



STUDI LITERATUR: KARAKTERISTIK ASPAL PENETRASI 60/70 YANG DITAMBAHKAN SERAT LIMBAH MASKER MEDIS

I Gusti Agung Ananda Putra^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Informatika,

Universitas Pendidikan Nasional, Indonesia

Jl. Bedugul No.39, Sidakarya, Denpasar Selatan, Denpasar, Bali, Kode Pos 80224

*Email: anandaputra@undiknas.ac.id

Abstrak

Masker adalah jenis perlindungan pernafasan yang digunakan untuk mencegah orang menghirup bahan bahaya atau kontaminasi di udara. Walaupun penting untuk menggunakan masker demi mencegah penyebaran virus Corona, pembuangan masker dapat membahayakan lingkungan. Secara umum, masker medis mengandung polipropilena dalam komposisi kimianya. Pada review ini akan dibahas serat dari limbah masker dijadikan bahan aditif untuk mengevaluasi dampaknya terhadap sifat-sifat aspal. Metode yang dipakai adalah studi literatur dari peneliti terdahulu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah masker medis ke dalam aspal penetrasi 60/70 dapat meningkatkan kekakuan, mengurangi sensitivitas suhu aspal, meningkatkan viskositas, serta meningkatkan viskoelastisitas dan ketahanan deformasi aspal.

Kata kunci: Limbah Masker, Polipropilena, Serat, Aspal Adiktif

Abstract

A mask is a type of respiratory protection used to prevent people from inhaling hazardous materials or airborne contamination. While it is important to wear masks to prevent the spread of the coronavirus, the disposal of masks can harm the environment. In general, medical masks contain polypropylene in their chemical composition. In this review, fibers from mask waste will be used as additives to evaluate their impact on asphalt properties. The method used is a literature study of previous researchers. The results show that the addition of medical mask waste into 60/70 penetration asphalt can increase stiffness, reduce temperature sensitivity of asphalt, increase viscosity, and improve viscoelasticity and deformation resistance of asphalt.

Keywords: Mask Waste, Polypropylene, Fiber, Asphalt Additive

Diajukan: 26/03/2024 Direvisi: 21/05/2024 Diterima: 16/07/2024

1. PENDAHULUAN

Pandemi virus corona dengan cepat membuat dunia tertahan sejak kemunculannya yang pertama pada akhir 2019, yang mempengaruhi ekonomi, sistem kesehatan, dan mata pencaharian dalam skala global (Boroujeni dkk., 2021). Pandemi COVID-19, terutama antara tahun 2019 dan 2021, memperkenalkan sejumlah besar masker sekali pakai dan alat pelindung diri (APD) kesehatan lainnya ke masyarakat dalam waktu yang sangat singkat sebagai alat yang paling efisien untuk mengurangi

tingkat penyebaran penyakit dari virus mematikan (Selvaranjan dkk., 2021). Hal ini telah memberikan kontribusi terhadap peningkatan besar dalam produksi limbah masker. Peningkatan masker ini dapat menyebabkan pencemaran air, tanah, maupun lingkungan dan memiliki efek negatif yang merugikan pada organisme hidup (Mohammad hosseini dkk., 2021). Untuk mengurangi limbah masker medis yang dapat mencemari lingkungan, langkah terbaik adalah dengan melakukan daur ulang.

Daur ulang limbah masker dan pemanfaatannya kembali dalam bahan bangunan bisa menjadi cara yang layak untuk mengatasi masalah ini. Ternyata limbah masker medis dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan, kelenturan, dan stabilitas konstruksi jalan dengan menambahnya ke dalam konsentrat daur ulang (Lie, 2021). Oleh karena itu, solusi untuk masalah ini adalah mendaur ulang limbah masker medis dan menggunakan kembali sebagai penguat bahan konstruksi (Selvaranjan dkk., 2021). Limbah tersebut dapat mengandung patogen infektif, oleh karena itu proses daur ulang harus mencakup tahap yang menyediakan desinfeksi yang efektif. Menyimpan limbah tersebut selama sembilan hari dan menggunakan desinfektan dapat digunakan untuk menonaktifkan virus, sehingga mengurangi risiko infeksi lebih lanjut (Ilyas dkk., 2020). Polipropilena, sejenis plastik yang sulit terurai, digunakan untuk membuat masker medis. Namun, karena sangat elastis, bahan ini dapat digunakan sebagai pengganti aspal (Setyaningrum dkk., 2022). Menurut Budiman dkk. (2022) Masker medis terbuat sebagian besar dari polipropilena, yang memiliki sifat termoplastik, yang mengingatkan pada aspal, yang merupakan bahan tak terbarukan yang digunakan dalam perkerasan jalan selama jutaan tahun (Putri & Andilla, 2017).

