

**UNSUR SENYAWA KIMIA DARI LIMBAH MASKER MEDIS UNTUK
MENINGKATKAN KINERJA CAMPURAN ASPAL**

**ELEMENTS OF CHEMICAL COMPOUNDS FROM MEDICAL MASK WASTE TO
IMPROVE THE PERFORMANCE OF ASPHALT MIXTURES**

I Gusti Agung Ananda Putra¹, I Nyoman Arya Thanaya², I Made Agus Ariawan³, Yenni Ciawi⁴

¹ Universitas Pendidikan Nasional, Jalan Bedugul No. 39, 80225, Indonesia

^{2,3,4} Universitas Udayana, Jalan P.B. Sudirman, 80234, Indonesia

Email: anandaputra@undiknas.ac.id

ABSTRAK

Masker adalah perlindungan pernafasan yang digunakan sebagai metode untuk melindungi individu dari menghirup zat-zat bahaya atau kontaminan yang berada di udara. Meskipun masker sangat diperlukan untuk menghindari penyebaran virus Corona, namun pembuangan masker mengancam lingkungan. Masker medis terdiri dari tiga lapisan, lapisan luar dan lapisan dalam adalah kain non-woven yang tahan air dan lapisan tengah adalah bahan yang meleleh. Sebagian besar, komposisi kimia dari masker medis adalah polipropilena. Pada review ini akan dibahas penggunaan limbah masker yang mengandung polipropilena sebagai bahan aditif dalam pembuatan campuran aspal. Metode yang digunakan adalah studi literatur dari peneliti terdahulu dan analisis penambahan limbah masker yang mengandung polipropilena yang berpengaruh terhadap campuran aspal. Sumber utama referensi artikel ini berasal dari Research Gate, Science Direct, dan Google Scholar. Ditemukan bahwa unsur senyawa yang paling dominan pada masker medis adalah Si (Silika). Penambahan silika pada campuran aspal dapat meningkatkan ketahanan terhadap rutting, peningkatan nilai modulus, dan umur fatigue.

Kata kunci: Campuran Aspal, Limbah, Masker, Polipropilena, Silika

ABSTRACT

Masks play a critical role in protecting individuals from inhaling harmful substances and airborne contaminants. However, the improper disposal of masks poses a significant environmental challenge. Medical masks, primarily composed of polypropylene, consist of three layers: outer and inner waterproof non-woven fabric layers and a middle layer of melt-blown material. This review explores the potential of repurposing discarded polypropylene-based medical masks as an innovative additive in the formulation of asphalt mixtures. Through an extensive analysis of existing literature and the examination of the effects of mask waste on asphalt mixtures, this study sheds light on its potential applications. Notably, Research Gate, Science Direct, and Google Scholar serve as the primary sources of reference for this review. It was found that the most dominant compound element in medical masks is Si (Silica). The addition of silica to asphalt mixtures can increase resistance to rutting, increase modulus values, and fatigue life.

Keywords: Asphalt Mixture, Mask, Polypropylene, Silica, Waste

PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 telah menciptakan masalah kesehatan, keuangan, dan lingkungan yang serius di seluruh dunia dan di masa pandemi saat ini (Garel dan Petit-Romec, 2021). Di masa pandemi saat ini penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) meningkat tajam dibandingkan dengan waktu sebelum pandemi (Maderuelo-Sanz dkk, 2021). Ini terutama karena persyaratan wajib yang diterapkan untuk memakai APD, terutama masker medis (Rowan dan Laffey, 2021). Salah satu cara efektif untuk melawan virus Corona adalah dengan menggunakan masker medis, untuk menghindari penyebaran virus (Royo-Bordonada dkk, 2021). Pertumbuhan tahunan sebesar 20% dalam menyuplai masker medis yang diperkirakan dari tahun 2020 hingga 2025 (Ilyas dkk, 2020). Setidaknya sekitar 6,8 miliar masker sekali pakai digunakan di seluruh dunia setiap hari (Novena, 2021). Masker dilaporkan dapat melindungi manusia dari virus hingga 90% dengan menggunakan proteksi penggunaan masker (Atmojo dkk, 2020). Oleh karena itu, penggunaan masker medis sangat diperlukan, namun pembuangan masker medis mengancam lingkungan (Boroujeni dkk, 2021).

