

REDUKSI EMISI PARTIKULAT DARI PELEBURAN LIMBAH PLASTIK: TINJAUAN TEKNOLOGI FILTRASI UDARA BERBASIS BAHAN ALAMI

REDUCTION OF PARTICULATE EMISSIONS FROM PLASTIC WASTE MELTING: A REVIEW OF AIR FILTRATION TECHNOLOGIES BASED ON NATURAL MATERIALS

Wan Ahmad Lutfi^{1,*}, Donny Apdillah^{1,2}, Nancy Willian^{1,3}, Agung Dhamar Syakti^{1,2}

¹Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jl. Raya Dompok, Pulau Dompok, Tanjungpinang 29111, Kepulauan Riau, Indonesia

²Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jalan Politeknik Senggarang, Kota Tanjungpinang, 29100, Kepulauan Riau, Indonesia

³Jurusan Kimia, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jalan Politeknik Senggarang, Kota Tanjungpinang, 29100, Kepulauan Riau, Indonesia

*e-mail korespondensi: wan.ahmad.lutfi@outlook.com

Abstrak

Emisi gas dan partikel halus hasil dari proses peleburan limbah plastik dalam pembuatan paving block dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Review penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai jenis emisi yang dihasilkan selama proses peleburan dan mengevaluasi teknologi filtrasi yang paling efektif dalam mereduksi polutan udara. Metode penelitian dilakukan melalui studi literatur dari berbagai jurnal terkait emisi dari proses peleburan plastik serta teknologi filtrasi yang tersedia. Hasil kajian menunjukkan bahwa emisi utama mencakup senyawa organik volatil (VOC), dioksin, furan, karbon monoksida (CO), dan partikel halus (PM10 dan PM2.5). Berdasarkan analisis, kombinasi filter HEPA, karbon aktif, dan scrubber basah berbasis larutan alkali merupakan solusi optimal dalam mengurangi dampak emisi. Penelitian ini juga mengusulkan model filtrasi berbahan alami yang dinamakan *AIRPUSAKA*, yang terdiri dari air kapur, sabut kelapa, dan karbon aktif tempurung kelapa, sebagai solusi alternatif yang ramah lingkungan untuk aplikasi industri daur ulang plastik. Penelitian ini akan menutup gap terkait pengembangan teknologi filtrasi udara yang mudah diterapkan serta ekonomis dengan berbasis bahan alami untuk mengatasi emisi dari proses peleburan plastik.

Kata kunci: AIRPUSAKA, Emisi Gas, Partikulat, Peleburan Limbah Plastik, Polusi Udara, Sistem Filtrasi Udara,

Abstract

Emissions of gases and fine particles resulting from the melting process of plastic waste in the production of paving blocks can have negative impacts on the environment and human health. This review aims to examine the various types of emissions generated during the melting process and evaluate the most effective filtration technologies for reducing air pollutants. The research methodology was conducted through a literature study of various journals related to emissions from the plastic melting process and available filtration technologies. The findings indicate that the main emissions include volatile organic compounds (VOCs), dioxins, furans, carbon monoxide (CO), and fine particles (PM10 and PM2.5). Based on the analysis, the combination of HEPA filters, activated carbon, and alkaline solution-based wet scrubbers is the optimal solution for reducing emission impacts. This research also proposes a natural-based filtration model called *AIRPUSAKA*, which consists of lime water, coconut coir, and activated coconut shell carbon, as an alternative environmentally friendly solution for plastic recycling applications in the industry. This research will address the gap related to the development of easily applicable and economical air filtration technology based on natural materials to tackle emissions from the plastic melting process.

Keywords: AIRPUSAKA, Air Filtration System, Air Pollution, Particulates, Gas Emissions, Melting of Plastic Waste,

PENDAHULUAN

Pengolahan sampah plastik melalui peleburan telah menjadi salah satu solusi untuk mengelola sampah plastik, terutama untuk menghasilkan produk seperti paving block (Kader et al., 2021). Proses ini memiliki risiko pelepasan berbagai jenis emisi yang dapat mencemari udara dan berdampak buruk bagi kesehatan manusia dan lingkungan sekitar. Pemahaman terhadap berbagai jenis emisi yang dihasilkan selama proses ini diperlukan dalam mempertimbangkan penerapan teknologi penyaringan yang efektif untuk meminimalkan dampak negatifnya (Roychand et al., 2025).

Proses peleburan limbah plastik menghasilkan berbagai jenis emisi yang dapat mencemari udara dan menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia serta lingkungan seperti karbon monoksida, karbon dioksida (CO₂), senyawa organik volatil (VOCs), dioksin dan partikulat halus (PM10 dan PM2.5), (Verma et al., 2016). senyawa-senyawa ini tidak hanya berkontribusi pada polusi udara tetapi juga memiliki potensi untuk menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata dan bahkan penyakit kronis seperti kanker jika terpapar dalam jangka panjang (Loxham et al., 2019). VOCs yang dilepaskan selama proses peleburan dapat bereaksi dengan sinar matahari untuk membentuk ozon troposfer yang merupakan salah satu komponen utama smog perkotaan sehingga diperlukan pemahaman mendalam tentang karakteristik emisi ini untuk merancang strategi mitigasi yang efektif (Agnieszka & Gnatowski, 2022).

Salah satu metode yang efektif adalah penggunaan filter partikulat elektrostatik (ESP) yang dikombinasikan dengan scrubber basah untuk menangkap partikulat halus dan senyawa berbahaya seperti dioksin. Kombinasi ESP dengan adsorben karbon aktif mampu menurunkan emisi VOCs hingga lebih dari 90% (Prasetyadi et al., 2018). Sementara katalis oksidasi termal bekerja dengan mengubahnya menjadi karbon dioksida dan air juga terbukti efektif dalam menghilangkan senyawa organik volatil. Implementasi teknologi ini tidak hanya membantu mengurangi risiko kesehatan bagi pekerja tetapi juga memastikan kepatuhan terhadap peraturan lingkungan yang semakin ketat (Bell & Takada, 2021).

Pendekatan sirkular ekonomi dapat menjadi solusi jangka panjang untuk mengurangi volume sampah plastik yang masuk ke fasilitas peleburan yang fokus pada pengurangan penggunaan kembali dan daur ulang limbah

plastik (Nafisah et al., 2024). Kurangnya teknologi filtrasi berbahan alami serta terbatasnya kajian terhadap penggunaan bahan lokal terbarukan menjadi tantangan untuk menerapkan pendekatan ini dalam sistem filtrasi limbah plastik. Industri pengolahan limbah plastik yang menerapkan prinsip keberlanjutan dapat berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam aspek pengelolaan limbah yang bertanggung (Choi et al., 2021). Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mereview berbagai jenis emisi dari proses peleburan plastik dan mengevaluasi teknologi filtrasi udara yang tersedia terutama yang terbuat dari bahan alami serta memberikan solusi ramah lingkungan dan ekonomis untuk industri daur ulang plastik skala kecil-menengah.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan sebagai studi literatur untuk mengkaji emisi partikulat dari proses peleburan limbah plastik serta mengevaluasi teknologi filtrasi udara berbasis bahan alami. Pengumpulan literatur dilakukan melalui pencarian di database seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan SpringerLink menggunakan kata kunci terkait emisi peleburan plastik dan teknologi pengendalian emisi. Terdapat 76 sumber referensi yang dipilih berdasarkan relevansi dan tahun publikasi (2015–2024), status peer-review, serta ketersediaan dalam bahasa Inggris atau Indonesia.

