

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Analisis Modulus Kompleks Geser Aspal (G^*) dan *Phase Angle* (δ) Pada Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Penambahan Kadar Limbah Masker

Analysis Of Complex Shear Modulus Asphalt (G^*) And Phase Angle (δ) On 60/70 Penetration Asphalt With The Addition Of Mask Waste Content

I Gusti Agung Ananda Putra

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional

Email korespondensi: anandaputra@undiknas.ac.id**INFO ARTIKEL****Kata kunci :**Modulus kompleks geser aspal;
phase angle; *performance grade***ABSTRAK**

Adanya ancaman terhadap lingkungan yang ditimbulkan oleh masker yang dibuang sembarangan, menciptakan pendekatan baru untuk mengurangi limbah masker yang dihasilkan selama pandemi dengan mendaur ulang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui peningkatan sifat mekanistik aspal, sehingga limbah masker dapat digunakan sebagai bahan aditif untuk aspal, pada akhirnya dapat mengurangi limbah masker yang dihasilkan selama pandemi Covid-19. Uji sifat reologi mekanistik aspal dengan menggunakan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR). Hasil penelitian menunjukkan aspal penetrasi 60/70 yang ditambahkan limbah masker dengan kadar variasi 0% sampai 3% untuk nilai modulus kompleks geser aspal (G^*) akan semakin meningkat dengan penambahan kadar limbah masker. Untuk nilai *phase angle* menurun pada suhu yang sama dengan bertambahnya kadar limbah masker. Untuk nilai temperatur pada *performance grade* (PG) meningkat dengan menambahkan kadar limbah masker.

ARTICLE INFO**Keywords:***Complex shear modulus asphalt*;
phase angle; *performance grade***ABSTRACT**

The threat to the environment posed by carelessly discarded masks creates a new approach to reduce mask waste generated during the pandemic by recycling. The purpose of this study is to determine the increase in the mechanistic properties of asphalt, so that mask waste can be used as an additive for asphalt, ultimately reducing mask waste generated during the Covid-19 pandemic. Testing mechanistic rheological properties of asphalt using Dynamic Shear Rheometer (DSR) tool. The results showed that 60/70 penetration asphalt added with mask waste with a variation rate of 0% to 3% for the value of the complex shear modulus asphalt (G^) will increase along with the addition of mask waste levels. The phase angle value decreases at the same temperature as the mask waste increases. The temperature value at performance grade (PG) increases along with the increase in mask waste levels.*

1. Pendahuluan

Di seluruh dunia, terjadi masalah kesehatan, keuangan, dan lingkungan yang ditimbulkan oleh pandemi COVID-19 [1]. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) meningkat lebih banyak daripada sebelum pandemi [2]. Terutama karena peraturan wajib untuk memakai APD, terutama masker medis [3]. Untuk mencegah penyebaran virus, menggunakan masker medis adalah salah satu metode yang efektif untuk melawan virus Corona [4]. Suplai masker medis diperkirakan meningkat 20% setiap tahun [5]. Setidaknya 6,8 miliar masker sekali pakai digunakan setiap hari di seluruh dunia [6]. Meskipun penggunaan masker medis sangat penting, pembuangan masker tersebut merupakan ancaman bagi lingkungan [7].

Meskipun masker yang terbuat dari bahan ringan dibuang ke tempat pembuangan sampah atau ke tempat pembuangan akhir, angin dan hujan dengan mudah mengangkutnya. Karena itu, masker wajah bekas dapat ditemukan di taman, tempat parkir, kota, dan lingkungan lokal kita. Pada akhirnya, masker wajah bekas yang tidak lagi digunakan dapat dengan mudah masuk ke sungai dan lautan, yang dapat mengancam kehidupan laut [8]. Sekitar 0,15-0,39 juta ton limbah masker memasuki lautan setiap tahun, menimbulkan ancaman bagi kelangsungan kehidupan laut [9]. Metode pembakaran masker dengan suhu tinggi akan meningkatkan pemanasan global dan menghasilkan gas beracun, yang memperburuk pencemaran lingkungan [10]. Penggunaan TPA menimbulkan pencemaran tanah dan penguraian limbah masker seringkali membutuhkan waktu yang lama, bahkan ratusan tahun. [11]. Untuk mengatasi tantangan lingkungan yang ditimbulkan oleh masker yang dibuang sembarangan, peneliti ingin menciptakan pendekatan baru untuk mengurangi limbah masker yang dihasilkan selama pandemi dengan mendaur ulang. Ini membuka jalan baru untuk pengembangan perkerasan aspal yang berkelanjutan.