Masker adalah alat pelindung diri sekali pakai, jika tidak didaur ulang atau digunakan kembali dengan cara yang berkelanjutan, masker yang dibuang akan sangat mencemari lingkungan (Yang dkk, 2022). Hal ini karena masker yang terbuat dari bahan ringan dapat dengan mudah dipindahkan oleh angin dan hujan, meskipun dibuang ke tempat sampah atau dibuang ke tempat pembuangan akhir. Inilah sebabnya mengapa masker wajah bekas ada dimana-mana di kota, taman, tempat parkir, dan area lokal kita. Pada akhirnya, masker wajah bekas dapat dengan mudah menemukan jalan ke sungai dan lautan, mengancam kehidupan laut (Kilmartin-Lynch dkk, 2022). Menurut perkiraan, setiap tahun, hampir 0,15-0,39

juta ton masker limbah masuk ke lautan, menimbulkan potensi ancaman bagi kelangsungan hidup kehidupan laut (Chowdhury dkk, 2021). Menurut Fauzi (2022), di Indonesia data dari bulan Maret 2020 hingga Juli 2021 telah terdapat 18.460 ton timbulan limbah Covid-19, jumlah ini sangat besar dan mengkhawatirkan. Oleh karena itu, dengan meningkatnya konsumsi bahan-bahan yang tidak dapat terurai, diperkirakan pada tahun 2050 lautan akan mengandung lebih banyak plastik daripada ikan (Morganti dan Morganti, 2020). Metode pembuangan masker dengan cara pembakaran dengan suhu tinggi akan memperburuk, tidak hanya pemanasan global tetapi juga menghasilkan gas beracun untuk memperparah pencemaran lingkungan (Xu dkk, 2021). Penggunaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) akan menimbulkan pencemaran terhadap tanah dan penguraian limbah masker seringkali membutuhkan waktu yang sangat lama, bahkan hingga ratusan tahun (Silva dkk, 2021).

Masker memiliki beberapa jenis dan klasifikasi yang perlu diketahui oleh masyarakat umum seperti; masker medis, masker kain, masker N95. Masker medis terdiri dari tiga lapisan yang mencegah tingkat penularan, yaitu spunbond, filter meltblown dan spunbond lagi. Masker kain yang dibuat perlu memiliki 3 (tiga) lapisan yaitu lapisan paling dalam yang terbuat dari bahan hidrofilik (seperti katun), lapisan tengah dari bahan hidrofobik (seperti polipropilena), dan lapisan terluar dari bahan hidrofobik (seperti polipropilena). Masker N95 menggunakan material terdiri dari 4-5 lapisan (lapisan luar berupa polipropilena, lapisan tengah berupa electrete polipropilena, dan lapisan dalam berupa kapas). Pada setiap penelitian dalam pembuatan aspal menggunakan jenis masker medis, itu dikarenakan seluruh lapisan penyusun dari masker medis terbuat dari polipropilena. Adapun karakteristik material ini adalah permukaan yang lembut

dan tipis, ketahanan, daya serap dan kekuatan yang baik serta memiliki titik leleh yang tinggi yaitu 165°C dan mampu digunakan pada temperatur 100°C dalam waktu yang singkat (Ririn dkk, 2021). Umumnya, masker bersifat sebagai semi-cair antara 115,5 dan 160°C, yang berada dalam campuran aspal panas dan rentang suhu pengerasan jalan, dan dapat bertindak sebagai agen pengikat untuk merekatkan agregat (Wang dkk, 2022). Masker medis terbuat dari material plastik polipropilena yang sulit terurai, akan tetapi bahan tersebut dapat menjadi alternatif material campuran pada aspal dengan memanfaatkan sifat elastisnya yang baik digunakan sebagai perekat (Setyaningrum dkk, 2022). Menurut Budiman dkk, (2022) masker medis terbuat dari material yang sebagian besarnya terbuat dari bahan polipropilena dengan sifat termoplastik. Hal tersebut menjadikan bahan polipropilena serupa dengan sifat dari material utama pada perkerasan jalan yaitu aspal. Material aspal merupakan sumber daya tak terbarukan karena berasal dari alam yang pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun lamanya (Putri dan Andilla, 2017). Oleh karena itu, solusi yang mungkin untuk masalah ini adalah mendaur ulang limbah masker medis bekas dan menggunakannya kembali sebagai penguat bahan konstruksi (Selvaranjan dkk, 2021).