Para peneliti juga telah melakukan penelitian penggunaan limbah masker di perkerasan jalan (Saberian dkk., 2021). Artikel ini merangkum beberapa studi literatur: karakteristik aspal penetrasi 60/70 yang ditambahkan serat limbah masker medis dari penelitian sebelumnya.

2. METODOLOGI

Artikel ini menerapkan metode studi literatur dengan memilih topik berdasarkan fakta bahwa penimbunan limbah masker telah meningkat akibat pandemi virus Corona yang melanda seluruh dunia. Peningkatan jumlah limbah masker ini mengakibatkan potensi pencemaran lingkungan. Dalam penelitian ini,

serat dari limbah masker dijadikan bahan aditif untuk mengevaluasi dampaknya terhadap sifat-sifat aspal. Pemilihan jurnal unggulan dilakukan dengan merinci langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Identifikasi Basis Data: Langkah awal melibatkan identifikasi basis data terkemuka yang menampilkan jurnal ilmiah terkait limbah masker dan sifat-sifat aspal. Database seperti Researchgate, Science Direct, dan Google Scholar diakses untuk memastikan cakupan literatur yang luas (Krejcie & Morgan, 1970).
- b. Pemilihan Kata Kunci: Memilih kata kunci yang relevan dan spesifik merupakan langkah penting dalam memfilter jurnal. Kata kunci seperti “limbah masker”, “sifat-sifat aspal”, dan “campuran aspal” digunakan untuk mengoptimalkan relevansi pencarian (Cooper, 1984).
- c. Filter Kriteria Inklusi dan Eksklusi: Kriteria inklusi dan eksklusi ditetapkan untuk memastikan bahwa jurnal yang dipilih selaras dengan fokus penelitian. Hanya jurnal yang menyajikan temuan terkini, memiliki tingkat akreditasi tinggi, dan mencakup aspek limbah masker dalam campuran aspal yang disertakan (Tracy, 2010).
- d. Analisis Faktor Pengaruh: Faktor-faktor seperti faktor dampak jurnal dan jumlah kutipan dipertimbangkan untuk menilai reputasi dan pengaruh jurnal dalam komunitas ilmiah (Hicks dkk., 2015).
- e. Pencarian Manual: Selain database elektronik, pencarian manual dilakukan pada daftar referensi jurnal terkemuka untuk menemukan publikasi yang mungkin tidak dapat ditangkap oleh pencarian elektronik (Fink, 2005).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Aspal

Aspal adalah substansi alami yang terdiri dari hidrokarbon dan dieksplorasi dalam bentuk hitam, dengan sifat plastis hingga cair. Aspal tidak larut dalam larutan asam encer, alkali, atau air, namun dapat larut sebagian dalam aether, CS₂ bensol, dan chloroform (Saodang, 2005).

3.2 Masker

Pelindung pernafasan, yang bertujuan melindungi individu dari inhalasi zat berbahaya atau kontaminan udara, dikenal sebagai masker atau perlindungan pernafasan. Masker ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan metode pencegahan penyakit yang lebih efektif, tetapi digunakan untuk memberikan perlindungan yang memadai kepada penggunanya (Cohen & Birdner, 2012). Salah satu jenis masker yang digunakan dalam studi ini adalah masker medis, biasanya terbuat dari bahan kain non-woven. Masker medis biasanya memiliki tiga lapisan: bahan yang mudah meleleh membentuk lapisan tengah, dan kain non-woven yang tahan air membentuk lapisan eksternal dan internal (Fadare & Okoffo, 2020). Tiga fungsi utama dari lapisan masker medis tersebut adalah lapisan luar yang anti air, lapisan tengah sebagai filter, dan lapisan dalam untuk menyerap cairan yang keluar dari mulut (Sunda, 2020).

3.3 Polipropilena

Menurut Sriyanto (2016), polipropilena adalah suatu jenis polimer yang terbuat dari monomer polipropilena (PP) dengan kadar murni yang tinggi, yaitu lebih dari 99%. Polipropilena merupakan bahan yang banyak digunakan dalam industri dan memiliki beragam aplikasi karena sifat-sifat mekanik, termal, dan kimianya yang menguntungkan.

