

TINJAUAN DURABILITAS PENAMBAHAN KADAR 1,5% STYROFOAM PADA ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC)

Arrum Kinanti¹, Djoko Sarwono^{1*}, Ary Setiawan¹

¹Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Kentingan, Surakarta 57126; Telp. (0271) 647069, Fax 634524

*Email: djokosarwono@staff.uns.ac.id

Abstract

Roads are land transportation infrastructure that is very important and is needed to support human life. Therefore, the construction of the road pavement that is built must be good in terms of quality. Many efforts were made to improve the quality of the road pavement, for example by modifying the asphalt mixture using added materials. The added material used in this research is styrofoam. This study was conducted to determine the durability of the AC-WC mixture with the addition of 1,5% styrofoam by weight of asphalt. This research was conducted using the method of immersion in water at a temperature of $\pm 60^{\circ}\text{C}$ with variations in immersion time of 30 minutes, 24 hours, 48 hours, 72 hours, and 96 hours. After immersion, the Marshall test and durability analysis were carried out. The durability of the mixture with the addition of 1.5% styrofoam increased compared to the mixture without the addition of styrofoam. The study result on the mixture with the addition of 1,5% styrofoam got an IKS value of 98,92%, while the mixture without the addition of Styrofoam got an IKS value of 97,239%. These values meet the minimum requirement of 90%, which means that the AC-WC mixture without and with the addition of 1.5% Styrofoam content is durable against damage caused by the influence of water and temperature.

Keywords: AC-WC, durability, modified asphalt, styrofoam

Abstrak

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang sangat penting dan sangat dibutuhkan untuk menunjang kehidupan manusia. Oleh karena itu, konstruksi perkerasan jalan yang dibangun harus baik dari segi kualitas. Ada banyak upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan, contohnya adalah dengan memodifikasi campuran aspal menggunakan bahan tambah. Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini adalah *styrofoam*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keawetan (*durable*) dari campuran AC-WC dengan penambahan kadar 1,5% *styrofoam* dari berat aspal. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode perendaman dalam air pada suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ dengan variasi waktu perendaman 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam. Setelah perendaman, dilakukan pengujian *Marshall* dan analisis durabilitas. Durabilitas campuran dengan penambahan 1,5% *styrofoam* meningkat dibandingkan dengan campuran tanpa penambahan *Styrofoam*. Hasil penelitian pada campuran dengan penambahan 1,5% *styrofoam* mendapatkan nilai IKS sebesar 98,92%, sedangkan pada campuran tanpa penambahan *Styrofoam* mendapatkan nilai IKS sebesar 97,239%. Nilai-nilai tersebut memenuhi syarat minimum yaitu 90% yang artinya campuran AC-WC tanpa dan dengan penambahan kadar 1,5% *Styrofoam* ini awet (*durable*) terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air dan suhu.

Kata Kunci : Aspal modifikasi, AC-WC, durabilitas, *styrofoam*

PENDAHULUAN

Jalan adalah salah satu prasarana transportasi darat yang penting demi menunjang kebutuhan hidup masyarakat. Kondisi jalan yang baik akan melancarkan pergerakan tersebut. Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut, dilakukan perancangan untuk meningkatkan kualitas perkerasan. Ada banyak upaya untuk meningkatkan kualitas campuran aspal, penelitian ini melakukan modifikasi dengan menggunakan bahan tambah berupa *styrofoam*. Penambahan ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal standar.

Pada penelitian ini penulis melakukan eksperimen dengan menambahkan *styrofoam* pada aspal penetrasi 60/70 terhadap campuran AC-WC ditinjau dari durabilitasnya. Kadar *styrofoam* dalam penelitian ini menggunakan hasil penelitian kadar *styrofoam* terbaik terdahulu (Dwinanda, 2017) yaitu kadar 1,5% *styrofoam* dari berat aspal. Penelitian yang dilakukan oleh Ariefky Dwinanda dilakukan pada campuran *Hot Rolled Sheet-Base* atau yang juga disebut Lapisan Tipis Aspal Beton (Lataston). Sedangkan pada penelitian ini akan dilakukan pada campuran Laston yaitu AC WC. Dalam penelitian lanjutan, penulis akan menguji kadar 1,5% *styrofoam* pada campuran AC-WC untuk memeriksa apakah kadar *styrofoam* tersebut memiliki hasil yang sama dengan campuran aspal yang berbeda dari penelitian sebelumnya.