Dalam proses seleksi, fokus diberikan pada literatur yang membahas jenis emisi dari peleburan plastik dan pemanfaatan bahan alami dalam sistem filtrasi udara. Batasan penelitian mencakup tidak dilakukannya uji lapangan atau eksperimen langsung, sehingga hasil kajian bersifat konseptual dan ditujukan sebagai dasar pengembangan teknologi filtrasi AIRPUSAKA untuk industri daur ulang plastik skala kecil-menengah.

PERMASAALAHAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA)

Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan peningkatan volume sampah yang dihasilkan (Hidayat, 2020). Hal ini membuktikan bahwa aktivitas manusia yang semakin padat berdampak langsung pada produksi sampah sehingga kapasitas tempat pembuangan akhir semakin terbebani (Adzkie et al., 2025). Lonjakan sampah ini jika tidak dikelola dengan baik berpotensi menimbulkan masalah lingkungan serius seperti pencemaran

tanah dan air serta meningkatnya emisi gas rumah kaca dari decomposing waste (Erika & Gusmira, 2024). Sampah yang masuk ke berbagai TPA sebanyak 14,48 % adalah sampah plastik (Salsabella et al., 2023)

Untuk mengatasi dampak tersebut maka pengelolaan sampah yang efektif menjadi kunci utama. Penerapan sistem pengolahan sampah berkelanjutan menjadi sangat penting untuk dilakukan seperti daur ulang, pemilahan, dan pengomposan, untuk mengurangi beban TPA (Vitasari, 2024).

SAMPAH/LIMBAH PLASTIK

Sampah plastik merupakan salah satu material yang sulit terurai secara alami dan paling problematik terhadap lingkungan (Zumira & Surtikanti, 2023). Proses penguraian plastik memerlukan waktu yang sangat lama dan kontribusinya terhadap pencemaran lingkungan menjadi signifikan dan perlu penanganan yang serius untuk mengurangi dampak negatifnya (Lestari et al., 2024). Di Indonesia kebutuhan plastik terus mengalami peningkatan dengan rata-rata 200 ton per tahun dan berdasarkan asumsi dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) bahwa sampah yang dihasilkan sebanyak 15% berupa sampah plastik atau sekitar 28,4 ributon perhari (Rosmainar et al., 2021).

PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK

Sampah plastik bisa dimanfaatkan kembali sehingga bernilai ekonomis. Pemanfaatan limbah plastik sangat penting untuk menjaga kelestarian lingkungan dan mengurangi dampak negatifnya (Kanan, 2021). Dengan memanfaatkannya secara kreatif dan bertanggung jawab, kita dapat menciptakan solusi yang berkelanjutan untuk masalah sampah plastik (Rahmatullah & Verawati, 2024).

Plastik daur ulang dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari limbah plastik (Lensari et al., 2024). Plastik diambil dari berbagai sumber kemudian dihancurkan, dicuci dan dilebur untuk dijadikan bahan baku baru untuk memproduksi berbagai produk seperti botol, wadah dan serat yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri. Plastik daur ulang juga mengurangi kebutuhan akan bahan baku plastik baru yang biasanya berasal dari sumber daya alam (Putranto, 2023).

Metode lain untuk mendaur ulang plastik adalah mengubah limbah plastik menjadi granula plastik melalui proses pemecahan limbah plastik menjadi butiran kecil atau granula yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk membuat

produk plastik baru yang digunakan industri pembuatan barang-barang konsumen hingga komponen otomotif (Sopyan & Suryadi, 2020). Solusi inovatif lainnya adalah mencampur limbah plastik dengan semen untuk dijadikan paving block, bata, dan bahan bangunan lainnya (Majida et al., 2023). Penggunaan material campuran limbah plastik ini menawarkan kekuatan dan daya tahan yang baik dalam konstruksi (Nurhadi et al., 2024).

Limbah plastik juga dapat dijadikan serat yang berguna dalam industri tekstil. Serat yang dihasilkan dari limbah plastik kemudian dapat digunakan untuk memproduksi kain, karpet dan berbagai bahan tekstil lainnya (Kusnaedi, 2018). Pemanfaatan serat plastik daur ulang menciptakan produk ramah lingkungan serta mengurangi ketergantungan pada bahan baku baru yang boros sumber daya (Syarif et al., 2022).

Pemanfaatan limbah plastik melalui proses pirolisis atau gasifikasi merupakan sebuah metode mengubah plastik menjadi bahan bakar alternatif yang lebih bersih (Iswadi et al., 2017). Inovasi teknologi pirolisis ini memberikan solusi untuk krisis energi global sebagai salah satu langkah mendukung transisi menuju sumber energi berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Nurdiansah & Kasiwi, 2020).

PROBLEM EMISI PELEBURAN LIMBAH PLASTIK

Senyawa Organik Volatil (VOC)

Pengolahan limbah plastik melalui proses peleburan menghasilkan sejumlah besar senyawa organik volatil (VOC) termasuk benzena, toluena, dan formaldehida (Rachmawati & Herumurti, 2015). Karakteristik emisi VOC dipengaruhi oleh jenis plastik yang diproses, suhu operasi, dan kondisi pembakaran (Rudend & Hermana, 2021). Plastik yang mengandung aditif atau bahan kimia tertentu cenderung melepaskan VOC dalam jumlah lebih besar (Sidik, 2018).

Senyawa organik volatil (VOC) selain berdampak pada kesehatan manusia juga merusak ekosistem secara keseluruhan (Yamindago et al., 2024). VOC yang dilepaskan ke atmosfer dapat menyebabkan hujan asam, yang merusak tanah, air, dan vegetasi. Pembentukan ozon troposfer akibat reaksi VOC dengan NO_x dapat menghambat fotosintesis pada tanaman, mengurangi hasil pertanian dan merusak keanekaragaman hayati. Pengurangan emisi VOC melalui pendekatan holistik,

termasuk penggunaan bahan bakar bersih, teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan dan regulasi yang lebih ketat (He et al., 2015).

Senyawa Organik Volatil (VOC) yang bereaksi dengan nitrogen oksida (NO_x) di bawah sinar matahari menjadi penyebab utama pembentukan ozon troposfer dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan penyakit kardiovaskular pada manusia (Handayani et al., 2023). Emisi VOC dari proses peleburan plastik berkontribusi signifikan terhadap penurunan kualitas udara sehingga diperlukan pengendalian emisi VOC melalui teknologi filtrasi dan regulasi yang ketat sangat diperlukan untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Ren et al., 2024).