Polipropilena memiliki sifat-sifat, antara lain:

1. Ketahanan terhadap bahan kimia: Polipropilena murni memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai bahan kimia, seperti asam, alkali, dan pelarut organik. Hal ini membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi yang berinteraksi dengan bahan kimia.
2. Ketahanan terhadap suhu tinggi: Polipropilena murni memiliki titik leleh yang tinggi, yaitu sekitar 165-170°C, membuatnya tahan terhadap suhu tinggi. Hal ini menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap panas.
3. Kekakuan dan kekuatan yang baik: Polipropilena murni memiliki kekakuan

dan kekuatan yang baik, membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan kekuatan dan stabilitas dimensional, seperti dalam industri otomotif, peralatan rumah tangga, dan kemasan.

4. Transparansi: Polipropilena murni dapat dicetak dalam bentuk transparan, yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam kemasan yang memerlukan tampilan produk yang jelas.

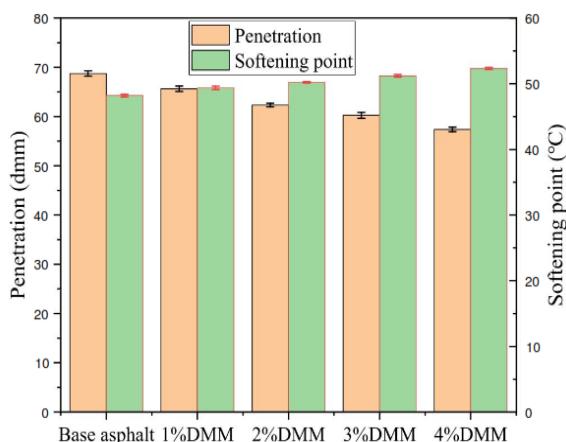
3.4 Hasil Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil analisis karakteristik aspal penetrasi 60/70 yang ditambahkan serat limbah masker medis dari beberapa penelitian terdahulu sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi dan Titik Lembek

Penelitian yang dilakukan oleh (Chang & Zhang, 2016), menunjukkan hasil penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi limbah masker medis (DMM). Dapat diamati bahwa nilai penetrasi aspal modifikasi limbah masker medis menurun dengan meningkatnya kandungan limbah masker medis. Ketika kadar limbah masker medis diberikan sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4%, penetrasinya menurun masing-masing sebesar 4,5%, 9,8%, 13,6%, dan 18,9%. Itu karena semakin banyak bahan aditif yang dicampurkan ke dalam aspal, maka aspal modifikasi yang dihasilkan memiliki sifat yang tidak stabil, sehingga mempengaruhi masuknya jarum penetrasi untuk menembus sampel aspal modifikasi (Afrianti dkk., 2021). Sedangkan, nilai titik lembek aspal modifikasi limbah masker medis meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan limbah masker medis dibandingkan dengan aspal dasar. Ketika kadar limbah masker medis diberikan sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4%, titik lembeknya meningkat masing-masing sebesar 2,4%, 4,1%, 6,0%, dan 8,1%. Peningkatan titik lembek yang menandakan terjadinya peningkatan kerentanan aspal terhadap panas (Afrianti dkk., 2021). Oleh

karena itu, menambahkan limbah masker medis ke dalam aspal dasar dapat meningkatkan kekakuan dan mengurangi sensitivitas suhu aspal, sehingga aspal modifikasi limbah masker semakin tahan terhadap perubahan suhu dan cuaca (Gambar 1).



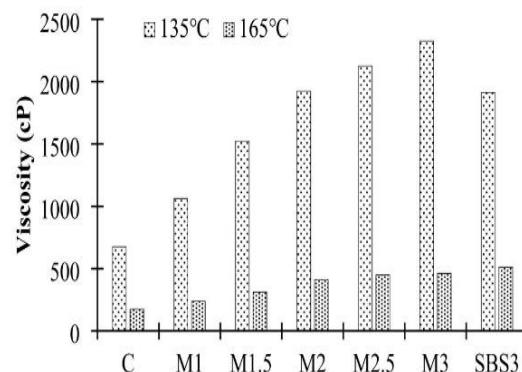
Gambar 1. Hasil uji penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi limbah masker medis (DMM)