Asphalt Concrete- Wearing Course (AC-WC) disebut juga lapis aus atau lapis permukaan karena letaknya berada di permukaan. Lapis permukaan adalah lapis yang langsung terkena beban kendaraan yang kedap air dan tahan terhadap cuaca. AC-WC merupakan campuran aspal bergradasi menerus. Agregat yang digunakan berukuran maksimum 19 mm dan tebal nominal minimum 4 cm (Sukirman, 2016).

Styrofoam atau yang juga dikenal dengan plastik busa adalah jenis plastik yang memiliki bahan dasar *polystyryne* (PS). *Polystyryne* adalah plastik yang sangat ringan dan kaku tetapi rapuh dengan cepat. Warna putih pada *styrofoam* diakibatkan bahan dasarnya ditambah dengan seng dan senyawa *butadien*, sedangkan untuk sifat lenturnya perlu ditambah zat *plasticizer* seperti *butyl hidroksi* (M. Sulchan, 2007). *Styrofoam* memiliki karakteristik yang mirip dengan aspal, yaitu termoplastik yang berarti melunak ketika dipanaskan dan mengeras kembali pada suhu ruang. Selain itu, *styrofoam* memiliki kandungan yang sama dengan aspal yaitu berupa resin. Resin adalah cairan yang bersifat adhesi yaitu daya tarik antara zat atau molekul yang tidak serupa, resin ini merupakan bagian yang mudah menguap. Karena memiliki resin dalam kandungannya dan juga sifatnya yang termoplastik, *styrofoam* diharapkan dapat bercampur dengan aspal dan juga diharapkan dapat meningkatkan kemampuan daya tarik aspal dan durabilitasnya. Saleh dkk. (2014) melakukan penelitian karakteristik campuran aspal porus dengan substitusi styrofoam ke dalam aspal penetrasi 60/70. Ramadan dkk. (2019) menyatakan bahwa penambahan styrofoam pada pengikat aspal mengakibatkan perubahan sifat pengikat aspal yang signifikan sebesar 5 persen, hal senada juga ditunjukkan oleh hasil penelitian Putri dan Syamsuwirman (2016). Sulianti dkk. (2019) melakukan penelitian dengan campuran laston (AC-WC) dengan bahan tambahan *styrofoam* yang menyimpulkan bahwa kadar aspal optimum 5,5% diganti dengan *styrofoam* sebesar 6,5% dari berat aspal dapat diaplikasikan untuk jalan dengan lalu lintas sedang dan lalu lintas berat.

Durabilitas adalah kemampuan campuran aspal menahan pengaruh air dan suhu. Uji durabilitas bertujuan untuk mengetahui kekuatan antara agregat dan aspal yang direndam air, sifat adhesi yang baik pada aspal akan melekatkan aspal di permukaan agregat. Keawetan (durabilitas) campuran aspal didapatkan dengan uji Marshall setelah dilakukan perendaman, parameter yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan durabilitas yang baik adalah Indeks Kekuatan Sisa, Indeks Durabilitas Pertama serta Indeks Durabilitas Kedua.

Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Dalam Bina Marga (2018) mengatur prosedur pengujian durabilitas, uji perendaman dilakukan saat temperatur rendaman $60 \pm 1^\circ\text{C}$ yang direndam selama 24 jam. Menurut Bina Marga (2018), nilai minimum IKS campuran aspal adalah sebesar 90%, maka besarnya nilai IKS akan membuat campuran aspal semakin awet. IKS dapat dihitung sebagai berikut:

$$IKS = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \dots\dots\dots [1]$$

keterangan :

- S1 = Nilai stabilitas yang direndam 30 menit pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ (kg)
- S2 = Nilai stabilitas setelah direndam 24 jam pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ (kg)
- IKS = Indeks kekuatan (stabilitas) sisa (%)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama merupakan nilai penurunan stabilitas benda uji terhadap waktu perendaman. IDP dinotasikan dengan simbol “r” yang dapat dihitung dengan rumus:

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_1 - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots [2]$$

keterangan :

- r = indeks kekuatan (stabilitas) pertama (%)
- S_{i+1} = Persen kekuatan (stabilitas) di waktu t_{i+1} (%)
- S_i = Persen kekuatan (stabilitas) di waktu t_i (%)
- t_i = Waktu perendaman (dari awal pengujian)
- t_{i+1} = Waktu perendaman (dari awal pengujian)

