

## PENGARUH *STYROFOAM* SEBAGAI *ADITIF* ASPAL DAN SEMEN SEBAGAI *FILLER* TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN ASPEK KETIDAKRATAAN

Aliefian Surya Nugraha\*, Agus Riyanto, Senja Rum Harnaeni, Rama Rizana

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jawa Tengah

\*Email: [fiyansurya76@gmail.com](mailto:fiyansurya76@gmail.com)

### Abstrak

Material HRS-WC merupakan campuran beraspal panas bergradasi senjang yang memiliki stabilitas tinggi, namun masih memerlukan peningkatan terutama pada aspek stabilitas dan ketidakrataan permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan styrofoam sebagai aditif dan semen sebagai *filler* terhadap karakteristik *Marshall* dan nilai ketidakrataan (*IRI*). Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan variasi kadar *filler* semen 4%, 5%, dan 6% serta penambahan styrofoam sebesar 1,5%. Parameter yang diuji meliputi stabilitas, flow, *Marshall Quotient* (MQ), VIM, VMA, dan VFWA serta nilai *IRI*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *styrofoam* dan variasi *filler* semen memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik campuran. Nilai stabilitas dan MQ meningkat hingga kadar tertentu, sedangkan nilai *IRI* cenderung menurun sehingga menunjukkan peningkatan kualitas permukaan. Campuran optimum diperoleh pada variasi *filler* tertentu yang memenuhi spesifikasi Bina Marga.

**Kata kunci:** HRS-WC, ketidakrataan, *Marshall*, semen, *styrofoam*

### Abstract

*HRS-WC is a gap-graded hot mix asphalt designed to provide high stability; however, improvements are still required in terms of stability and surface roughness. This study aims to evaluate the effect of styrofoam as an asphalt additive and cement as filler on Marshall characteristics and roughness index (IRI). An experimental laboratory method was applied using cement filler variations of 4%, 5%, and 6% with 1.5% styrofoam addition. The tested parameters include stability, flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VMA, VFWA, and IRI values. The results indicate that the addition of styrofoam and cement filler significantly affects the mixture performance. Stability and MQ increase to an optimum level, while IRI values decrease, indicating improved surface quality. The optimum mixture meets the Bina Marga specifications.*

**Keywords:** cement, HRS-WC, *Marshall*, roughness, *styrofoam*

## 1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan memiliki peran penting dalam menunjang mobilitas, sehingga membutuhkan campuran beraspal dengan kinerja yang baik. HRS-WC sebagai salah satu campuran bergradasi senjang memiliki fleksibilitas tinggi, namun masih menghadapi permasalahan seperti deformasi plastis dan ketidakrataan permukaan akibat beban lalu lintas (Sukirman, 2016).

Upaya peningkatan kinerja campuran dapat dilakukan melalui inovasi material, seperti pemanfaatan limbah styrofoam sebagai aditif yang mampu meningkatkan viskositas aspal dan stabilitas campuran (Putra dkk., 2023). Selain itu, penggunaan semen sebagai *filler* dapat memperbaiki ikatan antar agregat serta meningkatkan kekuatan campuran (Susanto, 2020).

Kinerja perkerasan juga ditinjau dari aspek fungsional, salah satunya melalui nilai International Roughness Index (IRI), dimana nilai yang rendah menunjukkan permukaan jalan yang lebih rata dan nyaman (Bina Marga, 2018).

Meskipun penelitian terkait styrofoam dan semen telah banyak dilakukan, kajian yang mengombinasikan keduanya serta menganalisis pengaruhnya terhadap karakteristik *Marshall* dan nilai *IRI* pada campuran HRS-WC masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh styrofoam sebagai aditif dan semen sebagai *filler* terhadap karakteristik *Marshall* dan nilai *IRI*, serta menentukan komposisi optimum yang memenuhi spesifikasi.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan agregat yang diperoleh dari PT. Pancadarma Puspawira. Bahan *styrofoam* yang dipotong kecil-kecil lalu dicampurkan ke aspal yang diaplikasikan pada permukaan perkerasan aspal sebagai objek pengujian *Marshall* dan ketidakrataan.