Jenis kain non-tenunan atau bukan tenunan biasanya digunakan untuk masker medis; Material ini mempunyai permukaan yang lembut dan tipis, titik leleh yang tinggi, ketahanan, daya serap, dan kekuatan yang tinggi. yaitu 165 derajat Celcius, dan dapat digunakan dalam waktu singkat pada 100 derajat Celcius [12]. Sebagian besar bahan kimia yang termasuk dalam masker adalah polipropilena [13]. Akibatnya, bahan polipropilena memiliki sifat yang mirip dengan aspal, yang merupakan bahan utama untuk perkerasan jalan, yang merupakan sumber daya tak terbarukan yang berasal dari alam dan telah dibentuk selama jutaan tahun. Sebagai bahan plastik, polipropilena banyak digunakan untuk meningkatkan sifat reologi aspal. Para peneliti sepakat bahwa penambahan bahan polipropilena ke aspal dapat menurunkan penetrasinya, meningkatkan titik lembeknya, dan meningkatkan ketahanannya terhadap deformasi (viskositas). Sifat reologi aspal modifikasi dengan polipropilena dapat diperiksa dengan uji *Dynamic Shear Rheometer* (DSR). Uji *Dynamic Shear Rheometer* (DSR) dilakukan pada aspal baru yang belum mengalami penuaan dan digunakan untuk mengukur sifat reologi aspal, termasuk modulus kompleks geser (G^*) dan sudut fasa (δ) pada temperatur menengah hingga tinggi. Ini juga digunakan untuk menentukan karakter viskos dan elastis aspal.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggabungan polipropilena dapat meningkatkan elastisitas dan kekakuan bahan pengikat aspal secara signifikan [14]. Oleh karena itu, pada penelitian ini terkait "Analisis Modulus Kompleks Geser Aspal (G^*) dan *Phase Angle* (δ) Pada Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Penambahan Serat Limbah Masker" menggunakan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR) perlu dilakukan, untuk mengetahui peningkatan sifat mekanistik aspal, sehingga limbah masker dapat digunakan sebagai bahan aditif untuk aspal, pada akhirnya dapat mengurangi limbah masker yang dihasilkan selama pandemi Covid-19.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sifat Reologi Aspal

Dua karakteristik reologi utama aspal adalah *visco-elastic* dan *thermoplastic*. Sifat termoplastik aspal adalah bahwa kekerasan aspal menurun seiring dengan peningkatan suhu dan mengalami peningkatan seiring dengan penurunan suhu. "*Visco-elastic*" berarti bahwa ketika gaya digunakan atau diterapkan, struktur aspal mengalami distorsi seperti aliran [15].

2.2 Modulus Kompleks Geser (G^*) Aspal dan *Phase Angle* (δ)

Menurut Alkam [15], Perilaku aspal harus dikarakterisasi dengan minimal dua sifat untuk setiap kombinasi waktu dan suhu: modulus geser kompleks (G^*) atau total ketahanan terhadap deformasi (*Phase Angle* δ) dan distribusi yang sebanding dengan respons antara komponen elastis dan viscous. Modulus geser kompleks (G^*) merupakan parameter mekanis aspal yang dianggap lebih menggambarkan sifat aspal sebagai material yang viskoelastik. Sudut fase adalah sudut yang diukur antara respons material dan aplikasi strain yang berbeda 0° hingga 90° (respons penuh elastis hingga respons penuh viscous). Dynamic Shear Rheometer (DSR) adalah alat uji yang digunakan untuk mengukur parameter ini.

Keterkaitan antara modulus kekakuan aspal (E^*) dan modulus geser kompleks (G^*), menurut Read dan Whiteoak [16] dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$E^* = 2(1 + \mu) G^*$$

dimana:

E^* = Modulus Kekakuan Aspal (Pa)

G^* = Modulus Kompleks Geser (Pa)

μ = Poisson's Rasio

Alat DSR ini digunakan untuk menguji sifat viscous dan elastis aspal. Modulus kompleks geser (G^*) dan sudut fase (δ) diukur untuk mengetahui tahanan total bahan terhadap deformasi yang disebabkan oleh tegangan geser, sedangkan δ menunjukkan besaran relatif antara aspal elastis dan tidak elastis [17].