Dengan contoh data pengukuran dilakukan dengan lama perendaman 1,4,7 dan 14 hari maka rumus IDP menjadi:

$$r = \frac{S_0 - S_1}{0,5} + \frac{S_1 - S_4}{5,5} + \frac{S_4 - S_7}{6} + \frac{S_7 - S_{14}}{12} \dots\dots [3]$$

Jika nilai IDP kecil menandakan landainya penurunan dari kurva keawetan, yang menunjukkan kecilnya penurunan kekuatan dan sebaliknya jika semakin curam maka menunjukkan besarnya penurunan kekuatan. Nilai “r” positif menandakan nilai stabilitas menurun yang menyebabkan kehilangan kekuatan dari campuran aspal, sebaliknya nilai “r” negatif menandakan nilai stabilitas naik dan menyebabkan penambahan kekuatan pada campuran aspal.

Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas kedua adalah rerata luasan kehilangan kekuatan selama waktu perendaman. Semakin kecil nilai IDK menandakan penurunan kekuatan (stabilitas) semakin kecil, dan sebaliknya. IDK menggambarkan penurunan kekuatan dalam waktu 24 jam. Nilai “a” yang positif menandakan penurunan kekuatan, sedangkan nilai “a” yang negatif menandakan penambahan kekuatan. Persamaan 4 digunakan untuk menghitung nilai IDK yaitu sebagai berikut:

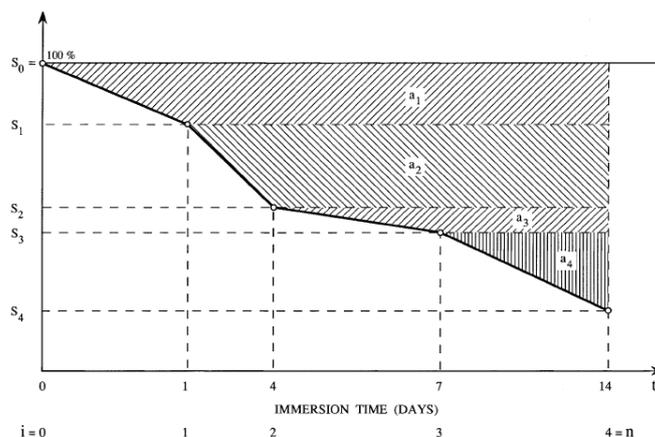
$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots\dots [4]$$

keterangan :

- a = Nilai penurunan kekuatan pada IDK (%)
- S_i = Persen kekuatan (stabilitas) di waktu t_i (%)
- S_{i+1} = Persen kekuatan (stabilitas) di waktu t_{i+1} (%)
- t_n = Waktu perendaman ke n (jam)
- t_i, t_{i+1} = Waktu perendaman (dari awal pengujian)

Kurva Keawetan

Setelah menggunakan rumus IKS maka berdasarkan Indeks Durabilitas Test, hasil diplotkan dalam bentuk grafik di bawah yang menggambarkan persentase stabilitas yang masih tersisa dalam durasi perendaman. Gambar 1 di bawah juga dinamakan dengan kurva keawetan.



Gambar 1. Kurva keawetan (J. Crauss, 1981)

Wilayah luasan a adalah penurunan kekuatan dari setiap waktu perendaman. Daerah di atas grafik atau yang diarsir adalah luas daerah indeks kekuatan sisa masing-masing waktu perendaman, sedangkan daerah dibawah grafik atau yang tidak diarsir merupakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a).

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya FT UNS. Hal-hal yang dilakukan di penelitian ini adalah perendaman dengan variasi waktu dan uji Marshall. Perendaman dilakukan dengan merendam benda uji dengan variasi waktu yaitu 30 menit, 24 jam (1 hari), 48 jam (2 hari), 72 jam (3 hari) dan 96 jam (4 hari).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dari karakteristik aspal dan agregat sudah memenuhi syarat/spesifikasi Bina Marga (2018) yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2 berikut ini.

