

PENYELIDIKAN PROPERTIS ASPAL-NANO KARBON (Studi kasus PENGALAMAN MAGANG RISET KEILMUAN MBKM DI UMS)

Irfan Alid Mahendra¹, Agus Riyanto², Rama Rizana³, Sri Sunarjono^{4*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

^{2,3,4}Pusat Studi Transportasi, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: irfanalid158@gmail.com; sri.sunarjono@ums.ac.id*

Abstrak

Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) merupakan suatu upaya pemerintah untuk memperbaiki SDM dengan perubahan zaman yang ada. Program MBKM bertujuan sebagai sarana mahasiswa agar dapat meningkatkan soft skills maupun hard skills melalui pembelajaran diluar jam perkuliahan. Riset Keilmuan ini merupakan salah satu program MBKM yang dilaksanakan pertama kali dalam Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, yang melibatkan berbagai pihak dalam pelaksanaannya baik dalam lingkup maupun dari luar lingkup ilmu Teknik Sipil. Program Riset Keilmuan ini bertujuan untuk membagikan pengalaman Riset Keilmuan MBKM, serta mengetahui hasil nilai adhesi dan daya ikat pada aspal modifikasi (mastik aspal) dengan variasi penambahan bahan nano karbon. Metode penelitian pada riset kali ini menggunakan metode eksperimen laboratorium berupa pengujian SEM, pengujian sifat fisik aspal (penetrasi, berat jenis, titik lembek, daktilitas) dan sudut kontak. Pengujian SEM dilakukan guna mengetahui dimensi dan karakterisasi unsur dalam aspal, pengujian sifat fisik dilakukan untuk mengetahui kualitas dan karakteristik pada aspal, serta pengujian sudut kontak untuk mengetahui nilai adhesi pada aspal. Hasil riset menunjukkan bahwa program riset keilmuan MBKM memiliki kesinambungan antar ilmu teknik, serta bahan nano karbon dapat meningkatkan kualitas dan nilai adhesi pada aspal.

Kata kunci: Adhesi; Aspal; Nano Material; Riset MBKM

Pendahuluan

Kehadiran program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) menjadi paradigma dalam beberapa tahun belakangan ini. Program MBKM merupakan sebuah upaya pemerintah dalam memperbaiki sumber daya manusia agar dapat beradaptasi dengan perubahan zaman (Vhalery, Setyastanto and Leksono, 2022). Program MBKM bertujuan sebagai sarana dimana mahasiswa dapat meningkatkan soft skills maupun hard skills guna menyiapkan dan meningkatkan kompetensi agar menjadi lulusan yang berkarakter dan memiliki kemampuan dalam dunia kerja (Masruroh, Supiana and Zaqiah, 2022). Mahasiswa dapat belajar dengan mandiri melalui program MBKM baik didalam kampus maupun diluar kampus. Pada program MBKM terdapat delapan program antara lain adalah program pertukaran mahasiswa, magang bersertifikat, IISMA, membangun desa, kampus mengajar, proyek kemanusiaan, studi independen, dan penelitian/riset (Marjan Fuadi, 2022).

Pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta telah direalisasikan program MBKM. Mahasiswa memiliki respon positif terhadap program MBKM ini dimana program MBKM yang paling diminati adalah Magang Bersertifikat diikuti dengan Riset Keilmuan. Riset keilmuan ini merupakan riset program MBKM pertama kali dilakukan di Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, yang tidak hanya melibatkan pihak luar lingkup ilmu Teknik Sipil. Menurut ilmuwan bernama Woody penelitian atau riset merupakan metode menemukan kebenaran yang dilakukan dengan *critical thinking* “berpikir kritis” (Arsyam and M. Yusuf Tahir, 2021). Riset keilmuan ini merupakan pemikiran dari inovasi-inovasi riset sebelumnya mengenai perbaikan perkerasan jalan raya di Indonesia yang masih sering menjadi masalah.