Penelitian ini dilakukan dalam skala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan metode eksperimental. Penelitian ini dibagi menjadi 4 pengujian

### 2.1. Pengujian Karakteristik Fisis aspal

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Pengujian karakteristik aspal mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Adapun hasil yang telah diperoleh dari pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Fisis Aspal

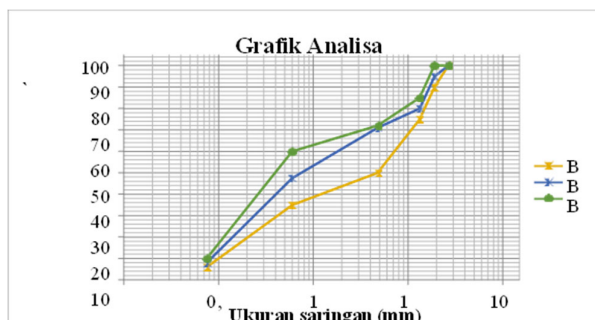
No	Nama Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Penetrasi Aspal (0,1 mm)	65	60 - 70	Memenuhi
2	Berat Jenis	1.01	$\geq 1,00$	Memenuhi
3	Titik Lembek ( $^{\circ}C$ )	50	$\geq 48$	Memenuhi
4	Daktilitas (mm)	$\geq 1400$	$\geq 1000$	Memenuhi

### 2.2. Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat pada campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course* (HRS-WC) dilakukan untuk mengetahui kesesuaian gradasi agregat terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa susunan butiran agregat mampu menghasilkan campuran beraspal yang memiliki stabilitas, durabilitas, serta tekstur permukaan yang baik, dapat dilihat dari Tabel 2.

Tabel 2 Rencana Gradasi Agregat Campuran

Ukuran Saringan	No. Saringan	Spesifikasi Lolos(%)			Spesifikasi tertahan (%)	Spesifikasi tertahan (gram)	Spesifikasi lolos (%)	Spesifikasi lolos (gram)
		BB	BT	BA				
26,5	3/4	10 0	100	10 0	0	0	100	1200
19	1/2	90	95	10 0	5	60	95	1140
13,2	3/8	75	80	85	20	240	80	960
4,75	No.8	50	71	72	29	348	71	852
0,6	No.30	35	47, 5	60	52,5	630	47,5	570
0,075	No. 200	6	8	10	92	1104	8	96
pan	0	0	0	0	100	1200	0	0



Gambar 1. Grafik Rencana Gradasi Campuran

Berdasarkan Gambar 1, nilai hasil pengujian gradasi agregat menunjukkan bahwa butiran agregat didistribusikan secara bervariasi dari ukuran kasar hingga halus, serta memenuhi spesifikasi gradasi agregat campuran HRS-WC. Hasil dari pengujian gradasi agregat tersebut diketahui proporsi agregat kasar (CA) 20%, agregat medium (MA) 35%, dan agregat halus (FA) 40%. Setelah ini dapat dilakukan perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) berdasarkan proporsi yang telah diketahui.

### 2.3. Pengujian Marshall

*Marshall Test* merupakan suatu metode pengujian yang digunakan untuk menilai performa campuran aspal beton, termasuk pengukuran stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis terhadap tingkat kepadatan dan pori-pori dalam campuran padat yang terbentuk. Beberapa parameter penting yang dianalisis dalam *Marshall Test* antara lain stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), rongga dalam campuran (VIM), rongga yang terisi aspal (VFWA), rongga dalam agregat mineral (VMA), dan kepadatan.

