



Research Articles

Peningkatan Kinerja Campuran Beraspal Panas dengan Penggunaan Aspal Modifikasi Zeolit

Improving the Performance of Hot Mix Asphalt with the Use of Zeolites-Modified Asphalt

**Ratna Yuniarti*, Made Mahendra, I Dewa Made Alit Karyawan,
Desi Widiyanti, Fera Fitri Salsabila, Fauzi Gusnaldi, Erlina**

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

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

Manuscript received: 30-09-2025. Accepted: 20-12-2025

ABSTRAK

Kerusakan pada konstruksi jalan sebelum tercapai umur rencana dapat disebabkan karena aspal yang dipakai pada perkerasan tersebut mudah teroksidasi dan rentan terhadap paparan sinar matahari. Karena itu, perlu digunakan material yang tahan terhadap temperatur tinggi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah memodifikasi aspal dengan zeolit. Zeolit mengandung silika yang dapat meningkatkan daya ikat aspal dan agregat dan mengurangi kepekaan aspal terhadap temperatur. Tulisan ini bertujuan menganalisis karakteristik aspal modifikasi zeolit dengan prosentase 3%, 5% dan 7% terhadap berat aspal modifikasi serta kinerjanya ketika diterapkan pada *hot mix asphalt*. Pengujian karakteristik aspal meliputi uji penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, kehilangan berat dan berat jenis. Pengujian *hot mix asphalt* meliputi kemampuan campuran untuk menahan pembebanan, pelelehan, hasil bagi Marshall, Marshall immersion serta indeks kekuatan sisa (IKS). Hasil studi ini menyimpulkan bahwa penggunaan zeolit sebagai pemodifikasi aspal meningkatkan ketahanan aspal modifikasi tersebut terhadap perubahan temperatur. Kinerja *hot mix asphalt* dengan pengikat aspal modifikasi zeolit lebih baik dibandingkan dengan kinerja campuran dengan aspal konvensional. Persentase zeolit yang direkomendasikan adalah 5% terhadap berat aspal modifikasi, di mana indeks kekuatan sisa yang dicapai adalah sebesar 91.1%.

Kata kunci : aspal; zeolit; pemodifikasi; kinerja; campuran beraspal panas

ABSTRACT

Damage to road pavement construction before reaching its planned lifespan can be caused by asphalt being easily oxidized and vulnerable to sunlight exposure. Therefore, materials resistant to high temperatures should be used. One effort that can be done is modifying asphalt with zeolite. Zeolite contains silica, which can increase the binding strength between asphalt and aggregate and reduce the sensitivity of asphalt to temperature. The aim of this study is to analyze the characteristics of zeolite-modified asphalt with 3%, 5%, and 7% of the modified asphalt weight and its performance when applied to hot-mix asphalt. Asphalt characteristic tests include penetration tests, softening points, flash points, ductility, loss on heating, and specific gravity. Hot mix asphalt tests include the ability of the mixture to withstand loading, melting, Marshall quotient, Marshall immersion, and retained stability index. Based on the analysis, it can be concluded that the use of zeolite as an asphalt modifier increases the resistance to temperature changes of modified asphalt. The performance of hot-mix asphalt improved when using

zeolite-modified asphalt compared to traditional asphalt mixtures. The recommended percentage of zeolite is 5% of the weight of modified asphalt, and the residual strength index achieved is 91.1%.

Keywords: asphalt; zeolite; modifier; performance; hot mix asphalt

PENDAHULUAN

Konstruksi perkerasan jalan acapkali mengalami kerusakan dini sebelum tercapai umur layanan yang direncanakan. Kerusakan tersebut dapat berupa retak, alur, distorsi, lubang, pelepasan butiran, dan lain-lain. Salah satu penyebab dari hal tersebut adalah kualitas dari material yang digunakan sebagai bahan perkerasan jalan (Tauste *et al.*, 2018). Di samping itu, terjadinya pemanasan global sejak beberapa dekade terakhir turut mempercepat kerusakan pada permukaan jalan. Pemanasan global menyebabkan peningkatan temperatur udara yang berakibat pada kenaikan temperatur permukaan jalan (Qiao *et al.*, 2024). Meningkatnya temperatur perkerasan jalan dapat mengurangi modulus elastisitas pada aspal sehingga menyebabkan perkerasan menjadi lebih rapuh. Pada negara yang beriklim tropis seperti Indonesia, kelembaban udara cukup besar dan beberapa daerah juga memiliki intensitas curah hujan yang tinggi (Salehe dkk., 2024). Di musim penghujan, air yang tergenang di badan jalan mengurangi ikatan antara agregat dan aspal sehingga mudah terlepas dan menimbulkan kerusakan.

Agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, material perkerasan jalan harus berkualitas tinggi dan memiliki ketahanan terhadap beban lalu lintas, paparan sinar matahari maupun kelembaban dan rendaman air. Persoalan tersebut dapat diatasi antara lain dengan memodifikasi aspal agar diperoleh suatu produk aspal yang lebih tahan terhadap cuaca (Zhu *et al.*, 2014). Penggunaan *modifier* (pemodifikasi) pada aspal bertujuan untuk memperkuat ikatan antara aspal dengan agregat sehingga tidak terjadi pengelupasan butiran (Roberts *et al.*, 2009). Salah satu bahan yang dapat dipakai adalah zeolit, yaitu mineral yang terdiri dari kristal alumina silikat terhidrasi, mengandung kation alkali membentuk kerangka tiga dimensi, bersifat asam dan memiliki pori berukuran molekul (Khaleque *et al.*, 2020). Mineral zeolit terbagi menjadi 2 kelompok yaitu zeolit alam dan sintetis. Zeolit alam terbentuk sebagai proses geologi alami, sedangkan zeolit sintetis adalah hasil dari reaksi kimia (Woszuk and Franus, 2017). Alonso *et al.* (2013) menyimpulkan bahwa zeolit alam dan zeolit sintetis memiliki kinerja yang hampir sama pada campuran beraspal hangat.

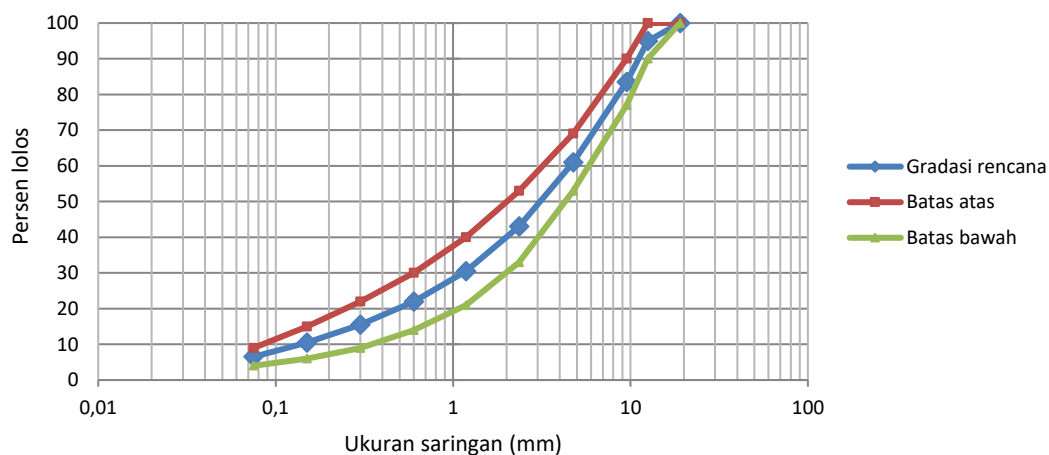
Penelitian untuk mengetahui dampak penggunaan zeolit pada campuran beraspal telah dilakukan beberapa peneliti. Dubravsky and Mandula (2015) melaporkan bahwa aspal modifikasi zeolit memiliki nilai penetrasi lebih rendah dan titik lembek lebih tinggi dibandingkan dengan aspal tanpa zeolit. Mohammed and Mustafa (2020) menyatakan bahwa penambahan zeolit sintesis pada *warm mix asphalt* dapat meningkatkan ketahanan terhadap *rutting*. Penggunaan nano-zeolit secara signifikan dapat memperbaiki kinerja aspal termasuk indeks penetrasi, titik lembek, dan *compex modulus* serta ketahanan terhadap *rutting* pada campuran beraspal (Woszuk *et al.*, 2019).

