

Smart Filter Industri Pengolahan Sampah AETHER Ekstrak Jatropha multifida Linn Terimpregnasi Adsorben Alami Berbasis Internet of Things dan Artificial Intelligence

**Edi Mustofa Yulianto¹⁾, Alvianto Nugroho²⁾, Langit Lintang Radjendra³⁾,
Muhammad Dzaky Alfarizti⁴⁾, Muhammad Fachri Mulia Tanjung¹⁾,
Herianto⁵⁾**

¹⁾Program Sarjana Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

²⁾Program Sarjana Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

³⁾Program Diploma Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

⁴⁾Program Sarjana Elektronika dan Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

⁵⁾Dosen Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Corresponding Author: Edi Mustofa Yulianto (Email: edimustofayulianto@mail.ugm.ac.id)

Abstract

Air pollution from industrial emissions has a negative impact on health and the environment in Indonesia. For this reason, an affordable and effective technology is needed to reduce industrial pollution and emissions, especially the waste treatment industry. The solution offered is a prototype of AETHER, an industrial smart filter that uses natural ingredients from the Jatropha multifida Linn plant extract which is easy to obtain and easy to grow in Indonesian climatic conditions. The extract of this plant is impregnated in zeolite and activated charcoal as adsorbents. IoT and AI technologies are used to monitor and control pollution in real-time. And filter maintenance predictions. This prototype has been proven to be effective in reducing emissions of harmful pollutants such as CO, SO₂, and NO₂ with filtration rates reaching 94-96% for CO, 57-60% for SO₂, and 40-48% for NO₂. Based on this, the AETHER prototype has the potential to be applied as a filter in industries in Indonesia to reduce air pollution from industrial emissions.

Keywords: *artificial intelligence, filter, waste treatment industrial, internet of things*

1. Pendahuluan

Polusi udara merupakan masalah krusial yang mengancam aspek lingkungan serta kesehatan global. Menurut *World Bank* tahun 2022, implikasi polusi udara yaitu kerugian ekonomi sebesar USD 1,8 triliun dari

penurunan produktivitas, kerusakan lingkungan, dan biaya kesehatan. Indonesia merupakan salah satu negara yang terdampak dengan isu polusi udara. Menurut data dari *IQAir* tahun 2021, Indonesia adalah salah satu negara dengan tingkat polusi udara tertinggi di dunia yang menempati urutan ke-17 dengan

tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ mencapai $34,3 \mu g$ per meter kubik. Hal ini juga menjadi tanda bahwa Indonesia menduduki peringkat teratas sebagai negara yang memiliki tingkat intensitas polusi tertinggi di kawasan Asia Tenggara (Sipayung, 2023).

Menurut laporan tahunan SDGs tahun 2023 sektor energi menjadi penyumbang emisi terbesar, emisi berasal dari penggunaan bahan bakar pada transportasi, manufaktur, pembangkit listrik, pemanfaatan panas, kilang minyak, dan pertambangan batu bara (Bappenas, 2023). Lebih lanjut, data Kemenperin di tahun 2023 menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca (GRK) untuk sektor industri Indonesia mencapai 238,1 juta ton CO_2 pada tahun 2022, meningkat sebesar 222,9 juta ton CO_2 dari tahun 2021. Berdasarkan klasifikasi, pemanfaatan energi untuk sektor industri menyumbang paling banyak yaitu mencapai 152,2 juta ton CO_2 atau 64 persen dari total emisi GRK industri, meningkat signifikan dari 125,1 juta ton CO_2 pada tahun 2021. Terdapat beberapa daerah tergolong kategori rawan pencemaran udara, salah satunya adalah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Konsentrasi polusi $PM_{2.5}$ di DIY pada bulan Juli 2023 melampaui ambang batas WHO yakni sebesar $15 \mu g$ per meter kubik. Peningkatan polusi udara di DIY diduga berakar dari penutupan sementara Tempat Sampah Terpadu (TPST) Piyungan yang menyebabkan warga beralih menggunakan insinerator untuk pembakaran sampah (Sunartono, 2023). Insinerator dianggap sebagai solusi praktis dan efektif di dalam mengatasi bau maupun volume sampah. Di sisi lain, insinerator juga menghasilkan asap yang mencemari udara serta mengandung berbagai zat berbahaya seperti dioksin, furan, merkuri, dan timbal. Zat-zat ini dapat menyebar ke udara dan dihirup oleh manusia maupun hewan (BARAKA, 2022).