### 2.4. Pengujian Ketidakrataan

Menurut DJBM (2010), ketidakrataan terjadi akibat adanya rongga udara dalam campuran beraspal. Semakin besar rongga udara yang ada pada campuran maka semakin besar pula nilai ketidakrataan suatu jalan. Ketidakrataan jalan diukur menggunakan alat seperti *British Pendulum Tester* (BPT), *Locked Wheel Skid Tester* (LWST) dan juga menggunakan pasir Ottawa (*Ottawa sand*) untuk mendapatkan data gaya gesek permukaan. Data ini digunakan untuk menilai kondisi perkerasan, merencanakan perbaikan, dan meningkatkan keselamatan. Nilai ketidakrataan dinyatakan dalam *International Roughness Index* (IRI) yang dihitung berdasarkan rumus pada Persamaan 1.

$$IRI = (\Sigma(\text{Bump Height} \times \text{Distance Covered})) / (\text{Total Distance}) \quad (1)$$

dengan:

IRI = Nilai ketidakrataan jalan (m/km).  
*Bump Height* = Tinggi deviasi permukaan jalan (mm).  
*Distance Covered* = Jarak antar deviasi yang diukur (m).  
*Total Distance* = Panjang total jalan yang diukur (m).

Selain itu, dalam metode *Sand Patch, Mean Texture Depth* (MTD) dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 2.

$$MTD = V/A \quad (2)$$

dengan:

MTD = *Mean Texture Depth* (mm)  
V = Volume pasir yang digunakan (mm<sup>3</sup>)  
A = Luas sebaran pasir (mm<sup>2</sup>)

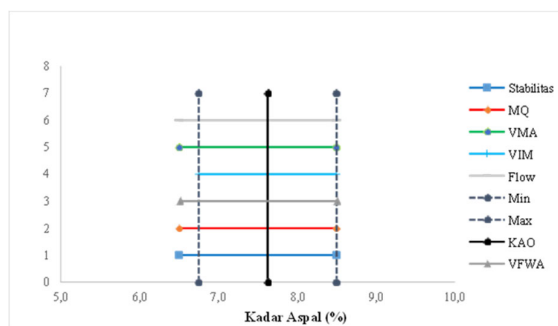
Di iklim tropis seperti Indonesia, suhu dan kelembapan tinggi mempercepat kerusakan aspal serta pelapukan permukaan jalan, yang dapat mengurangi koefisien gesek hingga 30% dalam setahun. Oleh karena itu, perencanaan jalan harus mempertimbangkan aspek desain. Inovasi material perkerasan juga dibutuhkan guna meningkatkan keselamatan berkendara secara optimal.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian karakteristik Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari campuran aspal HRS-WC. kao yang diperoleh akan digunakan untuk membuat benda uji. Variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 6,5%, 7%, 7,5%, 8% dan 8,5% dari berat total agregat yaitu 1200 gram, bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	VFWA	VIM	VMA	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
6,5	68,63	6,59	20,99	776,03	3,02	256,96
7	74,20	5,51	21,37	833,87	3,24	257,63
7,5	78,12	4,85	22,18	841,51	3,40	247,26
8	86,04	3,25	23,30	958,52	3,21	298,91
8,5	75,70	6,09	25,06	893,54	3,01	297,19



Gambar 2. Diagram Garis Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pada Gambar 2, diperoleh nilai kadar aspal minimum yang masuk spesifikasi sebesar 6,5% yang masuk dalam kadar aspal maksimum, sehingga diperoleh nilai KAO sebagai berikut.

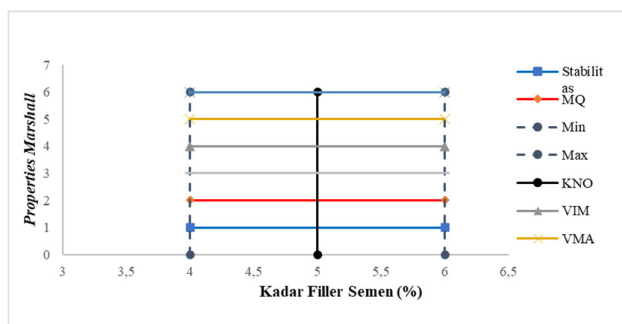
$$\begin{aligned}
 \text{KAO} &= (\text{Kadar Aspal Minimum} + \text{Kadar Aspal Maksimum}) / 2 \\
 &= (6,5 + 8,5) / 2 \\
 &= 7,5\%
 \end{aligned}$$

### 3.1. Hasil Pengaruh Styrofoam Sebagai Zat Aditif Dan Filler Semen Terhadap Benda Marshall Campuran HRS-WC Pada KAO

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan filler semen sebagai bahan tambah terhadap Marshall Properties campuran HRS-WC. Pada pengujian ini digunakan beberapa variasi kadar filler semen, yaitu 0%, 4%, 5%, dan 6% dari berat total satu sampel. Rekapitulasi hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Rata-Rata Pengujian Pengaruh Styrofoam sebagai Aditif 1,5% filler Semen pada KAO terhadap Properties Marshall.