Tabel 1 Rekapitulasi hasil pemeriksaan agregat

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

Tabel 2 Hasil pemeriksaan aspal

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Syarat Aspal Penetrasi 60/70	Hasil Aspal Pen. 60/70	Syarat Aspal Modifikasi	Hasil Aspal Modifikasi
Penetrasi (10 gr, 25°C, 5 detik)	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 (%)	SNI 06-2440:1991	≤ 0,8	-	≤ 0,8	0,083

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

Tabel 3 Rekapitulasi karakteristik Marshall pada KAO

Karakteristik Campuran	Satuan	Syarat		Hasil KAO		Keterangan
		Min	Max	Aspal Pen 60/70 (5,54%)	Aspal Modifikasi (6%)	
Stabilitas	Kg	800	-	855,074	965,799	Memenuhi
Bulk Density	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
Flow	mm	3	-	3,40	3,70	Memenuhi
Marshall Quotient	kg	250	-	207,02	261,066	Memenuhi pada Aspal Modifikasi

Hubungan Waktu Perendaman dengan Karakteristik Marshall

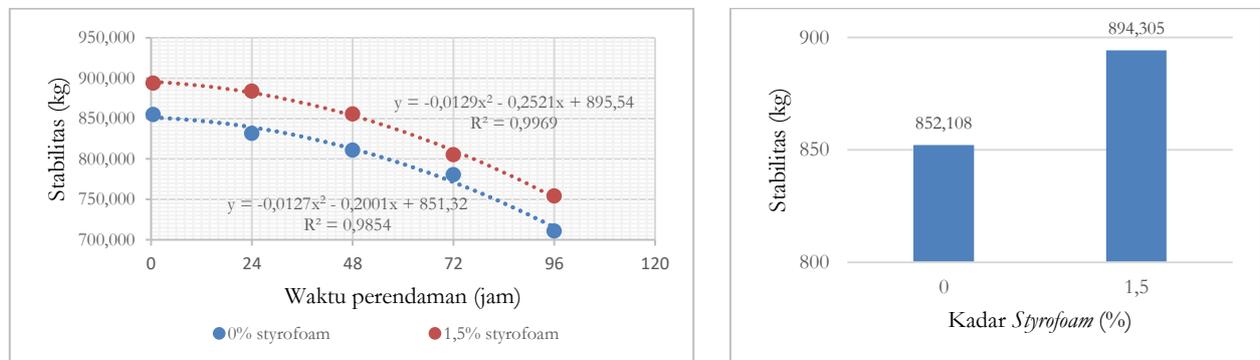
Perendaman dilakukan dengan merendam benda uji dengan variasi waktu yaitu 30 menit, 24 jam (1 hari), 48 jam (2 hari), 72 jam (3 hari) dan 96 jam (4 hari). Penelitian ini dilakukan dengan variasi penambahan 1,5% *styrofoam* dan tanpa penambahan *styrofoam*. Grafik pengaruh waktu perendaman terhadap karakteristik Marshall ditunjukkan pada gambar dan tabel berikut ini:

Tabel 4 Rekapitulasi pengujian Marshall tanpa penambahan *styrofoam*

Sifat Marshall	Spesifikasi	Hasil Marshall Test									
		Variasi waktu perendaman dalam air suhu tetap 60°C									
		0,5 jam	Ket	24 jam	Ket	48 jam	Ket	72 jam	Ket	96 jam	Ket
Stabilitas (kg)	≥ 800	855.28	☐	831.67	☐	811.13	☐	780.57	☑	710.96	☑
Flow (mm)	2-4	3.49	☐	3.50	☐	3.57	☐	3.63	☐	3.83	☐
MQ (kg/mm)	≥ 250	245.45	☑	237.87	☑	227.49	☑	214.87	☑	181.50	☑
VIM (%)	3-5	4.646	☐	4.795	☐	4.978	☐	4.902	☐	4.837	☐

Tabel 5 Rekapitulasi pengujian Marshall dengan penambahan 1,5% *styrofoam*

Sifat Marshall	Spesifikasi	Hasil Marshall Test									
		Variasi waktu perendaman dalam air suhu tetap 60°C									
		0,5 jam	Ket	24 jam	Ket	48 jam	Ket	72 jam	Ket	96 jam	Ket
Stabilitas (kg)	≥ 800	893.92	☐	884.31	☐	855.77	☐	805.396	☐	754.43	☑
Flow (mm)	2-4	3.37	☐	3.40	☐	3.53	☐	3.57	☐	3.67	☐
MQ (kg/mm)	≥ 250	265.46	☐	262.58	☐	248.97	☑	228.41	☑	185.27	☑
VIM (%)	3-5	4.578	☐	4.220	☐	4.064	☐	4.362	☐	4.230	☐



Gambar 2 Hubungan Nilai Stabilitas Terhadap Waktu Perendaman

Penelitian Mashuri dan Batti (2011) menyatakan bahwa *styrofoam* dapat bekerja sebagai serat karena memiliki sifat kekuatan tarik sehingga dapat meningkatkan elastisitas aspal sekaligus meningkatkan kekuatan aspal. Pada penelitian ini juga menunjukkan hal yang sama yaitu meningkatnya stabilitas campuran aspal dengan penambahan 1,5% *styrofoam* dibandingkan campuran aspal tanpa penambahan *styrofoam*.

