

# STUDI KOMPARATIF KARAKTERISTIK MARSHALL MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI AS PEN 60/70 DENGAN PENAMBAHAN 1,5% STYROFOAM TERHADAP CAMPURAN AC-WC

**Richo Fransiskus Marbun, Djoko Sarwono, Agus Sumarsono**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Kentingan, Surakarta 57126. Telp: (0271) 647069, Fax 634524  
\*Email : [sumarsono@yahoo.co.id](mailto:sumarsono@yahoo.co.id)

## **Abstract**

Nowadays, styrofoam is primarily employed for a variety of reasons, including electronic safety and food storage. Styrofoam is classified as trash that is difficult to disintegrate in nature, therefore it accumulates in big piles and is found in the greatest quantity on the planet. Therefore, additional study is needed into ways to reduce styrofoam waste in nature, such as using styrofoam as extra material in the Pen 60/70 asphalt combination that generates modified asphalt. The goal of this research was to see how adding styrofoam affected the value of asphalt and the value of marshall features. The Highway Pavement Laboratory, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret, conducted the experiments for this study. In comparison to 60/70 penetration asphalt, styrofoam was utilized at a rate of 1.5% of the weight of the asphalt. 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, and 6.5% are the different asphalt levels used. Each sample used is made up of three components. Asphalt inspection test kits and Marshall test kits are used in the test. The test was conducted to compare the penetration of 60/70 penetration asphalt and modified asphalt.

**Keywords :** Asphalt Pen 60/70, Marshall Characteristic, Modified Asphalt (+1,5% Styrofoam)

## **Abstrak**

*Styrofoam* kini semakin banyak digunakan untuk berbagai keperluan seperti pengaman elektronik dan wadah makanan. Banyaknya tumpukan *styrofoam* dikarenakan *styrofoam* merupakan limbah yang sangat sulit terurai di alam. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengurangi limbah *styrofoam* di alam, seperti penggunaan *styrofoam* sebagai bahan tambah dalam campuran aspal Pen 60/70 yang menghasilkan aspal modifikasi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrofoam* terhadap nilai pemeriksaan aspal dan nilai karakteristik Marshall. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Kadar *styrofoam* yang digunakan 1,5% dari berat aspal, kemudian dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70. Variasi kadar aspal yang dipakai adalah 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; dan 6,5%. Benda uji yang digunakan berjumlah masing-masing 3 buah dari setiap variasi kadar aspal. Pengujian menggunakan alat uji pemeriksaan aspal dan alat uji Marshall test. Data hasil uji digunakan untuk mendapatkan nilai perbandingan antara aspal penetrasi 60/70 dengan aspal modifikasi.

**Kata kunci :** Aspal Pen 60/70, Aspal Modifikasi (+1,5% *Styrofoam*), Karakteristik Marshall

## **PENDAHULUAN**

Salah satu infrastruktur yang menjadi tonggak utama dalam faktor pembangunan di sebuah negara, khususnya Indonesia adalah jalan. Baiknya jalan di Indonesia akan memberikan dampak positif pada lancarnya transportasi. Untuk meminimalisir penggunaan aspal dan meningkatkan kualitas jalan, maka perlu adanya inovasi baru seperti aspal modifikasi. Material yang digunakan untuk membuat aspal modifikasi ada berbagai macam salah satunya adalah *styrofoam*. *Styrofoam* adalah nama lain untuk busa polistiren. *Styrofoam* adalah plastik yang terbuat dari minyak bumi, styrene monomer dengan polimerisasi suspensi pada tekanan tertentu dan suhu, pemanasan lebih lanjut untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa *blowing agent*. Bahan dasar yang digunakan untuk membuat *styrofoam* adalah 90-95% dan 5-10% gas polistirena seperti n-butana atau n-pentana, seperti yang dinyatakan oleh Health News (2016). *Styrofoam* berbahaya bagi tubuh seperti halnya plastik bila digunakan sebagai wadah makanan dan berbahaya bagi lingkungan saat dibuang ke TPA. *Styrofoam* menghasilkan stirena oksida yang dapat meningkatkan produksi karsinogenik, khususnya ketika digunakan sebagai wadah makanan atau minuman hangat serta, minyak, makanan asam dan alkohol yang menyebabkan kontaminasi manusia dan menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia (Sims, 2010). Penggunaan *styrofoam* bertujuan mengurangi jumlah sampah *styrofoam* yang sulit diurai di alam (Arianto dkk., 2019)

