
Studi Perilaku Material Aspal Modifikasi untuk Konstruksi Jalan Tol di Daerah Tropis

M Arya Rheyga Anggara^{1*}, Dharma Putra Syarma²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Indonesia, rheygaanggara@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Indonesia, dharmasyarma103@gmail.com

*Penulis korespondensi, email: rheygaanggara@gmail.com

Abstrak— Kondisi iklim tropis yang memiliki suhu tinggi dan curah hujan tinggi sepanjang tahun memberikan tantangan tersendiri terhadap performa konstruksi jalan, khususnya pada ruas jalan tol yang membutuhkan kualitas dan durabilitas tinggi. Salah satu pendekatan inovatif yang kini berkembang pesat adalah penggunaan aspal modifikasi, yaitu pencampuran aspal konvensional dengan material tambahan seperti polimer, crumb rubber, atau limbah plastik untuk meningkatkan kinerja campuran aspal terhadap deformasi, retak termal, dan kerusakan akibat air. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku mekanis material aspal modifikasi dalam konteks pembangunan jalan tol di wilayah tropis. Uji laboratorium seperti Marshall test, Indirect Tensile Strength (ITS), dan rutting test digunakan untuk menilai kinerja dari beberapa varian campuran aspal modifikasi. Hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan polimer termoplastik dan crumb rubber mampu meningkatkan stabilitas Marshall, nilai ketahanan terhadap deformasi plastis, dan durabilitas terhadap kerusakan akibat kelembapan. Selain itu, pengaruh suhu tropis terhadap viskoelastisitas aspal juga dianalisis menggunakan pendekatan rheologis. Penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknologi perkerasan jalan yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem tropis serta membuka peluang pemanfaatan material daur ulang dalam industri konstruksi jalan.

Kata kunci: Aspal modifikasi, konstruksi jalan tol, iklim tropis.

This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. Pendahuluan

Jalan tol merupakan bagian penting dari infrastruktur transportasi nasional yang berfungsi sebagai jalur utama dalam distribusi barang dan jasa serta pergerakan manusia dalam skala besar [1]. Di wilayah tropis seperti Indonesia, keberadaan jalan tol semakin vital seiring dengan meningkatnya kebutuhan konektivitas antarwilayah [2]. Namun, kondisi iklim tropis yang panas dan lembap sepanjang tahun memberikan tantangan besar dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur jalan, terutama dalam hal ketahanan perkerasan terhadap deformasi plastis, retak akibat termal, serta kerusakan akibat intrusi air [3], [4]. Asphalt concrete atau campuran aspal panas (Hot Mix Asphalt/HMA) yang digunakan sebagai lapisan perkerasan atas sering kali mengalami degradasi performa akibat suhu tinggi dan siklus basah-kering yang terus menerus [5]. Hal ini memicu deformasi permanen (rutting), fatigue cracking, dan moisture damage [6]. Dalam upaya mengatasi permasalahan tersebut, aspal modifikasi telah banyak dikembangkan sebagai solusi teknis yang mampu meningkatkan kinerja campuran aspal konvensional [7].

Aspal modifikasi adalah campuran aspal konvensional dengan bahan aditif tertentu seperti polimer, crumb rubber (karet daur ulang), lateks, atau limbah plastik yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis, termal, dan viskoelastis dari material aspal [8], [9]. Penambahan bahan polimer seperti Styrene Butadiene Styrene (SBS) diketahui meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi dan memberikan fleksibilitas pada suhu rendah [10]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aspal modifikasi dengan SBS dapat meningkatkan nilai rutting resistance hingga 60% dibandingkan aspal biasa [11]. Khusus di daerah tropis, penelitian mengenai aspal modifikasi menjadi sangat penting karena karakteristik lingkungan yang ekstrem seperti suhu rata-rata di atas 30°C, kelembapan udara tinggi, dan curah hujan yang besar dapat mempercepat proses kerusakan pada perkerasan jalan [12], [13]. Beberapa studi mengindikasikan bahwa campuran aspal modifikasi memiliki performa yang lebih baik terhadap moisture susceptibility, terutama dalam kondisi freeze-thaw yang tidak stabil [14].