Penggunaan zeolit dapat meningkatkan titik lembek aspal yang berarti bahwa aspal lebih tahan terhadap temperatur tinggi (Sengoz *et al.*, 2013). Selanjutnya Fang *et al.* (2014) menyebutkan bahwa dengan berkurangnya kepekaan aspal terhadap temperatur maka daya tahan terhadap *rutting* menjadi meningkat sehingga cocok untuk diterapkan pada daerah tropis (Baker *et al.*, 2016). Ketahanan aspal terhadap pengaruh temperatur dapat diketahui melalui nilai indeks penetrasi aspal yang bersangkutan. Indeks penetrasi menunjukkan sensitivitas aspal terhadap pengaruh suhu, yaitu sampai sejauh mana sifat mekanik aspal dapat bertahan ketika terjadi perubahan suhu tersebut. Angka indeks penetrasi diperoleh dari pengujian nilai penetrasi dan titik lembek. Aspal yang memiliki nilai indeks penetrasi tinggi semakin stabil

dan kurang peka terhadap perubahan temperatur. Walaupun karakteristik aspal modifikasi zeolit sudah diteliti, namun keterkaitan antara indeks penetrasi dengan kinerja *hot mix asphalt* yang menggunakan aspal modifikasi zeolit masih belum banyak dikaji. Sehubungan dengan itu, tulisan ini bertujuan menganalisis pengaruh karakteristik aspal modifikasi zeolit ditinjau dari indeks penetrasinya terhadap kinerja pada *hot mix asphalt*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan aspal konvensional 60/70 produksi Pertamina, sedangkan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* didapatkan dari Lombok Tengah. Pembuatan aspal modifikasi zeolit dilakukan dengan pencampuran 3%, 5% dan 7% zeolit dengan 97%, 95% dan 93% aspal konvensional. Pengujian aspal yang dilaksanakan meliputi uji penetrasi, titik lemek, titik nyala, daktilitas, berat jenis serta kehilangan berat aspal. Adapun uji keausan *impact* dan kelekatan agregat terhadap aspal dilakukan untuk agregat kasar. Uji berat jenis dan penyerapan air dilakukan pada agregat kasar dan halus serta *filler*. Seluruh jenis pengujian, baik uji aspal maupun agregat mengikuti prosedur yang ditetapkan SNI, sedangkan gradasi agregat sesuai dengan Gambar 1.



Gambar 1. Gradasi agregat

Untuk analisa kinerja campuran menggunakan aspal modifikasi zeolit, digunakan kadar aspal 6% dan agregat 94%. Pencampuran antara agregat dan aspal modifikasi zeolit dilakukan pada suhu 155°C kemudian dipadatkan 75 kali untuk masing-masing sisi. Proses *curing* dilakukan selama 24 jam, selanjutnya kinerja *hot mix asphalt* menggunakan aspal modifikasi zeolit dianalisa berdasarkan hasil uji Marshall, *flow*, Marshall Quotient, Marshall *immersion* dan indeks kekuatan sisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian penetrasi aspal dilakukan untuk mengukur kekerasan aspal, sedangkan uji titik lemek untuk mengetahui tingkat kepekaan terhadap temperatur. Pemeriksaan daktilitas untuk mengetahui sifat elastisitas aspal dan titik nyala digunakan untuk mengetahui suhu tertinggi demi menjaga keselamatan kerja. Hasil uji berat jenis digunakan dalam perhitungan desain campuran sedangkan pengujian kehilangan berat aspal dilakukan untuk mengetahui komponen aspal yang mudah hilang akibat pemanasan.

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa seluruh kriteria aspal yang digunakan memenuhi persyaratan. Pada penelitian ini, nilai penetrasi aspal adalah 68.6 dmm dan daktilitas 164 cm. Hasil pemeriksaan titik nyala aspal adalah 350°C, lebih tinggi dari temperatur *hot mix asphalt* sebesar 155°C. Hasil uji kehilangan berat 0.146%, sehingga sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Namun demikian, sebagaimana yang dilaporkan oleh Aglesia, dkk. (2022), temperatur permukaan jalan terus meningkat dan dapat mencapai 55°C sehingga pengembangan aspal yang tahan terhadap temperatur tinggi perlu dilakukan agar dapat diterapkan sesuai dengan kondisi daerah yang bersangkutan.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan aspal 60/70

Jenis pengujian	Spesifikasi ^{*)}	Hasil pemeriksaan
Penetrasi (0.1 mm)	60-70	68.6
Titik lembek (°C)	≥ 48	49
Daktilitas (cm)	≥ 232	350
Titik nyala (°C)	≥ 100	164
Berat jenis	≥ 1.0	1.078
Kehilangan berat (%)	≤ 0.8	0.146

^{*)} Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2020)

Hasil pemeriksaan aspal modifikasi zeolit disajikan pada Tabel 2.

