

PENGARUH DAKTILITAS ASPAL MODIFIKASI GETAH PINUS DAN LIMBAH STYROFOAM TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON

Ratna Yuniarti^{1*}, Hasyim², Rohani³, Desi Widianty⁴
^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
*Corresponding Author Email: ratna_yuniarti@unram.ac.id

ABSTRAK

Kerusakan perkerasan jalan sebelum tercapainya umur rencana antara lain disebabkan karena kualitas bahan perkerasan jalan yang digunakan tidak memenuhi ketentuan. Di samping itu, genangan air di musim penghujan mengakibatkan lepasnya ikatan antara aspal dan agregat sehingga mempercepat terjadinya kerusakan tersebut. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas aspal sebagai bahan perkerasan jalan adalah menggunakan aspal yang dimodifikasi getah pinus dan limbah styrofoam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sifat daktilitas aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam terhadap kinerja perkerasan. Pada penelitian ini, digunakan agregat bergradasi rapat sesuai standar Bina Marga. Agregat beserta aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam dicampur secara panas pada suhu 155°C. Pematatan dilakukan dengan penumbuk Marshall sebanyak 75 kali pada kedua sisinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat daktilitas aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam berpengaruh sangat signifikan terhadap karakteristik campuran aspal beton. Penambahan getah pinus menurunkan nilai daktilitas aspal dan menghasilkan nilai Marshall immersion yang semakin tinggi. Nilai Marshall immersion yang lebih besar mengindikasikan bahwa *hot mix asphalt* tersebut lebih tahan terhadap rendaman air. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga bahwa nilai rongga di antara mineral agregat (VMA) minimal 15%, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 3%-5%, rongga yang terselimuti aspal (VFB) minimal 65%, stabilitas Marshall minimal 1000 kg, *flow* antara 2-4 mm, dapat disimpulkan bahwa campuran perkerasan dengan aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam memenuhi standar yang berlaku.

Keyword: aspal modifikasi, getah pinus, limbah styrofoam, kinerja perkerasan

1. PENDAHULUAN

Kerusakan perkerasan jalan sebelum tercapainya umur rencana dapat disebabkan karena kualitas material yang digunakan tidak sesuai dengan persyaratan. Di samping itu, genangan air di musim penghujan mengakibatkan lepasnya ikatan antara aspal dan agregat sehingga mempercepat terjadinya kerusakan pada perkerasan. Salah satu alternatif untuk mengatasi persoalan tersebut adalah memodifikasi aspal agar diperoleh suatu produk aspal yang tahan terhadap rendaman air dengan menambahkan bahan nabati yang ramah lingkungan. Berbagai bahan nabati diketahui mengandung komposisi yang mirip dengan bahan pengikat aspal konvensional yaitu *hydrocarbons*, *aromatics*, *saturates* dan *asphaltenes* [1]. Di samping itu, penggunaan getah pinus sebagai bagian dari *modifier* asbuton menghasilkan campuran perkerasan aspal yang dapat memikul beban lalu lintas berat [2]. Getah pinus yang digunakan sebagai *modifier* pada aspal porus juga menghasilkan campuran yang memiliki daya tahan lebih kuat terhadap degradasi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal konvensional [3].

Permasalahan lain yang masih dihadapi adalah semakin meningkatnya jumlah limbah padat yang dihasilkan akibat meningkatnya pertumbuhan penduduk. Limbah styrofoam yang berasal dari pelapis barang elektronik serta kemasan makanan merupakan limbah yang sulit diuraikan secara alami dan memerlukan lahan yang luas untuk penanganannya. Styrofoam memiliki karakteristik dasar seperti aspal yang