Menurut [15], penerapan aspal modifikasi di negara-negara tropis telah menunjukkan hasil signifikan dalam peningkatan daya tahan jalan. Penelitian oleh Ahmed et al. [16] menemukan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan crumb rubber memiliki ketahanan terhadap deformasi hingga dua kali lipat dibanding aspal konvensional. Di sisi lain, [17] menyatakan bahwa modifikasi menggunakan limbah plastik polyethylene memberikan kontribusi terhadap peningkatan stabilitas Marshall dan penurunan laju penetrasi air. Selain keunggulan teknis, penggunaan material daur ulang seperti limbah plastik dan crumb rubber juga sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan [18], [19]. Pemanfaatan limbah padat sebagai bahan tambahan aspal turut membantu dalam pengurangan dampak lingkungan serta mendukung program pengurangan emisi karbon [20].

Namun demikian, tantangan dalam implementasi aspal modifikasi di lapangan masih cukup besar. Masalah seperti stabilitas pencampuran, segregasi bahan modifikasi, dan konsistensi kualitas produksi menjadi isu utama dalam proses konstruksi [21]. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi mendalam terhadap perilaku mekanik dan termal dari berbagai jenis aspal modifikasi, terutama yang relevan dengan kondisi tropis [22]. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku aspal modifikasi terhadap suhu tinggi, kelembapan, dan beban lalu lintas berat dengan menggunakan pendekatan eksperimental dan uji laboratorium. Studi ini juga membandingkan performa dari beberapa jenis bahan modifikasi, seperti SBS, crumb rubber, dan limbah plastik, yang diaplikasikan pada campuran HMA yang digunakan untuk jalan tol [23].

Uji laboratorium seperti Marshall stability, rutting resistance, dan Indirect Tensile Strength (ITS) akan digunakan sebagai metode utama dalam mengevaluasi performa mekanik. Di samping itu, analisis rheologis dilakukan untuk menilai sifat viskoelastis material aspal dengan menggunakan Dynamic Shear Rheometer (DSR) dan Bending Beam Rheometer (BBR) [24]. Seluruh hasil analisis akan dikaitkan dengan pengaruh lingkungan tropis berdasarkan simulasi suhu dan kelembapan yang relevan dengan kondisi jalan tol di Indonesia [25]. Dengan pendekatan ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi perkerasan yang lebih adaptif terhadap iklim tropis, serta menjadi dasar dalam penyusunan standar dan kebijakan nasional terkait penggunaan aspal modifikasi dalam pembangunan jalan tol.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium untuk menganalisis perilaku campuran aspal modifikasi dalam kondisi tropis. Tahapan penelitian dilakukan melalui serangkaian kegiatan, yaitu persiapan material, pembuatan sampel, pengujian laboratorium, serta analisis data hasil pengujian. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari aspal pen 60/70 sebagai binder dasar, agregat kasar dan halus sesuai spesifikasi Bina Marga, serta bahan aditif berupa crumb rubber dan polimer termoplastik jenis Styrene Butadiene Styrene (SBS). Pemilihan bahan aditif didasarkan pada ketersediaan lokal dan hasil studi terdahulu yang menunjukkan performa unggul dalam meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis dan kerusakan akibat kelembapan.

Prosedur pembuatan campuran dilakukan dengan mencampur aspal panas dan aditif pada suhu sekitar 160–180°C, dengan konsentrasi aditif bervariasi antara 4% hingga 10% dari berat aspal. Campuran kemudian dicampur dengan agregat pada suhu optimum pencampuran menggunakan alat Marshall Mixer. Sampel uji dibuat dengan metode pemadatan Marshall sebanyak 3 kali untuk setiap variasi campuran guna menjaga replikasi hasil yang valid.