*Styrofoam* memiliki karakteristik yang hampir sama dengan aspal, yaitu melunak ketika dipanaskan dan mengeras kembali ketika kembali ke suhu normal. Selain itu, *styrofoam* memiliki kandungan yang sama dengan aspal di dalamnya berupa resin. Resin adalah suatu zat berbentuk cairan yang dapat memberikan efek adhesi pada aspal jalanan yang berpotensi berkurang hingga hilang selama jalan beroperasi. Oleh sebab itu, *styrofoam* sangat berpotensi menjadi bahan pencampur pada aspal modifikasi (Bani., dkk., 2016).

Bahan modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini juga berupa *styrofoam* dengan persentase 1,5% dari berat aspal. Penambahan 1,5% *styrofoam* diharapkan mampu meningkatkan kinerja campuran beraspal berupa stabilitas yang lebih tinggi dan dapat menyeleksi tegangan horizontal dan vertikal sehingga lebih mampu menahan tegangan akibat deformasi oleh beban.

Penelitian ini meneliti tentang pengaruh penambahan 1,5% *styrofoam* sebagai bahan tambah dalam aspal modifikasi dengan variasi kadar aspal modifikasi adalah 4,5% - 6,5% dengan kenaikan 0,5%. Perbedaan utama antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya (Dwinanda, 2017) adalah penelitian sebelumnya menggunakan campuran laston lapis pondasi (*HRS-Base*), sedangkan penelitian ini menggunakan Laston lapis aus (*Asphalt Concrete – Wearing Course*). Untuk mengetahui karakteristik dan kualitas Aspal Beton campuran panas dengan bahan tambah berupa 1,5% *styrofoam* yaitu dengan melakukan pengujian Marshall kemudian dibandingkan dengan campuran tanpa menggunakan *styrofoam*. Penambahan 1,5% *styrofoam* diharapkan mampu meningkatkan kualitas dan membuat perkerasan jalan yang memiliki ketahanan yang lebih baik.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

### Data Primer

Data primer yaitu data dari pengamatan langsung. Data primer yang dibutuhkan adalah:

#### 1. Data Pemeriksaan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi

Aspal atau yang juga dikenal sebagai bitumen adalah zat cair yang bersifat kental, mengikat, dan berwarna hitam. Aspal bisa diperoleh melalui alam langsung atau produk sampingan dari proses penyulingan minyak bumi. Aspal peka terhadap perubahan temperatur/suhu karena aspal merupakan material *termoplastis*. Aspal meleleh jika dipanaskan dan akan kembali kaku jika temperatur turun. Aspal modifikasi merupakan aspal pertamina dicampur dengan beberapa aditif, bertujuan untuk meningkatkan kinerjanya. Aspal modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran aspal pertamina pen 60/70 dengan penambahan 1,5% *styrofoam* dari berat aspal. Pada penelitian ini, data pemeriksaan aspal yang dibutuhkan antara lain penetrasi aspal, titik lembek aspal, titik nyala dan titik bakar aspal, daktilitas aspal, berat jenis aspal, serta kehilangan berat aspal. Tabel 1 menunjukkan jenis pengujian aspal dan spesifikasi aspal pen 60/70 dan aspal modifikasi menurut Standar Nasional Indonesia (SNI).