Hasil yang didapat menunjukkan tidak semua hasil pemeriksaan nilai stabilitas memenuhi spesifikasi yang dipakai yaitu ≥ 800 kg. Nilai stabilitas campuran modifikasi (penambahan 1,5% *styrofoam*) pada perendaman 4 hari kurang dari 800 kg yaitu 754,427 kg, sedangkan nilai stabilitas campuran tanpa tambahan *styrofoam* pada perendaman 3 hari kurang dari 800 kg yaitu 780.567 kg dan pada perendaman 4 hari kurang dari 800 kg yaitu 710.963 kg. Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa semakin lama benda uji tersebut terendam dalam air, nilai stabilitasnya cenderung menurun. Pada penelitian ini menunjukkan terjadinya peningkatan nilai stabilitas dengan adanya penambahan *styrofoam* pada campuran AC-WC, artinya penambahan *Styrofoam* dapat meningkatkan daya ikat antara aspal dan agregat.

Analisis korelasi dilakukan untuk dapat mengetahui seberapa kuat hubungan antara variabel-variabel tersebut. Kuatnya hubungan antara variabel ini dinyatakan dalam koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (r). Berdasarkan analisis korelasi dapat diketahui seberapa kuat hubungan variabel yang ada. Nilai koefisien korelasi pada sebesar r merupakan akar dari koefisien determinasi (R^2), yang menunjukkan nilai ($0,9 \leq r \leq 1,0$), artinya hubungan korelasi antara kadar aspal campuran dengan nilai stabilitas adalah sangat kuat.

Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan *styrofoam* memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai stabilitas campuran. Nilai stabilitas campuran meningkat dengan penambahan *styrofoam*, hal ini dikarenakan nilai penetrasi campuran aspal modifikasi yang lebih rendah dapat mempengaruhi campuran aspal sehingga menyebabkan campuran aspal memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dan akan makin tahan terhadap kerusakan deformasi.

Hubungan Lama Perendaman dengan Karakteristik Marshall

Sifat tahan lama (durability) suatu campuran dapat dilihat dari analisis parameter-parameternya. Pengujian ini untuk mengetahui sejauh mana ketahanan campuran dilakukan dengan cara perendaman benda uji di dalam air bersuhu 60°C pada variasi waktu perendaman 30 menit, 24 jam (1 hari), 48 jam (2 hari), 72 jam (3 hari) dan 96 jam (4 hari).

Tabel 6 Rekapitulasi analisis durabilitas campuran aspal tanpa penambahan *styrofoam*

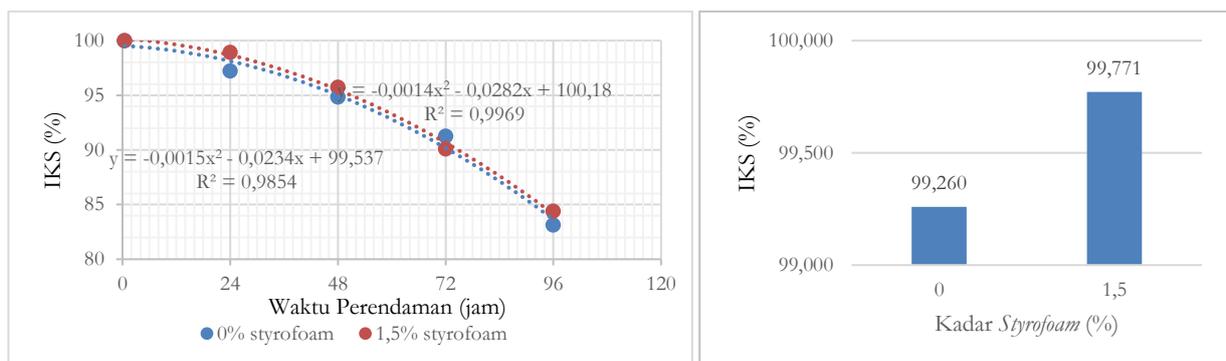
Lama Perendaman (Jam)	IKS (%)	IDP r (%)	IDK			
			a (%)	Sa (%)	A (%)	SA (kg)
0.5	100	0	0	100	0	831.665
24	97.239	0.117	1.35	98.65	11.241	820.423
48	94.838	0.100	0.60	98.05	4.992	826.673
72	91.265	0.149	0.60	97.45	4.953	826.712
96	83.127	0.339	1.02	96.44	8.460	823.204

