

## Analisis Efektivitas Smoven Sebagai Teknologi Pengasapan Ramah Lingkungan Terhadap Emisi Udara Dan Kualitas Asap Cair

Indah Pratiwi <sup>1\*</sup>, Tria Apriyanti<sup>1</sup>, Bimo Pamungkas<sup>1</sup>, Dwi Nur Fauziyyah<sup>1</sup>,  
Muhammad arie Darmawan<sup>1</sup>, Dicky Seprianto<sup>1</sup>, Yunita Achmad<sup>1</sup>, Tahdid<sup>1</sup>, Adi  
Syakdani <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Sriwijaya

<sup>\*</sup>Correspondence Author: indahp@polsri.ac.id

### Abstrak

Polusi udara dari proses pengasapan ikan salai secara tradisional menimbulkan emisi partikel halus dan gas berbahaya yang berdampak pada kesehatan dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas teknologi Smoke Eco Oven atau disingkat SMOVEN, sebuah alat pengasapan modern dalam mengurangi emisi udara serta mengevaluasi kualitas asap cair yang dihasilkan. Metode penelitian dilakukan pada Juli hingga September 2025 di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya, menggunakan SMOVEN dengan bahan bakar kayu. Variabel bebas mencakup jenis kayu dan volume sampel asap cair, sementara variabel tetap meliputi prosedur uji pH, warna, kadar asam asetat, dan fenol sesuai standar. Hasil menunjukkan pH asap cair berkisar 1,98–2,10, warna dari hitam pekat hingga coklat kehitaman, kadar asam asetat 10,9–12,4 mg/mL, serta kadar fenol yang memenuhi persyaratan SNI 8985:2021. Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa SMOVEN efektif mengonversi asap menjadi asap cair berkualitas tinggi, sehingga mengurangi polusi dan mendukung praktik berkelanjutan. Saran mencakup pengujian aplikasi asap cair pada ikan salai serta perbandingan dengan metode tradisional untuk optimalisasi efisiensi.

**Kata Kunci** : Pirolisis, *Smoke Eco Oven*, Kualitas Asap Cair

### PENDAHULUAN

Kegiatan pengasapan merupakan salah satu metode pengolahan pangan tertua yang masih banyak diterapkan hingga kini, terutama dalam industri kecil dan rumah tangga di Indonesia. Metode ini bertujuan untuk memperpanjang umur simpan serta memberikan cita rasa khas pada produk, khususnya ikan dan daging. Namun, praktik pengasapan tradisional umumnya dilakukan dengan sistem tungku terbuka yang menghasilkan asap pekat tanpa kontrol aliran udara yang baik. Kondisi ini menimbulkan peningkatan konsentrasi polutan seperti partikulat halus (PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>), karbon monoksida (CO), dan senyawa organik volatil (VOC) di udara ambien di sekitar lokasi kegiatan (Wei et al., 2022; Pinakana et al., 2024). Selain berdampak pada lingkungan, paparan asap dalam jangka panjang juga berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan bagi pekerja pengasapan, seperti iritasi saluran pernapasan, gangguan paru, dan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular (Sidebang, 2023).



Gambar 1. Pengasapan metode konvensional

Masalah pencemaran udara akibat aktivitas pengasapan tradisional menjadi perhatian penting karena sebagian besar pelaku usaha merupakan UMKM yang beroperasi di permukiman padat penduduk. Berdasarkan penelitian oleh Sidebang (2023), kadar partikulat halus ( $PM_{2.5}$ ) di lingkungan pengasapan ikan tradisional mencapai lebih dari  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , melebihi ambang batas aman yang ditetapkan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) sebesar  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Paparan ini tidak hanya memengaruhi kualitas udara, tetapi juga menimbulkan keluhan kesehatan seperti batuk, sesak napas, dan iritasi mata. Kondisi serupa juga dilaporkan oleh Wei et al. (2022), yang menyatakan bahwa sektor industri kecil berbasis pembakaran biomassa memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan polusi udara ambien di wilayah perkotaan dan pesisir. Dalam konteks Indonesia, pengendalian emisi udara dari kegiatan pengasapan diatur melalui Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Regulasi ini menetapkan baku mutu udara ambien untuk berbagai parameter polutan, termasuk partikulat ( $PM_{2.5}$  dan  $PM_{10}$ ), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida ( $NO_2$ ), sulfur dioksida ( $SO_2$ ), dan ozon ( $O_3$ ). Berdasarkan Lampiran VII peraturan tersebut, ambang batas harian untuk  $PM_{2.5}$  ditetapkan sebesar  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dan karbon monoksida sebesar  $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  atau setara dengan 9 ppm (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Pemenuhan baku mutu udara ini menjadi acuan penting dalam menilai aktivitas industri kecil agar tidak menimbulkan dampak pencemaran terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Penerapan teknologi ramah lingkungan menjadi langkah strategis untuk menekan emisi gas buang dari aktivitas pengasapan tanpa menurunkan kualitas produk. Salah satu inovasi yang berkembang adalah teknologi pengasapan modern berbasis sistem *close smoke circulation*, yang mengatur sirkulasi asap agar tidak langsung terlepas ke udara, tetapi dialirkan ke ruang kondensasi untuk diolah menjadi produk turunan berupa asap cair (*liquid smoke*). Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan mekanisme sirkulasi tertutup yang memungkinkan asap hasil pembakaran biomassa tetap berada di dalam sistem, dikondensasikan, dan dikontrol alirannya sehingga mengurangi pelepasan emisi ke udara bebas (Jamaldi et al., 2025). Selain itu, SMOVEN dirancang terintegrasi dengan sistem Internet of Things (IoT) untuk memantau suhu dan kelembapan secara real time, serta memanfaatkan energi surya sebagai sumber daya listrik. Secara teoritis, sistem sirkulasi tertutup dapat menurunkan kadar polutan udara secara signifikan, karena sebagian besar partikel padat dan gas hasil pembakaran terkumpul dalam bentuk kondensat cair. Kondensat inilah yang dikenal sebagai asap cair, produk turunan dari proses pirolisis yang memiliki nilai ekonomi sekaligus fungsi ekologis. Untuk membuktikan efektivitas teknologi ini, diperlukan analisis kuantitatif mengenai konsentrasi emisi udara ambien yang dihasilkan selama proses pengasapan, terutama terhadap parameter  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , CO, dan  $CO_2$ . Selain itu, penting pula untuk menganalisis kualitas asap cair yang dihasilkan, karena komposisinya akan menentukan potensi pemanfaatan lanjutan. Asap cair umumnya mengandung senyawa fenolik, asam organik, dan karbonil yang berperan sebagai pengawet alami, antioksidan, dan antimikroba (Deliephan et al., 2023). Komposisi kimia tersebut bergantung pada jenis bahan bakar, suhu pirolisis, dan efisiensi sistem kondensasi (Desvita et al., 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai pemanfaatan asap cair semakin berkembang, terutama dalam bidang pertanian dan perlindungan tanaman. Asap cair dilaporkan memiliki potensi sebagai biopestisida dan pupuk organik karena kandungan fenol dan asam organiknya mampu menghambat pertumbuhan jamur dan bakteri penyebab penyakit tanaman. Hasil penelitian Dewi et al., (2023) menunjukkan bahwa asap cair dari kulit buah siwalan mampu menekan mortalitas hama Spodoptera litura hingga lebih dari 80% pada konsentrasi 15%, sedangkan penelitian oleh Unwaha University (2024) menunjukkan efektivitas asap cair sebagai pengendali hama sawi (*Brassica juncea*) secara organik. Selain itu, beberapa studi juga mengemukakan bahwa asap cair memiliki potensi sebagai pupuk organik cair karena mengandung unsur hara mikro seperti kalsium, kalium, dan magnesium yang