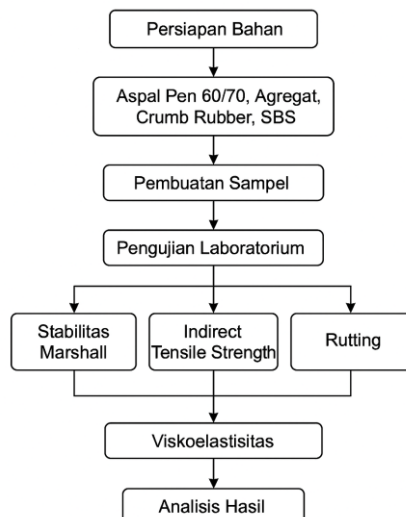
Pengujian utama yang dilakukan meliputi uji stabilitas Marshall untuk menilai kekuatan struktural awal campuran, uji Indirect Tensile Strength (ITS) untuk mengukur daya tahan terhadap retak, dan uji rutting menggunakan alat Wheel Tracking Device untuk menilai ketahanan deformasi plastis pada suhu tinggi. Selain itu, dilakukan uji viskoelastis menggunakan Dynamic Shear Rheometer (DSR) dan Bending Beam Rheometer (BBR) untuk memahami karakteristik rheologi dari aspal modifikasi dalam berbagai kondisi suhu. Gambar 1 berikut menunjukkan alur metodologi penelitian yang digunakan dalam studi ini, mulai dari persiapan bahan hingga analisis hasil laboratorium.

Seluruh pengujian dilakukan di Laboratorium Material dan Perkerasan Jalan, Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area. Setiap data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif serta uji ANOVA untuk menentukan pengaruh signifikan dari variasi aditif terhadap hasil uji. Kriteria performa minimum merujuk pada General Specification Bina Marga 2023, serta hasil-hasil dari literatur relevan sebagai pembandingan.

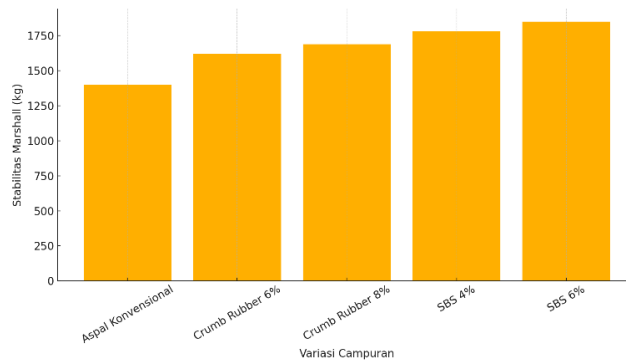
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini mencakup pengujian laboratorium terhadap beberapa varian campuran aspal modifikasi menggunakan aditif crumb rubber dan SBS (Styrene Butadiene Styrene). Evaluasi dilakukan terhadap stabilitas Marshall, ketahanan terhadap deformasi (rutting), kekuatan tarik tidak langsung (ITS), serta karakteristik viskoelastisitas material. Perbandingan hasil dilakukan terhadap aspal konvensional sebagai kontrol. Gambar 2 menunjukkan hasil uji stabilitas Marshall dari berbagai variasi campuran. Terlihat bahwa penambahan crumb rubber dan SBS secara signifikan meningkatkan nilai stabilitas Marshall dibandingkan dengan campuran aspal konvensional.

Berdasarkan Gambar 2, campuran dengan 6% SBS menunjukkan nilai tertinggi sebesar 1.850 kg, meningkat 32% dibandingkan kontrol (1.400 kg). Hal ini menunjukkan bahwa ikatan antar partikel dalam campuran SBS lebih kuat dan mampu menahan beban lebih baik. Penambahan crumb rubber sebesar 8% juga meningkatkan stabilitas, meskipun tidak sebaik SBS. Tabel 1 merangkum hasil uji stabilitas dan flow dari semua variasi campuran.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian evaluasi aspal modifikasi untuk kondisi iklim tropis



Gambar 2. Perbandingan nilai stabilitas Marshall dari berbagai jenis aspal modifikasi

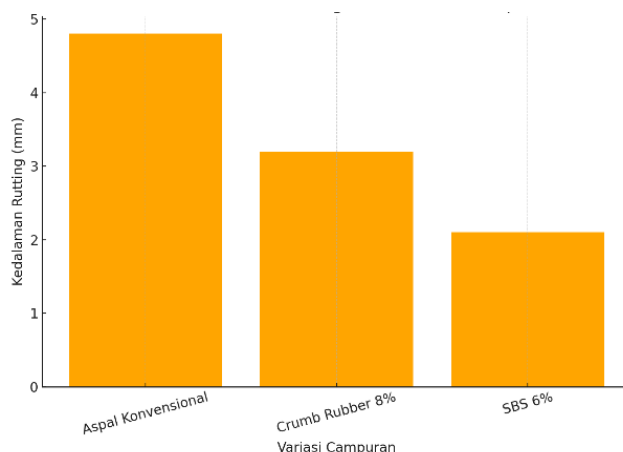
Tabel 1. Hasil Uji Stabilitas dan Flow Campuran Aspal