Tabel 1. Data Jenis Pengujian dan Persyaratan Aspal Grade 60/70

Jenis Pengujian	Satuan	Metode Pengujian	Persyaratan	
			Aspal Pen 60/70	Aspal Modifikasi
Penetrasi, 25 °C	10 <sup>-1</sup> Mm	SNI 2456 : 2011	60-70	Dilaporkan
Titik nyala / Titik Bakar	(°C)	SNI 2433:2011	≥ 200	≥ 230
Daktilitas pada 25 °C	( cm )	SNI 2432:2011	≥ 100	-
Berat Jenis	gr/cc	SNI 2441:2011	≥ 1,0	≥ 1,0
Titik Lembek	(°C)	SNI 2434 : 2011	≥ 48	Dilaporkan
Penurunan Berat Minyak dan Aspal	% Berat	SNI 06-2441:1991	≤0,8	≤ 0,8

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018

## 2. Data Pemeriksaan Agregat

Agregat merupakan kumpulan dari material alam seperti kerikil, batu pecah dan material lainnya yang membentuk satu kesatuan. Agregat berasal dari alam berupa batuan atau bahan mineral alam lainnya. Pengujian agregat yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah analisa saringan, berat jenis agregat dan abrasi. Tabel 2 menunjukkan syarat gradasi agregat untuk campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* menurut spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.

Tabel 2. Amplop gradasi agregat campuran untuk AC-WC

Ukuran Ayakan		Komulatif Berat Lolos Terhadap Total Agregat (%)	
ASTM	(mm)	Batas Bawah	Batas Atas
3/4"	19	100	100
1/2"	12,5	90	100
3/8"	9,5	77	90
No. 4	4,75	53	69
No. 8	2,36	33	53
No. 16	1,18	21	40
No. 30	0,6	14	30
No. 50	0,3	9	22
No. 100	0,15	6	15
No. 200	0,075	4	9

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018

## 3. Data Karakteristik Marshall

Parameter Marshall digunakan untuk menentukan material kesesuaian lapisan permukaan perkerasan, dan nilai dari seluruh parameter digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum yang mencapai stabilitas maksimum (Setiawan dkk., 2017). Data karakteristik Marshall diperoleh melalui pengujian campuran aspal dengan alat *marshall* untuk menentukan kadar aspal modifikasi optimum melalui perhitungan angka stabilitas dan angka *flow*, serta menetapkan *stabilitas* (ketahanan) terhadap kelelahan plastik dalam campuran bitumen (Barus, 2020). Lapis perkerasan harus memenuhi karakteristik tertentu sehingga didapat suatu lapisan yang kuat menahan beban, aman dan dapat dilalui kendaraan dengan nyaman (Listiani dkk., 2012). Tabel 3 menunjukkan sifat sifat campuran laston sesuai dengan syarat spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

Tabel 3. Sifat-sifat campuran laston sesuai dengan syarat spesifikasi Bina Marga 2018

No	Sifat-sifat Campuran	Laston		
1	Jumlah Tumbukan per bidang		75	112
2	Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	1	
		Maks	1,4	
3	Rongga dalam Campuran %	Min	3	
		Maks	5	
4	Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14 13
5	Rongga terisi aspal (%)	Maks	65	65 65
6	Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min	800	-
7	Pelelehan(mm)	Min	2	3
		Maks	4	6
8	Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C	Min	90	
9	Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2	
10	Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min	2500	

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018

## Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Aspal Pertamina Pen 60/70 Berasal dari Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Teknik Sipil
2. Agregat berasal dari PT. Panchadarma Puspawira
3. *Syrofoam* yang digunakan adalah pembungkus barang elektronik
4. Xylene, Air dan Mixer

### Peralatan dan Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Adapun peralatan dan prosedur pelaksanaan penelitian antara lain :

1. Pemeriksaan Agregat
  - Pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan halus sesuai SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-1970-1990
  - Pemeriksaan Keausan dengan Mesin *Los Angeles* SNI 2417:2008
2. Pemeriksaan Aspal Biasa dan Aspal Modifikasi
  - Pemeriksaan penetrasi aspal sesuai SNI 2456:2011
  - Pemeriksaan titik lembek aspal sesuai SNI 2434:2011
  - Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar aspal sesuai SNI 2433:2011
  - Pemeriksaan daktilitas aspal sesuai SNI 2432:2011
  - Pemeriksaan berat jenis aspal sesuai SNI 06-2441-1991
  - Pemeriksaan kehilangan berat sesuai SNI 06-2440-1991
3. Pemeriksaan Marshall Test sesuai SNI 06-2489-1991