berguna bagi kesuburan tanah. Namun, meskipun penelitian tentang asap cair telah banyak dilakukan, sebagian besar kajian masih berfokus pada analisis sifat kimia atau aktivitas biologisnya. Kajian yang secara komprehensif menilai hubungan antara penggunaan sistem pengasapan tertutup seperti SMOVEN dan dampaknya terhadap emisi udara ambien serta kualitas asap cair yang dihasilkan masih sangat terbatas, terutama dalam konteks implementasi di tingkat UMKM. Penelitian sebelumnya oleh (Desvita et al., 2023) lebih menitikberatkan pada karakteristik kimia asap cair tanpa mengaitkannya dengan parameter emisi lingkungan.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada lokasi operasional UMKM Ikan Salai Bunyamin dan Bengkel Ciqalas untuk pengambilan data lapangan (emisi udara dan pengumpulan asap cair) dan dilanjutkan di Laboratorium Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya untuk analisis fisikokimia asap cair serta analisis data. Pengambilan data lapangan direncanakan berlangsung selama periode aktif produksi selama 1 minggu, dengan beberapa sesi pengukuran berulang untuk masing-masing kondisi (SMOVEN dan pengasapan konvensional).

### **Alat dan Bahan**

#### **Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari berbagai instrumen utama yang berfungsi untuk mendukung proses pengasapan, pengukuran kualitas udara, serta analisis laboratorium. Smoke Eco Oven (SMOVEN) digunakan sebagai alat utama proses pengasapan modern yang menerapkan sistem sirkulasi asap tertutup (*close smoke circulation*). Air Quality Detector digunakan untuk mengukur kualitas udara ambien di sekitar lokasi pengasapan, dengan parameter utama berupa  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida ( $CO_2$ ). pH meter digunakan untuk mengukur tingkat keasaman asap cair secara presisi. Batang pengaduk digunakan untuk mencampur larutan atau homogenisasi sampel sebelum pengukuran. Neraca analitik berfungsi menimbang bahan dan reagen. Corong dan kertas saring digunakan dalam proses penyaringan sampel asap cair. Pipet tetes dan tabung reaksi digunakan untuk pengambilan sampel dalam volume kecil, Erlenmeyer 100 mL digunakan sebagai wadah reaksi dalam proses titrasi, sementara gelas beaker 100 mL digunakan untuk pengukuran volume cairan serta persiapan larutan. hot plate digunakan untuk memanaskan sampel secara terkendali.

#### **Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas bahan utama dan bahan kimia pendukung. Kayu bakar digunakan sebagai bahan bakar proses pengasapan, dengan jenis dan jumlah yang disesuaikan berdasarkan praktik operasional UMKM setempat. Aquadest digunakan sebagai pelarut dan pencuci peralatan laboratorium agar tidak terjadi kontaminasi dari ion logam, Natrium hidroksida (NaOH) 0,1 M digunakan sebagai larutan titran dalam penentuan kadar asam asetat pada asap cair, larutan  $FeCl_3$  1% digunakan untuk pengujian senyawa fenolik yang terkandung dalam asap cair Indikator pp.

### **Prosedur Pengukuran dan Analisis Data**

#### **Pengukuran Kualitas Udara**

Pengukuran kualitas udara dilakukan melalui dua pendekatan:

##### **Monitoring 24 Jam**

Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu 1 jam pada tiga titik (0.5m, 1m, 10m), yaitu di UMKM Ikan Salai Bunyamin pada bulan Oktober 2025.

### **Pengukuran di 3 Titik Lokasi**

Pengukuran dilakukan pada siang hari (sekitar pukul 10:00 - 12:00 WIB) di tiga titik lokasi berbeda pada bulan Oktober 2025. Setiap titik dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali dalam interval waktu 30 sekon per titik. Durasi 30 sekon ini dipilih berdasarkan pertimbangan praktis dan teknis. Secara praktis, durasi ini memungkinkan pengambilan data yang efisien di banyak titik dalam waktu terbatas, sekaligus meminimalkan pengaruh fluktuasi sesaat yang sangat cepat. Secara teknis, durasi ini dianggap cukup untuk mendapatkan pembacaan yang stabil dari Air Quality Detector yang digunakan, serta konsisten dengan metode pengambilan sampel cepat yang sering diterapkan dalam studi lapangan untuk memantau variabilitas spasial polutan secara efektif. Analisis data menggunakan metode kuantitatif dan deskriptif. Metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis hasil berdasarkan nilai-nilai data yang diperoleh dan membandingkannya dengan batas ambang yang telah ditetapkan pemerintah. Sedangkan untuk metode deskriptif, data PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub> dalam interval waktu yang diperoleh dari pengolahan menggunakan software Microsoft Excel dijabarkan dalam bentuk grafik.