bersifat termoplastik, yaitu berbentuk solid pada temperatur ruang dan dapat meleleh pada suhu di atas 100°C serta menjadi kaku kembali ketika didinginkan. Dengan karakteristik dasar yang mirip dengan aspal, limbah styrofoam dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas bahan perkerasan jalan sehingga banyak diteliti di United States, Canada, Europe and Australia sebagai aspal modifier [4]. Penggunaan limbah styrofoam pada campuran perkerasan aspal sangat mempengaruhi sifat mekanis dari *hot mix asphalt* yaitu meningkatkan kemampuan memikul beban dan memperkecil kelelahan (*flow*) [5]. Perkerasan jalan yang menggunakan aspal modifikasi styrofoam juga menunjukkan ketahanan lebih baik terhadap *rutting* dan retak, menurunkan kerusakan akibat *fatigue* (kelelahan), mengurangi pengelupasan butiran serta lebih tahan terhadap cuaca [6][7]. Selanjutnya dengan dengan penambahan styrofoam pada aspal, kepekaan campuran aspal terhadap temperatur menjadi berkurang dan daya tahan terhadap *rutting* menjadi meningkat [8]. Dengan berkurangnya sensitivitas terhadap temperatur, aspal modifikasi styrofoam cocok untuk diterapkan pada daerah tropis [9].

Mengingat bahwa bahan-bahan nabati dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal, pada penelitian ini digunakan getah pinus dan limbah styrofoam untuk memodifikasi aspal. Penambahan limbah styrofoam pada aspal diharapkan dapat meningkatkan daya ikat antara aspal dan agregat sehingga memperkecil terjadinya pengelupasan butiran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik laston lapis aus menggunakan aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam terhadap sifat volumetrik dan sifat mekanis campuran. Sifat volumetrik tersebut adalah rongga dalam campuran (VIM), rongga antara mineral agregat (VMA) dan rongga terselimuti aspal (VFB), sedangkan sifat mekanis meliputi stabilitas, *flow*, Marshall quotient dan Marshall immersion.

2. METODE

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal, getah pinus dan limbah styrofoam. Agregat kasar, halus dan *filler* diambil dari pabrik pencampur aspal di Pringgabaya, Lombok Timur. Aspal yang dipakai adalah aspal grade 60/70 yaitu aspal dengan tingkat kekerasan 60-70 dmm yang diproduksi Pertamina. Adapun getah pinus yang digunakan diambil dari hasil sadapan getah pinus di perkebunan rakyat di Kabupaten Malang, Jawa Timur sedangkan limbah styrofoam berasal dari styrofoam pelindung alat-alat elektronik.

2.2 Pemeriksaan sifat fisik agregat

Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat ini terdiri dari uji analisa saringan, keausan, berat jenis dan kelekatan agregat terhadap aspal. Pengujian analisa saringan mengikuti prosedur SNI 03-1968-1990, pengujian berat jenis agregat kasar sesuai dengan SNI 1969:2008, pengujian berat jenis agregat halus berdasarkan prosedur SNI 1970:2008. Adapun pengujian kelekatan agregat terhadap aspal sesuai dengan SNI 03-2439-1991.

2.3 Pembuatan dan pemeriksaan daktilitas aspal modifikasi

Tabel 1. Proporsi aspal modifikasi

Bahan	Komposisi (%)			
	AM0	AM1	AM2	AM3
Aspal 60/70	94	93	92	91
Limbah styrofoam	6	6	6	6
Getah pinus	0	1	2	3
Jumlah (%)	100	100	100	100

Pemeriksaan daktilitas aspal modifikasi yang diwakili dengan kode spesimen AM0, AM1, AM2 dan AM3 tersebut mengacu kepada Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 06-2432-1991.