Sumber: Zhao dkk. (2016)

2. Pemeriksaan Viskositas

Penelitian yang dilakukan oleh (Yalcin dkk., 2022), menunjukkan hasil nilai viskositas meningkat seiring dengan peningkatan bahan aditif pada modifikasi masker limbah (Gambar 2). Kadar aditif 3% menunjukkan bahwa modifikasi limbah masker memberikan pengaruh terhadap nilai viskositas lebih besar dibandingkan modifikasi Styrene Butadiene Styrene (SBS). Kadar tertinggi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3% limbah masker dan SBS, nilai viskositas 3.000 cP pada suhu 135°C tidak terlampaui, oleh karena itu tidak menimbulkan masalah pada kemampuan kinerjanya. Untuk mendapatkan nilai viskositas yang sama dengan pengikat SBS3 pada suhu 135°C, kandungan limbah masker sebaiknya digunakan dengan kadar kurang lebih 2%, alasannya adalah limbah masker memiliki afinitas antarmolekul yang tinggi dibandingkan dengan SBS (Y. Chen

dkk., 2013). Pada suhu 165°C, SBS3 memberikan nilai viskositas tertinggi. Kekuatan pengikat yang mengandung limbah masker pada suhu tinggi lebih rendah dibandingkan pengikat dengan SBS. Dibandingkan dengan pengikat C (aspal dasar), nilai viskositas M1, M1.5, M2, M2.5, dan M3 pada suhu 135°C meningkat sebesar 1,57, 2,26, 2,85; masing-masing 3,15 dan 3,44 kali. Nilai viskositas pengikat SBS3 mengalami peningkatan sebesar 2,83 kali lipat dibandingkan dengan pengikat C. Pada suhu 165°C, nilai viskositas M1, M1.5, M2, M2.5, dan M3 meningkat masing-masing sebesar 1,36, 1,79, 2,36, 2,57, dan 2,64 kali dibandingkan dengan pengikat C. Nilai viskositas pengikat SBS3 meningkat 2,93 kali lipat dibandingkan dengan pengikat C. Oleh karena itu, menambahkan limbah masker dan SBS ke dalam aspal dasar meningkatkan kekentalan (viskositas), sehingga dapat menyelimuti agregat dengan sempurna.



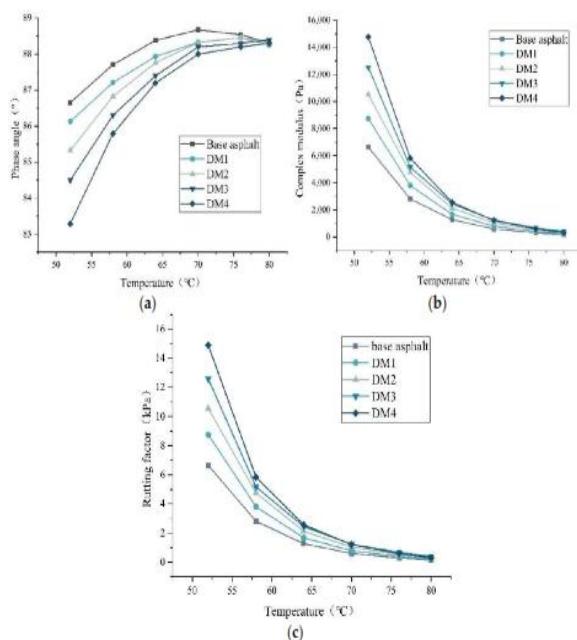
Gambar 2. Hasil uji nilai viskositas aspal modifikasi limbah masker dan SBS

Sumber: Yalcin dkk. (2022)

3. Pemeriksaan Sifat Reologi

Sifat reologi aspal berfluktuasi secara jelas dengan temperatur suhu yang bervariasi (Li dkk., 2021). Modulus kompleks (G^*) dan sudut fase (δ) yang diperoleh melalui alat DSR secara kuantitatif dapat mengevaluasi sifat viskoelastisitas aspal (Z. Chen dkk., 2008). Semakin besar G^* , maka semakin besar pula kekakuan material aspal tersebut yang mencerminkan rasio elastisitas dan