Jalan adalah infrastruktur darat yang sangat penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan sektor industri pada suatu negara (Dhiaulhaq and Fauzan, 2022). Namun, di Indonesia masih banyak perkerasan jalan mengalami kerusakan, baik akibat cuaca atau masalah teknis lainnya (Munggaran and Wibowo, 2017). Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan dan inovasi dalam mencegah kerusakan jalan raya (Kusnadi and Warnars, 2021). Penyebab kerusakan pada permukaan jalan meliputi intensitas lalu lintas kendaraan, pengaruh air hujan serta sistem drainase, jenis material konstruksi, kondisi iklim, karakteristik tanah, dan tahapan proses pemadatan. Hal tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada kemampuan daya rekat atau adhesi campuran aspal pada perkerasan jalan (Putra, Firdausi and Rubbyanto, 2019).

Ragam usaha untuk meningkatkan masa pakai perkerasan aspal melalui inovasi perbaikan pada campuran aspal, seperti penambahan bahan *filler* dapat meningkatkan ketahanan dan kekuatan aspal (Sfameni, Rando and Plutino, 2023). Akan tetapi, penggunaan *filler* tambahan tersebut dapat mengurangi suhu konstruksi aspal dan pada akhirnya mempengaruhi tingkat kekerasan aspal (Wang *et al.*, 2020). Baru-baru ini, banyak perhatian lebih terhadap pengembangan metode perbaikan sifat-sifat bahan pengikat. Salah satu inovasi yang efektif adalah modifikasi bahan pengikat dengan menggunakan bahan nano material (Crucho and Neves, 2021). Bahan *nano material* merupakan suatu bahan yang memiliki ukuran antara 1 sampai 100 nm (Hulla, Sahu and Hayes, 2015). Bahan nano material memiliki keunggulan seperti memiliki luas permukaan yang besar, kemampuan dispersi yang tinggi, dan tingkat kemurnian kimia yang tinggi. Penambahan bahan *nano material* dapat meningkatkan sifat polimer dalam aspal, terutama dalam situasi pada suhu yang tinggi (Moussa, Abdel-Raheem and Abdel-Wahed, 2021).

Aspal yang digunakan dalam riset kali ini adalah aspal penetrasi 60/70 dengan bahan tambah bahan nano material dari limbah kelapa sawit yang dapat disebut mastik aspal. Penggunaan bahan nano material dari limbah kelapa sawit sebagai campuran aspal disini bertujuan untuk meningkatkan nilai adhesi, sifat fisik dan mengetahui unsur mikrostuktur pada campuran beraspal. Pada riset kali ini dilakukan beberapa metode pengujian diantaranya pengujian SEM (*Scanning Electron Microscop*), pengujian sifat fisik aspal dan pengujian sudut kontak aspal untuk mengetahui nilai adhesi pada mastik aspal.

Bahan Penelitian

a) Aspal penetrasi 60/70

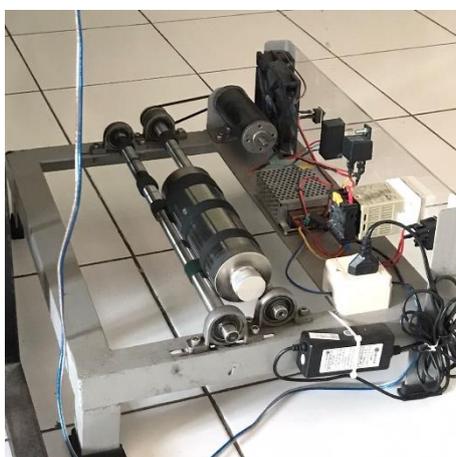
Riset kali ini menggunakan jenis aspal penetrasi 60/70 dari Pertamina Cilacap (PT. Dharma Panca). Pemilihan jenis aspal ini dikarenakan aspal penetrasi 60/70 sering digunakan dalam proyek perkerasan jalan raya dan cocok dengan iklim di Indonesia. Selain itu, aspal penetrasi 60/70 merupakan jenis aspal yang sesuai dengan volume beban lalu lintas tinggi dan memiliki daya rekat yang tinggi.