Variasi Campuran	Stabilitas Marshall (kg)	Flow (mm)
Aspal Konvensional	1400	3.5
Crumb Rubber 6%	1620	3.2
Crumb Rubber 8%	1690	3.1
SBS 4%	1780	3
SBS 6%	1850	2.8

Dari data tersebut terlihat bahwa flow semakin menurun dengan meningkatnya kadar aditif, yang berarti campuran menjadi lebih kaku dan stabil terhadap deformasi. Gambar 3 menampilkan hasil uji rutting menggunakan alat Wheel Tracking Device pada suhu 60°C selama 60 menit. Penambahan SBS menghasilkan ketahanan tertinggi terhadap deformasi plastis.

Campuran SBS 6% menghasilkan kedalaman rutting hanya 2,1 mm, sedangkan kontrol mencapai 4,8 mm. Hal ini menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap deformasi akibat suhu tinggi yang umum terjadi di daerah tropis. Tabel 2 memperlihatkan hasil uji rutting dan ITS.

Nilai ITS tertinggi ditemukan pada campuran SBS 6%, yang menunjukkan bahwa modifikasi meningkatkan kohesi antar partikel agregat dan daya tahan terhadap retakan. Nilai ITS yang tinggi sangat dibutuhkan untuk menahan kerusakan akibat gaya tarik selama masa pakai. Pengujian rheologis menunjukkan bahwa viskoelastisitas campuran aspal meningkat seiring penambahan aditif. Data dari DSR mengindikasikan bahwa nilai kompleks modulus (G^*) meningkat dan sudut fase (δ) menurun, menunjukkan kombinasi kekakuan dan fleksibilitas yang seimbang pada suhu tropis. Temuan ini penting karena lapisan perkerasan atas harus cukup kaku untuk menahan beban berat, namun tetap lentur untuk mencegah retak akibat perubahan suhu dan beban berulang.



Gambar 3. Kedalaman rutting setelah 60 menit pada suhu 60°C

Tabel 2. Hasil Uji Rutting dan Indirect Tensile Strength (ITS)

Variasi Campuran	Kedalaman Rutting (mm)	ITS (kPa)
Aspal Konvensional	4.8	710
Crumb Rubber 8%	3.2	820
SBS 6%	2.1	910

Secara umum, penggunaan aspal modifikasi terbukti meningkatkan performa campuran secara signifikan, khususnya untuk kebutuhan jalan tol di daerah tropis yang memiliki suhu tinggi dan kelembapan ekstrem. Penambahan SBS menunjukkan hasil terbaik dalam semua parameter, menjadikannya pilihan unggul untuk jalan tol dengan lalu lintas tinggi. Sementara itu, crumb rubber tetap menjadi opsi menarik karena biaya yang lebih rendah dan manfaat lingkungan dari daur ulang limbah karet. Selain aspek teknis, implementasi aspal modifikasi memerlukan perhatian terhadap proses produksi, kestabilan pencampuran, serta standar pelaksanaan lapangan. Hasil ini memperkuat temuan sebelumnya oleh [10], [11], dan [16] yang menunjukkan efektivitas polimer dalam meningkatkan performa perkerasan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini meneliti performa material aspal modifikasi yang ditujukan untuk kebutuhan konstruksi jalan tol di wilayah beriklim tropis. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, dapat disimpulkan bahwa modifikasi aspal dengan bahan tambahan seperti crumb rubber dan Styrene Butadiene Styrene (SBS) memberikan peningkatan signifikan pada karakteristik mekanis dan termal campuran aspal.

Aspal yang dimodifikasi dengan SBS 6% menunjukkan performa terbaik dalam semua parameter uji, termasuk stabilitas Marshall, ketahanan terhadap rutting, dan kekuatan tarik tidak langsung (ITS). Nilai stabilitas Marshall meningkat hingga 32% dibandingkan aspal konvensional, dan kedalaman rutting berkurang drastis dari 4,8 mm menjadi hanya 2,1 mm, mengindikasikan peningkatan ketahanan terhadap deformasi plastis akibat suhu tinggi. Selain itu, karakteristik viskoelastis yang diperoleh dari uji rheologi memperlihatkan bahwa aspal modifikasi lebih mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan suhu ekstrem yang umum terjadi di wilayah tropis.