Tabel 7 Rekapitulasi analisis durabilitas campuran aspal dengan penambahan 1,5% *styrofoam*

Lama Perendaman (Jam)	IKS (%)	IDP r (%)	IDK			
			a (%)	Sa (%)	A (%)	SA (kg)
0.5	100	0	0	100	0	884.311
24	98.925	0.046	0.526	99.474	4.652	879.659
48	95.733	0.133	0.798	98.676	7.058	877.253
72	90.097	0.235	0.939	97.737	8.306	876.005
96	84.396	0.238	0.713	97.024	6.303	878.008

Indeks Kekuatan Sisa

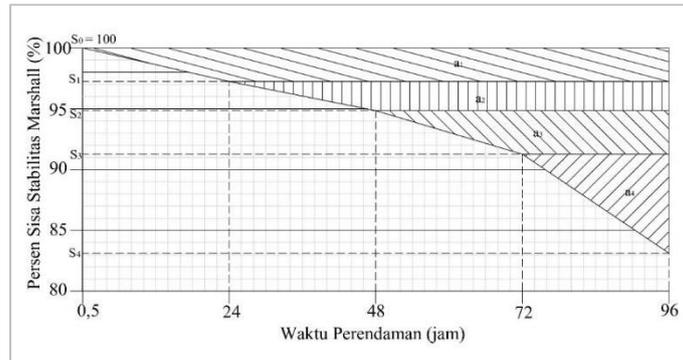
Penambahan *styrofoam* memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai IKS campuran. Nilai IKS dari kedua variasi campuran berada di atas spesifikasi minimum nilai IKS yang disyaratkan yaitu 90%. Campuran dengan penambahan *styrofoam* mendapatkan nilai IKS yang lebih besar daripada campuran tanpa penambahan *styrofoam*. Nilai VIM campuran dengan penambahan *styrofoam* lebih kecil dibandingkan dengan nilai VIM campuran tanpa penambahan *styrofoam*, hal ini yang menyebabkan ikatan antar agregan menjadi tinggi sehingga durabilitasnya juga akan naik.



Gambar 3. Hubungan nilai IKS terhadap waktu perendaman

Kurva Keawetan

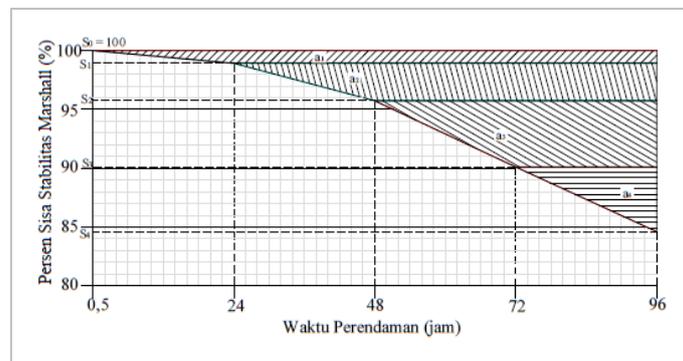
Kehilangan/penurunan stabilitas dapat digambarkan dalam bentuk kurva yang dapat dilihat pada gambar 7 dan 8. Nilai yang didapatkan dari luas daerah kurva keawetan campuran aspal dengan penambahan 1,5% *styrofoam* lebih kecil dibandingkan dengan campuran aspal tanpa penambahan *styrofoam*. Hal ini menandakan kehilangan kekuatan campuran aspal dengan penambahan 1,5% *Styrofoam* lebih kecil daripada kehilangan kekuatan campuran aspal tanpa penambahan *styrofoam*.



