

Penggunaan Limbah Masker Yang Mengandung Polipropilena Pada Campuran Aspal Beton

I Gusti Agung Ananda Putra, I Nyoman Arya Thanaya, I Made Agus Ariawan, Yenni Ciawi

Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Udayana

Jalan Panglima Besar Sudirman, Denpasar, Bali

E-mail: anandaputra@undiknas.ac.id

Abstrak — *Perlindungan pernafasan atau masker, digunakan untuk menjaga orang dari menghirup bahan berbahaya atau kontaminasi yang ada di udara. Masker begitu penting untuk mencegah virus Korona menyebar, tetapi membuangnya berbahaya bagi lingkungan sekitar. Masker medis atau bedah memiliki tiga lapisan berlapis. Lapisan dalam dan luar terbuat dari kain bukan tenun yang tahan terhadap air, sedangkan lapisan tengah terbuat dari material yang mudah meleleh. Masker medis terutama terbuat dari polipropilena. Dalam artikel ini, kita akan membahas penggunaan limbah dari masker yang terbuat dari polipropilena sebagai material tambahan saat membuat campuran aspal beton. Untuk melakukan ini, kita akan melihat literatur sebelumnya dan menganalisis bagaimana penambahan limbah masker yang mengandung polipropilena berdampak pada campuran aspal beton. Google Scholar, Research Gate, dan Science Direct adalah sumber utama referensi untuk artikel ini. Ditemukan bahwa penggunaan limbah masker yang terbuat dari polipropilena ke dalam campuran aspal beton memenuhi spesifikasi yang berlaku (nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, dan Flow).*

Kata Kunci: limbah; masker; polipropilena; virus corona; campuran aspal beton.

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, consisting of three layers: two waterproof non-woven fabric layers on the outside and inside, and one 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 discovered that using waste masks made of polypropylene in asphalt concrete mixtures met the applicable specifications (VIM, VMA, VFA, Stability, and Flow values).*

Keywords: waste; mask; polypropylene; corona virus; asphalt concrete mixture.

I. PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 telah menciptakan masalah kesehatan, keuangan, dan lingkungan yang serius di seluruh dunia dan di masa pandemi saat ini (Garel & Petit-Romec, 2021). Di masa pandemi saat ini penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) meningkat tajam dibandingkan dengan waktu sebelum pandemi (Maderuelo-Sanz et al., 2021). Ini terutama karena persyaratan wajib yang diterapkan untuk memakai APD, terutama masker medis (Rowan & Laffey, 2021). Salah satu cara efektif untuk melawan virus Corona adalah dengan menggunakan masker medis, untuk menghindari penyebaran virus (Royo-Bordonada et al., 2021). Pertumbuhan tahunan sebesar 20% dalam menyuplai masker medis yang diperkirakan dari tahun 2020 hingga 2025 (Ilyas et al., 2020). Menurut laporan, masker dapat melindungi manusia dari virus hingga 90 persen dengan menggunakan perlindungan penggunaan masker. (Atmojo et al., 2020). Oleh karena itu, penggunaan masker medis sangat diperlukan,

namun pembuangan masker medis mengancam lingkungan.

Masker adalah alat pelindung diri yang tidak dapat didaur ulang atau digunakan lagi. kembali dengan cara yang berkelanjutan, masker yang dibuang akan sangat mencemari lingkungan (Yang et al., 2022). Hal ini karena masker yang terbuat dari bahan ringan dapat dengan mudah diterbangkan oleh angin dan hujan, meskipun dibuang ke tempat pembuangan akhir atau ke tempat sampah. 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 et al., 2022). 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 et al., 2021). Penggunaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) akan menimbulkan pencemaran

terhadap tanah dan penguraian limbah masker biasanya membutuhkan waktu yang sangat lama, bahkan ratusan tahun (Silva et al., 2021).

Semua orang harus tahu bahwa masker memiliki banyak jenis, seperti masker medis, masker kain, dan masker N95. Masker medis terdiri dari tiga lapisan, yaitu spunbond, filter meltblown, dan spunbond lainnya, untuk mengurangi tingkat penularan. Masker kain harus memiliki tiga lapisan. Lapisan terdalam harus terbuat dari bahan hidrofilik (misalnya, katun), lapisan tengah harus terbuat dari bahan hidrofobik (misalnya, polipropilena), dan lapisan terluar harus terbuat dari bahan hidrofobik. Masker N95 terdiri dari empat atau lima lapisan, dengan lapisan luar polipropilena dan lapisan tengah 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. Permukaannya yang tipis dan lembut, ketahanan, daya serap, dan kekuatan material ini sangat baik. Bahan ini titik lelehnya yang tinggi, yaitu 165°C, dan dapat digunakan dalam waktu cepat pada suhu 100°C (Ririn et al., 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 et al., 2022). Polipropilena, plastik yang sulit terurai, digunakan dalam masker medis. Namun, karena sangat elastis, bahan ini dapat digunakan sebagai pengganti aspal. (Setyaningrum et al., 2022). Oleh karena itu, solusi yang mungkin untuk masalah ini adalah mendaur ulang limbah masker medis bekas dan menggunakannya kembali sebagai penguat bahan konstruksi.