Penggunaan crumb rubber, meskipun tidak sebaik SBS dalam hal performa mekanis, tetap memberikan peningkatan signifikan dan memiliki keuntungan tambahan dari sisi biaya dan keberlanjutan lingkungan, karena menggunakan limbah karet daur ulang. Dengan demikian, aspal modifikasi, terutama dengan bahan SBS, sangat direkomendasikan untuk digunakan pada proyek jalan tol di wilayah tropis seperti Indonesia. Di samping memberikan peningkatan durabilitas, pendekatan ini juga mendukung aspek ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan. Ke depan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi performa jangka panjang di lapangan dan optimalisasi kadar aditif yang digunakan.

Daftar Pustaka

- [1] BPS Indonesia, *Statistik Transportasi Nasional 2023*, Jakarta: BPS, 2024.
- [2] Kementerian PUPR, *Data Panjang Jalan Tol Nasional, 2023*.
- [3] A. D. Smith, "Climate effects on asphalt pavement in tropical zones," *Journal of Pavement Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 455–462, 2019.
- [4] M. Idrus et al., "Moisture damage in hot mix asphalt," *Construction and Building Materials*, vol. 213, pp. 210–219, 2019.
- [5] J. Shen et al., "Effect of climate on pavement performance," *Transportation Research Record*, no. 1789, pp. 100–107, 2017.
- [6] Y. Huang, *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. New Jersey: Pearson, 2015.

- [7] NAPA, *Use of Modified Asphalt Binders in Pavements*, Washington, DC: NAPA, 2022.
- [8] M. H. Goh et al., “Properties of rubber modified asphalt,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 663–670, 2013.
- [9] A. Zoorob and S. Suparma, “Polymer-modified asphalt,” *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 18, no. 6, pp. 481–490, 2020.
- [10] F. Y. Chen, “Effect of SBS on asphalt performance,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 134, no. 19, 2017.
- [11] S. P. Muniandy and R. H. Yunus, “Rutting resistance of polymer modified asphalt,” *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 258–268, 2010.
- [12] N. S. Rahman et al., “Asphalt behavior under tropical conditions,” *Construction and Building Materials*, vol. 256, 2020.
- [13] D. Widjaya et al., “Durability of asphalt mixtures in tropical rain exposure,” *Civil Engineering Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 123–132, 2021.
- [14] A. Rafiq and R. Nugraha, “Moisture susceptibility in modified asphalt,” *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 12, no. 3, 2019.
- [15] L. Zhang et al., “Modified bitumen for tropical climates,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 26, no. 12, 2014.
- [16] A. Ahmed et al., “Crumb rubber modified asphalt,” *Procedia Engineering*, vol. 143, pp. 1241–1249, 2016.
- [17] T. Kusuma and B. Hidayat, “Plastic waste in asphalt pavement,” *Jurnal Teknologi*, vol. 74, no. 3, pp. 123–130, 2018.
- [18] UNDP, *Sustainable Infrastructure Goals*, New York: UNDP, 2021.
- [19] H. Yusoff et al., “Sustainable road materials,” *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol. 11, no. 2, 2020.
- [20] W. Arifianto et al., “Plastic recycling in infrastructure,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 1223–1230, 2021.
- [21] M. R. Islam and A. Hossain, “Challenges in using modified asphalt,” *Construction and Building Materials*, vol. 148, pp. 105–113, 2017.
- [22] K. Andini and R. Sulistyowati, “Studi eksperimental aspal modifikasi untuk iklim tropis,” *Jurnal Jalan Raya dan Lingkungan*, vol. 10, no. 1, 2022.
- [23] S. N. Gunawan et al., “Evaluasi laboratorium aspal daur ulang,” *Jurnal Teknologi Sipil dan Lingkungan*, vol. 12, no. 3, 2021.
- [24] M. Xiao et al., “Rheological properties of polymer-modified asphalt,” *Journal of Rheology*, vol. 63, no. 4, 2019.
- [25] Kementerian PUPR, *Panduan Teknis Material Perkerasan Jalan*, Edisi 2022.