Untuk mengurangi polusi udara, teknologi yang efisien, efektif, dan ramah lingkungan diperlukan untuk menangkap dan mengeluarkan polutan dari cerobong industri. Penggunaan adsorben alami seperti tanaman, zeolit, dan arang aktif adalah teknologi yang potensial. Zeolit dan arang aktif merupakan bahan anorganik dan organik yang memiliki

struktur berpori dan luas permukaan yang tinggi, memiliki kemampuan untuk menyerap, mengakumulasi, dan menguraikan polutan (Aziz, 2018; Ekawati, 2023). Selain itu penggunaan beberapa jenis tanaman dapat menurunkan tingkat polusi udara. Tanaman mampu mengabsorpsi beberapa jenis polutan dengan efektif, sehingga dapat berperan dalam membersihkan atmosfer dari polusi (Widagdo, 2005). Dilansir dari Ikons (2017), ide menggunakan tanaman sebagai biofilter telah dipelajari sejak tahun 1980-an dan terbukti efektif, seperti tanaman jade, *dracanea*, lili paris, bromelia dan kaktus centong. Tanaman jarak cina dikenal sebagai *Jatropha multifida Linn*, adalah tumbuhan yang umum ditemukan di banyak wilayah di Indonesia, tetapi masyarakat belum banyak memanfaatkannya. Tanaman ini mengandung *jatrophine*, toksin dari golongan toxalbumin yang dapat mengaglutinasi dan hemolisis sel darah merah, meskipun banyak manfaatnya (Yuwono, 2015). Pemanfaatan yang diijinkan sebenarnya adalah untuk obat luar non oral, seperti obat luka, gatal-gatal, infeksi dan sebagainya. Getah jarak cina (*Jatropha multifida Linn*) memberikan efek koagulan terhadap sampel darah manusia. Penambahan getah jarak cina (*Jatropha multifida Linn*) pada sampel darah terbukti efektif dalam mempercepat waktu koagulasi (Fauziah, 2017).

Implementasi zeolit dan tanaman ini dapat direalisasikan dalam suatu filter yang diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI). IoT adalah jaringan objek fisik yang terhubung ke internet dan dapat berkomunikasi serta bertukar data. Objek-objek ini, seperti sensor dan perangkat, dilengkapi dengan teknologi untuk identifikasi dan transfer data. IoT digunakan untuk analisis, pengambilan keputusan, pemantauan, kontrol, dan otomatisasi (Gillis, 2023). Dalam konteks filtrasi udara, IoT dapat dimanfaatkan untuk memantau kualitas udara secara *real-time* dan memberikan data yang diperlukan untuk pengendalian polusi yang lebih efektif dan efisien. AI adalah bidang ilmu komputer yang fokus pada menciptakan sistem atau mesin yang dapat meniru dan melampaui

kemampuan manusia, seperti belajar, berpikir, dan memecahkan masalah. Penggunaan AI dalam filtrasi udara memungkinkan sistem untuk menganalisis data yang dikumpulkan oleh sensor IoT dan memberikan prediksi serta optimalisasi kinerja filter berdasarkan data historis. Berdasarkan permasalahan tersebut prototipe ‘*Smart Filter Industri Pengolahan Sampah AETHER Ekstrak *Jatropha multifida* Linn Terimpregnasi Adsorben Alami Berbasis Internet of Things dan Artificial Intelligence*’ diciptakan untuk mengatasi hal tersebut. Tujuan utama adalah mengurangi polusi udara di lingkungan industri khususnya industri pengolahan sampah dengan pendekatan yang efisien, berkelanjutan, ramah lingkungan, dan ekonomis.