Pengumpulan serat masker dari kegiatan domestik menjadi pilihan mengingat limbah masker dari kegiatan dinas kesehatan tidak diperbolehkan karena memiliki prosedur khusus untuk penanganannya (Wiryadi dkk, 2021). Karena fakta bahwa virus Corona tidak bertahan lebih dari 5 menit pada 70°C (Eslami dan Jalili, 2020), pencampuran aspal biasanya berlangsung pada suhu 150–180°C, waktu yang diperlukan untuk produksi, pengangkutan dan pelaksanaan aspal berlangsung setidaknya 30 menit dan suhu aspal tetap dalam kisaran 120–150 °C selama waktu ini, virus corona diprediksi

akan musnah total dalam proses produksi dan implementasi aspal.

Para peneliti juga telah mengeksplorasi pemanfaatan limbah masker medis di perkerasan jalan (Saberian dkk, 2021). Artikel ini membahas unsur senyawa dari limbah masker medis dari peneliti sebelumnya.

METODE

Artikel ini menggunakan metode studi literatur. Topik yang dipilih berdasarkan fakta bahwa penumpukan limbah masker mengalami peningkatan akibat virus corona yang terjadi di seluruh dunia. Akibat yang ditimbulkan oleh meningkatnya jumlah penumpukan limbah masker yaitu dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, solusi inovatif dan efektif untuk mengurangi jumlah penumpukan limbah masker adalah dengan cara mendaur ulang limbah masker tersebut, yang dapat dimanfaatkan sebagai material tambahan pada campuran aspal, untuk itu perlu dianalisa unsur senyawa yang ada pada limbah masker medis untuk meningkatkan kinerja campuran aspal. Sumber utama refrensi artikel ini berasal dari Research Gate, Science Direct, dan Google Scholar. Jumlah refrensi yang ditemukan dalam penelitian ini sebanyak 48 artikel, bisa dilihat beberapa artikel pada Tabel 1.

Tabel 1. Sumber Utama Refrensi

No.	Sumber	Judul Artikel dan Penulis
1	Research Gate	<i>An Environmentally Friendly Solution for Waste Facial Masks Recycled in Construction Materials</i> (Ali dkk, 2022).
2	Science Direct	<i>Repurposing of COVID-19 single-use face masks for pavements base/subbase</i> (Boroujeni dkk, 2021).

No.	Sumber	Judul Artikel dan Penulis
3	Google Scholar	Studi Penambahan Serat Polipropilen yang Terkandung pada Masker Medis Terhadap Kuat Tekan Mortar (Ririn dkk, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Agregat

Agregat atau batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% - 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% - 85% agregat berdasarkan persentase volume (Saodang, 2005). Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Oleh sebab itu, kualitas dari agregat harus benar-benar diperhatikan baik pada saat pembuatan rencana campuran maupun saat pelaksanaan nantinya, seperti: gradasi agregat, bentuk agregat, kadar lumpur, kekekalan agregat, kekerasan agregat dan kelekatan agregat terhadap aspal (Sumiati dan Sukarman, 2014).

3.2 Aspal

Aspal adalah bahan alam dengan komponen kimia hidrokarbon, hasil eksplorasi dengan warna hitam bersifat plastis hingga cair, tidak larut dalam larutan asam encer dan alkali atau air, tapi larut sebagian besar dalam aether, CS₂ bensol dan chloroform (Saodang, 2005). Fungsi aspal dalam perkerasan beraspal adalah sebagai bahan pengikat agar agregat tidak mudah lepas akibat lalu lintas dan lingkungan. Selain itu aspal juga berfungsi sebagai lapis kedap yang melindungi

Unsur Senyawa Kimia... (Putra/ hal. 49-59)

agregat dan material lain di bawahnya dari pengaruh air (Al-Amri, 2013).

3.3 Campuran Perkerasan Beraspal

Campuran perkerasan beraspal adalah kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Aspal berperan sebagai pengikat atau lem antar partikel agregat, dan agregat sendiri berperan sebagai tulangan. Sifat mekanis aspal dalam campuran diperoleh dari friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya. Friksi agregat diperoleh dari ikatan antar butir agregat (*interlocking*), kekuatan agregat tergantung pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan. Sedangkan sifat kohesinya diperoleh dari sifat-sifat aspal yang digunakan. Oleh sebab itu kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat dan aspal, serta sifat-sifat campuran padat yang sudah terbentuk dari kedua bahan tersebut (Departemen Kimpraswil, 2002).