2.4 Pembuatan campuran agregat dan aspal modifikasi

Distribusi ukuran agregat yang digunakan sesuai dengan Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Distribusi ukuran agregat yang digunakan

Ukuran saringan		Spesifikasi [10] (% lolos)	Gradasi terpakai (% lolos)
ASTM	mm		
3/4"	19	100	100
1/2"	12,5	90-100	95
3/8"	9,5	77-90	84
No. 4	4,7	53-69	61
No. 8	2,36	33-53	43
No. 16	1,18	21-40	30
No. 30	0,6	14-30	22
No. 50	0,3	9-22	16
No. 100	0,15	6-15	11
No. 200	0,075	4-9	7

Selanjutnya, campuran aspal dan agregat dibuat dengan menggunakan kadar aspal rencana sesuai dengan perkiraan kadar aspal optimum yaitu:

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% \text{ filler}) + \text{konstanta} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

P_b = perkiraan kadar aspal optimum

CA = agregat kasar (tertahan saringan nomor 4)

FA = agregat halus (lolos saringan nomor 4 dan tertahan saringan nomor 200)

Filler = agregat halus lolos saringan nomor 200.

Nilai konstanta berada pada rentang berkisar 0,5 - 1,0 untuk laston [10]. Dalam penelitian ini dipakai konstanta sebesar 0,75. Agregat dan aspal modifikasi dicampur secara panas (*hot mix*) pada suhu 155°C kemudian dipadatkan dengan pemadat Marshall sebanyak 75 kali pada kedua sisinya. Pada campuran dilakukan *curing* selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian sifat volumetrik.

2.5 Pengujian sifat-sifat volumetrik campuran aspal modifikasi dan agregat;

Pengujian ini meliputi rongga di antara mineral agregat (*voids in the mineral*

aggregate = VMA), rongga dalam campuran (*voids in mix* = VIM), maupun rongga pori yang terisi aspal (*voids filled with bitumen* = VFB) yang dihitung sebagai berikut:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan :

- VMA = Volume pori di antara agregat
- G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat
- G_{sb} = Berat jenis bulk agregat
- P_s = Kandungan agregat, persen terhadap total campuran

$$VIM = 100 \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :

- VIM = Volume pori dalam campuran
- G_{mm} = Berat jenis maksimum dari campuran
- G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

$$VFB = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan :

- VFB = Volume pori yang terisi aspal
- VMA = Volume pori di antara mineral agregat
- VIM = Volume pori dalam campuran

2.6 Pengujian stabilitas dan kelelahan;

Pengujian stabilitas ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran perkerasan menahan beban lalu lintas sedangkan kelelahan (*flow*) merupakan indikator dari kelenturan. Pengujian stabilitas dan kelelahan ini dilakukan dengan alat uji Marshall sesuai dengan ketentuan SNI 06-2489-1991.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pengujian agregat

Hasil uji agregat disajikan pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat

Jenis pengujian	Hasil pengujian			Persyaratan [10]
	Agregat kasar	Agregat halus	Filler abu batu	
Keausan impact (%)	9,3	-	-	Maks. 30
Berat jenis bulk	2,661	2,760	2,656	Min. 2,5
Berat jenis semu	2,779	2,784	2,673	Min. 2,5
Penyerapan air	1,598	0,311	0,241	Maks. 3%
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	100	-	-	Min. 95

Uji keausan impact dilakukan untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap degradasi yang terjadi baik selama penimbunan, pemadatan maupun selama umur layanan jalan. Semakin baik daya tahan agregat terhadap kehancuran, nilai keausan

impactnya makin kecil. Berdasarkan **Tabel 3**, terlihat bahwa keausan impact agregat sebesar 9,3% yang menunjukkan bahwa agregat memiliki daya tahan yang baik terhadap pembebanan. Hasi uji berat jenis bulk yang merupakan berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat menunjukkan bahwa agregat yang dipakai pada penelitian ini memenuhi persyaratan. Adapun berat jenis semu yang diperoleh dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat yang dapat diresapi air juga sesuai dengan persyaratan.

Penyerapan air sangat tergantung dari pori-pori dan absorpsi agregat. Pembatasan nilai penyerapan air sampai maksimal 3% dimaksudkan agar agregat tidak mudah menyerap air yang dapat mengakibatkan ikatan antara aspal dan agregat mudah terlepas. Berdasarkan **Tabel 3**, nilai penyerapan air pada agregat kasar maupun agregat halus sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Adapun nilai kelekatan agregat terhadap aspal yang mencapai 100% mengindikasikan bahwa agregat tersebut mudah untuk diselimuti aspal.