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan bahan meliputi pemeriksaan agregat dan aspal. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui apakah bahan yang digunakan sebagai material campuran perkerasan memenuhi syarat kualitas yang telah ditentukan. Tabel 4 menunjukkan hasil pemeriksaan agregat dengan syarat sesuai dengan Standar Nasional Indonesia.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan agregat

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Standar Pengujian	Persyaratan	Hasil
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (CA)				
• Penyerapan	(%)	SNI 03-1969-1990	< 3	2,090
• Berat Jenis <i>Bulk</i>	gr/cc		> 2,5	2,648
• Berat Jenis SSD	gr/cc		> 2,5	2,703
• Berat Jenis <i>Apparent</i>	gr/cc		-	2,803
Berat Jenis dan Penyerapan Medium Aggregate (MA)				
• Penyerapan	(%)	SNI 03-1969-1990	< 3	2,631
• Berat Jenis <i>Bulk</i>	gr/cc		> 2,5	2,631
• Berat Jenis SSD	gr/cc		> 2,5	2,701
• Berat Jenis <i>Apparent</i>	gr/cc		-	2,827
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (FA)				
• Penyerapan	(%)	SNI 03-1970-1990	< 3	2,786
• Berat Jenis <i>Bulk</i>	gr/cc		> 2,5	2,613
• Berat Jenis SSD	gr/cc		> 2,5	2,685
• Berat Jenis <i>Apparent</i>	gr/cc		-	2,818
Keausan	%	SNI 2417:2008	27,76 %	Maks 40%

Pemeriksaan agregat di laboratorium meliputi pemeriksaan terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, berat jenis semu agregat kasar, dan berat jenis semu agregat halus. Hasil pemeriksaan agregat memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dapat dikatakan agregat yang berasal dari PT. Pancardarma Puspawira tergolong agregat yang baik.

Pemeriksaan sifat dari aspal biasa dengan aspal modifikasi bertujuan untuk membandingkan aspal biasa dengan aspal modifikasi sudah memenuhi spesifikasi yang ada atau tidak. Sifat-sifat aspal biasa dan modifikasi yang diperiksa merupakan data hasil pengujian laboratorium. Tabel 5 menunjukkan hasil pemeriksaan aspal modifikasi dan aspal murni dan memenuhi syarat menurut peraturan Bina Marga 2018.

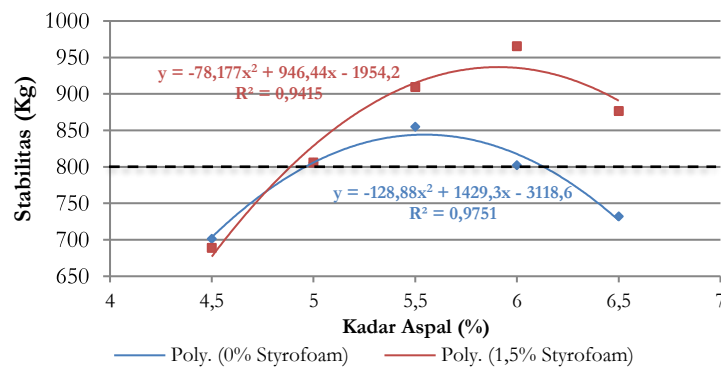
Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Aspal