3. Metode Penelitian

Langkah awal yang dilakukan adalah mengumpulkan limbah masker bekas dari rumah tangga yang kemudian disterilisasi terlebih dahulu menggunakan oven pada temperatur 70°C selama 1 jam, kemudian strip logam hidung dan pengait telinga dilepaskan dari masker sebelum digunakan. Kemudian, masker medis dipotong sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan, setelah itu dilakukan tahap penghancuran menggunakan mesin shredder/diparut dan hasilnya berupa serat masker yang menjadi serpihan-serpihan kecil. Serpihan-serpihan pada masker akan digabungkan dengan material lain berupa aspal penetrasi 60/70. Dalam hal ini peneliti memakai kadar serat limbah masker medis yaitu 0%, 1%, 2%, dan 3% terhadap berat aspal. Adapun langkah-langkah pencampuran aspal dan serat masker sebagai berikut:

1. Aspal dipanaskan sampai mencair dengan suhu 150°C selama 30 menit.
2. Tuangkan serpihan serat masker kedalam aspal yang sudah mencair sedikit demi sedikit.
3. Aduk menggunakan mixer selama 40 menit pada suhu 170°C agar serpihan serat masker dan aspal tercampur merata.
4. Diamkan aspal pada suhu ruang.

Karakteristik reologi mekanistik aspal diuji dengan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR) di Laboratorium Puslitbang Jalan dan Laboratorium Balai Besar Peralatan Jalan Nasional (BBPJN) IV Cikampek. Standar pemeriksaan DSR adalah ASHTO T 315 [18]. Sampel aspal tipis yang diselipkan di antara dua piringan bundar digunakan untuk menguji DSR. Gaya geser dihasilkan oleh piringan atas yang berputar melalui benda uji yang bergerak dengan kecepatan 10 rad/sec (1.59 Hz). Piringan bawah tetap ini dirancang untuk mensimulasikan gerakan geser sesuai dengan kecepatan lalu lintas sekitar 55 mph (90 km/jam), dan perangkat lunak sebagian besar mengelola proses pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Modulus Kompleks Geser Aspal (G^*)

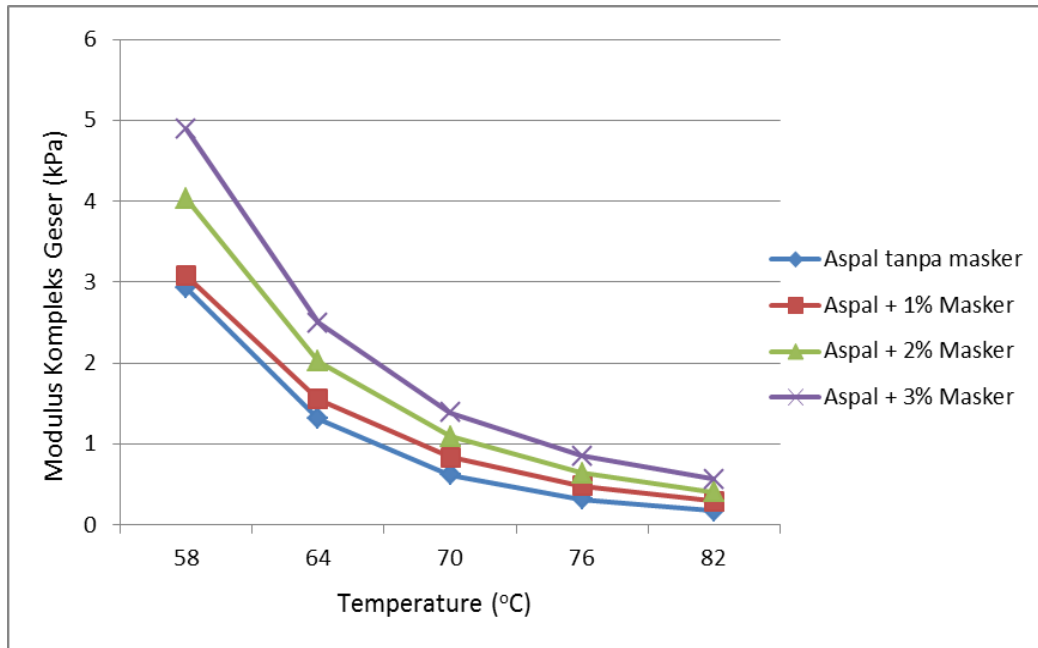
Pengujian laboratorium dengan alat DSR yang dilakukan menghasilkan nilai Modulus Kompleks Geser (G^*) dari berbagai variasi limbah masker yang dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Modulus Kompleks Geser (G^*)

