



Analisis Kepekaan Terhadap Perubahan Temperatur pada Aspal Modifikasi Polimer

Analysis of Temperature Change Sensitivity on Polymer Modified Asphalt

Ratna Yuniarti*, IDM Alit Karyawan, Made Mahendra, Hasyim, Rohani, Fera Fitri Salsabila

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram,
Nusa Tenggara Barat, INDONESIA. Tel. +62-0370 636126

**corresponding author, email: ratna_yuniarti@unram.ac.id*

Manuscript received: 20-04-2025. Accepted: 10-06-2025

ABSTRAK

Pada negara yang beriklim tropis seperti Indonesia, diperlukan aspal yang tahan terhadap temperatur tinggi untuk menghindari terjadinya kerusakan dini pada konstruksi perkerasan jalan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan membuat aspal modifikasi polimer. Studi ini bertujuan untuk mengkaji tingkat kepekaan aspal modifikasi polimer terhadap perubahan temperatur melalui nilai indeks penetrasi. Polimer yang digunakan adalah HDPE, LLDPE, PVC dan styrofoam. Berdasarkan analisa, disimpulkan bahwa aspal konvensional 60/70 yang digunakan pada studi ini belum memenuhi persyaratan titik leleh minimal 48°C. Dengan penggunaan polimer, dihasilkan aspal modifikasi yang tingkat kekerasannya lebih tinggi dari aspal yang tidak dimodifikasi. Dibandingkan dengan polimer lainnya, aspal modifikasi LLDPE mempunyai nilai indeks penetrasi paling rendah dan paling peka terhadap perubahan temperatur sehingga lebih rentan terhadap deformasi permanen. Pada seluruh kadar styrofoam yang digunakan, indeks penetrasi bernilai negatif, sedangkan nilai indeks penetrasi positif dicapai dengan persentase penggunaan 3% dan 4% PVC. Pada aspal modifikasi HDPE, penggunaan polimer berdampak sangat signifikan dan menghasilkan nilai indeks penetrasi tertinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa aspal modifikasi HDPE lebih tahan terhadap perubahan temperatur dan memiliki kinerja lebih baik dalam berbagai kondisi cuaca.

Kata kunci: : indeks penetrasi; HDPE; LLDPE; PVC; styrofoam

ABSTRACT

In tropical countries such as Indonesia, high-temperature resistance of asphalt is required to avoid premature damage to road pavement construction. One of the methods to solve this problem is to prepare polymer-modified asphalt. This study aimed to examine the temperature change sensitivity of polymer-modified asphalt using the penetration index value. The polymers used were HDPE, LLDPE, PVC, and styrofoam. Based on the analysis, it was concluded that the conventional asphalt 60/70 used in this study did not satisfy the minimum softening point requirement of 48 °C. With the use of polymers, modified asphalt is produced with a higher hardness than unmodified asphalt. Compared to other polymers, LLDPE-modified asphalt has the lowest penetration index value and is the most sensitive to temperature changes, making it more susceptible to permanent deformation. At all the styrofoam concentrations used, the penetration index was negative, while a positive penetration index value was achieved with 3% and 4% PVC. In HDPE-modified asphalt, the use of polymers has a significant impact

and produces the highest penetration index. This indicates that HDPE-modified asphalt is more resistant to temperature changes and exhibits better performance under various weather conditions.

Key words: penetration index; HDPE; LLDPE; PVC; styrofoam

PENDAHULUAN

Di negara yang beriklim tropis seperti Indonesia, aspal sebagai bahan pengikat pada konstruksi perkerasan jalan mudah mengalami *aging* (penuaan) akibat paparan sinar matahari, kelembaban, serta suhu permukaan perkerasan yang semakin tinggi sebagai dampak dari terjadinya pemanasan global dalam beberapa dekade terakhir. Kerusakan perkerasan jalan seperti retak-retak, pelepasan butiran, berlubang dan bergelombang seringkali terjadi sebelum tercapainya umur layanan yang direncanakan. Untuk meminimalkan dampak negatif tersebut, aspal yang digunakan harus berkualitas tinggi dan tahan terhadap perubahan temperatur.