Paparan jangka panjang terhadap Senyawa Organik Volatil (VOC) seperti benzena, toluena, dan formaldehida dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius (Yavari et al., 2018). Benzena menjadi bahan karsinogenik bagi manusia dapat meningkatkan risiko leukemia dan gangguan darah lainnya. Formaldehida menyebabkan iritasi mata, hidung dan tenggorokan, serta kerusakan sistem saraf pusat jika terhirup dalam konsentrasi tinggi (Lu et al., 2020).

Mitigasi emisi VOC dapat dicapai melalui berbagai strategi, termasuk penggunaan teknologi filtrasi canggih seperti adsorben karbon aktif dan sistem scrubber basah (Xueyang et al., 2017). Penerapan teknologi pembakaran termal bisa digunakan untuk menghilangkan VOC dengan cara mengubahnya menjadi CO₂ dan air (Lewandowski, 2017). Penggunaan bahan baku alternatif yang rendah VOC seperti plastik daur ulang berkualitas tinggi dapat mengurangi emisi secara signifikan dimana kombinasi teknologi filtrasi, pengendalian proses dan regulasi lingkungan yang ketat adalah kunci untuk mengurangi dampak negatif VOC terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Enfrin & Giustozzi, 2022).

Dioksin dan Furan

Dioksin dan furan dapat bersumber dari pembakaran limbah plastik yang mengandung klorin seperti PVC dengan proses pembakaran tidak sempurna pada suhu rendah (Purnawan, 2024). Proses pembakaran yang optimal dengan suhu tinggi dan menggunakan teknologi filtrasi dapat mengurangi emisi dioksin dan furan yang menyebar ke lingkungan melalui udara,

partikulat dan abu sisa pembakaran (Warlina, 2015).

Senyawa ini sulit terurai secara alami dan memiliki sifat persisten di lingkungan karena dapat bertahan selama bertahun-tahun. Sifat lipofilik yang dimiliki oleh senyawa ini memungkinkan mereka menumpuk dalam jaringan lemak organisme hidup. Dioksin dan furan dapat menyebar melalui udara, air dan tanah sehingga risiko terpapar menjadi lebih luas bagi manusia dan ekosistem (Zhou et al., 2015). Dioksin dan furan yang terakumulasi dalam rantai makanan terutama pada organisme yang berada di puncak rantai makanan seperti ikan, unggas dan produk hewani lainnya dalam jangka panjang menyebabkan gangguan hormonal, imunologis serta reproduksi pada manusia dan hewan (Efrizal, 2022). Salah satu jalur utama paparan bagi manusia adalah mengkonsumsi makanan yang terkontaminasi dioksin dan furan sehingga penting untuk memantau kualitas pangan dan lingkungan secara ketat (Witza, 2017).

Senyawa Dioksin dan furan ini juga dapat mengganggu fungsi hormon dalam tubuh diketahui sebagai endokrin disruptor. Senyawa dioksin dan furan memiliki risiko lebih tinggi bila terpapar pada kelompok rentan seperti anak-anak, ibu hamil dan pekerja industri pengolahan limbah sehingga diperlukan langkah-langkah mitigasi yang tepat seperti penggunaan teknologi filtrasi canggih dan pengendalian proses pembakaran untuk melindungi kesehatan manusia (Fukushi et al., 2016).

Mitigasi emisi dioksin dan furan dapat dicapai melalui berbagai teknologi canggih, seperti filter karbon aktif, scrubber basah, dan sistem pembakaran termal dengan suhu tinggi. Teknologi ini efektif dalam menangkap dan menguraikan senyawa organoklorin sebelum dilepaskan ke lingkungan (Dahy, 2023). Penelitian lain juga menyarankan penerapan prinsip ekonomi sirkular, seperti daur ulang plastik dan penggunaan bahan alternatif bebas klorin, untuk mengurangi pembentukan dioksin dan furan (EPA, 2019). Kombinasi teknologi filtrasi, regulasi lingkungan, dan pendekatan preventif adalah kunci untuk mengurangi dampak negatif dioksin dan furan (Lopes et al., 2015).

Karbon Monoksida (Co)

Karbon Monoksida (CO) bisa terbentuk sebagai hasil dari pembakaran tidak sempurna bahan organik maupun non organik, termasuk plastik, kayu, dan bahan bakar fosil (Arifin & Rahman,

2024). CO mampu mengikat dengan kuat hemoglobin dalam darah sehingga mampu mengurangi kapasitas darah untuk membawa oksigen ke seluruh tubuh (Dengo et al., 2018). Gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan sangat beracun ini jika terpapar dalam konsentrasi rendah dapat menyebabkan sakit kepala, pusing dan kelelahan, sementara paparan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan keracunan serius hingga kematian (Nañagas et al., 2022).

Pengendalian emisi CO melalui teknologi filtrasi dan optimasi proses pembakaran sangat penting untuk mengurangi dampaknya terhadap lingkungan dikarenakan CO dapat bereaksi dengan senyawa lain di atmosfer untuk membentuk ozon troposfer, yang merupakan komponen utama smog perkotaan. (Seigneur, 2019). Penggunaan alarm CO di area risiko tinggi seperti fasilitas peleburan limbah plastik diperlukan sebagai deteksi dini keberadaan CO untuk mencegah paparan gas berbahaya ini (Christensen et al., 2020).

Mitigasi emisi Karbon Monoksida (CO) dapat menggunakan teknologi canggih seperti sistem pembakaran termal dengan suhu tinggi, filter katalitik dan scrubber basah yang efektif dalam menguraikan CO menjadi senyawa yang lebih aman seperti CO₂ dan air (Damayanti & Hendrasarie, 2025). kombinasi teknologi filtrasi, regulasi lingkungan dan pelatihan keselamatan kerja adalah kunci untuk mengurangi risiko paparan CO (C. Li et al., 2024).

Partikulat Halus (PM10 dan PM2.5)

Aktivitas industri seperti pembakaran limbah plastik, kendaraan bermotor dan pembangkit listrik tenaga batubara selalu menghasilkan partikulat halus (PM10 dan PM2.5) (Gobel et al., 2023). Partikulat halus yang mengandung senyawa beracun seperti karbon hitam dan logam berat dari proses peleburan limbah plastik dapat bertahan lama di atmosfer dan mencemari udara (Kurniawan, 2019). Partikulat halus dapat menyebar ke wilayah yang lebih luas melalui angin sehingga meningkatkan risiko paparan bagi populasi yang lebih besar (Y. Li et al., 2022).

Partikulat halus seperti PM10 dan PM2.5 dengan diameter yang sangat kecil dapat menembus jauh ke dalam paru-paru dan bahkan masuk ke aliran darah (Suhartawan & MT, 2024). PM2.5 lebih berbahaya dibandingkan PM10 dengan diameter kurang dari 2.5 mikrometer memiliki kemampuan untuk menembus sistem pernapasan lebih dalam

(Marpaung, 2012). Partikulat halus yang dihasilkan juga mengandung senyawa kimia beracun seperti logam berat dan senyawa organik volatil yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan seperti asma, bronchitis dan penyakit kardiovaskular. Partikulat halus berkontribusi signifikan terhadap penurunan kualitas udara (Amin et al., 2024).

