

**Pengaruh *Penetration Index* Terhadap Karakteristik
Marshall Laston Menggunakan Limbah Styrofoam dan PVC**

Ratna Yuniarti¹, I Dewa Made Alit Karyawan^{*2}

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat

Submitted : 31, Januari , 2021;

Accepted: 3, Maret, 2021

Abstrak

Kinerja perkerasan jalan sangat ditentukan oleh bahan yang digunakan untuk membuat *hot mix asphalt*. Namun ada kalanya ditemukan bahwa aspal yang digunakan tidak memenuhi persyaratan titik lembek. Di sisi lain, jumlah limbah styrofoam dan limbah PVC semakin banyak dan membutuhkan lahan yang luas untuk penanganannya. Karena itu, perlu dilakukan upaya peningkatan kualitas aspal dengan memanfaatkan limbah styrofoam dan limbah PVC. Tulisan ini bertujuan mengkaji kinerja campuran laston menggunakan aspal modifikasi limbah styrofoam dan limbah PVC berdasarkan nilai *penetration index*. Aspal modifikasi styrofoam dibuat dengan cara mencampur aspal penetrasi 60/70 dengan limbah styrofoam sebesar 0%, 2%, 4% dan 6%, sedangkan aspal modifikasi limbah PVC dibuat dengan prosentase 1%, 2%, 3% dan 4%. Karakteristik campuran yang dikaji adalah stabilitas Marshall, *flow*, Marshall Quotient, Marshall immersion dan indeks kekuatan sisa. 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.

Kata Kunci : Limbah; styrofoam; PVC; *penetration index*

Abstract

The performance of road pavement is strongly determined by material used in asphalt mixture. However, it is occasionally found that asphalt used in hot mix asphalt did not fulfill softening point requirement. On the other hand, the amounts of waste styrofoam and PVC are tend to increase and need a large space for its handling. Therefore, it is necessary to improve the quality of asphalt by using waste styrofoam and PVC. This article aims to review the performance of asphalt concrete using waste styrofoam and PVC as asphalt modifier based on the value of its penetration index. Styrofoam modified asphat was made by mixing asphalt penetration grade 60/70 with 0%, 2%, 4% and 6% waste styrofoam, meanwhile the

*Corresponding author e-mail : dewaalit@unram.ac.id
Another author : ratna_yuniarti@unram.ac.id

percentages of waste PVC as asphalt modifier were 1%, 2%, 3% and 4%, respectively. The properties analyzed are Marshall stability, flow, Marshall Quotient, Marshall immersion and retained strength index. From the analysis, it can be concluded that the use of waste styrofoam and PVC increase modified asphalt penetration index, and its penetration index significantly affect the properties of asphalt concrete.

Keywords : Waste material; styrofoam; PVC; penetration index

A. PENDAHULUAN

Lapis perkerasan jalan seringkali mengalami kerusakan sebelum tercapainya umur layanan yang telah direncanakan sebelumnya. Untuk mencegah terjadinya kerusakan dini pada lapis perkerasan tersebut, harus digunakan material yang memenuhi standar spesifikasi. Namun adakalanya material yang tersedia belum sepenuhnya sesuai kriteria. (Farid , 2017) menyebutkan bahwa titik lembek aspal penetrasi 60/70 yang diujikan belum memenuhi standar persyaratan titik lembek yaitu 48°C. Karena itu, upaya untuk meningkatkan kualitas aspal dengan modifikasi menggunakan bahan-bahan lain perlu terus dilakukan.

Meningkatnya jumlah penduduk secara otomatis meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan sehingga menimbulkan permasalahan tersendiri. Penelitian yang dilakukan LIPI menyebutkan bahwa sekitar 8,32 ton/hari sampah plastik masuk ke Teluk Jakarta dan didominasi oleh styrofoam (Cordova dan Nurhati, 2019). 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.

Untuk meningkatkan kualitas aspal dan mengatasi permasalahan limbah adalah dengan memanfaatkan limbah styrofoam dan limbah plastik PVC. 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. Dengan karakteristik tersebut, limbah styrofoam banyak diteliti di United States, Canada, Europe and Australia sebagai aspal modifier (Yildirim, 2007). 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 (Nassar, et al., 2012; Wen, et al., 2002; Airey, 2003). Adapun penggunaan limbah plastik *polyvinyl chloride* (PVC) sebagai bahan tambah pada aspal dapat meningkatkan titik lembek aspal modifikasi tersebut (Mashuri, 2009).