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Metoda Pengujian	Syarat Aspal Pen 60/70	Hasil Aspal Pen 60/70	Syarat Aspal Modifikasi	Hasil Aspal Modifikasi
Penetrasi	10 gr, 25°C, 5 d	SNI 2456:2011	60 - 70	64,5	Dilaporkan	68
Titik Lembek	°C	SNI 2434:2011	≥ 48	52,5	Dilaporkan	49,5
Titik Nyala	°C	SNI 2433:2011	≥ 200	310	≥ 230	305
Titik Bakar	°C	SNI 2433:2011	≥ 200	315	> 230	310
Daktalitas,	25°C, 5 cm/mnt	SNI 2432:2011	≥ 100	≥ 150	≥ 100	≥ 150
Berat Jenis	gr/cc	SNI 2441:2011	≥ 1,0	1,038	1	1,032
Penurunan Berat	% Berat	SNI 06-2440:1991	≤ 0,8	-	≤ 0,8	0,083

Penentuan Kadar Aspal Optimum berdasarkan parameter-parameter berikut :

1. Stabilitas

Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan stabiilitas (kg) pada aspal pe 60/70 dan aspal modifikasi ditunjukkan pada Gambar 1, sebagai berikut :

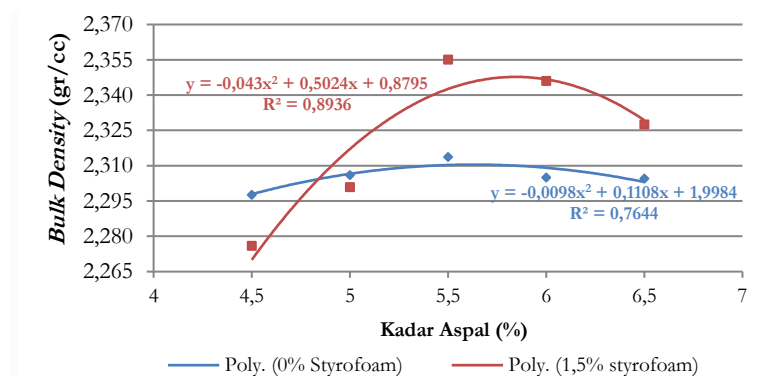


Gambar 1. Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan stabilitas (kg)

Pada aspal modifikasi nilai stabilitas cenderung naik seiring bertambahnya kadar aspal, setelah melebihi 6% stabilitasnya menurun. Hal ini membuktikan penambahan 1,5% *styrofoam* dapat membuat campuran semakin kuat dalam menahan deformasi berat lalu lintas. Banyaknya tumbukan akan menyebabkan rongga dalam campuran semakin rapat sehingga nilai ketahanan dapat meningkat menyentuh titik maksimum.

2. Kepadatan (*Bulk Density*)

Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan kepadatan/ *bulk density* (gram/cc) ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut :

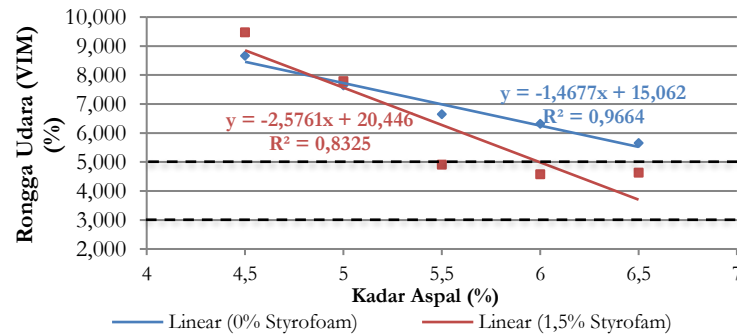


Gambar 2. Grafik ubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Kepadatan (*Bulk Density*) (gr/cc)

Nilai Bulk Density pada aspal modifikasi lebih besar seiring penambahan kadar aspal daripada aspal pen 60/70. Hal ini menunjukkan aspal modifikasi mempunyai rongga udara yang lebih kecil daripada aspal pen 60/70 karena memiliki kepadatan yang besar. Campuran yang memiliki nilai kepadatan yang besar akan mampu menahan beban yang lebih besar juga.