3.4 Masker

Masker adalah perlindungan pernafasan yang digunakan sebagai metode untuk melindungi individu dari menghirup zat-zat bahaya atau kontaminan yang berada di udara, perlindungan pernafasan atau masker tidak dimaksudkan untuk menggantikan metode pilihan yang dapat menghilangkan penyakit, tetapi digunakan untuk melindungi secara memadai pemakainya (Cohen dan Birdner, 2012). Jenis masker yang digunakan dalam artikel ini adalah masker medis, yang umumnya terbuat dari jenis kain *non-woven* atau bukan tenunan, adapun karakteristik material ini adalah permukaan yang lembut dan tipis, ketahanan, daya serap dan kekuatan yang baik serta memiliki titik leleh yang tinggi yaitu 165°C dan mampu digunakan pada temperatur 100°C dalam waktu yang singkat (Ririn dkk, 2021).



Sumber: Goli dan Sadeghi (2022)

Gambar 1. Masker Medis Tiga Lapis

Masker terdiri dari tiga lapisan, lapisan luar dan lapisan dalam adalah kain *non-woven* tahan air dan lapisan tengah adalah bahan yang meleleh (Fadare dan Okoffo, 2020). Tiga fungsi lapisan utama masker medis (Gambar 1) adalah lapisan luar bersifat anti air, lapisan tengah berfungsi sebagai filter, lapisan dalam berguna untuk menyerap cairan yang keluar dari mulut (Sunda, 2020).

Dalam masker N95 dan masker medis, terdapat sekitar 11 dan 4,5 g polipropilena dan/atau turunan plastik lainnya (misalnya polietilen, poliuretan, polistirena, polikarbonat, poliakrilonitril) (Abbasi dkk, 2020). Sebagian besar, komposisi kimia dari masker adalah polipropilena (Chalermssinsuwan dkk, 2022). Polipropilena merupakan produk petrokimia hilir yang berasal dari olefin monomer propilena melalui polimerisasi adisi untuk membentuk polimer dengan molekul atau rantai polimer yang panjang (Maddah, 2016). Polipropilena merupakan salah satu polimer dari jenis termoplastik yang dapat di daur ulang, paling ringan diantara bahan polimer lainnya dan memiliki titik leleh yang tinggi, tahan korosi, mudah diproses, biaya prosesnya murah, mudah diperoleh di pasaran, serta dapat didaur ulang, sehingga banyak diaplikasikan untuk perabotan rumah

tangga (Amalia dkk, 2014). Polipropilena mempunyai kekuatan yang masih dianggap normal pada proses daur ulang yang ke enam kali meskipun kekuatan tariknya akan berkurang karena tekanan dan panas selama ekstrusi (Vidakis dkk, 2021). Serat yang digunakan dalam masker yang dikenal sebagai *meltblown* dan *spunbond* adalah serat non-anyaman. Karena struktur fisiknya, serat ini diproduksi tanpa menggunakan operasi tenun. Serat ini memiliki pori-pori yang sangat kecil untuk melakukan operasi filtrasi dengan baik Jenis serat ini paling banyak digunakan dalam industri medis karena sifat filtrasinya (Goli dan Sadeghi, 2022). Perbedaan utama antara *meltblown* dan *spunbond* terletak pada proses pembuatannya dan struktur serat yang dihasilkan (Affifah dan Zulfa, 2021), bukan pada komposisi unsur senyawa kimia yang ada pada bahan tersebut. Selain limbah masker, karet ban dalam dapat digunakan sebagai bahan aditif pada campuran lapisan beton aspal (Akhbar dan, 2019).

Umumnya, masker bersifat sebagai semi-cair pada suhu antara 115,5-160°C, yang berada dalam campuran aspal panas dan rentang suhu pengerasan jalan, dan dapat bertindak sebagai agen pengikat untuk merekatkan agregat (Wang dan, 2022). Masker mulai meleleh pada suhu 115°C setelah 10 menit di dalam oven yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Wang et al. (2022)

Gambar 2. Masker Meleleh Dipanaskan

3.5 Jenis-Jenis Masker

Berikut merupakan jenis dan klasifikasi masker yang perlu diketahui oleh masyarakat umum sebagai berikut:

1. Masker Kain

Menurut Hapsari dan Munawi (2021), masker kain dapat digunakan untuk mencegah penularan sekaligus mengantisipasi kelangkaan masker yang terjadi. Efektivitas penyaringan pada masker kain meningkat seiring dengan jumlah lapisan dan kerapatan kain tenun yang dipakai. Masker kain yang dibuat perlu memiliki 3 (tiga) lapisan yaitu lapisan paling dalam yang terbuat dari bahan hidrofilik (seperti katun), lapisan tengah dari bahan hidrofobik (seperti polipropilena), dan lapisan terluar dari bahan hidrofobik (seperti polipropilena). Masker kain perlu dicuci dan dapat dipakai berkali-kali. Bahan yang digunakan untuk masker kain berupa bahan kain katun, scarf, dan sebagainya.