Kinerja *hot mix asphalt* sangat ditentukan oleh karakteristik dari aspal yang digunakan pada campuran. Kepekaan aspal terhadap temperatur menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk mengeras dan diukur dengan parameter *penetration index* (Sukirman, 2007). (Putra, 2019) dan (Rozy, 2019) telah meneliti potensi penggunaan limbah styrofoam dan limbah plastik PVC sebagai modifier aspal pada campuran *asphalt concrete wearing course*. Namun penelitian tersebut belum mengkaji

hubungan antara *penetration index* dengan karakteristik Marshall campuran. Karena itu, tulisan ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik campuran *asphalt concrete wearing course* berdasarkan nilai *penetration index* aspal yang dimodifikasi limbah styrofoam dan limbah PVC tersebut.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Plastik merupakan material yang terdiri dari rantai panjang karbon dan elemen-elemen lain dengan karakteristik ringan tahan korosi dan kerusakan terhadap lingkungan yang agresif. Plastik dibuat dengan cara polimerisasi dengan penyusunan dan pembentukan bahan-bahan dasar plastik (monomer) melalui reaksi kimia. Polimer dibedakan menjadi *elastomer* dan *plastomer*. *Elastomer* bersifat kenyal, dapat berubah bentuk dan dapat ditarik, tetapi bentuknya akan kembali seperti semula sedangkan *plastomer* bersifat kaku, apabila ditarik dan diberi tegangan tidak akan kembali ke bentuk semula. *Polyvinyl chloride* atau PVC adalah contoh jenis *plastomer* (Rahayu, 2009).

Styrofoam adalah salah satu varian dari zat bernama *polystyrene* (PS) yang dalam proses pembuatannya melibatkan pencampuran gelembung udara sehingga mengembang dan membuatnya ringan seperti busa. Dengan struktur yang tersusun dari butiran berkerapatan rendah dan terdapat ruang antar butiran yang tidak dapat menghantarkan panas, styrofoam merupakan insulator panas yang sangat baik (Saleh et al, 2014). Dalam kehidupan sehari-hari, styrofoam banyak digunakan sebagai bahan pengganjal pada kemasan atau pengepakan barang-barang elektronik. Penambahan styrofoam pada aspal mengakibatkan kepekaan campuran aspal terhadap temperatur menjadi berkurang dan daya tahan terhadap *rutting* menjadi meningkat (Fang et al., 2014).

C. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan untuk melakukan kajian hubungan *penetration index* dengan karakteristik campuran laston ini adalah data skunder yang mengacu pada hasil penelitian (Putra, 2019) dan (Rozy, 2019) di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram. Prosedur penelitian agregat, aspal dan *hot mix asphalt* yang dilakukan (Putra, 2019) dan (Rozy, 2019) berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian tersebut menggunakan aspal pen 60/70 serta agregat kasar dan agregat halus yang diambil dari stok agregat di pabrik pencampur aspal (*asphalt mixing plant*) di Pringgabaya, Lombok Timur.

Untuk membuat aspal modifikasi, aspal 60/70 ditambahkan dengan limbah styrofoam sebesar 0%, 2%, 4% dan 6% terhadap berat aspal 60/70 (Putra, 2019). Adapun aspal modifikasi limbah PVC dibuat dengan penambahan 1%, 2%, 3% dan 4% terhadap berat aspal 60/70 (Rozy, 2019). Pembuatan campuran laston dilakukan secara panas (*hot mix*) pada suhu 155°C sedangkan proses pemadatan dilakukan sebanyak 75 kali dengan alat pemadat Marshall pada kedua sisinya. Masing-masing parameter dibuat 3 (tiga) kali ulangan dan nilai yang disajikan adalah rata-rata dari ketiga specimen tersebut. Selanjutnya dianalisa hubungan antara nilai *penetration index* aspal modifikasi limbah styrofoam dan limbah PVC dengan nilai Marshall, *flow* dan Marshall Quotient pada kadar aspal optimum 6%. Nilai *Penetration Index* dihitung dengan persamaan berikut:

$$PI = \frac{20(1-25A)}{1+50A} \quad (1)$$

$$A = \frac{\log_{10} T_1 - \log_{10} 800}{T_1 - SP} \quad (2)$$

Dengan :

PI = *Penetration index*

A = Kemiringan kurva log penetrasi terhadap temperatur

Pen T1 = Penetrasi pada temperatur T1

T1 = Temperatur standar pada pengujian penetrasi (25°C)

SP = Temperatur titik lembek aspal

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan *penetration index* disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2, sedangkan karakteristik campuran disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 terlihat bahwa pada prosentase penggunaan limbah yang sama sebesar 4%, nilai *penetration index* pada aspal modifikasi limbah PVC lebih besar dari nilai *penetration index* pada aspal modifikasi limbah styrofoam. Hal ini disebabkan karena aspal modifikasi PVC menghasilkan titik lembek yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal modifikasi styrofoam sehingga modulus kekakuan aspal modifikasi PVC lebih besar dari aspal modifikasi styrofoam.