3. Rongga Udara Dalam Campuran (*Air Voids/ Voids in Mix Marshall, VIM*)

*Void in Mixture* juga dikenal sebagai rongga udara adalah rasio dari volume rongga dalam campuran yang dipadatkan menjadi total volume campuran padat (Bina Marga, 2010). Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan *Voids in Mix* (VIM) untuk perbandingan kedua jenis aspal ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut:

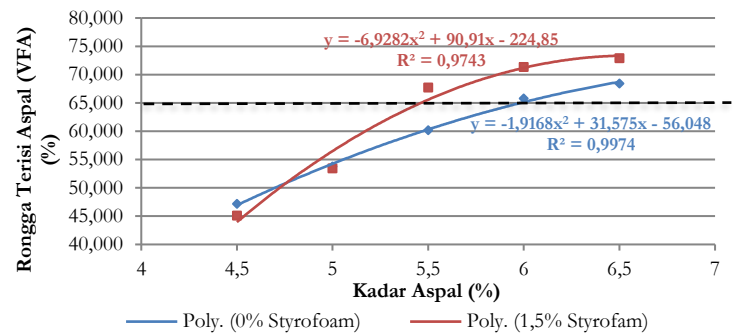


Gambar 3. Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *voids in mix marshall* (VIM) (%)

Aspal modifikasi dapat memperkecil rongga dalam campuran yang mengakibatkan hasil VIM semakin kecil. Hal ini menandakan aspal modifikasi dapat membuat keawetan lapis perkerasan dalam campuran. Semakin kecil, nilai VIM yang semakin kecil menandakan bahwa campuran akan lebih lama mengalami kelelahan.

4. Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled with Asphalt, VFA*)

Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan VFA untuk perbandingan kedua jenis aspal ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai berikut :

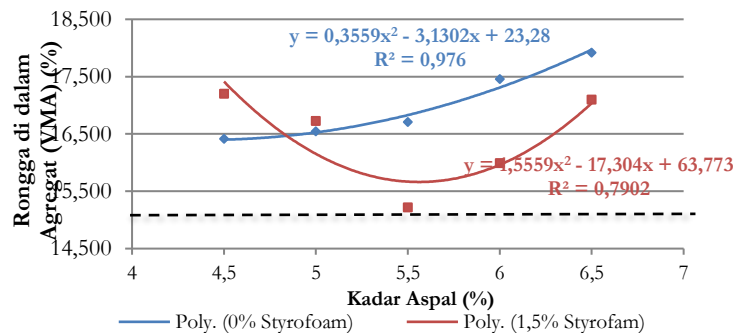


Gambar 4. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Rongga Terisi Aspal (VFA) (%)

Tingginya nilai VFA pada aspal modifikasi menandakan semakin besar rongga dalam campuran yang terisi aspal, sehingga kedapatan campuran aspal terhadap udara dan air semakin tinggi juga

5. Rongga Antara Mineral Agregat (*Void in Mineral Agregate, VMA*)

Menurut ASTM D6995-05, VMA adalah jumlah rongga udara dan kadar aspal aktif (ASTM, 2005). Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan rongga dalam agregat (VMA) untuk perbandingan kedua jenis aspal ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai berikut :

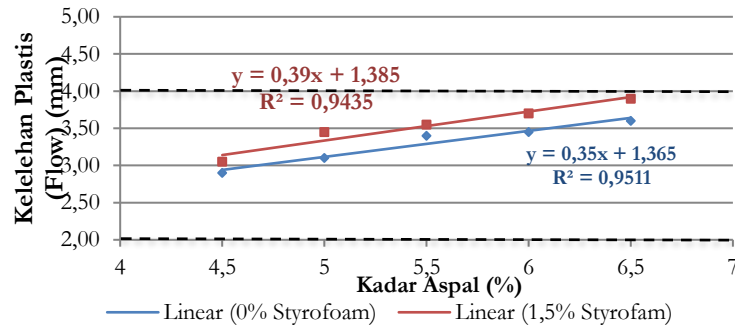


Gambar 5. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Rongga di dalam Agregat (VMA) (%)

Aspal modifikasi cenderung memiliki hasil nilai VMA lebih kecil dari campuran aspal penetrasi 60/70. Hal ini dikarenakan penambahan *styrofoam* pada aspal modifikasi berfungsi untuk menutup dan menyelimuti sebagian besar rongga antar butiran sehingga memperkecil nilai VMA.