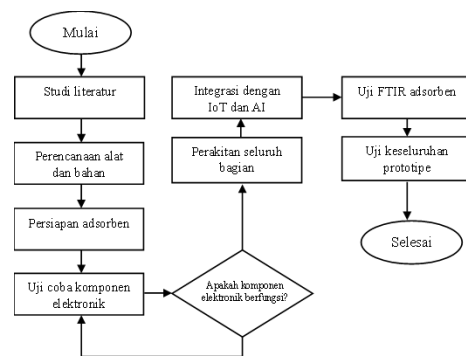
2. Metodologi

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan prototipe adalah solder, atraktor, kawat timah, *flux*, gunting, *smartphone*, dan laptop. Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan prototipe adalah tanaman *Jatropha multifida* Linn, zeolit, arang aktif, plat besi, karet anti panas, ESP32, modul MQ-7, modul MQ-135, modul MQ-136, LCD 16 × 2, kabel *jumper*, *breadboard*, kabel USB, *power supply*, isi lem tembak, dan *switch on/off*.

Tahap Pelaksanaan

Pembuatan komponen hingga uji coba akhir prototipe dibuat di Laboratorium Desain dan Pengembangan Produk DTMI UGM, Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA UGM, dan diuji pada cerobong asap TPS3R Grahakara Grafika Fakultas Teknik UGM selama empat bulan, dengan protokol kesehatan yang ketat. Gambar 1 menunjukkan diagram alir yang menunjukkan tahap pelaksanaan.



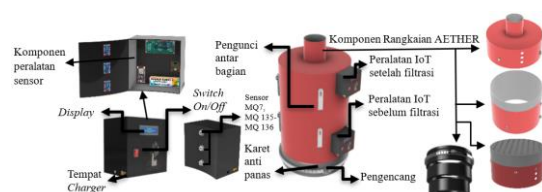
Gambar 1. Diagram Alir Tahap Pelaksanaan

Tahap Perencanaan

Pada tahap ini, dilakukan studi literatur yang lebih mendalam, survei lapangan, dan perancangan administratif program sebagai persiapan. Selanjutnya dilakukan analisis sistem yang digunakan sebagai dasar perancangan desain sistem, mencakup pembuatan standar kelayakan dan rancangan kasar sistematis prototipe.

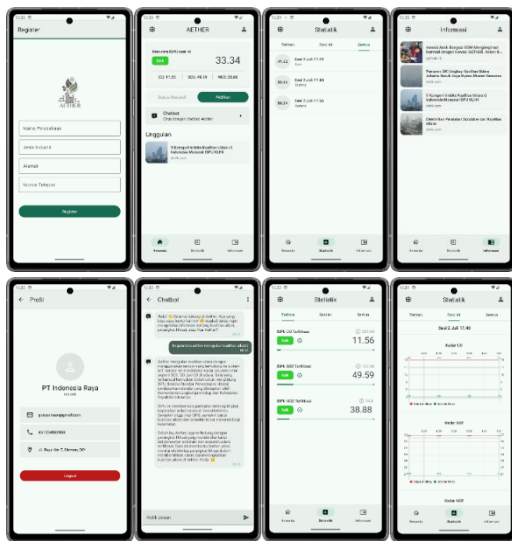
Pembuatan Desain Prototipe, Perancangan, dan Graphic User Interface (GUI)

Pada tahap desain dan pembuatan prototipe AETHER, dilakukan dengan perancangan alat untuk sistem deteksi dan filtrasi polusi udara, yang mencakup sensor, modul IoT, filter udara, dan casing yang terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan AETHER

Desain alat menggunakan perangkat lunak Fusion 360, dengan rangka plat besi setebal 2 mm dan bagian penghubung dari karet anti panas. AETHER memiliki diameter dasar 50 cm dan tinggi 100 cm, serta wadah untuk perangkat sensor dan modul. Desain *graphic user interface* (GUI) dirancang untuk *monitoring* dan analisis data berbasis AI untuk pemeliharaan prototipe terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Graphic User Interface

Graphic user interface (GUI) menampilkan data konsentrasi polutan, status filter, dan umpan balik AI dengan fitur riwayat, informasi, panduan, statistik, dan *chatbot* AI. Pembuatan alat melibatkan pengelasan, pengeboran, pemotongan plat besi, serta pemrograman IoT dan AI untuk konfigurasi, analisis data, dan pengembangan GUI yang memungkinkan kontrol dan pemantauan sistem secara efektif.