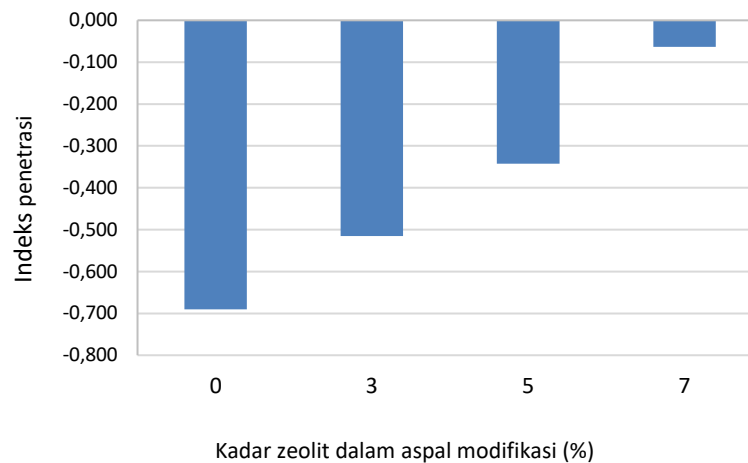
Tabel 2. Hasil pemeriksaan aspal modifikasi zeolit

Jenis pengujian	Variasi zeolit			Spesifikasi ^{*)}
	3%	5%	7%	
Penetrasi (0.1 mm)	63.1	61.2	59.2	-
Titik lembek (°C)	50.1	51.5	53	-
Titik nyala (°C)	351	354	355	≥ 230
Daktilitas (cm)	121	116	105	-
Berat jenis	1.064	1.073	1.089	-
Kehilangan berat (%)	0.161	0.168	0.169	≤ 0.8

^{*)} Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2020)

Sebagaimana disajikan pada Tabel 2, titik lembek aspal mengalami peningkatan seiring dengan modifikasi yang dilakukan. Peningkatan titik lembek tersebut menunjukkan bahwa aspal menjadi lebih stabil dan tidak mudah melunak pada suhu tinggi. Selain itu, nilai penetrasi yang menurun mengindikasikan bahwa aspal menjadi lebih keras sehingga lebih tahan terhadap perubahan temperatur lingkungan. Kekerasan aspal ini merupakan indikator penting dalam menentukan kinerja aspal terhadap beban lalu lintas.

Berdasarkan hasil uji penetrasi dan titik lembek, diperoleh nilai indeks penetrasi untuk aspal konvensional 60/70 maupun aspal yang dimodifikasi dengan zeolit. Nilai indeks penetrasi tersebut memberikan gambaran mengenai tingkat sensitivitas aspal terhadap suhu. Hasil perbandingan antara kedua jenis aspal tersebut disajikan secara visual pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat perbedaan karakteristik termal yang menunjukkan pengaruh modifikasi zeolit terhadap performa aspal.



Gambar 2. Grafik hubungan kadar zeolit dalam aspal modifikasi dengan indeks penetrasi

Pada umumnya, nilai indeks penetrasi aspal berada pada kisaran -1 sampai dengan +1 (Sukirman, 2007). Indeks penetrasi yang rendah (negatif) mengindikasikan bahwa aspal lebih lunak dan sensitif terhadap temperatur tinggi dan dapat mengalami perubahan sifat fisik yang signifikan ketika temperatur berubah. Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa nilai indeks penetrasi meningkat parallel dengan penambahan kadar zeolit pada aspal modifikasi. Hasil uji ini memperkuat kesimpulan yang dikemukakan oleh Dubravsky and Mandula (2015) bahwa penggunaan zeolit meningkatkan ketahanan aspal terhadap temperatur tinggi. Adapun hasil uji agregat ditampilkan pada Tabel 3.