6. Kelelahan (*Flow*)

Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan *flow* untuk perbandingan kedua jenis aspal ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut :

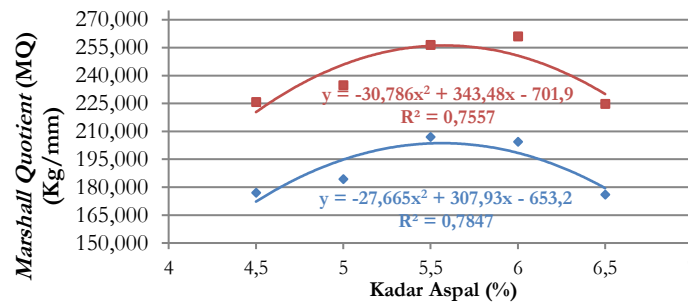


Gambar 6. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Flow* (mm)

Nilai flow pada aspal modifikais lebih besar daripada aspal penetrasi 60/70. Hal ini menunjukkan bahwa aspal modifikasi memiliki kelenturan yang tinggi dan lebih mudah diserap oleh agregat.

7. *Marshall Quotient* (MQ)

*Marshall Quotient* adalah semacam kekakuan semu yang merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi permanen (Awang dkk., 2012). Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan *Marshall Quotient* (MQ) untuk perbandingan kedua jenis aspal ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Marshall Quotient* (MQ) (kg/mm)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) aspal modifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan aspal pen 60/70. Hal ini menunjukkan bahwa aspal modifikasi memiliki kekakuan yang lebih besar. Turunnya grafik *Marshall Quotient* menandakan perkerasan semakin lentur.

**Kadar Aspal Optimum (KAO)**

Kadar aspal optimum diperoleh dari grafik hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal. Untuk mencari titik optimum dari hasil tersebut, maka dilakukan proses penurunan pertama ( $y^2=0$ ) persamaan regresi polinomial. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai KAO aspal modifikasi sebesar 6% dan aspal pen 60/70 sebesar 5,54%.

Tabel 6. Hasil Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Karakteristik Campuran	Satuan	Syarat		Hasil KAO		Keterangan
		Min	Max	Aspal Pen 60/70 (5,54%)	Aspal Modifikasi (6,0 %)	
Stabilitas	Kg	800	-	855,074	965,799	Memenuhi
<i>Bulk Density</i>	gr/cc			2,314	2,346	Memenuhi
VIM	%	3	5	6,652	4,578	Memenuhi pada Aspal Modifikasi
VMA	%	15	-	16,705	15,989	Memenuhi
VFA	%	65	-	60,185	71,380	Memenuhi pada Aspal Modifikasi
<i>Flow</i>	Mm	3	-	3,40	3,70	Memenuhi
<i>Marshall Quotient</i>	Kg	250	-	207,02	261,066	Memenuhi pada Aspal Modifikasi