2. Masker Medis atau Masker Bedah

Masker medis terdiri dari tiga lapisan yang mencegah tingkat penularan, yaitu *spunbond*, filter *meltblown* dan *spunbond* lagi. Lapisan luar kain tanpa anyaman kedap air, lapisan dalam yang merupakan lapisan filter densitas tinggi dan lapisan dalam yang menempel langsung dengan kulit yang berfungsi sebagai penyerap cairan berukuran besar yang keluar dari pemakai ketika batuk maupun bersin. Karena memiliki lapisan filter ini, masker bedah efektif untuk menyaring droplet yang keluar dari pemakai ketika batuk atau bersin (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2023).

3. Masker N95

Masker N95 menggunakan material terdiri dari 4-5 lapisan (lapisan luar berupa polipropilena, lapisan tengah berupa electrete polipropilena, dan lapisan dalam berupa kapas) dan memiliki kemampuan filtrasi yang lebih baik

dibandingkan dengan masker medis. Kelompok jenis masker ini memiliki kelebihan tidak hanya melindungi pemakai dari paparan cairan dengan ukuran droplet, tapi juga cairan hingga berukuran aerosol. Kelompok masker ini direkomendasikan terutama untuk tenaga kesehatan yang harus kontak erat secara langsung menangani kasus dengan tingkat infeksius yang tinggi seperti pasien positif terinfeksi virus Covid-19 (Farmalkes, 2021).

3.6 Produk Yang Dihasilkan Polipropilena

Menurut Winata (2007) produk yang dihasilkan polipropilena dapat digunakan pada berbagai aplikasi. Aplikasi dari berbagai spesifikasi produk tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain:

a. *Bioaxially Oriented Polipropylene (BOPP) Film*

Jenis ini merupakan resin dengan berat molekul tertinggi yang diproduksi. Penggunaannya antara lain untuk bahan kemasan makanan, rokok, plastik laminating, plastik dekorasi.

b. *Yarn*

Banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan karung bahan kimia, juga untuk bagian bawah karpet, dan tali rafia. Sifatnya kuat, licin dan tidak menyerap air.

c. *Inflation Polipropilena (IPP) Film*

Resin ini paling banyak diproduksi dan digunakan untuk kemasan makanan, kantong plastik bagian dalam dan pembungkus tekstil.

d. *Injection Molding*

Resin ini banyak digunakan untuk keperluan peralatan rumah tangga seperti botol, kursi, peralatan dapur dan juga untuk keperluan otomotif.

e. *Fiber*

Jenis ini digunakan untuk karpet, benang dan karpet pelapis.

f. *Thermoforming*

Resin ini banyak digunakan untuk gelas dan wadah plastik. Sifatnya bening, kuat dan tidak menimbulkan bau dan rasa.

g. *Cast Film*

Digunakan untuk bahan pelapis pada metal atau logam. Berupa lembaran yang dalam pembuatannya hanya ditarik dengan satu arah tetapi lebih lembut karena bersifat fleksibel.

3.7 Pengelolaan Limbah Masker

Berdasarkan pedoman dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2020), langkah – langkah pengelolaan masker bekas dari masyarakat adalah:

1. Mengumpulkan masker bekas sekali pakai
2. Melakukan desinfeksi terhadap masker bekas tersebut. Desinfeksi masker bisa dilakukan dengan merendam masker dalam larutan desinfektan, klorin atau pemutih.
3. Merubah bentuk masker. Setelah dilakukan desinfeksi, masker harus digunting atau dirusak agar tidak dimanfaatkan kembali.
4. Buang ke tempat sampah domestik setelah dibungkus plastik yang rapat. Sesuai dengan edaran Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, apabila Pemerintah telah menyediakan tempat sampah/*drop box* khusus masker di ruang publik, masyarakat bisa membuang masker sekali pakai tersebut di tempat sampah khusus masker yang telah disediakan.
5. Mencuci tangan dengan sabun dan air mengalir setelah melakukan pengelolaan masker.