### **Pengujian Asap Cair**

Pengujian asap cair dilakukan melalui tiga pendekatan:

#### **Pengukuran Tingkat Keasaman (pH)**

Proses Pengujian Kandungan Asam dalam Asap cair yaitu dengan cara mengukur langsung menggunakan pH meter.

#### **Penentuan kandungan total asam**

Uji kandungan total asam ditentukan dengan titrasi asam basa. Sampel diambil sebanyak 10 mL kemudian diencerkan dengan akuades sampai 100 mL kemudian diambil lagi sebanyak 10 mL dan ditambahkan dengan indikator fenolftalein sebanyak 2-3 tetes dan dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M sampai titik akhir titrasi, yaitu berubahnya warna sampel menjadi merah muda dan stabil. Kandungan total asam dinyatakan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Total Asam} = \frac{V \times M \times BM}{VC} \times 10 \times 100\%$$

Keterangan: V = Volume titrasi NaOH (mL); M = Molaritas NaOH; BM = Berat Molekul Asam Asetat (60,05 gram/mol); Vc = Volume contoh (mL).

#### **Pengujian Kualitatif Kandungan Fenol**

Asap cair masing-masing grade sebanyak 0,5 ml dilarutkan ke dalam 5 ml aquades, kemudian larutan asap cair dipanaskan dengan menggunakan hot plate sampai panas. Setelah panas di tetesi larutan FeCl<sub>3</sub> 1% kemudian diamati perubahan warna yang terjadi.

### **Standar Kualitas Udara dan Asap Cair**

#### **Standar Kualitas Udara**

Untuk mengevaluasi kualitas udara, hasil pengukuran dibandingkan dengan beberapa standar dan ambang batas yang relevan dari peraturan pemerintah dan lembaga terkait:

#### **Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>)**

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) Nomor 22 Tahun 2021, ambang batas harian untuk PM<sub>2.5</sub> adalah 55 µg/m<sup>3</sup> (Wellid et al., 2024). Sementara itu, menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) kategori kualitas udara berdasarkan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> adalah 0-15.5 µg/m<sup>3</sup>: Baik, 15.6-55.4 µg/m<sup>3</sup>: Sedang, 55.5-150.4 µg/m<sup>3</sup>: Tidak sehat, 150.5-250.4 µg/m<sup>3</sup>: Sangat tidak sehat, >250.5 µg/m<sup>3</sup>: Berbahaya.

#### **Particulate Matter (PM<sub>10</sub>)**

PPRI Nomor 22 Tahun 2021 menetapkan ambang batas harian sebesar  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Wellid et al., 2024). Untuk standar baku mutu berdasarkan BMKG konsentrasi PM10 meliputi "Aman" ( $<50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), "Sedang" ( $51 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), dan "Tidak Sehat" ( $151 - 350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Hardiyana & Zulistyawan, 2023).

**Karbon Monoksida (CO)**

Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia (Permenaker) Nomor 13 Tahun 2012 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) faktor fisika dan kimia di tempat kerja, NAB untuk karbon monoksida (CO) ditetapkan sebesar 25 ppm.

**Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)**

Menurut buletin WHO (2005) adalah standard untuk udara bersih 310-330 ppm atau sama dengan  $558.000 (\mu\text{g}/\text{m}^3) - 594.000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ , dan untuk udara tercemar 350-700 ppm atau sama dengan  $630.000 (\mu\text{g}/\text{m}^3) - 1.260.000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$

**Standar Asap Cair**

Untuk mengevaluasi kualitas asap cair, hasil pengukuran dibandingkan dengan beberapa standar dan ambang batas yang relevan dari SNI 8985:2021 tentang Asap Cair. Berikut persyaratan mutu asap cair

Tabel 1. Standar SNI 8985:2021 Pada Asap Cair

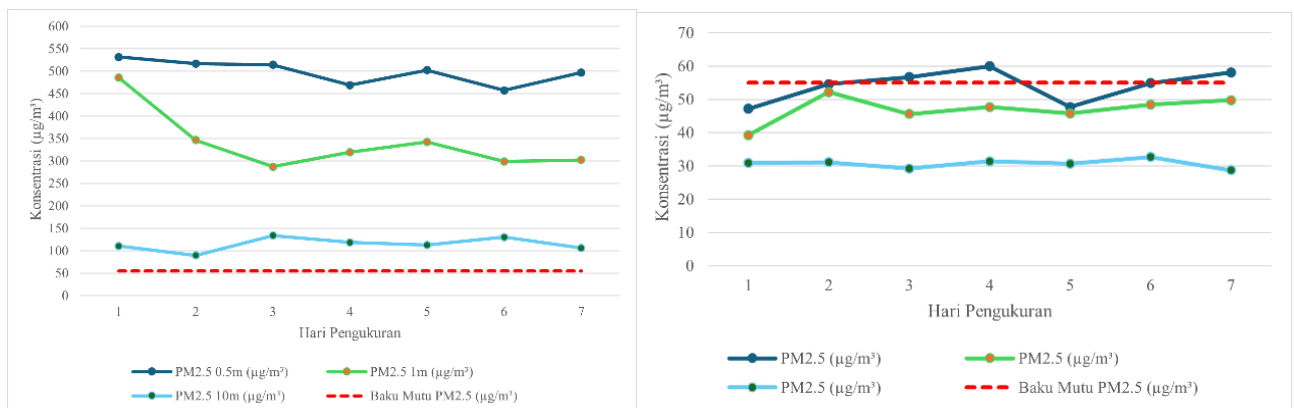
No	Karakteristik	Satuan	Persyaratan	
			Mutu 1	Mutu 2
1.	Warna	-	Kuning sampai Cokelat	Kuning sampai Cokelat
2.	Bahan Terapung	-	Tidak ada	Tidak ada
3.	pH	-	1,50-2,75	2,75-4,50
4.	Bobot Jenis	-	1,0050-1,0500	1,0050-1,0500
5.	Asam Asetat	%	8,00-15,00	1,10-7,09
6.	Fenol	%	Maksimum 2,0	Maksimum 2,0