Penggunaan limbah styrofoam dan limbah PVC yang meningkatkan titik lembek pada aspal modifikasi tersebut mengakibatkan peningkatan nilai stabilitas Marshall dan Marshall Quotient campuran laston sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Nilai *flow* yang semakin kecil juga menunjukkan berkurangnya tingkat kelenturan dari campuran. Dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi styrofoam, campuran dengan aspal modifikasi PVC menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi. Karakteristik PVC yang bersifat kaku dan tidak bisa kembali ke bentuk semula apabila diberi tegangan diindikasikan sebagai penyebab dari fenomena ini.

Adapun hubungan antara nilai *penetration index* dengan stabilitas, flow Marshall Quotient, Marshall immersion dan indeks kekuatan sisa disajikan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 5.

Tabel 1. Perhitungan *penetration index* pada aspal modifikasi limbah styrofoam

Prosentase styrofoam	Penetrasi, 25°C, 5 detik, 0.1 mm*)	Titik lembek, °C *)	Kemiringan kurva**)	<i>Penetration Index</i> **)
0	67.9	47.3	0.0693	-1.181
2	66.7	49	0.0639	-0.763
4	65.4	51	0.0617	-0.296
6	63.5	52.5	0.0627	-0.002

Sumber: *) Putra (2019)

**) Hasil perhitungan

Tabel 2. Perhitungan *penetration index* pada aspal modifikasi limbah PVC

Prosentase PVC	Penetrasi, 25°C, 5 detik, 0.1 mm*)	Titik lembek, °C *)	Kemiringan kurva**)	<i>Penetration Index</i> **)
1	66.9	49	0.0480	-0.755
2	65.7	51.5	0.0450	-0.158
3	64.3	53	0.0418	0.152
4	61.7	54	0.0400	0.279

Sumber: *) Rozy (2019)

**) Hasil perhitungan

Tabel 3. Hasil pengujian campuran menggunakan aspal modifikasi limbah styrofoam

Prosentase limbah styrofoam (%)	Stabilitas Marshall, kg*)	Flow, mm*)	Marshall Quotient, kg/mm*)	Marshall immersion, kg*)	Indeks kekuatan sisa, %*)
0	2335.15	3.45	677.23	2100.23	89,94
2	2391.01	3.13	763.73	2140.04	89,50
4	2421.98	3.09	784.10	2199.81	90,83
6	2513.91	2.93	858.44	2317.99	92,21
Persyaratan**)	Min. 1000	2-4	Min 250	-	Min 90

Sumber: *) Putra (2019)

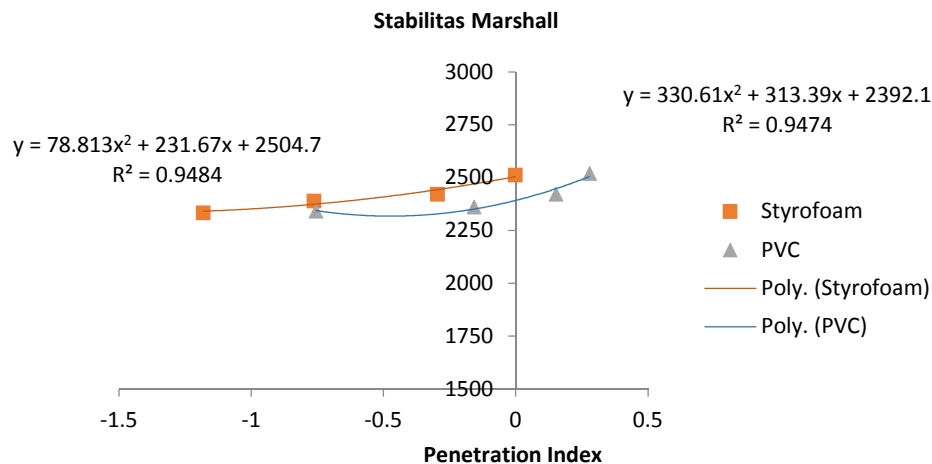
**) Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