Temp. (°C)	Modulus Kompleks Geser Aspal G^* (kPa)			
	Aspal pen. 60/70	Aspal +1% masker	Aspal +2% masker	Aspal +3% masker
58	2,93	3,08	4,03	4,89
64	1,31	1,55	2,02	2,50
70	0,615	0,833	1,09	1,39
76	0,313	0,483	0,639	0,855
82	0,169	0,294	0,404	0,564

Sumber: Hasil Penelitian (2023)

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada suhu yang sama nilai Modulus Kompleks Geser (G^*) akan semakin meningkat seiring dengan penambahan limbah masker. Semakin besar nilai G^* , maka semakin besar pula kekakuan material aspal tersebut yang mencerminkan rasio elastisitas dan viskositas aspal. Yang artinya dengan penambahan limbah masker akan meningkatkan ketahanan deformasi aspal tersebut.



Gambar 1. Hubungan Modulus Kompleks Geser (G^*) dan kadar limbah masker
Sumber: Hasil Penelitian (2023)

4.2 Phase Angle (δ)

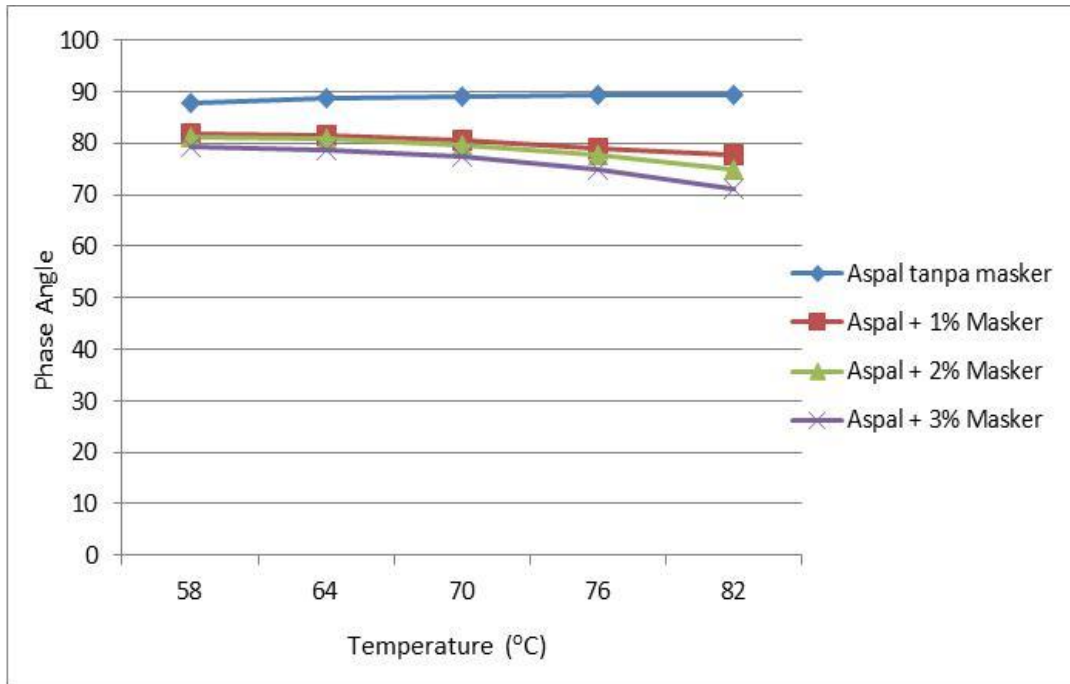
Pengujian laboratorium dengan alat DSR yang dilakukan menghasilkan nilai *Phase Angle* (δ) dari berbagai variasi limbah masker yang dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. *Phase Angle* (δ)

Temp. (°C)	Phase Angle			
	Aspal pen. 60/70	Aspal +1% masker	Aspal +2% masker	Aspal +3% masker
58	87,8	81,9	81,2	79,2
64	88,6	81,5	80,9	78,8
70	89,1	80,6	79,70	77,3
76	89,3	78,9	77,6	74,8
82	89,3	77,6	74,8	71,2

Sumber: Hasil Penelitian (2023)

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada kadar 0% (aspal tanpa masker) nilai *phase angle* meningkat dengan bertambahnya suhu. Pada penambahan kadar limbah masker sebesar 1%-3% nilai *phase angle* menurun dengan bertambahnya suhu. Pada suhu yang sama kadar 0%-3% nilai *phase angle* menurun. Yang artinya nilai *phase angle* yang lebih besar menunjukkan komponen yang lebih kental, sedangkan penurunan nilai *phase angle* meningkatkan perilaku elastisitas. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar limbah masker meningkatkan perilaku viskoelastisitas aspal tersebut.