Kadar Filler Semen (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ	VIM (%)	VMA (%)	VfWA (%)
Kontrol	868,81	3,42	257,68	4,99	22,55	78,01
4	1304,59	3,35	393,04	5,09	24,35	79,09
5	1213,28	3,24	374,64	5,96	24,24	75,39
6	1301,98	4,09	325,89	5,98	25,81	76,69
Spesifikasi	>500	>3	>250	3%-6%	>15%	65%



Gambar 3. Grafik Semen Optimum

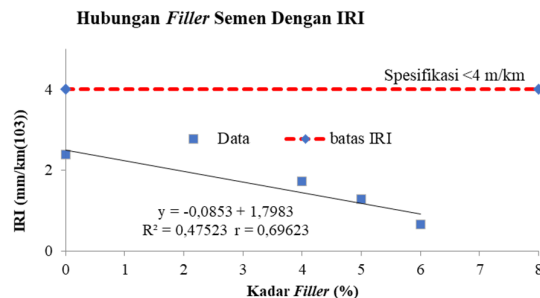
Kadar *filler* semen optimum sebesar 5% ditetapkan berdasarkan terpenuhinya seluruh spesifikasi kritis dari stabilitas, *flow*, *Void in Mix (VIM)*, *Void in Mineral Aggregate (VMA)*, dan *Void Filled with Asphalt (VFVA)* secara simultan. Berdasarkan analisis grafik, diperoleh titik perpotongan atau rentang nilai yang dinilai mampu mengoptimalkan kinerja campuran dengan memaksimalkan keunggulan dan meminimalkan kelemahan pada setiap parameter. Penggunaan *filler* semen optimum pada kadar 5% diharapkan dapat meningkatkan performa perkerasan aspal dalam menghadapi beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan. Dengan kadar ini, campuran HRS-WC diharapkan telah memiliki keseimbangan karakteristik mekanis dan volumetrik yang memadai, sehingga memberikan dasar yang kuat untuk evaluasi peningkatan kinerja selanjutnya.

### 3.2. Hasil Nilai *International Roughness Index (IRI)* dengan *Zat Aditif dan Filler Semen*

Nilai ketidakrataan atau *International Roughness Index (IRI)* merupakan parameter ketidakrataan yang dihitung dari jumlah kumulatif naik turunnya permukaan arah memanjang dibagi dengan jarak/panjang yang akan diukur. Pada pengujian ini, metode yang digunakan yaitu dengan *Sand Patch Method* dengan menggunakan pasir yang memiliki gradasi seragam yaitu dengan menggunakan pasir ottawa. Benda Uji yang digunakan merupakan benda uji dengan penambahan kadar aditif Styrofoam optimum 1,5% dan filler semen dengan variasi 0%, 4%, 5%, dan 6%. Pengujian ini dilakukan pada dua sisi benda uji, yaitu sisi atas dan bawah agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mengurangi angka koreksi pada pelaksanaan pengujian. Analisis nilai ketidakrataan Aspal *Styrofoam* dengan *filler* semen dengan variasi 0%, 4%, 5%, dan 6% dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4