Partikulat halus (PM10 dan PM2.5) juga bisa merusak ekosistem secara keseluruhan (Marpaung, 2012). Penyebaran partikulat halus yang mengandung logam berat dan senyawa kimia beracun ke tanah dan air menyebabkan pencemaran lingkungan (Nurhamiddin & Ibrahim, 2018). Partikulat halus juga dapat memengaruhi pembentukan awan dan radiasi matahari sehingga mempengaruhi perubahan iklim. Penurunan kualitas udara akibat partikulat halus dapat menghambat fotosintesis pada tanaman, mengurangi hasil pertanian dan merusak keanekaragaman hayati (Neo et al., 2022).

Mitigasi emisi partikulat halus (PM10 dan PM2.5) dilakukan dengan penerapan teknologi filtrasi canggih seperti filter elektrostatik (ESP), scrubber basah dan sistem penangkap partikulat lainnya. Teknologi yang mampu menangkap partikulat halus sebelum dilepaskan ke atmosfer efektif mengurangi dampak terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Fadilah et al., 2024). Penerapan prinsip ekonomi sirkular seperti daur ulang plastik dan penggunaan bahan alternatif ramah lingkungan untuk mengurangi pembentukan partikulat halus yang dikombinasikan dengan teknologi filtrasi, regulasi lingkungan dan pendekatan preventif adalah kunci untuk mengurangi dampak negatif partikulat halus (Asif et al., 2022).

PERKEMBANGAN PENERAPAN TEKNOLOGI FILTRASI UNTUK REDUKSI EMISI

Filter HEPA (High Efficiency Particulate Air) Filter HEPA merupakan salah satu teknologi filtrasi paling efektif untuk menangkap partikulat halus termasuk PM2.5 dengan efisiensi hingga 99,97% (Bhakti et al., 2023). Filter ini bekerja dengan menyaring partikel berukuran sangat kecil melalui serat mikroskopis yang dirancang khusus. Penggunaan Filter HEPA dalam industri pengolahan limbah plastik dengan pemeliharaan rutin untuk menjaga performanya terutama dalam kondisi operasi dengan tingkat polusi tinggi dapat secara signifikan mengurangi emisi

partikulat halus yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Diao & Yang, 2021).

Serat Alami Sebagai Filter HEPA

Serat alami seperti serabut kelapa, kapas dan wol sangat baik sebagai bahan filtrasi berkat struktur mikroporusnya yang efisien dalam menjebak partikel halus. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa serat kelapa yang dimodifikasi dapat mencapai efisiensi penyaringan lebih dari 90% untuk partikel PM_{2.5} (Souzandeh et al., 2019). Serat alami ini memiliki keunggulan biaya yang rendah dengan sifat biodegradabel serta ketersediaan yang melimpah menjadikannya alternatif ideal untuk aplikasi lingkungan yang berkelanjutan (Siagian & Putra, 2024).

Filter Karbon Aktif

Pemanfaatan karbon aktif sebagai filtrasi dapat menyerap senyawa organik volatil (VOC) dan bau tidak sedap yang dihasilkan selama proses peleburan plastik bekerja sangat efektifitas. Karbon aktif memiliki struktur pori-pori yang luas memungkinkannya menangkap molekul VOC seperti benzena, toluene dan formaldehida dengan efisiensi tinggi. Karbon aktif dapat digunakan sebagai bagian dari sistem filtrasi multi tahap untuk meningkatkan efektivitas pengendalian emisi dengan melakukan regenerasi atau penggantian karbon aktif secara berkala untuk menjaga kapasitas adsorpsinya (Pui et al., 2019).

Karbon Aktif dari Bahan Alami

Karbon aktif bisa dibuat dari bahan alami tempurung kelapa dan bambu yang memiliki keunggulan signifikan dalam mengatasi masalah polusi udara (Fransiska, 2022). Karbon aktif ini memiliki luas permukaan yang sangat tinggi berkisar antara 500 hingga 1500 m²/g menjadikannya efektif dalam menyerap partikel halus serta gas beracun seperti senyawa organik volatil (VOC) dan dioksin hingga 85–98% untuk partikel berukuran PM_{2.5} (Rampe et al., 2022).

Scrubber Basah Berbasis Alkali

Kamal et al., 2024 melakukan inovasi penggunaan scrubber basah berbasis alkali merupakan teknologi filtrasi yang efektif untuk menetralkan gas asam seperti HCl dan SO_x serta senyawa berbahaya seperti dioksin dan furan. Teknologi yang memerlukan perawatan sistematis untuk mencegah penyumbatan dan korosi pada peralatan ini bekerja dengan menyemprotkan larutan alkali (seperti NaOH) ke dalam aliran gas buang untuk membentuk senyawa netral yang lebih aman sehingga mengurangi emisi gas berbahaya. (Noel, 2010).

Scrubber Basah Berbasis Alkali dari Bahan Alami

Sabut kelapa (coconut coir) yang direndam dalam larutan kapur (Ca(OH)₂) menghasilkan sebuah filter basah alkali yang efektif untuk mengatasi polusi udara (Grace, 2016). Proses ini dimulai dengan merendam sabut kelapa yang berpori dalam larutan kapur yang kemudian menciptakan reaksi kimia yang menghasilkan lingkungan alkali di dalam pori-pori sabut. Sabut kelapa yang telah direndam ini tidak hanya berfungsi sebagai media penyaring yang menjadi scrubber basah beralkali efektif mengurangi emisi polutan di udara dan memberikan solusi yang ramah lingkungan untuk masalah pencemaran (Candra et al., 2024).

Teknologi lainnya juga dipublikasikan oleh Pujiriansyah & Hadi, 2024, dengan penerapan katalis oksidasi, merupakan teknologi canggih melalui proses oksidasi katalitik yang efektif dalam mengurangi emisi senyawa organik volatil (VOC) dan karbon monoksida (CO). Proses ini memerlukan biaya awal instalasi dan pemeliharaan teknologi relatif tinggi dengan melibatkan penggunaan katalis logam mulia seperti platinum (Pt) atau paladium (Pd) untuk mempercepat reaksi kimia yang mengubah VOC dan CO menjadi CO₂ dan air yang dapat digunakan pada suhu rendah hingga sedang dan sangat sesuai pada industri peleburan plastik. (Guo et al., 2021).