3.2 Hasil pengujian aspal modifikasi

Hasil uji daktilitas aspal modifikasi disajikan pada **Tabel 4** berikut:

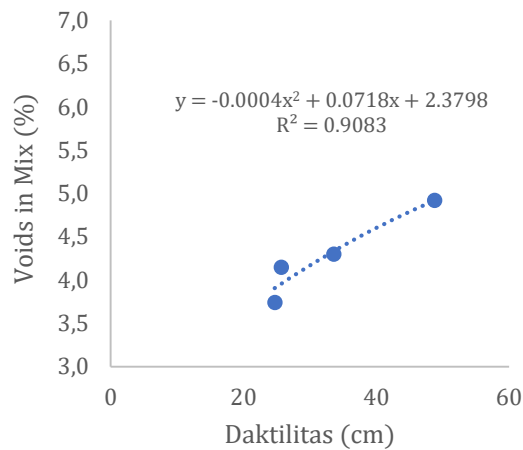
Tabel 4. Hasil uji daktilitas aspal modifikasi

Aspal modifikasi	Kadar styrofoam pada aspal modifikasi (%)	Kadar getah pinus pada aspal modifikasi (%)	Hasil uji daktilitas (cm)
AM0	6	0	48,8
AM1	6	1	33,6
AM2	6	2	25,7
AM3	6	3	24,7

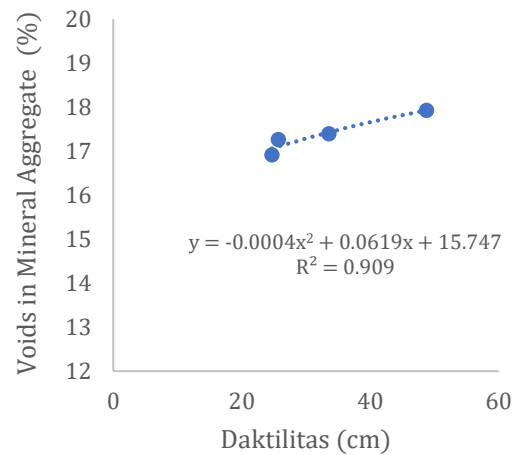
Nilai daktilitas diperoleh dari pengukuran jarak terpanjang dari aspal yang ditarik antara dua cetakan dengan kecepatan tarikan 5 cm/menit pada suhu tertentu. Berdasarkan **Tabel 4** terlihat bahwa kombinasi penggunaan styrofoam dan penambahan prosentase getah pinus dalam aspal modifikasi memperkecil nilai daktilitas. Ikatan antara styrofoam dan getah pinus membuat aspal semakin keras dan cenderung kurang elastis sehingga lebih mudah putus.

3.3 Hasil pengujian volumetrik dan mekanis campuran

Pembuatan campuran dilakukan berdasarkan gradasi agregat sebagaimana yang tercantum pada **Tabel 2** sehingga diperoleh *coarse aggregate* = 39%, *fine aggregate* = 54% dan *filler* sebesar 7%. Dari komposisi agregat tersebut, diperoleh kadar aspal sebesar 6%. Hasil pengujian volumetrik dan mekanis campuran menggunakan aspal modifikasi dengan kadar aspal 6% disajikan pada Gambar 1- Gambar 6.