Uji Coba Unit Fungsional, Prototipe, dan Evaluasi

Pada tahap ini, dilakukan uji coba unit fungsional untuk memastikan semua komponen alat dan GUI berfungsi sesuai spesifikasi, termasuk kalibrasi sensor sesuai ISPU, konfigurasi modul IoT, pengaturan GUI, dan pengecekan filter udara. Data simulasi digunakan untuk menguji performa bahan adsorben dan sistem secara keseluruhan. Selanjutnya, prototipe diuji di lokasi industri pengolahan sampah untuk mengevaluasi efisiensi dan efektivitas sistem deteksi serta bahan filtrasi polusi udara. Pengumpulan data dilakukan untuk konsentrasi polutan, status filter, dan umpan balik AI, yang kemudian dibandingkan dengan standar kualitas udara pemerintah. Hasil evaluasi digunakan untuk meningkatkan kinerja alat.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambaran Prototipe

Prototipe AETHER terdiri dari tiga ruang yaitu ruang sebelum filtrasi, ruang filtrasi yang berisi adsorben alami, dan ruang setelah filtrasi. AETHER beroperasi melalui tiga tahap utama:

1. **Penangkapan Polutan:** Material ekstrak tanaman *Jatropha multifida* Linn menangkap partikel polutan (CO , NO_2 , SO_2) dari keluaran cerobong.
2. **Adsorpsi:** Zeolit dan arang aktif mengadsorpsi polutan permukaannya.
3. **Pemantauan dan Kontrol:** Sistem IoT memantau kualitas udara, sementara AI memantau kinerja filtrasi.

Masing-masing bagian dari prototipe AETHER ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Implementasi dan Pengujian Prototipe

Pembuatan Adsorben

Pembuatan adsorben pada prototipe AETHER dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik, FMIPA UGM. Pada Gambar 5 merupakan proses pembuatan adsorben menggunakan teknik ekstraksi dan impregnasi dari ekstrak tanaman *Jatropha multifida* Linn, zeolit, dan arang aktif.

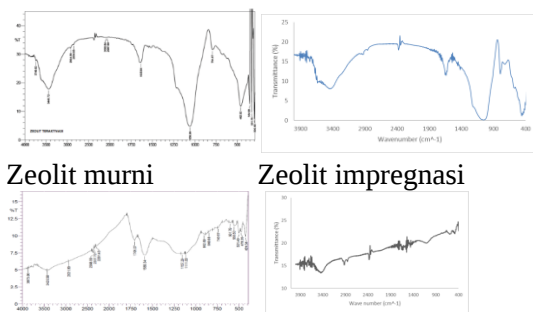


Gambar 5. Implementasi dan Pengujian Prototipe

Tahap pertama meliputi pemotongan dan pengeringan 1 kg *Jatropha multifida* Linn, ekstraksi dengan etanol dan akuades, serta impregnasi hasil ekstraksi dengan 5 kg zeolit dan 5 kg arang aktif. Campuran direndam selama 24 jam untuk impregnasi. Adsorben yang terbentuk diuji menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan memastikan keberhasilan impregnasi.

Uji FTIR (Fourier Transform Infrared)

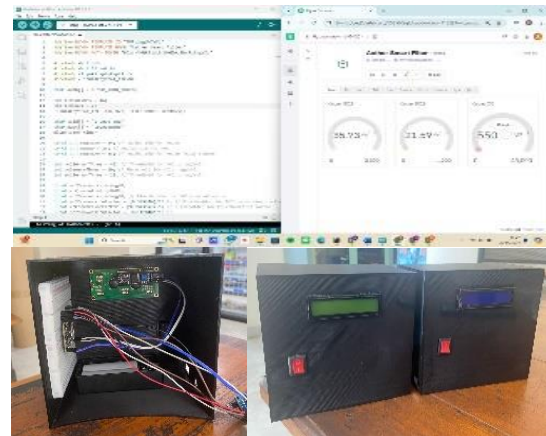
Berdasarkan hasil uji FTIR pada Gambar 10 yang dilakukan pada sampel zeolit menunjukkan bahwa proses impregnasi senyawa organik dari ekstrak etanol daun tanaman *Jatropha multifida* Linn berhasil yang ditunjukkan dari melebaranya daerah serapan pada bilangan gelombang 3300 cm^{-1} sampai 3600 cm^{-1} yang merupakan daerah serapan senyawa gugus fenolik. Hasil uji FTIR pada sampel karbon aktif tempurung kelapa juga menunjukkan bahwa impregnasi senyawa organik dari ekstrak etanol daun tanaman *Jatropha multifida* Linn berhasil yang ditunjukkan dengan serapan kuat pada bilangan gelombang 2900 cm^{-1} yang merupakan daerah serapan senyawa saponin (Sari *et al.*, 2023).