Tabel 4. Hasil pengujian campuran menggunakan aspal modifikasi limbah PVC

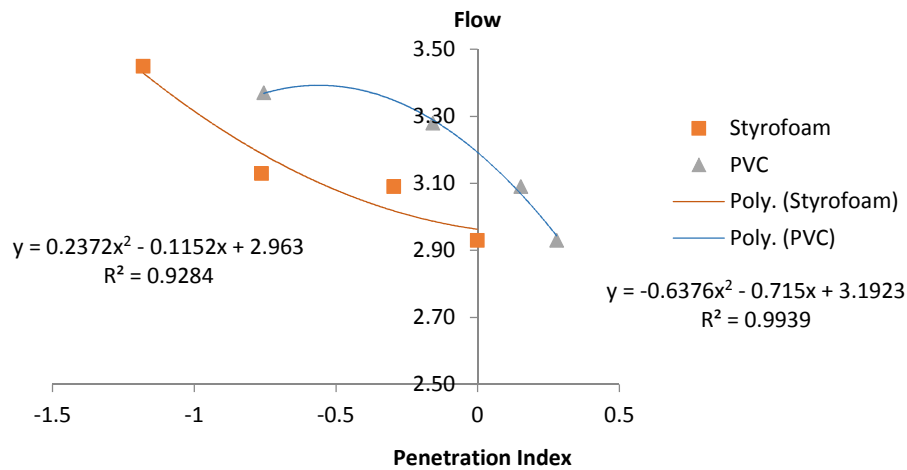
Prosentase limbah PVC (%)	Stabilitas Marshall, kg*)	Flow, mm*)	Marshall Quotient, kg/mm*)	Marshall immersion, kg*)	Indeks kekuatan sisa, %*)
1	2342.3	3.37	694.34	2183.51	93,22
2	2362.0	3.28	719.55	2264.82	95,88
3	2422.1	3.09	783.86	2339.75	96,60
4	2521.0	2.93	860.61	2382.69	94,51
Persyaratan**)	Min. 1000	2-4	Min 250	-	Min 90

Sumber: *) Rozy (2019)

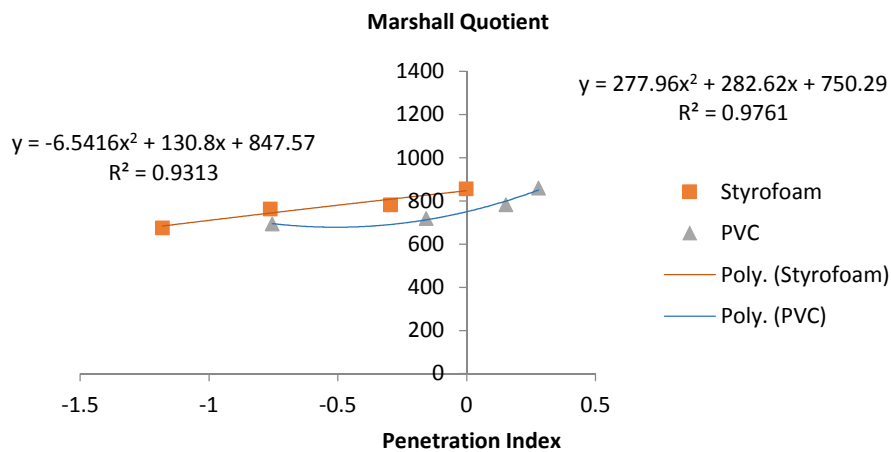
**) Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)



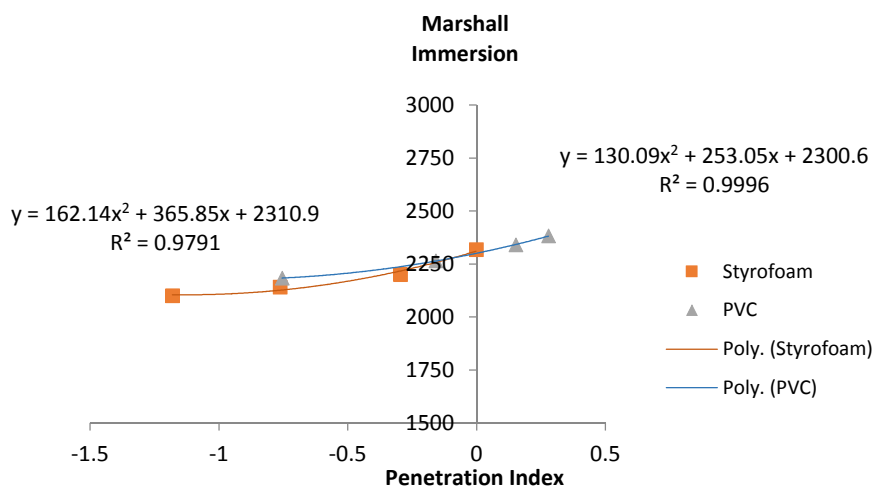
Gambar 1. Grafik hubungan PI dan stabilitas Marshall