Tabel 5. Nilai IRI Aspal Styrofoam dengan *Filler* Semen

Kadar <i>Filler</i> Semen	Sampel	Sisi	Volume dari filler semen			Kedalaman	IRI	IRI rata-rata sisi	IRI rata-rata sample	kondisi jalan
			Awal	Akhir	Volume					
%	buah		gr	gr	cm <sup>3</sup>	cm	m/km	m/km	m/km	
0	1	atas	50	47	2,026	0,025	2,505	2,713	2,379	BAIK
		bawah	50	46,5	2,363	0,030	2,922			
	2	atas	50	47	2,026	0,025	2,505	1,878		
		bawah	50	48,5	1,013	0,013	1,252			
	3	atas	50	47,9	1,418	0,018	1,753	2,546		
		bawah	50	46	2,701	0,034	3,339			
4	1	atas	50	48	1,350	0,017	1,670	1,544	1,725	BAIK
		bawah	50	48,3	1,148	0,014	1,419			
	2	atas	50	47,9	1,418	0,018	1,753	1,711		
		bawah	50	48	1,350	0,017	1,670			
	3	atas	50	48,3	1,148	0,014	1,419	1,920		
		bawah	50	47,1	1,958	0,024	2,421			
5	1	atas	50	49	0,675	0,008	0,835	0,835	1,280	BAIK
		bawah	50	49	0,675	0,008	0,835			
	2	atas	50	48	1,350	0,017	1,670	1,461		
		bawah	50	48,5	1,013	0,013	1,252			
	3	atas	50	48,3	1,148	0,014	1,419	1,544		
		bawah	50	48	1,350	0,017	1,670			
6	1	atas	50	49,2	0,540	0,007	0,668	0,584	0,654	BAIK
		bawah	50	49,4	0,405	0,005	0,501			
	2	atas	50	49,4	0,405	0,005	0,501	0,751		
		bawah	50	48,8	0,810	0,010	1,002			
	3	atas	50	48,9	0,743	0,009	0,918	0,626		
		bawah	50	49,6	0,270	0,003	0,334			



Gambar 4. Grafik Hubungan *Filler* Semen dengan IRI

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 4, dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya kadar *filler* semen yang digunakan agregat halus, nilai kedalaman tekstur rata-rata (IRI) permukaan perkerasan semakin menurun. Berdasarkan hasil tersebut juga dapat diketahui nilai ketidakrataaan yang didapatkan < 4 m/km, yang berarti kondisi permukaan perkerasan semua variasi *filler* semen telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga dengan tingkat ketidakrataaan (IRI) baik. Koefisien korelasi didapatkan sebesar 0,696. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kekuatan hubungan *filler* semen dan IRI sangat kuat. Sedangkan koefisien determinasi sebesar 0,475 yang berarti 47,5% hasil IRI dipengaruhi oleh kadar filler semen dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian penambahan semen sebagai *filler* dan *styrofoam* sebagai aditif pada campuran HRS-WC yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan seperti penjelasan di bawah ini:

1. Penambahan *filler* semen pada campuran aspal HRS-WC dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall, MQ, dan mengurangi nilai flow, VIM, dan VMA.
2. Penggunaan semen sebagai *filler* pada campuran HRS-WC memberikan pengaruh yang lebih baik pada nilai ketidakrataaan (IRI). Semakin banyak kadar *filler* semen maka nilai (IRI) akan semakin turun yang berarti tingkat kerataan permukaan aspal baik.
3. Berdasarkan pengujian *Marshall* yang terbaik dan ketidakrataaan yang memenuhi spesifikasi, kadar *filler* yang memberikan *filler* optimum berada di 5%, karena menghasilkan stabilitas yang tinggi, flow yang masih dalam batas standar, dan nilai IRI yang tetap memenuhi spesifikasi. Penambahan *filler* semen yang tidak optimum dapat membuat aspal menjadi keras, kaku dan lebih getas, sehingga mengurangi kemampuan pengikatnya dan berdampak pada penurunan kinerja campuran aspal HRS-WC.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing serta pihak laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Putra, B. (2023). Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Umur Perkerasan Jalan. *Jurnal Polban*, 25(2), 23-32
- SNI 06-2489-1991. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas (Edisi Ketiga)*. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Susanto, H. A. (2020). Pengaruh Penggunaan Filler Pasir Besi dan Semen Dalam Campuran AC-WC, *Techno*, 21(1), 37-46.