Gambar 6. Hasil Uji FTIR

Sistem Internet of Things (IoT) dan Kalibrasi

Sistem IoT pada prototipe AETHER menggunakan modul ESP32 dengan sensor MQ-7, MQ-135, dan MQ-136 untuk deteksi CO, NO₂, dan SO₂. Pengkodean dilakukan dengan Arduino IDE dan diintegrasikan dengan Blynk IoT. Sensor dikalibrasi berdasarkan data dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14 tahun 2020. Gambar 7 merupakan uji coba yang menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik, data deteksi konsisten dengan referensi, dan sistem stabil dalam berbagai kondisi lingkungan, menunjukkan potensi implementasi yang baik di lapangan.



Gambar 7. Proses Pengujian dan Kalibrasi Sistem IoT

Sistem Aplikasi Berbasis AI

Sistem aplikasi berbasis AI pada AETHER dibuat menggunakan Android Studio dan mencakup fitur utama seperti *monitoring* filter dalam rentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14 tahun 2020. ISPU merupakan angka tanpa satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara berdasarkan dampak pada kesehatan, nilai estetika, dan makhluk hidup dalam menyampaikan hasil pemantauan. ISPU berfungsi sebagai sistem peringatan dini di wilayah yang rentan terhadap kebakaran hutan dan lahan.

Tabel konversi nilai konsentrasi parameter ISPU, kategori ISPU dan cara

perhitungan terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia

ISPU	24 Jam PM ₁₀ (µg/m ³)	24 Jam PM _{2.5} (µg/m ³)	24 Jam SO ₂ (µg/m ³)	24 Jam CO (µg/m ³)	24 Jam O ₃ (µg/m ³)	24 Jam NO ₂ (µg/m ³)	24 Jam HC (µg/m ³)
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500,0	1200	45000	1000	3000	648

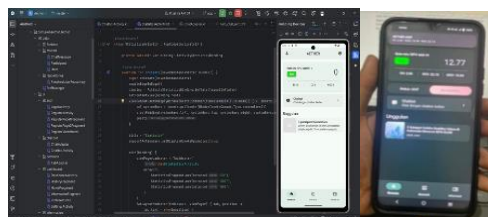
Persamaan matematika perhitungan ISPU sebagai berikut:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b$$

Tabel 2. Tabel Kategori Angka Rentang ISPU

Kategori	Status Warna	Angka Rentang ISPU
Baik	Hijau	1 – 50
Sedang	Biru	51 – 100
Tidak Sehat	Kuning	101 – 200
Sangat Tidak Sehat	Merah	201 – 300
Berbahaya	Hitam	≥ 300

Fitur lainnya meliputi notifikasi yang dapat disesuaikan, data statistik filter, riwayat penggunaan, *chatbot* AI untuk interaksi pengguna, serta informasi terkait pencemaran udara. Aplikasi ini juga memiliki fitur AI untuk memprediksi kapan bahan adsorben perlu diganti berdasarkan data historis sensor. AI bekerja dengan menganalisis data yang dikumpulkan, membuat prediksi, memberikan peringatan, dan membantu dalam penyusunan rencana pemeliharaan optimal. Teknologi AI yang digunakan yaitu *machine learning* untuk melatih AI pada data emisi cerobong asap dan kondisi filter. Dengan teknologi AI pada aplikasi AETHER, diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pemeliharaan preventif, pengurangan biaya, dan peningkatan efisiensi, efektivitas, serta keamanan operasi industri. Gambar 8 merupakan proses dan hasil pembuatan aplikasi berbasis AI.