Tabel 1. Tabel Spesifikasi SNI

No.	Jenis Pengujian	Standar Pengujian	Type I Aspal Pen.60-70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
3.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
4.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0

b) Bahan Nano Karbon

Riset ini memanfaatkan bahan nano karbon yang dihasilkan dari limbah cangkang kelapa sawit. Penggunaan bahan baku ini dipilih karena potensi besar limbah cangkang kelapa sawit yang belum dimanfaatkan sepenuhnya, serta ketersediaan yang mudah dan kandungan unsur karbon yang signifikan. Untuk mendapatkan bahan nano karbon, diperlukan proses pembuatan dengan menggunakan alat *High Energy Milling* (HEM) agar mencapai ukuran nano meter yang diinginkan.



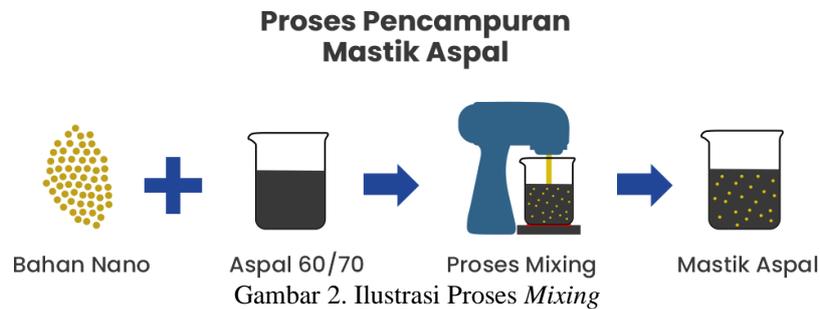
Gambar 1. Alat *High Energy Milling* (HEM)

Metode Penelitian

a) Pembuatan Mastik Aspal

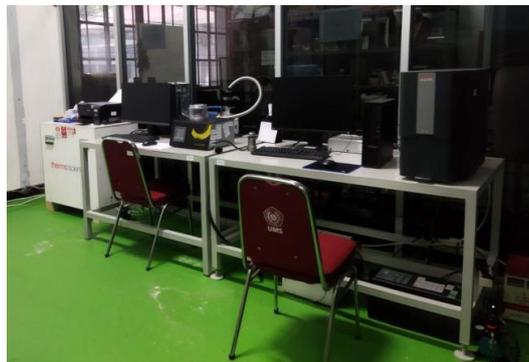
Pembuatan mastik aspal dibutuhkan beberapa kali *trial* dalam proses *mixing* agar didapatkan campuran antara aspal dan bahan nano karbon yang homogen. Pencampuran aspal dengan bahan nano karbon menggunakan

bantuan bor listrik selama 45 menit dalam keadaan aspal dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan suhu maksimal 120°C . Dalam satu kali mixing menggunakan aspal sebanyak 375 gr sesuai dengan kebutuhan pengujian yang akan digunakan. Variasi bahan nano karbon dalam pencampuran mastik aspal menggunakan satuan *Part Per Million* (PPM). Pada pembuatan mastik aspal digunakan dua variasi yang berbeda diantaranya 200 ppm dan 1000 ppm.



b) Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian SEM menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* pada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta yang menghasilkan output ukuran dan gambar mikroskopis dari sampel.



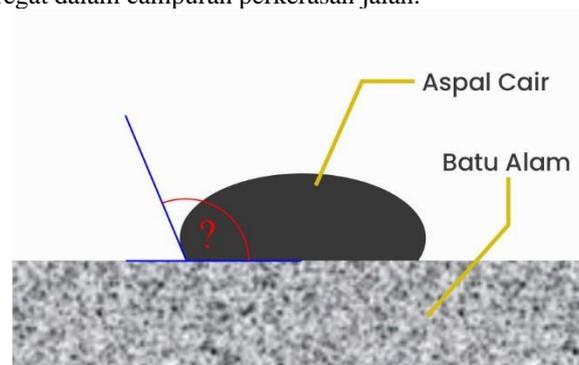
Gambar 3. Alat Pengujian *Scanning Electron Microscope*

c) Pengujian Sifat Fisik Aspal

Pengujian sifat fisik aspal dalam riset ini antara lain pengujian penetrasi, berat jenis, titik leleh dan daktilitas aspal. Pengujian sifat fisik disini bertujuan untuk mengetahui karakter fisik dari mastik aspal dalam berbagai variasi.

d) Pengujian Sudut Kontak

Dalam pengujian sudut kontak aspal digunakan metode sudut kontak *Sessile Drop* atau yang biasa disebut dengan sudut kontak tetesan. Pengujian sudut kontak disini dilakukan untuk mengetahui besar sudut yang terbentuk antara aspal dengan batu alam. Penggunaan batu alam sebagai alas pengujian sudut kontak dipilih karena tekstur yang menyerupai agregat dalam campuran perkerasan jalan.