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengukuran Kualitas Udara**

**Kadar Particulate Matter 2,5 (PM2,5)**

Penelitian ini mengukur kadar PM2,5 pada tiga variasi jarak pengukuran, yaitu 0,5 m, 1 m, dan 10 m dari sumber emisi, yang dilakukan di dua lokasi berbeda: UMKM Ikan Salai Bunyamin (konvensional) dan Bengkel Cikalas (Smoven). Data hasil pengukuran dibandingkan dengan baku mutu udara ambien sesuai PP RI Nomor 22 Tahun 2021, dengan nilai ambang batas PM2,5 sebesar  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hasil pengukuran kadar PM2,5 untuk masing-masing sistem ditampilkan pada Gambar 2.



a. Pengasapan Konvensional

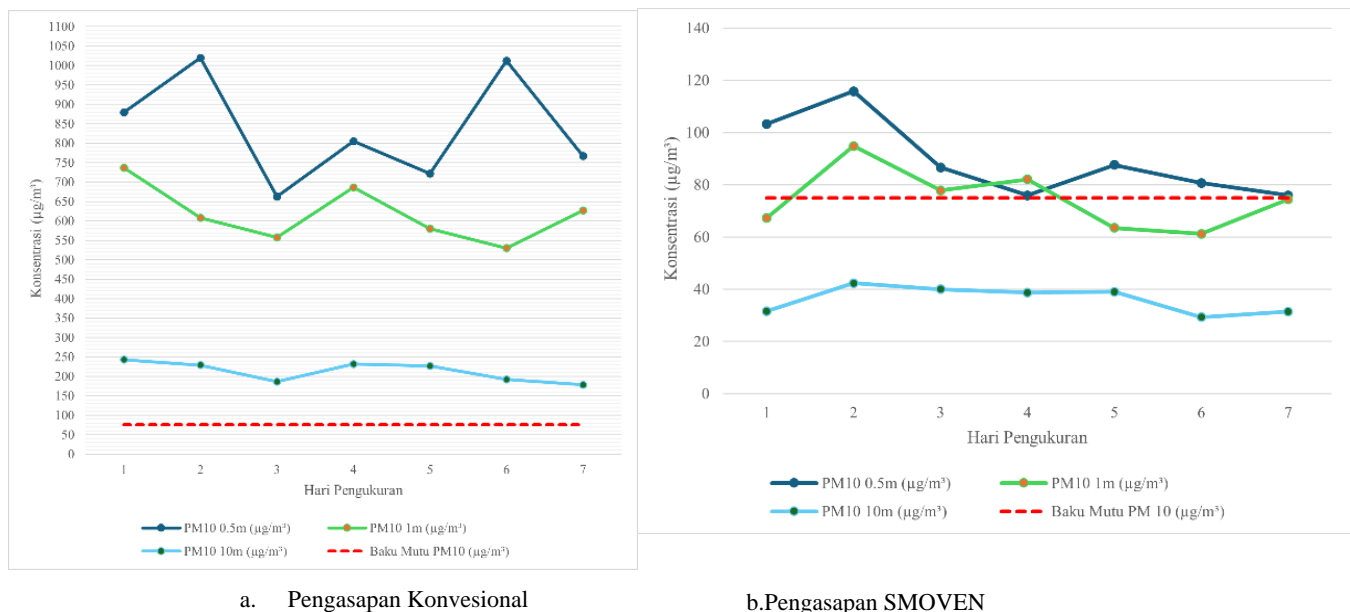
b. Pengasapan SMOVEN

Gambar 2. Kadar Particulate Matter 2,5 (PM2,5)

Berdasarkan hasil pengukuran selama tujuh hari, pengukuran konvensional kadar PM<sub>2,5</sub> tertinggi tercatat pada jarak 0,5 m dengan nilai rata-rata 498,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , diikuti jarak 1 m sebesar 340,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan 10 m sebesar 113,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nilai pada seluruh titik pengukuran melebihi baku mutu ambien (55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), terutama pada jarak 0,5 m dan 1 m yang tergolong dalam kategori “Tidak Sehat” menurut klasifikasi BMKG. Fluktuasi nilai harian menunjukkan kadar PM<sub>2,5</sub> yang relatif stabil di kisaran 457–531  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pada jarak 0,5 m, dengan tren penurunan yang cukup tajam seiring bertambahnya jarak dari sumber asap. Konsentrasi partikulat pada jarak 10 m menurun lebih dari 75% dibandingkan pada jarak 0,5 m. Hal ini mengindikasikan bahwa sumber utama partikulat berasal langsung dari proses pembakaran di ruang pengasapan terbuka, di mana tidak terdapat sistem penyaring atau pengendali emisi yang mampu menahan partikel halus. Kondisi ini berpotensi menimbulkan pencemaran udara lokal di sekitar area produksi serta risiko gangguan pernapasan bagi pekerja dan masyarakat di sekitarnya. Peningkatan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dapat dipengaruhi oleh intensitas pembakaran, arah angin, serta kelembapan lingkungan yang berperan dalam penyebaran partikel di udara. Sedangkan, Hasil pengukuran pada sistem Smoven menunjukkan kadar PM<sub>2,5</sub> yang jauh lebih rendah dibandingkan sistem konvensional. Nilai rata-rata pada jarak 0,5 m tercatat 54,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1 m sebesar 46,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan 10 m sebesar 31,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Secara umum, nilai PM<sub>2,5</sub> di semua titik pengukuran berada di bawah atau mendekati ambang batas 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dengan fluktuasi harian yang relatif kecil (rentang 45–60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pada jarak terdekat). Pola sebaran menunjukkan penurunan kadar PM<sub>2,5</sub> seiring meningkatnya jarak dari sumber asap, dengan kecenderungan stabil dari hari ke hari. Konsentrasi tertinggi terjadi pada hari ke-4 sebesar 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , yang sedikit melebihi ambang batas namun masih tergolong “Sedang”. Hal ini menunjukkan bahwa sistem Smoven mampu mengendalikan emisi partikulat secara efektif melalui mekanisme pembakaran tertutup dan pengaliran asap melalui sistem pendingin (kondensor), sehingga partikel halus terendapkan dan tidak langsung terlepas ke udara terbuka.