Gambar 8. Aplikasi AETHER Berbasis AI

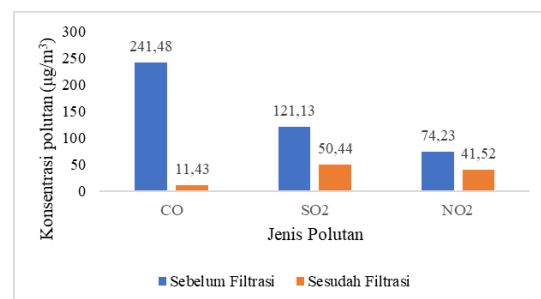
Uji Keseluruhan Sistem Prototipe

Prototipe diuji pada Selasa, 2 Juli 2024, dari pukul 17.00 hingga 18.00 WIB di TPS3R Grahakara Grafika Fakultas Teknik UGM. Uji dilakukan dengan mengukur emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran sampah rumah tangga. Jenis limbah tersebut menghasilkan gas CO, NO₂, dan SO₂ ketika dibakar (Wahyudi, 2019). Emisi gas tersebut dideteksi menggunakan modul MQ-7 (CO), MQ-135 (SO₂), dan MQ-136 (NO₂). Data diambil setiap 5 menit dari 3 sampel, menggunakan standar ISPU sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14 tahun 2020 dengan hasil pada Tabel 3 serta disajikan dalam diagram yang terdapat pada Gambar 9.

Tabel 3. Hasil Uji Prototipe

No	Jenis Filter	Jenis Polutan	Data Sampel Setiap 5 Menit (ISPU)						Rata-Rata	
			Sb		Sd		Sb		Sd	
			Data 1	Data 2	Data 3					
1	Jatrop ha multifida Linn + zeolit + arang aktif	CO	245.80	10.15	238.94	12.57	239.69	11.553	241.48	11.43
2		SO ₂	120.19	51.63	120.65	50.11	122.56	49.59	121.13	50.44
3		NO ₂	73.20	43.47	74.70	42.21	74.80	38.88	74.23	41.52

*Keterangan: Sb = Sebelum difiltrasi ; Sd = Sesudah difiltrasi



Gambar 8. Hasil Pengujian Efektivitas Prototipe Smart Filter AETHER

Analisis data menggunakan uji ANOVA dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem filtrasi AETHER terhadap tiga jenis polutan utama, yaitu karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen dioksida (NO₂). Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang sangat signifikan dalam konsentrasi polutan sebelum dan sesudah filtrasi (*p-value* < 0,05). Untuk polutan CO, nilai *F-statistic* sebesar 233,93 dengan *p-value* 3,32e-13 menunjukkan bahwa filtrasi memiliki dampak signifikan dalam menurunkan konsentrasi polutan ini. Filter

kombinasi *Jatropha multifida* Linn, zeolit, dan arang aktif menunjukkan efektivitas tertinggi dengan pengurangan sebesar 94-96%.

Pada polutan SO₂, hasil uji ANOVA menunjukkan nilai *F-statistic* sebesar 801,04 dengan *p-value* 8,48e-19, yang kembali mengonfirmasi perbedaan signifikan sebelum dan sesudah filtrasi. Filter kombinasi *Jatropha multifida* Linn, zeolit, dan arang aktif menunjukkan pengurangan konsentrasi SO₂ sebesar 57-60%. Meski sudah menunjukkan hasil yang signifikan, filtrasi untuk SO₂ masih memerlukan optimalisasi untuk mencapai tingkat keamanan udara yang lebih baik.

Untuk polutan NO₂, hasil uji ANOVA menunjukkan nilai *F-statistic* sebesar 25,10 dengan *p-value* 5,14e-05, yang juga menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari filtrasi. Filter kombinasi *Jatropha multifida* Linn, zeolit, dan arang aktif efektif menyaring polutan dengan tingkat pengurangan sebesar 40-48%.

