



Optimasi Pemurnian Asap Cair Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Perlakuan *Advanced Oxidation Process* Menggunakan *Response Surface Methodology*

Muhammad Faitsal Rasyid^{1*}, Ahmad Thoriq², Lukito Hasta Pratopo³

¹ Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM. 21, Hegarmanah, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, Indonesia

Email korespondensi: Faisalrasid221202@gmail.com

Diterima:
23 Juli 2025

Dipresentasikan:
26 Juli 2025

Terbit:
18 September 2025

ABSTRAK

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dimanfaatkan dengan tepat. Salah satu cara pemanfaatannya adalah melalui pirolisis menjadi asap cair, namun mutunya rendah akibat kandungan tar dan senyawa berbahaya seperti benzopyrene. Masalah ini penting karena asap cair berpotensi menjadi bahan pengawet alami jika memenuhi standar mutu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mutu asap cair TKKS hasil pemurnian dengan *Advanced Oxidation Process* (AOP) dan mengoptimalkan prosesnya menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD) menggunakan dua variabel independen, yaitu waktu pemurnian (2–3 jam) dan laju oksigen (1,5–3 L/menit). Respon yang diamati meliputi kadar asam asetat dan kadar fenol. Hasil menunjukkan bahwa AOP efektif menurunkan kadar fenol hingga 0,02%, di bawah batas maksimum SNI (2,0%), namun kadar asam asetat tertinggi hanya 0,28%, masih di bawah batas minimum SNI Mutu 2 (1,10%). Model RSM memiliki akurasi tinggi dengan R^2 0,9822 untuk asam asetat dan 0,8215 untuk fenol, dengan validasi >90%. Kondisi optimum diperoleh pada waktu 3 jam dan laju oksigen 3 L/menit. Penelitian ini menyimpulkan AOP efektif memurnikan asap cair, namun perlu dikombinasikan dengan metode lain untuk memenuhi seluruh standar mutu. Penelitian ini berkontribusi dalam memberikan solusi pemurnian yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Disarankan penelitian lanjutan pada kombinasi teknologi dan analisis keekonomian.

Kata Kunci : asap cair, AOP, RSM, TKKS, pemurnian.

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian Indonesia, berperan besar dalam menyumbang devisa nasional (BPDPKS, 2025). Setiap hari, limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dihasilkan dalam jumlah yang sangat besar, mencapai sekitar 556.671 ton, sehingga berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dimanfaatkan secara tepat (Ramli et al., 2022). Salah satu upaya pemanfaatan TKKS yang berkembang adalah pirolisis untuk menghasilkan asap cair (Riskawati dkk., 2022), yang memiliki sifat antimikroba dan antioksidan sehingga potensial sebagai pengawet alami (Asmawit et al., 2011). Namun, asap cair hasil pirolisis memiliki mutu rendah akibat kandungan tar, benzopyrene, dan senyawa organik kompleks yang

melebihi ambang batas (Zebua dkk., 2024). Metode pemurnian seperti destilasi sudah umum digunakan, tetapi boros biaya dan energi, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif teknologi yang menjanjikan adalah *Advanced Oxidation Process* (AOP), yang bekerja menghasilkan radikal hidroksil sebagai oksidan kuat untuk mendekomposisi kontaminan organik (Fadiyah et al., 2017). Teknologi ini telah banyak diterapkan dalam pengolahan limbah cair industri dan berpotensi digunakan untuk pemurnian asap cair. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan AOP dalam meningkatkan mutu asap cair TKKS serta menentukan kondisi optimum prosesnya dengan bantuan *Response Surface Methodology* (RSM), yang dikenal efektif memodelkan interaksi variabel dengan jumlah percobaan minimal (Widarsaputra et al., 2022). Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan teknologi pemurnian asap cair yang lebih berkelanjutan dan memenuhi standar mutu industri.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD) yang dianalisis menggunakan perangkat lunak *Design Expert* 13. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknologi Industri Pertanian Universitas Padjadjaran pada Desember 2024. Sampel yang digunakan berupa asap cair hasil pirolisis tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang kemudian dimurnikan menggunakan metode *Advanced Oxidation Process* (AOP) dengan pemanfaatan ozon dan oksigen yang disalurkan melalui fine bubble diffuser. Variabel bebas yang diuji adalah waktu pemurnian pada rentang 2 hingga 3 jam dan laju oksigen pada rentang 1,5 hingga 3 L/menit, sedangkan variabel respon utama yang diamati meliputi kadar asam asetat yang dianalisis melalui titrasi dan kadar fenol yang diukur dengan metode kolorimetri. Rancangan percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Percobaan

Perlakuan	waktu / jam	laju aliran oksigen / liter/menit	Asam Asetat %	Kadar Fenol %
1	1,8	2,25		
2	2,5	2,25		
3	2	1,5		
4	2,5	3,31066		
5	3	1,5		
6	2,5	2,25		
7	3,207	2,25		
8	2,5	1,18934		
9	2	3		
10	2,5	2,25		
11	3	3		
12	2,5	2,25		
13	2,5	2,25		

Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan menjalankan kombinasi perlakuan sesuai rancangan, kemudian mengukur parameter mutu pada setiap sampel hasil pemurnian. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM) untuk memodelkan hubungan antarvariabel, menentukan persamaan prediksi, serta memperoleh kondisi optimum. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi dengan data aktual pada titik optimum untuk memastikan keandalan model yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar asam asetat asap cair tertinggi diperoleh sebesar 0,28% pada kombinasi waktu pemurnian 1,8 jam dengan laju oksigen 2,25 L/menit, sedangkan kadar terendah sebesar 0,14% pada waktu 2 jam dengan laju oksigen 3 L/menit. Sementara itu, kadar fenol terendah yang dicapai adalah 0,02% pada kombinasi waktu 3 jam dengan laju oksigen 3 L/menit. Model kuadratik yang dihasilkan dari analisis RSM memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9822 untuk respon kadar asam asetat dan 0,8215 untuk kadar fenol, dengan nilai validasi model terhadap hasil aktual di atas 90%. Hasil variabel bebas dan terikat yang optimum dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 2. Solusi Optimum

Waktu (jam)	Laju aliran oksigen (L/menit)	Kandungan asam asetat (%)	Kandungan asam fenol (%)
2,2	2,8	0,06	0,22

Kadar asam asetat tertinggi yang diperoleh masih di bawah standar SNI, menunjukkan AOP kurang efektif dalam meningkatkan asam organik, sebagaimana juga dilaporkan (Tyas, 2023). Sebaliknya, kadar fenol berhasil ditekan hingga 0,02%, mendukung temuan (Ayuningtyas, 2020) tentang efektivitas AOP dalam menguraikan senyawa fenolik. Model RSM menunjukkan hasil prediksi yang sesuai dengan data aktual, sejalan dengan hasil (Wicaksono dkk., 2020). Hasil ini menegaskan bahwa AOP efektif menurunkan kontaminan, namun masih perlu dikombinasikan dengan metode lain untuk memenuhi semua standar mutu.

KESIMPULAN

Advanced Oxidation Process efektif dalam menurunkan kadar fenol asap cair TKKS hingga di bawah batas maksimum SNI, namun kadar asam asetat yang dihasilkan masih di bawah standar mutu minimum. Model RSM berhasil menggambarkan hubungan antar variabel dengan baik dan dapat digunakan untuk menentukan kondisi optimal pemurnian. Penelitian ini menunjukkan potensi AOP sebagai teknologi pemurnian yang ramah lingkungan, namun disarankan pengujian lebih lanjut dengan kombinasi teknologi untuk mencapai kualitas terbaik sesuai standar industri.

DAFTAR RUJUKAN

- Asmawit, H., Hidayati, & Supriyatna, N. (2011). Pemanfaatan asap cair dari tandan kosong kelapa sawit pada pengolahan karet mentah (*Utilization of liquid smoke from oil palm empty fruit bunches on raw rubber processing*). *Biopropal Industri*, 2(1), 7–12.
- Fadiyah, M. A., Sururi, M. R., & Ainun, S. (2017, April). Pengolahan lindi dengan menggunakan *advanced oxidation process* (AOP) dengan variasi debit udara. *Reka Lingkungan*, 5(1). Institut Teknologi Nasional.
- Ayuningtyas, E. (2020). Penurunan kadar warna dan fenol air limbah batik menggunakan metode *advanced oxidation processes* (AOPs) berbasis ozon-GAC. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 20(2), 31–38.
- Hani, S. N., Hermantoro, & Purwoto, H. (2025). Analisis pengelolaan lingkungan perkebunan kelapa sawit dalam implementasi Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO). [*Nama jurnal jika ada*], 3(1), 402–410.
- Ramli, M. N. (2022). Pengomposan tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dengan beberapa pemberian mikroorganisme lokal (MOL). *ARview Jurnal Ilmiah*, 1(1), 27–37.
- Riskawati, Magfirah, N., Baharuddin, M., Sappewali, & Azis, F. (2022). Enkapsulasi asap cair tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dan aktivitasnya terhadap jamur *Aspergillus flavus* dan *Aspergillus niger*. [*Nama jurnal, volume(nomor), halaman–halaman*]*.
- Tyas, L. L. (2023). *Prarancangan pabrik n-butil asetat dari butanol dan asam asetat dengan katalis Amberlyst-15 menggunakan proses esterifikasi Fischer kapasitas 50.000 ton/tahun* [Undergraduate thesis, Universitas Diponegoro].
- Wicaksono, L. A., Basuki, E. K., Jariyah, & Ayuninggar, R. M. (2020). *Optimization of pectin extraction from pedada fruit (Sonneratia caseolaris) using solvent Na₂HPO₄ (disodium phosphate) with surface response methodology* [Undergraduate thesis, UPN “Veteran” Jawa Timur].
- Widarsaputra, A. Y., Prawatya, Y. E., & Sujana, I. (2022). Response surface methodology (RSM) untuk optimasi pengolahan keripik nanas menggunakan mesin vacuum frying. *INTEGRATE: Industrial Engineering and Management System*, 6(2), 70–77.
<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtinUNTAN/issue/view/1913>
- Zebua, N. F., Nadia, S., & Elviana. (2024). Literatur review: Beberapa formulasi dari asap cair. *JIFI (Jurnal Ilmiah Farmasi Imelda)*, 7(2), 71–77.
<https://jurnal.uimedan.ac.id/index.php/JURNALFARMASI>