Gambar 4. Ilustrasi Pengujian Sudut Kontak

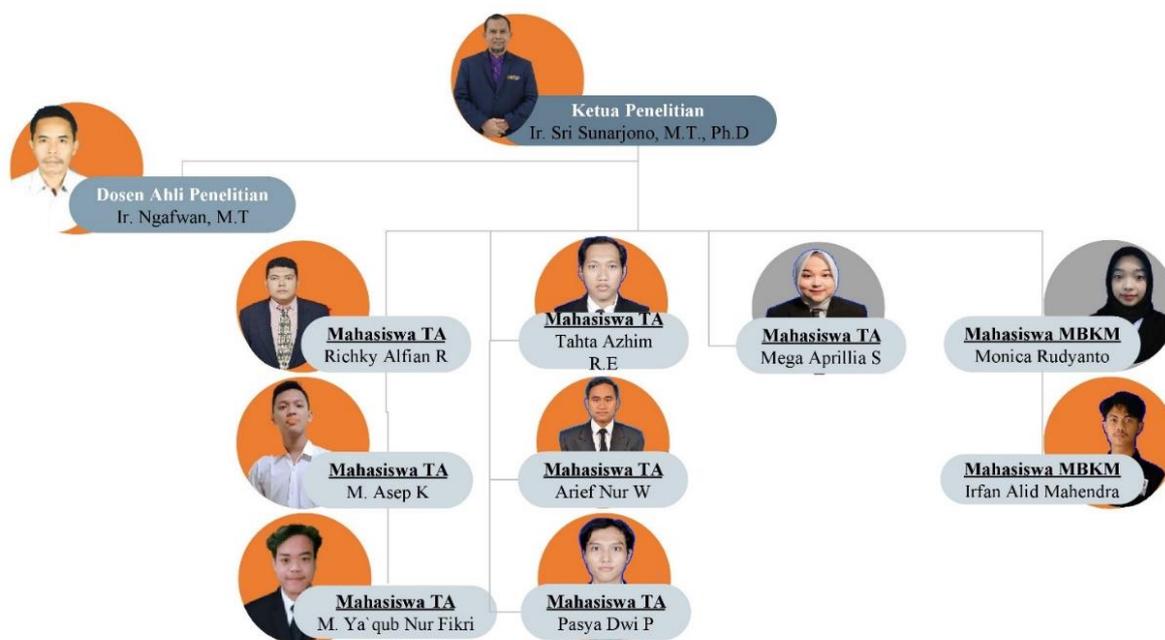
Hasil dan Pembahasan

a) Tata Kelola Riset

Riset penelitian ini dibantu oleh beberapa instansi yaitu Dinas PUPR Surakarta yang bersedia menyediakan bahan sampel aspal penetrasi 60/70, kemudian DRTPM Ditjen Dikti Ristek Kemendikbud yang membantu pembiayaan riset penelitian ini. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama tiga tahun, dengan tahun pertama dimulai setelah disetujuinya Proposal PTUPT pada tanggal 12 Mei 2022 sampai 10 Desember 2022.

Sebelum pengujian laboratorium dimulai, dilakukan kegiatan diskusi bersama tentang batas masalah yang akan dibahas pada penelitian, pengujian yang akan dilakukan, gambaran detail tentang bahan nano karbon yang digunakan dan cara pencampuran aspal dengan bahan nano agar dapat maksimal. Selain itu, perhitungan perbandingan kadar bahan nano dan aspal dilakukan sebelum pelaksanaan pencampuran agar mengurangi resiko kegagalan dalam penelitian ini.

Ketua Riset merencanakan jadwal untuk mengadakan pertemuan koordinasi guna pembagian tugas di antara anggota, serta pertemuan evaluasi atau pemantauan sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Gambar 5. Sementara itu, dosen ahli riset mengambil peran dalam mengarahkan dan memberikan penjelasan mengenai cara operasional alat, metode perhitungan, dan seluruh aspek yang terkait dengan bahan nano limbah kelapa sawit.