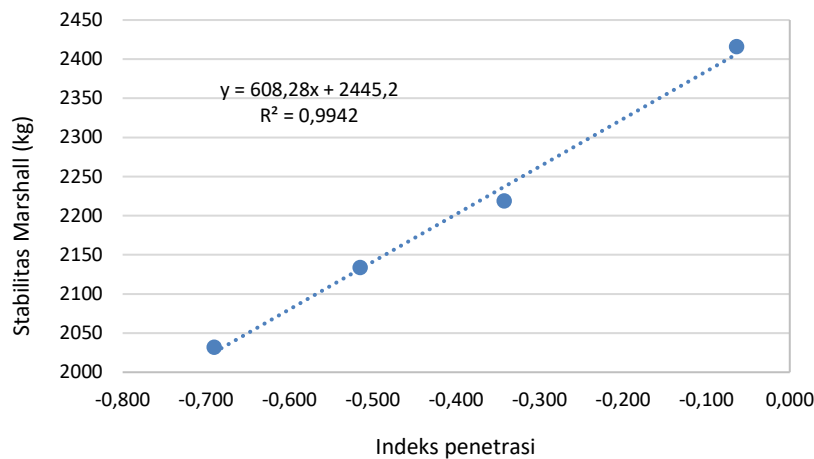
Tabel 3. Hasil pemeriksaan agregat

Pengujian	Agregat kasar	Agregat halus	Spesifikasi*)
Keausan <i>impact</i>	21.57%	-	< 30%
Berat jenis curah	2.807	2.714	≥ 2.5
Berat jenis jenuh kering permukaan	2.857	2.753	≥ 2.5
Berat jenis semu	2.955	2.825	≥ 2.5
Berat jenis efektif	2.881	2.769	≥ 2.5
Penyerapan	1.79%	1.45%	< 3%
Pengujian	Filler		Spesifikasi*)
Berat jenis curah	2.326		-
Berat jenis jenuh kering permukaan	2.353		-
Berat jenis semu	2.391		-
Berat jenis efektif	2.358		-
Penyerapan	1.17%		< 3%

*) **Sumber:** Direktorat Jenderal Bina Marga (2020)

Angka keausan *impact* agregat sebagaimana disajikan pada Tabel 4 mengindikasikan bahwa agregat memiliki daya tahan tinggi terhadap degradasi, baik ketika dipadatkan saat pelaksanaan pekerjaan konstruksi jalan maupun selama umur rencana jalan. Hasil uji berat jenis dan penyerapan terhadap air juga memenuhi persyaratan sesuai ketentuan Direktorat Jenderal Bina Marga (2020).

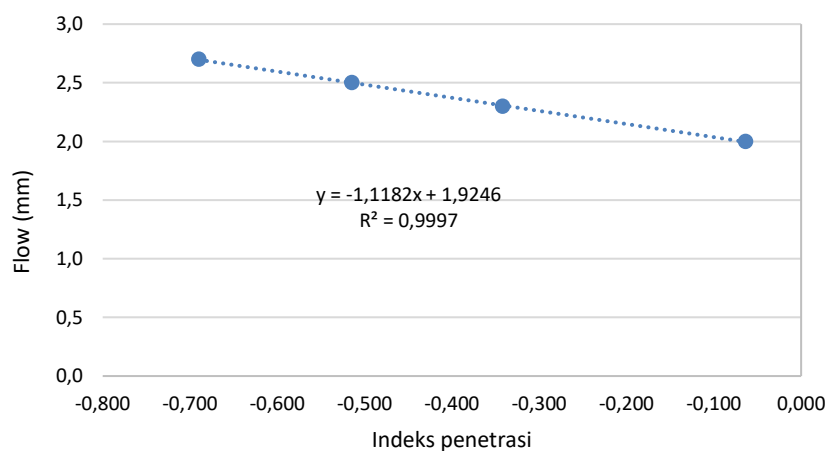
Selanjutnya pengaruh penggunaan aspal modifikasi zeolit ditinjau dari indeks penetrasi terhadap kinerja *hot mix asphalt* disajikan pada Gambar 3-7.