3.8 Hasil Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil analisis komposisi unsur senyawa kimia yang dilakukan oleh Ali dkk (2022) bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis

Elemen	Berat (%)
Mg	2.94
Al	9.99
Ca	25.85
Si	59.11
K	2.11

Sumber: Ali dkk (2022)

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh elemen yang paling dominan adalah Si (Silika) sebesar 59,11%. Silika yang ada pada masker digunakan untuk mengurangi penyebaran Virus Covid-19 (Balagna dkk, 2020). Silika juga meningkatkan masa pakai masker dan meningkatkan penyaringan udara. Selain itu, silika dapat diubah menjadi permukaan super hidrofobik yang menolak droplet yang terkontaminasi (Meguid dan Elzaabalawy, 2020). Penelitian yang dilakukan (Adam dkk, 2006) menyatakan bahwa silika memiliki tingkat kekerasan, sifat tahan terhadap air, ketahanan termal, dan kekakuan yang tinggi. Penambahan silika pada campuran aspal dapat meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan alur pada campuran beraspal (Crucho dkk, 2018). Menurut (Taherkhani dan Tajdini, 2019), terjadi peningkatan nilai modulus yang dihasilkan dan peningkatan umur fatigue pada campuran aspal dengan penambahan silika.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data, analisis, dan pembahasan yang sudah dilakukan maka kesimpulan yang diperoleh adalah unsur senyawa kimia pada masker medis yang paling dominan adalah Si (Silika). Penambahan silika pada campuran aspal dapat meningkatkan ketahanan terhadap rutting, peningkatan nilai modulus, dan umur *fatigue*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, S. A., Khalil, A. B., dan Arslan, M. (2020). "Extensive Use of Face Masks During COVID-19 Pandemic: (Micro) Plastic Pollution and Potential Health Concerns in the Arabian Peninsula." *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3181–3186.
- Adam, F., Kandasamy, K., dan Balakrishnan, S. (2006). "Iron Incorporated Heterogeneous Catalyst from Rice Husk Ash." *Journal of Colloid and Interface Science*, 304(1), 137–143.
- Affifah, H. N., dan Zulfa, A. L. (2021). "Pra Rancangan Pabrik Masker Bedah (3 Ply) Spunbond PP Kapasitas 950 Ton/Tahun." *Universitas Islam Indonesia*.
- Akhbar, H. T., Hadi, W., dan Daryati. (2019). "Kajian Parameter Marshall dengan Menggunakan Limbah Karet Ban-Dalam Kendaraan Sebagai Bahan Tambah pada Campuran Lapis Aus Permukaan Aspal Beton (Ac-Wc)." *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 46–51.
- Al-Amri, F. (2013). "Studi Perbandingan Penggunaan Aspal Minyak dengan Aspal Buton Lawele pada Campuran Aspal Concrete Base Course (Ac-Bc) Menggunakan Metode Marshall Test." *Radial*, 4(2), 181–190.
- Ali, M., Opuencia, M. J. C., Chandra, T., Chandra, S., Muda, I., Dias, R., Chetthamrongchai, P., dan Jalil, A. T. (2022). "An Environmentally Friendly Solution for Waste Facial Masks Recycled in Construction Materials." *Sustainability*, 14(14).
- Amalia, S. R., Fajarwati, K., Fitriawan, M., Aji, M. P., Yulianto, A. (2014). "Kuat Tarik Komposit Polipropilena (PP) dengan Penguji Silika (SiO₂)." *Seminar Nasional Mahasiswa Fisika*, 107–110.
- Atmojo, J. T., Iswahyuni, S., Rejo, R., Setyorini, C., Puspitasary, K., Ernawati, H., Syujak, A. R., Nugroho, P., Putra, N. S., Nurrochim, N., Wahyudi, W., Setyawan, N., Susanti, R. F., Suwanto, S., Haidar, M., Wahyudi, W., Iswahyudi, A., Tofan, M., Bintoro, W. A., dan Mubarak, A. S. (2020). "Penggunaan Masker Dalam Pencegahan dan Penanganan Covid-19: Rasionalitas, Efektivitas, dan Isu Terkini." *Avicenna : Journal of Health Research*, 3(2), 84–95.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2023. *Mengenal Jenis-jenis Masker Berdasarkan Kebutuhannya*.
- Balagna, C., Perero, S., Percivalle, E., Nepita, E. V., dan Ferraris, M. (2020). "Virucidal Effect Against Coronavirus SARS-CoV-2 of a Silver Nanocluster/Silica Composite Puttered Coating." *Open Ceramics*, 1.
- Boroujeni, M., Saberian, M., dan Li, J. (2021). "Environmental Impacts of COVID-19 on Victoria, Australia, Witnessed Two Waves of Coronavirus." *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(11).
- Budiman, A. S., Rebia, R. A., Hidayah, F. N., Septyani, D. W., Isla, S. A., Studi, P., Tekstil, R., Industri, F. T., dan Indonesia, U. I. (2022). "Masker Medis Tiga Lapis dengan Variasi Berat." *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*, 73–78.
- Chalermssinsuwan, B., Li, Y. H., dan Manatura, K. (2022). "Optimization of Gasification Process Parameters for COVID-19 Medical Masks Using Response Surface Methodology." *Alexandria Engineering Journal*, 62, 335–347.
- Chowdhury, H., Chowdhury, T., dan Sait, S. (2021). "Estimating Marine Plastic Pollution from COVID-19 Face Masks