MODEL FILTRASI KOMBINASI

Integrasi beberapa teknologi filtrasi seperti Filter HEPA, karbon aktif, scrubber basah dan katalis oksidasi dapat memberikan solusi komprehensif untuk mengendalikan emisi dari proses peleburan plastik. Kombinasi teknologi ini dapat menangani berbagai jenis polutan secara bersamaan, termasuk partikulat halus, VOC, gas asam, dan senyawa beracun seperti dioksin. Perancangan dan rekayasa sistem filtrasi yang disesuaikan dengan karakteristik emisi spesifik dari setiap fasilitas pengolahan limbah plastik perlu dilakukan secara komprehensif. Dengan pendekatan integratif ini, emisi dapat dikurangi secara signifikan sambil memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan (Alaghemandi, 2024). Metode filtrasi sebagai mitigasi emisi dengan memanfaatkan bahan-bahan alami yang tersedia bisa dilihat pada table 2.

Tabel 1. Berbagai jenis emisi, sumber dan dampak pada proses peleburan limbah plastik

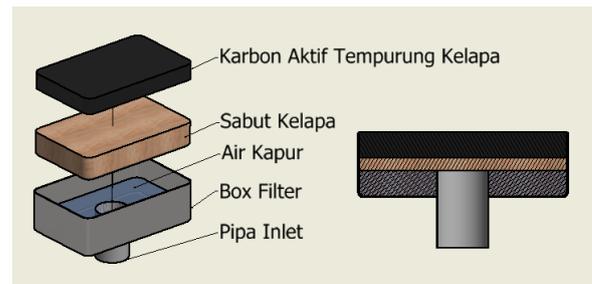
No	Jenis Emisi	Sumber	Dampak Kesehatan	Dampak Lingkungan
1	Senyawa Organik Volatil (VOC) benzena, toluena, dan formaldehida	-Proses peleburan /pembakaran plastik yang tidak sempurna -Pembakaran plastik yang mengandung aditif atau bahan kimia tertentu	-Leukimia -Gangguan gula darah -Iritasi mata, hidung dan tenggorokan -Kerusakan syaraf	-Menyebabkan hujan asam, yang merusak tanah, air, dan vegetasi -Pembentukan ozon troposfer -menghambat fotosintesis pada tanaman -merusak keanekaragaman hayati
2	Dioksin dan Furan	-Pembakaran limbah plastik yang mengandung klorin seperti PVC dengan proses pembakaran tidak sempurna pada suhu rendah	-Imunologis serta reproduksi pada manusia dan hewan -Mengganggu fungsi hormon dalam tubuh diketahui sebagai endokrin disruptor -Sifat lipofilik yang dimiliki oleh senyawa ini memungkinkan mereka menumpuk dalam jaringan lemak organisme hidup	-Sulit terurai secara alami -Memiliki sifat persisten di lingkungan karena dapat bertahan selama bertahun-tahun
3	Karbon Monoksida (Co)	-bisa terbentuk sebagai	-CO mampu mengikat dengan	-Membentuk ozon troposfer

		hasil dari pembakaran tidak sempurna bahan organik maupun non organik, termasuk plastik, kayu, dan bahan bakar fosil	kuat hemoglobin dalam darah sehingga mampu mengurangi kapasitas darah untuk membawa oksigen ke seluruh tubuh -Menyebabkan sakit kepala, pusing dan kelelahan -Menyebabkan keracunan serius hingga kematian	
4	Partikulat Halus (PM10 dan PM2.5)	-Aktivitas industri seperti pembakaran limbah plastik, kendaraan bermotor dan pembangkit listrik tenaga batubara	-Dengan diameter yang sangat kecil dapat menembus jauh ke dalam paru-paru dan bahkan masuk ke aliran darah -Menyebabkan gangguan pernapasan seperti asma, bronchitis dan penyakit kardiovaskular	-Mengandung karbon hitam dan logam berat dari proses peleburan limbah plastik dapat bertahan lama di atmosfer dan mencemari udara -Partikulat halus dapat menyebar ke wilayah yang lebih luas melalui angin sehingga meningkatkan risiko paparan bagi populasi yang lebih besar -Partikulat halus berkontribusi signifikan terhadap

				penurunan kualitas udara -Penyebaran partikulat halus yang mengandung logam berat dan senyawa kimia beracun ke tanah dan air menyebabkan pencemaran lingkungan -Penurunan kualitas udara akibat partikulat halus dapat menghambat fotosintesis pada tanaman, mengurangi hasil pertanian dan merusak keanekaragaman hayati
--	--	--	--	---

		larutan kapur (Ca(OH) ₂)	
--	--	--------------------------------------	--

Kombinasi dari ketiga metode filtrasi tersebut akan menghasilkan sebuah filter emisi yang efektif untuk diterapkan pada pengolahan limbah plastik dengan proses peleburan maupun pembakaran. Model filtrasi berbahan alami yang terdiri dari Air kapur, Sabut Kelapa dan Karbon Aktif Tempurung Kelapa ini Penulis menyebutnya dengan model Filtrasi AIRPUSAKA. Model filtrasi Airpusaka ini selain efektif dalam penyerapan emisi juga memiliki keunggulan lain dari sisi ekonomi mengingat model filtrasi ini terbuat dari bahan-bahan alami yang tersedia melimpah bahkan tidak termanfaatkan secara optimal. Rancangan awal dari model filtrasi Airpusaka ini bisa dilihat pada Gambar1.



Gambar1. Rancangan awal (*preliminary design*) model filter alami ramah lingkungan kombinasi dari Air Kapur, Sabut kelapa dan Karbon Aktif Tempurung Kelapa AIRPUSAKA sebagai reduktor emisi pembakaran limbah plastik.

Tabel 2. Metode filtrasi dan bahan alami potensial sebagai filter untuk mereduksi emisi yang ramah lingkungan.

No	Metode Filtrasi	Bahan Alami yang Bisa dijadikan Filter	Fungsi/kelebihan
1	Filter HEPA (High Efficiency Particulate Air)	Serat alami sabut kelapa, kapas dan Wol	menyaring partikel berukuran sangat kecil melalui serat mikroskopis dengan efisiensi lebih dari 90%
2	Karbon Aktif	Bahan alami tempurung kelapa dan bambu	Menyerap senyawa organik volatil dan bau tidak sedap
3	Scrubber Basah Berbasis Alkali	Sabut kelapa (coconut coir) yang direndam dalam	Menetralkan gas asam dan senyawa berbahaya seperti dioksin

IMPLIKASI DAN REKOMENDASI

Implikasi Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam mengurangi dampak lingkungan dan kesehatan akibat proses pengolahan dan peleburan limbah secara berkelanjutan. Pemanfaatan bahan alami dari air kapur, sabut kelapa dan arang tempurung kelapa yang dikenal dengan model filtrasi AIRPUSAKA ini berpotensi besar sebagai solusi teknologi ramah lingkungan yang ekonomis serta mudah diterapkan di tingkat local seperti industri daur ulang plastik kecil-menengah.

Model filtrasi AIRPUSAKA dapat menjadi alternatif sebagai pengganti sistem filtrasi udara berbasis teknologi tinggi yang umumnya mahal dan kompleks. Pemanfaatan limbah organik seperti sabut kelapa dan tempurung kelapa yang sebelumnya tidak memiliki nilai ekonomi

signifikan dapat mendorong prinsip ekonomi sirkular dengan penerapan model ini.