**Kadar Particulate Matter 10 (PM10)**

Untuk melengkapi analisis partikel udara, pengukuran kadar PM<sub>10</sub> juga dilakukan di lokasi dan periode yang sama. Partikulat PM<sub>10</sub>, yang berukuran lebih besar dibandingkan PM<sub>2,5</sub>, berpotensi menimbulkan dampak kesehatan apabila konsentrasinya melampaui ambang batas. Pola distribusi serta fluktuasi konsentrasinya dapat diamati pada Gambar 3.

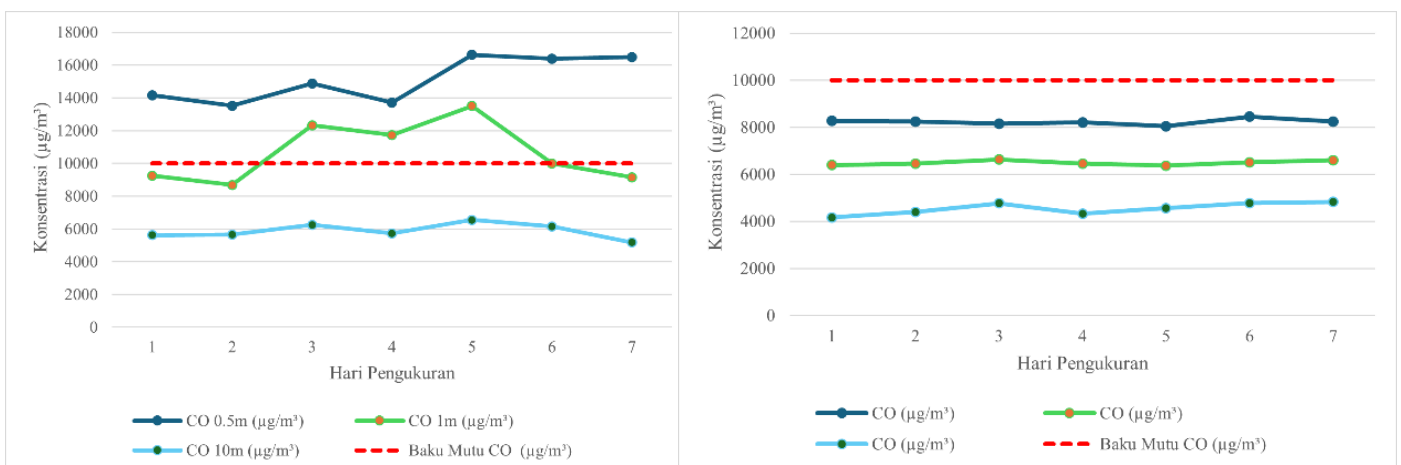


Gambar 3. Kadar Particulate Matter 10 (PM10)

Berdasarkan hasil pengukuran selama tujuh hari, kadar  $PM_{10}$  pada sistem konvensional menunjukkan nilai yang jauh melebihi ambang batas baku mutu udara ambien. Nilai rata-rata tertinggi terdapat pada jarak 0,5 m sebesar  $830,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , diikuti jarak 1 m sebesar  $614,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan 10 m sebesar  $212,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Semua titik pengukuran menunjukkan kategori “Tidak Sehat” bahkan hingga “Sangat Tidak Sehat” menurut klasifikasi BMKG. Secara umum, kadar  $PM_{10}$  pada jarak 0,5 m berkisar antara  $662,5$ – $1019,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , menunjukkan fluktuasi tinggi yang disebabkan oleh variasi intensitas pembakaran selama proses pengasapan ikan. Tren data memperlihatkan penurunan signifikan seiring bertambahnya jarak dari sumber emisi, di mana pada jarak 10 m konsentrasi menurun lebih dari 70% dibandingkan jarak 0,5 m. Kondisi ini menunjukkan bahwa penyebaran partikulat kasar ( $PM_{10}$ ) masih terkonsentrasi kuat di area sekitar tungku pembakaran terbuka. Kadar  $PM_{10}$  yang tinggi pada sistem konvensional mengindikasikan pembakaran tidak sempurna dan tidak adanya mekanisme penangkap partikel, sehingga debu dan abu pembakaran langsung terlepas ke udara bebas. Hal ini berpotensi meningkatkan paparan partikulat terhadap pekerja dan masyarakat di sekitar lokasi produksi, terutama pada jarak di bawah 1 m dari sumber asap. Sementara itu, hasil pengukuran pada sistem Smoven menunjukkan penurunan yang signifikan dibandingkan sistem konvensional. Nilai rata-rata  $PM_{10}$  pada jarak 0,5 m sebesar  $91,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1 m sebesar  $77,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan 10 m sebesar  $35,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Secara umum, nilai  $PM_{10}$  pada jarak 1 m dan 10 m berada di bawah atau mendekati ambang batas  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Konsentrasi harian tertinggi tercatat pada jarak 0,5 m sebesar  $115,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pada hari kedua, sedangkan konsentrasi terendah sebesar  $75,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pada hari ketujuh. Pola penurunan konsentrasi  $PM_{10}$  pada sistem Smoven menunjukkan distribusi partikulat yang lebih terkendali dengan fluktuasi yang tidak terlalu tajam dibandingkan sistem konvensional. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem Smoven dengan mekanisme pembakaran tertutup dan pengaliran asap melalui kondensor mampu mengurangi pelepasan partikel kasar ke udara secara efektif.