- in Coastal Regions." *Marine Pollution Bulletin*, 168.
- Cohen, H. J., dan Birdner, J. S. (2012). "Department of Occupational and Environmental Medicine." *Respiratory Protection*, 783–793.
- Crucho, J. M. L., Neves, J. M. C. das., Capitão, S. D., dan Picado-Santos, L. G. de. (2018). "Mechanical Performance of Asphalt Concrete Modified with Nanoparticles: Nanosilica, Zero-Valent Iron and Nanoclay." *Construction and Building Materials*, 181, 309–318.
- Departemen Kimpraswil. 2002. *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah. Jakarta.
- Eslami, H., dan Jalili, M. (2020). "The Role of Environmental factors to Transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19)." *AMB Express*, 10(1).
- Fadare, O. O., dan Okoffo, E. D. (2020). "Covid-19 Face Masks: A Potential Source of Microplastic Fibers in the Environment." *Science of the Total Environment*, 737, 140279.
- Farmalkes. 2021. *Gunakan Masker Medis Yang Telah Memiliki Izin Edar / Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan*.
- Fauzi, G. 2022. *Sampah Medis Pascapandemi, Siapa Berani Tanggung Jawab*.
- Garel, A. dan Petit-Romec, A. (2021). "Investor Rewards to Environmental Responsibility: Evidence from The COVID-19 Crisis." *Journal of Corporate Finance*, 68, 101948.
- Goli, A. dan Sadeghi, P. (2022). "Evaluation on the use of COVID-19 Single-Use Face Masks to Improve the Properties of Hot Mix Asphalt." *Road Materials and Pavement Design*.
- Hapsari, K. R. dan Munawi, H. A. (2021). "Pemilihan Masker Kain dalam Mencegah Penularan Virus Covid-19." *Nusantara of Engineering (NOE)*, 4(1), 45.
- Ilyas, S., Srivastava, R., dan Kim, H. (2020). "Disinfection Technology and Strategies for COVID-19 Hospital and bio-medical waste Management." *The Science of the Total Environment*, 749, 141652.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2020. *Pedoman Pengelolaan Limbah Masker dari Masyarakat*.
- Kilmartin-Lynch, S., Roychand, R., Saberian, M., Li, J., dan Zhang, G. (2022). "Application of COVID-19 Single-use Shredded Nitrile Gloves in Structural Concrete: Case study from Australia." *Science of The Total Environment*, 812, 151423.
- Maddah, H. A. (2016). "Polypropylene as a Promising Plastic: A Review." *American Journal of Polymer Science*, 6(1), 1–11.
- Maderuelo-Sanz, R., Acedo-Fuentes, P., García-Cobos, F. J., Sánchez-Delgado, F. J., Mota-López, M. I., dan Meneses-Rodríguez, J. M. (2021). "The Recycling of Surgical Face Masks as Sound Porous Absorbers: Preliminary Evaluation." *The Science of the Total Environment*, 786, 147461–147461.
- Meguid, S. A. dan Elzaabalawy, A. (2020). "Potential of Combating Transmission of COVID-19 using Novel Self-Cleaning Superhydrophobic Surfaces: part I—Protection Strategies Against Fomites." *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, 16(3), 423–431.
- Morganti, P. dan Morganti, G. (2020). "Surgical dan Beauty Facial Masks:

- The New Waste Problem of Post Covid-19." *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 29(5).
- Novena, M. 2021. *Jadi Limbah Selama Pandemi, Ahli Bakal Bikin Jalan Pakai Masker Halaman all.*
- Putri, E. E., dan 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.
- Ririn, Sulaiman, L., dan Ardiansyah, M. R. (2021). "Studi Penambahan Serat Polipropilen Yang Terkandung Pada Masker Medis Terhadap Kuat Tekan Mortar." *Jurnal, Teknik Sipil Universitas Andi Djemma*, 137–142.
- Rowan, N. J., dan Laffey, J. G. (2021). "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." *Science of the Total Environment*, 752.
- Royo-Bordonada, M. A., García-López, F. J., Cortés, F., dan Zaragoza, G. A. (2021). "Face Masks in the General Healthy Population. Scientific and Ethical Issues." *Gaceta Sanitaria*, 35(6), 580.
- Saberian, M., Li, J., Kilmartin-Lynch, S., dan Boroujeni, M. (2021). "Repurposing of COVID-19 Single-use Face Masks for Pavements Base/Subbase." *Science of the Total Environment*, 769, 145527.
- Saodang, H. 2005. *Konstruksi Jalan Raya*. Nova.
- Selvaranjan, K., Navaratnam, S., Rajeev, P., dan Ravintherakumaran, N. (2021). "Environmental Challenges Induced by Extensive use of Face Masks During COVID-19: A review and Potential Solutions." *Environmental Challenges*, 3, 100039.
- Setyaningrum, S., Salsabila, Z. N., Rahmawati, A. A., Putri, A. I., Amalia, D. N., dan Tsany, S. A. (2022). Coaxyl-mask: Masker Ramah Lingkungan dari Sabut Kelapa (Cocos Nucifera) dan Acetobacter Xylinum. *Fluida*, 15(1), 43–50.
- Silva, A. L. P., Prata, J. C., Walker, T. R., Duarte, A. C., Ouyang, W., Barcelò, D., dan Rocha-Santos, T. (2021). "Increased Plastic Pollution due to COVID-19 Pandemic: Challenges and Recommendations." *Chemical Engineering Journal*, 405.
- Sumiati, dan Sukarman. (2014). "Influence of Aggregate Gradation on Asphalt Concrete Characteristic Value (AC-BC)." *Journal of Civil Engineering*, 10(1), 85–91.
- Sunda, U. 2020. *Dijelaskan Kemenkes, Ini Beda Spesifikasi Masker Bedah dan N95.*
- Taherkhani, H. dan Tajdini, M. (2019). "Comparing the Effects of Nano-Silica and Hydrated Lime on the Properties of Asphalt Concrete." *Construction and Building Materials*, 218, 308–315.
- Vidakis, N., Petousis, M., Tzounis, L., Maniadi, A., Velidakis, E., Mountakis, N., Papageorgiou, D., Liebscher, M., dan Mechtcherine, V. (2021). "Sustainable additive manufacturing: Mechanical response of polypropylene over multiple recycling processes." *Sustainability*, 13(1), 1–16.
- Wang, G., Li, J., Saberian, M., Rahat, M. H. H., Massarra, C., Buckhalter, C., Farrington, J., Collins, T., dan Johnson, J. (2022). "Use of COVID-19 Single-use Face Masks to Improve the Rutting Resistance of Asphalt

- Pavement." *Science of the Total Environment*, 826, 154118.
- Winata, R. W. (2007). *Prarancangan Pabrik Polipropilen dari Propilen Kapasitas 150.000 Ton/Tahun*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wiryadi, I. G. G., Wirawan, I. P. A. P., Wijaya, I. M. W., Putra, I. K. A., dan Sutrisno, W. T. (2021). "The Compressive Strength of Concrete with Addition of Single-Use Mask Waste Fiber." *International Conference on Sustainable Development*, 5, 131–139.
- Xu, G., Jiang, H., Stapelberg, M., Zhou, J., Liu, M., Li, Q. J., Cao, Y., Gao, R., Cai, M., Qiao, J., Galanek, M. S., Fan, W., Xue, W., Marelli, B., Zhu, M., dan Li, J. (2021). "Self-Perpetuating Carbon Foam Microwave Plasma Conversion of Hydrocarbon Wastes into Useful Fuels and Chemicals." *Environmental Science and Technology*, 55(9), 6239–6247.
- Yang, M., Chen, L., Msigwa, G., Ho, K., Tang, D., dan Yap, P.-S. (2022). "Implications of COVID-19 on Global Environmental Pollution and Carbon Emissions with Strategies for Sustainability in the COVID-19 era." *Science of the Total Environment*, 809, 151657.