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan 1,5% *styrofoam* pada aspal pertamina penetrasi 60/70 memenuhi persyaratan Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan sebagai aspal modifikasi.
2. Berdasarkan hasil uji marshall diperoleh perbandingan antara aspal modifikasi dengan tanpa penggunaan *styrofoam* sebagai berikut :
  - Nilai stabilitas untuk campuran aspal modifikasi cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal. Tingginya stabilitas pada aspal modifikasi menunjukkan peningkatan terhadap daya ikata antara agregat dan aspal. Tetapi perlu dilakukan pembatasan karena pada kadar aspal 6,5% nilai stabilitasnya menurun.
  - Nilai *Bulk Density* campuran aspal modifikasi lebih tinggi dikarenakan aspal modifikasi mempunyai rongga udara yang lebih kecil sehingga memiliki kepadatan yang lebih besar.
  - Nilai VIM untuk campuran aspal modifikasi lebih kecil daripada aspal pen 60/70. Kecilnya nilai VIM pada aspal modifikasi menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih rapat sehingga udara dan air tidak mudah memasuki rongga udara yang mengakibatkan aspal tidak mudah teroksidasi
  - Tingginya nilai VFA pada aspal modifikasi menandakan besarnya rongga dalam campuran yang terisi aspal, sehingga kekedapan dalam campuran aspal terhadap udara dan air semakin tinggi pula.
  - Nilai VMA pada campuran aspal modifikasi lebih kecil daripada aspal pen 60/70. Semakin rendahnya nilai VMA menunjukkan bahwa aspal modifikasi dapat menutup dan menyelimuti sebagian besar rongga antar butiran.
  - Nilai flow yang lebih tinggi pada aspal modifikasi menunjukkan bahwa nilai penetrasi menjadi lebih besar dengan kata lain aspal semakin lentur.
  - Tingginya nilai MQ menandakan bahwa campuran aspal yang memiliki nilai stabilitas tinggi dan memperlihatkan sifat campuran yang kaku dan rentan terhadap retakan
3. Berdasarkan hasil perhitungan grafik hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah :
  - Aspal Reguler pen 60/70 = 5,54 %
  - Aspal Modifikasi = 6,0 %

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala ucap puji beserta syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya yang telah diberikan, sehingga dapat terselesaikannya jurnal ini. Tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, terjadinya berbagai kendala yang dihadapi dari pelaksanaan penelitian hingga terselesaikannya penulisan jurnal ini mampu dilewati. Semoga keberadaan jurnal ini mampu memberikan manfaat berupa ilmu khususnya bagi para mahasiswa teknik sipil.



## REFERENSI

- Arianto, H., Saleh, S. M., & Anggraini, R., 2019, "Karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Material Reclaimed Asphalt Pavement Dengan Tambahan Aspal Pen. 60/70 yang Disubstitusi *Styrofoam*", *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*. Vol. 2 No. 2.
- Awang, A.R., Marto, A. and Makhtar, A.M., 2012. Morphological and strength properties of Tanjung Bin coal ash mixtures for applied in geotechnical engineering work. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2(2), pp.168-175.
- ASTM D6995-05, Standard Test Method for Determining Field VMA based on the Maximum Specific Gravity of the Mix (Gmm), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005
- Bani, M. B., dkk., 2016, "Production of Sustainable Asphalt Mixes Using Recycled Polystyrene", *International Journal of Applied Environmental Sciences*". Vol. 11 No. 1.
- Barus, D. A., 2020, "The Effect of Addition of Used *Styrofoam* on the Characteristics of Asphalt Physical Properties", *Journal of Technomaterials Physics*. Vol. 2 No. 2, pp. 123-128.
- Health News, Styrofoam: Definition, Basic Ingredients, Uses, and Effects for Health, 17 November 2016
- Kementrian Pekerjaan Umum Dirjen Bina Marga, Spesifikasi Umum, 2010
- Putri, E.E., & Dwinanda, A., 2018, "The Effect of Styrofoam Addition into HRS-Base on Marshall Characteristics", *International Journal Advanced Science Engineering Information Technology*. Vol.8 No. 5.
- Setiawan, A., Suparma, L.B. and Mulyono, A.T., 2017. Modelling Effect of Aggregate Gradation and Bitumen Content on Marshall Properties of Asphalt Concrete. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(2), pp.359-365.
- Sims, B., 2010. Polystyrene Fact Sheet, Foundation for Advancements in Science and Education, Los Angeles, California,
- Listiani, A., E. Sembiring, and H. Rahman., 2015, "Evaluation Of Expanded Polystyrene (Eps) Plastic Waste Utilization As An Asphalt Substitution Material In Asphalt Concrete Wearing Course", *5th Environmental Technology and Management Conference (ETMC) 2015*.