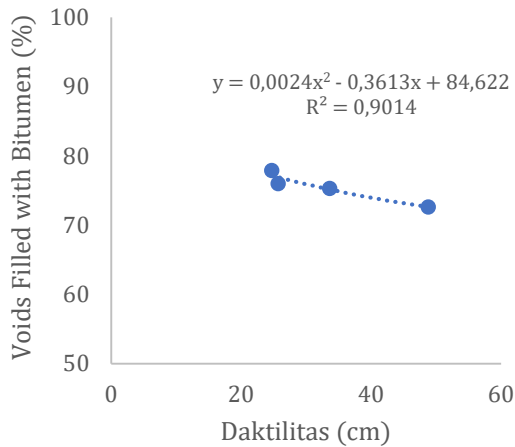
Gambar 1. Grafik hubungan daktalitas dengan nilai VIM



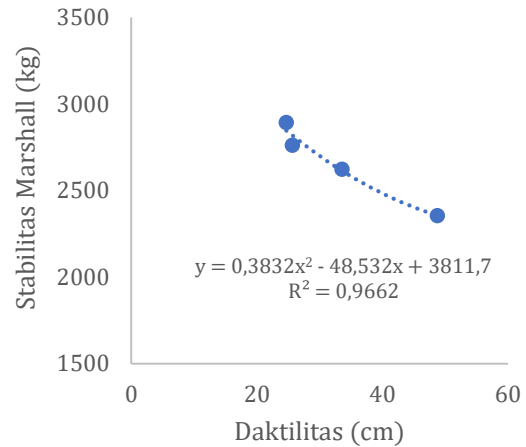
Gambar 2. Grafik hubungan daktalitas dengan nilai VMA

Pada **Gambar 1**, disajikan hubungan antara daktalitas aspal dengan nilai VIM. Nilai VIM yang memenuhi persyaratan berada pada rentang 3%-5% [10]. Dari **Gambar 1** terlihat bahwa nilai VIM pada campuran dengan styrofoam 6% dan tanpa getah pinus adalah sebesar 4,92%. Jika nilai rongga dalam campuran ini terlalu besar, debu dan rembesan air akan mudah masuk mengisi rongga-rongga tersebut dan melepaskan ikatan antara aspal-agregat sehingga perkerasan akan rentan mengalami kerusakan. Karakteristik getah pinus yang memiliki daya ikat kuat dipadukan styrofoam yang meningkatkan sifat kekerasan aspal menghasilkan nilai VIM yang semakin kecil. Hasil penelitian ini memperkuat penelitian yang menyimpulkan bahwa penggunaan getah pinus memperkecil nilai rongga dalam campuran sehingga berpotensi untuk meningkatkan keawetan perkerasan jalan [11].

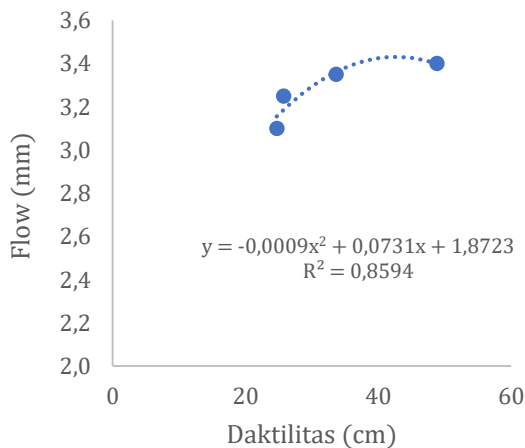
Berdasarkan **Gambar 2**, nilai daktalitas aspal berbanding lurus dengan nilai VMA. Penambahan getah pinus pada aspal membuat daya lekat antara aspal dan agregat semakin kuat. VMA merepresentasikan rongga yang tersedia untuk mengakomodir kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat dan rongga udara dalam campuran. Dengan meningkatnya daya lekat pada campuran akibat penambahan getah pinus, VMA yang merupakan rongga di antara mineral agregat menjadi semakin kecil. Hasil uji ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa penggunaan getah pinus meningkatkan kelekatan di antara partikel-partikel agregat sehingga memperkecil rongga di antara mineral agregat [11]. Nilai VMA yang lebih kecil mengindikasikan bahwa resiko terjadinya pengelupasan butiran dapat diminimalisir.