Gambar 3. Grafik hubungan indeks penetrasi dengan stabilitas Marshall

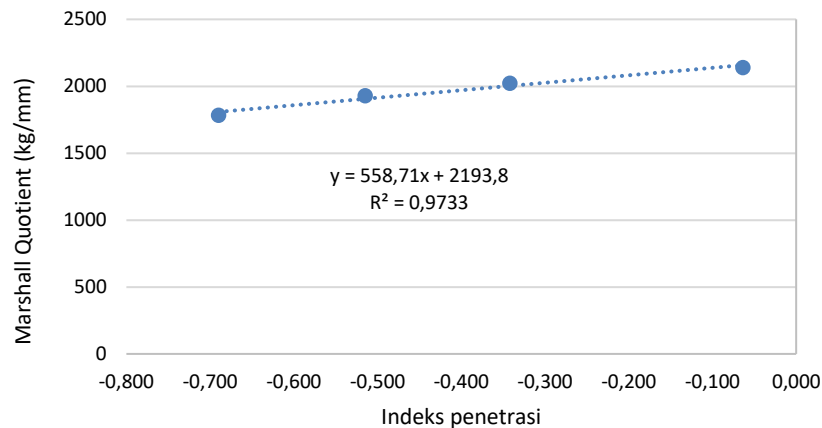
Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa stabilitas Marshall semakin meningkat seiring dengan bertambahnya nilai indeks penetrasi. Peningkatan indeks penetrasi tersebut menunjukkan perubahan karakteristik fisik aspal dalam campuran. Indeks penetrasi yang tinggi mengindikasikan bahwa aspal memiliki tingkat kekakuan yang lebih besar. Semakin tinggi tingkat kekakuan aspal, maka semakin baik kemampuan campuran untuk menahan pembebanan lalu lintas. Kondisi ini penting untuk menjamin durabilitas lapisan perkerasan jalan. Pada nilai indeks penetrasi yang hampir mendekati nol dengan penggunaan 7% zeolit pada aspal modifikasi, nilai stabilitas Marshall mencapai 2416 kg.

Angka tersebut menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan kondisi tanpa modifikasi. Hal ini menandakan bahwa penambahan zeolit memberikan kontribusi terhadap peningkatan stabilitas campuran. Dengan stabilitas yang lebih tinggi, campuran hot mix asphalt menjadi lebih tahan terhadap deformasi permanen. Ketahanan terhadap perubahan bentuk tetap merupakan salah satu parameter utama dalam menilai kualitas perkerasan. Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan bahwa indeks penetrasi aspal modifikasi zeolit dapat mendukung performa struktur perkerasan jalan. Secara keseluruhan, modifikasi ini menghasilkan ketahanan yang lebih baik dibandingkan aspal konvensional.

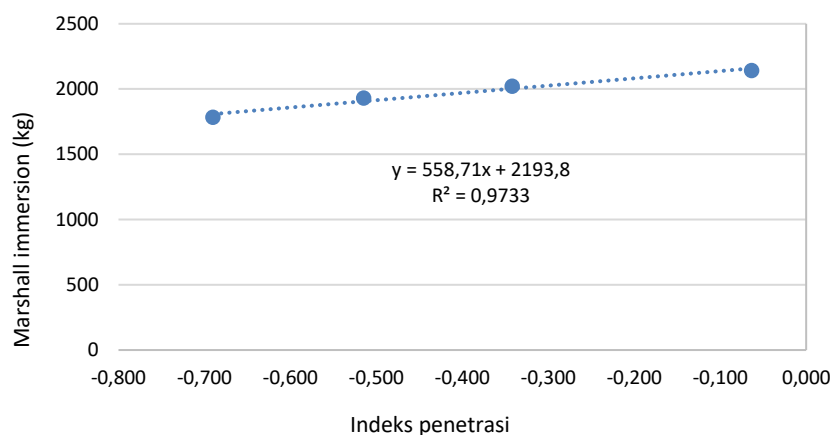


Gambar 4. Grafik hubungan indeks penetrasi dengan *flow*

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa meningkatnya nilai indeks penetrasi aspal mengakibatkan nilai *flow* campuran semakin rendah. Nilai *flow* merupakan indikator dari kelenturan, yaitu besarnya lendutan yang timbul ketika campuran diberikan pembebanan sampai mencapai maksimum. Karena stabilitas dan kelenturan merupakan sifat yang berkebalikan, maka peningkatan nilai indeks penetrasi pada aspal modifikasi menghasilkan nilai *flow* yang semakin kecil.