Karena fakta bahwa virus Corona tidak bertahan lebih dari 5 menit pada 70°C (Eslami & 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. Artikel ini merangkum beberapa penggunaan dalam mengembangkan limbah daur ulang masker yang terbuat dari polipropilena dalam membuat campuran aspal beton dari peneliti sebelumnya.

II. MATERIAL DAN 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, cara kreatif dan efisien untuk mengurangi jumlah limbah masker adalah dengan mendaur ulangnya, yang dapat dimanfaatkan sebagai material tambahan pada campuran aspal beton. Google Scholar, Research Gate, dan Science Direct adalah sumber utama referensi untuk artikel ini. Jumlah referensi yang ditemukan dalam penelitian ini sebanyak 46 artikel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Agregat

Struktur kulit bumi yang keras dan solid disebut agregat atau batuan. Dengan persentase berat 90% hingga 95% dan persentase volume 75% hingga 85%, agregat memainkan peran penting dalam lapisan perkerasan jalan (Saodang, 2005). Oleh karena itu, karakteristik agregat dan hasil dari campuran agregat dengan bahan lain adalah faktor lain yang memengaruhi kualitas perkerasan jalan. Oleh karena itu, kualitas agregat harus diperhatikan secara menyeluruh saat dibuat rencana campuran dan saat digunakan.

3.2 Aspal

Aspal, bahan kimia hidrokarbon yang berasal dari alam, berwarna hitam dan berbentuk plastis menjadi bentuk cair saat dieksplorasi. tidak dapat larut dalam air, larutan asam encer, atau larutan alkali, tetapi sebagian besar larut dalam chloroform, aether, dan bensol CS₂ (Saodang, 2005). Perkerasan beraspal menggunakan aspal untuk membuat agregat tidak mudah lepas karena faktor lingkungan dan lalu lintas.

3.3 Campuran Perkerasan Beraspal

Campuran perkerasan beraspal terdiri dari aspal dan campuran agregat yang berfungsi sebagai lem atau pengikat antara partikel agregat, sementara agregat sendiri berfungsi sebagai tulangan. Karena kohesi dan friksi bahan-bahan pembentuknya, campuran aspal memiliki sifat mekanis. Agregat mempunyai ekuatan yang bergantung pada tekstur yang ada di permukaan, gradasi, bentuk butirannya, dan ukuran agregat maksimal yang digunakan. Friksi agregat didapat dari ikatan antara butir agregat, yang dikenal sebagai interlocking. Namun, sifat kohesinya yang dimilikinya berasal dari karakteristik aspal yang digunakan. Oleh karena itu, karakteristik aspal dan agregat, serta sifat campuran padat dari kedua bahan tersebut, sangat memengaruhi kinerja campuran beraspal (Departemen Kimpraswil, 2002).

3.4 Masker

Perlindungan pernafasan atau masker, digunakan untuk menjaga orang dari menghirup bahan berbahaya atau kontaminasi yang ada di udara. Perlindungan respiratori atau masker menjaga pemakainya dengan cukup, bukan untuk menggantikan metode pencegahan penyakit lainnya (Cohen & Birdner, 2012). Jenis masker medis yang digunakan dalam artikel ini terbuat dari kain bukan tenunan atau bukan tenunan. Permukaannya yang tipis dan lembut, ketahanan, daya serap, dan kekuatan material ini sangat baik. Bahan ini titik lelehnya yang tinggi, yaitu 165°C, dan dapat digunakan dalam waktu cepat pada suhu 100°C (Ririn et al., 2021). Masker medis atau bedah memiliki tiga lapisan berlapis. Lapisan dalam dan luar terbuat dari kain bukan tenun yang tahan terhadap air, sedangkan lapisan tengah terbuat dari material yang mudah meleleh. (Fadare & Okoffo, 2020). Tiga fungsi lapisan utama masker medis (Gambar 1) adalah Lapisan luar melindungi mulut dari air, lapisan tengah bertindak sebagai filter, dan lapisan dalam menyerap cairan (Sunda, 2020).