Rekomendasi

1. Penerapan model filtrasi AIRPUSAKA disisarkan agar industri daur ulang plastik skala kecil hingga menengah mulai mengadopsi teknologi filtrasi berbasis bahan alami seperti ini untuk mengurangi emisi polutan udara.
2. Peningkatan kapasitas teknis Industri seperti sosialisasi dan penyuluhan kepada pelaku usaha daur ulang plastik terkait cara perawatan dan optimalisasi sistem filtrasi udara.
3. Pengembangan riset lanjutan dan uji coba lapangan diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas model AIRPUSAKA dalam kondisi nyata dan menilai kemungkinan pengembangan lebih lanjut termasuk regenerasi atau penggantian media filtrasi.
4. Regulasi lingkungan dari pemerintah daerah dan pusat memberikan dorongan untuk menentukan standar emisi udara dalam regulasi pengelolaan limbah plastik serta memberikan insentif bagi industri yang menggunakan teknologi filtrasi ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Proses peleburan limbah plastik selalu menghasilkan berbagai jenis emisi berbahaya seperti senyawa organik volatil (VOC), dioksin, furan, karbon monoksida (CO) serta partikulat halus (PM_{2.5} dan PM₁₀). Emisi-emisi tersebut dapat berdampak terhadap kesehatan manusia dan lingkungan seperti gangguan pernapasan, keracunan neurologis, hingga pencemaran tanah dan air.

Kombinasi teknologi filtrasi seperti HEPA filter, karbon aktif dan scrubber basah berbasis larutan alkali merupakan salah satu metode yang efektif untuk mereduksi emisi hasil peleburan limbah plastik namun memiliki keterbatasan dalam produksi untuk usaha industri kecil yang memerlukan biaya tinggi.

Solusi inovatif dan berkelanjutan dengan model filtrasi udara berbahan alami "AIRPUSAKA" yang terdiri atas campuran air kapur, sabut kelapa, dan karbon aktif tempurung kelapa merupakan produk yang ramah lingkungan, murah dan mudah dibuat dengan bahan-bahan lokal, Solusi efektif dalam menyerap berbagai jenis polutan udara.

Filtrasi AIRPUSAKA ini layak dipertimbangkan dan dikembangkan sebagai alternatif teknologi filtrasi udara dalam industri daur ulang plastik

terutama di wilayah pedesaan dan perkotaan dengan keterbatasan sumber daya. Pengembangan lebih lanjut serta implementasi secara luas akan sangat membantu dalam menjaga kualitas udara dan mendukung terciptanya lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan.

Hasil kajian ini memiliki keterbatasan, diantaranya belum diketahui seberapa besar kemampuan produk AIRPUSAKA mereduksi emisi dalam penerapan skala industri kecil. Termasuk optimasi desain sistem filtrasi, evaluasi kemampuan regenerasi media filtrasi, serta pengujian kinerja dalam skala pilot untuk memastikan aplikabilitas dan efisiensinya dalam mengurangi emisi udara pada industri daur ulang plastik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan artikel ini. Terima kasih kepada Universitas Maritim Raja Ali Haji khususnya Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana yang telah memberikan fasilitas dan sumber daya dalam pelaksanaan penelitian ini.

Kami juga menyampaikan apresiasi kepada para peneliti dan institusi yang hasil karyanya dikutip dalam artikel ini serta semua pihak yang turut mendukung proses penulisan dan analisis data serta reviewer dan editor jurnal sangat membantu dalam penyempurnaan naskah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Adzkie, D. A., Lesmana, R. Y., & Tawaqal, G. I. (2025). Studi Daya Tampung Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Bukit Tunggal Kota Palangkaraya. *Jurnal Teknik SILITEK*, 5(01), 181–191.
- Agnieszka, K., & Gnatowski, A. (2022). Recycling of Plastic Waste, with Particular Emphasis on Thermal Methods—Review. *Energies*, 15(6), 2114.
- Alaghemandi, M. (2024). Sustainable Solutions Through Innovative Plastic Waste Recycling Technologies. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 16, Issue 23). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
- Amin, M., Ramadhani, A. A. T., Putri, R. M., Auliani, R., Torabi, S. E., Hanami, Z. A., Suryati, I., & Bachtiar, V. S. (2024). A review of particulate matter (PM) in Indonesia: trends, health impact,

- challenges, and options. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(1), 11.
- Arifin, F. R., & Rahman, N. A. (2024). Analisis Pengaruh Emisi Zat Karbon Terhadap Kerusakan Kualitas Udara dan Pencemaran Lingkungan. *Journal Innovation In Education*, 2(1), 278–287.
- Asif, M., Atizaz, R., Haq, U., Gulfreen, E., Arshad, S., Tasleem, M. W., Rajpoot, S., Munir, S., Waseem, M., Asfand, Y. M., Sohail, M., Fatima, K., & Maqbool, M. (2022). Particulate Matter Emission Sources and Their Control Technologies. *Pollution Research*, 41, 696–706.
- Bell, L., & Takada, H. (2021). *Plastic Waste Management Hazards Waste -to- Energy, Chemical Recycling, and Plastic Fuels*.
- Bhakti, M. A. C., Lestari, T. E., & Wandy, W. (2023). Data Analysis of Indoor Air Quality with and without HEPA Filter in Air Purifier (Study Case: East Jakarta Residential Area). *E3S Web of Conferences*, 448, 03008. 02344803008
- Candra, R. N., Kusuma, A., Priyani, D. I., Wati, I. W. R., Widananda, C. W., Ikhsani, M. K., Sidik, M. F., Rustam, F., Khilian, A. M., & Suhendar, S. (2024). Inovasi ramah lingkungan: Mengubah limbah sabut kelapa menjadi solusi yang berkelanjutan. *Jurnal Pembelajaran, Bimbingan, Dan Pengelolaan Pendidikan*, 4(1), 11–21.
- Choi, Y.-S., Ochirpurev, B., Chae, H.-Y., Eom, S.-Y., Kim, Y.-D., & Kim, H. (2021). *Health Risk Related to Waste Incineration. Vol.51 No.2*.
- Christensen, G. M., Creswell, P. D., Theobald, J., & Meiman, J. G. (2020). Carbon Monoxide Detector Effectiveness in Reducing Poisoning, Wisconsin 2014–2016. *Clinical Toxicology*, 58(12), 1335–1341.
- Dahy, F. (2023). The Promising Protective Effect of Locust Bean against Hepatotoxicity of Dioxins and Dioxin Like Compounds. *Frontiers in Scientific Research and Technology*, 0(0).
- Damayanti, S. R., & Hendrasarie, N. (2025). Efektivitas Absorben Kimia pada Wet Scrubber untuk Menurunkan Emisi CO dan CO₂. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(1).
- Dengo, M. R., Suwondo, A., & Suroto, S. (2018). Hubungan Paparan Co Terhadap Saturasi Oksigen dan Kelelahan Kerja pada Petugas Parkir. *Gorontalo Journal of Public Health*, 1(2), 78–84.
- Diao, Y., & Yang, H. (2021). Chapter 5 - Gas-Cleaning Technology. In H. D. Goodfellow & Y. Wang (Eds.), *Industrial Ventilation Design Guidebook (Second Edition)* (pp. 279–371). Academic Press.
- Efrizal, W. (2022). Dampak Cemarkan Dioksin Bagi Keadaan Gizi Dan Kesehatan: Literature Review. *Jurnal Kesehatan Lingkungan: Jurnal Dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 19(1), 23–30.
- Enfrin, M., & Giustozzi, F. (2022). Recent Advances in the Construction of Sustainable Asphalt Roads with Recycled Plastic. In *Polymer International* (Vol. 71, Issue 12).
- EPA, 2007. (2019). Environmental Management of Landfill Facilities Solid Waste Disposal. In *Environmental Protection Agency*.
- Erika, E., & Gusmira, E. (2024). Analisis Dampak Limbah Sampah Rumah Tangga Terhubung Pencemaran Lingkungan Hidup. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 3(3), 90–102.
- Fadilah, M. Y., Irawadi, I., Akbar, M. F., Oktavian, A. F., & Islami, L. A. (2024). Rancangan Insenerator Pembakar Sampah Upaya Menanggulangi Tumpukan Sampah di Desa Cisolak. *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Pemberdayaan, Inovasi Dan Perubahan*, 4(4).
- Fransiska, E. (2022). *Sintesis Komposit Cu/Cuo-Cu₂o/Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Katalis Konversi Isopropanol*.
- Fukushi, J. ichi, Tokunaga, S., Nakashima, Y., Motomura, G., Mitoma, C., Uchi, H., Furue, M., & Iwamoto, Y. (2016). Effects of Dioxin-Related Compounds on Bone Mineral Density in Patients Affected by the Yusho Incident. *Chemosphere*, 145.
- Gobel, F. F., Mahlia, A., Luthfian, R. Y., Sukwika, T., Purwaningrum, S. D., Mawli, R. E., Anggraeni, P. D., Krisdianto, K., Nurfianti, N., & Agustin, N. C. (2023). *Kesehatan dan Lingkungan*.
- Grace, M. A. (2016). *Development of Filtration Technologies for Effective, Cost-Efficient and Robust Water Treatment*.
- Guo, Y., Wen, M., Li, G., & An, T. (2021). Recent Advances in VOC Elimination by Catalytic Oxidation Technology onto Various Nanoparticles Catalysts: a Critical Review. *Applied Catalysis B:*