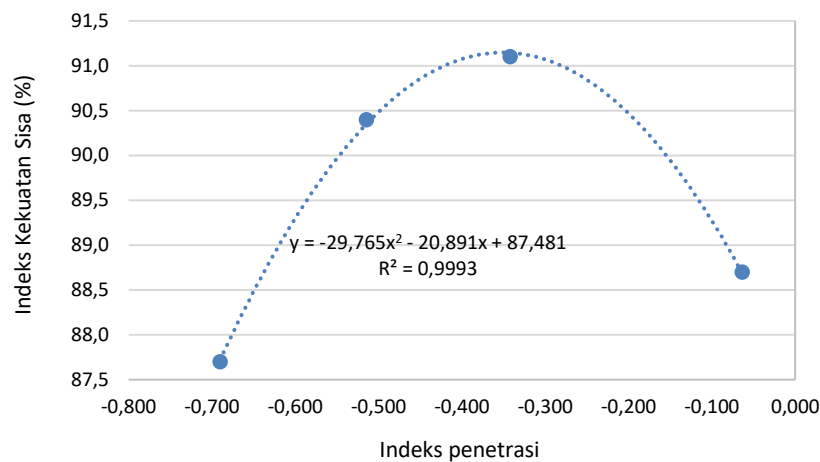
Gambar 5. Grafik hubungan indeks penetrasi dengan Marshall Quotient



Gambar 6. Grafik hubungan indeks penetrasi dengan Marshall *immersion*

Hubungan antara indeks penetrasi dengan nilai Marshall Quotient disajikan pada Gambar 5. Marshall Quotient merupakan tolok ukur dari kekakuan empiris yang nilainya semakin besar seiring dengan peningkatan nilai indeks penetrasi. Sebagaimana yang dikemukakan sebelumnya, penggunaan zeolit sebagai pemodifikasi pada aspal mengakibatkan titik lembek semakin tinggi dan angka penetrasi semakin kecil sehingga memperbesar nilai indeks penetrasi. Hasil uji ini menunjukkan bahwa penggunaan zeolit membuat aspal lebih tahan terhadap temperatur dan lebih kaku sehingga lebih mampu menahan pembebanan. Pada Gambar 6, disajikan hubungan antara indeks penetrasi dan nilai Marshall *immersion*, yaitu stabilitas campuran dengan perendaman 24 jam pada suhu 60°C. Marshall *immersion* adalah indikator dari ketahanan campuran terhadap perendaman air yang berpengaruh terhadap durabilitas konstruksi perkerasan jalan (Epps *et al.*, 2000). Gambar 6 menunjukkan bahwa

semakin besar nilai indeks penetrasi, maka nilai Marshall *immersion* semakin tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan zeolit dalam aspal modifikasi limbah meningkatkan durabilitas campuran.



Gambar 7. Grafik hubungan indeks penetrasi dengan indeks kekuatan sisa

Gambar 7 menyajikan hubungan antara indeks penetrasi dengan indeks kekuatan sisa (IKS), di mana IKS adalah perbandingan antara stabilitas campuran selama perendaman 24 jam dengan stabilitas campuran dengan perendaman selama 30 menit. Menurut spesifikasi Direktorat Jendral Bina Marga (2020), nilai IKS minimal sebesar 90%. Persyaratan ini tidak terpenuhi pada campuran yang menggunakan aspal konvensional 60/70. Pada penggunaan zeolit sebesar 3% dan 5% dengan indeks penetrasi -0.515 dan -0.342, persyaratan tersebut terpenuhi dengan nilai IKS sebesar 90.4% dan 91.1%. Adapun penggunaan zeolit sebesar 7% yang menghasilkan indeks penetrasi -0.064, nilai IKS turun menjadi 88.7%. Pada seluruh parameter kinerja campuran yang dianalisa, nilai R^2 melebihi 0.95 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai indeks penetrasi dan penggunaan zeolit sebagai pemodifikasi aspal berpengaruh sangat signifikan terhadap *hot mix asphalt*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dapat disimpulkan bahwa penggunaan zeolit menghasilkan aspal modifikasi dengan titik lembek dan tingkat kekerasan lebih tinggi dari aspal konvensional 60/70. Hal tersebut berarti bahwa aspal modifikasi zeolit lebih tahan terhadap temperatur tinggi dan paparan sinar matahari. *Hot mix asphalt* yang menggunakan aspal modifikasi zeolit memiliki kinerja lebih baik daripada campuran dengan aspal konvensional 60/70, di mana persentase zeolit sebesar 5% terhadap berat aspal modifikasi dengan nilai indeks penetrasi sebesar -0.342 menghasilkan kinerja campuran yang paling optimal. Nilai indeks penetrasi aspal modifikasi zeolit berpengaruh sangat signifikan terhadap kinerja *hot mix asphalt* ditinjau dari kemampuan menahan beban, kelelahan plastis, kekakuan empiris dan ketahanan terhadap rendaman.