Gambar 5. Struktur Organisasi Riset

b) SEM (*Scanning Electron Microscop*)

Dalam Tabel 2, dapat dilihat bahwa bahan nano karbon limbah kelapa sawit memiliki dua unsur utama, yaitu karbon (C) yang mendominasi dan oksigen (O) yang terdapat di udara ruangan. Pada mastik aspal mengalami peningkatan nilai unsur karbon (C) dikarenakan penambahan bahan nano limbah kelapa sawit, yang mana penambahan unsur karbon pada aspal dapat meningkatkan sifat fisik aspal.

Tabel 2. Hasil Pengujian SEM

Bahan Sampel	Jumlah Atom (%)			Berat Atom (%)		
	C	O	S	C	O	S
Nano Karbon	81,403	18,597	-	76,667	23,333	-
Aspal 60/70	94,561	0,384	5,055	87,339	0,467	12,195
Mastik Aspal 200ppm	97,374	0,390	1,866	93,894	0,501	4,805
Mastik Aspal 1000ppm	96,944	0,754	1,855	93,300	0,967	4,767

c) Pengujian Sifat Fisik

Dapat dilihat pada Tabel 3 bahwa hasil pengujian sifat fisik aspal mengalami kenaikan yang signifikan. Penurunan nilai penetrasi menunjukkan peningkatan kekerasan dan kemampuan aspal untuk mengatasi beban lalu lintas di lapangan yang memungkinkan daya ikat menjadi lebih kuat. Peningkatan suhu pada titik lembek membuat aspal lebih tahan terhadap perubahan suhu ekstrim yang dapat menyebabkan deformasi. Peningkatan nilai daktilitas menggambarkan elastisitas yang semakin baik pada aspal, serta daya ikat yang lebih kuat terhadap agregat di lapangan. Hasil berat jenis aspal yang didapatkan cenderung tidak signifikan terhadap penambahan kadar aspal, walaupun demikian nilai berat jenis telah memenuhi spesifikasi SNI 2441:2011.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik

Bahan Sampel	Penetrasi (dmm)	Berat Jenis	Titik Lembek (°C)	Daktilitas (mm)
Aspal 60/70	66,3	1,073	52,5	1305
Aspal Nano 200ppm	42,6	1,116	54,5	1472
Aspal Nano 1000ppm	35,6	1,079	58,5	>1555

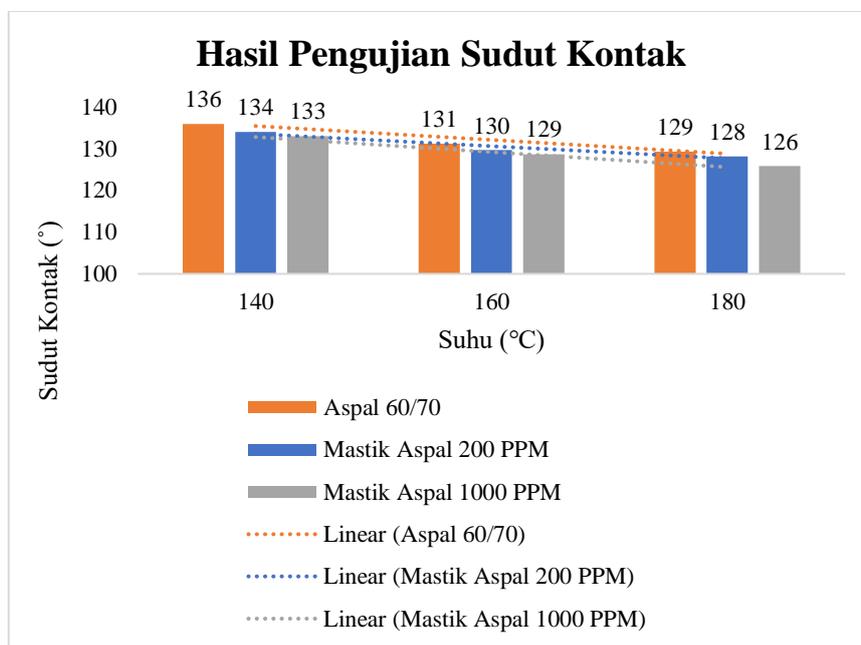
d) Pengujian Sudut Kontak

Dari hasil pengujian sudut kontak dalam Tabel 4, pada aspal 60/70 perbedaan suhu mempengaruhi hasil nilai pengujian sudut kontak dimana semakin tinggi suhu, maka nilai adhesi semakin besar. Untuk mastik aspal nano karbon juga mengalami hal serupa dimana suhu mempengaruhi nilai adhesi aspal yaitu semakin besar.