Berbagai inovasi telah dilakukan untuk menghasilkan aspal yang berkualitas tinggi antara lain dengan modifikasi polimer. Polimer dibuat dengan cara polimerisasi yaitu menyusun bahan-bahan dasar yang disebut monomer melalui reaksi kimia (Rodrigues and Hanumanthgari, 2015). Menurut Bîrca *et al.*, (2019), polimer terbagi menjadi *thermosetting polymers* dan *thermoplastics polymers*. *Thermosetting polymers* adalah polimer yang mengeras secara permanen dan tidak dapat dilelehkan kembali setelah dipanaskan. Strukturnya membentuk jaringan tiga dimensi yang terhubung silang dan memberi kekakuan dan integritas struktural. Karena tidak dapat mengikuti perubahan temperatur, polimer ini tidak dapat dibentuk ulang. Contoh dari *thermosetting polymers* adalah resin epoksi, *polyester*, dan lain-lain.

Thermoplastics polymers merupakan jenis polimer yang dapat meleleh pada suhu tertentu dan mempunyai sifat dapat kembali kepada karakteristik semula. *Thermoplastics polymers* terdiri dari *plastomer* dan *elastomer*. *Plastomer* umumnya kaku, meleleh ketika dipanaskan dan mengeras ketika didinginkan dan memungkinkan untuk didaur ulang. Contoh jenis polimer *plastomer* adalah *high density polyethylene* (HDPE), *low-density polyethylene* (LDPE), *linear low-density polyethylene* (LLDPE), *polypropylene* (PP), dan *polyvinyl-chloride* (PVC). Adapun *elastomer* bersifat lunak pada temperatur tinggi, menjadi keras ketika didinginkan, tahan terhadap deformasi permanen dengan adanya peregangan dan kembali ke bentuk semula apabila beban dihilangkan (Baeurle *et al.*, 2006). Adapun contoh dari *elastomer* adalah *styrene-butadiene-styrene* (SBS), *styrene-butadiene-elastomers* (SBE), *styrene-butadiene-rubber* (SBR), dan lain-lain (Yildirim, 2007; Ma *et al.*, 2021).

Pada proporsi yang tepat, jaringan rantai polimer dapat bercampur secara homogen dengan aspal dan memperbaiki karakteristik aspal konvensional (Ouyang *et al.*, 2005; Larsen *et al.*, 2009). Karakteristik tersebut ditinjau dari elastisitas, fleksibilitas dan keawetan, tidak sensitif terhadap perubahan temperatur dan penuaan, serta memiliki sifat *cohesive* dan *adhesive* yang lebih baik (Brulé *et al.*, 1988). Penggunaan polimer dalam batas prosentase tertentu menghasilkan kinerja perkerasan yang lebih baik yaitu lebih tahan terhadap *rutting*, *fatigue*, *thermal cracking*, dan pelepasan butiran (Wen *et al.*, 2002; Tayfur *et al.*, 2007; Nassar *et al.*, 2012; Pyshyev *et al.*, 2016).

Untuk menentukan daya tahan aspal terhadap perubahan temperatur, dapat dilakukan dengan menghitung *penetration index* (PI) atau indeks penetrasi dari aspal yang bersangkutan. Indeks penetrasi menunjukkan tingkat sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu, yaitu sejauh

mana aspal mempertahankan sifat mekaniknya ketika suhu berubah. Nilai ini dihitung berdasarkan pengujian penetrasi dan titik lembek aspal. Semakin rendah nilai indeks penetrasi, semakin sensitif aspal terhadap perubahan temperatur. Sebaliknya semakin tinggi nilainya, semakin stabil sifat aspal terhadap variasi temperatur.

Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji tingkat kepekaan aspal modifikasi polimer terhadap perubahan temperatur. Polimer yang digunakan adalah HDPE, LLDPE, PVC dan styrofoam, yaitu salah satu varian dari *polystyrene* (PS).

BAHAN DAN METODE

Analisis kepekaan terhadap temperatur merujuk pada hasil penelitian Adrian (2019), Firmansyah (2019), Rozy (2019), dan Putra (2019). Penelitian tersebut menggunakan aspal konvensional 60/70 yang diproduksi Pertamina. Aspal modifikasi HDPE dibuat dengan cara mencampurkan aspal konvensional dengan 1%, 1.5% dan 2% HDPE (Adrian, 2019), sedangkan aspal modifikasi LLDPE dibuat dengan pencampuran aspal konvensional dengan 1%, 1.5%, 2% dan 2.5% LLDPE (Firmansyah, 2019). Adapun aspal modifikasi PVC dibuat menggunakan 1%, 2%, 3% dan 4% PVC (Rozy, 2019), sedangkan aspal modifikasi styrofoam menggunakan styrofoam sebesar 2%, 4% dan 6% (Putra, 2019). Persentase HDPE, LLDPE, PVC dan styrofoam tersebut berdasarkan berat aspal konvensional.