Gambar 4 Kurva keawetan campuran tanpa penambahan *styrofoam*

Tabel 6 Luasan kurva keawetan campuran tanpa penambahan *styrofoam*

Lama Perendaman (jam)	Luas Area (cm ²)	Indeks durabilitas (%)
0,5	-	-
24	463.625	4.8294
48	287.976	2.9998
72	257.364	2.6809
96	195.360	2.0350
Total		12,5451



Gambar 5 Kurva keawetan campuran dengan penambahan 1,5% *styrofoam*

Tabel 8 Luasan kurva keawetan campuran dengan penambahan 1,5% *styrofoam*

Lama Perendaman (jam)	Luas Area (cm ²)	Indeks durabilitas (%)
0,5	-	-
24	181,418	1,8897
48	382,800	3,9875
72	405,360	4,2225
96	132,000	1,3750
Total		11,4747

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian yang telah dilakukan, durabilitas campuran AC-WC yang direndam dengan variasi waktu dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Durabilitas campuran dengan penambahan 1,5% styrofoam meningkat dibandingkan dengan campuran tanpa penambahan styrofoam. Semakin lama terjadi proses perendaman maka semakin menurun tingkat durabilitas campuran aspal. Kepadatan yang tinggi atau VIM yang kecil dapat mengurangi infiltrasi air, maka kepadatan menjadi salah satu faktor penting dalam mempertahankan stabilitas terhadap durabilitas. Nilai VIM yang diperoleh campuran aspal dengan penambahan Styrofoam lebih kecil daripada campuran aspal tanpa penambahan Styrofoam, hal ini menjadikan campuran aspal dengan penambahan Styrofoam lebih tahan air dan suhu pada kondisi perendaman.
2. Indeks Kekuatan Sisa (IKS) memiliki nilai tertinggi pada campuran dengan penambahan 1,5% styrofoam. Nilai IKS pada campuran dengan penambahan 1,5% Styrofoam adalah 98,92%, sedangkan untuk campuran tanpa penambahan styrofoam adalah 97,239%. Menandakan adanya kenaikan durabilitas dengan penambahan 1,5% styrofoam. Luas dari daerah kurva keawetan yang terkecil adalah 11,4747% yaitu pada campuran aspal dengan penambahan 1,5% styrofoam. Sedangkan luas dari daerah kurva keawetan untuk campuran aspal tanpa penambahan Styrofoam didapatkan nilai sebesar 12,5451%. Nilai yang didapatkan dari luas daerah kurva keawetan campuran aspal dengan penambahan 1,5% Styrofoam lebih kecil dibandingkan dengan campuran aspal tanpa penambahan Styrofoam. Hal ini menandakan kehilangan kekuatan campuran aspal dengan penambahan 1,5% Styrofoam lebih kecil daripada kehilangan kekuatan campuran aspal tanpa penambahan styrofoam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada orangtua penulis karena telah mendukung penulis. Terimakasih pula kepada para dosen Program Studi Teknik Sipil FT UNS yang telah mengerahkan ilmunya kepada kami para mahasiswa.

REFERENSI

- Batti, Mashuri dan Fredy J, 2011, "Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas", *Mekatek*. Vol. 13 No. 3 September.
- Craus J., Ishai I., and Sidess A., 1981, "Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties", *Asphalt Paving Technology*. Vol 50, pp 291-318.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 2018, "Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan". Jakarta.
- Putri, Eka E. dan Dwinanda A., 2018, "The Effect of Styrofoam Addition into HRS-Base on Marshall Characteristics", *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. Vol.8 No. 5.
- Putri, E.E. and Syamsuwirman, S., 2016. Tinjauan Substitusi Styrofoam Pada Aspal Pen. 60/70 Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc). *Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), pp.105-114.
- Ramadan, K.Z., Al-Khateeb, G.G. and Taamneh, M.M., 2020. Mechanical properties of styrofoam-modified asphalt binders. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13(2), pp.205-211.
- Saleh, S.M., Anggraini, R. and Aquina, H., 2014. Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 21(3), pp.241-250.
- Sukirman S., 2016, "Beton Aspal Campuran Panas", Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Sulchan M., 2007, "Keamanan Pangan Kemasan Plastik dan Styrofoam", *Majalah Kedok Indon*. Vol. 57 No. 2 Feb.
- Sulianti, I., Ibrahim, I., Subrianto, A., Monita, A. and Medici, M., 2019, November. Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Styrofoam. In *Forum Mekanika* (Vol. 8, No. 2, pp. 51-62).