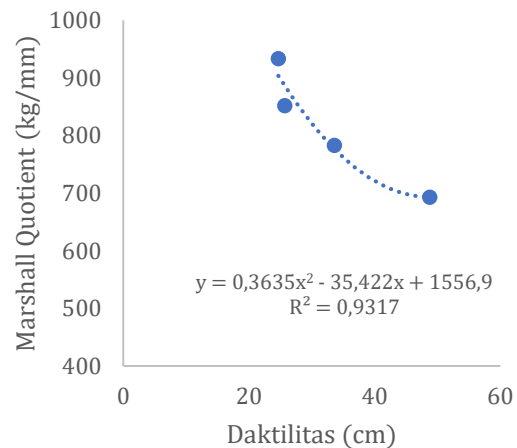
Gambar 3. Grafik hubungan daktilitas dengan nilai VFB



Gambar 4. Grafik hubungan daktilitas dengan stabilitas Marshall campuran



Gambar 5. Grafik hubungan daktilitas dengan nilai flow



Gambar 6. Grafik hubungan daktilitas dengan Marshall Quotient

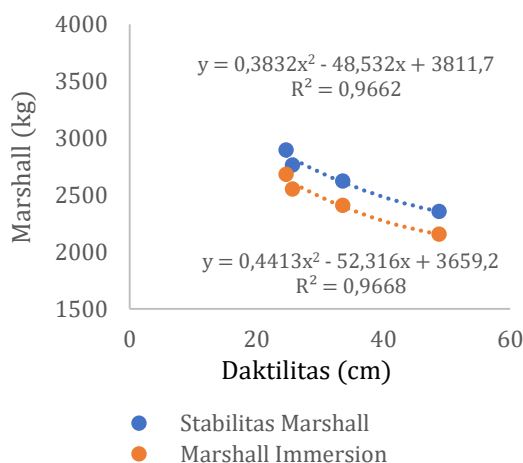
Gambar 3 menunjukkan hubungan antara daktilitas dengan nilai VFB. Nilai VFB adalah besarnya rongga di dalam campuran yang terselimuti aspal. Semakin kecil VIM yang terbentuk, maka VFB semakin besar. Campuran yang menggunakan styrofoam tanpa getah pinus memiliki nilai VFB sebesar 72,61%. Sementara itu, campuran yang menggunakan getah pinus dapat meningkatkan nilai VFB sehingga berada pada rentang 75,31%-77,91%. Dengan peningkatan nilai VFB, partikel-partikel agregat dilapisi aspal lebih tebal sehingga meningkatkan keawetan perkerasan jalan. Nilai $R^2 > 0,9$ menunjukkan bahwa nilai daktilitas berpengaruh terhadap karakteristik VFB lebih dari 90%.

Persyaratan minimal untuk campuran lapis aspal beton adalah sebesar 1000 kg untuk aspal modifikasi [10]. Sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 4**, stabilitas Marshall pada campuran tanpa getah pinus adalah sebesar 2354,66 kg, jauh melampaui nilai minimal yang dipersyaratkan. Campuran antara aspal minyak, limbah styrofoam dan getah pinus menghasilkan aspal modifikasi dengan tingkat kekerasan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang menyimpulkan bahwa

aspal modifikasi styrofoam dapat meningkatkan kekakuan campuran sehingga lebih mampu menahan beban [12]. Aspal yang keras mengakibatkan turunnya nilai daktilitas atau kemuluran aspal. Dari **Gambar 4** terlihat bahwa semakin kecil nilai daktilitas, campuran memiliki kemampuan lebih besar untuk menerima pembebanan tanpa terjadi perubahan bentuk yang berarti.