Prosedur pengujian mengikuti Standar Nasional Indonesia, yaitu uji penetrasi sesuai dengan SNI 06-2456-2011 dan pengujian titik lembek sesuai dengan SNI 06-2434-2011 (Departemen Pekerjaan Umum, 2011). Uji penetrasi dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal sedangkan titik lembek adalah suhu melelehnya aspal yang dibaca ketika bola baja yang diletakkan di atas sampel aspal jatuh menyentuh plat di bawahnya yang berjarak 1 inchi. Nilai indeks penetrasi dihitung menggunakan persamaan Pfeiffer & Van Doormaal sebagaimana yang dilaporkan oleh Hrušková et al., (2015) sebagai berikut:

$$IP = \frac{20 (1 - 25 A)}{1 + 50 A} \dots\dots\dots (1)$$

$$A = (\log pen_1 - \log pen_2) / (t_1 - t_2) \dots\dots\dots (2)$$

Menurut Hrušková et al. (2015), Pfeiffer dan van Dormaal menemukan bahwa sebagian besar bitumen memiliki penetrasi 800 unit penetrasi (p.u.) pada suhu titik lembek, sehingga suhu t_2 diganti dengan suhu titik lembek dan penetrasi pen_2 pada suhu t_2 diganti dengan nilai 800. Menurut temuan ini, dimungkinkan untuk menghitung indeks penetrasi menggunakan penetrasi pada suhu 25°C dan menggunakan suhu titik lembek sesuai dengan persamaan (3).

$$A = \frac{\log pen \ t_1 - \log 800}{t_1 - SP} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :

IP = Indeks penetrasi

A = Kemiringan kurva log penetrasi

Pen t_1 = Penetrasi pada temperatur t_1

t_1 = Temperatur standar uji penetrasi yaitu 25°C

SP = *Softening point* (titik lembek) aspal

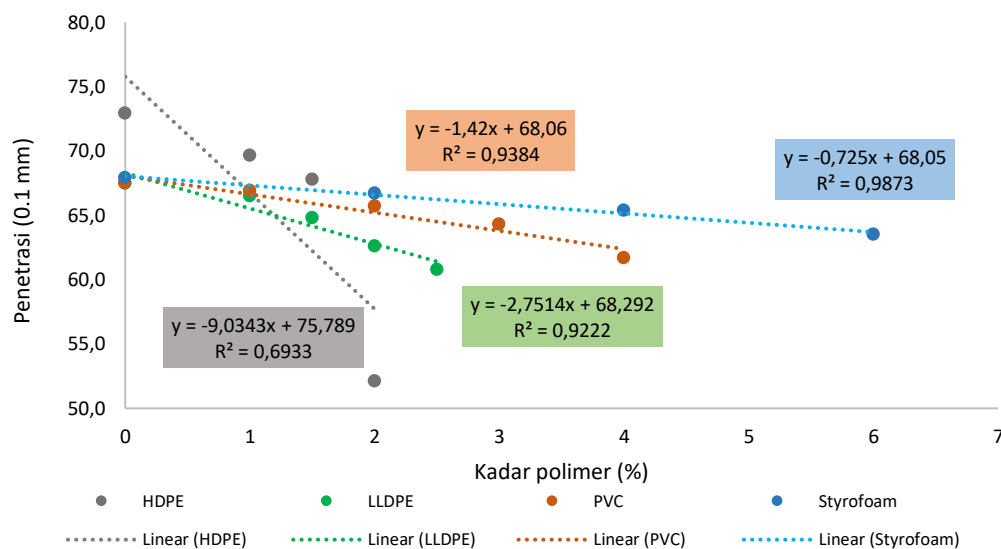
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil pemeriksaan aspal modifikasi

