Gambar 5. Hubungan Variasi Limbah Styrofoam Dengan VMA

Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap VMA Berdasarkan persamaan garis dibawah ini

$$y = -0.0223x^2 - 0.246x + 15.602 \dots\dots\dots (4)$$

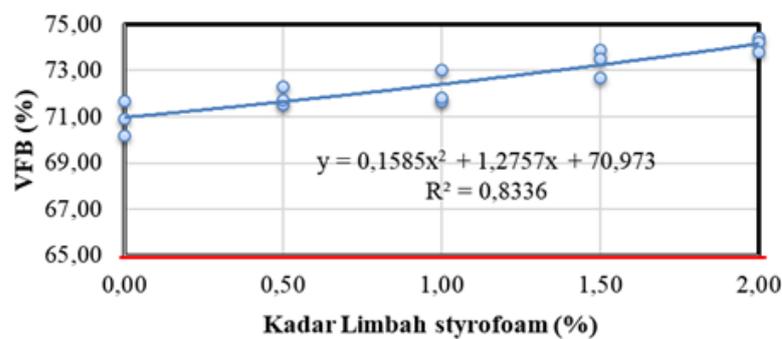
menunjukkan bahwa setiap kenaikan 0,5% kadar limbah Styrofoam, maka VMA akan mengalami penurunan sampai pada kadar limbah Styrofoam 2%. Berdasarkan persamaan garis kurva diperoleh VMA mencapai batas minimumnya sebesar 15% pada kadar limbah Styrofoam 2,06 %.

5. Analisis terhadap VFB (Void Filled with Bitumen)

Dengan menggunakan kadar variasi limbah Styrofoam 0%-2% diperoleh nilai VFB untuk kadar variasi limbah Styrofoam 0% sebesar 70,91%, untuk kadar limbah Styrofoam 0.5 % mengalami kenaikan sebesar 71,85%, untuk kadar limbah Styrofoam 1% mengalami kenaikan sebesar 72.17%, untuk kadar limbah Styrofoam 1,5% mengalami kenaikan sebesar 73.36%, dan juga untuk kadar limbah Styrofoam 2% mengalami kenaikan sebesar 74.14%. Semua variasi kadar limbah Styrofoam sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 7. Nilai VFB dari Pengujian Karakteristik

Kadar Styrofoam (%)	0	0.5	1.00	1.50	2.00
VFB	70.90	71.53	71.66	72.69	74.42
	71.67	71.72	73.01	73.89	74.20
	70.17	72.30	71.84	73.50	73.79
Rata-Rata	70.91	71.85	72.17	73.36	74.14
Persyaratan	Min 65%				



Gambar 6. Hubungan Kadar Limbah Styrofoam Dengan VFB

Dianalisis dari Gambar 6 bisa ditarik kesimpulan bahwa pemanfaatan proporsi limbah Styrofoam dalam jumlah kecil bisa menurunkan nilai VFB, sebab kadar limbah Styrofoam yang sedikit pada campurannya mengakibatkan pori-pori campurannya tidak terisi oleh limbah Styrofoam. Begitu juga kebalikannya penggunaan kadar limbah Styrofoam dalam jumlah besar bisa meningkatkan nilai VFB, kerana peningkatan

kadar limbah Styrofoam pada campurannya bisa mengakibatkan pori-pori dalam campuran hampir seluruhnya terisi oleh limbah Styrofoam.

Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap VFB Dianalisis dari persamaan garis

$$y=0.1585x^2+1.2757x+70.973 \dots\dots\dots (5)$$

menunjukkan bahwa setiap kenaikan 0,5 % kadar limbah Styrofoam, maka nilai VFB semakin meningkat. Berdasarkan persamaan garis kurva diperoleh nilai VFB mencapai batasan minimum tetapi bukan VFB minimal yaitu 65%.

KESIMPULAN

Dari hasil uji marshall pada campuran AC-WC dengan penambahan limbah Styrofoam metode marshall konvensional didapatkan karakteristik campuran dengan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA dan VFB yang telah memenuhi syarat dalam standar Bina Marga 2018. Pengaruh penambahan limbah Styrofoam pada campuran AC-WC sangat mempengaruhi nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFB. Penggunaan kadar 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rachman, "The Effect of Immersion and Humidification Toward Performance of Hot Rolled Asphalt Mixture," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 15, no. 5, hlm. 503–509, 2020.
- [2] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi Kedua. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia, 2013.
- [3] L. D. R. K. Salle, "Pemanfaatan Limbah," dalam *Pemanfaatan Material Alternatif (Sebagai Bahan Penyusun Konstruksi)*, Makassar: CV. Tohar Media, 2021, hlm. 59–68.
- [4] R. Hermawan dan A. F. Ismaili, "Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Additive pada Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) terhadap Karakteristik Marshall," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, 2019.
- [5] N. Sambo, R. Rachman, dan Alpius, "Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-BC Yang Menggunakan Sungai Bittuang," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 3, no. 3, hlm. 330–340, 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i3.283.
- [6] N. Risky, "Pengaruh Substitusi Styrofoam pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) dengan Pengujian Marshall," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2021.
- [7] N. Lolok, N. Ali, dan R. Rachman, "Pengaruh Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Laston Lapis Aus," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 3, no. 3, hlm. 397–405, 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i3.291.
- [8] H. Hardiyatmo Christady, *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*, Edisi 3. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 2019.
- [9] S. A. Datu, R. Rachman, dan M. Selintung, "The Effect of Additional Sugar Palm Fibers on the Durability of Mixed Laston AC-WC," dalam *The 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE)*, Bali, Indonesia, 2020, vol. 419. doi: 10.1088/1755-1315/419/1/012063.
- [10] R. Rachman, "Inovasi Teknologi Bahan Konstruksi," in *Teknologi Bangunan dan Material*, Makassar, Tohar Media, 2021, pp. 11 - 20.
- [11] A. R. Seppo, R. Rachman, dan N. Ali, "Variasi Suhu Pematangan Campuran AC-WC Menggunakan Batu Sungai Balusu Kabupaten Toraja Utara," *J. Matriks Tek. Sipil*, vol. 9, no. 1, hlm. 23–31, 2021, doi: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v9i1.49248>.
- [11] Direktorat Jendral Bina Marga, *Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3 Divisi 6*. 2014.