viskositas aspal (Taamneh dkk., 2021). Nilai sudut fase yang lebih besar menunjukkan komponen yang lebih kental, sedangkan penurunan sudut fase meningkatkan perilaku elastisitas (Han dkk., 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. (2022), menunjukkan hasil aspal modifikasi limbah masker terhadap sudut fase meningkat dengan meningkatnya suhu dan modulus kompleks memiliki tren yang berlawanan (Gambar 3). Sudut fase menurun dengan bertambahnya kadar limbah masker pada suhu yang sama, dan tren modulus kompleks berlawanan. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya (Zhao dkk., 2016) dan (Yalcin dkk., 2022). Faktor rutting pada aspal modifikasi limbah masker menurun dengan cepat seiring dengan peningkatan suhu yang menyebabkan viskoelastisitas aspal meningkat dan ketahanan terhadap deformasi menurun. Faktor rutting dari aspal modifikasi limbah masker meningkat pada suhu yang sama, yang menunjukkan bahwa penambahan bahan aditif limbah masker meningkatkan ketahanan deformasi aspal. Hasil ini konsisten dengan penelitian terdahulu.



Gambar 3. Hasil uji sifat reologi aspal modifikasi limbah masker
Sumber: Li dkk. (2022)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data, analisis dan pembahasan yang sudah dilakukan maka kesimpulan yang diperoleh yaitu:

1. Penambahan limbah masker medis ke dalam aspal penetrasi 60/70 dapat meningkatkan kekakuan dan mengurangi sensitivitas suhu aspal, sehingga aspal modifikasi limbah masker semakin tahan terhadap perubahan suhu dan cuaca.
2. Penambahan limbah masker dan SBS ke dalam aspal penetrasi 60/70 meningkatkan kekentalan (viskositas), sehingga dapat menyelimuti agregat dengan sempurna.
3. Penambahan bahan aditif limbah masker meningkatkan viskoelastisitas dan ketahanan deformasi aspal.

Berdasarkan pada hasil analisis dan kesimpulan di atas, maka saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Penelitian selanjutnya, limbah masker direncanakan untuk digunakan sebagai bahan aditif dalam campuran aspal.
2. Perlu dipertimbangkan menggunakan banyak variasi persentase penggunaan limbah masker.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianti, D., Reza, M., & Bahruddin. 2021. Pengaruh Penambahan Kadar Plastik Jenis Polypropylene Terhadap Titik Lembek Aspal Modifikasi. *JOM FTEKNIK*, 8(2).
- Boroujeni, M., Saberian, M., & Li, J. 2021. Environmental Impacts of COVID-19 on Victoria, Australia, Witnessed Two Waves of Coronavirus. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(11), 14182. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-12556-Y>
- Budiman, A. S., Rebia, R. A., Hidayah, F. N., Septyan, D. W., Isla, S. A., Studi, P., Tekstil, R., Industri, F. T., & Indonesia, U. I. 2022. Masker Medis Tiga Lapis Dengan Variasi Berat. *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*, 73–78.
- Zhao, Z., Wu, S., Liu, Q., Xie, J., Yang, C., Wang, F., & Wan, P. 2016. Recycling Waste Disposable Medical Masks in