Gambar 1. Masker Medis Tiga Lapis
Sumber: Goli dan Sadeghi (2022)

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 et al., 2022). Masker mulai meleleh pada suhu 115°C setelah 10 menit di dalam oven yang bisa dilihat pada Gambar 2. Komposisi kimia paling utama dari masker yaitu polipropilena (Chalermssinsuwan et al., 2022). Polipropilena adalah salah satu polimer yang paling ringan dalam jenis termoplastik yang dapat didaur ulang. 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 & Sadeghi, 2022).



Gambar 2. Masker meleleh dipanaskan
Sumber: Wang et al. (2022)

3.5 Jenis-Jenis Masker

Jenis-jenis masker yang harus diketahui umum adalah sebagai berikut:

1. Masker Kain

Menurut Hapsari dan Munawi (2021), Untuk mencegah penularan dari virus corona, masker kain dapat digunakan. Jumlah lapisan yang digunakan dan kerapatan dari kain tenun meningkatkan efisiensi penyaringan masker tersebut. Masker kain harus memiliki tiga lapisan. Lapisan terdalam harus terbuat dari bahan hidrofilik (misalnya, katun), lapisan tengah harus terbuat dari bahan hidrofobik (misalnya, polipropilena), dan lapisan terluar harus terbuat dari bahan hidrofobik. Masker kain dapat dicuci dan digunakan berkali-kali. Mereka dapat terbuat dari kain katun, scarf, atau bahan lainnya.

2. Masker Medis atau Masker Bedah

Masker medis terdiri dari tiga lapisan untuk mengurangi penularan. Spunbond, filter meltblown, dan spunbond lagi adalah lapisan luar kain yang tidak terayaman dan tidak kedap oleh air. Di lapisan dalam, lapisan filter dengan densitas tinggi menempel langsung pada kulit untuk menyerap cairan berukuran besar yang keluar dari pengguna saat mereka bersin atau batuk. Karena memiliki lapisan filter ini, masker medis dapat memfilter cairan yang keluar dari pemakai ketika mereka bersin atau batuk (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2023).

3. N95 Masker

N95 Masker, yang terdiri dari empat lapisan (lapisan luar polipropilena, lapisan tengah electrete polipropilena, dan lapisan dalam

kapas), memiliki tingkat filtrasi yang lebih tinggi daripada masker medis. Salah satu keuntungan dari jenis masker ini adalah mereka melindungi pengguna dari paparan cairan berukuran aerosol atau droplet. N95 masker ini disarankan untuk tenaga medis yang secara langsung berinteraksi dengan pasien yang rentan terhadap infeksi, seperti pasien yang telah terinfeksi COVID-19 (Farmalkes, 2021).

3.6 Hasil Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil analisis penambahan bahan aditif pada campuran aspal beton yang berasal dari beberapa penelitian sebelumnya bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis penambahan bahan aditif pada campuran aspal beton

No.	Kinerja Teknis	Spek	Penulis/ tahun (Permat a et al., 2023)	Penulis/ tahun (Tan & Pahlevi, 2020)
1	Nama bahan aditif		Masker	Polipropilena
2	Kadar bahan aditif (%)		1,5%	4,5%
3	Kadar aspal optimum (%)		5,61%	6,2%
4	VIM (%)	3,5-5,5	3,52	3,655
5	VMA (%)	Min. 15	15,97	16,432
6	VFA (%)	Min. 65	77,97	77,774
7	Stabilitas (Kg)	800 kg	1020,36	1.653,591
8	Flow (mm)	2-4	4,00	3,21

Pada Tabel 1 menunjukkan hasil yang memenuhi syarat, yaitu VIM sebesar 3,52 dan 3,655%, VMA sebesar 15,97 dan 16,432%, VFA sebesar 77,97 dan 77,774%. VIM dan VFA harus memiliki ruang yang cukup di VMA. Nilai VIM tidak boleh terlalu tinggi sehingga aspal menjadi oksidatif atau terlalu kecil sehingga beban lalu lintas menghalangi pengaliran aspal. Tebal aspal film ditentukan oleh nilai VFA dan gradasi, yang berdampak pada kecepatan pada kecepatan penyerapan air dan oksidasi aspal. Nilai VIM dan VMA lebih rendah karena rongga yang terisi aspal atau filler (VFA) lebih besar, sedangkan kepadatan campuran berbanding terbalik. Dengan meningkatkan kadar aspal campuran, partikel dalam campuran menjadi

lebih melekat., meningkatkan kepadatan, sampai kadar aspal tertentu.