Penambahan bahan nano karbon pada aspal berbanding lurus dengan nilai adhesi, semakin banyak penambahan bahan nano karbon semakin besar pula nilai adhesi yang didapat. Dengan demikian bahan nano karbon dapat membantu membentuk ikatan antarpartikel yang lebih kuat dalam aspal sehingga penambahan bahan nano karbon pada aspal meningkatkan daya rekat serta meningkatkan nilai adhesi.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sudut Kontak

Bahan		Ketinggian 1,5 cm		
		Suhu 140°C	Suhu 160°C	Suhu 180°C
Aspal 60/70	Besar Sudut (°)	136	131	129
200ppm		134	130	128
1000ppm		133	129	126



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Sudut Kontak

Kesimpulan

Berdasarkan riset yang telah terlaksana, dapat ditarik kesimpulan antara lain:

- Program Riset MBKM memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk mempelajari ilmu lain yang memiliki hubungan yang erat dengan ilmu teknik. Program kampus merdeka ini memberikan manfaat kepada mahasiswa dengan memberikan pengalaman berkontribusi dalam beberapa laboratorium, mengembangkan pemikiran kritis terhadap suatu masalah, mengembangkan keterampilan manajemen waktu, dan memahami tata kelola organisasi riset, serta konversi mata kuliah dengan kesepakatan sesuai waktu penelitian yang telah ditentukan.
- Hasil pengujian SEM terdapat kenaikan unsur karbon (C) dalam mastik aspal seiring dengan penambahan bahan nano karbon. Kenaikan unsur karbon dalam aspal dapat meningkatkan kekerasan aspal dan meningkatkan daya ikat pada aspal.
- Hasil pengujian sifat fisik aspal yang diantaranya pengujian penetrasi, pengujian berat jenis, pengujian titik lembek dan pengujian daktilitas pada mastik aspal lebih baik dibandingkan aspal 60/70 tanpa campuran

- bahan nano karbon. Dalam implementasinya, bahan nano karbon dapat meningkatkan kualitas aspal baik dalam daya ikat aspal, ketahanan terhadap suhu ekstrim, kekuatan aspal, serta daya tahan terhadap deformasi.
- d) Pada pengujian sudut kontak dipengaruhi oleh suhu, dan kadar bahan nano karbon dalam aspal. Penambahan kadar bahan nano karbon pada mastik aspal berperan penting dalam penurunan sudut kontak yang terbentuk. Dalam implementasinya, bahan nano karbon dapat meningkatkan ikatan antar partikel pada aspal dan meningkatkan nilai adhesi aspal.
 - e) Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan, bahan nano karbon pada mastik aspal 1000 ppm menunjukkan potensi tertinggi dalam meningkatkan karakteristik fisik aspal dan nilai adhesi aspal.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Maha Esa, kedua orang tua, Bapak Ir. Anto Budi Listyawan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Bapak Ir. Ngafwan, M.T. selaku Dosen Ahli Nano Material, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Dinas PUPR Surakarta, dan DRTPM Ditjen Dikti Ristek Kemendikbud Ristek atas berbagai dukungan, fasilitas, dan dana riset melalui Kontrak Riset No 158/E5/PG.02.00.PT/2022; 005/LL6/PB/AK.04/2022; 135.2/A.3-III/LRI/V/2022. Ucapan terima kasih tidak lupa penulis sampaikan kepada rekan-rekan riset diantaranya Arief Nur Wicaksono, Mega Aprillia S, Muhammad Asep Kurniawan, Muhammad Ya'qub Nur Fikri, Pasya Dwi Pranata, Richky Alfian Rahmado, dan Tahta Azhim Restu Esaillahi.