Secara keseluruhan, uji ANOVA membuktikan bahwa sistem filtrasi AETHER secara signifikan menurunkan konsentrasi polutan udara. Penggunaan filter kombinasi *Jatropha multifida* Linn, zeolit, dan arang aktif terbukti efektif untuk semua jenis polutan yang diuji, dengan pengurangan tertinggi pada polutan CO. Hasil ini menunjukkan bahwa metode filtrasi ini dapat meningkatkan kualitas udara dengan mengurangi konsentrasi polutan berbahaya. Dengan efektivitas yang dihasilkan tersebut maka prototipe AETHER berpotensi untuk diterapkan pada industri-industri kecil hingga menengah untuk mengurangi emisi gas yang berbahaya bagi lingkungan khususnya pada industri pengolahan sampah. Prototipe ini juga berpotensi untuk diterapkan pada industri-industri besar dengan adanya beberapa penyesuaian dengan jenis emisi gas yang dihasilkan oleh masing-masing industri. Hasil dan pembahasan berisi data yang disajikan dengan tabel-tabel dan/atau gambar-gambar serta analisis atau pembahasannya.

Perbandingan dengan Produk Sejenis

Teknologi yang sudah diterapkan pada industri-industri salah satunya adalah

Baghouse Filter. Teknologi ini dapat menyaring partikulat-partikulat padat yang dihasilkan oleh proses industri tetapi belum mampu untuk menyaring polutan dalam bentuk gas (Punyaponchai *et al.*, 2024). Prototipe AETHER ini dapat mengatasi permasalahan tersebut dengan mengadsorpsi gas CO, SO₂, dan NO₂ dengan adsorben dari bahan alami. Efektivitas dari prototipe ini sangat menjanjikan untuk dapat diimplementasikan di berbagai industri.

5. Kesimpulan

Penggunaan ekstrak tanaman *Jatropha multifida* Linn, yang dipadukan dengan zeolit dan arang aktif, efektif dalam mengurangi emisi gas berbahaya dari cerobong industri pengolahan sampah. Integrasi teknologi IoT dan AI memungkinkan pemantauan kualitas udara secara *real-time* serta pengendalian emisi yang efisien dengan analisis data otomatis. Hasil pengujian prototipe AETHER menunjukkan hasil yang signifikan dalam penurunan kadar emisi gas CO sebesar 94-96%, gas SO₂ sebesar 57-60%, dan gas NO₂ sebesar 40-48%. Berdasarkan hal tersebut prototipe *smart filter* AETHER telah terbukti dalam desain dan pengujian, dapat diimplementasikan secara efektif, ramah lingkungan, dan mudah diintegrasikan dengan sistem industri pengolahan sampah yang ada.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Gadjah Mada atas dukungan dan kontribusi yang diberikan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Tanpa dukungan dan bimbingan dari semua pihak, kegiatan ini tidak akan terlaksana dengan baik.

Daftar Notasi

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU batas atas

I_b = ISPU batas bawah

X_a = Konsentrasi ambien batas atas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X_b = Konsentrasi ambien batas bawah ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X_x = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Daftar Pustaka