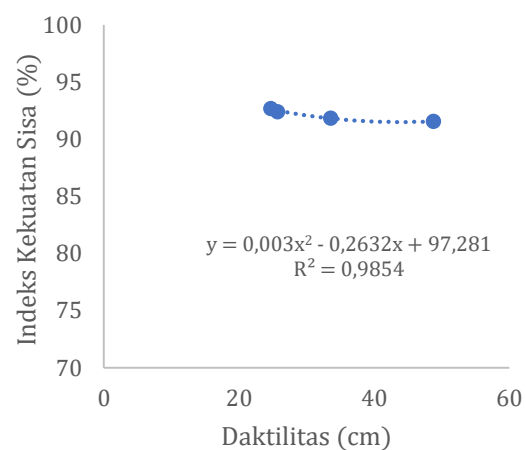
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara nilai daktilitas dengan *flow*. Nilai kelelahan (*flow*) yang dibaca melalui flowmeter adalah perubahan bentuk yang terjadi pada campuran ketika menerima pembebanan. Penggunaan limbah styrofoam dan getah pinus sebagai *modifier* menghasilkan campuran dengan stabilitas tinggi dan fleksibilitas rendah. Kemampuan lapisan untuk mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa terjadi retak dan perubahan volume merupakan tolok ukur dari fleksibilitas. Sebagaimana yang disajikan pada **Gambar 5**, nilai *flow* pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam berada pada rentang 3,1-3,35 mm, sedangkan nilai *flow* yang dipersyaratkan untuk laston lapis aus adalah 2-4 mm.

Daktilitas aspal modifikasi berpengaruh sangat besar terhadap nilai Marshall Quotient. Sebagaimana yang disajikan pada **Tabel 4**, semakin besar proporsi getah pinus dalam aspal modifikasi, semakin kecil nilai daktilitas karena aspal semakin keras. Nilai kekakuan empiris yang dinyatakan dalam Marshall Quotient adalah indikator dari ketahanan campuran terhadap deformasi. Berkurangnya nilai daktilitas aspal yang berbanding terbalik dengan nilai Marshall Quotient ini mengindikasikan bahwa campuran dengan aspal modifikasi styrofoam dan getah pinus lebih tahan terhadap deformasi permanen.



Gambar 7. Grafik hubungan daktilitas dengan nilai Marshall immersion

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara daktilitas aspal modifikasi dengan nilai stabilitas Marshall dan Marshall immersion, yaitu stabilitas pada campuran aspal-agregat yang direndam pada suhu 60°C selama 24 jam [10]. Berdasarkan **Gambar 7**, campuran dengan daktilitas rendah memiliki nilai Marshall immersion yang lebih besar. Hal tersebut berarti campuran yang menggunakan lebih banyak getah pinus lebih tahan terhadap rendaman air atau memiliki tingkat keawetan (durabilitas) yang lebih baik dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi limbah styrofoam saja. Nilai R^2 sebesar 0,9668 menunjukkan bahwa



Gambar 8. Grafik hubungan daktilitas dengan nilai IKS

daktilitas aspal berpengaruh sangat signifikan terhadap Marshall immersion. Adapun perbandingan antara stabilitas Marshall pada perendaman selama 24 jam (Marshall immersion) dengan perendaman selama 30 menit disebut sebagai indeks kekuatan sisa (IKS). Nilai IKS dari masing-masing aspal modifikasi disajikan pada **Gambar 8**.

Berdasarkan **Gambar 8** terlihat bahwa aspal dengan daktilitas yang lebih rendah menghasilkan nilai indeks kekuatan sisa yang lebih besar. Sebagaimana yang disampaikan sebelumnya, aspal dengan daktilitas lebih rendah diperoleh dari aspal modifikasi dengan kandungan getah pinus lebih banyak. Dengan indeks kekuatan sisa yang lebih besar, berarti bahwa campuran yang menggunakan aspal modifikasi getah pinus lebih tahan terhadap rendaman air.

Spesifikasi Bina Marga mensyaratkan bahwa nilai rongga di antara mineral agregat (VMA) minimal 15%, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 3%-5%, rongga yang terselimuti aspal (VFB) minimal 65%, stabilitas Marshall minimal 1000 kg, kelelahan (*flow*) antara 2-4 mm, Marshall quotient minimal 250 kg/mm dan indeks kekuatan sisa minimal 90% [10]. Berdasarkan spesifikasi tersebut dapat disimpulkan bahwa campuran perkerasan dengan aspal modifikasi limbah styrofoam dan getah pinus memenuhi standar yang berlaku.