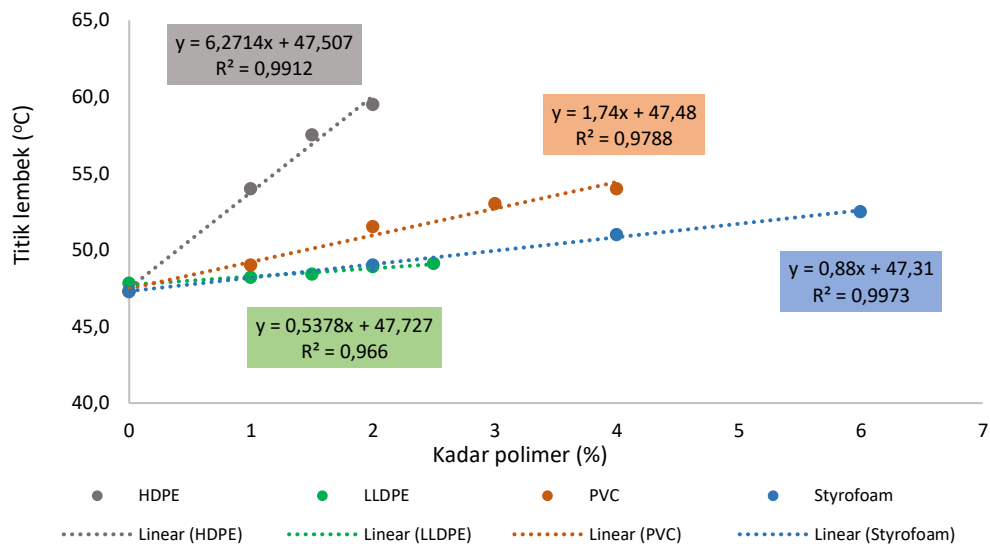
Jenis aspal modifikasi	Kadar polimer (%)	Penetrasi (0.1 mm)	Titik lembek (°C)
Aspal modifikasi HDPE*)	0	73.0	47.3
	1	69.7	54.0
	1.5	67.8	57.5
	2	52.1	59.5
Aspal modifikasi LLDPE**)	0	67.5	47.8
	1	66.5	48.2
	1.5	64.8	48.4
	2	62.6	48.9
	2.5	60.8	49.1
Aspal modifikasi PVC***)	0	67.5	47.3
	1	66.9	49.0
	2	65.7	51.5
	3	64.3	53.0
	4	61.7	54.0
Aspal modifikasi styrofoam****)	0	67.9	47.3
	2	66.7	49.0
	4	65.4	51.0
	6	63.5	52.5

Sumber : *) Adrian (2019), **) Firmansyah (2019), ***) Rozy (2019), ****) Putra (2019)

Adapun hubungan antara kadar polimer yang digunakan dengan nilai penetrasi dan titik lembek disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik hubungan kadar polimer dengan nilai penetrasi



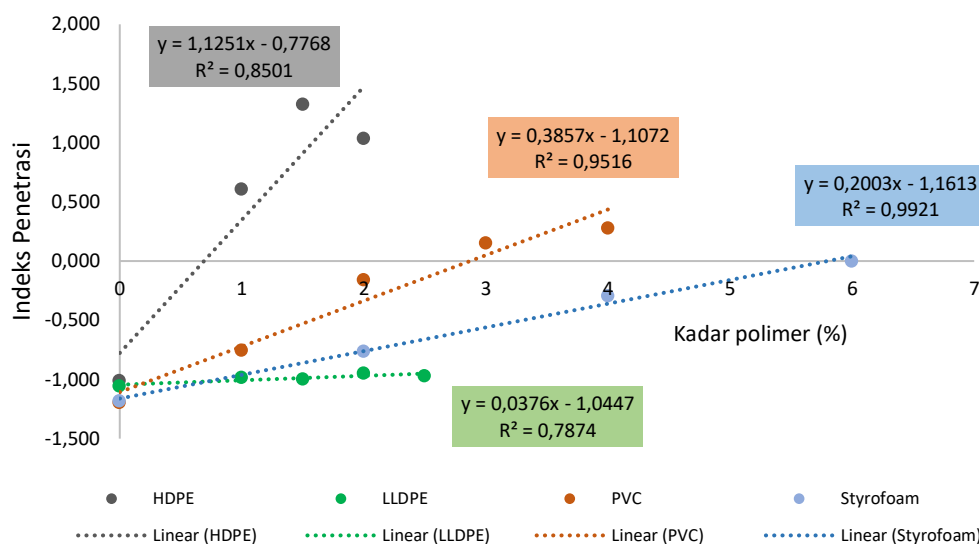
Gambar 2. Grafik hubungan kadar polimer dengan titik leleh