Ucapan Terimakasih.

Artikel ini merupakan luaran dari penelitian yang didanai PNPB Universitas Mataram dengan kontrak nomor 3246/UN18.L1/PP/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Aglesia, D.N., Suparma, L.B., Suhendro, B., 2022. Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kerusakan Struktur Perkerasan Lentur (Studi Kasus di Jalan Nasional Kota Tarakan, Kalimantan Utara), *Tesis*, Universitas Gadjah Mada.
- Alonso, A., Tejeda, E., Moreno, F., Rubio, M.C. and Medel, E., 2013. A Comparative Study of Natural Zeolite and Synthetic Zeolite as An Additive in Warm Asphalt Mixes, *Materiales de Construcción*, 310: 195-217.
- Baker, M.B., Abende, R., Abu-Salem, Z. and Khedaywi, T., 2016. Production of Sustainable Asphalt Mixes Using Recycled Polystyrene, *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 11(1): 183-192.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 2020. *Spesifikasi Umum 2018*, Revisi 2, Jakarta.
- Dubravsky, M. and Mandula, J., 2015. Modified Asphalt Binder with Natural Zeolite for Warm Mix Asphalt, *Journal of Civil Engineering*, 10(2): 61- 68.
- 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.
- Khaleque, A., Alam, A.M., Hoque, M., Mondal, S., Haider, J., Xu, B., Johir, M.A.H., Karmakar, A.K., Zhou, J.L., Ahmed, M.B., Moni, M.A., 2020. Zeolite Synthesis from Low-Cost Materials and Environmental Applications: A Review, *Environmental Advances*, 2, 100019.
- Mohammed, H.H. and Mustafa, A.N., 2020. Evaluation of Warm Mix Asphalt Performance involving Synthetic Zeolite, *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*, 737.
- Qiao, Y., Wang, Y., Zhang, S., Stoner, A.M.K. and Santos, J., 2024. Effects of 1.5 °C Global Warming on Pavement Climatic Factors and Performance, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 136: 104393.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y. and Kennedy, T.W., 2009. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, *National Asphalt Pavement Association*.
- Salehe, Musa, R., Sar, M., 2024. Kajian Curah Hujan Akibat Pengaruh Temperatur, Kelembaban dan Kecepatan Angin (Studi Kasus Stasiun Klimatologi Bonto Bili Kab. Gowa), *Jurnal Teslink: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(2): 458-467.
- Sengoz, B., Ali, T. and Gorkem, C., 2013. Evaluation of Natural Zeolite As Warm Mix Asphalt Additive and Its Comparison with Other Warm Mix Additives, *Construction and Building Materials*, 43: 242-252.
- Sukirman, S., 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*, Bandung.
- Tauste, R., Moreno-Navarro, F., Sol-Sánchez, M. and Rubio-Gámez, M.C., 2018. Understanding the Bitumen Ageing Phenomenon: A Review, *Construction and Building Materials*, 192, 593-609.
- Washington, D.C., Fang, C., Jiao, L., Hu, J., Yu, Q., Guo, D., Zhou, X. and Yu, R., 2014. Viscoelasticity of Asphalt Modified with Packaging Waste Expended Polystyrene, *Journal of Material Sciences & Technology*, 30(9): 939-943.
- Woszuk, A. and Franus, W., 2017. A Review of the Application of Zeolite Materials in Warm Mix Asphalt Technologies, *Applied Science*, 7: 293.
- Zhu, J., Birgisson, B. and Kringos, N., 2014. Polymer Modification of Bitumen: Advances and Challenges, *European Polymer Journal*, 54: 18-38.