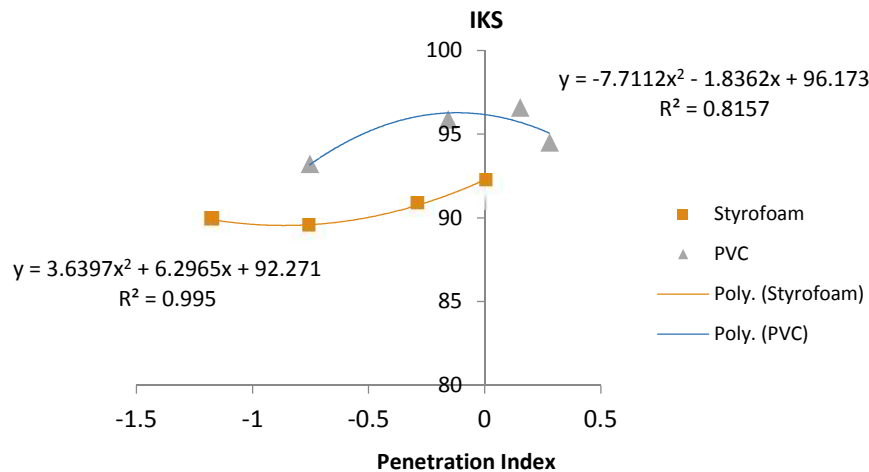
Gambar 2. Grafik hubungan PI dan *flow*



Gambar 3. Grafik hubungan PI dan Marshall Quotient



Gambar 4. Grafik hubungan PI dan Marshall immersion



Gambar 5. Grafik hubungan PI dan indeks kekuatan sisa

Gambar 1 menyajikan hubungan antara *penetration index* dengan nilai stabilitas. Baik pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi styrofoam maupun pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi PVC, nilai stabilitas semakin besar berbanding lurus dengan nilai *penetration index*. Kekakuan aspal semakin besar membuat campuran lebih kuat dalam menerima pembebanan sehingga menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi. Pada prosentase penggunaan yang sama sebesar 4%, aspal modifikasi limbah PVC menghasilkan stabilitas lebih tinggi dari campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah styrofoam. Hal tersebut berarti bahwa aspal dengan nilai *penetration index* lebih besar lebih tahan terhadap perubahan bentuk tetap atau *permanent deformation*.

Berdasarkan gambar 2, terlihat bahwa nilai *flow* dari campuran semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai *penetration index*. Nilai *flow* merupakan indikator dari lendutan yang terjadi ketika campuran menerima pembebanan. Penggunaan limbah styrofoam dan limbah PVC sebagai *modifier* pada aspal mengakibatkan nilai penetrasi semakin kecil dan titik lembek semakin besar

sehingga menghasilkan *penetration index* lebih tinggi. Dengan nilai R^2 masing-masing sebesar 0,9284 dan 0,9939; *penetration index* berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai *flow*.

Pada Gambar 3 disajikan hubungan antara nilai *penetration index* dengan nilai Marshall Quotient. Karena Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow*, maka fenomena yang terjadi juga sama dengan stabilitas yaitu semakin tinggi nilai *penetration index*, Marshall Quotient semakin besar. Marshall Quotient yang merupakan indikator kekakuan empiris sangat dipengaruhi oleh *penetration index* lebih dari 93% dan sisanya oleh faktor-faktor lain.