4. KESIMPULAN

Aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam menghasilkan nilai daktilitas pada rentang 24,7-48,8 cm. Semakin banyak kandungan getah pinus pada aspal modifikasi, semakin kecil nilai daktilitas. Daktilitas aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam berpengaruh signifikan terhadap sifat volumetrik yaitu memperkecil nilai rongga dalam campuran (VIM) dan rongga antara mineral agregat (VMA) serta memperbesar nilai rongga terselimuti aspal (VFB). Daktilitas aspal modifikasi getah pinus dan limbah styrofoam juga berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanis campuran, yaitu menghasilkan nilai stabilitas dan kekakuan empiris yang semakin besar pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi dengan kandungan getah pinus lebih banyak. Ditinjau dari nilai indeks kekuatan sisa, campuran yang menggunakan aspal modifikasi dengan nilai daktilitas lebih rendah berpotensi untuk lebih tahan terhadap rendaman air atau memiliki tingkat keawetan (durabilitas) yang lebih baik dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi dengan nilai daktilitas tinggi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Rektor Universitas Mataram yang telah membiayai penelitian ini dengan dana yang bersumber dari DIPA BLU (PNBP) Tahun Anggaran 2020.

6. DAFTAR REFERENSI

- [1] Huang, S. C.; Salomon, D. and Haddock, J. E., 2012. : Work-shop Introduction, *Transportation Research Circular E-C165*, p. 1, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [2] Yuniarti, R., 2015. Performance of Bio-Flux Oil as Modifier of Buton Granular Asphalt in Asphalt Concrete-Wearing Course, *Journal of JSCE (Japan Society of Civil Engineers)*, Vol. 3 No.1 p.33-44.
- [3] Yuniarti, R., 2019. Resistance to Degradation of Porous Asphalt Mixture Using Pine Resin as Asphalt Modifier, *Jordan Journal of Civil Engineering*, Vol. 13 No.1 p.113-123.

- [4] Yildirim, Y.; 2007. Polymer Modified Asphalt Binders, *Construction and Building Materials*, 21(1):66-72.
- [5] Nassar, I. M.; Kabel, K. I.; Ibrahim, I. M.; 2012. Evaluation of the Effect of Waste Polystyrene on Performance of Asphalt Binder, *ARPJ Journal of Science and Technology*, Vol. 2, No. 10, pp. 927-935.
- [6] 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.
- [7] Airey, G.D.; 2003. Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, *Fuel*, 82(14):1709-1719.
- [8] Fang, C.; Jiao, L.; Hu, J.; Yu, Q.; Guo, D.; Zhou, X.; Yu, R.; 2014. Viscoelasticity of Asphalt Modified With Packaging Waste Expended Polystyrene, *Journal of Material Sciences & Technology*, Vol. 30 No.9, pp. 939-943.
- [9] Baker, M.B.; Abende, R.; Abu-Salem, Z.; Khedaywi, T.; 2016. *Production of Sustainable Asphalt Mixes Using Recycled Polystyrene*, International Journal of Applied Environmental Sciences, Vol. 11 No. 1, pp. 183-192.
- [10] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013. *Spesifikasi Umum 2010 Revisi III*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [11] Yuniarti, R.; Hasyim; Rohani; Anwar, S.N.R.; Saptaningtyas, R.S.; 2018. Karakteristik Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Modifikasi Getah Pinus Dan Serbuk Limbah Kaca, *Prosiding Seminar Nasional Sainstek 2018*, Mataram.
- [12] Zhu, J.; Birgisson, B.; Kringos, N.; 2014. Polymer Modification of Bitumen: Advances and Challenges, *European Polymer Journal*, 54: 18-38.