**Kadar Karbon Monoksida (CO)**

Selain partikel debu, gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO) juga dapat berdampak serius bagi kesehatan jika terakumulasi dalam kadar tinggi. Grafik Gambar 4 menyajikan kadar CO di 3 titik pengukuran.



a.Konvensional

b.Pengasapan SMOVEN

Gambar 4. Kadar Karbon Monoksida (CO)

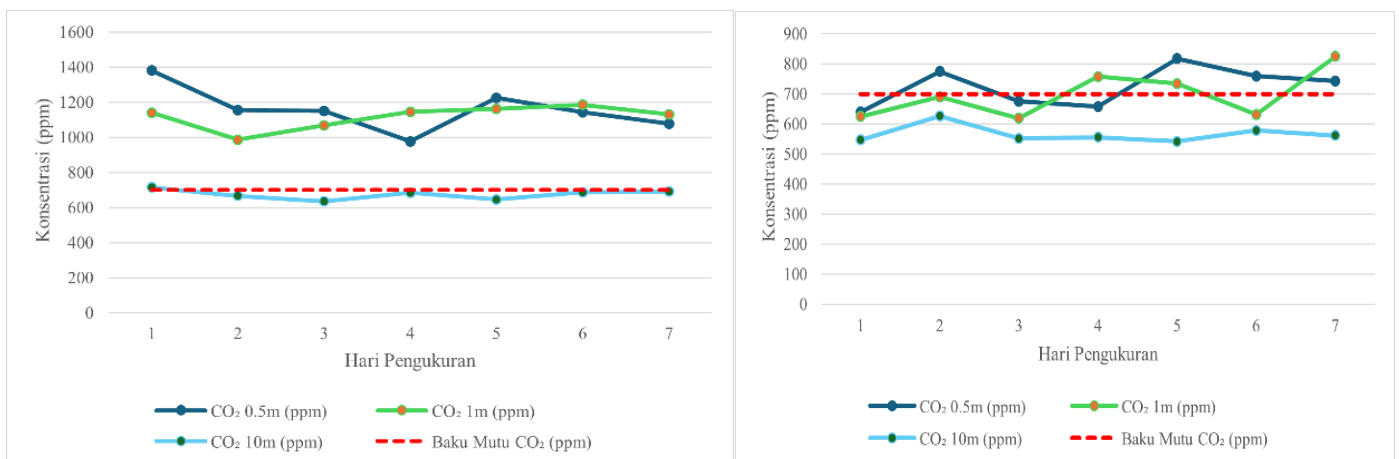
Pemantauan kadar Karbon Monoksida (CO) pada sistem konvensional dan Smoven menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dalam konsentrasi emisi yang dihasilkan. Hasil pengukuran pada sistem konvensional memperlihatkan kadar CO yang berkisar antara 5.988 hingga 16.379  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dengan nilai rata-rata tertinggi terukur pada jarak 0,5 m sebesar 14.620  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sedangkan jarak 1 m dan 10 m masing-masing menunjukkan konsentrasi 10.370  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan 5.988  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sementara itu, hasil pengukuran pada sistem Smoven menunjukkan kadar CO yang jauh lebih rendah, yaitu berkisar antara 4.596 hingga 8.447  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dengan rata-rata konsentrasi 8.258  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pada jarak 0,5 m, 6.502  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pada 1 m, dan 4.596  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pada 10 m.

Seluruh hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan baku mutu udara ambien berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, di mana Nilai Ambang Batas (NAB) untuk pengukuran aktif kontinu 1 jam sebesar 10.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Berdasarkan regulasi tersebut, kadar CO pada sistem Smoven berada di bawah NAB, sedangkan pada sistem konvensional, beberapa titik pengukuran — khususnya pada jarak 0,5 m dan 1 m, melebihi nilai ambang batas.

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem Smoven lebih efektif dalam mengendalikan emisi CO karena proses pembakarannya berlangsung lebih sempurna dan terkontrol, berbeda dengan sistem konvensional yang masih menghasilkan pembakaran tidak sempurna dan menyebabkan emisi gas CO lebih tinggi. Meskipun hasil pengukuran menunjukkan bahwa emisi CO dari sistem Smoven telah memenuhi baku mutu yang berlaku, pemantauan berkala tetap diperlukan untuk memastikan kestabilan dan efektivitas sistem pengendalian emisi dalam jangka panjang.

**Kadar Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)**

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) juga menjadi perhatian utama dalam studi ini karena dapat menunjukkan tingkat pencemaran udara dan kontribusi emisi dari Pengasapan Ikan. Kadar CO<sub>2</sub> di setiap titik pengukuran pada satu minggu pengamatan ditampilkan dalam Gambar 5.



a. Pengasapan Konvensional

b. Pengasapan SMOVEN

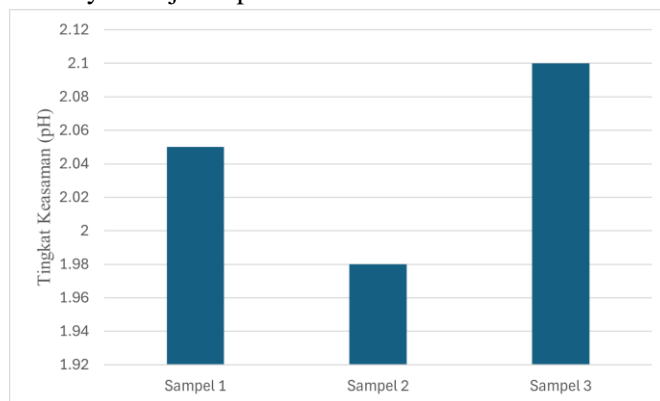
Gambar 5. Kadar Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar CO<sub>2</sub> pada metode Konvensional di semua titik ketinggian (0,5 m; 1 m; dan 10 m) berada di atas ambang batas Baku Mutu CO<sub>2</sub> (700 ppm). Konsentrasi tertinggi ditemukan pada ketinggian 0,5 m dengan rata-rata 1189 ppm, diikuti oleh 1 m (1102 ppm) dan 10 m (673 ppm). Nilai ini menunjukkan bahwa kualitas udara tergolong tercemar berat, mengingat kadar CO<sub>2</sub> jauh melampaui standar yang ditetapkan. Kadar CO<sub>2</sub> tertinggi terjadi pada hari pertama pengukuran (1381 ppm di 0,5 m), kemungkinan disebabkan oleh akumulasi emisi dari aktivitas manusia di sekitar area pengukuran serta minimnya sirkulasi udara. Fluktuasi kadar CO<sub>2</sub> pada hari-hari berikutnya menunjukkan pola yang relatif stabil namun tetap tinggi, menandakan bahwa polutan gas ini bertahan cukup lama di atmosfer bawah. Kondisi tersebut dapat dikaitkan dengan rendahnya kecepatan angin, aktivitas pembakaran yang berkelanjutan, atau faktor meteorologis lain yang menghambat dispersi gas. Berbeda dengan hasil tersebut, pengukuran menggunakan alat SMOVEN menunjukkan kadar CO<sub>2</sub> yang lebih rendah dan stabil dibandingkan metode konvensional. Konsentrasi tertinggi tercatat pada ketinggian 1 m (rata-rata 723 ppm), sedangkan kadar pada 0,5 m dan 10 m masing-masing rata-rata 713 ppm dan 554 ppm. Meskipun beberapa nilai masih sedikit melebihi batas baku mutu (700 ppm), hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa udara hasil pengasapan dengan SMOVEN relatif lebih bersih dan terkendali.