Gambar 2. Hubungan *phase angle* dan kadar limbah masker
Sumber: Hasil Penelitian (2023)

4.3 Performance Grade (PG)

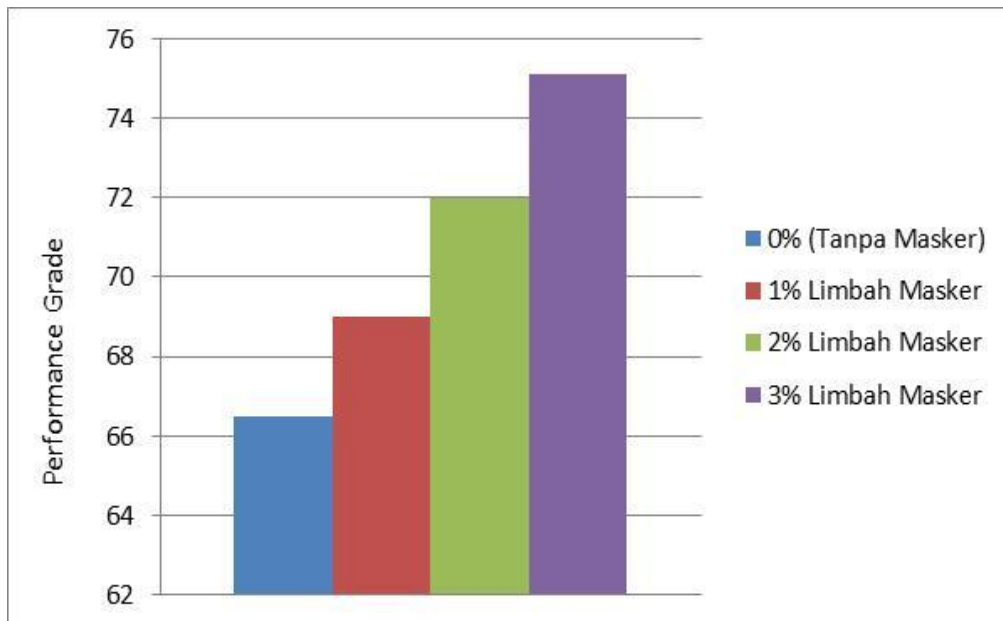
Pengujian laboratorium dengan alat DSR yang dilakukan menghasilkan nilai *Performance Grade* dari berbagai variasi limbah masker yang dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. *Performance Grade*

No.	% Variasi limbah masker	PG
1	0%	66,5
2	1%	69,0
3	2%	72,0
4	3%	75,1

Sumber: Hasil Penelitian (2023)

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai temperatur pada *performance grade* (PG) meningkat seiring dengan bertambahnya kadar limbah masker. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketahanan aspal terhadap temperatur tinggi memiliki kecenderungan meningkat.



Gambar 3. Hubungan *performance grade* dan kadar limbah masker

Sumber: Hasil Penelitian (2023)

5. Kesimpulan dan Saran

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

1. Nilai Modulus Kompleks Geser aspal (G^*) akan semakin meningkat dengan penambahan kadar limbah masker, yang artinya dengan penambahan limbah masker akan meningkatkan ketahanan deformasi aspal tersebut.
2. Nilai *phase angle* menurun pada suhu yang sama dengan bertambahnya kadar limbah masker. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar limbah masker meningkatkan perilaku visko- elastisitas aspal tersebut.
3. Nilai temperatur pada *performance grade* (PG) meningkat dengan bertambahnya kadar limbah masker. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketahanan aspal terhadap temperatur tinggi memiliki kecenderungan meningkat.

Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait campuran aspal ditambahkan dengan limbah masker untuk mengetahui karakteristik dari campuran tersebut.