- Environmental*, 281, 119447.
- Handayani, L., Hakim, A. L., Anwar, M. Y., & Syahsiah, R. (2023). Analisis Konten Berita Pencemaran Udara di Jakarta Melalui Media Sosial Instagram Mengingat Kesadaran Masyarakat Jakarta. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Ilmu Sosial (SNIIS)*, 2, 1215–1226.
- He, Z., Li, G., Chen, J., Huang, Y., An, T., & Zhang, C. (2015). Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds Emitted from Different Plastic Solid Waste Recycling Workshops. *Environment International*, 77, 85–94.
- Hidayat, E. (2020). Strategi Pengelolaan Sampah Sebagai Upaya Peningkatan Pengelolaan Sampah di Era Otonomi Daerah. *Asas*, 12(2), 68–79.
- Iswadi, D., Nurisa, F., & Liastuti, E. (2017). Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(2), 1–9.
- Kader, M. A., Herlina, E., & Setianingsih, W. (2021). Pengelolaan Sampah Plastik Menjadi Paving Block Sebagai Prospek Bisnis pada Masyarakat Pra Sejahtera. *Abdimas Galuh*, 3(1), 102–113.
- Kanan, D. L. (2021). Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Menggunakan Metode Ecobrick di Desa Luwuk Kanan. *Jurnal Solma*, 10(03), 469–477.
- Kurniawan, A. (2019). *Dasar-Dasar Analisis Kualitas Lingkungan*.
- Kusnaedi, I. (2018). *Eksplorasi Sampah Plastik Menggunakan Metode 'Heating' untuk Produk Pakai*. <http://eprints.itenas.ac.id/id/eprint/249>
- Lensari, D., Rosianty, Y., Paridawati, I., & Ideliastuti, I. (2024). Daur Ulang Sampah Plastik Menjadi Produk Bernilai Dalam Mendukung Kelestarian Lingkungan. *Jurnal Agro Dedikasi Masyarakat (JADM)*, 5(1), 28–33.
- Lestari, B., Yumni, A., Ramadhani, C., Putri, F. A., Salsabila, N. S., Purba, N. H., Fadhillah, S., A., Simanjuntak, S. R. W., & Syahfitri, Y. (2024). Pemanfaatan Limbah Plastik Melalui Inovasi Ecobricks di Desa Setia Tawar Barat. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara (JPMN)*, 4(2), 106–112.
- Lewandowski, D. A. (2017). Design of Thermal Oxidation Systems for Volatile Organic Compounds. In *Design of Thermal Oxidation Systems for Volatile Organic Compounds*.
- Li, C., Qin, S., Wang, X., Zhu, T., Song, J., Zhao, R., & Xu, W. (2024). Reduction of Carbon Emission in Iron Sintering Process Based on Hot Air Sintering Technology. *Journal of Cleaner Production*, 471, 143403.
- Li, Y., Zhu, B., Lei, Y., Li, C., Wang, H., Huang, C., Zhou, M., Miao, Q., Wei, H., Wu, Y., Zhang, X., Ding, H., Yang, Q., Zou, Q., Huang, D., Ge, X., & Wang, J. (2022). Characteristics, Formation, and Sources of PM_{2.5} in 2020 in Suzhou, Yangtze River Delta, China. *Environmental Research*, 212, 113545.
- Lopes, E. J., Okamura, L. A., & Yamamoto, C. I. (2015). Formation of Dioxins and Furans During Municipal Solid Waste Gasification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32(1).
- Loxham, M., Davies, D. E., & Holgate, S. T. (2019). The Health Effects of Fine Particulate Air Pollution. In *Bmj* (Vol. 367). British Medical Journal Publishing Group.
- Lu, P. C. W., Shahbaz, S., & Winn, L. M. (2020). Benzene and its Effects on Cell Signaling Pathways Related to Hematopoiesis and Leukemia. In *Journal of Applied Toxicology* (Vol. 40, Issue 8).
- Majida, A. Z., Muzaki, A., Karomah, K., & Awaliyah, M. (2023). Pemanfaatan Sampah Plastik dengan Metode Ecobrick Sebagai Upaya Mengurangi Limbah Plastik. *Profetik: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(01), 49–62.
- Marpaung, Y. M. (2012). Pengaruh Paparan Debu Respirable PM_{2.5} Terhadap Kejadian Gangguan Fungsi Paru Pedagang Tetap di Terminal Terpadu Kota Depok Tahun 2012. *Skripsi. Universitas Indonesia*.
- Nañagas, K. A., Penfound, S. J., & Kao, L. W. (2022). Carbon Monoxide Toxicity. In *Emergency Medicine Clinics of North America* (Vol. 40, Issue 2).
- Neo, E. X., Hasikin, K., Mokhtar, M. I., Lai, K. W., Azizan, M. M., Razak, S. A., & Hizaddin, H. F. (2022). Towards Integrated Air Pollution Monitoring and Health Impact Assessment Using Federated Learning: A Systematic