- Aziz, Abdul. (2018). Pengaruh Filter Udara Berbahan Zeolit Dan Fly Ash (Batu Bara) Terhadap Hcl-Fisik Terhadap Prestasi Mesin Sepeda Motor 4-Langkah. <http://digilib.unila.ac.id/32797/>
- BARAKA. (2022). Kenali Apa itu Alat Incinerator. Artikel Biro Perencanaan Sumber Daya Manusia dan Karir. <https://baraka.uma.ac.id/kenali-apa-itu-alat-incinerator/>
- Bappenas. (2023). Laporan Tahunan SDGs 2023. Halaman 124. <https://sdgs.bappenas.go.id/website/wp-content/uploads/2023/11/Laporan-tahunan-SDGs-2023.pdf>
- Delahay, G. & B. Coq. (2002). Zeolit For Cleaner Technologies. *Catalytic Science Series* – Vol. 3, Chapter 16. Imperial College Press. London.
- DetikJogja. (2023). Polusi Udara Jogja Ngegas! Dipicu Bakar Sampah Efek TPA Piyungan Tutup. *Artikel detikjogja*. Yogyakarta. <https://www.detik.com/jogja/berita/d-6868710/polusi-udara-jogja-ngegas-dipicu-bakar-sampah-efek-tpa-piyungan-tutup>
- Ekawati, C. J. K. (2023). Alternatif Bahan Baku Arang Aktif. *Penerbit Rena CiptaMandiri*. chrome-extension://efajdnbmnnibpcajpcglclefin dmkaj/http://repository.polteksepang.ac.id/4123/1/Buku%20ALTERNATIF%20BAHAN%20BAKU%20ARANG%20AKTIF.pdf
- Farras, Bernhart. (2019). Mengenal Artificial Intelligence dan Cara Kerjanya. <https://www.cnbcindonesia.com/tech/20190513130056-37-72069/mengenal-artificial-intelligence-dan-cara-kerjanya>
- Fauziah, N. N., Fitrianiingsih, S.P., & Suwendar. (2017). Pengaruh Penambahan Getah Jarak Cina (*Jatropha multifida* Linn) terhadap Proses Penyembuhan Luka Ditinjau dari Pemeriksaan Lama Waktu Koagulasi. *Prosiding Farmasi* Vol. 3 No. 2 : 172 – 177.
- Gillis, Alexander. (2023). Definition internet of things (IoT). *Artikel TechTarget*. <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Hastutiningrum, Sri. (2018). Perbandingan Efektivitas Penyerapan Pb dan CO di Udara pada Tanaman Angsana (*Pterocarpus indicus*) dan Glodokan Tiang (*Polyalthia longifera*) sebagai Upaya Biofilter Udara. *Jurnal Teknologi Technoscience* Vol. 10 No. 1 : 193 – 201.
- Ikons. (2017). Lima Jenis Tanaman Biofilter Yang Dapat Membuat Ruangan Menjadi Bebas Polusi. <https://www.ikons.id/lima-jenis-tanaman-biofilter-yang-dapat-membuat-ruangan-menjadi-bebas-polusi/>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia NOMOR P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 Tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. Menlhk. Jakarta.
- Kementerian Perindustrian RI. (2023). Kejara Target NZE, Kemenperin Sempurnakan Jurus Dekarbonisasi Sektor Industri. <https://kemenperin.go.id/artikel/24370/Kejara-Target-NZE,-Kemenperin-Sempurnakan-Jurus-Dekarbonisasi-Sektor-Industri>
- Punyaponchai, A., Priyadumkol, J., Loksupapaiboon, K., Thongkom, S., and Suvanjumrat, C. (2024). Development of A Baghouse Filter CFD Model For Efficient Particulate Removal in Air Filtration Systems. *Int.J.GEOMATE*. 26(113) : 82-89.
- Sipayung, Ronald S. G.S. (2023). Peningkatan Polusi Udara di Indonesia: Perspektif Ekonomi Berdasarkan Teori Freakonomics. Jakarta. <https://setkab.go.id/peningkatan-polusi-udara-di-indonesia-perspektif-ekonomi-berdasarkan-teori-freakonomics/>
- Sunartono. (2023). Prihatin dengan Sampah, Warga Berbah Datangkan Alat Pemusnah. *Artikel Harian Jogja*. Yogyakarta.

<https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2023/08/05/512/1144158/prihatin-dengan-sampah-warga-di-berbah-datangkan-alat-pemusnah>

- Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model IPCC. *Jurnal Libang*. 15(1) : 65-76.
- Widagdo, Setyo. (2005). Tanaman Elemen Lanskap sebagai Biofilter untuk Mereduksi Polusi Timbal (Pb) di Udara. *Makalah Falsafah Sains*, Institut Pertanian Bogor.
- WorldBank. (2022). Pollution Management and Environmental Health Program. <https://www.worldbank.org/en/programs/pollution-management-and-environmental-health-program>
- Yuwono, Sudarminto S. (2015). Tanaman Jarak Cina (*Jatropha multifida* L.). <http://darsatop.lecture.ub.ac.id/2015/10/tanaman-jarak-cina-jatropha-multifida-l/>