Daftar Rujukan

- [1] A. Garel dan A. Petit-Romec, "Investor rewards to environmental responsibility: Evidence from the COVID-19 crisis," *J. Corp. Financ.*, vol. 68, hal. 101948, Jun 2021, doi: 10.1016/J.JCORPFIN.2021.101948.
- [2] R. Maderuelo-Sanz, P. Acedo-Fuentes, F. J. García-Cobos, F. J. Sánchez-Delgado, M. I. Mota-López, dan J. M. Meneses-Rodríguez, "The recycling of surgical face masks as sound porous absorbers: Preliminary evaluation," *Sci. Total Environ.*, vol. 786, hal. 147461–147461, Apr 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.147461.
- [3] N. J. Rowan dan J. G. Laffey, "Unlocking the surge in demand for personal and protective equipment (PPE) and improvised face coverings arising from coronavirus disease (COVID-19) pandemic – Implications for efficacy, re-use and sustainable waste management," *Sci. Total*

- Environ.*, vol. 752, Jan 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.142259.
- [4] M. A. Royo-Bordonada, F. J. García-López, F. Cortés, dan G. A. Zaragoza, "Face masks in the general healthy population. Scientific and ethical issues," *Gac. Sanit.*, vol. 35, no. 6, hal. 580, Nov 2021, doi: 10.1016/J.GACETA.2020.08.003.
- [5] S. Ilyas, R. Srivastava, dan H. Kim, "Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management," *Sci. Total Environ.*, vol. 749, hal. 141652, Des 2020, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.141652.
- [6] M. Novena, "Jadi Limbah Selama Pandemi, Ahli Bakal Bikin Jalan Pakai Masker Halaman all - Kompas.com," 2021. <https://www.kompas.com/sains/read/2021/02/09/080500023/jadi-limbah-selama-pandemi-ahli-bakal-bikin-jalan-pakai-masker?page=all> (diakses 20 Oktober 2022).
- [7] M. Boroujeni, M. Saberian, dan J. Li, "Environmental impacts of COVID-19 on Victoria, Australia, witnessed two waves of Coronavirus," *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, vol. 28, no. 11, hal. 14182, Mar 2021, doi: 10.1007/S11356-021-12556-Y.
- [8] S. Kilmartin-Lynch, R. Roychand, M. Saberian, J. Li, dan G. Zhang, "Application of COVID-19 single-use shredded nitrile gloves in structural concrete: Case study from Australia," *Sci. Total Environ.*, vol. 812, hal. 151423, Mar 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.151423.
- [9] H. Chowdhury, T. Chowdhury, dan S. Sait, "Estimating marine plastic pollution from COVID-19 face masks in coastal regions," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 168, Jul 2021, doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112419.
- [10] G. Xu *et al.*, "Self-Perpetuating Carbon Foam Microwave Plasma Conversion of Hydrocarbon Wastes into Useful Fuels and Chemicals," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 55, no. 9, hal. 6239–6247, Mei 2021, doi: 10.1021/ACS.EST.0C06977/SUPPL_FILE/ES0C06977_SI_009.PDF.
- [11] A. L. P. Silva *et al.*, "Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations," *Chem. Eng. J.*, vol. 405, Feb 2021, doi: 10.1016/J.CEJ.2020.126683.
- [12] Ririn, L. Sulaiman, dan M. R. Ardiansyah, "Studi Penambahan Serat Polipropilen Yang Terkandung Pada Masker Medis Terhadap Kuat Tekan Mortar," *jurnal, Tek. Sipil Univ. Andi Djemma*, no. 2006, hal. 137–142, 2021.
- [13] B. Chalermssinsuwan, Y. H. Li, dan K. Manatura, "Optimization of gasification process parameters for COVID-19 medical masks using response surface methodology," *Alexandria Eng. J.*, vol. 62, hal. 335–347, Jan 2022, doi: 10.1016/J.AEJ.2022.07.037.
- [14] Chang dan Zhang, "Recycling waste disposable medical masks in improving the performance of asphalt and asphalt mixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 337, no. May, hal. 127621, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127621.
- [15] R. B. Alkam, "PENGARUH VARIASI WAKTU PEMBEBANAN TERHADAP SIFAT REOLOGI VISCO-ELASTIC ASPAL PEN 80/100 DENGAN PENAMBAHAN ASBUTON MURNI," *J. Tek. Sipil*, vol. 14, no. 4, hal. 208–218, 2018.
- [16] J. Read dan D. Whiteoak, *The Shell Bitumen Handbook*, Fifth Edit. 1 Heron Quay, London E14 4 JD: Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd, 2003.
- [17] F. Affandi, "Sifat Campuran Aspal Keras Yang Mengandung Bitumen Asbuton Untuk Konstruksi Campuran Beraspal," *J. Jalan dan Jemb.*, 2018.
- [18] AASHTO T 315, "Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)." Washington, D.C, 2012.