Stabilitas didefinisikan sebagai ukuran besarnya berat maksimal yang dapat dicapai oleh kombinasi berat dalam satuan berat. Ini juga menunjukkan kapasitas lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas. Ada kemungkinan bahwa kedua campuran akan stabil dan memenuhi spesifikasi standar sebesar 1020,36 dan 1.653,591 kg. Nilai pelepasan/flow untuk kedua campuran dapat dicapai dan memenuhi spesifikasi sebesar 4,00 dan 3,21 mm. Selain viskositas tinggi dan penetrasi rendah, nilai aliran yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut plastis.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang dikumpulkan, dianalisis, dan dibahas, kesimpulan yang dibuat adalah bahwa campuran aspal beton yang terbuat dari limbah masker polipropilena dapat digunakan dan memenuhi spesifikasi yang berlaku (nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, dan Flow). Hasil analisis dan kesimpulan di atas menunjukkan bahwa analisis lebih lanjut diperlukan mengenai efek penambahan masker medis pada sifat aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- 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., ... Mubarok, 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. <https://doi.org/10.36419/avicenna.v3i2.420>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). *Mengenal jenis-jenis masker berdasarkan kebutuhannya*. <https://shekalimantan.co.id/mengenal-jenis-jenis-masker-berdasarkan-kebutuhannya/>
- Chalermssinsuwan, B., Li, Y. H., & Manatura, K. (2022). Optimization of gasification process parameters for COVID-19 medical masks using response surface methodology. *Alexandria Engineering Journal*, 62, 335–347. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2022.07.037>
- Cohen, H. J., & Birdner, J. S. (2012). Department of occupational and environmental medicine. *Respiratory Protection*, 783–793.
- Departemen Kimpraswil. (2002). *Manual Pekerjaan campuran beraspal panas*. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah. Jakarta.
- Eslami, H., & Jalili, M. (2020). The role of environmental factors to transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19). *AMB Express*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01028-0>
- 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>
- Farmalkes. (2021). *Gunakan masker medis yang telah memiliki izin edar | Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan*. <https://farmalkes.kemkes.go.id/2021/04/gunakan-masker-medis-yang-telah-memiliki-izin-edar/>
- Garel, A., & Petit-Romec, A. (2021). Investor rewards to environmental responsibility: Evidence from the COVID-19 crisis. *Journal of Corporate Finance*, 68, 101948. <https://doi.org/10.1016/J.JCORPFIN.2021.101948>
- Goli, A., & 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*, May. <https://doi.org/10.1080/14680629.2022.2072376>
- Hapsari, K. R., & Munawi, H. A. (2021). Pemilihan masker kain dalam mencegah penularan virus COVID-19. *Nusantara of Engineering (NOE)*, 4(1), 45. <https://doi.org/10.29407/noe.v4i1.15910>
- Ilyas, S., Srivastava, R., & Kim, H. (2020). Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *The Science of the Total Environment*, 749, 141652. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141652>

- Kilmartin-Lynch, S., Roychand, R., Saberian, M., Li, J., & 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. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151423>
- Maderuelo-Sanz, R., Acedo-Fuentes, P., García-Cobos, F. J., Sánchez-Delgado, F. J., Mota-López, M. I., & 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. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.147461>
- Permata, M., Dewi, P., Andaresta, W., Putri, E., & Kurniawan, P. (2023). *Pemanfaatan limbah masker sekali pakai sebagai bahan pengganti bitumen terhadap nilai stabilitas dan flow*. 17(April), 112–123. <https://doi.org/10.24002/jts.v17i2.6913>
- Ririn, Sulaiman, L., & Ardiansyah, M. R. (2021). Studi penambahan serat polipropilen yang terkandung pada masker medis terhadap kuat tekan mortar. *Jurnal, Teknik Sipil Universitas Andi Djemma*, 2006, 137–142.
- Rowan, N. J., & 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. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.142259>
- Royo-Bordonada, M. A., García-López, F. J., Cortés, F., & Zaragoza, G. A. (2021). Face masks in the general healthy population. Scientific and ethical issues. *Gaceta Sanitaria*, 35(6), 580. <https://doi.org/10.1016/J.GACETA.2020.08.003>
- Saodang, H. (2005). *Konstruksi jalan raya*. Nova.
- 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>
- Silva, A. L. P., Prata, J. C., Walker, T. R., Duarte, A. C., Ouyang, W., Barcelò, D., & Rocha-Santos, T. (2021). Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations. *Chemical Engineering Journal*, 405. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2020.126683>
- 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>
- Tan, L. I., & Pahlevi, W. R. (2020). Studi penggunaan plastik polypropylene pada campuran asphalt concrete-wearing course. *Cantilever*, 8(2), 65–71. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v8i2.13>
- Wang, G., Li, J., Saberian, M., Rahat, M. H. H., Massarra, C., Buckhalter, C., Farrington, J., Collins, T., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154118>
- 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., & 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. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C06977/SUPPL_FILE/ES0C06977_SI_009.PDF
- Yang, M., Chen, L., Msigwa, G., Ho, K., Tang, D., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151657>