- Improving the Performance of Asphalt And Asphalt Mixtures. *Construction and Building Materials*, 337(May), 127621. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127621>
- Chen, Y., Zou, H., Liang, M., & Liu, P. 2013. Rheological, Thermal, and Morphological Properties of Low-Density Polyethylene/Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene and Linear Low-Density Polyethylene/Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 129(3), 945–953. <https://doi.org/10.1002/APP.38374>
- Chen, Z., Wu, S. P., Zhu, Z. H., & Liu, J. S. 2008. Experimental Evaluation on High Temperature Rheological Properties of Various Fiber Modified Asphalt Binders. *Journal of Central South University of Technology (English Edition)*, 15(1 SUPPL.), 135–139. <https://doi.org/10.1007/S11771-008-0332-0>
- Cohen, H. J., & Birdner, J. S. 2012. Department of Occupational And Environmental Medicine. *Respiratory Protection*, 783–793.
- Cooper, H. 1984. Research Synthesis and Meta-Analysis: A Step-by-Step Approach. Sage Publications, Inc.
- Fadare, O. O., & Okoffo, E. D. 2020. Covid-19 face masks: A Potential Source of Microplastic Fibers in The Environment. *Science of The Total Environment*, 737, 140279. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140279>
- Fink, A. 2005. Conducting Research Literature Reviews. Sage Publications, Inc.
- Han, M., Li, J., Muhamma, Y., Hou, D., Zhang, F., Yin, Y., & Duan, S. 2018. Effect of Polystyrene Grafted Graphene Nanoplatelets on the Physical And Chemical Properties of Asphalt Binder. *Construction and Building Materials*, 174, 108–119. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.04.082>
- Hicks, D., Wouters, P., Waltman, L., de Rijcke, S., & Rafols, I. 2015. Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. *Nature*, 520(7548), 429–431.
- Ilyas, S., Srivastava, R. R., & H. Kim. 2020. Disinfection Technology and Strategies for COVID- 19 Hospital and Bio-Medical Waste Management. *Sci. Total Environ*, 749.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. 1970. Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607–610.
- Li, Y., Feng, J., Yang, F., Wu, S., Liu, Q., bai, T., Liu, Z., Li, C., Gu, D., Chen, A., & Jin, Y. 2021. Gradient Aging Behaviors of Asphalt Aged by Ultraviolet Lights With Various Intensities. *Construction and Building Materials*, 295. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.123618>
- Li, Y., Hui, B., Yang, X., Wang, H., Xu, N., Feng, P., Ma, Z., & Wang, H. 2022. Multi-Scale Characterization of High-Temperature Properties and Thermal Storage Stability Performance of Discarded-Mask-Modified Asphalt. *Materials*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/ma15217593>
- Lie, J. 2021. Masker Bekas Pakai Ternyata Bisa untuk Bahan Konstruksi Jalan Raya - MajalahCSR.id. <https://majalahcsr.id/masker-bekas-pakai-ternyata-bisa-untuk-bahan-konstruksi-jalan-raya/>
- Mohammadhosseini, H. Alyousef, R., & Md. Tahir, M. 2021. Towards Sustainable Concrete Composites through Waste Valorisation of Plastic Food Trays as Low-Cost Fibrous Materials. *Sustainability*, 13.
- Putri, E. E., & Andilla, M. A. T. 2017. Pemanfaatan Material Reclaimend Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Campuran Untuk Lapisan Asphalt Pavement Concrete Wearing Course (Ac-Wc). 483–492.
- Saberian, M., Li, J., Kilmartin-Lynch, S., & Boroujeni, M. 2021. Repurposing of COVID-19 Single-Use Face Masks for Pavements Base/Subbase. *Science of the Total Environment*, 769, 145527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145527>
- Saodang, H. 2005. Konstruksi Jalan Raya. Nova.
- Selvaranjan, K., Navaratnam, S., Rajeev, P., &

- Ravintherakumaran, N. 2021. Environmental Challenges Induced by Extensive Use of Face Masks During COVID-19: A review and potential solutions. *Environmental Challenges*, 3, 100039. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100039>
- Setyaningrum, S., Salsabila, Z. N., Rahmawati, A. A., Putri, A. I., Amalia, D. N., & Tsany, S. A. 2022. Coaxyl-mask: Masker Ramah Lingkungan dari Sabut Kelapa (Cocos nucifera) dan Acetobacter xylinum. *Fluida*, 15(1), 43–50. <https://doi.org/10.35313/FLUIDA.V15I1.3481>
- Sriyanto. 2016. Study Sifat Fisis Dan Mekanis Bahan Polipropilena Pada Produk Penutup Spion Sepeda Motor Merk A Dan Merk B. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sunda, U. 2020. Dijelaskan Kemenkes, Ini Beda Spesifikasi Masker Bedah dan N95. <https://rm.id/baca-berita/nasional/32932/dijelaskan-kemenkes-ini-beda-spesifikasi-masker-bedah-dan-n95>
- Taamneh, M. M., Al-Omari, A. A., & Al-Khreisat, B. I. 2021. Investigating the Potential of Using Dry Battery Waste Powders (DBWPs) as a Modifier for Asphalt Binders. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(2), 676–685. <https://doi.org/10.1007/S10163-020-01156-6>
- Tracy, S. J. 2010. Qualitative Research Methods: Collecting Evidence, Crafting Analysis. Communicating Impact. Wiley.
- Yalcin, E., Munir Ozdemir, A., Vural Kok, B., Yilmaz, M., & Yilmaz, B. 2022. Influence of Pandemic Waste Face Mask on Rheological, Physical and Chemical Properties of Bitumen. *Construction and Building Materials*, 337(April), 127576. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127576>