### Pengujian Asap Cair

#### Pengukuran Tingkat Keasaman (pH)

Pengukuran tingkat keasaman (pH) dilakukan menggunakan pH meter. Nilai pH asap cair yang dihasilkan dari bahan baku kayu disajikan pada Gambar 6.



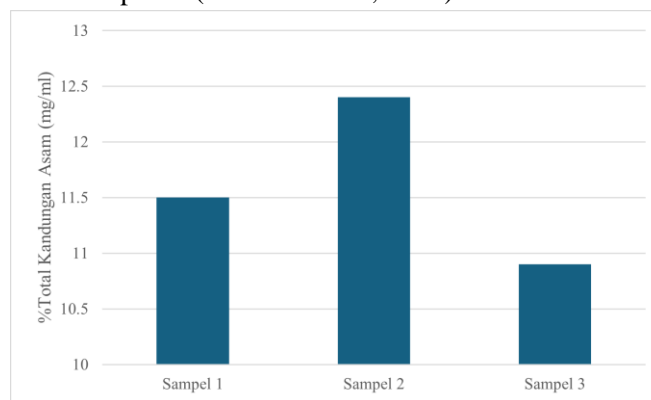
Gambar 6. Pengukuran Tingkat Keasaman (pH)

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Grafik, nilai pH asap cair hasil pirolisis kayu bakar menunjukkan kisaran antara 1,98 hingga 2,10. Variasi pH pada ketiga sampel ini menunjukkan adanya perbedaan tingkat keasaman yang berkaitan erat dengan jumlah total asam tertitrasi yang terbentuk selama proses pirolisis. Semakin tinggi kadar total asam tertitrasi, maka nilai pH asap cair cenderung menurun (lebih asam), dan sebaliknya semakin rendah kadar total asam tertitrasi, maka nilai pH meningkat (lebih basa lemah). Hubungan ini mengindikasikan bahwa pembentukan senyawa asam organik merupakan faktor dominan yang mempengaruhi karakteristik kimia asap cair kayu. Selama proses pirolisis, komponen utama penyusun biomassa kayu yaitu hemiselulosa, selulosa, dan lignin akan terdegradasi menjadi senyawa-senyawa volatil seperti asam asetat, fenol, dan senyawa karbonil. Produk-produk hasil dekomposisi ini kemudian mengalami kondensasi dan membentuk asap cair yang mengandung berbagai senyawa organik bersifat asam (Sokamte et al., 2020). Senyawa asam karboksilat seperti asam asetat dan asam format diketahui berperan besar dalam menentukan tingkat keasaman asap cair, sedangkan senyawa fenolik berkontribusi terhadap aktivitas antibakteri dan antijamur (Wibowo, Syafii, Pari, & Herliyana, 2023). Proses pembentukan asap cair juga sangat dipengaruhi oleh parameter

pirolisis, seperti suhu, laju alir, kadar air bahan baku, serta efisiensi sistem kondensasi. Bahan kayu dengan kadar air tinggi dapat menyebabkan terbentuknya campuran uap air yang lebih besar saat pirolisis, sehingga menurunkan konsentrasi asam per volume dan menyebabkan kenaikan pH asap cair. Selain itu, efisiensi kondensor yang rendah dapat mengurangi jumlah senyawa volatil yang tertangkap sehingga menurunkan kualitas asap cair yang dihasilkan (Sokamte et al., 2020). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa asap cair dari kayu bakar memiliki tingkat keasaman yang cukup tinggi, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan aktif alami dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman.

### Penentuan kandungan total asam

Parameter total kandungan asam merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan kualitas asap cair hasil proses pirolisis. Nilai ini menggambarkan jumlah keseluruhan senyawa asam organik yang terbentuk dari dekomposisi komponen utama biomassa seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin selama proses pembakaran tidak sempurna (Sokamte et al., 2020).



Gambar 7. Penentuan kandungan total asam

Berdasarkan Gambar 2, nilai total kandungan asam asap cair dari bahan baku kayu bakar menunjukkan variasi antara 10,9 hingga 12,5 mg/ml. Sampel 2 menunjukkan nilai total asam tertinggi yaitu sebesar 12,5 mg/ml, diikuti oleh Sampel 1 sebesar 11,5 mg/ml, sedangkan Sampel 3 memiliki nilai terendah yaitu 10,9 mg/ml. Perbedaan ini menunjukkan bahwa selama proses pirolisis, pembentukan total asam tertitiasi sangat dipengaruhi oleh kondisi termal dan karakteristik bahan baku yang digunakan. Semakin tinggi kadar total asam tertitiasi, maka menunjukkan semakin banyak senyawa asam organik yang terbentuk, terutama asam asetat, asam format, dan senyawa fenolik (Wibowo et al., 2023).