- Review. *Frontiers in Public Health*, 10.
- Noel, de, N. (2010). *Air Pollution Control Engineer* (Second Edition). Waveland Press, Inc.
- Nurdiansah, T., & Kasiwi, A. (2020). Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) sebagai solusi permasalahan sampah perkotaan; studi kasus di kota Surabaya. *ENVIROTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 12(1), 87–92.
- Nurhadi, N., Andira, A., Damayanti, M., & Nugroho, D. H. (2024). Penggunaan Material Limbah untuk Pembangunan Berkelanjutan pada Kontruksi Jalan Raya. *Jurnal Daktilitas*, 4(2), 74–82.
- Nurhamiddin, F., & Ibrahim, M. H. (2018). Studi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Sedimen Laut di Pelabuhan Bastiong Kota Ternate Propinsi Maluku Utara. *Dintek*, 11(1), 41–55.
- Prasetyadi, P., Wiharja, W., & Wahyono, S. (2018). Teknologi Penanganan Emisi Gas dari Insinerator Sampah Kota. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 11(2).
- Pui, W. K., Yusoff, R., & Aroua, M. K. (2019). *A Review on Activated Carbon Adsorption for Volatile Organic Compounds (VOCs)*. 35(5), 649–668.
- Pujiriansyah, I., & Hadi, S. (2024). Pengaruh Katalis Pelat Tembaga Untuk Mengurangi Emisi Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) Pada Kendaraan Roda Dua. *Journal of Creative Student Research*, 2(4), 146–153.
- Purnawan, B. (2024). Optimalisasi Pemusnahan Barang Bad Stock menggunakan Insinerator Sederhana pada CV. TJU. *Jurnal Teknologi Dan Sains Modern*, 1(3), 85–93.
- Putranto, P. (2023). Prinsip 3R: Solusi Efektif untuk Mengelola Sampah Rumah Tangga. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3(5), 8591–8605.
- Rachmawati, Q., & Herumurti, W. (2015). Pengolahan Sampah Secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), 27–29.
- Rahmatullah, S., & Verawati, N. N. S. P. (2024). Pengelolaan Sampah Plastik dengan Metode Ecobrick sebagai Upaya Mendukung SDGs ke-12: Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab. *Jurnal Wicara Desa*, 2(6), 536–542.
- Rampe, M. J., Lombok, J. Z., & Tiwow, V. A. (2022). *Sifat Fisik Arang Tempurung Kelapa: Analisis FTIR, SEM-EDS, dan TG-DTA*. Penerbit NEM.
- Ren, Y., Guan, X., Peng, Y., Gong, A., Xie, H., Chen, S., Zhang, Q., Zhang, X., Wang, W., & Wang, Q. (2024). Characterization of VOC Emissions and Health Risk Assessment in the Plastic Manufacturing Industry. *Journal of Environmental Management*, 357, 120730.
- Rosmainar, L., Tukan, D. N., & Deviyanti, M. (2021). Perbandingan Plastik Dari Material-Material Bioplastik. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 3(1), 19–28.
- Roychand, R., Zafar, M. A., Jacob, M., & Ngo, T. (2025). A Comprehensive Review on the Thermochemical Treatment of Plastic Waste to Produce High Value Products for Different Applications. *Materials Circular Economy*, 7(1), 3.
- Rudend, A. J., & Hermana, J. (2021). Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), D124–D130.
- Salsabella, A., Widiyanti, A., & Dani, R. (2023). Studi Pemilahan Sampah Domestik di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Tambakrejo Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1), 1–7.
- Seigneur, C. (2019). Emissions of Air Pollutants and Emission Control Technologies. In *Air Pollution*.
- Siagian, D. E. N., & Putra, M. H. S. (2024). Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan. *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(1), 55–60.
- Sidik, R. (2018). Studi Pengaruh Penambahan Polypropylene dan Low Density Polyethylene Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Wood Plastic Composite untuk Aplikasi Genteng Ramah Lingkungan. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Sopyan, D., & Suryadi, D. (2020). Perancangan Mesin Pencacah Plastik Kapasitas 25 Kg. *Jurnal Media Teknologi*, 6(2), 213–222.
- Souzandeh, H., Wang, Y., Netravali, A. N., & Zhong, W. H. (2019). Towards Sustainable and Multifunctional Air-Filters: A Review on Biopolymer-Based

- Filtration Materials. In *Polymer Reviews* (Vol. 59, Issue 4, pp. 651–686). Taylor and Francis Inc.
- Suhartawan, B., & MT, M. (2024). Kualitas Udara. *Pengantar Teknik Lingkungan*, 15.
- Syarif, R., Malik, A. J., Syahnur, K. N. F., Fitriyani, F., Riana, M. A., & Arifin, I. (2022). Pengenalan Konsep Ekonomi Sirkular Melalui Webinar “Ekonomi Sirkular: Solusi Masalah Persampahan di Indonesia.” *Celebes Journal Of Community Services*, 1(1), 28–35.
- Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., & Gowda, A. N. S. (2016). Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 701–708.
- Vitasari. (2024). *Efektivitas Pengolahan Sampah Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ganet Kota Tanjungpinang*. Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Warlina, L. (2015). A Dynamic Model of the Pollution Impact of Dioxin/furan on the Environment, Society and Economy. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 198.
- Witcza, A. (2017). Dioxins and Dioxin-Like Compounds in Food. In *Toxins and Other Harmful Compounds in Foods*.
- Xueyang, Z., Gao, Creamer, A. E., Cao, C., & Li, Y. (2017). Adsorption of VOCs onto Engineered Carbon Materials: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 338, 102–123.
- Yamindago, A., Yona, D., & Farhaninur, A. I. (2024). Analisis Senyawa Organik Volatil di Perairan Sedati, Sidoarjo, Jawa Timur. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2), 141–152.
- Yavari, F., van, T. C., Nitsche, M. A., & Kuo, M. F. (2018). Effect of Acute Exposure to Toluene on Cortical Excitability, Neuroplasticity, and Motor Learning in Healthy Humans. *Archives of Toxicology*, 92(10).
- Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q., & Zhang, Y. (2015). A Review of Dioxin-Related Substances During Municipal Solid Waste Incineration. In *Waste Management* (Vol. 36).
- Zumira, A., & Surtikanti, H. K. (2023). Solusi Pengelolaan Sampah Plastik: Pembuatan Ecobrick di Kelurahan Agrowisata, Kota Pekanbaru, Provinsi Riau. *EcoProfit: Sustainable and Environment Business*, 1(1).