Daftar Pustaka

- Arsyam, M. and M. Yusuf Tahir (2021) 'Ragam Jenis Penelitian dan Perspektif', *Al-Ubudiyah: Jurnal Pendidikan dan Studi Islam*, 2(1), pp. 37–47. Available at: <https://doi.org/10.55623/au.v2i1.17>.
- Badan Standarisasi Nasional (2011) 'SNI 2432:2011 Cara uji Daktilitas Aspal', *Standar Nasional Indonesia*, pp. 1–15.
- Crucho, J. and Neves, J. (2021) 'Effect of nano hydrotalcite on the aging resistance of a high binder content stone mastic asphalt', *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(21). Available at: <https://doi.org/10.3390/app11219971>.
- Dhiaulhaq, R.F. and Fauzan, M. (2022) 'Evaluasi Kerusakan Lapis Perkerasan Jalan dengan Metode Pavement Condition Index (PCI)', *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(2), pp. 161–170. Available at: <https://doi.org/10.29244/jsil.7.2.161-170>.
- Hulla, J.E., Sahu, S.C. and Hayes, A.W. (2015) 'Nanotechnology: History and future', *Human and Experimental Toxicology*, 34(12), pp. 1318–1321. Available at: <https://doi.org/10.1177/0960327115603588>.
- Kusnadi, E. and Warnars, H.L.H.S. (2021) 'Prediksi Prioritas Infrastruktur Jalan di Provinsi Banten Dengan Metode AHP', *Jurnal Sisfotek Global*, 11(1), p. 60. Available at: <https://doi.org/10.38101/sisfotek.v11i1.347>.
- Marjan Fuadi, T. (2022) 'Konsep Merdeka Belajar-Kampus Merdeka (Mbk) : Aplikasinya Dalam Pendidikan Biologi', *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 9(2), p. 38. Available at: <https://doi.org/10.22373/pbio.v9i2.11594>.
- Masruroh, S., Supiana and Zaqiah, Q.Y. (2022) 'KEBIJAKAN PENDIDIKAN MERDEKA BELAJAR KAMPUS MERDEKA DI UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG', 1(1), pp. 1–23.
- Moussa, G.S., Abdel-Raheem, A. and Abdel-Wahed, T. (2021) 'Effect of nanoclay particles on the performance of highdensity polyethylene-modified asphalt concrete mixture', *Polymers*, 13(3), pp. 1–23. Available at: <https://doi.org/10.3390/polym13030434>.
- Munggarani, N.A. and Wibowo, A. (2017) 'Kajian faktor-faktor penyebab kerusakan dini perkerasan', *Jurnal Infrastruktur*, 3(01), pp. 9–18.
- Putra, K.H., Firdausi, M. and Rubbyanto, M. (2019) 'The Effect of Coal Powder Addition to Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC) Mixture to Increase Road Surface Hardness Quality', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 462(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/462/1/012026>.
- Sfameni, S., Rando, G. and Plutino, M.R. (2023) 'Sustainable Secondary-Raw Materials, Natural Substances and Eco-Friendly Nanomaterial-Based Approaches for Improved Surface Performances: An Overview of What They Are and How They Work', *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), p. 5472. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms24065472>.
- SNI 2434-2011 (2011) 'Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)', *SNI 2432:2011*, pp. 1–17.
- SNI 2441:2011 (2011) 'SNI 2441:2011 tentang Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras', *Badan Standar Nasional Indonesia* [Preprint]. Available at: <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/648/sni-24412011-cara-uji-berat-jenis-aspal-keras.pdf>.
- SNI 2456 (2011) 'Cara Uji Penetrasi Aspal', *Badan Standar Nasional Indonesia*, pp. 9–17.

- Vhalery, R., Setyastanto, A.M. and Leksono, A.W. (2022) 'Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka: Sebuah Kajian Literatur', *Research and Development Journal of Education*, 8(1), p. 185. Available at: <https://doi.org/10.30998/rdje.v8i1.11718>.
- Wang, H. *et al.* (2020) 'Effect of Nanoclays on Moisture Susceptibility of SBS-Modified Asphalt Binder', *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1155/2020/2074232>.