Proses pirolisis kayu menghasilkan dekomposisi komponen utama biomassa yaitu hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Hemiselulosa mulai terdekomposisi pada suhu sekitar 200–260 °C menghasilkan senyawa volatil seperti asam asetat dan metanol, sedangkan lignin mengalami degradasi lebih lambat dan menghasilkan fenol serta turunan aromatik yang turut menyumbang terhadap total keasaman asap cair (Sokamte et al., 2020). Kondisi pirolisis yang lebih akan meningkatkan produksi senyawa asam organik, sehingga total asam tertitiasi meningkat dan pH asap cair menurun. Variasi total asam pada setiap sampel juga dapat disebabkan oleh kadar air bahan baku. Bahan dengan kadar air tinggi akan menghasilkan lebih banyak uap air selama pirolisis, yang menyebabkan pengenceran senyawa asam dalam fase kondensasi dan menurunkan total keasaman (Nguyen et al., 2021). Oleh karena itu, pengendalian kadar air dan suhu pirolisis menjadi faktor kunci dalam memperoleh asap cair berkualitas tinggi dengan kandungan asam optimal.

### Pengujian Kualitatif Kandungan Fenol

Uji kualitatif fenol dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan senyawa fenolik pada asap cair hasil pirolisis bahan bakar kayu. Senyawa fenol merupakan salah satu komponen utama yang terbentuk dari

degradasi lignin selama proses pirolisis dan memiliki peranan penting terhadap aktivitas antimikroba dan antioksidan asap cair (Sokamte et al., 2020).

Tabel 2. Pengujian Kualitatif Kandungan Fenol

Kode Sampel	Uji Kualitatif Fenol
1	Hitam Pekat
2	Hitam Keunguan Pekat
3	Coklat Kehitaman

Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada Tabel 3, diperoleh variasi warna pada setiap sampel yang menunjukkan perbedaan konsentrasi senyawa fenolik. Sampel 1 menunjukkan warna hitam pekat, Sampel 2 menunjukkan warna hitam keunguan pekat, sedangkan Sampel 3 menunjukkan warna coklat kehitaman.

Perbedaan intensitas warna pada hasil uji fenol menunjukkan variasi kandungan senyawa fenolik yang dihasilkan dari proses pirolisis. Warna hitam keunguan pekat pada Sampel 2 mengindikasikan kandungan fenol yang lebih tinggi dibandingkan dua sampel lainnya. Menurut Nguyen et al. (2021), peningkatan kandungan fenol pada asap cair berkorelasi dengan suhu pirolisis yang lebih tinggi dan laju kondensasi yang optimal, yang memungkinkan dekomposisi lignin lebih sempurna. Sebaliknya, warna coklat kehitaman pada Sampel 3 menandakan kadar fenol yang relatif lebih rendah, kemungkinan disebabkan oleh suhu pirolisis yang tidak terlalu tinggi atau proses kondensasi yang kurang efisien sehingga senyawa fenolik sebagian besar terdegradasi menjadi senyawa non-fenolik volatil.

Fenol dan turunannya seperti guaiacol, syringol, dan cresol memiliki peran penting dalam memberikan efek penghambatan pertumbuhan mikroba melalui mekanisme kerusakan membran sel dan denaturasi protein (Wibowo et al., 2023). Oleh karena itu, keberadaan fenol dalam konsentrasi tinggi seperti pada Sampel 2 dapat menjadi indikator potensi bioaktif asap cair untuk diaplikasikan sebagai bahan pestisida nabati alami yang ramah lingkungan.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menganalisis efektivitas Smoke Eco Oven (SMOVEN) sebagai teknologi pengasapan ramah lingkungan, yang sesuai dengan tujuan utama yaitu mengurangi emisi udara dan mengevaluasi kualitas asap cair. Hasil menunjukkan bahwa SMOVEN secara signifikan menurunkan emisi polutan seperti PM<sub>2.5</sub> (rata-rata 54,7 µg/m<sup>3</sup> pada jarak 0,5 m), PM<sub>10</sub> (rata-rata 91,4 µg/m<sup>3</sup>), CO (rata-rata 8,258 µg/m<sup>3</sup>), dan CO<sub>2</sub> (rata-rata 713 ppm), dibandingkan metode konvensional yang melebihi ambang batas baku mutu udara. Selain itu, kualitas asap cair yang dihasilkan memenuhi standar SNI 8985:2021, dengan pH berkisar 1,98–2,10, kadar asam asetat 10,9–12,4 mg/mL, dan kadar fenol yang efektif sebagai senyawa bioaktif. Secara keseluruhan, SMOVEN terbukti efektif dalam mengurangi polusi udara, meningkatkan kualitas produk, dan mendukung praktik berkelanjutan di tingkat UMKM

## DAFTAR PUSTAKA

- Budijanto, S., & Sitompul, R. (2022). Thermal decomposition of lignocellulosic biomass for liquid smoke production. *Indonesian Journal of Chemical Engineering*, 23(2), 145–154.  
<https://doi.org/10.22146/ijce.7894>
- Deliéphan, A., Dhakal, J., Subramanyam, B., Aldrich, C. (2023). Effects of liquid smoke preparations on microbial control and shelf life. *Food Control*, 142, 109176.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109176>

- Desvita, H., Faisal, M., Taleb, M., Suhendrayatna, S. (2023). Natural antimicrobial properties of liquid smoke derived from biomass. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 567–579. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05574-3>
- Dewi, R. N., Nasution, D. A., & Yuliani, N. (2023). Utilization of liquid smoke from siwalan fruit skin waste as an organic pesticide. *Journal of Sustainable Environment*, 10(2), 85–93. <https://doi.org/10.32672/jse.v10i2.4825>
- Sokamte, T. A., Mbougoung, P. D., Sachindra, N. M., Douanla, N. F. N., & Tatsadjieu, N. L. (2020). Characterization of volatile compounds of liquid smoke flavourings from some tropical hardwoods. *Scientific African*, 8, e00443. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00443>
- Wellid, Ismail, Luga Martin Simbolon, Muhamad Anda Falahuddin, Nita Nurfitriani, Kasni Sumeru, Mohamad Firdaus Bin Sukri, and Nani Yuningsih. 2024. “Evaluasi Polusi Udara PM2.5 Dan PM10 Di Kota Bandung Serta Kaitannya Dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut.” *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 23(2):128–36. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.128-136>.
- Wibowo, S., Syafii, W., Pari, G., & Herliyana, E. N. (2023). Utilization of Lignocellulosic Waste as a Source of Liquid Smoke: A Literature Review. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(3), 196–216. <https://doi.org/10.20473/jkl.v15i3.2023.196-216>