Menurut Badan Standardisasi Nasional (2015), persyaratan titik leleh aspal 60/70 adalah minimal 48°C. Persyaratan ini tidak terpenuhi seperti yang disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 2. Permasalahan tersebut diatasi dengan penambahan polimer ke dalam aspal 60/70 agar tidak mudah meleleh. Berdasarkan Gambar 1, penambahan polimer menyebabkan nilai penetrasi semakin menurun yang berarti bahwa aspal modifikasi semakin keras, atau lebih tahan terhadap temperatur tinggi. Nilai penetrasi dan titik leleh selanjutnya digunakan untuk menghitung indeks penetrasi sebagaimana yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan indeks penetrasi

Jenis aspal modifikasi	Kadar polimer (%)	Kemiringan kurva (A)	Indeks penetrasi (IP)
Aspal modifikasi HDPE	0	0.047	-1.010
	1	0.037	0.609
	1.5	0.033	1.325
	2	0.034	1.033
	2.5	0.034	1.033
Aspal modifikasi LLDPE	0	0.047	-1.058
	1	0.047	-0.986
	1.5	0.047	-0.997
	2	0.046	-0.950
	2.5	0.046	-0.969
Aspal modifikasi PVC	0	0.048	-1.196
	1	0.045	-0.755
	2	0.041	-0.158
	3	0.039	0.152
	4	0.038	0.279
Aspal modifikasi styrofoam	0	0.048	-1.181
	2	0.045	-0.763
	4	0.042	-0.296
	6	0.040	-0.002

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 3. Grafik hubungan kadar polimer dengan indeks penetrasi

Menurut Sukirman (2007), nilai indeks penetrasi umumnya berada pada rentang -1 hingga +1. Nilai indeks penetrasi rendah (negatif) berarti bahwa aspal cenderung lebih lunak dan sensitif terhadap suhu tinggi dan akan mengalami perubahan sifat fisik yang signifikan ketika suhu berubah. Sebaliknya, nilai indeks penetrasi tinggi (positif) berarti bahwa aspal lebih keras dan tahan terhadap suhu tinggi.

Sebagaimana yang telah disampaikan sebelumnya, aspal konvensional 60/70 tidak memenuhi persyaratan titik lembek minimal 48°C. Nilai indeks penetrasi dari aspal 60/70 juga lebih kecil dari -1. Setelah dilakukan modifikasi dengan polimer, nilai indeks penetrasi mengalami peningkatan. Seiring dengan penambahan kadar polimer, terjadi peningkatan indeks penetrasi pada semua aspal modifikasi, baik HDPE, LLDPE, PVC maupun styrofoam.

Pada aspal modifikasi LLDPE, seluruh prosentase penambahan bahan pemodifikasi menghasilkan indeks penetrasi negatif. Dibandingkan dengan jenis polimer lainnya pada studi ini, aspal modifikasi LLDPE paling peka terhadap perubahan temperatur. Hal tersebut berarti bahwa pada saat suhu tinggi, aspal modifikasi LLDPE menjadi lebih lunak dan rentan terhadap deformasi permanen. Aspal modifikasi LLDPE juga lebih mudah mengalami retak akibat penyusutan saat temperatur rendah. Dalam jangka panjang, perubahan suhu yang ekstrem dapat mempercepat kerusakan permukaan jalan.

Sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3, penambahan persentase styrofoam memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap nilai indeks penetrasi, dengan nilai $R^2 = 0.9921$. Namun demikian, indeks penetrasi yang dihasilkan bernilai negatif yang berarti bahwa aspal modifikasi styrofoam cukup peka terhadap perubahan temperatur. Adapun aspal modifikasi PVC berdampak sangat signifikan untuk meningkatkan kestabilan aspal terhadap perubahan temperatur. Pada persentase penggunaan 3% dan 4% PVC, nilai indeks penetrasi menjadi positif. Dibandingkan dengan jenis polimer lainnya yang dikaji pada studi ini, aspal modifikasi HDPE menghasilkan indeks penetrasi paling tinggi. Hal tersebut berarti aspal modifikasi HDPE lebih tahan terhadap perubahan temperatur dan memiliki kinerja lebih baik dalam berbagai kondisi cuaca.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dapat disimpulkan bahwa penggunaan polimer baik HDPE, LLDPE, PVC maupun styrofoam menghasilkan aspal modifikasi dengan tingkat kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan aspal konvensional 60/70. Nilai indeks penetrasi aspal modifikasi juga lebih tinggi dari aspal yang tidak dimodifikasi. Dibandingkan dengan polimer lainnya yang digunakan pada studi ini, aspal modifikasi LLDPE paling peka terhadap perubahan temperatur sehingga lebih rentan terhadap deformasi permanen. Pada aspal modifikasi HDPE, penggunaan polimer berdampak sangat signifikan dan menghasilkan nilai indeks penetrasi tertinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa aspal modifikasi HDPE lebih tahan terhadap paparan sinar matahari dan kelembaban sehingga cocok untuk diterapkan pada daerah tropis seperti di Indonesia.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Yusril Sani Adrian, Halid Firmansyah, Fahrur Rozy dan Arianto Putra atas data-data yang disediakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, Y.S., 2019. Pengaruh Penambahan Limbah Plastik High Density Polyethylene Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton AC-WC, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Badan Standarisasi Nasional, 2015. Spesifikasi Aspal Keras Berdasarkan Kelas Penetrasi, *SNI 8135:2015*, Jakarta.
- Baeurle, S.A., Hotta, A., and Gusev, A.A., 2006. On the Glassy State of Multiphase and Pure Polymer Materials, *Polymer*, 47(17): 6243-6253.
- Bîrca, A., Gherasim, O., Grumezescu, V. and Grumezescu, A.M., 2019. Introduction in Thermoplastic and Thermosetting Polymers, published in *Materials for Biomedical Engineering: Thermoset and Thermoplastic Polymers*, Elsevier.
- Brulé B., Brion Y. and Tanguy A., 1988. Paving Asphalt Polymer Blends: Relationships Between Composition, Structure and Properties, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 57: 41-64.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2011. Standar Nasional Indonesia: Metode Pengujian-Pengujian Penetrasi Bahan-bahan Bitumen, *SNI 06-2456-2011*, Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2011. Standar Nasional Indonesia: Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter, *SNI 06-2434-2011*, Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Firmansyah, H., 2019. Pengaruh Penggunaan Plastik LLDPE (Low Linier Density Polyethylene) Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Hrušková, L., Kiselová, B., & Daučík, P., 2015. Criteria for evaluation of unmodified and modified bitumens. *Petroleum and Coal*, 57(6), 650–660.
- Larsen, D.O., Alessandrini, J.L., Bosch, A. and Cortizo M.S., 2009. Micro-structural and Rheological Characteristics of SBS-Asphalt Blends During Their Manufacturing, *Construction and Building Materials*, 23: 2769-2774.

- Ma, Y., Zhou, H., Jiang, X., Polaczyk, P., Xiao R., Zhang, M. and Huang B., 2021. The Utilization of Waste Plastics in Asphalt Pavements: A review, *Cleaner Materials* 2:100031.
- Nassar, I. M., Kabel, K. I. and Ibrahim, I. M., 2012. Evaluation of the Effect of Waste Polystyrene on Performance of Asphalt Binder, *ARPJ Journal of Science and Technology*, 2(10): 927-935.
- Ouyang, C.F., Wang, S.F., Zhang, Y. and Zhang, Y.X., 2005. Preparation and Properties of Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer/Kaolinite Clay Compound and Asphalt Modified with the Compound, *Polymer Degradation & Stability*, 87: 309-317.
- Putra, A., 2019. Pengaruh Penggunaan Styrofoam Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC), *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Pyshyev, S., Gunka, V., Grytsenko, Y. and Bratychak, M., 2016. Polymer Modified Bitumen: Review, *Chemistry & Chemical Technology*, 10(4): 631-636.
- Rodrigues, C. and Hanumanthgari, R., 2015. Polymer Modified Bitumens and Other Modified Binders, published in *The Shell Bitumen Handbook*, Sixth Edition, Shell International Petroleum Company Ltd., London.
- Rozy, F., 2019. Pengaruh Penggunaan Plastik PVC Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC), *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Sukirman, S., 2007. Beton Aspal Campuran Panas, Bandung.
- Tayfur, S., Ozen, H. and Aksoy, A., 2007. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers, *Construction and Building Materials*, 21(2): 328-337.
- Wen, G., Zhang, Y., Zhang, Y., Sun, K. and 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: 66-72.