Gambar 4 menyajikan hubungan antara *penetration index* dan Marshall immersion, yaitu stabilitas pada campuran aspal-agregat yang direndam pada suhu 60°C selama 24 jam. Marshall immersion merupakan tolok ukur daya tahan campuran terhadap rendaman air yang menentukan tingkat keawetan lapisan perkerasan jalan (Epps *et al.*, 2000). Berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC menghasilkan nilai Marshall immersion

yang lebih besar dibandingkan campuran dengan aspal modifikasi limbah styrofoam. Hal tersebut mengindikasikan bahwa campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah PVC memiliki tingkat durabilitas yang lebih tinggi. Dengan nilai R^2 yang hampir mendekati 1 pada kedua jenis aspal modifikasi, *penetration index* berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai Marshall immersion.

Perbandingan antara stabilitas Marshall pada perendaman selama 24 jam (Marshall immersion) dengan perendaman selama 30 menit disebut sebagai indeks kekuatan sisa (IKS) yang disajikan pada gambar 5. Baik pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah styrofoam maupun limbah PVC, nilai IKS semakin tinggi seiring dengan meningkatnya nilai *penetration index*. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa aspal dengan modulus kekakuan yang tinggi membuat campuran lebih tahan terhadap rendaman air. Berdasarkan spesifikasi bahwa nilai IKS adalah minimal 90%, persyaratan tersebut terpenuhi pada penggunaan aspal modifikasi limbah styrofoam sebesar 4% dan 6%, sedangkan pada aspal modifikasi limbah PVC dipenuhi pada penggunaan 1%-4%.

E. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan limbah styrofoam dan limbah PVC sebagai *modifier* aspal meningkatkan nilai *penetration index* pada aspal tersebut.
2. *Penetration index* pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah styrofoam dan limbah PVC berpengaruh sangat signifikan dalam terhadap karakteristik campuran, yaitu meningkatkan stabilitas, Marshall

Quotient, Marshall immersion dan nilai indeks kekuatan sisa dari campuran.

3. Semakin besar nilai *penetration index*, fleksibilitas dari campuran semakin berkurang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Arianto Putra dan Fahrur Rozy atas data-data yang disediakan sehingga tersusunnya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Airey, G.D. (2003). Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, *Fuel*, 82(14):1709-1719.
- Cordova, M.R. dan Nurhati, I.S. (2019). Major Sources and Monthly Variations in the Release of Land-Derived Marine Debris from the Greater Jakarta Area, Indonesia, *Scientific Reports* (2019) 9:18730 | <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55065-2>.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013. *Spesifikasi Umum Edisi 2010 Revisi 3*, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Epps, J. A.; Sebaaly, P. E.; Penaranda, J.; Maher, M. R.; McCann, M. B. and Hand, A. J. (2000). NCHRP Report 444: *Compatibility of a Test for Moisture-Induced Damage with Superpave Volumetric Mix Design*, TRB National Research Council, Washington D.C.
- Fang, C.; Jiao, L.; Hu, J.; Yu, Q.; Guo, D.; Zhou, X.; Yu, R. (2014). Viscoelasticity of Asphalt Modified With Packaging Waste Expanded Polystyrene, *Journal of Material*

Sciences & Technology, Vol. 30
No.9, pp. 939-943.

Farid, M. (2017). *Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat terhadap Kinerja Campuran Lapis Aspal Beton (Laston)*, Mataram, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Mashuri, (2009). *Karakteristik Aspal Sebagai Bahan Pengikat yang ditambahkan Plastik Polyvinyl Chloride (PVC)*, Majalah Ilmiah Mektek Vol.11 No. 2.

Nassar, I. M.; Kabel, K. I.; Ibrahim, I. M. (2012). Evaluation of the Effect of Waste Polystyrene on Performance of Asphalt Binder, *ARPN Journal of Science and Technology*, Vol. 2, No. 10, pp. 927-935.

Putra, A. (2019). *Pengaruh Penggunaan Styrofoam Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Rahayu, R.H. (2009). *Studi Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) yang Ditambahkan*

Plastik PVC, Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

Rozy, F. (2019). *Pengaruh Penggunaan Plastik PVC Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Saleh, S.M.; Anggraini, R.; Aquina, H., (2014). Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam Pada Aspal Pen 60/70, *Jurnal Teknik Sipil ITB*, Vol. 21 No. 3, pp. 241-250.

Sukirman, S. (2007). *Beton Aspal Campuran Panas*, Bandung

Wen, G.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Sun, K.; Fan, Y.; 2002. Rheological Characterization of Storage-Stable SBS-Modified Asphalts, *Polymer Testing*, 21(3):295-302.

Yildirim, Y.; 2007. Polymer Modified Asphalt Binders, *Construction and Building Materials*, 21(1):66-72.



© 2021 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)